

8 REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES



Faculté de Technologie

Département Ingénierie des Systèmes Electriques

**Mémoire de Master**

Présenté par

M'ZIR Katia

ILOUL Samira

Filière : Génie Biomédical

Spécialité : Instrumentation Biomédicale

---

## Détection des Coupes Fœtale par Les Transformateur de Vision

---

Soutenu le 27/06/2024 devant le jury :

Hamadouche	M'hamed	MCA	Université	Président
Haroune	Radia	MCA	Université	Examinatrice
Dr Ammar	Mohammed	MCA	Université	Rapporteur

Année Universitaire : 2023/2024

# Remerciements

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude envers notre encadreur, le Dr. Ammar Mohammed, professeur au département d'Ingénierie des Systèmes Électriques de l'Université de Boumerdes, pour son encadrement de grande qualité. Ses conseils éclairés et son dévouement sans faille ont été essentiels à la réalisation de ce travail. Nous lui sommes reconnaissants pour son soutien constant et son engagement envers notre réussite académique.

Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers les membres du jury pour avoir accepté de consacrer leur temps et leur expertise à évaluer notre travail. Leur implication démontre leur engagement envers l'avancement de la recherche et de l'éducation.

Enfin, nous tenons à remercier tous les enseignants du Département de Génie Biomédical (GBM) pour leur soutien continu et leur engagement envers notre réussite académique. Leur dévouement à l'enseignement et à la formation des étudiants a été une source d'inspiration pour nous, et nous sommes reconnaissants pour les connaissances et les compétences qu'ils nous ont transmises.

ILOUL SAMIRA  
M'ZIR KATIA

# Dedication

All praise to Allah the almighty, for giving me the strength and the courage to move forward in my educational journey.

This humble work is fully dedicated to my entire family. First, to the one who stood by my side and supported my dreams, to the one who didn't live long enough to witness the moment he always dreamed of, to my dear Father; M'zir Said. Second to my lovely Mother, a mother that never hesitates to help and offer me everything I need in life. I would also like to express my gratitude to my brother 'Azzedine' for his unwavering help, support and encouragement. To all my family members, brothers and sisters.

To my husband 'Adel' your support and presence have been a great help throughout this journey.

Finally, to my dear friend, my project partner, Amira Iloul, I am profoundly grateful to the time we spend together working on this thesis, thank you for being an exceptional team mate.

**M'ZIR KATIA**

# Dédicaces

**Je dédie cette réussite à ma mère pour son soutien indéfectible. Son amour, sa croyance en moi ont toujours gardé mes espoirs élevés.**

**À mon cher père Iloul Mohammed pour ses encouragements constants, sa sagesse et son soutien inconditionnel qui ont été essentiels à ma réussite**

**À mes frères, Said et Samir, et à mes sœurs, pour leur affection, leur présence constante et leur soutien tout au long de mes années scolaires.**

**Je souhaite exprimer ma profonde reconnaissance à mon oncle Rafik**

**Merci à mon fiancé Riad pour sa patience, son encouragement continu et sa foi en moi qui m'ont donné la force de persévérer.**

**À mon amie Katia, pour son soutien précieux et pour avoir partagé chaque moment de cette aventure avec moi. Ensemble, nous avons surmonté les défis et célébré les réussites.**

**Ma gratitude va également à tous mes amis et ma famille**

**ILOUL SAMIRA**

# Résumé

Ce travail explore l'efficacité des modèles d'apprentissage profond, notamment les Vision Transformers (ViT), dans la classification des images échographiques fœtales pour diagnostiquer et prédire les pathologies prénatales. L'étude a comparé les performances de divers modèles Vision Transformers et a confirmé que les ViT surpassent les CNN dans certaines tâches de classification d'images médicales.

Deux modèles de Vision Transformers, ViT-B16 et ViT-L16, ont été utilisés, et il a été constaté que les ajustements des paramètres tels que le taux de dropout et le nombre d'époques influencent significativement les résultats. En optimisant ces hyperparamètres, les performances du modèle peuvent être améliorées. De plus, l'analyse a montré que l'augmentation des données améliore considérablement les résultats, soulignant l'importance d'une base de données étendue pour un apprentissage optimal. Parmi les modèles étudiés, le ViT-B16 a démontré une performance supérieure par rapport au ViT-L16, bien que le ViT-L16 demeure prometteur et pourrait être amélioré avec une base de données plus étendue.

Mots-clés : classification d'images, image échographique des Coupes Fœtale, Vision Transformers, Vit-b16, Vit-l16, Base de données.

# Abstract

This work explores the effectiveness of deep learning models, including Vision Transformers (ViT), in classifying fetal ultrasound images to diagnose and predict prenatal pathologies. The study compared the performance of various Vision Transformers models and confirmed that ViT outperform CNN in some medical image classification tasks.

Two Vision Transformers models, ViT-B16 and ViT-L16, were used, and it was found that adjustments to parameters such as dropout rate and number of epochs significantly influence the results. By optimizing these hyper parameters, model performance can be improved. In addition, the analysis showed that the increase in data significantly improves the results, highlighting the importance of an extensive database for optimal learning. Among the models studied, ViT-B16 demonstrated superior performance compared to ViT-L16, although ViT-L16 remains promising and could be improved with a broader database.

Keywords: image classification, ultrasound image of Fetal Slices, Vision Transformers, Vit-b16, Vit-l16, Dataset.

# ملخص

يستكشف هذا العمل فعالية نماذج التعلم العميق، بما في ذلك محولات الرؤية (ViT)، في تصنيف صور الموجات فوق الصوتية للجنين لتشخيص أمراض ما قبل الولادة والتنبؤ بها. قارنت الدراسة أداء نماذج Vision Transformers المختلفة وأكدت أن ViT يتفوق على CNN في بعض مهام تصنيف الصور الطبية.

تم استخدام نموذجين من محولات الرؤية، ViT-B16 و ViT-L16، ووجد أن التعديلات على المعلمات مثل معدل التسرب وعدد الحقب تؤثر بشكل كبير على النتائج. من خلال تحسين هذه المقاييس الفائقة، يمكن تحسين أداء النموذج. بالإضافة إلى ذلك، أظهر التحليل أن الزيادة في البيانات تحسن النتائج بشكل كبير، مما يبرز أهمية وجود قاعدة بيانات واسعة النطاق للتعلم الأمثل. من بين النماذج التي تمت دراستها، أظهرت ViT-B16 أداءً متفوقاً مقارنة ViT-L16، على الرغم من أن ViT-L16 لا يزال واعدًا ويمكن تحسينه من خلال قاعدة بيانات أوسع.

الكلمات الرئيسية: تصنيف الصور، صورة الموجات فوق الصوتية لشرائح الجنين، محولات الرؤية، ViT-b16، ViT-l16، قاعدة البيانات

# Table de matière

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Résumé.....	IV
Abstract.....	V
ملخص.....	VI
Table des matières.....	VII
Liste des abréviations.....	X
Liste des tableaux.....	XI
Liste des figures.....	XII
Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre I : Embryologie et développement prénatal</b>	
I. Introduction.....	3
I.1 L'appareil génital féminin.....	3
I.1.1 Comment fonctionne l'appareil génital féminin.....	4
I.1.2 Les pathologies ou dysfonctionnements affectant l'appareil génital féminin.....	4
I.2 Développement du Fœtus.....	4
I.2.1 Première trimestre : de la fécondation à 12 semaines.....	5
I.2.2 Deuxième trimestre : 13 à 28 semaine.....	6
I.2.3 Troisième trimestre : 29 à 40 semaine.....	7
I.3 l'échographie.....	9
I.3.1 Le principe de l'échographie.....	9
I.3.2 Echographie lors de la grossesse.....	10
I.3.2.1 L'échographie du premier trimestre.....	10
I.3.2.2 L'échographie de deuxième trimestre.....	11
I.3.3.3 L'échographie de troisième trimestre.....	11
I.3.3 Les Coupes Fœtale.....	12
I.3.3.1 La tête.....	12
I.3.3.2 Le Placenta.....	13
I.3.3.3 Le périmètre abdominal (PA).....	13

I.3.3.4 La longueur fémorale (LF).....	14
I.3.3.5 La circonférence thoracique.....	15
I.4 Les pathologies de grossesse.....	17
I.4.1 Menace d'accouchement prématuré.....	17
I.4.2 La toxoplasmose.....	17
I.4.3 Rubéole.....	17
I.4.4 Varicelle.....	18
I.4.5 La listériose.....	18
I.4.6 Hypertension artérielle ou Pré éclampsie.....	18
I.4.7 Le diabète gestationnel.....	19
I.4.8 Placenta prævia.....	19
I.4.9 Grossesse extra-utérine.....	20
I.4.10 Rupture prématuré des membranes.....	20
I.4.11 le Retard de Croissance Intra-Utérin (RCIU).....	20
I.5 Conclusion.....	21
<b>ChapitreII : Modèle d'apprentissage approfondi pour la classification</b>	
II. Introduction.....	22
II.1 Transformateur de vision (ViT).....	22
II.2 Structure de l'architecture transformateur de vision.....	23
II.2.1 Le Patch embedding.....	23
II.2.2 Position embedding.....	24
II.2.3 Token embedding.....	24
II.2.4 Transformer encoder.....	25
II.2.5 Classification Head.....	26
II.3 Les modèles ViT.....	27
II.3.1 Analyse des modèles ViT.....	28
II.3.1.1 ViT-Base.....	28
II.3.1.2 ViT-Large.....	28
II.3.1.3 ViT-Huge.....	29
II.4 Domaine d'application.....	29
II.5 Comparaison des transformateurs de vision et des réseaux de neurones convolutifs pour la classification des images.....	29
II.6 Conclusion.....	30

## Chapitre III : classification des images biométrique fœtales

III. Introduction.....	31
III. 1 Les outils, logiciels et les Bibliothèque utilisés.....	31
III. 1.1 Pandas.....	31
III. 1.2 TensorFlow.....	31
III. 1.3 Python.....	32
III.1.4 Jupyter Notebook and Google Colaboratory.....	32
III. 1.5 Keras.....	33
III.2Base de Donnée.....	34
III.3 Les mesure de performance.....	35
III.3.1 Taux de Classification (Accuracy).....	35
III.3.2 Matrice de confusion.....	36
III.3.3 Recal et la précision.....	36
III.3.4 F1 score.....	37
III.4 Résultats et Discussion.....	37
III.4.1 Epoque de 10.....	37
III.4.1 Epoque de 100.....	39
III.5 Augmentation de données.....	42
III.6 Conclusion.....	44
Conclusion général	
Glossaire	
Référence et Bibliographie	

# Liste des abréviations

## Chapitre I :

**ADN** : Acide **D**ésoxyribo**n**ucléique

**SA** : Semaine d'Aménorrhée

**DBP** : le **D**iamètre **B**ipariétal ou **BIP**

**DOF** : le **D**iamètre **O**ccipito-**F**rontal

**PC** : le **P**érimètre **C**rânien

**PA** : Le **P**érimètre **A**bdominal

**CFEF** : Collège **F**rançais d'**E**chographie **F**œtale

**INSERM** : Institut National de la **S**anté et de la **R**echerche **M**édicale

**HTA** : l'**H**ypertension **A**rtérielle

**PAS** : la **P**ression **A**rtérielle **S**ystolique

**mmHg** : **M**illimètres de **M**ercur

**PAD** : la **P**ression **A**rtérielle **D**iaستolique

**DG** : Le **D**iabète **G**estationnel

**RCIU** : le **R**etard de **C**roissance **I**ntra-**U**térin

## Chapitre II :

**IA** : l'**I**ntelligence **A**rtificielle

**ML** : **M**achine **L**earning

**DL**: **D**eep **L**earning

**CNN**: **C**onvolutional **N**eural **N**etwork

**VIT** : **V**ision **T**ransformers

**NLP** : **N**atural **L**anguage **P**rocessing

**CLS** : **C**lassify **T**oken

**MSA** : **M**écanisme d'**a**uto-**A**ttention têtes

**FFN** : **R**éseaux de **N**eurons **F**eedforward

**MLP** : **P**erceptron **M**ulti-couches

**GPU** : **G**raphics **P**rocessing **U**nit

**TPU** :**T**ensor **P**rocessing **U**nit

# Liste des tableaux

## **CHAPITRE II :**

Tableau II.1 Variantes du modèle Vision Transformer..... 27

## **CHAPITRE III :**

Tableau III.1 Matrice de Confusion ..... 36

# Liste des Figures

## **CHAPITRE I :**

Figure I. 1 L'appareil génital féminin.....	3
Figure I. 2 Embryon vers fœtus pendant le premier trimestre.....	6
Figure I. 3 fœtus pendant le deuxième trimestre.....	7
Figure I. 4 fœtus à la fin de troisième trimestre.....	8
Figure I. 5 L'appareil permettant d'effectuer une échographie est l'échographe.....	10
Figure I. 6 Plans de coupe.....	12
Figure I. 7 image échographique représente le placenta.....	13
Figure I. 8 Plan de coupe échographique, pour la mesure du PA.....	14
Figure I. 9 Image échographique de la mesure d'une longueur fœtale.....	15
Figure I. 10 Vue axiale échographique bidimensionnelle du thorax du fœtus au niveau des quatre chambres montrant les mesures de traçage de la zone du poumon droit fœtal (RL) et du poumon gauche fœtal (LL).....	16
Figure I. 11 les deux types de Placenta prævia.....	19

## **CHAPITRE II :**

Figure II. 1 l'intelligence artificielle à l'apprentissage profond.....	22
Figure II. 2 L'architecture Transformateur de vision.....	23
Figure II. 3 Position Embedding.....	24
Figure II. 4 ViT Patch and Position Embedding.....	25
Figure II. 5 Transformer encoder.....	26

## **CHAPITRE III :**

Figure III. 1 Logo de Pandas.....	31
Figure III. 2 TensorFlow.....	32
Figure III. 3 Python Logo.....	32
Figure III. 4 Jupyter and Colab logo.....	33
Figure III. 5 Logo de Karas.....	34
Figure III. 6 Les cinq classes des images.....	34
Figure III. 7 Exemples des images de chaque classe.....	35
Figure III. 8 Exemples des images de chaque classe.....	35

Figure III.9 Histogramme du taux de classification de deux modèles.....	37
Figure III.10 Histogramme de F1-Score de model vit_b16 avec dropout.....	38
Figure III.11 Histogramme de F1-Score de model vit_116 avec dropout.....	38
Figure III.12 Histogramme du taux de classification de deux modèles .....	39
Figure III.13 Histogramme de F1-Score de model vit_b16 avec dropout.....	39
Figure III.14 Histogramme de F1-Score de model vit_116 avec dropout.....	40
Figure III.15 Graphe du taux de classification et la perte de l'apprentissage et la validation de vit_b16 avec dropout.....	41
Figure III.16 La matrice de confusion du modèle Vit_b16.....	41
Figure III.17 Histogramme du taux de classification de deux modèles.....	42
Figure III.18 Histogramme de F1-Score de model vit_b16 avec dropout après l'augmentation des images.....	42
Figure III.19 Graphe du taux de classification et la perte de l'apprentissage et la validation de Vit_b16 après l'augmentation des images.....	43
Figure III.20 Matrice de confusion de Vit_b16 après l'augmentation des images.....	43

# **Introduction**

## **Générale**

# Introduction Générale

Les progrès de l'imagerie médicale ont permis l'acquisition d'un vaste ensemble d'images biomédicales de patients. L'analyse intelligente de ces images par des systèmes d'apprentissage automatique s'avère précieuse pour le diagnostic de diverses pathologies. La classification, qui consiste à regrouper ces images en différentes catégories, joue un rôle primordial dans l'optimisation des systèmes d'aide au diagnostic par ordinateur.

L'apprentissage profond (Deep Learning), notamment les modèles Vision Transformer (ViT), a connu un essor considérable dans la classification des images biomédicales. Ce processus implique généralement deux phases principales :

- **Phase d'apprentissage** : L'ensemble de données est divisé en sous-ensembles d'entraînement à grande échelle et à moyenne échelle. Des algorithmes d'apprentissage profond avancés, tels que les ViT, sont appliqués pour extraire les caractéristiques discriminantes des images. Cette étape cruciale permet au modèle d'apprendre à reconnaître les motifs et les particularités pertinents pour la tâche de classification.
- **Phase de test** : Un sous-ensemble de données distinct, généralement de plus petite taille, est utilisé pour évaluer les performances du modèle spécialisé dans la classification des images. Le modèle ViT sélectionné et extrait les caractéristiques clés des images à classer. L'algorithme d'apprentissage profond, entraîné lors de la phase précédente, est alors exploité pour effectuer des prédictions sur les nouvelles images. Le modèle peut être entraîné à partir de zéro ou en utilisant un modèle préexistant comme point de départ (transfert d'apprentissage). Le taux de classification du modèle est ensuite calculé pour évaluer ses performances.

Les modèles ViT présentent des avantages significatifs par rapport aux réseaux de neurones convolutionnels (CNN) traditionnels. Leur architecture unique, basée sur l'attention, leur permet de capturer efficacement les relations à longue portée entre les pixels de l'image, offrant ainsi de meilleures performances dans la classification des images biomédicales complexes. De plus, les ViT ont démontré leur capacité à généraliser de manière robuste à de nouvelles tâches et à de nouveaux domaines d'application, grâce à leur flexibilité et à leur pouvoir de représentation élevé.

Cependant, il convient de noter que l'entraînement des modèles ViT peut nécessiter des ressources computationnelles importantes et de grandes quantités de données d'entraînement pour atteindre des performances optimales. Des techniques d'optimisation, telles que le

transfert d'apprentissage et les stratégies d'augmentation de données, sont souvent utilisées pour contourner ces défis.

Dans le cadre de ce projet, nous avons mis en œuvre le concept de l'apprentissage par transfert sur des modèles Vision Transformer (ViT) en utilisant le langage Python sur les plateformes Google Colab et Jupyter Notebook. Nous avons modifié certains paramètres et couches des modèles ViT préentraînés afin de les adapter à notre tâche spécifique de classification des images biométriques fœtales. Cette approche nous a permis de classer les images en différentes catégories cliniques pertinentes, telles que la tête, l'abdomen, le thorax, le fémur et le liquide amniotique. De plus, nous avons appliqué des techniques d'augmentation de données pour accroître la taille et la diversité de notre ensemble d'entraînement, améliorant ainsi les performances de classification des modèles ViT.

