

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la recherche Scientifique

Université de 20 août 1955-Skikda
Faculté de Science
Département de l'informatique

جامعة 20 اوت 1955 سكيكدة
كلية العلوم
قسم الاعلام الالي



Mémoire

Préparé en vue de l'obtention du diplôme de Master en informatique

Thème

**Monde de Pierres : Plateforme d'intelligence artificielle pour
l'identification et le marketing**

Réalisé par

- BOUKEZOULA Abdelkader
- MAMERI Rabah
- SATOUH Chaima
- LAKROUNE Mohamed Ayoub
- BOUSSIS Sami Aymen

Encadré par

Dr.KERRAOUI Sarra
Dr.BOUGAMOUZA Fateh

Session: 2023/2024

بِسْمِ اللَّهِ
الرَّحْمَنِ
الرَّحِيمِ

Remerciements

Nous tenons à remercier Allah pour Sa grâce qui nous a aidés à accomplir avec succès notre mémoire de fin d'études. Nous pouvons qu'être reconnaissants envers Allah pour les capacités et les ressources qu'Il nous a accordées, ainsi que pour le soutien et les conseils qu'Il nous a prodigués tout au long de ce parcours.

Au début, on souhaite adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

On tient à remercier tout particulièrement notre encadrant

Cher professeur **Dr.KERRAOUI**

Nous vous remercions de nous avoir accompagnés et guidés tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Nous vous remercions d'avoir éveillé en nous l'envie d'apprendre. Nous vous remercions pour votre bienveillance et votre gentillesse. Et nous vous remercions de nous avoir soutenus tout au long de cette année merveilleuse. Nous vous remercions pour votre soutien et votre supervision. Nous vous remercions pour tous vos efforts pour nous.

Nous tenons à vous remercier sincèrement de votre soutien et de vos conseils tout au long de ce projet. Votre expérience, votre disponibilité et vos précieux conseils ont été essentiels au succès de cette initiative.

Cher professeur **Dr.BOUGAMOUSA**

Merci pour tout le soutien et l'encadrement qui nous ont donné. Merci pour toutes les informations que vous nous fournissez. Merci de nous aider et nous guider. Merci pour tous conseils et encouragements tout au long de ce parcours. Merci pour tous les efforts que vous faites pour nous.

Nous tenons à vous remercier sincèrement de votre soutien et de vos conseils tout au long de ce projet. Votre expérience, votre disponibilité et vos précieux conseils ont été essentiels au succès de cette initiative.

Nos chers parents

Merci d'être parmi nous. Merci de nous soutenir tout au long de notre parcours pédagogique. Merci de nous conseiller. Merci de nous faire confiance et de nous encourager.

Nous vous exprimons notre amour et notre gratitude pour tout ce que vous avez fait pour nous au fil des années.

Nous ne trouvons pas assez de mots pour vous remercier et pour combien vous êtes une source d'inspiration pour nous, sans votre présence, nous ne serions pas là aujourd'hui. Merci pour tout.

Nous vous sommes profondément reconnaissants pour votre dévouement et votre soutien indéfectible. Vous êtes des modèles pour nous et nous espérons pouvoir un jour vous rendre ne serait-ce qu'une partie de ce que vous nous avez donné.

Merci d'être les parents exceptionnels que vous êtes. Votre amour et votre guidance sont des trésors inestimables pour nous.

ملخص

يطمح هذا المشروع الحالي إلى إحداث ثورة في عالم المعادن والأحجار الكريمة المذهل. الهدف الرئيسي لهذه المبادرة هو إنشاء منصة ذكية وتطبيق جوال مبتكر، مصممين لتقديم تجربة استثنائية للهواة والجامعين والمحترفين في هذا المجال.

يهدف التطبيق بشكل رئيسي إلى الكشف تلقائيًا عن العينات المعدنية باستخدام أحدث التطورات في مجال الذكاء الاصطناعي والتعلم العميق. ستوفر هذه الوظيفة للمستخدمين القدرة على اكتشاف وتصنيف كنوزهم المعدنية على الفور، مما يفتح آفاقًا مثيرة. تلعب المنصة عبر الإنترنت أيضًا دورًا أساسيًا في التعلم، حيث تتيح إمكانية حل هذه الألغاز الطبيعية. توفر المعلومات الدقيقة والمعارض الافتراضية والوحدات التفاعلية للجميع، سواء كانوا مبتدئين أو خبراء، فرصة اكتشاف عالم المعادن والتعمق في معرفتهم حول هذه الروائع الطبيعية الحقيقية.

وأخيرًا، لم يتم إهمال البعد التجاري. ستقدم المنصة عرضًا لافتًا للمحترفين الراغبين في بيع عيناتهم النادرة والتمينة، مما يسهل التبادل وتقدير هذه الكنوز الأرضية.

معًا، يطمح هذان التطبيق الجوال والمنصة عبر الإنترنت إلى أن يصبحا المرجع الأساسي لجميع عشاق عالم المعادن، والتي تجمع بين التعرف المتقدم والتعليم المثيري والفرص التجارية الفريدة.

كلمات مفتاحية: تطبيق الويب, تطبيق الجوال, التعلم العميق, SSD, YOLOv8, YOLOv9, ج, يولوجيا, مينيرولوجيا.

Abstract

This current project aims to revolutionize the fascinating world of minerals and precious stones. The main objective of this initiative is to create an intelligent platform and an innovative mobile application, designed to offer an exceptional experience for enthusiasts, collectors, and professionals in this field.

The application primarily aims to automatically detect mineral samples using the latest advancements in artificial intelligence and deep learning. This functionality will provide users with the ability to instantly discover and classify their mineral treasures, opening up captivating new perspectives. The online platform also plays a crucial role in learning, offering the opportunity to solve these natural enigmas. Accurate information, virtual exhibits, and interactive modules provide everyone, whether they are novices or experts, the chance to explore the world of minerals and deepen their knowledge about these true natural masterpieces.

Finally, the commercial dimension has not been neglected. The platform will offer an eye-catching offering for professionals wishing to sell their rare and precious samples, facilitating the exchange and valuing these earth treasures.

Together, this mobile application and web platform aspire to become the essential reference for all enthusiasts of the mineral world, combining advanced identification, enriching education, and unique commercial opportunities.

Key words: Web Application, Mobile Application, Deep Learning, Yolov8, Yolov9, SSD, Geology, Mineralogy.

Résumé

Le présent projet a pour ambition de révolutionner l'univers fascinant des minéraux et pierres précieuses. L'objectif principal de cette initiative est la création d'une plateforme intelligente et d'une application mobile novatrices, élaborées pour proposer une expérience exceptionnelle aux passionnés, collectionneurs et professionnels du domaine.

L'application vise principalement à détecter automatiquement les échantillons minéralogiques en utilisant les avancées récentes en intelligence artificielle et en deep learning. Cette fonctionnalité offrira aux utilisateurs la possibilité de repérer et de classer leurs trésors métalliques immédiatement, offrant ainsi de nouvelles perspectives captivantes. La plateforme en ligne joue également un rôle essentiel dans l'apprentissage, offrant la possibilité de résoudre ces énigmes naturelles. Des renseignements précis, des expositions en ligne et des modules interactifs offrent à tous, qu'ils soient novices ou expérimentés, la possibilité de découvrir le monde minéral, d'approfondir leurs connaissances sur ces véritables œuvres d'art naturelles.

Enfin, la dimension commerciale n'a pas été négligée. La plateforme proposera une offre coup de cœur aux professionnels souhaitant vendre leurs échantillons rares et précieux, facilitant l'échange et valorisant ces trésors du sol.

Ensemble, cette application mobile et cette plateforme web ambitionnent de devenir la référence incontournable pour tous les passionnés du monde minéral, alliant identification de pointe, éducation enrichissante et opportunités commerciales uniques.

Mots clés : Application Web, Application Mobile, Apprentissage Profond, Yolov8, Yolov9, SSD, Géologie, Minéralogie.

Table des matières

I. Introduction générale	1
1. Contexte et problématique	1
2. Objectifs	2
3. Méthodologie.....	3
4. Structure du manuscrit	3
<i>Chapitre 01 L'Apprentissage Profond</i>	5
II. Chapitre 1 : L'apprentissage Profond (Deep Learning)	6
1. Introduction	6
2. Evolution historique.....	6
3. Concept de base et terminologie.....	7
4. Réseau de neurones artificiels (RNA)	8
5. Architecture de réseaux de neurones	8
6. Architecture d'un réseau de neurones convolutifs	11
7. Domaines d'application du Deep Learning.....	12
8. Conclusion.....	13
<i>Chapitre 02 Minéralogie</i>	14
III. Chapitre 2 : Etat de l'art.....	15
1. Introduction	15
2. Fondement de la minéralogie	15
2.1 La Géologie	15
2.2 La Minéralogie	16
2.3 Le Minéral.....	16
2.4 Les caractéristiques des Minéraux.....	16
2.4.1 La couleur et le trait.....	16
2.4.2 L'éclat et la transparence.....	17
2.4.3 Le clivage et la cassure	17
2.4.4 La dureté	18
2.4.5 La densité	19
2.4.6 Le magnétisme	19
2.4.7 La radioactivité.....	19

2.4.8	La luminescence	20
2.4.9	La solubilité et le goût	20
3	Techniques traditionnelles d'identification des minéraux	20
4	Les Limites des Techniques Traditionnelles	23
5	Méthodes spécifiques de Deep Learning pour l'identification des minéraux : 24	
6	Projets similaires.....	25
7	Discussion	26
8	Conclusion.....	26
	Chapitre 03 Approche proposée.....	28
	IV. Chapitre 3 : Approche Proposé.....	29
1.	Introduction	29
2.	Le modèle YOLOv8	29
2.1.	Architecture de YOLOv8	30
3.	Le modèle YOLOv9	31
3.1.	Architecture de YOLOv9	33
4.	Principales différences par rapport à YOLOv8	34
5.	Le modèle Single Shot Detector "SSD".....	35
5.1	Architecture du SSD	36
6.	L'approche proposée.....	37
6.1.	Data Set (Rock Minéraux)	38
6.2.	Prétraitement de données	39
6.3.	Apprentissage.....	42
6.4.	Evaluation du modèle	43
7.	Conclusion.....	45
	Chapitre 04 Implémentation	47
	V. Chapitre 04 : Implémentation	48
1.	Introduction	48
2.	Architecture du site web	48
3.	Matériel utilisée	49
4.	Environnements et outils de développement utilisés.....	49
5.	La base de données	55
6.	Les résultats obtenus.....	56
6.1.	Apprentissage du modèles	56

7. Etudes comparatives	62
8. Implémentation.....	62
9. Les interfaces graphiques application et site web	63
9.1. Les interface coté application.....	63
9.2. Les interfaces coté Site web.....	66
10. Conclusion.....	73
VI. Conclusion générale.....	75
VII. Bibliography	77
Annexe	80

Tables des figures

Figure 1: Relation entre IA, ML et DL	7
Figure 2: L'architecture du réseau de neurones convolutif.....	12
Figure 3: Certains images de l'éclat	17
Figure 4: Certains formes de clivages	18
Figure 5: YOLOv8 par rapport aux autres modèles YOLO	29
Figure 6: Architecture YOLOv8	30
Figure 7: Architecture détaillée du modèle YOLOv8	31
Figure 8: YOLO 9 par rapport aux autres modèle	32
Figure 9 : Feature maps (résultats de visualisation) sortie par des poids initiaux aléatoires de PlainNet, ResNet, CSPNet et GELAN à différents.	33
Figure 10 : Architecture générale YOLOv9.....	33
Figure 11: Le model SSD	36
Figure 12: Architecture détaillé SSD.....	36
Figure 13: Présentation de la méthodologie de la tâche de détection et l'identification des minéraux	38
Figure 14: Un exemple d'image avec la segmentation.....	39
Figure 15: Etape montrant l'étape de l'annotation dans le site Roboflow.....	40
Figure 16: Exemple fichier d'annotation de la base de données.....	40
Figure 17 : Comparaison entre les vrai et les faux positive er négative.....	44
Figure 18: Architecture Client/serveur	48
Figure 19 : Uploadé Dataset dans Google Grive	56
Figure 20 : Sélection du modèle pour établir l'apprentissage	57
Figure 21: Graphique des performances de l'entraînement du modèle YOLOv8.....	57
Figure 22: Graphique des performances de l'entraînement du modèle YOLOv9.....	58
Figure 23: Courbe Précision-Confidence yolov8.....	59
Figure 24: Courbe Rappel-Confidence yolov8	59
Figure 25: Courbe Précision-Confidence yolov9.....	60
Figure 26: Courbe Rappel-Confidence yolov9	60
Figure 27: Performance des modèles	61
Figure 28 : Étiquettes et prédictions correspondantes pour la validation par lots (batch)	61
Figure 29 : Quelques résultats de tests de détection obtenus par YOLOv8.	62

Figure 30 : Résultats des performances des modèles Yolo v8, v9 et SSD	62
Figure 31: Page Se connecter/ créer un compte.....	64
Figure 32: Détection en temps réel des minéraux via l'application.....	65
Figure 33: Page d'accueil de l'interface site web	66
Figure 34: Pages Sign in/ Sign up du site web.....	67
Figure 35: Page principale des informations sur les minéraux.....	68
Figure 36: Section MarketPlace.....	69
Figure 37: Les magasins partenaire.....	70
Figure 38: La section d'identification.....	71
Figure 39: Résultat d'identification obtenu après le téléchargement de la photo.....	72

Liste des tableaux

Tableau 1: Trait de certains minéraux	16
Tableau 2: Echelle de dureté des minéraux de Friedrich MOHS (1922).....	19
Tableau 3: Dataset des minéraux disponibles.	38
Tableau 4: Exemple d'augmentation data.....	41

Liste des abréviations

IA: Intelligence Artificielle

SSD: Single Shot MultiBox Detector

YOLO: You Only Look Once

UML: Unified Model Language

ML: Machine Learning

DL: Deep Learning

ANN: Artificial Neural Networks

RNA: Réseau de Neurone Artificielle

CNN: Convolutional Neural Networks

GAN: Generative Adversarial Neural Networks

FCNN: Fully Connected Neural Networks

FRNN: Fully recurrent Neural Network

ESN: Echo State Network

LSTM: Long Short-Term Memory

GRU: Gated recurrent Unit

TNN: Transformative Neural Network

ReLU: Rectified linear Units

CSP: Cross Stage Partial network

PANet: Path Aggregation Network

FPN: Feature Pyramid Network

NMS: Non-Maximum Suppression

PGI: Program Global Information

GELAN: Generalized Efficient Layer Aggregation Network

ResNet: Residual Network

Yaml: YAML Markup Language

GPU: Graphic Processing Unit

mAP: mean Average Precision

CUDA: Compute Unified Device Architecture

Colab: Colaboratory

TPU: Tensor Processing Unit

JSON: JavaScript Object Notation

XML: Extensible markup language

CSV: Comma-Separated Values

HTML: HyperText Markup Language

CSS: Cascading Style Sheet

PHP: Hypertext Preprocessor

SQL: Structured Query Language

SGBDR : Système de Gestion de Base de Données Relationnelle

CMS: Content Management System

API: Application Programming Interface

VS: Visual Studio Code

XAMPP: X Apache MYSQL Perl PHP

HTTP: Hypertext Transfer Protocol

IDE: Android Studio

Introduction

Générale

I. Introduction générale

1. Contexte et problématique

L'évolution rapide de l'informatique et des technologies de l'information, stimulée par l'essor d'Internet et les avancées de la recherche, a transformé de nombreux domaines, y compris les sciences naturelles. Parmi ces technologies, l'intelligence artificielle (IA) se distingue par sa capacité à imiter les processus cognitifs humains pour résoudre des problèmes complexes de manière systématique. En particulier, l'IA a démontré son potentiel exceptionnel dans des applications allant de la reconnaissance d'images à la prise de décisions autonomes, offrant des solutions innovantes et efficaces dans divers secteurs.