L'organisation du travail est répartie en trois chapitres :

Le premier chapitre explore l'anatomie de l'appareil génital féminin et le développement du fœtus au cours de la grossesse. Il examine également l'échographie, sa technologie et ses applications en imagerie fœtale, tout en abordant les pathologies possibles pendant la grossesse, offrant ainsi une compréhension complète des aspects médicaux et techniques liés à l'imagerie et au suivi des fœtus.

Le deuxième chapitre est dédié aux modèles Vision Transformer (ViT), une architecture innovante en apprentissage profond. Il détaille la structure et les composants clés des ViT, présente les différents modèles disponibles et décrit leurs domaines d'application. Ce chapitre compare également les performances et avantages des transformateurs de vision par rapport aux réseaux de neurones convolutionnels traditionnels pour la classification des images.

Le troisième chapitre présente les outils, logiciels et bibliothèques utilisés dans ce projet. Il décrit la méthodologie pour la classification des images biométriques fœtales, en soulignant les étapes clés comme le prétraitement des données, l'entraînement des modèles et l'évaluation des performances.

# CHAPITRE I

EMBRYOLOGIE ET

DEVELOPPEMENT

PRENATAL

## Introduction

Le processus de la grossesse et du développement prénatal est un véritable miracle de la nature. Depuis la fécondation jusqu'à la naissance, une série d'événements complexes et fascinants se déroulent, transformant une simple cellule en un être humain à part entière. Dans ce chapitre, nous allons explorer en détail les différents aspects de cette période cruciale, en abordant l'appareil génital féminin, le développement du fœtus trimestre par trimestre, les techniques d'imagerie médicale comme l'échographie, ainsi que les pathologies et complications potentielles pouvant survenir durant la grossesse.

### I.1 L'appareil Génital Féminin :

L'appareil génital ou appareil de reproduction féminin est l'ensemble des organes impliqués dans la sexualité et la reproduction. Il comprend - des organes génitaux internes, situés dans la cavité pelvienne, composés de : deux ovaires, deux trompes, l'utérus et du vagin [1]. Ainsi que des organes externes comme la vulve.

Le vagin agit comme un canal pour les spermatozoïdes et le passage naturel pour l'accouchement. L'utérus est le lieu de développement de l'embryon et du fœtus, avec une muqueuse endométriale qui est shed lors des règles. Le col utérin relie l'utérus au vagin et produit la glaire cervicale. Les ovaires produisent des ovocytes, tandis que les trompes de Fallope captent l'ovocyte pour la fécondation. [2]



Figure I. 1 L'appareil génital féminin [3]

**I.1.1 Comment Fonctionne L'Appareil Génital Féminin :**

L'appareil génital féminin fonctionne de manière complexe pour permettre la reproduction et le développement des embryons. Dès la naissance, les ovaires renferment un stock limité mais crucial d'ovules. À partir de la puberté, les ovaires libèrent un ovule lors de chaque cycle menstruel, qui dure environ 28 jours.

Ce cycle menstruel se divise en deux phases principales : la phase ovarienne et la phase utérine. Pendant la phase ovarienne, un ovule mûrit dans le follicule ovarien et est libéré lors de l'ovulation, vers le 14<sup>e</sup> jour du cycle. Ensuite, lors de la phase utérine, la muqueuse utérine épaisit pour accueillir un éventuel ovule fécondé. Si la fécondation n'a pas lieu, la muqueuse utérine se désintègre, entraînant les règles.

Lorsque la reproduction se produit, les spermatozoïdes sont expulsés dans le vagin où ils remontent à travers le col de l'utérus pour atteindre l'ovule. La fécondation se produit généralement dans l'une des trompes de Fallope, où l'ovule fécondé commence à se développer. Il migre ensuite vers l'utérus où il se fixe sur la paroi utérine et se développe pour former un fœtus, alimenté par le placenta.

Le fonctionnement de l'appareil génital féminin est étroitement régulé par des hormones, notamment celles produites par l'hypophyse dans le cerveau. Ces hormones contrôlent le cycle menstruel, régulent la grossesse et stimulent la production de lait maternel après l'accouchement pour nourrir le bébé. [4][5]

**I.1.2 Les Pathologies ou Dysfonctionnements Affectant L'Appareil Génital Féminin :**

Les problèmes liés à l'appareil génital féminin englobent un éventail d'anomalies congénitales telles que les malformations des organes, les déplacements d'organes comme le prolapsus, les mauvaises positions de l'utérus et les grossesses extra-utérines. En outre, les déséquilibres hormonaux peuvent entraîner des retards de la puberté, des troubles menstruels, la ménopause précoce et la stérilité. Cependant, les affections les plus courantes sont les infections et les tumeurs.[6]

**I.2 Développement du Fœtus :**

La gestation est la période qui s'écoule entre la conception et la naissance, au cours de laquelle le bébé grandit et se développe dans l'utérus de sa mère. Comme il est impossible de savoir exactement quand la conception a lieu, l'âge gestationnel est mesuré à partir du premier jour du dernier cycle menstruel de la mère jusqu'à la date actuelle. Il est mesuré en semaines.[7]

**I.2.1 Première Trimestre : de La Fécondation à 12 Semaines**

Pendant les deux premières semaines, la femme n'est pas encore considérée comme enceinte, mais vers la fin de cette période, un ovule est libéré, offrant la fenêtre optimale pour la conception. Au cours de la 3<sup>e</sup> semaine, les spermatozoïdes atteignent les trompes de Fallope où la fécondation a lieu, formant le zygote porteur de l'ADN essentiel. Ensuite, le zygote, devenu blastocyste, migre vers l'utérus où il s'implante solidement dans la paroi préparée pour le soutenir. À ce stade, le blastocyste commence à puiser des ressources sanguines maternelles pour son développement, amorçant ainsi le début de la grossesse. [7]

Le développement embryonnaire est crucial. Les tests de grossesse confirment souvent la conception grâce à l'augmentation des hormones. Vers la 5<sup>e</sup> semaine, la formation du tube neural et les premières pulsations cardiaques surviennent. Suivent l'apparition des bourgeons des membres et des structures faciales.

À la 8<sup>e</sup> semaine, les principaux organes et systèmes corporels sont formés, les mains et les pieds se développent, et le cordon ombilical se met en place. À partir de cette semaine, l'embryon est désormais désigné comme un fœtus jusqu'à la naissance. À la fin de cette période le fœtus mesure environ 1,25 à 2,5 cm. [8]

Aux semaines 9 et 12 de la grossesse, Pendant cette période, le développement de votre bébé progresse rapidement. De minuscules bourgeons dentaires apparaissent et ses doigts et orteils continuent de se former, avec la croissance des ongles. Vous pourriez même entendre les battements de son cœur lors de votre examen prénatal. Ses os commencent à se solidifier tandis que sa peau devient moins transparente, sa tête représentant environ la moitié de sa taille à ce stade. Enfin, ses mains se développent plus vite que ses pieds. Bien qu'il commence à bouger, vous ne pouvez peut-être pas encore le sentir. À ce stade, il mesure environ 2 pouces de long et pèse environ 1,5 gramme. [9]

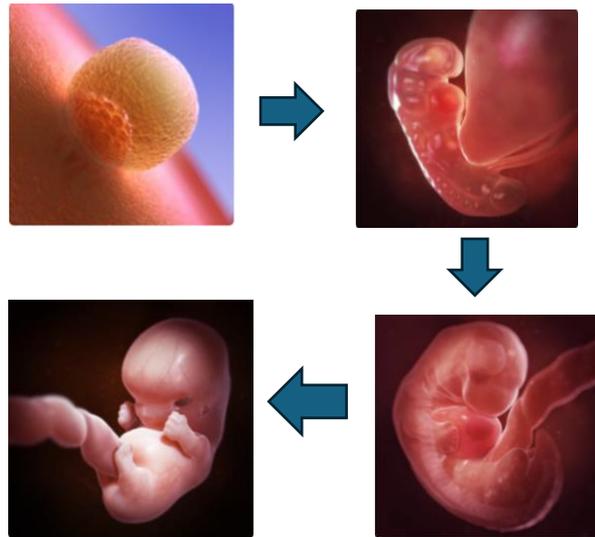


Figure I. 2 Embryon vers fœtus pendant le premier trimestre. [10]

### I.2.2 Deuxième Trimestre : 13 à 28 Semaine

Entre les semaines 13 et 16 de la grossesse, le développement du fœtus est marqué par la formation des cordes vocales, une croissance proportionnelle de la tête, l'épaississement de la peau, l'apparition de poils fins, le développement des organes génitaux externes, et la formation des empreintes digitales. Les organes tels que les intestins et les oreilles se déplacent vers leur position finale. Bien que le fœtus utilise toujours le liquide amniotique pour respirer, ses poumons commencent à se développer, et il commence à effectuer des mouvements plus volontaires comme sucer son pouce. Les lèvres et les oreilles se forment, lui permettant d'entendre des sons extérieurs et de réagir à la lumière.[8]

Aux semaines 17 et 18 de la grossesse, le fœtus développe sa couche de graisse brune pour la thermorégulation et son squelette continue de croître. Ses premiers cheveux apparaissent tandis que sa circulation sanguine s'améliore, favorisant des mouvements actifs. Son système nerveux se myélinise et ses yeux deviennent sensibles à la lumière, permettant la détermination du sexe lors d'une échographie.

Le fœtus poursuit son développement. La graisse brune commence à se former pour réguler sa température à la naissance. Son squelette cartilagineux grandit, ses premiers cheveux apparaissent, et la proportion de sa tête diminue. Sa circulation sanguine s'améliore, favorisant des mouvements plus actifs, tandis que son système nerveux se myélinise et ses yeux deviennent sensibles à la lumière, permettant de déterminer le sexe du bébé à l'échographie.

À la fin de la 20e semaine (ou 18e semaine de conception), le fœtus mesure 16 cm de la tête au coccyx et pèse 320 g. [10]

Au 6e mois, le fœtus connaît une croissance rapide. Ses mouvements coordonnés et sa moelle osseuse en développement indiquent l'affinage de ses capacités. Sa préhension se renforce, lui permettant de percevoir les sons maternels. Vers 23 semaines, un prématuré a de bonnes chances de survie malgré des poumons immatures. Sa peau transparente laisse voir ses veines et ses paupières s'entrouvrent. À 24 semaines, ses cheveux poussent et son système immunitaire se met en place.

Durant cette période, la prise de poids est importante. Il pèse maintenant plus de 630 g et mesure 21 cm de la tête au coccyx. Dorénavant, le fœtus remplit bien l'espace de l'utérus. [10][8]

Au cours de la 25e semaine, les réflexes du bébé se développent et il peut désormais bouger en réaction à des sons familiers. Ses organes vitaux sont formés et sa peau devient moins translucide. À la 26e semaine, les poumons commencent à produire du surfactant, facilitant leur fonctionnement. Le bébé connaît alors une poussée de croissance importante, atteignant environ 230 mm pour 800 g. Enfin, à la 28e semaine, le bébé ouvre les yeux pour la première fois, tandis que ses rides s'estompent à mesure que la graisse s'accumule, donnant à sa peau une couleur de chair. [11]

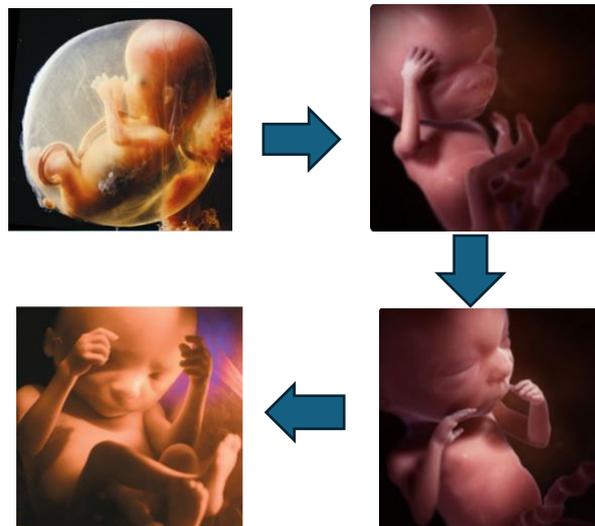


Figure I. 3 fœtus pendant le deuxième trimestre. [10] [12]

### I.2.3 Troisième Trimestre : 29 à 40 Semaine

Pendant cette phase finale de la grossesse, il est naturel de ressentir l'envie de suivre de près le compte à rebours menant à la naissance de votre bébé, mais chaque semaine qui passe durant le troisième trimestre est cruciale pour la préparation du fœtus à son arrivée. Au cours de ces derniers mois, le bébé prend du poids rapidement, accumulant de la graisse corporelle essentielle pour sa santé et son bien-être après la naissance. [8]

Son appareil digestif devient fonctionnel, lui permettant de percevoir les saveurs et les odeurs du liquide amniotique. Son cerveau se développe rapidement, assurant désormais la régulation de sa température corporelle. Bien que ses organes continuent de se former, les poumons et les reins peuvent encore être en maturation.

- À un certain stade, le fœtus devient plus actif, effectuant de grands mouvements des bras et des jambes.
- Son cœur bat à un rythme soutenu de 135 à 140 battements par minute.
- Il mesure environ 28 cm pour un poids pouvant atteindre 1,7 kg.

Entre les semaines 33 et 36 de grossesse, le processus de croissance et de développement du fœtus se poursuit de manière significative. Ses poumons se rapprochent de leur pleine maturité à ce stade. Ses os commencent à se solidifier, à l'exception de son cerveau qui reste souple pour faciliter le passage lors de l'accouchement.

La couche protectrice de vernix sur sa peau s'épaissit progressivement. Bien que son cerveau continue de croître, il ne représente encore que les deux tiers de son poids à la naissance.

Enfin, le fœtus perd son duvet lanugo et développe des cheveux sur sa tête. Il mesure maintenant 34 cm de la tête au coccyx et pèse 2,5 kg. [10].

Aux semaines 37 et 40 de la grossesse, le fœtus achève sa maturation intra-utérine. Ses ongles s'allongent jusqu'à l'extrémité de ses orteils, et il entame sa descente dans le bassin maternel en vue de l'accouchement. Les mouvements du fœtus deviennent plus énergiques, témoignant de son développement musculaire et de la vitalité de son cœur désormais pleinement formé.

À ce stade, le fœtus est à terme, tous ses organes sont formés à l'exception des poumons, qui continueront à se développer après la naissance. Mesurant environ 50 cm de la tête aux pieds et pesant environ 3,5 kg, le bébé est prêt à commencer sa vie en dehors de l'utérus maternel.

[10] [8]

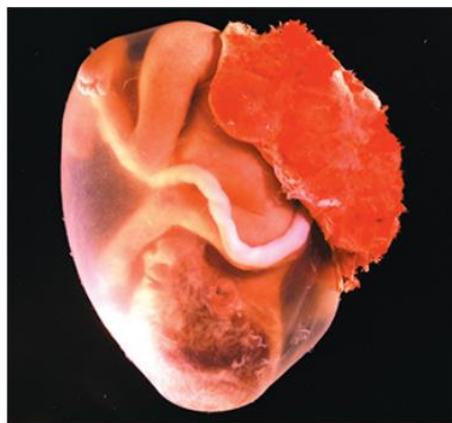


Figure I. 4 fœtus à la fin de troisième trimestre. [12]

### **I.3 L'Échographie :**

L'échographie est une technique médicale polyvalente utilisant des ultrasons pour visualiser les organes internes et les structures du corps. Elle est largement employée pour diagnostiquer des anomalies, surveiller la croissance fœtale et évaluer la santé pendant la grossesse. En utilisant une sonde émettant des ultrasons, les images en temps réel sont affichées sur un écran vidéo, fournissant aux médecins des informations précieuses sur le développement du fœtus et la santé de la mère. De la mesure de la tête et du périmètre abdominal aux évaluations du placenta et du flux sanguin, chaque aspect de l'échographie contribue à garantir une grossesse saine et un accouchement réussi.

#### **I.3.1 Le Principe de L'Échographie :**

L'échographie est une technique d'imagerie médicale polyvalente qui permet l'examen détaillé de divers organes et structures internes du corps, tels que l'abdomen, le petit bassin, le cou (y compris la thyroïde, les ganglions, le foie, la rate, le pancréas, les reins, la vessie et les organes génitaux), ainsi que les vaisseaux sanguins (artères et veines), les ligaments, la circulation sanguine grâce au Doppler, et le cœur. Son utilisation vise à détecter d'éventuelles anomalies telles que des tumeurs, des infections ou des malformations, et peut parfois être utilisée pour guider des prélèvements en profondeur.

Le principe de l'échographie repose sur l'utilisation d'une sonde, semblable à un stylo, qui est placée contre la peau au niveau de la zone à examiner. Cette sonde émet des ultrasons qui pénètrent les tissus et sont renvoyés sous forme d'écho. Ces signaux sont ensuite captés par un système informatique qui les transforme en images en temps réel affichées sur un écran vidéo. Pour récapituler, l'échographie se compose principalement de quatre éléments : la sonde qui émet et reçoit les ultrasons, l'écran vidéo qui affiche les images, le système informatique qui les traite, et le panneau de commande permettant de contrôler l'appareil.

Pendant la grossesse, l'échographie est également employée pour évaluer la vitalité et le développement du fœtus, détecter d'éventuelles anomalies et parfois déterminer le sexe du bébé.

Cet examen médical complexe permet de vérifier le développement du fœtus, de détecter des malformations, des anomalies ou un retard de croissance et de s'assurer de la viabilité de l'embryon ou du fœtus. Il permet aussi de s'assurer que l'environnement du fœtus (liquide amniotique et placenta) est adéquat.[13]



Figure I. 5 L'appareil permettant d'effectuer une échographie est l'échographe [14]

- La sonde : Elle permet l'émission et la réception des ultrasons.
- Le moniteur : C'est sur lui que l'image s'affiche.
- Le gel : Il est appliqué sur le ventre de la femme afin que l'atténuation des ultrasons, due à la fine couche d'air entre la sonde et le ventre, soit plus faible. En effet, son impédance acoustique avoisine celle de la peau.