L'un des domaines traditionnels qui peut grandement bénéficier de l'IA est la minéralogie (et tant que branche de la géologie). Lorsqu'on parle de minéralogie, on parle essentiellement de l'étude des minéraux et des pierres. Cette science est fondamentale pour comprendre la composition, la formation et les propriétés des minéraux, ainsi que pour identifier et classer différents types de pierres précieuses et semi-précieuses. Actuellement, l'identification et la classification des minéraux reposent encore largement sur des méthodes traditionnelles, souvent laborieuses et nécessitant une expertise approfondie.

Les réseaux de neurones profonds (Deep Learning) offrent une opportunité unique de révolutionner ce domaine. En tirant parti des capacités de l'IA, il est possible de développer une plateforme intelligente capable d'identifier automatiquement et avec précision les types de pierres et de minéraux à partir de simples photographies. Une telle plateforme pourrait démocratiser l'accès aux connaissances minéralogiques, rendant les informations sur les pierres précieuses et les minéraux facilement disponibles pour un large public, des collectionneurs amateurs aux experts industriels, ainsi qu'aux étudiants et enseignants dans les universités.

De plus, l'intégration de fonctionnalités de marketing dans cette plateforme permettrait de transformer non seulement la manière dont les minéraux sont identifiés, mais aussi comment ils sont commercialisés. En développant une application mobile et un site web dédiés, "Monde de Pierres" vise à fournir un outil accessible et puissant pour la communauté mondiale. Les utilisateurs pourraient non seulement identifier des minéraux en quelques clics, mais aussi accéder à des informations sur leur valeur marchande, les tendances du marché et les possibilités d'achat et de vente.

Cette plateforme offrirait des outils avancés pour estimer la valeur des pierres, découvrir des marchés potentiels et effectuer des transactions en toute confiance. Les commerçants et les acheteurs pourraient bénéficier de recommandations personnalisées, et des opportunités de mise en relation avec des acheteurs et vendeurs fiables. En facilitant les échanges commerciaux dans le domaine des pierres précieuses, "Monde de Pierres" contribuerait ainsi à la croissance économique et à l'innovation dans ce secteur.

Notre projet, "Monde de Pierres", a pour ambition de développer cette plateforme intégrée, combinant les technologies avancées de l'IA et les connaissances minéralogiques. Cette initiative non seulement simplifie le processus d'identification des minéraux, mais révolutionne aussi le marketing des pierres précieuses en rendant le commerce plus transparent et accessible à tous. En proposant une application mobile conviviale et un site web complet, nous visons à créer une communauté mondiale où l'information et le commerce des pierres précieuses sont accessibles à tous.

2. Objectifs

L'objectif principal du projet "Monde de Pierres" est de développer une plateforme intelligente intégrant les technologies de l'intelligence artificielle (IA) et plus particulièrement l'apprentissage profond (Deep Learning) pour révolutionner l'identification et la commercialisation des minéraux et des pierres précieuses. Cette plateforme, accessible via une application mobile et un site web, vise à :

-Identification Automatique : Utiliser des réseaux de neurones profonds pour identifier et classer automatiquement les différents types de minéraux et de pierres précieuses à partir de photographies.

-Accessibilité : Offrir une application mobile et un site web pour rendre ces outils accessibles à un large public, incluant les collectionneurs amateurs, les experts industriels, ainsi que les étudiants et les enseignants dans les universités.

-Commercialisation : Intégrer des fonctionnalités de marketing permettant d'estimer la valeur des pierres, et de faciliter les transactions commerciales.

-Éducation : Fournir des informations détaillées sur chaque minéral pour enrichir les connaissances des utilisateurs, particulièrement les étudiants et enseignants en minéralogie.

-Innovation : Promouvoir l'innovation dans le domaine de la minéralogie en utilisant les technologies avancées du Deep Learning e pour transformer l'identification et le commerce des pierres précieuses.

Ce projet vise à simplifier l'identification des minéraux et à rendre le commerce des pierres précieuses plus transparent et accessible, tout en enrichissant les connaissances et les ressources éducatives pour un large éventail d'utilisateurs.

3. Méthodologie

La méthodologie adoptée dans cette étude se concentre sur l'identification des minéraux à partir d'images, en utilisant une approche basée sur l'apprentissage automatique. Tout d'abord, un ensemble de données initial de 1331 images a été collecté à partir du lien fourni¹, représentant une variété de minéraux. Pour enrichir la diversité des données, cet ensemble a été augmenté par des images supplémentaires. Ensuite, l'ensemble de données a été divisé en ensembles distincts pour l'entraînement, la validation et les tests, garantissant une évaluation rigoureuse des modèles. Trois approches différentes ont été mises en œuvre pour l'identification des minéraux : YOLOv8, YOLOv9 et SSD (Single Shot MultiBox Detector). Ces modèles ont été entraînés sur l'ensemble d'entraînement et leurs performances ont été évaluées sur l'ensemble de validation pour prévenir le sur-ajustement. Enfin, les performances des modèles ont été évaluées sur l'ensemble de test afin de déterminer la méthode la plus efficace pour l'identification des minéraux. Cette méthodologie permettra une analyse comparative approfondie des différentes approches et une sélection de la méthode optimale pour ce projet.

4. Structure du manuscrit

Le présent manuscrit est organisé comme suit :

Le premier chapitre, fournie une introduction détaillée sur les principes fondamentaux du Deep Learning, avec une mise en lumière de ses domaines d'application pertinents et son rôle crucial.

Le deuxième chapitre se penche sur la minéralogie et les défis associés à l'identification des minéraux, offrant un aperçu des approches traditionnelles et des travaux de recherche antérieurs dans ce domaine.

Le troisième chapitre expose en détail l'approche proposée pour l'identification des minéraux, mettant en avant les trois méthodes principales utilisées : YOLOv8, YOLOv9 et SSD, ainsi que la méthodologie d'entraînement des modèles et d'évaluation des performances.

Le quatrième chapitre combine la réalisation des applications mobiles et web avec les résultats obtenus lors de l'évaluation des modèles. Cette approche permet une intégration fluide des aspects techniques de la mise en œuvre avec les résultats concrets, offrant ainsi une vue complète de l'étude menée

Enfin, en annexe, le guide de projet startup est décrit en détail, Cette partie offre une feuille de route détaillée pour nous aider à lancer et développer notre entreprise.

***Chapitre 01 L'Apprentissage
Profond***

II. Chapitre 1 : L'apprentissage Profond (Deep Learning)

1. Introduction

Dans ce chapitre, nous plongerons dans les fondements du Deep Learning, une branche de l'intelligence artificielle (IA) qui a révolutionné de nombreux domaines d'application. Nous commencerons par une exploration des principes fondamentaux du Deep Learning, en mettant en évidence son fonctionnement et son potentiel dans la résolution de problèmes complexes.

2. Evolution historique

Depuis les années 1950, les chercheurs se sont penchés sur le concept d'intelligence artificielle (IA), cherchant à créer des machines capables de simuler le raisonnement humain. Les premières approches reposaient sur la logique formelle et la théorie des ensembles, mais se sont révélées limitées dans leur capacité à traiter la complexité du monde réel.

Dans les années 1960, des figures emblématiques telles que John McCarthy, Marvin Minsky et Claude Shannon ont jeté les bases de l'IA moderne en développant des techniques d'apprentissage automatique (DL) et des réseaux de neurones artificiels. Ces avancées ont permis aux machines d'apprendre à partir des données, marquant ainsi le début de l'ère de l'IA basée sur les données.²

L'apprentissage automatique repose sur des disciplines telles que la statistique, la théorie de la probabilité et l'optimisation, permettant aux machines d'apprendre des règles à partir des données plutôt que d'être explicitement programmées. Au fil du temps, l'apprentissage automatique est devenu un élément essentiel de nombreux systèmes technologiques avancés, impactant des domaines allant de la reconnaissance d'image à la conduite autonome.

Le domaine de l'apprentissage automatique se divise en deux catégories principales : supervisé et non supervisé. Dans l'apprentissage supervisé, les modèles sont formés sur des données étiquetées, tandis que dans l'apprentissage non supervisé, les modèles découvrent des structures dans des données non étiquetées.

L'apprentissage automatique repose sur des disciplines telles que la statistique, la théorie de la probabilité et l'optimisation, permettant aux machines d'apprendre des règles à partir des données plutôt que d'être explicitement programmées. Au fil du temps, l'apprentissage

automatique est devenu un élément essentiel de nombreux systèmes technologiques avancés, impactant des domaines allant de la reconnaissance d'image à la conduite autonome.

Le développement du DL, une sous-branche de l'apprentissage automatique, a été une avancée majeure dans le domaine de l'IA. Appelé ainsi en raison de l'utilisation de réseaux de neurones profonds, le DL permet d'extraire des représentations hiérarchiques complexes à partir des données, ce qui a conduit à des avancées significatives dans des domaines tels que la reconnaissance d'image, la reconnaissance vocale et le traitement du langage naturel.

Ainsi, de l'intelligence artificielle à l'apprentissage automatique, puis au DL (voir figure 1), cette évolution historique illustre la progression des méthodes et des techniques utilisées pour créer des systèmes intelligents capables d'apprendre et de s'adapter à partir des données.

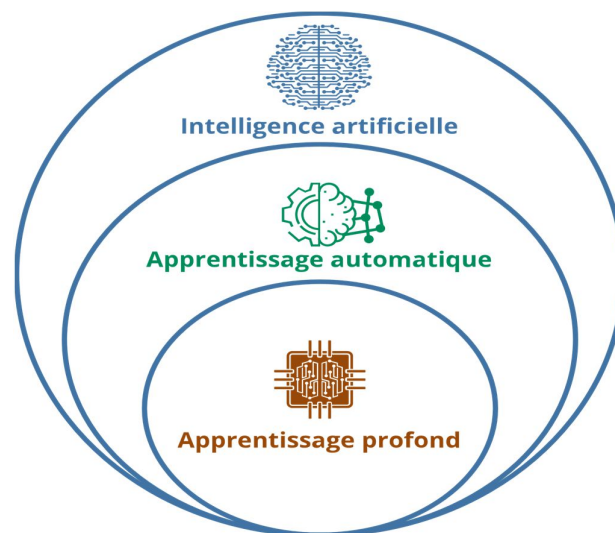


Figure 1: Relation entre IA, ML et DL ³

3. Concept de base et terminologie

Pour cerner la notion du Deep Learning, nous avons jugé nécessaire de présenter les terminologies ci-dessous :

3.1 Réseaux de Neurones Artificiels (ANN)

Des modèles inspirés du cerveau humain, composés de neurones artificiels connectés par des synapses.

3.2 Couches et Profondeur

Les réseaux de neurones sont organisés en couches (entrée, cachées, sortie), avec la profondeur indiquant le nombre de couches cachées.

3.3 Paramètres et Poids

Les connexions entre les neurones sont associées à des poids, ajustés lors de l'apprentissage pour minimiser l'erreur.

3.4 Fonctions d'Activation

Des fonctions non linéaires appliquées à la sortie des neurones, permettant de capturer des relations complexes dans les données.

3.5 Entraînement et Apprentissage

Le processus d'ajustement des poids basé sur des algorithmes d'optimisation (comme la descente de gradient) pour apprendre à partir des données.

4. Réseau de neurones artificiels (RNA)

L'apprentissage profond ou Deep Learning (DL) est un type particulier d'apprentissage automatique qui se concentre sur l'utilisation d'algorithmes appelés réseaux de neurones artificiels, s'inspirant ainsi de la structure et du fonctionnement du cerveau humain.

Les réseaux de neurones artificiels (RNA) sont composés de trois types de couches : une couche d'entrée, des couches cachées et une couche de sortie. Chaque couche apprend des poids spécifiques et applique des transformations non linéaires aux données. Les RNA peuvent modéliser des relations complexes en utilisant des fonctions d'activation, ce qui leur permet de capturer des liaisons non linéaires entre les entrées et les sorties. Pour cette raison, ils sont souvent appelés « approximateurs de fonction universelle ».⁴

5. Architecture de réseaux de neurones

Dans le domaine du Deep Learning, différentes architectures de modèles ont été élaborées pour répondre à des besoins spécifiques. Parmi celles-ci, on trouve notamment les réseaux de neurones convolutionnels (CNN), les réseaux de neurones récurrents (RNN), les réseaux de neurones entièrement connectés, les réseaux de neurones antagonistes génératifs (GAN), et bien d'autres. Chacune de ces architectures possède ses propres caractéristiques et applications, offrant ainsi une gamme diversifiée d'outils pour résoudre différents types de problèmes en apprentissage automatique.

5.1 Réseau de neurone entièrement connectés (Fully connected)

La base de nombreux algorithmes de Deep Learning repose sur les réseaux de neurones entièrement connectés FCNN. Ils se révèlent performants pour gérer des tâches complexes à partir d'un grand nombre de données (big data). Il est aussi plus compliqué de les entraîner qu'un autre réseau neural.⁵

5.2 Les réseaux de neurones convolutifs (CNN)

Les réseaux neuronaux convolutifs sont une génération de réseaux neuronaux artificiels couramment employée dans les secteurs de l'analyse d'images et de vidéos, ainsi que de la reconnaissance d'objets.

Ces réseaux se distinguent par leur capacité à apprendre automatiquement un large éventail de caractéristiques abstraites à partir des données. Cette capacité est particulièrement précieuse lors de la résolution de problèmes de modélisation prédictive spécifiques, où les réseaux sont capables d'extraire de manière efficace des informations significatives à partir des données d'entrée. Cette section examinera en détail les réseaux neuronaux convolutifs, mettant en lumière leur fonctionnement et leur application dans divers domaines.⁶

5.3 Réseaux de neurones récurrents

Le choix des algorithmes pour les données de séries temporelles diffère totalement de celui des données statiques. Il est nécessaire que l'algorithme utilisé pour les données temporelles puisse extrapoler des modèles et encapsuler les composants des séries temporelles en dehors du domaine des données de formation. Cependant, la plupart des algorithmes de machine learning statiques tels que la régression linéaire ou les SVMs ne possèdent pas cette capacité, car ils généralisent le champ de formation pour toutes les nouvelles prédictions. Pour prédire des séries temporelles, on utilise des réseaux neuronaux, en particulier des réseaux neuronaux récurrents (RNNs).

RNN désignent des réseaux avec une réponse impulsive infinie, tandis que les CNN ont une réponse impulsive limitée. Toutes deux présentent des dynamiques temporelles, mais les RNNs à impulsion finie sont acycliques et extensibles, tandis que ceux à impulsion infinie sont cycliques et unfoldable. Exemples d'architectures RNN comprennent les FRNNs, les ESNs, les RNNs de seconde génération, les LSTMs et les GRUs.⁷

5.4 Réseaux de Neurones Générateurs Antagonistes (GAN)

- Un réseau antagoniste génératif (GAN) est une méthode d'intelligence artificielle qui permet de générer des imitations parfaites d'images ou d'autres données.
- Un GAN ou réseau antagoniste génératif (réseau antagoniste génératif en français) est une méthode d'apprentissage automatique. Elle est basée sur la confrontation de deux réseaux au sein d'un Framework.
- On désigne ces deux réseaux sous les noms de "générateur" et "discriminateur". La fonction du générateur est de générer de nouvelles instances d'un objet, ce qui en fait un réseau neuronal convolutif. Le discriminateur, quant à lui, est un réseau neuronal "déconvolutif" qui évalue l'authenticité de l'objet ou s'il fait partie d'un ensemble de données.⁸

5.5 Réseaux de Neurones Siamois

Les réseaux Siamois Il s'agit de réseaux de neurones qui regroupent deux ou plusieurs composants de sous-réseau similaires. Les réseaux siamois sont une alternative appréciée pour les problèmes d'apprentissage ponctuels, lorsque chaque classe dispose d'un seul échantillon.

La mise en place d'une architecture de réseau siamois avec une métrique d'apprentissage adéquate a pour objectif de créer une intégration où deux entrées similaires génèrent des descripteurs similaires et deux entrées différentes génèrent des descripteurs différents. Plusieurs applications ont réussi à utiliser les réseaux siamois, qui reposent sur des images de suivi des piétons et une ré-identification, afin de segmenter les objets similaires au premier plan en même temps, ainsi que dans certains scénarii basés sur du texte.⁹

5.6 Réseaux de Neurones Transformateurs

Le réseau neuronal transformateur, également connu sous le nom de transformer neural network, est une architecture de réseau neuronal que des chercheurs de Google ont introduite dans leur article intitulé « Attention is All You Need ». Les mécanismes d'attention sont utilisés par le TNN pour résoudre les tâches de manière séquentielle tout en gérant aisément les dépendances à long terme. En d'autres termes, ce modèle d'architecture n'est pas organisé de manière séquentielle. Cela rend le traitement parallèle des données plus facile et accélère

l'apprentissage des modèles. Cela est particulièrement captivant pour les longues séquences d'apprentissage profond.¹⁰

Dans notre contexte d'identification minéralogique, nous nous concentrons spécifiquement sur l'utilisation des réseaux de neurones convolutifs (CNN) pour extraire des caractéristiques pertinentes à partir des données d'imagerie.

6. Architecture d'un réseau de neurones convolutifs

Le réseau de neurones convolutif comprend quatre couches distinctes : la couche de convolution, la couche de pooling, la couche de correction ReLU et la couche fully-connected.

6.1 La convolution de la couche

Les réseaux de neurones convolutifs se composent principalement de la couche de convolution, qui est toujours au moins la première couche. Il vise à détecter l'existence d'un ensemble de caractéristiques dans les images reçues en entrée. Dans cette optique, un filtrage par convolution est effectué : Le concept consiste à faire glisser une fenêtre symbolique de la caractéristique sur l'image, puis à calculer le produit de convolution entre la caractéristique et chaque portion de l'image balayée. On considère une fonctionnalité comme un filtre : les deux termes sont équivalents dans cette situation.

6.2 Couche de mise en commun (pooling)

Ce genre de couche est fréquemment utilisé entre deux couches de convolution : elle reçoit plusieurs cartes de caractéristiques en entrée et applique l'opération de pooling à chacune d'entre elles. L'objectif de l'opération de pooling (ou sub-sampling) est de diminuer la taille des images tout en préservant leur importance.

6.3 La couche ReLU

Afin d'optimiser l'efficacité du traitement, une couche est ajoutée entre les différentes couches de traitement afin d'exécuter une fonction mathématique (fonction d'activation) sur les signaux de sortie. Dans ce contexte, nous trouvons la fonction réelle non-linéaire ReLU (Rectified Linear Units) est définie par $\text{ReLU}(x) = \max(0, x)$.

6.4 La couche complètement liée

Est toujours la dernière couche d'un réseau de neurones, qu'il soit convolutif ou non - elle n'est donc pas typique d'un CNN. Ce genre de couche reçoit une entrée de vecteur et génère une sortie de vecteur. Elle utilise donc une combinaison linéaire, puis éventuellement une

fonction d'activation, pour appliquer les valeurs reçues en entrée. L'image en entrée du réseau peut être classifiée grâce à la couche fully-connected, qui renvoie un vecteur de taille N , où N est le nombre de classes dans notre problème de classification d'images. Chaque composant du vecteur représente la probabilité que l'image en entrée soit classée.¹¹

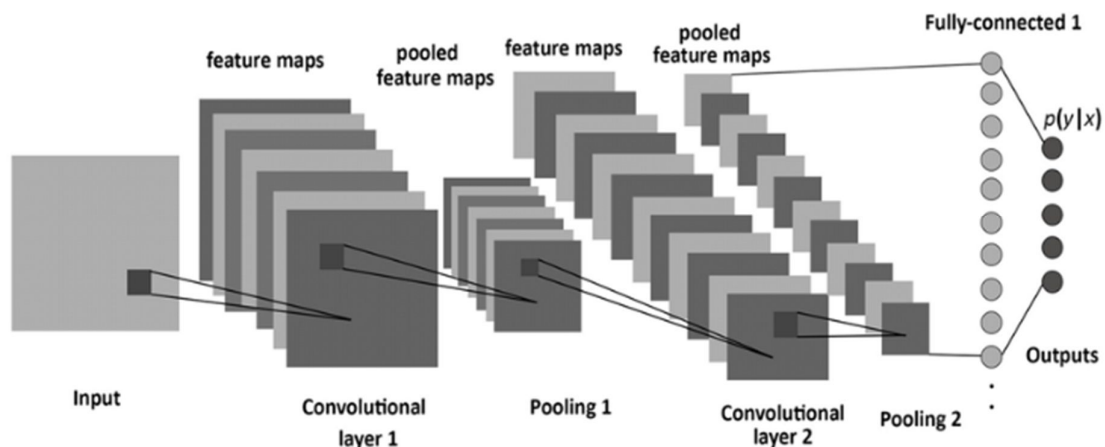


Figure 2: L'architecture du réseau de neurones convolutif

7. Domaines d'application du Deep Learning

L'apprentissage profond (Deep Learning) est une technique utilisée dans plusieurs domaines, notamment :

- **Traitement du langage naturel** : Le Deep Learning est largement utilisé pour le traitement du langage naturel, y compris la traduction automatique, la génération de texte et l'analyse des sentiments.
- **Robotique** : Le Deep Learning est utilisé dans la robotique pour la perception sensorielle, la planification de trajectoire et le contrôle de robot, permettant aux robots d'interagir de manière plus intelligente avec leur environnement.
- **Sciences de la santé** : Dans le domaine de la santé, le Deep Learning est utilisé pour l'analyse d'imagerie médicale, le diagnostic de maladies et la découverte de médicaments.
- **Finance** : Le Deep Learning est utilisé dans la finance pour la modélisation des risques, la prédiction des prix des actifs et la détection de fraudes.

- **Transport** : Dans le domaine des transports, le Deep Learning est utilisé pour la détection d'objets sur les routes, la navigation autonome, l'optimisation des itinéraires, etc.
- **Minéralogie** : En se concentrant sur la minéralogie, le Deep Learning est utilisé pour l'identification des minéraux, l'analyse de composition chimique, la prédiction du comportement des minéraux et la modélisation de la cristallographie.

8. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons exposé les bases de l'apprentissage profond, une discipline de l'intelligence artificielle qui a connu des avancées notables ces dernières années. La performance et le potentiel de l'apprentissage profond ont été mis en évidence dans la résolution de problèmes complexes. Le chapitre suivant portera sur les avancées récentes dans le domaine de la minéralogie, un domaine d'application où l'exploration par apprentissage profond commence avec succès. Cette évolution vers l'étude des applications d'apprentissage profond dans la minéralogie approfondira davantage cette technologie émergente.

Chapitre 02 Minéralogie

III. Chapitre 2 : Etat de l'art

1. Introduction

La minéralogie, en tant que branche de la géologie, joue un rôle crucial dans de nombreux domaines, notamment l'industrie, l'environnement et la recherche scientifique. La capacité d'identifier avec précision les minéraux est essentielle pour ces domaines, et les techniques traditionnelles, bien que robustes, présentent certaines limitations. Les méthodes modernes basées sur le DL offrent des solutions prometteuses pour surmonter ces défis. Ce chapitre explore les fondements de la minéralogie, examine les méthodes traditionnelles d'identification des minéraux, et discute des progrès récents dans l'application du DL à ce domaine, en mettant en lumière des modèles tels que YOLO et SSD, et l'état de l'art des applications du DL dans ce domaine.

2. Fondement de la minéralogie

L'objectif de notre projet est de concevoir une solution novatrice d'intelligence artificielle spécialement conçue pour identifier et classer de manière précise les minéraux. Afin d'y parvenir, il est nécessaire de connaître les bases de la géologie et de la minéralogie.

Commençons donc par définir les termes clés tels que la géologie, la minéralogie, la notion de minéral et leurs principales caractéristiques.

2.1 La Géologie

Étymologiquement, la géologie désigne la science de la Terre. Elle ne concerne en réalité que les substances non vivantes (ou minérales) qui forment l'écorce terrestre, c'est-à-dire la partie externe de la Terre.

La géologie peut être considérée de différentes manières :

- L'aspect descriptif : il s'agit de la description de la structure actuelle de l'écorce terrestre ; cette description se manifeste, par exemple, par l'établissement de cartes géologiques ;
- L'aspect phénoménologique : il s'agit des caractéristiques des matières minérales et des phénomènes d'élaboration et de transformation qu'elles subissent ;
- L'aspect historique : il s'agit de l'histoire de l'écorce terrestre.

Ces trois éléments sont interdépendants : l'état actuel de l'écorce est le fruit de son passé, et celui-ci ne peut être reconstruit que par l'étude des phénomènes géologiques.¹²

2.2 La Minéralogie

Les minéralogistes se penchent sur l'analyse chimique, la diffraction des rayons X, la microscopie et d'autres techniques de caractérisation des minéraux à l'échelle microscopique et macroscopique. Les minéraux sont classifiés en fonction de leurs propriétés physiques et chimiques, comme leur dureté, leur éclat, leur couleur, leur clivage, leur densité, leur système cristallin et leur composition chimique.

2.3 Le Minéral

« Minéral » est le terme scientifique pour « pierre », un élément naturel, relativement lourd et dur, sans vie, inorganique, ayant une structure atomique ordonnée et une composition chimique définie et stable. Il se forme à la suite de processus géologique tels que la solidification du magma, la précipitation de solutions aqueuses et l'altération d'autres minéraux. Formant quelque fois des cristaux transparents et brillants qu'on appelle « pierres précieuses ».¹³

2.4 Les caractéristiques des Minéraux

2.4.1 La couleur et le trait

Il est rare que la couleur des minéraux soit un critère de détermination fiable. La majorité des minéraux peuvent présenter une variété de teintes. La fluorine peut être incolore, jaune, brunâtre, rosé, verte bleue, violette ou presque noire, par exemple. Les variétés sont causées par l'introduction de substances chimiques et mécaniques qui altèrent la couleur réelle d'un minéral.

La couleur du trait est un caractère plus important que la couleur pour identifier les minéraux, connu sous le nom de « trait ». Lorsqu'on frotte avec un angle de l'échantillon, on peut observer une tablette de porcelaine non glacée.