### I.3.2 Echographie Lors de La Grossesse :

#### I.3.2.1 L'échographie du premier trimestre :

La première échographie, également connue sous le nom d'échographie de datation, programmée entre la 11<sup>e</sup> et la 13<sup>e</sup> semaine d'aménorrhée, soit environ trois mois de grossesse, elle vise à confirmer que la grossesse évolue normalement, en vérifiant la présence d'un embryon ou de plusieurs, et en examinant leur développement initial. Cette échographie permet également de préciser le terme de la grossesse, fournissant ainsi une estimation de la date présumée d'accouchement et d'identifier certaines anomalies embryonnaires. Bien qu'elle ne soit pas en mesure de détecter toutes les malformations, elle peut repérer certaines anomalies graves. Ainsi, d'autres échographies ultérieures, notamment celle du deuxième trimestre, seront nécessaires pour compléter l'évaluation du développement fœtal et détecter d'éventuelles anomalies qui pourraient apparaître plus tard dans la grossesse.

Quant au dépistage de la trisomie 21, bien que l'échographie ne permette pas de poser un diagnostic définitif, elle contribue à évaluer le risque en mesurant la clarté de la nuque de l'embryon. Si cette mesure s'avère significative, des examens complémentaires, tels qu'une prise de sang ou une amniocentèse, peuvent être proposés pour affiner l'estimation du risque.[15][16]

### I.3.2.2 L'Echographie de Deuxième Trimestre :

L'échographie du deuxième trimestre, également connue sous le nom d'échographie morphologique, revêt une importance majeure dans le suivi de la grossesse. Elle se déroule généralement autour de la 22e semaine d'aménorrhée et permet d'évaluer la croissance et le développement du fœtus tout en réalisant une étude détaillée de sa morphologie. L'une des caractéristiques les plus attendues de cette échographie est la possibilité de connaître le sexe du bébé.[17]

L'échographie du deuxième trimestre représente une évaluation approfondie et complète du développement fœtal. Cette séance d'imagerie, qui est la plus longue de toutes les échographies prénatales, vise à vérifier plusieurs aspects cruciaux. Tout d'abord, elle confirme la vitalité du fœtus en examinant sa position, son activité cardiaque et ses mouvements actifs. Ensuite, elle évalue la croissance du bébé en prenant des mesures précises, telles que la largeur et le périmètre de la tête, le périmètre de l'abdomen, la longueur du fémur, la largeur du cervelet, ainsi que la longueur des os du nez, en les comparant à des références normales. De plus, cette échographie scrute méticuleusement les différents organes à la recherche d'anomalies morphologiques, notamment au niveau du crâne, de l'encéphale, de la bouche, de l'estomac, des reins, de la vessie, des membres et du cœur. Enfin, l'examen inclut une analyse de la localisation du placenta, de la quantité de liquide amniotique, ainsi qu'une évaluation de la circulation sanguine au niveau du cordon ombilical et des artères utérines grâce à des examens Doppler.[18]

### I.3.3.3 L'Echographie de Troisième Trimestre :

L'échographie du troisième trimestre, également connue sous les noms de "morphologique", "de croissance" ou "de bien-être fœtal" dans les documents médicaux, est recommandée entre la 30e et la 35e semaine d'aménorrhée (SA).

Cette échographie a pour objectif principal de vérifier le bien-être du bébé et de recueillir des informations importantes en prévision de l'accouchement. L'échographiste examine plusieurs aspects cruciaux tels que le développement approprié du fœtus, sa position dans l'utérus

(notamment s'il est en position céphalique ou non), la quantité adéquate de liquide amniotique, ainsi que la position et le bon fonctionnement du placenta. Contrairement aux échographies antérieures où l'ensemble du corps du fœtus était visible à l'écran, cette fois-ci, vous remarquerez que le bébé a considérablement grandi, ce qui signifie que vous ne verrez plus son corps en entier à l'écran.[19]

## I.4 Les Coupes Fœtale :

### I.4.1 La Tête :

La biométrie fœtale, notamment la mesure du diamètre bipariétal (DBP), est une composante essentielle de l'évaluation échographique de la croissance fœtale pendant la grossesse. Le DBP est mesuré entre les deux bosses bipariétales du crâne, généralement sur une coupe transversale symétrique du cerveau fœtal. Cette mesure est cruciale pour déterminer l'âge gestationnel et détecter toute anomalie de croissance. Lors de la mesure du DBP, il est important que la sonde soit perpendiculaire à la tête fœtale, avec une bonne visualisation des structures médianes du crâne, tout en minimisant les artefacts liés à l'échographie.

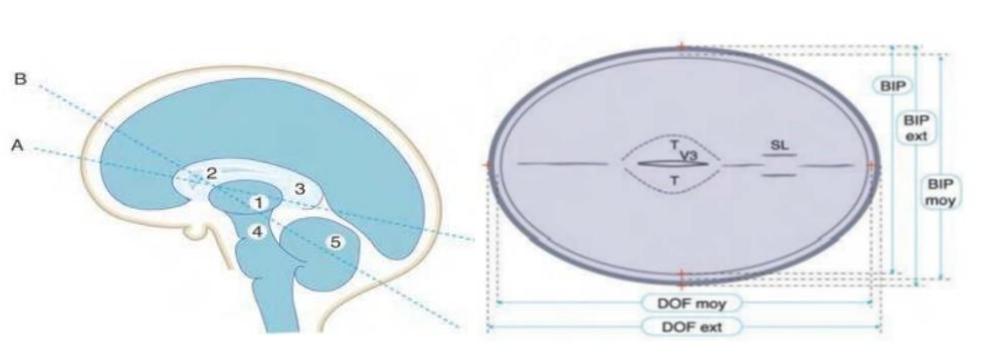


Figure I. 6 Plans de coupe [20]

A : Pour la mesure du BIP et du DOF

B : Pour l'étude du cervelet et de la fosse postérieure

1 : thalamus, 2 : septum lucidum, 3 : corps calleux, 4 : pédoncule et 5 : cervelet.

Cependant, la mesure du DBP peut présenter des difficultés, notamment avec le DBP externe qui est moins précis en raison de variations dues au réglage du gain. Malgré cela, le DBP reste un paramètre clé pour estimer le poids fœtal, en particulier lorsqu'il est combiné avec d'autres mesures telles que le diamètre occipito-frontal (DOF) et le périmètre crânien (PC).

Le DOF est mesuré entre l'os occipital et l'os frontal et est important pour évaluer la forme du crâne. L'index céphalique, calculé à partir du rapport entre le DBP et le DOF, est également utilisé pour identifier des conditions telles que la dolichocéphalie ou la brachycéphalie.

#### I.4.2 Le Placenta :

Le placenta, une structure cruciale développée dans l'utérus pendant la grossesse, assure la fourniture de nutriments et d'oxygène essentiels à la croissance.

Des mesures précises sont prises pour détecter d'éventuelles anomalies telles que les placentomégalies ou les calcifications placentaires, qui pourraient indiquer des problèmes de santé pour la mère ou le fœtus. En cas de placenta bas inséré, les risques potentiels sont examinés en détail pour un bon déroulement de la grossesse et la santé du fœtus.

Le placenta peut être mesuré en termes d'épaisseur, de position et de vascularisation. L'épaisseur du placenta peut être mesurée en prenant une coupe sagittale de l'utérus et en mesurant la distance entre la surface de l'utérus et la surface du placenta. La position du placenta peut être déterminée en visualisant son emplacement par rapport au col de l'utérus et à la partie supérieure de l'utérus. La vascularisation du placenta peut être évaluée en utilisant le mode doppler couleur pour visualiser les vaisseaux sanguins et leur débit sanguin. [21]

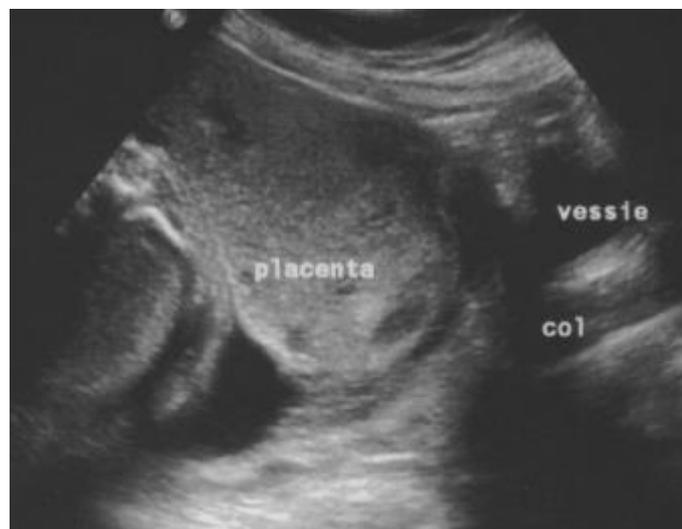


Figure I. 7 image échographique représente le placenta [22]

#### I.4.3 Le Périmètre Abdominal (PA) :

La mesure du périmètre abdominal est essentielle pour surveiller la croissance et estimer le poids fœtal. De plus, elle joue un rôle important dans la datation précise de la grossesse. [23][24]

La méthode de mesure, conforme au standard biométrique établi par le CFEF et l'INSERM, nécessite une coupe transversale de l'abdomen. Cette coupe doit passer devant le sinus porte (1) et derrière la glande surrénale proximale (2). Le sinus porte sert de repère antérieur, tandis que la présence de la surrénale confirme que la coupe est située au-dessus des reins et en dessous des culs-de-sac pulmonaires, constituant ainsi le deuxième repère de la coupe du périmètre abdominal.

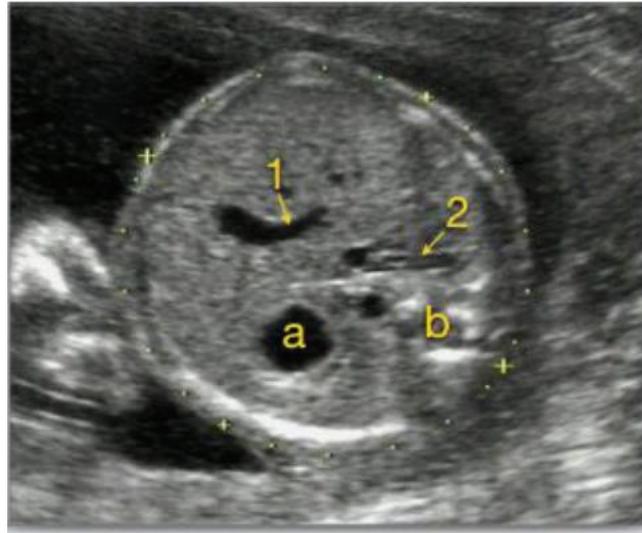


Figure I. 8 Plan de coupe échographique, pour la mesure du PA [24]

Pour mesurer avec précision la circonférence abdominale, certains critères doivent être remplis :

- L'image de l'abdomen doit être une vraie image axiale (c'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir de raccourcissement).
- La circonférence complète de la paroi abdominale doit être visible (idéalement).
- La mesure doit se faire autour de la surface de la peau (pas en profondeur).
- Trois points de repère doivent être visibles (en fonction de l'âge du fœtus) :
  - 1.L'estomac du fœtus.
  - 2.La veine ombilicale.
  - 3.Le sinus porte. [23]

#### **I.4.4 La Longueur Fémorale (LF) :**

Le fémur est l'os le plus long du corps humain. C'est l'os de la cuisse. La mesure de la longueur du fémur (LF) joue un rôle essentiel dans :

- La LF permet d'estimer avec précision l'âge du fœtus pendant la grossesse.

- La LF est un indicateur fiable pour suivre le développement et la croissance du fœtus.
- La mesure de la LF peut aider à détecter des anomalies ou des malformations chez le fœtus avant la naissance.

Ainsi, la mesure de la longueur du fémur est une donnée primordiale pour le suivi du développement fœtal et le dépistage prénatal.

Voici la méthode de mesure de la longueur fémorale (LF) selon le standard biométrique établi par le CFEF et l'INSERM :

Pour obtenir une mesure précise de la LF, il faut réaliser une coupe échographique longitudinale de la cuisse fœtale, orientée de manière à visualiser le plus long axe de la diaphyse fémorale (partie centrale de l'os). Cette coupe doit présenter les éléments suivants :

1. La diaphyse fémorale (d) dans son plus grand axe longitudinal.
2. Les cartilages épiphysaires (e) situés aux deux extrémités de la diaphyse.

La mesure de la LF se fait uniquement sur la portion osseuse de la diaphyse, sans inclure les cartilages épiphysaires aux extrémités.

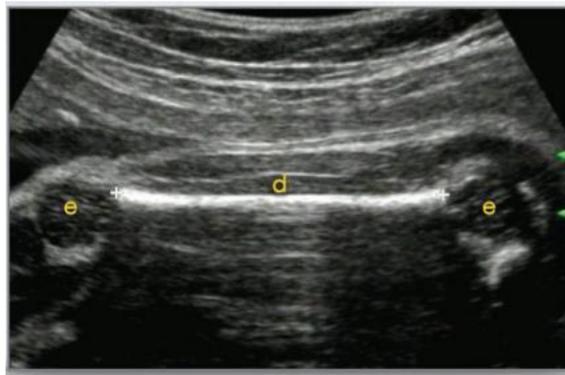


Figure I. 9 Image échographique de la mesure d'une longueur fémorale fœtale [24]

Les critères de qualité pour mesurer le fémur fœtal incluent une coupe frontale avec visualisation du col fémoral, mesure jusqu'au bas de la diaphyse, deux extrémités visibles, un angle  $<45^\circ$  avec l'horizontale, le fémur occupant plus de la moitié de l'image, des calipers bien placés, une rectitude jusqu'au 5ème mois suivie d'une concavité externe, et une adéquation aux courbes de référence. Au 3ème trimestre, l'épiphyse ne doit pas être exclue.

#### **I.4.5 La Circonférence Thoracique :**

La circonférence thoracique fœtale est une mesure clé en obstétrique pour évaluer la croissance et le bien-être du bébé avant la naissance. On l'obtient par échographie en mesurant le tour de

poitrine du fœtus. Cela permet de détecter les fœtus à risque de naître avec un poids insuffisant ou de présenter un retard de croissance.[25]

Les valeurs de la circonférence thoracique peuvent varier d'une série à l'autre en raison de deux facteurs principaux :

1. Les différences dans le plan de coupe utilisé pour effectuer la mesure.
  2. Les différences dans la quantité de peau et de tissu sous-cutané inclus dans la mesure.
- Certaines séries incluent la peau et les tissus sous-cutanés du thorax, tandis que d'autres mesurent uniquement le périmètre extérieur, moyen ou intérieur de la cage thoracique osseuse. Dans notre cas, nous mesurons la circonférence thoracique au niveau de la vue des quatre cavités cardiaques, en excluant la peau et les tissus sous-cutanés. Cette approche est justifiée par les raisons suivantes :

- La taille de la cage thoracique osseuse, plutôt que celle des tissus mous, est susceptible d'influencer le développement des poumons sous-jacents.
- Les anomalies affectant la cage thoracique, comme l'achondrogenèse ou la dysplasie thanatophorique, peuvent entraîner un épaissement des tissus sous-cutanés, ce qui tendrait à surestimer la circonférence thoracique réelle.[26]

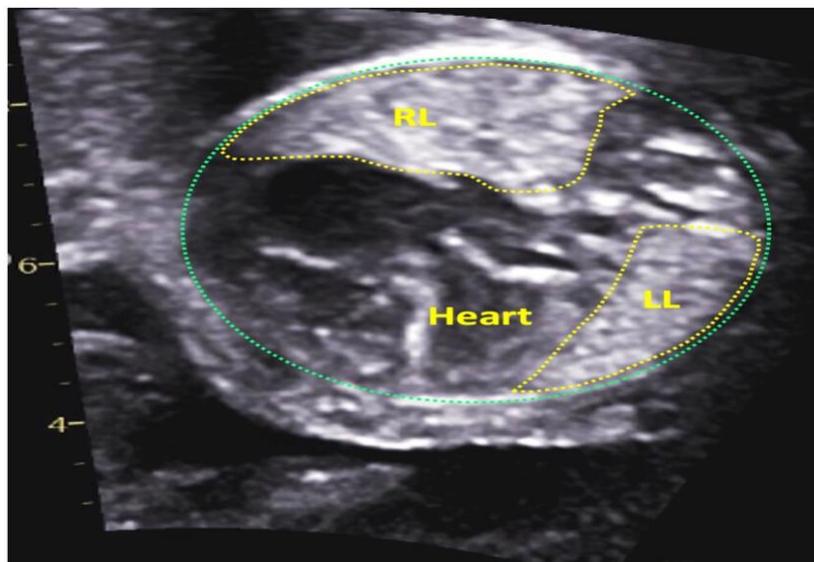


Figure I. 10 Vue axiale échographique bidimensionnelle du thorax du fœtus au niveau des quatre chambres montrant les mesures de traçage de la zone du poumon droit fœtal (RL) et du poumon gauche fœtal (LL) [27]

## **I.5 Les Pathologies de Grossesse :**

La grossesse n'est pas une maladie mais les importantes modifications qu'elle entraîne peuvent être la cause de quelques maladies. Celles-ci sont systématiquement recherchées au cours des différentes consultations de suivi de grossesse. [28]

Certaines maladies infectieuses considérées comme bénignes en temps normal peuvent avoir de graves conséquences sur le bon déroulement de la grossesse. Il est donc essentiel de connaître les bons gestes pour s'en protéger au mieux et de savoir repérer les premiers symptômes pour mettre en place sans tarder une surveillance et un traitement adaptés.[29]

### **I.5.1 Menace d'Accouchement Prématuro :**

La menace d'accouchement prématuré, survenant entre 22 et 37 semaines d'aménorrhée, se caractérise par des contractions utérines douloureuses et des modifications du col de l'utérus (longueur, ouverture, ramollissement) avec parfois une rupture de la poche des eaux ou des saignements utérins. Elle peut être classée en trois degrés de sévérité : légère, moyenne ou modérée, et sévère, en fonction de la fréquence des contractions et des modifications observées au niveau du col utérin. [30]

La mesure de la longueur cervicale par échographie par voie vaginale reste l'examen de choix pour dépister les patientes à risque d'accouchement prématuré. [31]

### **I.5.2 La Toxoplasmose :**

Est une infection fréquemment évoquée chez les femmes enceintes. Elle est causée par un parasite nommé Toxoplasme gondi, transmis par des animaux à sang chaud tels que les chats, les moutons et les porcs. Durant la grossesse, cette infection peut engendrer des conséquences graves pour le fœtus. [32]

Bien que rare, la toxoplasmose congénitale peut être à l'origine d'une maladie neurologique ou oculaire (menant à la cécité) grave [33]

### **I.5.3 Rubéole :**

De nos jours, de nombreuses femmes sont vaccinées contre la rubéole ou l'ont contractée pendant leur enfance. Malgré cette immunisation préventive, il est recommandé de réaliser des tests sérologiques dès la découverte de la grossesse. En effet, si la rubéole est transmise au fœtus, cette maladie infantile peut entraîner de graves complications telles que des

malformations cardiaques, une surdité, des atteintes oculaires, un retard de croissance et des troubles du développement cérébral. [32]

#### **I.5.4 Varicelle :**

La pneumonie varicelleuse présente un risque pour la maman et son bébé, pouvant entraîner une privation d'oxygène chez le nourrisson. Cependant, la complication la plus redoutée est la transmission du virus de la mère au fœtus. Le risque est plus élevé pendant les 20 premières semaines de grossesse. Heureusement, le risque de varicelle congénitale est relativement faible, estimé entre 1 et 2% lorsque la mère est infectée. [34]

Les vaccins contre la varicelle sont contre-indiqués pendant la grossesse. L'injection du vaccin doit donc être précédée d'un test de grossesse négatif. De plus, toute grossesse doit être évitée dans le mois qui suit l'injection des doses de vaccin.[35]

#### **I.5.5 La Listériose**

La *Listeria monocytogenes* est une bactérie présente dans le sol, la végétation et l'eau, pouvant contaminer les aliments, y compris ceux réfrigérés. La listériose, qu'elle provoque, est rare mais grave pendant la grossesse, pouvant entraîner des complications telles que fausses couches, accouchements prématurés et infections néonatales.