Quartz, halite (sel), Calcite, Fluorite ...	Trace blanche ou faiblement colorée, minéraux plus durs que la porcelaine
Azurite, Lapis lazuli	Trace bleu clair à bleu vert
Cinabre, Cuprite, Hématite	Trace rose à rouge-brun
Réalgar, Or natif	Trace jaune pâle, orange à ocre
Blende, Goethite, Rutile	Trace brune-jaune à marron
Chlorite, Malachite	Trace vert pâle, vert-bleu, vert-gris à vert-noir
Graphite, Stibine, Galène, Chalcopyrite	Trace grise à noir

Tableau 1: Trait de certains minéraux

2.4.2 L'éclat et la transparence

L'éclat d'un minéral est principalement dû à la lumière réfléchiée à sa surface. Il y a des éclats vitreux, soyeux, nacrés, adamantins, gras et métalliques que nous distinguons. Beaucoup de minéraux ne sont pas brillants, ils sont lisses.

Les métaux à l'état natif ne présentent pas seulement l'éclat métallique, mais aussi les sulfures, les sulfosels et certains oxydes. Les minéraux présentent une transparence, une translucidité. La dernière catégorie comprend tous les minéraux qui ont une couleur métallique. La plupart des minéraux, sauf les métaux, sont cependant transparents ou translucides en lames très fines. L'image suivante représente l'éclat :

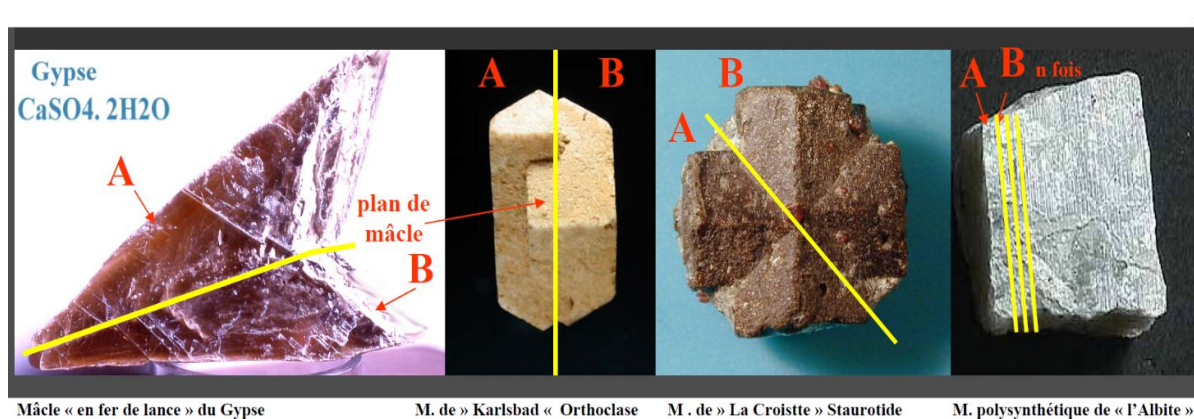


Figure 3: Certains images de l'éclat

2.4.3 Le clivage et la cassure

Beaucoup de minéraux sont capables de se cliver sur des surfaces planes. On évoquera donc le clivage. Il est influencé par le réseau du cristal. On distingue un clivage très parfait (mica), parfait (calcite) et imparfait (grenat) en fonction de la facilité de clivage d'un minéral. Le clivage de tous les minéraux spathiques (feldspath, fluorine, calcite) est assez bon. Cependant, certains minéraux ne se laissent pas du tout cliver (comme le quartz). Un clivage n'est pas une séparation de cristaux maclés par accolement.

La cassure, c'est-à-dire la séparation selon des surfaces de rupture irrégulières causées par le choc, peut être un critère de détermination crucial parmi les minéraux qui se clivent mal ou pas du tout. Des cassures conchoïdales, esquilleuses, fibreuses, lisses ou terreuses sont identifiées. La fracture de la conchoïde est typique pour le quartz et tous les minéraux d'aspect vitreux. L'image suivante montre certains types de clivage :

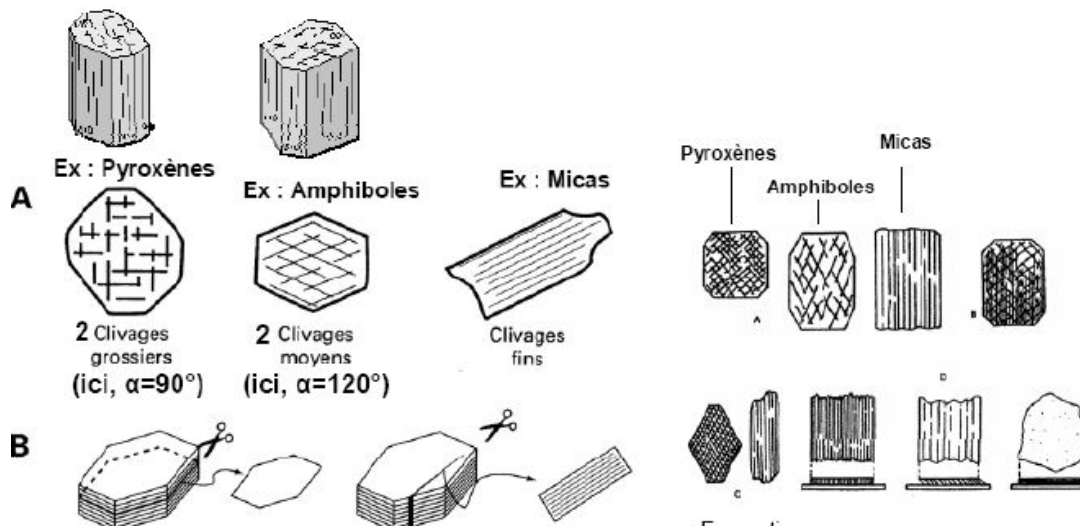


Figure 4: Certaines formes de clivages

2.4.4 La dureté

La dureté désigne la capacité d'un minéral à résister à la rayure d'un matériau aux arêtes vives. Selon la suggestion du minéralogiste viennois Friedrich Mohs (1773-1839), les minéraux sont répartis sur une échelle de dureté de 10 niveaux. Dans cette classification, chaque minéral raye celui dont la dureté est inférieure, puis il est rayé par les minéraux plus durs qui le suivent dans l'échelle. Les minéraux de la même dureté ne se détachent pas les uns des autres.

On peut évaluer la dureté d'un minéral spécifique en utilisant les termes de cette échelle de Mohs. On considère que les minéraux de dureté 1 et 2 sont tendres, ceux de dureté 3 à 6 semi-durs et ceux au-dessus de 6 durs. Les duretés allant de 8 à 10 se rencontrent essentiellement parmi les pierres précieuses. L'échelle de Mohs comprend dix degrés, allant de 1 à 10, dans l'ordre de la dureté croissante Selon ce tableau :

Dureté	Minéral
1	Talc
2	Gypse
Dureté de l'ongle	
3	Calcite
4	Fluorine

5	Apatite
Dureté de l'acier	
6	Orthose
Dureté de verre	
7	Quartz
8	Topaze
9	Corindon
10	Diamant

Tableau 2: Echelle de dureté des minéraux de Friedrich MOHS (1922)

2.4.5 La densité

- Le poids d'un corps par rapport au poids du même volume d'eau est appelé densité (ou poids spécifique). La densité d'un minéral de 2.6 (quartz) est donc 2,6 fois supérieure à celle d'une quantité d'eau de même volume. Les minéraux, roches et minerais ont une densité comprise entre 1 et 20.
- La valeur de 2 est celle des corps légers (ambre), celle de 2 à 4 est celle des corps moyens (quartz, 2.6) et celle des corps de densité supérieure à 4 est celle des corps lourds (galène, 7.5).
- Les minéraux constitutifs des roches, tels que le quartz et le feldspath, ont une densité supérieure à celle des pierres précieuses et des métaux nobles. Par conséquent, elles sont présentes avant les sables quartzueux dans les dépôts fluviatiles : on appelle placers de tels gîtes de minéraux utiles.

2.4.6 Le magnétisme

Certains minéraux, tels que la magnétite, sont capables d'être aimantés. On qualifie ces minéraux de ferromagnétiques. Contrairement à cela, les minéraux qui ne réagissent pas à l'aimant sont appelés diamagnétiques.

2.4.7 La radioactivité

Des minéraux qui renferment des substances radioactives, telles que l'uranium ou le thorium, produisent des rayonnements ! En utilisant un scintillomètre ou un compteur Geiger-Müller, il est possible de les détecter facilement, à condition que la quantité de ces minéraux ou leurs concentrations soient adéquates.

2.4.8 La luminescence

Lorsqu'ils sont soumis à des traitements spécifiques, certains minéraux possèdent la capacité d'émission de lumière, ce qui les rend luminescents. On appelle triboluminescentes les minéraux qui émettent une lumière à l'impact d'un choc. Certains, qui répondent de manière émouvante lorsqu'ils sont chauffés, sont appelés thermos luminescents

Cependant, la fluorescence est la manifestation la plus traditionnelle d'une émission lumineuse. Ce processus se produit lorsque certains minéraux sont exposés à une source ultraviolette. Deux catégories d'ultraviolets sont présentes : les ultraviolets « longs » (U.V.L), avec une longueur d'onde de 3000 à 4000 Å, et les ultraviolets « courts » (U.V.C), avec une longueur d'onde de 1800 à 3000 Å.

En ce qui concerne certains minéraux, cette fluorescence peut être constante, ce qui se traduit par l'émission d'une lumière de couleur constante, tant sous U.V.L que sous U.V.C. Par exemple, le fluor est fluorescent en vert intense.

Elle peut également ne se manifester qu'avec l'un des deux types de radiations. Sous U.V.C, la scheelite est d'un blanc bleuté et ne réagit pas, ou très peu, aux UVL.

Les minéraux qui ne sont généralement pas fluorescents peuvent le devenir s'ils renferment certaines impuretés. Parfois, la fluorescence de ces minéraux se restreint à un seul gîte. Dans cette situation, l'expression de ce droit peut être un critère de reconnaissance.

2.4.9 La solubilité et le goût

Quelques minéraux peuvent être dissous dans l'eau. Il est possible que cette solubilité soit accompagnée d'un goût qui peut être un critère de reconnaissance appréciable. Par exemple, la salmiac a un goût extrêmement désagréable ; la saveur de l'halite, ou sel de cuisine, est également très distinctive.¹⁴

3 Techniques traditionnelles d'identification des minéraux

Dans le domaine de la minéralogie, il est essentiel de reconnaître et de classer de manière précise les minéraux. Différentes techniques sont employées par les minéralogistes pour étudier les minéraux, comme la microscopie, la diffraction des rayons X et la spectroscopie². Nous allons présenter ce qui suit :

3.1 L'observation visuelle

L'observation visuelle est l'une des techniques de base utilisées dans l'identification des minéraux. Elle consiste à examiner attentivement les caractéristiques physiques et les propriétés optiques des minéraux à l'aide d'un microscope ou à l'œil nu. Elle permet de recueillir des informations sur l'apparence générale des minéraux, telles que leur couleur, leur éclat, leur transparence ou leur opacité. Ces caractéristiques peuvent fournir des indications préliminaires sur l'identification possible d'un minéral.

On distingue 4 principaux critères de détermination pour l'examen visuel : la couleur, l'éclat, la transparence et la forme.¹⁴

3.2 La spectroscopie

La spectroscopie est une méthode d'analyse captivante qui nous permet d'explorer l'interaction subtile entre la matière et la lumière. Grâce à cette technique, nous pouvons percer les mystères de la composition chimique des échantillons, y compris celle des minéraux. Examinons ensemble certaines des méthodes de spectroscopie les plus fréquemment employées pour l'identification des minéraux :

1. La spectroscopie infrarouge (IR) permet de

- Mesurer comment les liaisons chimiques absorbent la lumière infrarouge dans un minéral ;
- Dans le spectre IR, chaque type de liaison (C-H, O-H, N-H, etc.) présente une signature spécifique ;
- En comparant son spectre à une base de données, il est possible d'identifier les groupes fonctionnels présents dans le minéral.

2. Spectroscopie de réflectance

- La réflexion de la lumière sur la surface d'un minéral est mesurée par spectroscopie de réflectance ;
- Les minéraux possèdent des caractéristiques de réflectance particulières selon leur composition chimique ;
- Elle est utilisée pour dresser une carte de la répartition des minéraux à la surface de la Terre ou de l'espace.

3. Spectroscopie de fluorescence X (XRF)

- L'émission de rayons X lors de l'excitation d'un échantillon avec des rayons X est mesurée par spectroscopie de fluorescence X (XRF) ;

- Chaque élément a un spectre de fluorescence X unique, permettant de déterminer la composition élémentaire des minéraux.

4. Spectroscopie Raman

- La diffusion inélastique de la lumière laser par les vibrations moléculaires dans un minéral est mesurée à l'aide de la spectroscopie Raman ;
- Chaque minéral possède un spectre Raman spécifique, qui sert à l'identification de celui-ci.

5. Spectroscopie d'absorption UV-Visible permet de

- Mesurer comment un échantillon minéral absorbe la lumière ultraviolette et visible.
- Quelques minéraux possèdent des bandes d'absorption particulières qui permettent de les identifier.

3.3 La diffraction des rayons X

Les rayons X diffraction sont une méthode efficace pour étudier la structure cristalline des matériaux, y compris les minéraux. Voici le fonctionnement de cela :

1) Le concept de diffraction des rayons X

- Quand on dirige des rayons X vers un cristal, ils entrent en contact avec les atomes du réseau cristallin.
- La diffraction des ondes de rayons X varie en fonction de la position des atomes dans le cristal.
- Le diagramme de diffraction est un motif de taches créé par la diffraction sur un détecteur.