Les symptômes chez la femme enceinte incluent fièvre, maux de tête et troubles digestifs, nécessitant une consultation médicale pour un traitement approprié.[29]

#### **I.5.6 Hypertension Artérielle ou Prééclampsie :**

Pendant la grossesse, la prise en charge de l'hypertension artérielle (HTA) dépend de sa gravité. On distingue l'HTA légère à modérée, caractérisée par une pression artérielle systolique (PAS) entre 140 et 159 mmHg ou une pression artérielle diastolique (PAD) entre 90 et 109 mmHg, de l'HTA sévère, où la PAS est à 160 mmHg ou la PAD est à 110 mmHg.

Dans la plupart des cas, l'HTA pendant la grossesse n'est pas accompagnée de protéinurie, ce qui est considéré comme normal. Habituellement, l'HTA diminue quelques semaines après l'accouchement, mais dans certains cas, elle peut persister et devenir une HTA chronique.

Moins fréquemment, l'HTA pendant la grossesse peut être liée à une atteinte rénale qui provoque la présence de protéines dans les urines, dépassant généralement 0,3 g/24 heures. Dans ces cas, il existe un risque accru de développer une prééclampsie. [36]

### I.5.7 Le Diabète Gestationnel :

Le diabète gestationnel (DG) est un trouble de la tolérance au glucose survenant pendant la grossesse, sans considération de son évolution post-partum. Deux situations sont distinguées : l'anomalie glycémique apparue pendant la grossesse, souvent en deuxième partie, et disparaissant temporairement après l'accouchement ; et le diabète préexistant, généralement de type 2, découvert pendant la grossesse et persistant après l'accouchement. Un dépistage est recommandé dès le début de la grossesse chez les femmes à risque de diabète. Une glycémie à jeun  $\geq 1,26$  g/l chez une femme enceinte indique un diabète découvert pendant la grossesse. Le diabète préexistant et le diabète gestationnel sont considérés comme distincts, nécessitant une prise en charge spécifique.[37]

### I.5.8 Placenta Prævia :

Le placenta prævia est une complication de la grossesse caractérisée par une insertion anormale du placenta sur le segment inférieur de l'utérus au lieu d'être fixé sur le fond utérin. Les principaux facteurs de risque incluent la multiparité et un antécédent de césarienne.

Il existe quatre types de placenta prævia :

1. Placenta prævia totalement recouvrant.
2. Placenta prævia partiellement recouvrant.
3. Placenta prævia marginal.
4. Placenta prævia latéral.

Ces différentes présentations du placenta prævia peuvent entraîner des complications graves lors de l'accouchement, telles que des saignements abondants et un risque accru de mortalité maternelle et fœtale. Dans de nombreux cas, un accouchement par césarienne est nécessaire pour éviter ces complications potentiellement dangereuses. [38]

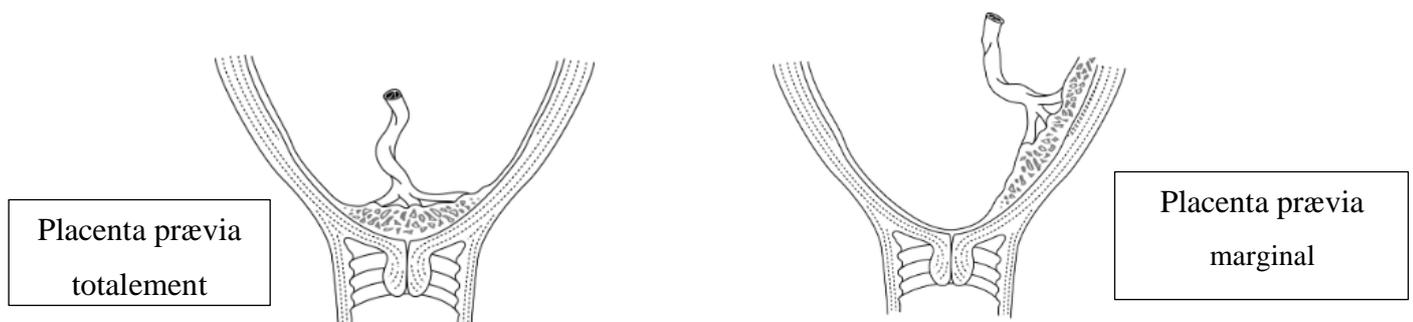


Figure I. 11 les deux types de Placenta prævia [38]

**I.5.9 Grossesse Extra-utérine :**

Une grossesse extra-utérine survient lorsque l'ovule fécondé s'implante en dehors de la cavité utérine. Normalement, l'ovule se déplace dans la trompe de Fallope jusqu'à l'utérus pour s'y implanter et se développer. Cependant, dans une grossesse extra-utérine, l'implantation se produit ailleurs. Cette condition est relativement rare, représentant environ 2% de toutes les grossesses. Dans la plupart des cas (plus de 90%), l'ovule fécondé se fixe à la paroi de la trompe de Fallope, ce qui donne une grossesse extra-utérine tubaire. Parfois, l'œuf peut s'implanter dans d'autres endroits, comme l'ovaire, le col de l'utérus ou la cavité abdominale. Cependant, seul l'utérus peut soutenir le développement d'un embryon en bonne santé. Dans le cas d'une grossesse extra-utérine tubaire, il existe un risque de rupture de la trompe de Fallope, entraînant une hémorragie interne. Cette complication nécessite une intervention médicale d'urgence car elle peut mettre la vie en danger. [39]

**I.5.10 Rupture Prématuro des Membranes :**

Appelée aussi rupture de la poche des eaux ou perte des eaux [40] . La rupture prématurée des membranes, survenant dans environ 3% des grossesses avant 37 semaines, est associée à diverses complications graves, dont certaines peuvent entraîner un accouchement prématuré. Ces complications comprennent la chorioamniotite, qui peut provoquer un travail prématuré et mettre en danger le fœtus, ainsi que des accidents de cordon ou des décollements placentaires, pouvant également entraîner un accouchement prématuré et des complications respiratoires sévères chez le nouveau-né prématuré.

Cependant, ces complications peuvent être évitées grâce à une surveillance médicale étroite et à des traitements spécifiques adaptés à chaque situation.[41]

**I.5.11 Le Retard de Croissance Intra-Utérin (RCIU) :**

Est une condition qui se produit lorsque le fœtus ne se développe pas à un rythme normal dans l'utérus. Cela signifie que le fœtus est plus petit que ce qu'on attendrait pour son âge gestationnel. Habituellement, cela est détecté lors d'une échographie prénatale où les mesures du fœtus, telles que le diamètre de la tête, le périmètre abdominal et la longueur des os, sont comparées à des courbes de référence en fonction de l'âge gestationnel.

Il existe deux types principaux de RCIU :

1. Les RCIU harmonieux : Dans ce cas, le fœtus montre un retard de croissance uniforme, affectant tous les paramètres mesurés. Ce type de RCIU est généralement associé à des problèmes génétiques et peut être détecté tôt pendant la grossesse.

2. Les RCIU disharmonieux : Ce type de RCIU se produit plus tard dans la grossesse.

Initialement, le retard de croissance affecte principalement les mesures abdominales du fœtus, et il peut être causé par des problèmes de circulation sanguine dans le placenta.

Il est important de noter que la simple présence d'un RCIU, défini par des mesures inférieures au 10e percentile par rapport aux normes de croissance, ne signifie pas nécessairement qu'il y a une pathologie sous-jacente. Cependant, une surveillance étroite est nécessaire pour s'assurer que le fœtus continue de se développer normalement et pour identifier toute cause potentielle de ce retard de croissance. [42]

### **Conclusion :**

Ce chapitre a permis d'approfondir notre compréhension du processus complexe du développement prénatal. Nous avons examiné les différentes techniques médicales d'imagerie (l'échographie), utilisées pour suivre et évaluer la croissance du fœtus. En outre, nous avons exploré les pathologies et complications pouvant affecter la santé de la mère et du fœtus pendant cette période cruciale, nécessitant ainsi une surveillance et des soins particuliers.

# CHAPITRE II

MODELE D'APPRENTISSAGE

APPROFONDI POUR LA

CLASSIFICATION

## Introduction :

Le développement de l'intelligence artificielle (IA), qui consiste à doter les machines de capacités humaines de traitement des données, des informations et des connaissances, a révolutionné le domaine médical. L'IA a rendu possible la numérisation et l'analyse automatisée des images médicales, ainsi que l'exploitation des données textuelles rédigées en langage naturel. Cette avancée technologique repose sur le machine Learning (ML), un champ de l'IA permettant aux machines d'apprendre à partir de données, et plus particulièrement sur le Deep Learning (DL). Le DL, étant un sous-ensemble du ML basé sur des algorithmes itératifs complexes, a permis d'atteindre des niveaux de performance inégalés dans l'analyse et le traitement des données médicales.

Les CNN sont une architecture de DL très performante pour la classification d'images, mais les ViT, en exploitant les mécanismes d'attention, représentent une nouvelle approche de DL prometteuse pour relever les défis restants dans ce domaine.

Dans ce chapitre, nous explorerons en profondeur les modèles de deep learning pour la classification, en mettant un accent particulier sur les Vision Transformers. Nous examinerons leurs mécanismes, leurs avantages par rapport aux CNN, et comment ils peuvent être appliqués efficacement pour des tâches de classification d'images.

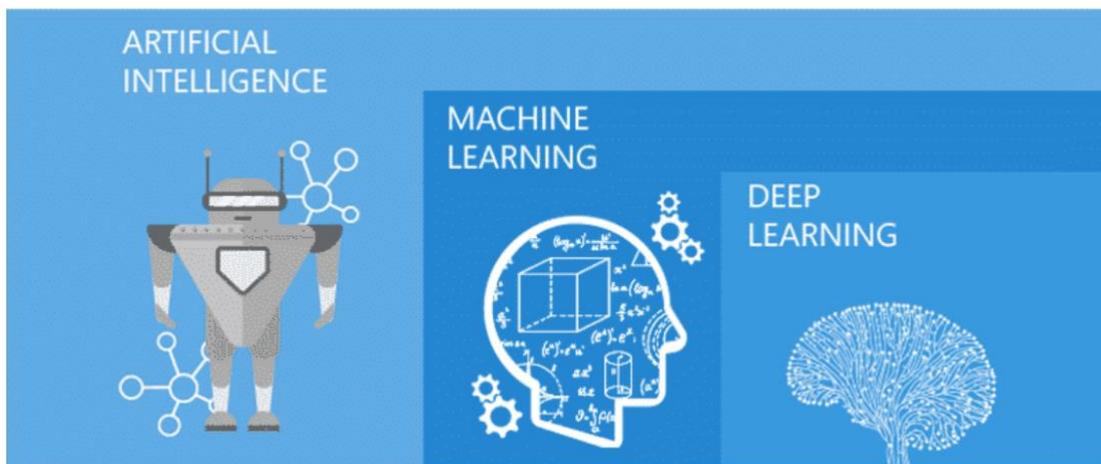


Figure II. 1 l'intelligence artificielle à l'apprentissage profond.[43]

### II.1 Transformateur de Vision (ViT) :

Proposés en 2020 par Dosovitskiy et al., les Vision Transformers ou ViT sont des modèles de réseaux de neurones inspirés de l'architecture Transformer, initialement développée pour le traitement du langage naturel, mais adaptée au traitement d'images. Lorsqu'entraînés sur de

grands ensembles de données, ces ViT ont démontré des performances supérieures aux réseaux de neurones convolutionnels (CNN) de pointe pour les tâches de classification d'images. Bien que présentant un biais inductif plus faible que les CNN, les ViT parviennent à obtenir des résultats compétitifs grâce à leur capacité d'attention globale qui leur permet de saisir les dépendances à longue portée dans les images. Néanmoins, l'entraînement des ViT requiert d'importantes ressources en termes de quantités de données et de puissance de calcul, limitant ainsi les possibilités de modification de ces modèles.[44][45]

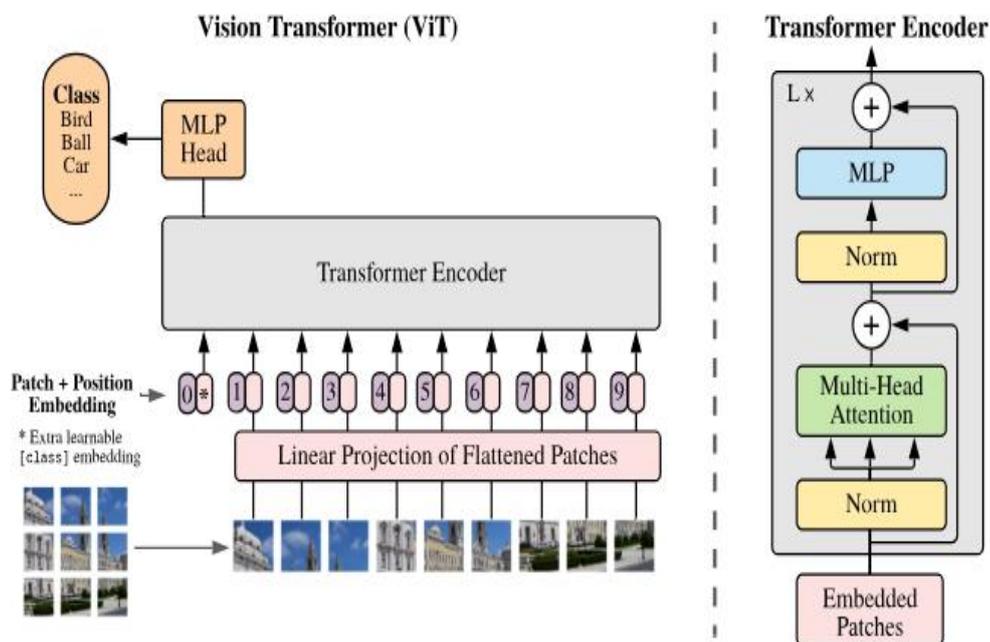


Figure II. 2 L'architecture Transformateur de vision [44]

## II.2 Structure de L'Architecture Transformateur de Vision :

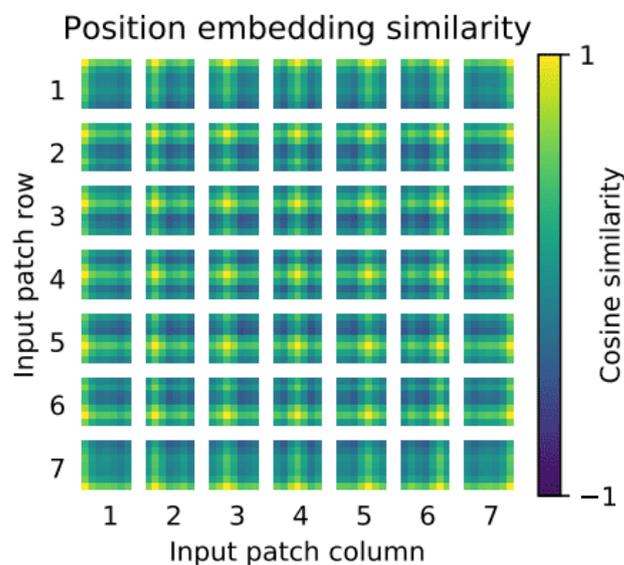
### II.2.1 Le Patch Embedding :

Le patch embedding est le premier élément clé de la structure d'un transformateur. Pour le créer, les cartes de caractéristiques d'entrée sont généralement traitées comme suit : l'image d'entrée  $x \in \mathbb{R}^{H \times W \times C}$  (hauteur, largeur, canaux de couleur) est d'abord divisée en  $N$  patches de taille fixe  $P \times P$  où  $N = H \cdot W / P^2$ . Similairement à une séquence de mots dans les tâches de traitement du langage naturel (NLP), un patch est une matrice de pixels contenant une partie de l'image d'entrée, c'est-à-dire un sous-ensemble des données d'entrée. Chaque patch est ensuite aplati pour obtenir une séquence de  $n$  entités, puis multiplié par un tenseur d'embedding entraînable qui apprend à projeter linéairement chaque patch aplati dans un espace de

dimension  $d$ . Cela donne  $n$  patches intégrés de forme  $1 \times d$ , que l'on peut généralement noter  $N \in \mathbb{R}^{n \times d}$ . [46]

### II.2.2 Position Embedding :

Le Position Embedding est une étape essentielle dans les architectures de modèles visuels, permettant au réseau de comprendre la position des patches dans une image. Il consiste à générer des indices de position pour chaque patch, puis à les encoder à l'aide d'une couche d'embedding. Ces embeddings de position sont combinés avec les embeddings de patches, préservant ainsi les relations spatiales entre les patches et fusionnant les informations visuelles et spatiales. Cette fusion permet au modèle de conserver le contexte structurel de l'image, améliorant ainsi sa capacité à reconnaître les motifs et les caractéristiques visuelles. [47]



### II.2.3 Token Embedding:

Le token embedding joue un rôle crucial dans les architectures Vision Transformer (ViT). Cette couche a pour objectif d'ajouter un token de classe apprenable aux embeddings d'entrée. Dans le modèle ViT, chaque image d'entrée est divisée en patches, et ces patches sont ensuite intégrés dans un espace de dimension supérieure pour capturer les caractéristiques visuelles. Cependant, pour que le modèle comprenne le contexte global de l'image, une représentation globale de l'ensemble de l'image est nécessaire. C'est ici qu'intervient le token de classe, permettant au modèle de disposer d'une vue d'ensemble contextuelle de l'image.