2) La formule de Bragg

- L'angle de diffraction (θ), la longueur d'onde des rayons X (λ) et la distance entre les plans cristallins (d) sont liés par l'équation de Bragg : $2d\sin(\theta)=n\lambda$ où :
 - o d est la distance entre les plans cristallins.
 - o θ est l'angle de diffraction.
 - o n est un nombre entier (ordre de diffraction).
 - o λ est la longueur d'onde des rayons X. Les rayons X ont une longueur d'onde de λ .

3) Examiner le schéma de diffraction :

- Les distances inter planaires et la structure cristalline peuvent être déterminées en mesurant les angles de diffraction et en utilisant l'équation de Bragg.

- Chaque minéral possède son propre diagramme de diffraction, ce qui facilite son identification.

4) Applications :

En minéralogie, en géologie, en science des matériaux et en biologie structurale, la diffraction des rayons X est employée. Les phases minérales peuvent être identifiées, les matériaux peuvent être caractérisés et les protéines cristallines peuvent être analysées.¹⁵

3.4 Les tests chimiques

Les minéraux sont identifiés grâce à leurs réactions avec certaines substances chimiques grâce aux tests chimiques. Voici quelques examens fréquents :

1) Test d'effervescence avec l'acide chlorhydrique (HCl)

- Afin de tester l'effervescence, il est nécessaire d'appliquer une goutte d'acide chlorhydrique (HCl) sur le minéral ;
- Lorsque des bulles de gaz apparaissent, cela signifie que des carbonates (comme la calcite) sont présents.

2) Test de la flamme

- Mettez un morceau de minéral à chauffer dans une flamme ;
- Certaines matières minérales génèrent des teintes spécifiques. Par exemple, la flamme violette est produite par le potassium.

3) Test de la magnétite

- Le test de la magnétite consiste à utiliser un aimant afin de vérifier la magnétique du minéral ;
- L'exemple de minéral magnétique est la magnétite.

4) Test de la limaille de fer

- Frottez le minéral sur une plaque de limaille de fer pour tester la limaille de fer.

5) Test de la réaction avec l'eau

- Certains minéraux réagissent avec l'eau. Par exemple, l'halite (sel gemme) a un goût salé.

4 Les Limites des Techniques Traditionnelles

Les méthodes classiques en minéralogie, même si elles ont joué un rôle essentiel dans le développement de la discipline, peuvent être confrontées à certaines limites face aux progrès technologiques et aux critères actuels du domaine. Voici certaines de ces contraintes :

1) Résolution Limitée : les méthodes classiques telles que la microscopie optique présentent une résolution restreinte, ce qui peut compliquer l'identification précise des minéraux de petite taille ou mal cristallisés.

2) L'analyse non destructive : telle que la diffraction des rayons X, implique souvent la préparation d'échantillons, ce qui peut entraîner des modifications ou la destruction du spécimen initial.

3) Sensibilité et Sélectivité : Les méthodes conventionnelles peuvent être insuffisamment sensibles pour repérer des éléments à faible concentration ou pour distinguer des minéraux ayant des compositions chimiques très similaires.

4) Mesure des Composants : La mesure précise des composants présents dans un minéral est souvent restreinte par les capacités des instruments classiques.

5) La vitesse et l'automatisation : L'analyse manuelle est souvent plus lente et moins reproductible que les méthodes automatisées modernes qui exploitent l'intelligence artificielle.¹⁶

5 Méthodes spécifiques de Deep Learning pour l'identification des minéraux :

Cette section met en lumière les techniques sophistiquées de Deep Learning employées dans le domaine de l'identification. Il existe de nombreuses techniques d'identification que nous proposons parmi elles les technologies les plus célèbres YOLO et SSD.

Il est envisageable d'entraîner YOLO et SSD sur des images de minéraux afin de reconnaître leurs formes, couleurs et textures spécifiques. Ceci pourrait s'avérer particulièrement bénéfique pour l'analyse rapide de échantillons minéraux sur le terrain ou pour automatiser la classification des minéraux en laboratoire.

En appliquant YOLO et SSD à la minéralogie, il serait nécessaire de :

1) Recueillir une collection de données : Collecter des images de grande qualité de divers minéraux, à la fois sous différents angles et dans différentes conditions d'exposition.

2) Stimuler le modèle : Utilisez cette base de données afin de former un modèle YOLO et SSD à reconnaître et à classifier les minéraux.

3) Tester et affiner : Évaluer les performances du modèle sur de nouvelles images et ajuster l'entraînement au besoin pour améliorer la précision.¹⁷

6 Projets similaires

Il est indispensable avant de se lancer dans la réalisation de tout projet, de bien étudier et analyser des projets similaires pour profiter des avantages et éviter les malveillances dans le présent projet.

Donc, pour notre projet, il n'y a pas de projet similaire en Algérie, mais il y a des projets similaires dans certaines caractéristiques dans différents pays à mentionner :

1) Rock Identifier

L'application Rock Identifier permet d'identifier plusieurs types de minéraux à l'aide de la caméra du téléphone. Après des essais sur différents minéraux, il s'avère que l'application identifie les minéraux en se basant sur leurs couleurs caractéristiques et affiche les minéraux ayant la même couleur.¹⁸

2) Web site mineraly

Mineraly est un site français spécialisé dans la vente de pierres et de minéraux, sans donner de détails sur leurs caractéristiques et propriétés. On ne trouve pas non plus sur le site une interface permettant aux utilisateurs de repérer les minéraux qu'ils souhaitent explorer plus en détail. Cela restreint considérablement l'expérience d'achat et d'apprentissage des clients qui souhaitent découvrir les caractéristiques et identifier les divers types de minéraux disponibles sur la plateforme. Il serait très bénéfique d'ajouter un outil d'identification des minéraux afin d'enrichir l'offre du site Mineraly et de proposer une expérience d'achat et d'exploration des produits minéraux améliorée.¹⁹

3) Rock ID

L'application Rock ID prétend pouvoir identifier différents types de minéraux. Après l'avoir testée sur plusieurs minéraux, il s'est avéré qu'elle ne se base que sur les couleurs pour identifier les minéraux, ignorant complètement leurs autres propriétés physiques comme la forme.²⁰

4) Rock Master

L'application Rock Master affirme pouvoir repérer divers types de minéraux en se basant uniquement sur leur couleur. Elle présente une liste des minéraux de la même couleur lorsqu'elle

détecte une couleur, sans prendre en compte d'autres caractéristiques physiques telles que la forme.²¹

5) Mineral Identification Based on Deep Learning Using Image Luminance Equalization

Le projet [22] est une approche qui explore l'utilisation de YOLO v5 pour identifier les minéraux, en appliquant des techniques de traitement d'image telles que l'équation d'éclairage pour améliorer les performances du modèle CNN.²²

7 Discussion

Contrairement aux applications avec références [18], [20], [21]. Notre application utilise une technologie d'apprentissage profond de pointe pour identifier avec précision et directement les minéraux en fonction de leur forme claire, de leur couleur et de leurs propriétés physiques, et pas seulement en fonction des couleurs comme le font ces applications.

De plus, Pour le site Mineraly avec référence [19]. Il est limité à la vente de minéraux uniquement en face de notre site avec des informations sur les minéraux et en plus d'une section pour les commercialiser. Le type de minéral peut également être uploadé en forme d'image pour l'identifier.

Dans le projet [22] ils ont adopté le modèle YOLO v5 qui est une version antérieure pour l'identification des minéraux. Cependant, notre approche suggère une amélioration significative de la précision grâce à l'utilisation des modèles YOLO v8 et YOLO v9, connus pour leur précision dans la détection et la localisation d'objets. On constate aussi que l'article se focalise seulement sur le critère de l'égalisation de la luminance qui est à la fois considéré comme une bonne et une mauvaise norme au contraire de notre application qui généralise et explore plusieurs critères comme la forme, couleur ...etc.

8 Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de bien distinguer la géologie et la minéralogie, en mettant en lumière que cette dernière se concentre spécifiquement sur l'étude approfondie des minéraux. L'identification et la classification des minéraux reposent sur l'analyse détaillée de leurs caractéristiques physiques telles que leur composition chimique, leur structure cristalline et leurs propriétés spécifiques. Cependant, les méthodes classiques d'identification présentent des

limites, soulignant ainsi l'importance de recourir à des techniques plus avancées, notamment grâce aux progrès technologiques, pour obtenir une reconnaissance précise des différents types de minéraux. La minéralogie joue donc un rôle essentiel dans la compréhension de la Terre et de ses matériaux, cette discipline scientifique étant en constante évolution.

Nous pouvons désormais passer au chapitre suivant, qui abordera les différentes méthodologies et techniques utilisées pour développer notre projet de plateforme d'intelligence artificielle dédiée à l'identification des minéraux.

***Chapitre 03 Approche
proposée***

IV. Chapitre 3 : Approche Proposé

1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons nous concentrer sur les modèles de détections d'objets YOLOv8, YOLOv9 représentent des évolutions successives de la célèbre famille de modèles YOLO ("You Only Look Once") et aussi le modèle SSD(Single Shot Detector), connus pour leurs rapidité et leurs efficacité dans la détection d'objets en temps réel, ces méthodes qui sont des versions améliorées de CNN fréquemment utiliser dans plusieurs domaines ,ce travail représente à notre connaissance la première application de " YOLOv8,v9 ", "SSD" dans le domaine de détection des minéraux, nous allons également aborder la dataset utilisé, et finalement nous allons décrire le processus d'apprentissage des modèle " YOLOv8,v9 " et les métriques utilisées pour évaluer leurs performances.

2. Le modèle YOLOv8

YOLOv8 a été lancé en janvier 2023 par Ultralytics, la société qui a développé YOLOv4, YOLOv5, et YOLOv6. C'est, à l'heure actuelle l'avant dernière version de YOLO (You Only Look Once) qui constitue une série d'algorithmes de détection d'objets, connus pour leurs capacités de détection en temps réel.²³

YOLOv8 prend en charge plusieurs tâches de vision, telles que la détection d'objets, la segmentation, l'estimation de pose et la localisation, le suivi et la classification.²⁴

Elle représente une évolution par rapport aux versions précédentes (comme. L'architecture de YOLOv8 intègre plusieurs avancées pour améliorer la précision et la vitesse de détection).

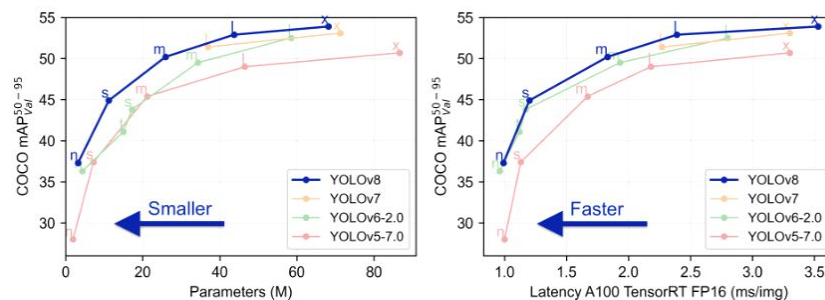


Figure 5: YOLOv8 par rapport aux autres modèles YOLO²⁵

2.1. Architecture de YOLOv8

L'architecture YOLOv8 peut être largement divisée en trois composants principaux, comme le montre la figure 6.

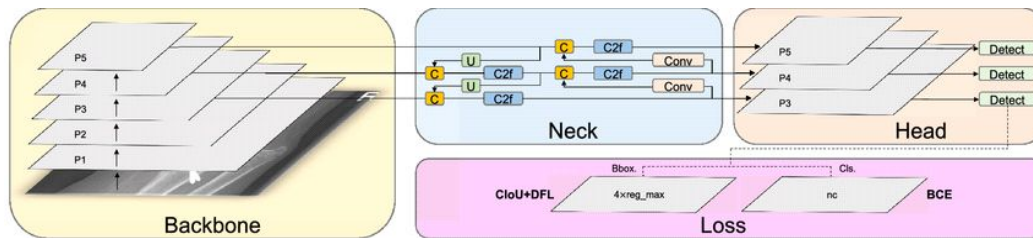


Figure 6: Architecture YOLOv8²⁶

1) Backbone

- Utilise une version améliorée des réseaux de neurones convolutifs (CNN) comme CSPDarknet, qui intègre des blocs CSP (Cross Stage Partial networks) pour une meilleure extraction des caractéristiques tout en réduisant les redondances.²⁷

2) Neck

- Comprend des composants comme le PANet (Path Aggregation Network) ou FPN (Feature Pyramid Network) pour fusionner les caractéristiques à différentes échelles, ce qui aide dans la détection d'objets de différentes tailles.²¹

3) Head

- Utilise des couches de prévision (prediction layers) pour détecter les objets et effectuer une régression des boîtes englobantes, ainsi que des classes d'objets.²¹
- YOLOv8 utilise une méthode de suppression non maximale douce (soft NMS) au lieu de la NMS, de sorte que les boîtes englobantes superposées ne sont pas entièrement supprimées, améliorant ainsi les performances du modèle.²⁰