Ce jeton, souvent noté CLS, est ajouté comme jeton spécial au début de la séquence de patches d'entrée et représente une vue agrégée de l'ensemble de l'image. Ainsi, le token CLS est crucial

pour permettre au modèle ViT de comprendre et de traiter l'ensemble de l'image dans son contexte.[48]

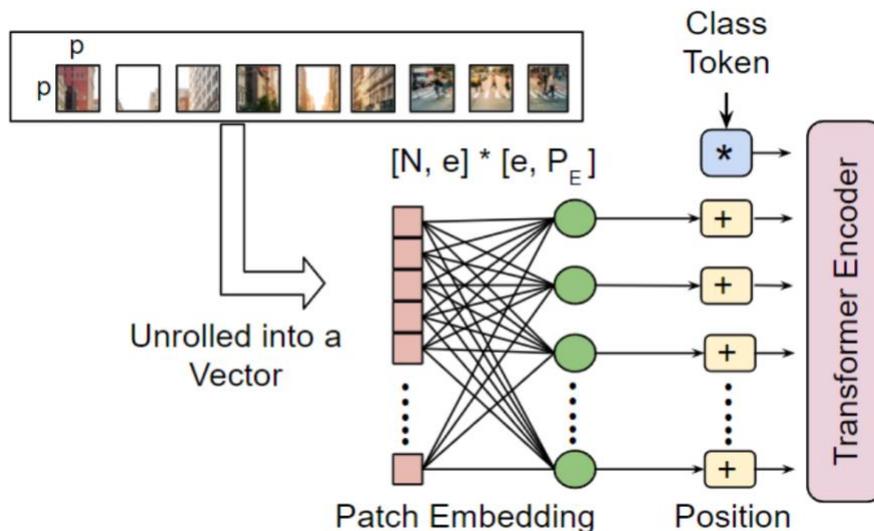


Figure II. 4 ViT Patch and Position Embedding. [49]

$p$ : Patch size.

$e$ : Embedding dimension.

$P_E$ : Output dimension.

#### II.2.4 Transformer Encoder :

L'encodeur de Transformer pour le traitement d'images est essentiellement composé des éléments suivants :

- Le mécanisme d'auto-attention à plusieurs têtes (MSA) permet au modèle de calculer l'importance relative de chaque élément de la séquence, comme chaque patch de l'image, en fonction de son contexte. À cet effet, il utilise des matrices de clés (K), de valeurs (V) et de requêtes (Q). Les matrices de clés (K) capturent les relations entre les éléments, les matrices de requêtes (Q) déterminent l'importance relative de chaque élément, et les matrices de valeurs (V) représentent les informations associées à chaque élément. En utilisant plusieurs "têtes" d'attention en parallèle, le modèle peut capturer des dépendances à longue distance dans l'image et générer des représentations riches et significatives des données d'entrée. Chaque tête d'attention évalue différentes parties de l'image, permettant ainsi au modèle de saisir des relations complexes entre les patches et d'exploiter efficacement le contexte global de l'image. [50][51][52][53]

- **Réseau neuronal à rétroaction par position (FFN) :** Ce composant applique des transformations linéaires et non linéaires à chaque élément de la séquence de manière autonome. Ces transformations permettent d'ajuster les valeurs internes du modèle pour répondre aux besoins spécifiques de la tâche, tels que la classification d'images. Le FFN contribue à la flexibilité et à la capacité d'adaptation du modèle en permettant des ajustements locaux des représentations.
- **Connexions résiduelles et normalisation des couches :** Pour garantir la stabilité et les performances de l'entraînement, les connexions résiduelles sont utilisées pour faciliter la propagation de l'information à travers les différentes couches du réseau. La normalisation des couches maintient les valeurs des sorties dans une plage stable, favorisant ainsi la convergence de l'entraînement. Ces deux techniques sont cruciales pour éviter les problèmes de vanishing gradients et accélérer l'apprentissage en permettant un flux d'informations efficace à travers le réseau. [50][51][52]

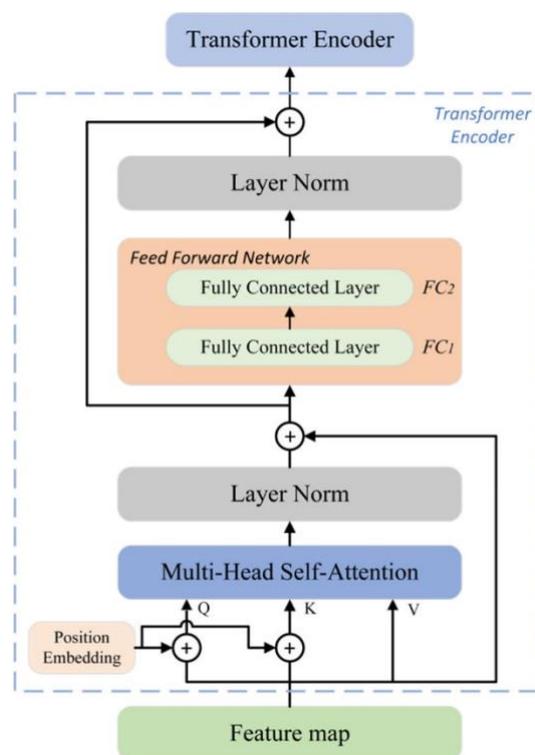


Figure II. 5 Transformer encoder. [53]

### II.2.5 Classification Head :

Après avoir appliqué l'encodeur Transformer à la séquence de patches d'images, la sortie est dirigée vers un composant spécifique aux Vision Transformers appelé "classification head". Ce

dernier est constitué d'un MLP (perceptron multi-couches) avec une seule couche cachée lors de l'entraînement préalable, et d'une seule couche linéaire pendant le fine-tuning. Son rôle est de prendre la sortie de l'encodeur Transformer, qui représente les patches d'images, et de générer une sortie de classification basée sur cette représentation. Cette sortie de classification est ensuite soumise à une fonction softmax, qui convertit les scores en probabilités, permettant ainsi de prédire la classe de l'image dans le contexte des Vision Transformers.

La formule mathématique du softmax est la suivante :

$$\text{softmax}(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j=1}^N e^{z_j}}$$

$Z_i$  est le score brut associé à la classe  $i$  et  $N$  est le nombre total de classes.[54][55]

### II.3 Les Modèles ViT :

La seule chose qui change est le nombre de ces blocs. Dans ce but, et pour démontrer davantage qu'avec plus de données ils peuvent entraîner des variantes plus grandes de ViT, trois modèles ont été proposés :

Tableau II.1 Variantes du modèle Vision Transformer [44].

Model	Layers	Hidden size D	MLP size	Heads	Params
ViT-Base	12	768	3027	12	86M
ViT-Large	24	1024	4096	16	307M
ViT-Huge	32	1280	5120	16	632M

Le tableau des modèles ViT fourni des informations importantes sur l'architecture et la capacité de chaque modèle. Voici une explication détaillée de chaque colonne :

- **Couches (Layers) :** Cette colonne indique le nombre de couches de transformateur dans le modèle ViT.
- **Heads :** désigne l'aspect multi-têtes de l'attention.
- **MLP size :** fait référence à la partie bleue du schéma, où MLP (perceptron multi-couches) représente une série de couches de transformation linéaire.

- **Hidden size D** : représente la taille de l'espace d'intégration, qui reste constante à travers les différentes couches. Cette stabilité permet l'utilisation de connexions résiduelles courtes. Il n'y a pas de décodeur, seulement une couche linéaire supplémentaire pour la classification finale, appelée "tête MLP".[56]
- **Paramètres (Params)** : Cette colonne indique le nombre total de paramètres du modèle ViT, en millions (M). Le nombre de paramètres est une mesure de la complexité du modèle et indique la quantité de données nécessaire pour entraîner le modèle efficacement.

### II.3.1 Analyse des Modèles ViT :

Le tableau fournit une analyse des trois modèles ViT : ViT-Base, ViT-Large et ViT-Huge. On peut observer les points suivants :

#### II.3.1.1 ViT-Base :

Le ViT-Base est un modèle Vision Transformer équilibré, offrant un bon compromis entre performances élevées et complexité computationnelle raisonnable. Il convient parfaitement aux tâches standards de reconnaissance et classification d'images, sans nécessiter une puissance de calcul excessive. Bien que d'une taille intermédiaire, ce modèle atteint des niveaux de précision très satisfaisants pour la plupart des cas d'utilisation courants, tout en ayant une empreinte computationnelle modérée, avantageuse lorsque les ressources sont limitées. Exemple : ViT\_B/16, ViT\_B/32.

#### II.3.1.2 ViT-Large :

Le ViT-Large est une variante plus puissante et complexe des Vision Transformers. Avec une architecture de grande taille, ce modèle dispose de capacités accrues pour modéliser finement les relations et dépendances complexes dans les images. Il est recommandé pour les tâches de vision par ordinateur avancées nécessitant une grande capacité de modélisation, telles que la détection d'objets ou la segmentation sémantique. Bien que plus exigeant en puissance de calcul, le ViT-Large offre des performances optimales au prix d'une complexité supérieure aux variantes plus légères. C'est l'option idéale lorsque des résultats de très haute précision sont recherchés pour des problèmes visuels sophistiqués. Exemple : ViT\_L/16, ViT\_L/32.

### II.3.1.3 ViT-Huge :

Le ViT-Huge est la version Vision Transformer la plus puissante, dotée d'une capacité de modélisation massive. Conçu pour les tâches de vision par ordinateur les plus exigeantes nécessitant une compréhension visuelle très approfondie, ce modèle dispose de ressources computationnelles colossales lui permettant de modéliser les relations les plus fines et complexes au sein des images, pour atteindre des niveaux de précision inégalés. Cependant, cette puissance extrême requiert un matériel de pointe très performant comme des GPU ou TPU haut de gamme. Le ViT-Huge est réservé aux applications critiques où les meilleures performances sont indispensables, quel que soit le coût computationnel, comme l'analyse d'images médicales détaillées ou l'inspection industrielle à tolérance zéro. C'est l'option ultime lorsqu'aucun compromis n'est permis en termes de précision. Exemple : ViT\_H/14. [44]

Le choix du modèle ViT à utiliser pour une tâche donnée dépend de plusieurs facteurs, tels que la taille et la complexité des images, les ressources de calcul disponibles et les performances souhaitées.

## **II.4 Domaine D'application :**

Les transformateurs de vision (ViT) trouvent de multiples applications dans diverses tâches de reconnaissance d'images, telles que la détection d'objets, la segmentation, la classification d'images et la reconnaissance d'actions. De plus, ils sont utilisés dans des domaines tels que la modélisation générative et les tâches multi-modales, notamment l'ancrage visuel, la réponse visuelle aux questions et le raisonnement visuel.

La prévision vidéo et la reconnaissance d'activités font partie intégrante du traitement vidéo, où les ViT sont également nécessaires. En outre, l'amélioration d'images, la colorisation et la super-résolution d'images font appel à ces modèles. Enfin, les ViT trouvent des applications dans l'analyse 3D, notamment la segmentation et la classification des nuages de points.[56]

## **II.5 Comparaison des Transformateurs de Vision et des Réseaux de Neurones Convolutifs pour la Classification des Images :**

Les CNN et les ViT sont deux approches majeures pour traiter les données d'images, mais diffèrent fondamentalement dans leur façon de modéliser et d'extraire les informations pertinentes.

Les CNN reposent sur un apprentissage hiérarchique de caractéristiques visuelles à travers des opérations de convolution locale et de pooling. Cela leur permet de bien capturer les motifs

spatiaux et les détails de bas niveau présents dans les images. Cette induction de biais spatiaux rend les CNN particulièrement adaptés aux tâches où les relations locales entre pixels sont cruciales. De plus, leur architecture relativement légère les rend utilisables avec des ressources calculatoires limitées.

À l'inverse, les ViT traitent les images comme des séquences de tokens, sans aucune opération de convolution. Ils capturent plutôt les relations à longue portée entre les différentes parties de l'image grâce à leurs mécanismes d'auto-attention. Cette approche leur confère une grande flexibilité pour modéliser des dépendances complexes sans contrainte spatiale. Cependant, cette faible induction de biais nécessite généralement plus de données et de régularisation lors de l'entraînement.

Les CNN misent sur la détection de motifs spatiaux locaux tandis que les ViT excellent dans la modélisation des dépendances d'ordre supérieur entre régions distantes de l'image, au prix d'une plus grande complexité calculatoire.

Bien que différents, les ViT ont montré des performances compétitives par rapport aux CNN sur la classification d'images, prouvant leur capacité à extraire efficacement les caractéristiques visuelles pertinentes, tout en capturant mieux les interactions globales au sein des images.[48][57][58]

## **Conclusion :**

Ce chapitre a porté sur une innovation récente et prometteuse pour la classification d'images : les Vision Transformers (ViT). Après avoir défini ce que sont ces modèles, nous avons examiné en détail leur structure et leur fonctionnement basés sur les mécanismes d'attention. Cette approche permet aux ViT de saisir les dépendances globales au sein des images, les différenciant ainsi des architectures de réseaux de neurones convolutionnels classiques. Les applications et les performances encourageantes des ViT dans les tâches de vision par ordinateur ont également été abordées, positionnant ces modèles comme une alternative puissante aux techniques traditionnelles de classification d'images.

# Chapitre III

CLASSIFICATION DES IMAGES  
BIOMETRIQUES FŒTALES

### III. Introduction :

L'objectif de ce chapitre est d'appliquer les architectures Vision Transformer ViT\_L16 et ViT\_B16 pour classifier un ensemble d'images de biométrie embryonnaire.

### III. 1 Les Outils, Logiciels et Les Bibliothèque Utilisés :

#### III. 1.1 Pandas :

Pandas est une bibliothèque Python développée depuis 2008, offrant des structures de données rapides, flexibles et intuitives pour travailler avec des données relationnelles ou étiquetées. Elle vise à combler l'écart entre Python et les plateformes de calcul statistique spécifiques, en proposant des fonctionnalités telles que l'alignement automatique des données et l'indexation hiérarchique, rarement intégrées ailleurs. Initialement conçue pour l'analyse financière, Pandas est devenue un outil clé pour l'analyse de données en Python, prisé par les académiciens et les industriels. Le nom "Pandas" provient de "panel data", un terme utilisé en statistique. Pour plus de détails, consultez la documentation en ligne.[59][60]



Figure III. 1 Logo de Pandas [61]

#### III. 1.2 TensorFlow :

TensorFlow est une bibliothèque open source de Machine Learning et de Deep Learning développée par Google. Elle permet de créer et d'exécuter des applications de Machine Learning en fournissant un ensemble d'outils pour résoudre des problèmes mathématiques complexes. TensorFlow fonctionne en représentant les calculs sous forme de graphiques de dataflow, où chaque nœud représente une opération mathématique et chaque connexion entre les nœuds est une flèche de données multidimensionnelle, appelée tensor. Ces graphiques décrivent la manière dont les données circulent à travers un système de traitement. Bien que les applications TensorFlow soient écrites en Python, les opérations mathématiques elles-

mêmes sont réalisées en C++ haute-performance, offrant ainsi une exécution efficace. TensorFlow peut être utilisé pour diverses tâches telles que la classification d'images, la reconnaissance de texte, ou encore la traduction automatique, et peut être déployé sur différentes plateformes, y compris les clusters cloud, les appareils mobiles, et même des unités de traitement spécialisées comme les TPUs sur la Google Cloud Platform.[62]



Figure III. 2 TensorFlow [63]

### III. 1.3 Python :

Python est un langage de programmation polyvalent et puissant, créé en 1989 par Guido van Rossum aux Pays-Bas, nommé d'après la série télévisée Monty Python's Flying Circus. La première version publique a été publiée en 1991, et la dernière version majeure, Python 3.11, est sortie en octobre 2022. Python 2 n'est plus maintenu. Organisé par la Python Software Foundation, Python fonctionne sur divers systèmes d'exploitation, du Raspberry Pi aux supercalculateurs, et est gratuit, pouvant être installé sur un nombre illimité d'appareils, y compris les téléphones. En tant que langage de haut niveau et interprété, Python ne nécessite pas de compilation préalable, contrairement à des langages comme le C ou le C++. Orienté objet, il facilite la modélisation d'entités réelles et est apprécié pour sa lisibilité, sa simplicité d'utilisation et son vaste écosystème de bibliothèques open-source. Cette simplicité d'apprentissage le rend populaire dans des domaines tels que la bioinformatique, l'analyse de données, et la data science, attirant ainsi une communauté diversifiée de statisticiens, développeurs, gestionnaires d'applications et chercheurs.[64][65][66]



Figure III. 3 Python Logo [66]

### III.1.4 Jupyter Notebook and Google Colaboratory:

Jupyter Notebook, quant à lui, est une application web open-source permettant de créer et de partager des documents interactifs intégrant du code, des équations, des visualisations et du

texte narratif. Compatible avec plus de 40 langages de programmation, dont Python, R, Julia, Scala, et d'autres, les carnets Jupyter sont stockés dans un emplacement appelé "my binder".. Google Colab, ou Colaboratory, est une plateforme de cloud computing proposée par Google, basée sur l'environnement des carnets Jupyter. Elle permet aux utilisateurs de créer, partager et collaborer sur des documents Jupyter Notebook intégrant du code en direct, des équations, des graphiques et du texte narratif. Son intégration avec Google Drive facilite le stockage et le chargement de carnets et d'ensembles de données. Accessible via un navigateur web, Google Colab offre un accès à l'expérimentation en apprentissage automatique et en programmation pour l'intelligence artificielle à toute personne disposant d'une connexion internet. Les utilisateurs peuvent partager et modifier du code en temps réel avec d'autres membres de leur équipe, favorisant ainsi la collaboration.[67][68]



Figure III. 4 Jupyter and Colab logo [67]

### III. 1.5 Keras :

Keras est une bibliothèque Python légère et open source dédiée à l'apprentissage profond, compatible avec Theano et TensorFlow. Conçue par François Chollet, ingénieur chez Google, elle simplifie le développement de modèles de deep learning pour la recherche et le développement, fonctionnant sur Python 2.7 ou 3.6 et utilisable sur GPU et CPU.

Keras repose sur quatre principes clés :

- **Modularité** : Les modèles peuvent être construits comme des séquences ou des graphes, chaque aspect étant un composant distinct, permettant une combinaison flexible.
- **Minimalisme** : La bibliothèque offre juste ce qu'il faut pour obtenir des résultats, sans encombre et en privilégiant la lisibilité.

- **Extensibilité** : Ajouter de nouveaux composants est simple, facilitant l'expansion de la bibliothèque avec des fonctionnalités supplémentaires.
- **Facilité d'utilisation** : Elle permet de créer facilement des couches pour les réseaux de neurones et de mettre en place des architectures complexes.
- Aujourd'hui, Keras est l'une des applications les plus utilisées pour le développement et le test de réseaux de neurones, grâce à sa flexibilité et à son adaptation à la recherche et à l'innovation [69][70].



Figure III. 5 Logo de Karas [71]

### III. 2 Base de Données et Préparation des Données pour la Classification des Images:

Dans le cadre de notre travail, nous avons utilisé deux bases de données contenant des images échographiques de fœtus. Nous avons exploité une base de données comprenant 430 images qui ont été acquises à l'EPH Kouba et à la Clinique de Lilas , ensuite nous avons augmenté cette base de données pour atteindre 2550 images, nous avons extraites cette nouvelle base de données de ce site : « <https://zenodo.org/records/3904280> ».

 1	15/05/2024 15:59	Dossier de fichiers
 2	15/05/2024 15:59	Dossier de fichiers
 3	15/05/2024 15:59	Dossier de fichiers
 4	15/05/2024 15:59	Dossier de fichiers
 5	15/05/2024 15:59	Dossier de fichiers

Figure III. 6 Les cinq classes des images

Voilà quelque image de chaque classe :

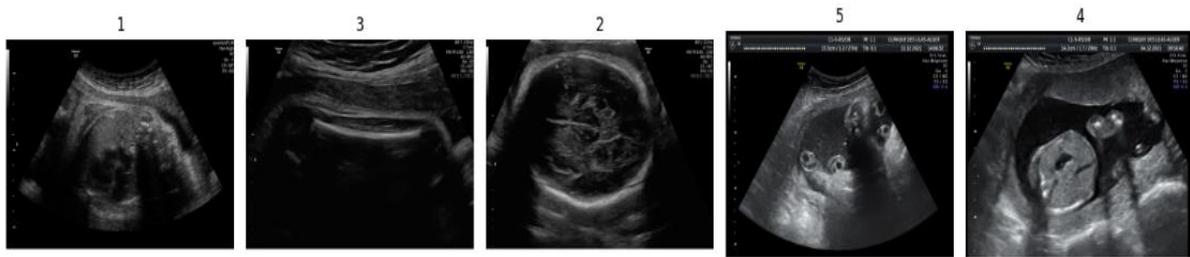


Figure III. 7 Exemples des images de chaque classe.

➤ Base de données de 2550 images :

Par la suite, nous avons augmenté la base de données pour atteindre 2550 images, toujours réparties en cinq classes [1, 2, 3, 4,5]. La classe 1 comprend 510 images de others, la classe 2 contient également 510 images de l'abdomen, la classe 3 comprend 510 images de la tête, la classe 4 contient 510 images du col de l'utérus maternel, tandis que la classe 5 compte 510 images du fémur.

Voilà quelque image de chaque classe :

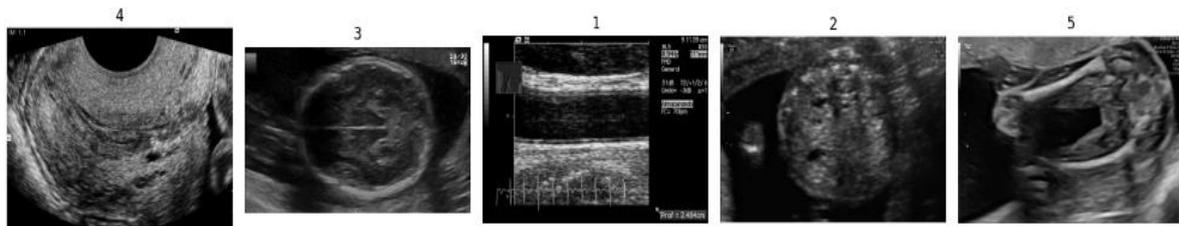


Figure III. 8 Exemples des images de chaque classe.

Dans notre code Python, nous avons divisé chaque base de données en ensembles distincts pour L'entraînement, la validation et les tests. Pour chaque base de données, nous avons alloué 60 % Des images à l'ensemble d'entraînement, 20 % à l'ensemble de validation et les 20 % restants à L'ensemble de test. Cette répartition nous permet d'utiliser un ensemble suffisamment grand Pour entraîner notre modèle, tout en réservant des données pour évaluer sa performance et Ajuster les hyper paramètres.

### III.3 Les Mesure de Performance :

#### III.3.1 Taux de Classification :

La précision est une métrique qui calcule le ratio des prédictions correctes (vrais positifs et vrais négatifs) par rapport au nombre total d'instances.

$$\text{Taux de Classification} = \frac{\text{Vrais Positifs} + \text{Vrais Négatifs}}{\text{Total des Instances}}$$

### III.3.2 Matrice de Confusion :

La matrice de confusion est un outil utilisé pour évaluer la performance des modèles de classification, qu'il s'agisse de deux classes ou plus. Dans le cas binaire (c'est-à-dire avec deux classes, le cas le plus simple), la matrice de confusion est un tableau composé de 4 valeurs qui représentent les différentes combinaisons entre les valeurs réelles et les valeurs prédites, comme illustré dans la figure ci-dessous.

Tableau III.1 Matrice de confusion [73]

Confusion matrix	Negative : 0	Positive : 1
Negative : 0	VN	FN
Positive : 1	FP	VP

- Un vrai positif correspond à un cas où le modèle prédit correctement la classe positive. De même, un vrai négatif correspond à un cas où le modèle prédit correctement la classe négative.
- Un faux positif se produit lorsque le modèle prédit à tort la classe positive. À l'inverse, un faux négatif se produit lorsque le modèle prédit à tort la classe négative. [74]

### III.3.3 La Sensibilité et La Précision :

La précision et La sensibilité sont deux métriques essentielles pour évaluer la performance des modèles de classification, que ce soit pour deux classes ou plus. Dérivées de la matrice de confusion, elles se concentrent spécifiquement sur la performance du modèle concernant les individus positifs :

- **Précision** (aussi appelée valeur prédictive positive) correspond au taux de prédictions correctes parmi les prédictions positives. Elle mesure la capacité du modèle à éviter les erreurs lors des prédictions positives.

$$\text{Précision} = \frac{\text{VP}}{\text{VP} + \text{FP}}$$

- **Sensibilité** : taux de vrais positifs ou encore taux de détection correspond au taux d'individus positifs correctement identifiés par le modèle. Il mesure la capacité du modèle à détecter tous les individus positifs [73].

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP+FN}$$

### III.3.4 Score F1:

Le score F1 est une mesure couramment utilisée pour évaluer les performances des modèles d'apprentissage automatique, en particulier pour les problèmes de classification. Il mesure la capacité d'un modèle à équilibrer la précision et le rappel, deux aspects essentiels de la performance globale.

$$\text{Score F1} = 2 \times \frac{\text{Précision} \times \text{Sensibilité}}{\text{Précision} + \text{Sensibilité}}$$

Le score F1 varie de 0 à 1, des valeurs plus élevées indiquant de meilleures performances [75].

## II.4 Résultats et Discussion :

### III.4.1 Epoque de 10 :

Les résultats suivants concernent le taux de classification et le F1-score des modèles utilisant un taux de dropout de 0.5, 0.6 et 0,7 :

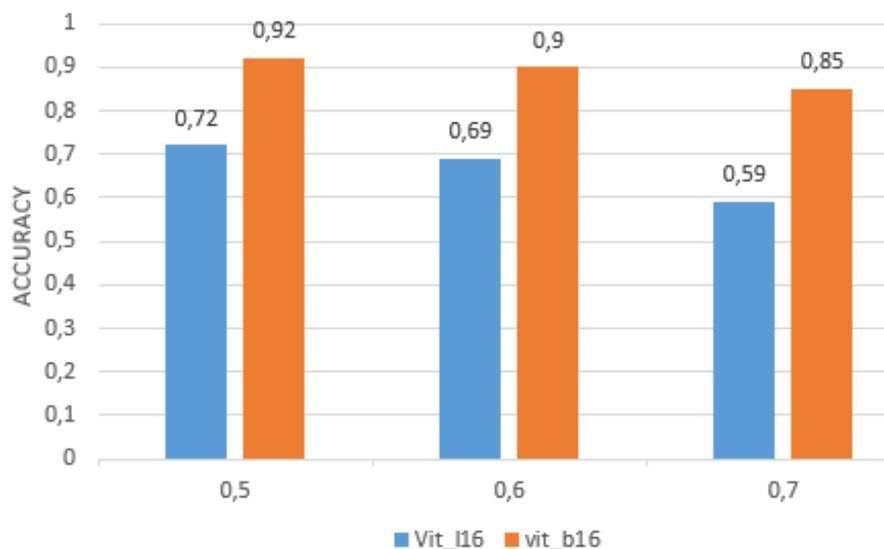


Figure III.9 Histogramme du taux de classification de deux modèles

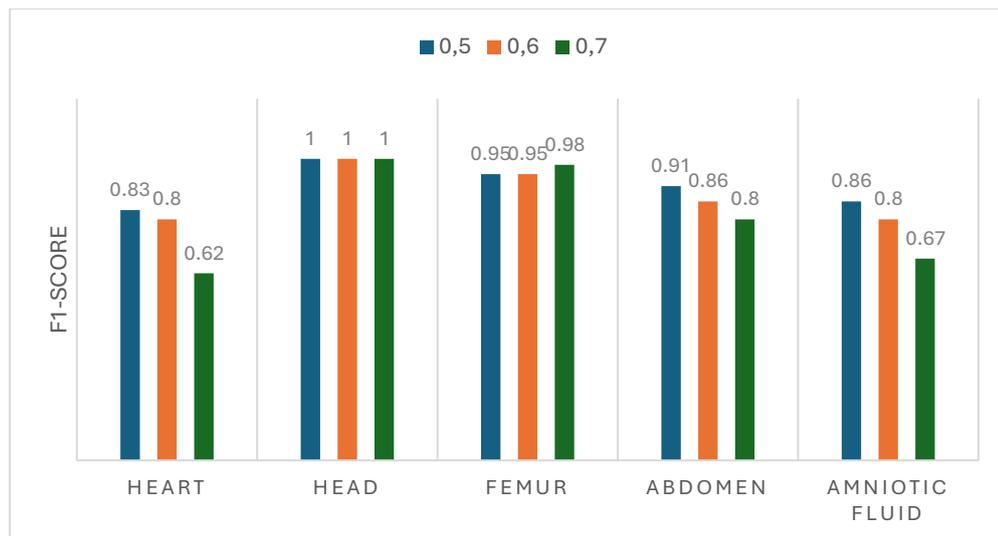


Figure III.10 Histogramme de F1-Score de model vit\_b16 avec dropout

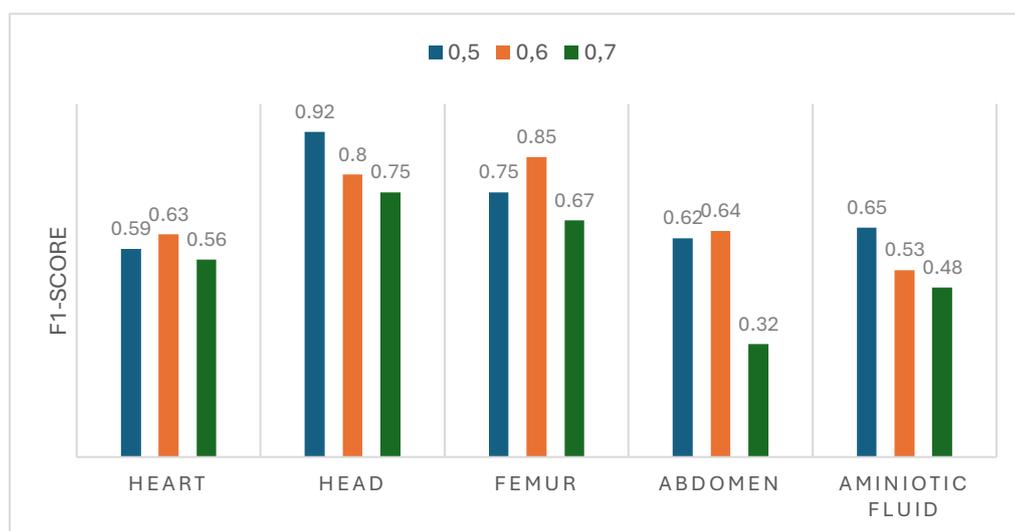


Figure III.11 Histogramme de F1-Score de model vit\_l16 avec dropout

**Remarque :**

Dans cette époque, le taux de classification le plus élevé pour Vit\_B16 était de 92% avec un dropout de 0,5, suivi de taux obtenus avec des dropouts de 0,6 puis 0,7. Pour Vit\_L16, le taux de classification le plus élevé était de 72% avec un dropout de 0,5, suivi de ceux obtenus avec des dropouts de 0,6 puis 0,7.

III.4.2 Epoque de 100 :

Les résultats suivants concernent le taux de classification et le F1-score des modèles utilisant un taux de dropout de 0.5, 0.6 et 0,7 :

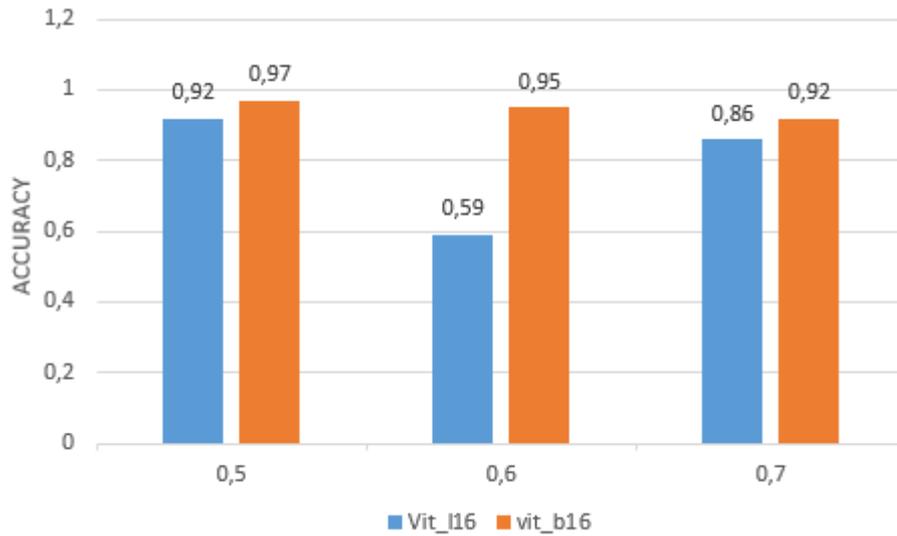


Figure III.12 Histogramme du taux de classification de deux modèles

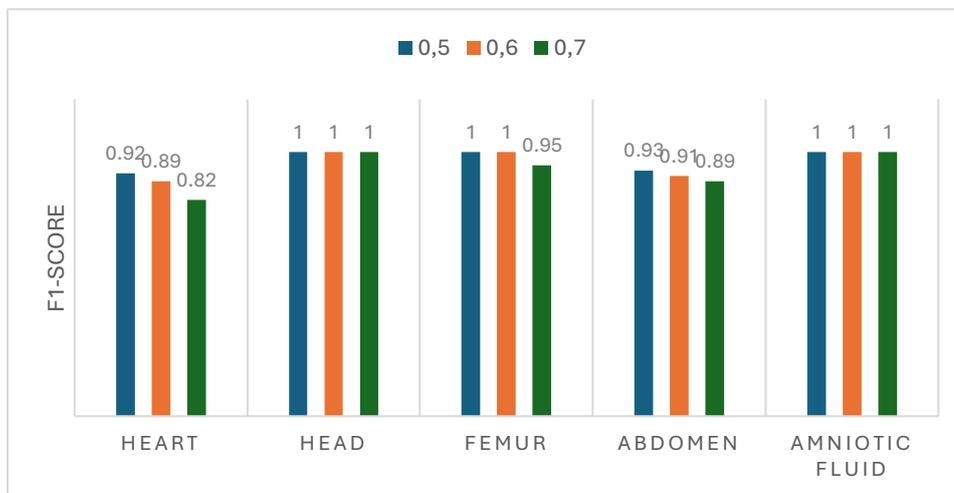


Figure III.13 Histogramme de F1-Score de model vit\_b16 avec dropout

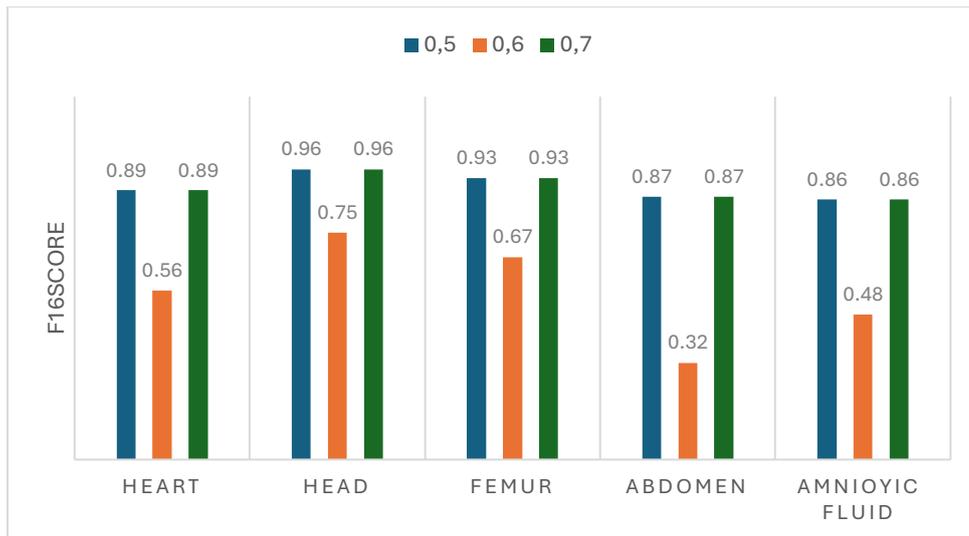


Figure III.14 Histogramme de F1-Score de model vit\_l16 avec dropout

### Remarque :

Dans cette époque, le taux de classification le plus élevé pour Vit\_B16 était de 97% avec un dropout de 0,5, suivi de taux obtenus avec des dropouts de 0,6 puis 0,7. Pour Vit\_L16, le taux de classification le plus élevé était de 92% avec un dropout de 0,5, suivi de ceux obtenus avec des dropouts de 0,7 puis 0,6.