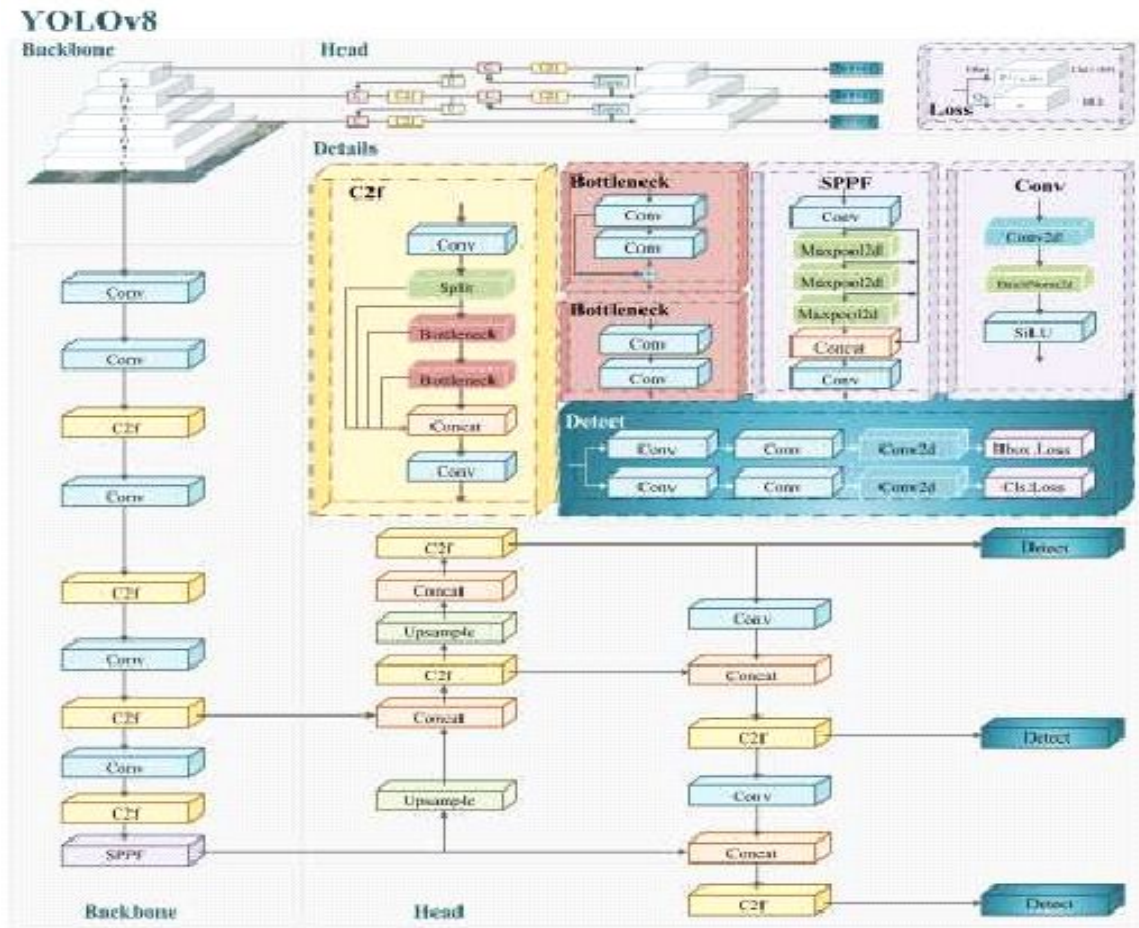


Figure 7: Architecture détaillée du modèle YOLOv8²⁰

3. Le modèle YOLOv9

YOLOv9 représente la dernière itération de la famille YOLO, il se distingue par son approche innovante pour surmonter les défis de perte d'informations inhérents aux réseaux de neurones profonds. En intégrant PGI et l'architecture polyvalente GELAN, YOLOv9 améliore non seulement la capacité d'apprentissage du modèle, mais assure également la conservation des informations cruciales tout au long du processus de détection, obtenant ainsi une précision et des performances exceptionnelles.²⁸

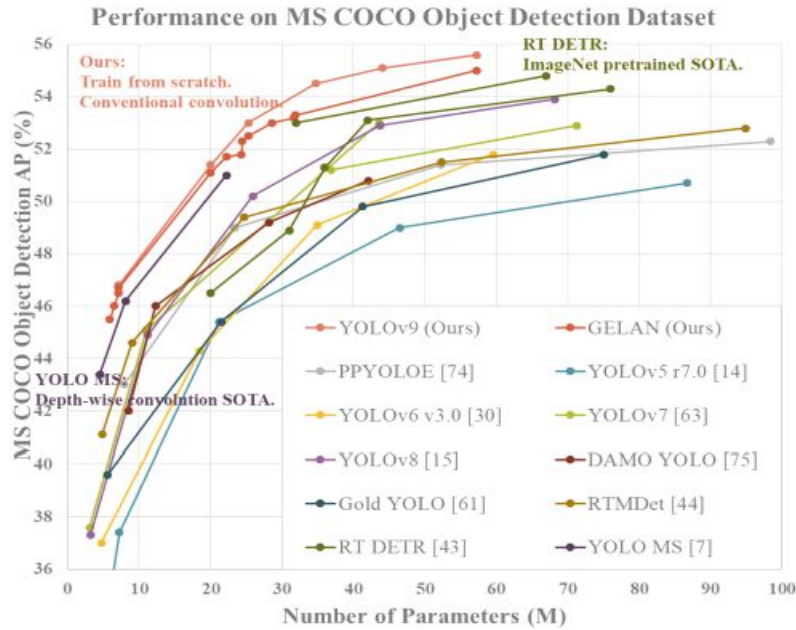


Figure 8: YOLO 9 par rapport aux autres modèle ²²

- **Information programmable sur le gradient (PGI)**

L'IGP est un nouveau concept introduit dans YOLOv9 pour lutter contre le problème du goulot d'étranglement de l'information, en garantissant la préservation des données essentielles à travers les couches profondes du réseau. Cela permet de générer des gradients fiables, facilitant les mises à jour précises du modèle et améliorant les performances globales de détection.²⁹

- **Réseau d'agrégation de couches efficace généralisé (GELAN)**

GELAN représente une avancée architecturale stratégique, permettant à YOLOv9 d'atteindre une utilisation des paramètres et une efficacité de calcul supérieures. Sa conception permet une intégration souple de divers blocs de calcul, ce qui rend YOLOv9 adaptable à un large éventail d'applications sans sacrifier la vitesse ou la précision.²³

Figure 9 : montre feature maps (résultats de visualisation) sortie par des poids initiaux aléatoires de PlainNet, ResNet, CSPNet et GELAN à différents. Après 100 couches, ResNet commence à produire des données d'entrée qui sont suffisantes pour brouiller l'information sur les objets. Notre proposition GELAN peut encore conserver des informations assez complètes jusqu'à la 150e couche, et est encore suffisamment discriminant jusqu'à la 200e couche.²²

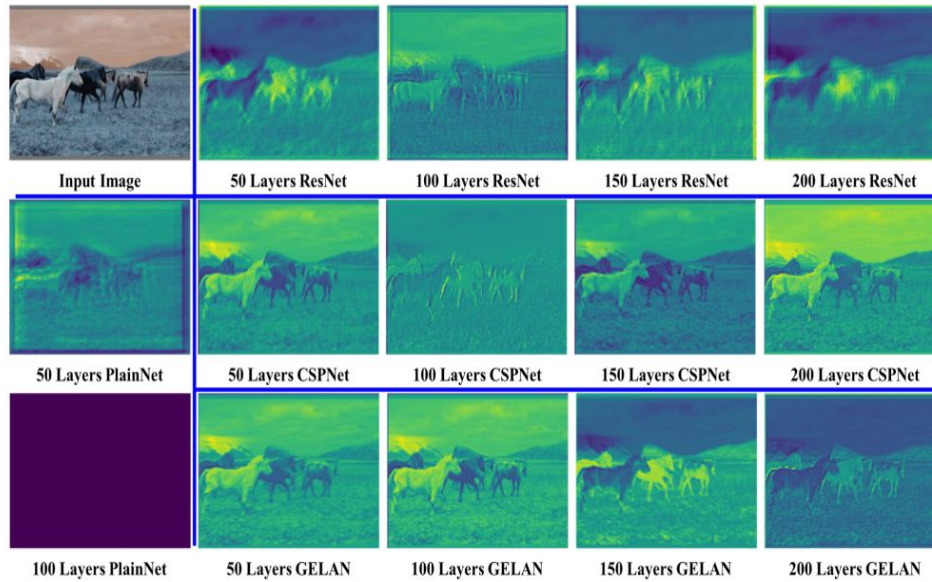


Figure 9 : Feature maps (résultats de visualisation) sortie par des poids initiaux aléatoires de PlainNet, ResNet, CSPNet et GELAN à différents.

3.1. Architecture de YOLOv9

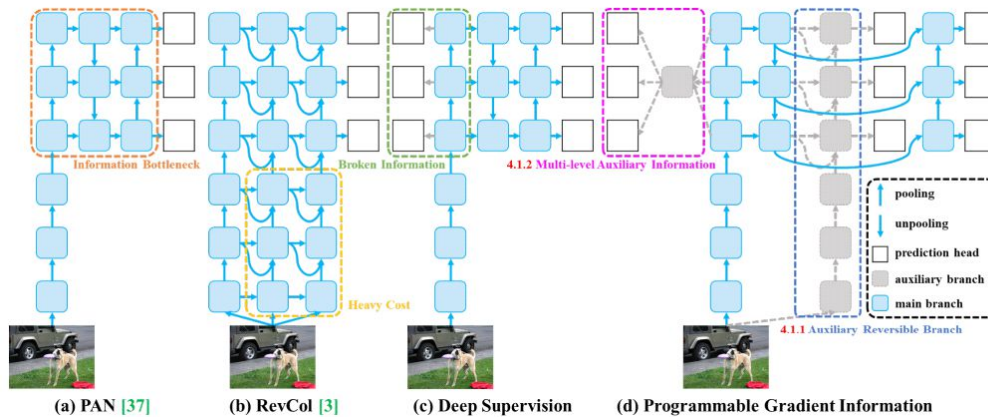


Figure 10 : Architecture générale YOLOv9²²

1) Backbone

- Utilise une version améliorée du CSPDarknet avec des modifications pour encore mieux capturer les caractéristiques visuelles importantes tout en maintenant une grande efficacité.²²

2) Neck

- Intègre des versions améliorées de PANet et FPN, avec des mécanismes additionnels pour une meilleure fusion des caractéristiques multi-échelles.²²

3) Head

- Utilise des couches de prévision encore plus sophistiquées pour une meilleure détection et

classification des objets, optimisées pour des performances accrues.²²

4. Principales différences par rapport à YOLOv8

Les améliorations spécifiques apportées par YOLOv9 par rapport à YOLOv8 se concentrent sur plusieurs aspects clés pour améliorer la précision, la vitesse et l'efficacité globale du modèle.

Voici un aperçu des principales améliorations :

1) Backbone Optimisé

- ****Nouveau Backbone****: YOLOv9 utilise une version améliorée du CSPDarknet, intégrant de nouvelles techniques d'optimisation pour améliorer l'extraction des caractéristiques tout en maintenant une efficacité élevée.

- ****Meilleure Extraction des Caractéristiques****: Améliorations dans les blocs convolutionnels pour mieux capturer des informations pertinentes à différentes échelles et profondeurs.²²

2) Fusion des Caractéristiques Multi-Échelle

- ****PANet et FPN Améliorés****: Utilisation de versions améliorées des réseaux PANet (Path Aggregation Network) et FPN (Feature Pyramid Network) pour une fusion plus efficace des caractéristiques multi-échelles, permettant une meilleure détection des objets de différentes tailles.

- ****Algorithmes de Fusion Avancés****: Introduction de nouvelles méthodologies pour fusionner les caractéristiques extraites, ce qui améliore la robustesse et la précision des prédictions.²²

3) Techniques d'Apprentissage Avancées

- ****Apprentissage Auto-Supervisé****: Intégration de méthodes d'apprentissage auto-supervisé pour améliorer la qualité des caractéristiques extraites sans nécessiter de grandes quantités de données annotées.

- ****Augmentation de Données Améliorée****: Utilisation de nouvelles techniques d'augmentation de données pour renforcer la diversité des données d'entraînement, réduisant ainsi le surapprentissage et améliorant la généralisation.²²

4) Optimisations Matérielles

- ****Compatibilité avec les Nouvelles Générations de GPU****: YOLOv9 est optimisé pour tirer parti des dernières générations de GPU et autres matériels d'accélération, ce qui permet des inférences plus rapides et plus efficaces.

- **Meilleure Utilisation des Ressources**: Optimisations pour une utilisation plus efficace de la mémoire et des ressources de calcul, réduisant ainsi les temps d'inférence et les coûts de déploiement.²²

5) Têtes de Prédiction Améliorées

- **Couches de Prédiction Sophistiquées**: Utilisation de couches de prédiction plus avancées pour améliorer la détection et la classification des objets, avec une meilleure gestion des objets de petite taille et des situations complexes.

- **Algorithmes de Régularisation et de Normalisation**: Améliorations dans les techniques de régularisation et de normalisation pour réduire l'overfitting et améliorer la robustesse du modèle.²²

6) Précision et Robustesse Accrues

- **Algorithmes de Loss Refinement**: Introduction de nouvelles fonctions de perte et de techniques de raffinement pour mieux gérer les déséquilibres de classe et améliorer la précision des boîtes englobantes.

- **Post-Processing Amélioré**: Utilisation de nouvelles techniques de post-traitement pour affiner les prédictions et réduire les faux positifs.²²

YOLOv9 intègre plusieurs améliorations significatives par rapport à YOLOv8, se concentrant sur l'optimisation des architectures de backbone et de neck, l'intégration de techniques d'apprentissage avancées, des optimisations matérielles, et des raffinements dans les têtes de prédiction. Ces améliorations se traduisent par une meilleure précision, une vitesse d'inférence accrue et une efficacité globale améliorée, faisant de YOLOv9 une solution de pointe pour la détection d'objets en temps réel.

5. Le modèle Single Shot Detector "SSD"

Le modèle SSD (Single Shot MultiBox Detector) est une architecture de réseau de neurones convolutionnels (CNN) conçue pour la détection d'objets en temps réel. Développé par Wei Liu et al., le SSD se distingue par sa capacité à effectuer la détection d'objets en une seule étape (single shot), contrairement à d'autres architectures comme Faster R-CNN qui utilisent une approche en deux étapes.³⁰

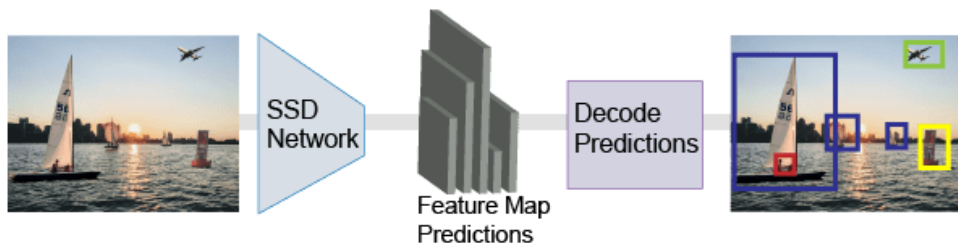


Figure 11: Le model SSD

Figure 10 : Le SSD exécute un CNN sur une image d'entrée pour produire des prédictions réseau à partir de plusieurs feature maps. Le détecteur d'objets rassemble et décode les prédictions pour générer des boîtes de sélection.³¹

5.1 Architecture du SSD

L'architecture du SSD se compose principalement de trois parties : le backbone, les couches de détection, et les mécanismes de prédiction.

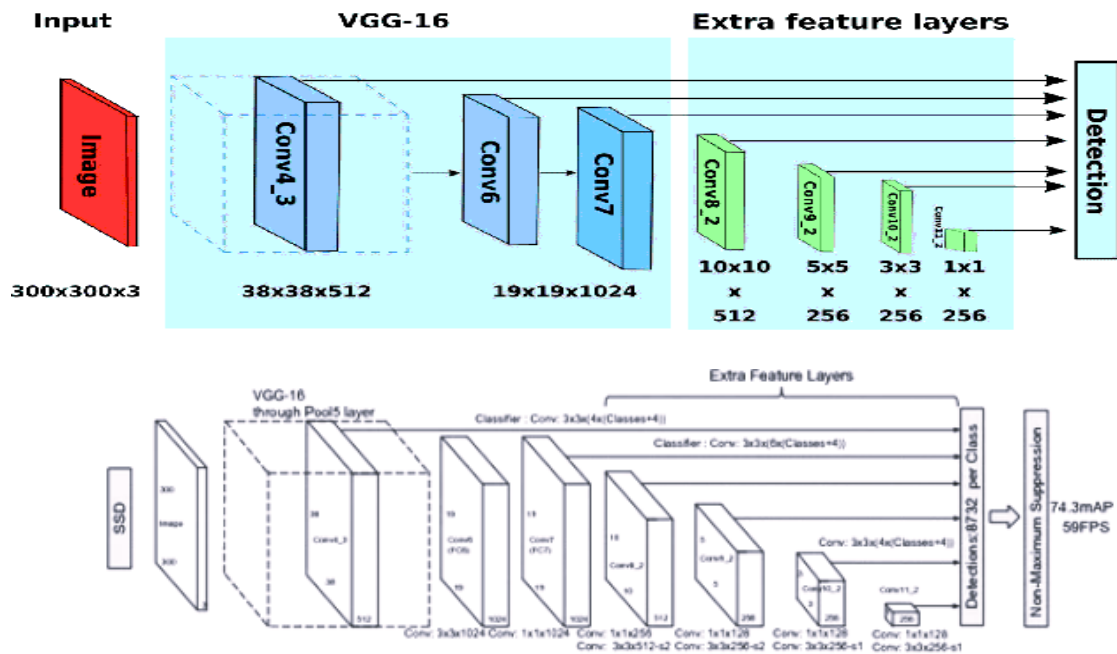


Figure 12: Architecture détaillé SSD

1) Backbone

Base CNN : SSD utilise un réseau de neurones convolutionnels pré-entraîné comme VGG16, ResNet, ou d'autres architectures CNN populaires pour extraire des caractéristiques visuelles à

partir des images d'entrée.

Feature Maps : Le backbone produit des cartes de caractéristiques (feature maps) à différentes résolutions, ce qui permet de capturer des informations à différentes échelles de l'image.²⁴

2) Couches de Détection (Detection Layers)

Multi-Scale Feature Maps : Le SSD ajoute plusieurs couches convolutionnels après le backbone pour générer des cartes de caractéristiques à différentes résolutions (multi-scale). Ces couches permettent de détecter des objets de différentes tailles.

Anchor Boxes : Des boîtes d'ancrage (Anchor boxes) de différentes tailles et ratios d'aspect sont générées pour chaque position sur les cartes de caractéristiques. Ces boîtes servent de points de départ pour la prédiction des boîtes englobantes finales.²⁴

3) Prédiction

Classification et Régression : À chaque position de la carte de caractéristiques, le modèle effectue des prédictions pour la classe de l'objet (classification) et pour ajuster les coordonnées des boîtes d'ancrage (régression des boîtes).

Non-Maximum Suppression (NMS) : Après avoir effectué les prédictions, une étape de suppression non maximale est appliquée pour éliminer les prédictions redondantes et conserver uniquement les boîtes englobantes les plus probables.²⁴

6. L'approche proposée

Notre approche proposée basé sur les CNN implique plusieurs étapes clés :

- Définir le problème et collecter des données de haute qualité ;
- Prétraiter ces données par nettoyage, normalisation et augmentation ;
- Les données sont ensuite divisées en ensembles d'entraînement, de validation et de test ;
- Un modèle CNN (dans notre cas YOLO et SSD) est conçu en choisissant une architecture appropriée, puis entraîné en utilisant une fonction de perte, un optimiseur et des hyperparamètres définis ;
- Les performances du modèle sont évaluées sur un ensemble de test et ajustées via la validation croisée et l'ajustement des hyperparamètres ;
- Enfin, le modèle est déployé en production, avec une surveillance continue et une maintenance régulière pour garantir sa précision et son efficacité. Documenter chaque étape assure une traçabilité et une compréhension complète du processus.

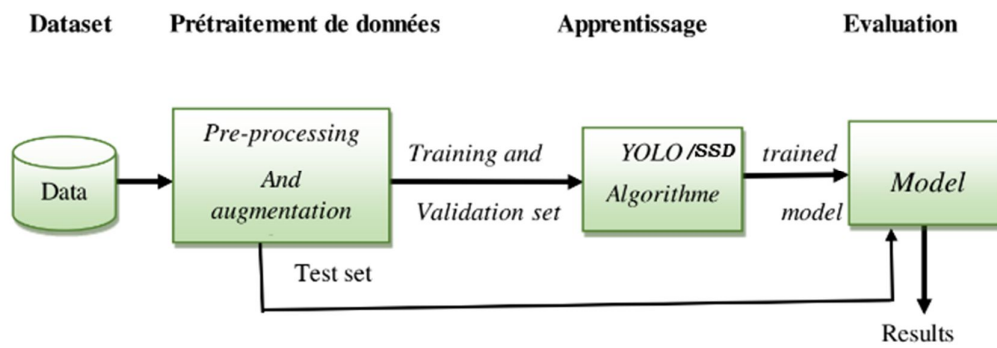


Figure 13: Présentation de la méthodologie de la tâche de détection et l'identification des minéraux

6.1. Data Set (Rock Minéraux)

L'ensemble de données rocks minéraux est une collection d'images de minéraux et de leurs masques de segmentation correspondants, annotés et vérifiés manuellement par des experts.

L'ensemble de données se compose de 1343 images de minéraux. Les images de l'ensemble de données ont une résolution fixe de 640x640 pixels.

Datasets	Résolution	Nombre d'échantillons	Résultats	Type de média	Type de tâche
Rock minéraux	640x640	1343	15 classes du Type du minéral	Static images	Détection, localisation

Tableau 3: Dataset des minéraux disponibles.

Les images et leurs masques de segmentation sont disponibles dans deux dossiers différents portant le même nom de fichier. Les images sont encodées avec une compression JPEG. La structure du dataset suit celle de YOLOv9 et YOLOv8, où les fichiers d'annotations contiennent les détails des boîtes englobantes et des points de coordonnées pour chaque image, facilitant ainsi les tâches de détection, localisation et segmentation.



Figure 14: Un exemple d'image avec la segmentation

6.2. Prétraitement de données

- **Annotation de données**

Dans notre étude, nous avons utilisé Roboflow pour annoter notre ensemble de données d'images de minéraux. À l'aide de l'interface de Roboflow, nous avons téléchargé nos images et avons procédé à l'annotation en ajoutant des boîtes englobantes précises autour de chaque minéral détecté. Cette étape d'annotation permet de fournir des informations précieuses sur la localisation et la taille des minéraux dans les images. L'outil d'annotation de Roboflow offre la possibilité d'ajouter des étiquettes de la classe correspondante pour indiquer le type de minéral dans chaque boîte englobante.

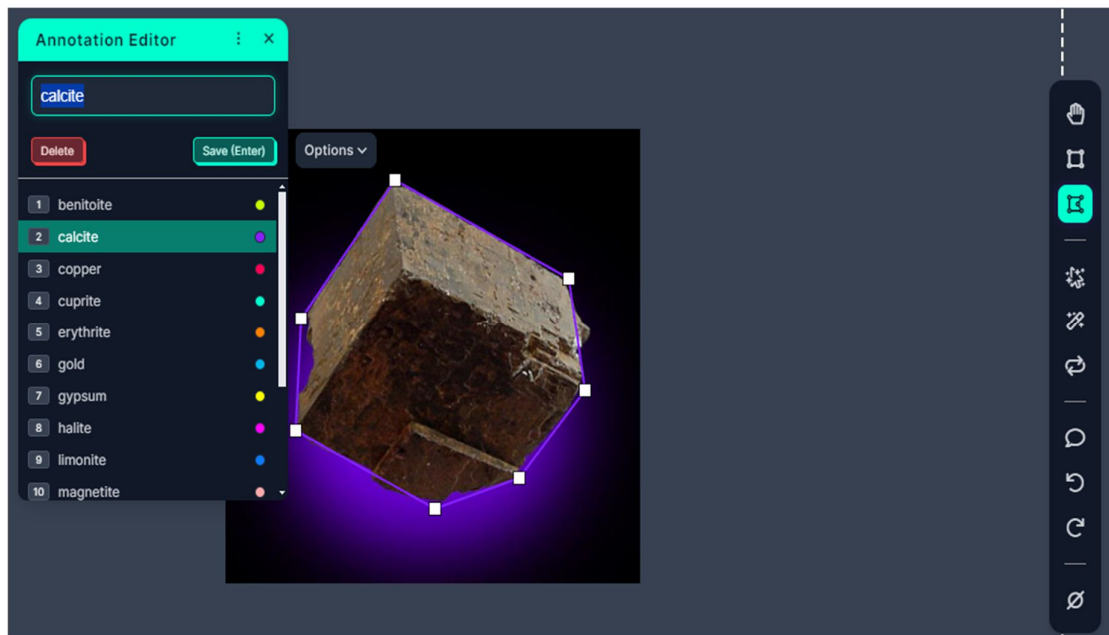


Figure 15: Etape montrant l'étape de l'annotation dans le site Roboflow.

Une fois les annotations terminées, nous avons enregistré les données sous le format YOLOv8, les annotations des images sont enregistrées dans un fichier (*.text), qu'il contient une ligne a le format suivant :

<Numéro de classe> <centre_x> <centre_y> <largeur> <hauteur>



Figure 16: Exemple fichier d'annotation de la base de données.

- **Augmentation des données**

L'augmentation de données est une technique couramment utilisée en apprentissage automatique pour augmenter la taille du jeu de données d'entraînement en appliquant des transformations aux données existantes. Cela permet d'améliorer les performances du modèle, notamment dans les cas où la quantité de données d'entraînement disponible est limitée.

De plus, l'augmentation des données peut également aider à prévenir le sur ajustement (overfitting), où le modèle se concentre trop sur les données d'entraînement et fonctionne mal sur de nouvelles données non vues. En introduisant des variations dans les données d'entraînement, telles que la rotation ou le retournement d'images, le modèle est contraint de généraliser et d'identifier des motifs pertinents pour la tâche plutôt que de simplement mémoriser les exemples vus pendant l'entraînement.

Ci-dessous quelques techniques d'augmentation de données qui sont souvent utilisées lors de l'entraînement du modèle :

Flipping : Un flip d'image consiste à faire une symétrie de l'image soit sur l'axe horizontal soit sur l'axe vertical.

Rotation : Une rotation de l'image implique de faire pivoter l'image d'un certain angle. Cela peut être effectué dans les deux sens, dans des intervalles spécifiques comme 90, 180 ou 270 degrés, ou à des angles aléatoires.





Type d'augmentation	Image original	Image augmentée
Bounding Box: Flip: Horizontal, Vertical		
Bounding Box: Rotation: Between - 15° and +15°		

Tableau 4: Exemple d'augmentation data.


- **Division de la base de données**

L'une des tâches importantes en détection d'objets consiste à identifier une méthode intelligente pour diviser l'ensemble de données en ensembles d'entraînement, de validation et de test. Dans notre étude, la division de la base de données est prédéfinie au préalable en 88% pour l'apprentissage, 8% pour la validation et 4% pour le test.

- **Création du fichier de configuration du dataset**

Cette étape vise à créer le fichier data yaml, qui doit définir les paramètres suivants :

- **Le chemin d'entraînement (path train)** : Le chemin vers le jeu de données d'entraînement, qui devrait être un fichier YAML contenant les chemins d'image et les étiquettes associées pour chaque image.
- **Le chemin de validation (path val)** : Le chemin vers le jeu de données de validation, qui devrait également être un fichier YAML contenant les chemins d'image et les étiquettes.
- **Le chemin de test (path test)** : Le chemin vers le jeu de données de test, qui devrait également être un fichier YAML contenant les chemins d'image et les étiquettes.
- **Le nombre de classes (cn)** : Dans notre cas, cn=15
- **La liste des noms (ln)** : Une liste des noms de classe, qui pour notre dataset serait ['benitoite', 'calcite', 'Copper', 'cuprite', 'erythrite', 'gold', 'gypsum', 'halite', 'limonite', 'magnétite', 'opal', 'prehnite', 'pyrite', 'silver', 'tantalite']

 colab - Bloc-notes

Fichier Edition Format Affichage Aide

```
train: /content/drive/MyDrive/rockminerals.v2i.yolov8/train
val: /content/drive/MyDrive/rockminerals.v2i.yolov8/test
test: /content/drive/MyDrive/rockminerals.v2i.yolov8/valid
```

```
nc: 15
```

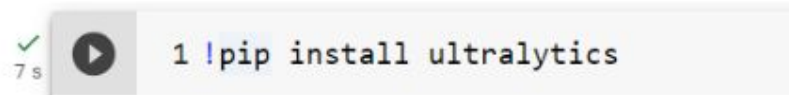
```
names: ['benitoite', 'calcite', 'copper', 'cuprite', 'erythrite', 'gold', 'gypsum', 'halit
```

6.3.Apprentissage

Dans cette étude, nous avons entraîné un modèle YOLOv8 nano (YOLOv8n) à partir de zéro. Le modèle YOLOv8n a obtenu une précision moyenne de validation (mAP) de 37,3 sur l'ensemble de données COCO val2017. Il a été exécuté à une vitesse de 0,99 milliseconde par image sur un GPU NVIDIA A100 en utilisant des poids exportés en TensorRT. Nous avons choisi ce modèle pour sa rapidité de prédiction afin de la détection et localisation des polypes [66]. Les étapes d'entraînement du modèle sont comme suivies :

- **Téléchargement du modèle YOLOv8n**

Cette étape consiste à connecter google Colab avec notre google drive, ensuite installer la bibliothèque Ultralytics à partir de Pip qu'il contient le modèle yolov8 par la commande suivante :



Ensuite, nous configurons notre environnement d'entraînement fourni par Google Colab pour qu'il fonctionne avec le GPU. Le GPU nous permettra d'accélérer le temps d'entraînement. Colab est également pratique car il est préinstallé avec Torch et CUDA. Après la configuration de colab, en utilisant le lien vers nos données annotées, et nous téléchargeons directement les données dans Colab au format YOLOv8 PyTorch.