### Conclusion résultats :

Avec des époques croissantes : 10 et 100 époques

- Avec un dropout de 0,5 :
  - Vit\_B16 est passé de 92% à 97%.
  - Vit\_L16 est passé de 72% à 92%.
- Avec un dropout de 0,6 :
  - Vit\_B16 est passé de 90% à 95%.
  - Vit\_L16 a chuté de 69% à 59%.
- Avec un dropout de 0,7 :
  - Vit\_B16 est passé de 85% à 92%.
  - Vit\_L16 a augmenté de 59% à 86%.

L'ajustement du dropout a eu des impacts variés sur les performances des modèles, avec des améliorations ou des baisses notables en fonction des valeurs utilisées.

On a choisi le model vit\_b16 avec un taux de dropout de 0.5, ce qui a produit les résultats suivants :

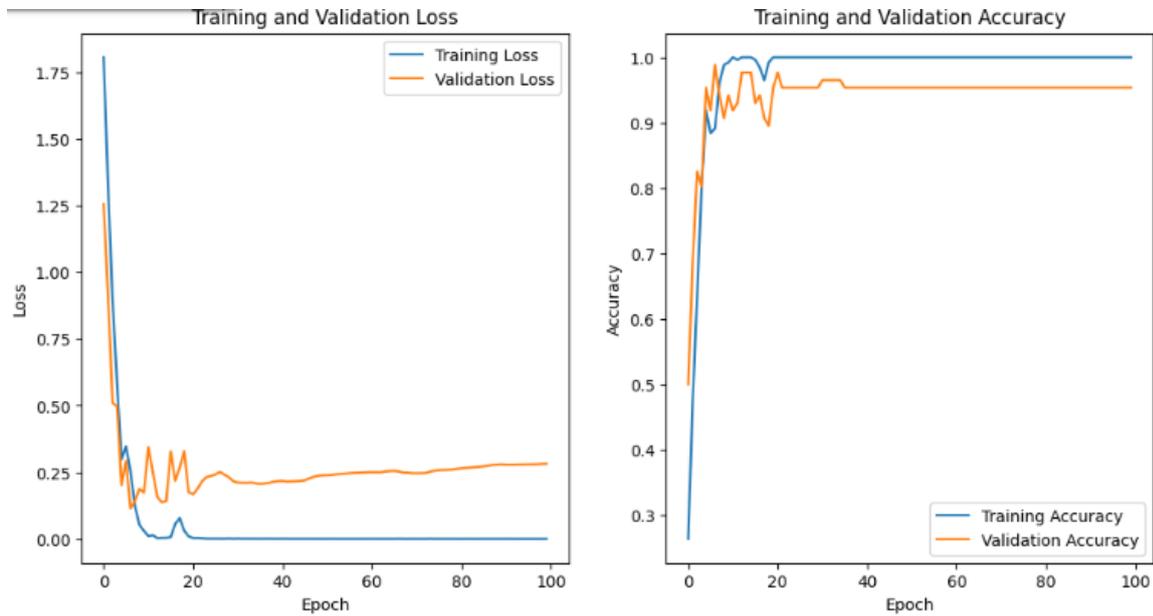


Figure III.15 Graphe du taux de classification et la perte de l'apprentissage et la validation de vit\_b16 avec dropout

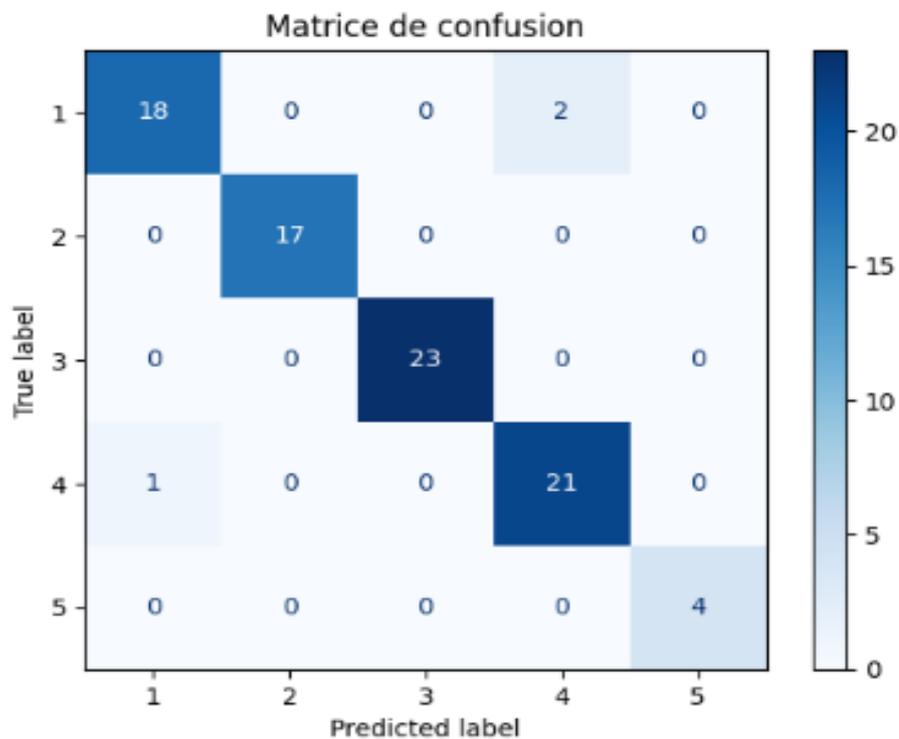


Figure III.16 La matrice de confusion du modèle Vit\_b16

### III.5 Augmentation de Données :

Nous avons remplacé la base de données initiale, composée de 430 images, par une nouvelle base de données contenant 2550 images, et voici les résultats obtenus après 10 époques :

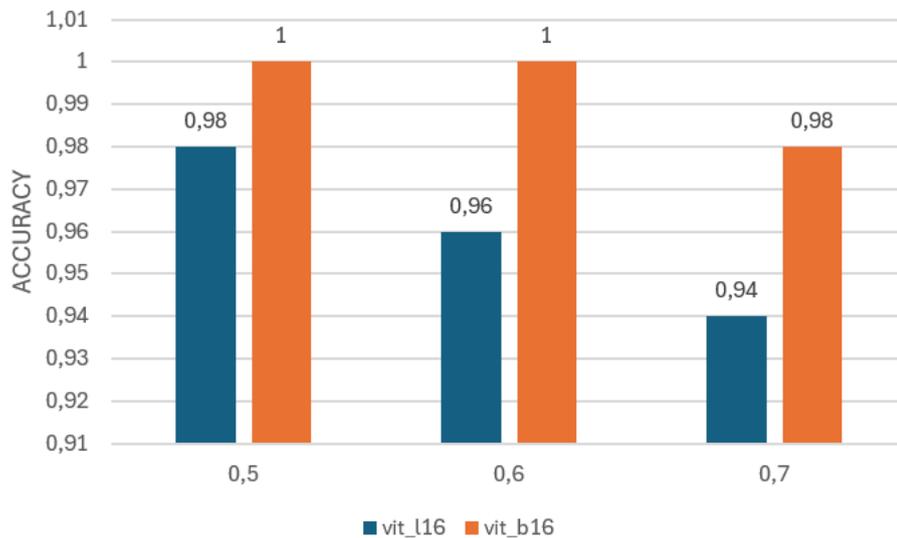


Figure III.17 Histogramme du taux de classification de deux modèles

Après avoir examiné les résultats du taux de classification, nous avons décidé d'adopter le modèle vit\_b16 avec un taux de dropout de 0.5, et voici les résultats obtenus :

- Le taux de classification étant 100%.

Les résultats de F1-Score sont :

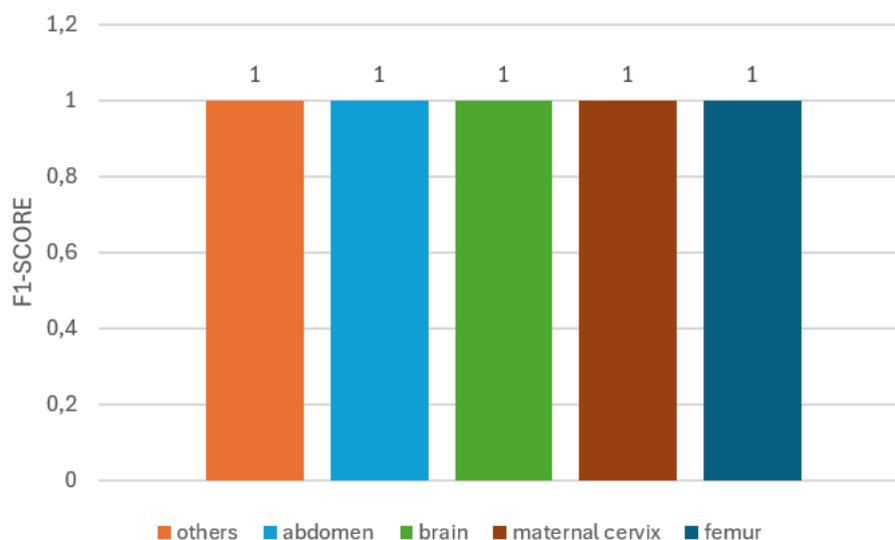


Figure III.18 Histogramme de F1-Score de model vit\_b16 avec dropout après l'augmentation des images

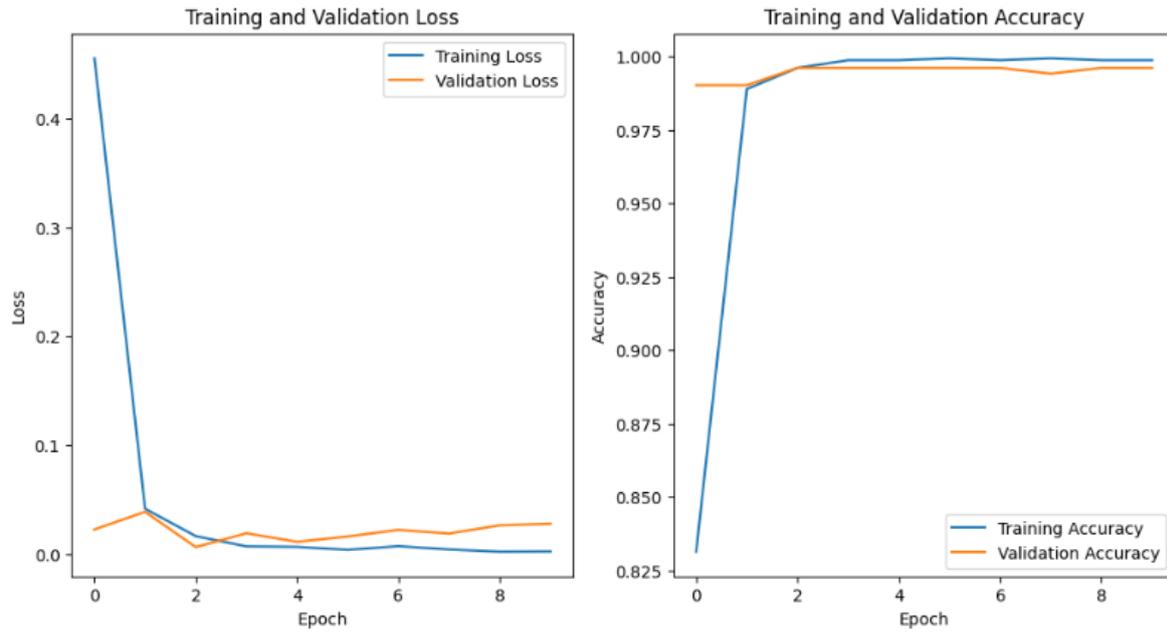


Figure III.19 Graphe du taux de classification et la perte de l'apprentissage et la validation de ViT\_b16 après l'augmentation des images.

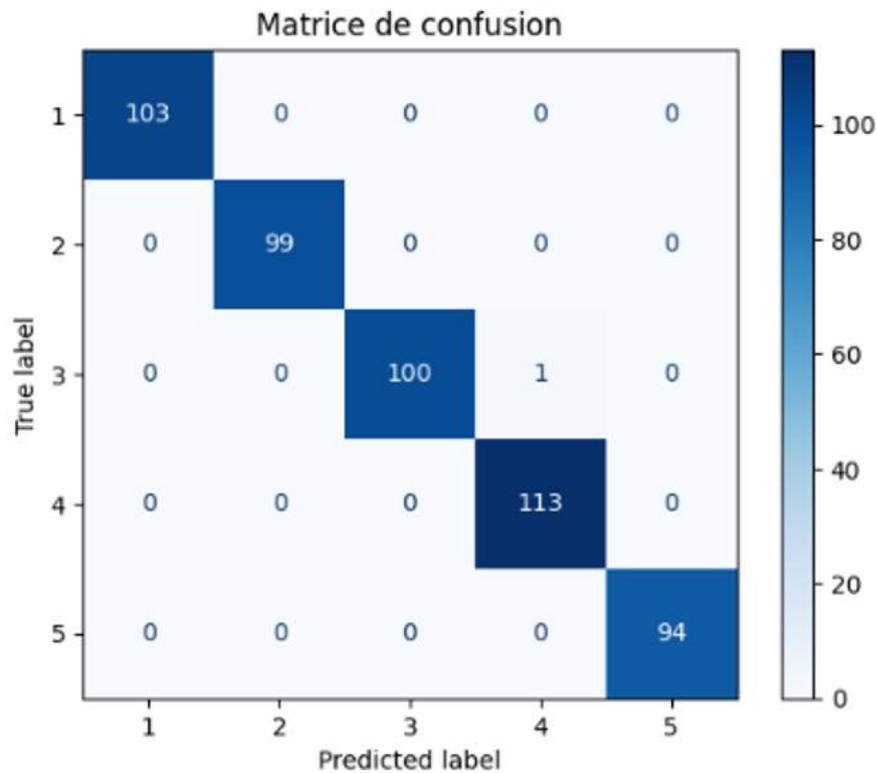


Figure III.20 Matrice de confusion de ViT\_b16 après l'augmentation des images.

**Comparaison de la performance du modèle avant et après l'augmentation du jeu de données :**

Le modèle, entraîné initialement sur un ensemble de 430 images, affichait un taux de classification de 92%. Après avoir augmenté la taille des données d'entraînement à 2550 images, le taux de classification a atteint 100%. Cette augmentation substantielle du volume de données a ainsi permis d'améliorer significativement les performances de classification du modèle.

**III.6 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons utilisé différents modèles ViT (Vision Transformer) pour classer nos images, en tirant parti du langage Python sur les plateformes qui le supportaient. Nous avons utilisé la méthode d'apprentissage par transfert et avons varié quelques paramètres, tels que le nombre d'image d'entraînement, le taux de dropout et le nombre d'époque. Ces caractéristiques clés ont un impact direct sur la performance des modèles utilisés pour la photo classification.

# **Conclusion**

## **Générale**

# Conclusion Générale

L'analyse des images d'échographie fœtale joue un rôle crucial dans le diagnostic et la prédiction des pathologies prénatales. Cette étude explore l'application des Vision Transformers (ViT) pour automatiser la classification de ces images médicales complexes. Développés par Alexey Dosovitskiy et son équipe, les ViT ont révolutionné la classification d'images grâce à leur capacité à apprendre à partir de vastes ensembles de données. Leur intégration dans un système d'IA dédié à l'analyse d'échographies fœtales ouvre de nouvelles perspectives pour le diagnostic prénatal.

L'utilisation du langage Python, reconnu pour sa simplicité et son efficacité, s'avère particulièrement adaptée au développement de ce système. De plus, l'intégration de Python avec TensorFlow permet d'optimiser les calculs et de simplifier la création de réseaux de neurones pour cette tâche cruciale.

Les ViT se distinguent par leur architecture attentionnelle, qui excelle à capturer les relations globales et les dépendances longues dans les images, améliorant ainsi considérablement les performances pour cette tâche. En combinant cela avec des techniques telles que la segmentation automatique pour identifier soigneusement le plan fœtal et le filtrage des bruits pour rendre les images plus claires, nous nous rapprochons de prédictions médicales précises et fiables.

Les ViT permettent également un transfert d'apprentissage efficace. Les grands modèles pré-entraînés sur des quantités massives de données peuvent être transférés et finement ajustés pour des tâches spécifiques comme la classification d'échographies, même avec des ensembles de données limités, offrant ainsi de bonnes performances. De plus, les ViT sont plus robustes aux artefacts, bruits et autres dégradations présents dans les images échographiques, grâce à leurs mécanismes attentionnels.

L'interprétabilité des ViT est un avantage notable. Les cartes d'attention fournissent des informations précieuses sur les régions importantes de l'image pour la prédiction, aidant ainsi à interpréter et expliquer les décisions du modèle. Leur architecture flexible permet un traitement parallèle des images à différentes échelles, capturant ainsi l'information multi-échelle essentielle pour un diagnostic précis.

Enfin, les ViT bénéficient des progrès continus en NLP avec les Transformers standards, permettant de transférer de nouvelles avancées architecturales au domaine de la vision. Les capacités de modélisation puissantes et flexibles des ViT en font des candidats idéaux pour des tâches médicales critiques comme la classification des échographies fœtales.

L'étude des modèles ViT-B16 et ViT-L16 a montré que la modification des hyperparamètres, tels que le taux de dropout et le nombre d'époques d'entraînement, influence considérablement leurs performances. En ajustant ces hyperparamètres, il est possible d'optimiser les résultats. Cependant, il a été constaté que l'augmentation de la taille des données d'entraînement améliore significativement les performances, soulignant ainsi l'importance d'un large ensemble de données pour un apprentissage optimal. Le modèle ViT-B16, plus petit, s'est avéré plus performant que le ViT-L16, car ce dernier nécessite plus de données en raison de sa taille supérieure.

L'étude a analysé les performances de différents modèles Vision Transformers et a confirmé que les ViT surpassent les CNN dans certaines tâches de classification d'images médicales.

Pour les futures recherches, l'idée d'un modèle hybride combinant CNN et ViT, nommé Hybrid Convolutional Vision Transformer (HCVT), représente une nouvelle direction prometteuse. En combinant les capacités des Convolutional Neural Networks (CNN) à capturer les caractéristiques locales et des ViT à modéliser les relations à longue distance entre les différentes parties de l'image, le HCVT pourrait offrir des performances supérieures dans la classification des images échographiques fœtales et d'autres tâches médicales.

# Glossaire

**Epoque** : Une époque est un passage complet à travers toutes les données d'entraînement pour mettre à jour le modèle.

**Softmax** : est une fonction qui transforme les scores en probabilités totalisant 1, utilisée en classification multi-classes.

**Adam** : est un algorithme d'optimisation qui ajuste les poids d'un modèle en utilisant des moyennes mobiles des gradients et de leurs carrés.

**Un optimiseur** : ajuste les poids d'un modèle pour minimiser la perte pendant l'entraînement.

# Référence et Bibliographie

- [1] Dr Sidi Boula SISSOKO. L'APPAREIL GENITALE FEMININ. Cour Embryologie LS1-S2. Disponible : <https://fmos.usttb.edu.ml/cours/pluginfile.php/23755>
- [2] Généralités sur l'appareil génital féminin. Anatomie et physiologie de l'appareil génital féminin. Dépôt des candidatures avant le 15 juin 2023 Disponible : <https://microbiologiemedicale.fr/appareil-genital-feminin/>
- [3] Anatomie de l'appareil génital féminin. Docteur Ahmed SKHIRI. Disponible : <https://www.drskhiri.com/anatomie-de-lappareil-genital-feminin/>.
- [4] MSD manuals, les fait en bref : « Appareil génital féminin, » vérifié /révisé avr.2022. [en ligne]. Disponible: <https://www.msdmanuals.com/fr>, Par the Manual's Editorial Staff
- [5] assistance scolaire personnalisé, anatomie et fonctionnement de l'appareil reproducteur féminin. 2023, [en ligne]. Disponible : <https://www.assistancescolaire.com/eleve/3e/svt/reviser-une-notion/anatomie-et-fonctionnement-de-l-appareil-reproducteur-feminin-3>
- [6] Larousse. Appareil génital féminin. Disponible : <https://www.larousse.fr/encyclopedie/medical/>
- [7] MedlinePlus(.gov): Fetal development: MadelinePlus Medical Encyclopedia. Disponible : <https://medlineplus.gov/ency/article/002398.htm>
- [8] Cleveland Clinic: Fetal development-week-by-week stages of pregnancy. Disponible : <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/7247-fetal-development-stages-of-growth>
- [9] Marche of Dimes: Pregnancy week by week. Disponible : <https://www.marchofdimes.org/pregnancy-week-week#12>
- [10] Naitre et grandir : Grossesse. <https://naitreetgrandir.com/fr/grossesse/>
- [11] New medical life science: By Sally Robertson, B.Sc. Reviewed by Yolanda Smith, B.Pharm. Monday 15 April 2024 <https://www.news-medical.net/health/Pregnancy-25-28-weeks.aspx>
- [12] Institut national de santé publique Québec : Développement du fœtus. Disponible : <https://www.inspq.qc.ca/mieux-vivre/grossesse/foetus/developpement-du-foetus>

- [13] Doctissimo, Echographie : principe, indication, déroulé, coût, Dr Sébastien Ronze Radiologue. Mis à jour le 27/12/2022 à 16h00,  
<https://www.doctissimo.fr/html/sante/imagerie/echographie.htm#l-echographie-definition>
- [14] Blogger.com, L'échographie Comment ça Marche,<http://electroschema.blogspot.com/2012/02/live.html>
- [15] AP-HP. Nord - Université Paris Cité, échographie du premier trimestre, Maternité Louis Mourier, Novembre 2013,<https://hopitauxnord-u-pariscite.aphp.fr/wp-content/blogs.dir/143/files/2013/10/Echographie-du-1er-trimestre-Fiches-Patientes-Maternit%C3%A9-Louis-Mourier.pdf>
- [16] Doctissimo, Echographie de grossesse : les 3 échographies obligatoires, Dr Joël Agénor Gynécologue-Obstétricien , Mis à jour le 08/07/2020 à 15h48  
[https://www.doctissimo.fr/html/grossesse/pendant/consultations/gr\\_4210\\_echographie.htm#l-echographie-du-1er-trimestre-la-premiere-echographie-de-grossesse](https://www.doctissimo.fr/html/grossesse/pendant/consultations/gr_4210_echographie.htm#l-echographie-du-1er-trimestre-la-premiere-echographie-de-grossesse)
- [17] Norimagerie, Obstétricale : Echographie deuxième trimestre. Les radiologues de Norimagerie, <https://www.norimagerie.com/obstetricale-echographie-deuxieme-trimestre>
- [18] imageriedelafemme.fr. ÉCHOGRAPHIE DU DEUXIÈME TRIMESTRE , M. Nicolas PERROT, Radiologue,<https://www.imageriedelafemme.fr/les-examens/echographie-obstetricale/echographie-du-deuxieme-trimestre-morphologique>
- [19] devenirparent.fr, Echo T3 : quand et pour quoi la faire ? 20 juin 2023,  
<https://devenirparent.fr/echo-t3/>
- [20] Apport de l'échographie dans l'estimation pondérale du fœtus au cours du troisième trimestre de la grossesse au C.S. Réf de lacommune i , le 04/01/2023 par Dr Boureima ,GUINDO,<https://bibliosante.ml/bitstream/handle/123456789/6271/MemoireD.U.DrBoureimaGUINDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [21] Échographie obstétricale, Comité éditorial pédagogique de l'Université Médicale Virtuelle Francophone, 01/03/11, [https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/maieutique/UE-obstetrique/echo\\_obstetricale/site/html/cours.pdf](https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/maieutique/UE-obstetrique/echo_obstetricale/site/html/cours.pdf)
- [22] Échographie obstétricale, Comité éditorial pédagogique UVMaF. 01/03/2011,  
[https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/maieutique/UE-obstetrique/echo\\_obstetricale/site/html/3.html](https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2014/maieutique/UE-obstetrique/echo_obstetricale/site/html/3.html)
- [23] Radiopaedia: Fetal abdominal circumference|Radiology Case.20 août 2022.  
<https://radiopaedia.org/cases/fetal-abdominal-circumference>
- [24] Éva Streitz. Évaluation du paramètre échographique anténatal fémur court isolé comme marqueur prédictif de malformation fœtale : étude rétrospective sur 270 nouveaux-nés.

- Médecine humaine et pathologie. 2015. ffdumas-01293869f.  
<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01293869/document>
- [25] LiSSa : Littérature scientifique en santé : Croissance fœtale et mesures répétées du périmètre thoracique. 22/08/2017. <https://www.lissa.fr/rep/articles/6655210>
- [26] Fetalultrasound.com: thoracic circumference\_fetalultrasound.com.  
<https://www.fetalultrasound.com/online/text/11-066.htm>
- [27] ResearchGate: Two-dimensional ultrasound axial view of the fetal chest at four chambre. [https://www.researchgate.net/figure/Two-dimensional-ultrasound-axial-view-of-the-fetal-chest-at-four-chambers-level-showing\\_fig1\\_375392742](https://www.researchgate.net/figure/Two-dimensional-ultrasound-axial-view-of-the-fetal-chest-at-four-chambers-level-showing_fig1_375392742)
- [28] AP-HP assistance public hôpitaux Robert de Paris. Pathologie de la grossesse. [En ligne]. available : <https://maternite-gynecologie-robertdebre.aphp.fr/pathologies-grossesse/>
- [29] Passeport santé, femme enceinte : 5 maladies à prévenir absolument, janvier 2018, [en ligne], available : <https://www.passeportsante.net/famille/grossesse?doc=femme-enceinte-maladies-preveni>
- [30] Espace Natal, centre de la grossesse spécialisé à Paris, 2018, <https://www.espace-natal.com/grossesses-particulieres-et-pathologiques>
- [31] EM-consulte. Menace-d'accouchement-premature, par 03/12/14. <https://www.em-consulte.com/article/942716/menace-d-accouchement-premature>
- [32] Qare, maladie de femme enceinte, Contenu validé par Dr Caroline Alvarez médecin généraliste. , Mis à jour le 24 mars 2023. <https://www.qare.fr/sante/maladies-femme-enceinte/>
- [33] Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada. Par Caroline Paquet, Toxoplasmose pendant la grossesse : Prévention, dépistage et traitement, par Caroline Paquet, sage-femme aut. Mark H. Yudin, MD, DECEMBER 2016, [https://www.jogc.com/article/S1701-2163\(16\)39655-4/fulltext](https://www.jogc.com/article/S1701-2163(16)39655-4/fulltext)
- [34] La Fédération Nationale des Collèges de Gynécologie Médicale, Varicelle chez la femme enceinte, Dr Tiphaine Beillat, gynécologue obstétricienne. , Article mis à jour le 18/12/2014:18, [https://www.fncgm.com/images/revue\\_presse/2020/Varicelle\\_femme\\_enceinte\\_quels\\_sont\\_les\\_risques.pdf](https://www.fncgm.com/images/revue_presse/2020/Varicelle_femme_enceinte_quels_sont_les_risques.pdf)
- [35] Vidal, varicelle et la grossesse, par une équipe de professionnels de santé, pharmaciens, médecins, spécialistes de la pharmacologie clinique et de la thérapeutique. Mise à jour : 10 janvier 2023, <https://www.vidal.fr/maladies/chez-les-enfants/varicelle/grossesse.htm>
- [36] Ameli : l'assurance maladies, Hypertension artérielle au cours de la grossesse : définition et risques, par Société Française d'Hypertension Artérielle et Collège National des

Gynécologues et Obstétriciens Français et..., 9 mai 2022,

<https://www.ameli.fr/assure/sante/themes/hypertension-arterielle-grossesse/definition>

[37] Réseau Périnatal Lorrain, Prise en charge d'un diabète gestationnel, Mme BOYER, interne de Santé Publique, Dr CREUTZ LEROY, Dr LANGBOUR-REMY. Dr GAUCHOTTE, 10 septembre 2020 [www.reseautperinatallorain.fr](http://www.reseautperinatallorain.fr)

[38] (MSF) médical guidelines, placenta praevia, par Médecins Sans Frontières (MSF), 29 /03/2024, <https://medicalguidelines.msf.org/fr/viewport/ONC/francais/3-1-placenta-praevia-51416275.html>

[39] pampers, Grossesse extra-utérine : causes, symptômes et risques, Mis à jour le 17 Juin 2019, <https://www.pampers.fr/grossesse/grossesse-en-bonne-sante/article/tous-les-symptomes-de-la-grossesse-extra-uterine>

[40] Hôpitaux Universitaire Genève (HEG), LA RUPTURE PRÉMATURÉE DES MEMBRANES AVANT TERME , par le Service d'obstétrique en collaboration avec la Direction de la communication. Avril 2020

[https://www.hug.ch/sites/interhug/files/documents/rupture\\_poche\\_des\\_eaux.pdf](https://www.hug.ch/sites/interhug/files/documents/rupture_poche_des_eaux.pdf)

[41] Nancy Morris, infirmière clinicienne CHU sainte-Justine, Rupture prématuré des membranes, Nancy Morris, infirmière clinicienne et Dre Lucie Morin, Date de création : Mai 2017, <https://www.chusj.org/CORPO/files/1b/1bd11ed1-1827-4d6a-8a5d-fd7e705336b8.pdf>

[42] Item 21 : Retard de Croissance Intra-Utérin (RCIU), Université Médicale Virtuelle Francophone, 2010-2011, <https://archives.uness.fr/sites/campus-unf3s-2015/UNF3Smiroir/campus-numeriques/gynecologie-et-obstetrique/enseignement/item21/site/html/cours.pdf>

[43] bigdata.ma : Qu'est-ce qui différencie le Machine Learning du Deep Learning. Available : <https://www.bigdata.ma/quest-ce-qui-differencie-le-machine-learning-du-deep-learning/>

[44] Dosovitskiy, Alexey, et al. "An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale." *arXiv preprint arXiv:2010.11929* (2020).1

[45] Gheflati, Behnaz, and Hassan Rivaz. "Vision transformers for classification of breast ultrasound images." *2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC)*. IEEE, 2022

[46] Lorenzo Papa, Student Member, IEEE, Paolo Russo, Irene Amerini, Member, IEEE, and Luping Zhou, Senior Member, IEEE

[47] Transformer Vision pour la classification d'images, Updated on Jan 09,2024

<https://www.toolify.ai/fr/ai-new-fr/transformer-vision-pour-la-classification-dimages-415182>

- [48] Omer, Attiapo Acybah Morel. "Image Classification Based on Vision Transformer." *Journal of Computer and Communications* 12.4 (2024) : 49-59.
- [49] ResearchGate: ViT-Patch-and-Position-Embedding-p-Patch-size-e-Embedding-dimension: <https://www.researchgate.net/figure> [52] Image: ResearchGate: the overall architecture of Transformer encoder We use absolute position embedding. available :<https://www.researchgate.net>
- [50] Xu, Yanze, et al. "Paralinguistic singing attribute recognition using supervised machine learning for describing the classical tenor solo singing voice in vocal pedagogy." *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing* 2022.1 (2022): 8.
- [51] Que sont les transformateurs dans le domaine de l'intelligence artificielle ? ,2023,<https://aws.amazon.com/fr/what-is/transformers-in-artificial-intelligence/>
- [52] Lotfi, M. MECHARBAT, et al. "Recherche automatique de "Vision Transformers" efficaces pour la reconnaissance d'objets sur des appareils "Tiny Edge"."
- [53] ResearchGate : the overall architecture of Transformer encoder We use absolute position embedding. available:<https://www.researchgate.net>
- [54] Xie, Jiangtao, et al. "Sot: Delving deeper into classification head for transformer." *arXiv preprint arXiv:2104.10935* (2021).
- [55] Zheng, H., Wang, G. & Li, X. Swin-MLP: a strawberry appearance quality identification method by Swin Transformer and multi-layer perceptron. *Food Measure* 16, 2789–2800 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11694-022-01396-0>
- [56] Sidaty Tofla, Ghellab Nessrine. "Évaluation de l'âge osseux à l'aide de modèles de transformateur de vision."
- [57] Vision Transformers (ViT) in Image Recognition: Full Guide. Available : <https://viso.ai/deep-learning/vision-transformer-vit/>
- [58] Times Internet: Convolutional Neural Networks vs Vision Transformer. Available: <https://timesinternet.in/blog/vision-transformers-vs-convolutional-neural-networks/>
- [59] Pandas, PyPI. ,<https://pypi.org/project/pandas/>
- [60] McKinney, Wes. "Pandas: a foundational Python library for data analysis and statistics." *Python for high performance and scientific computing* 14.9 (2011) : 1-9.
- [61] pandas - Python Data Analysis Library, <https://pandas.pydata.org/about/citing.html>
- [62] lebigdata.fr, tout savoir sur la bibliothèque Machine Learning open source, 19 octobre 2018, <https://www.lebigdata.fr/tensorflow-definition-tout-savoir>

[63]Tensorflow logo - Social media & Logos Icons,<https://icon-icons.com/icon/tensorflow-logo/170598>

[64] Fuchs, Patrick FJ, and Pierre Poulain. *Introduction à la programmation Python pour la biologie*. Diss. Université Paris Cité, 2023.

[65] Galiana, Lino. "Python pour la data science." (2023).

[66] Python Logo : histoire, signification de l'emblème, <https://logo-marque.com/python-logo/>

[67] An Absolute Beginner's Guide To Google Colaboratory, Nov 29, 2018, <https://medium.com/@dinaelhanan/an-absolute-beginners-guide-to-google-colaboratory-d55c0eb375de>

[68] GeeksforGeeks, Google Collab vs Jupyter Notebook. ..25 sept. 2023.<https://www.geeksforgeeks.org> > ...

[69] Brownlee, Jason. *Deep learning with Python: develop deep learning models on Theano and TensorFlow using Keras*. Machine Learning Mastery, 2016.

[70] Keras : tout savoir sur l'API de Deep Learning, 18 Juin 2021, <https://datascientest.com/keras>

[71] Software House Boring Owl,Keras - an open source library for Python,<https://boringowl.io/en/tag/keras>

[72]Matrice de confusion : comment la lire et l'interpréter ?, Dernière mise à jour le 03mai 2024, <https://www.jedha.co/formation-ia/matrice-confusion>

[73] Precision, Recall et Precision-Recall curve, <https://kobia.fr/classification-metrics-precision-recall/>

[74] Google Developers, «[developers.google.com](https://developers.google.com), » Machine Learning Crash Course, [En ligne]. Available:

[75] inkedin, Comment calcule-t-on le score F1 en machine Learning ? <https://fr.linkedin.com/>