- **Préparer le modèle pour L'apprentissage**

Dans cette étape nous définissons la configuration du modèle YOLOv8 : D'abord, nous choisissons le modèle de base le plus petit et le plus rapide de YOLOv8, qui est YOLOv8n. Ce modèle a été choisi pour sa vitesse de prédiction en temps réel [63]. Ensuite, nous définissons les paramètres spécifiques du modèle YOLOv8 en fonction de nos besoins. Voici les paramètres que nous avons choisis :

- **La taille de l'image** : Nous spécifions la taille de l'image à 640x640 pixels. Cela signifie que les images utilisées pour l'entraînement seront redimensionnées à cette taille avant d'être fournies au modèle.

- **Le batch size** : Nous définissons le batch size à 16. Cela signifie que 16 images seront traitées simultanément lors de chaque itération d'entraînement.

- **Le nombre d'époques** : Nous définissons le nombre d'époques à 100. Cela indique le nombre de fois où l'ensemble d'entraînement complet sera parcouru par le modèle lors de l'entraînement. De plus, nous devons fournir le chemin vers le fichier "data. yaml" dans le paramètre "data", Ce fichier contient les informations sur le jeu de données utilisé pour l'entraînement, y compris les chemins vers les images, les annotations, les classes, etc...

6.4.Evaluation du modèle

L'évaluation des performances d'un modèle d'objet se fait à l'aide d'indicateurs calculés à partir de la matrice de confiance. Cette matrice est composée de chiffres qui permettent d'obtenir une vision globale de l'efficacité du modèle sont :

- **Vrai positif (TP)** : le nombre de fois où le modèle prédit correctement la classe positive.

- **Faux positif (FP)** : le nombre de fois où le modèle prédit la classe positive alors que le résultat attendu était la classe négative.
- **Vrai négatif (TN)** : le nombre de fois où le modèle prédit correctement la classe négative.
- **Faux négatif (FN)** : le nombre de fois où le modèle prédit la classe négative alors que le résultat attendu était la classe positive.

		DETECTED	
		YES	NO
PREDICTED	YES	True Positive (TP)	False Negative (FN)
	NO	False Positive (FP)	True Negative (TN)

Figure 17 : Comparaison entre les vrai et les faux positive et négative.

Ces indicateurs sont utilisés pour mesurer la précision, le rappel, la précision moyenne (mAP) et le F1-score du modèle.

1) La précision

La précision est une mesure de l'exactitude des prédictions pour identifier uniquement les objets pertinents. Elle est calculée en tant que rapport de tous les Vrais Positifs sur l'ensemble des détections effectuées par le modèle.

$$precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

2) le rappel

C'est pour calculer les prédictions correctes parmi toutes les données correctement prédites, on utilise le terme de "vrais positifs". Il est calculé en tant que rapport de tous les Vrais Positifs sur l'ensemble des vérités terrain.

$$rappel = \frac{TP}{TP+FN}$$

3) F1-score

Le score F1 est calculé comme la moyenne harmonique de la précision et du recall, en tenant compte à la fois des faux positifs et des faux négatifs. La formule pour calculer le score F1 est la suivante :

$$F1\text{-score} = 2 \times \frac{(\text{precision} \times \text{recall})}{\text{precision} + \text{recall}}$$

4) L'Accuracy

Accuracy est une métrique de performance qui représente la proportion ou la fraction de prédictions correctes effectuées par le modèle par rapport au nombre total de prédictions. La formule pour calculer la précision est la suivante :

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FN + TN + FP}$$

Le mAP (Mean Average Precision)

Le mAP (Mean Average Precision) est une mesure de la capacité d'un système à récupérer les éléments pertinents en réponse à une requête de l'utilisateur. Il est calculé en prenant la moyenne des scores de précision à différents niveaux de recall.

$$mAP = \sum_{k=1}^{k=n} AP_k$$

7. Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons mis l'accent sur l'utilisation des modèles d'identification d'objets YOLOv8, YOLOv9 et SSD dans le domaine spécifique de l'identification des minéraux. Ces méthodes fondées sur le deep learning se sont révélées particulièrement rapides et efficaces pour l'identification en temps réel, représentant ainsi des avancées majeures dans l'application de ces techniques à des domaines spécialisés comme la minéralogie. Les recherches présentées ici constituent la première utilisation de ces modèles pour identifier et détecter spécifiquement différents types de métaux.

Dans le prochain chapitre, nous nous concentrerons sur la mise en pratique concrète de ces méthodes. Nous détaillerons notamment les données utilisées, les différentes étapes du

processus d'apprentissage, ainsi que les mesures employées pour évaluer les performances des modèles : SSD, YOLOv8 et v9. Cette transition vers l'implémentation pratique nous permettra d'explorer plus en profondeur le potentiel de ces techniques d'apprentissage profond pour automatiser et améliorer les fonctions d'identification et détection dans le domaine de la minéralogie.

Dans le prochain chapitre, nous allons examiner les divers outils et environnements utilisés pour élaborer notre projet, ainsi que les résultats obtenus de chaque modèle utilisé, afin de déterminer à la fin celui qui a donné les meilleures performances.

Chapitre 04 Implémentation

V. Chapitre 04 : Implémentation

1. Introduction

Nous examinons dans ce chapitre les étapes clés de la mise en œuvre de notre application informatique. La phase d'implémentation revêt une importance cruciale, car elle consiste à concrétiser le système informatique à l'aide d'outils appropriés. L'objectif est de créer un produit logiciel convivial, ergonomique et accessible aux utilisateurs non informaticiens, tout en répondant aux spécifications et attentes définies dans les cahiers des charges. Nous explorerons ainsi les processus et les méthodes nécessaires pour mettre en place notre application et assurer sa conformité aux besoins des utilisateurs finaux.

2. Architecture du site web

L'architecture client/serveur détermine différentes méthodes de communication au sein d'un réseau, en séparant les postes clients d'un ou plusieurs serveurs. Chaque client logiciel a la possibilité d'envoyer des demandes au serveur. Les serveurs peuvent se spécialiser dans différentes tâches telles que les applications, les fichiers, les terminaux ou la messagerie électronique.

Il y a deux niveaux dans cette structure : le client et le serveur. Les échanges commencent par le client qui envoie des demandes (qui peuvent inclure des documents et des ressources) au serveur, puis attend la réponse. Quant à lui, le serveur reçoit et vérifie les messages des clients avant d'y donner une réponse adéquate.

De cette façon, l'architecture client/serveur permet une interaction fluide et performante entre divers ordinateurs d'un réseau, chaque élément jouant un rôle particulier pour garantir une communication fluide.

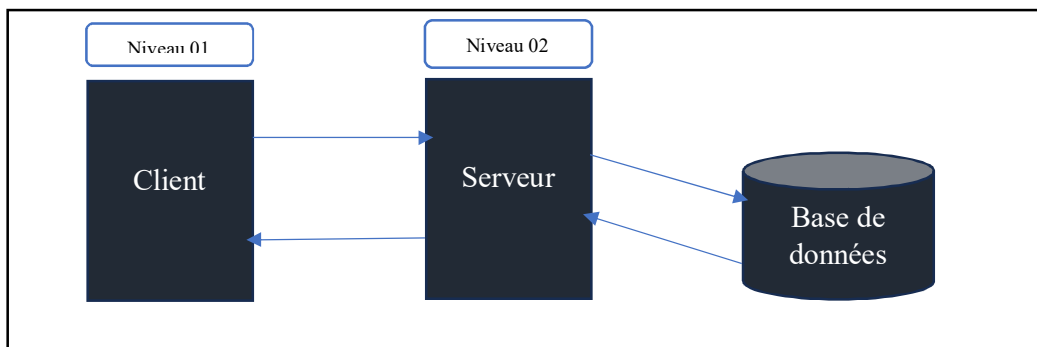


Figure 18: Architecture Client/serveur

3. Matériel utilisée

Notre configuration matérielle inclut les dispositifs suivants :

- Processeur : ryzen 3 4350G ;
- Carte Graphique : vega 6 ;
- Mémoire : ram 16 GB ;
- Système d'exploitation : Windows 10 pro 64bit.

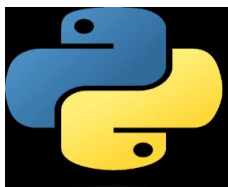
4. Environnements et outils de développement utilisés

➤ Google colab



Google Colab est une plateforme qui héberge des notebooks Jupiter dans le cloud. Elle permet aux utilisateurs d'écrire, d'exécuter et de partager du code Python de manière interactive. Avec Google Colab, il est possible de créer et d'exécuter des fichiers texte (notebook) contenant du code Python, des visualisations, des textes explicatifs, des graphiques et autres. L'environnement Colab est entièrement géré par Google, ce qui signifie que l'on n'a pas besoin d'installer ou de configurer de logiciels supplémentaires. De plus, Colab offre l'avantage d'accéder gratuitement à des ressources de calcul puissantes de Google, y compris les processeurs graphiques (GPU) et les unités de traitement tensoriel (TPU). Cet outil est largement utilisé pour l'apprentissage automatique, l'analyse de données et la conception de prototypes de projets.³²

➤ Python



Python est un langage de programmation de haut niveau, polyvalent et très populaire. Le langage de programmation Python (le dernier Python 3) est utilisé dans le développement Web,

les applications d'apprentissage automatique, ainsi que dans toutes les technologies de pointe de l'industrie logicielle. Le langage de programmation Python convient très bien aux débutants, ainsi qu'aux programmeurs expérimentés dans d'autres langages de programmation comme C++ et Java.³³

➤ Roboflow



Roboflow est une plateforme de vision par ordinateur lancée en janvier 2020. Elle permet aux utilisateurs de créer des modèles de vision par ordinateur plus rapidement et plus précisément grâce à de nouvelles techniques de collecte de données, de prétraitement et d'entraînement des modèles. Roboflow permet aux utilisateurs de télécharger des ensembles de données personnalisés, de dessiner des annotations, de modifier les orientations des images, de redimensionner les images, de modifier le contraste des images et d'effectuer des augmentations de données. Il peut également être utilisé pour entraîner des modèles. Roboflow prend en charge les formats d'annotation les plus populaires, notamment JSON, XML, CSV et TXT. Roboflow dispose également d'un outil de conversion d'annotations universel qui permet aux utilisateurs de télécharger et de convertir des annotations d'un format à un autre sans avoir à écrire de scripts de conversion pour des ensembles de données de détection d'objets personnalisés.³⁴

➤ Html



HTML (HyperText Markup Language) est un langage de balisage utilisé pour créer et structurer le contenu d'une page web. Il s'agit d'un élément fondamental du développement web, permettant de décrire la structure et le contenu d'une page en utilisant des balises et des éléments prédéfinis. HTML repose sur un système de balises qui entourent différents éléments de contenu

tels que du texte, des images, des liens, des formulaires, etc. Ces balises permettent de définir la signification et la fonction de chaque élément dans la page. Par exemple, la balise `<h1>` est utilisée pour définir un titre de premier niveau, `<p>` pour un paragraphe, `` pour insérer une image, et ainsi de suite. En utilisant HTML, les développeurs peuvent structurer le contenu d'une page web de manière logique et sémantique, ce qui facilite l'accessibilité, le référencement et la maintenance du site. HTML est souvent utilisé en conjonction avec d'autres technologies web, telles que CSS (Cascading Style Sheets) pour la mise en forme et JavaScript pour l'interactivité. En résumé, HTML est un langage de balisage essentiel pour la création de pages web, permettant aux développeurs de structurer et de définir le contenu de manière cohérente et sémantique. La maîtrise de HTML est indispensable pour le développement web.³⁵

➤ CSS



CSS (Cascading Style Sheets) est un langage de feuille de style utilisé pour définir la présentation et l'apparence visuelle des pages web. Il complète le langage HTML en permettant aux développeurs de contrôler le style, la mise en forme et la disposition des éléments HTML sur une page. Avec CSS, les développeurs peuvent définir des règles qui spécifient comment chaque élément HTML doit être affiché. Ces règles incluent des instructions telles que la couleur du texte, la taille et la police des caractères, les marges, les bordures, les arrière-plans, les alignements et bien d'autres propriétés visuelles. En utilisant des sélecteurs CSS, les développeurs peuvent cibler spécifiquement certains éléments HTML ou des groupes d'éléments pour appliquer des styles spécifiques. Par exemple, on peut cibler tous les paragraphes `<p>` ou tous les éléments ayant une classe spécifique pour les styliser de manière cohérente. CSS offre également des fonctionnalités avancées telles que les règles de cascade, l'héritage des styles, les médias queries pour la conception réactive, les animations et les transitions, permettant ainsi de créer des designs attrayants et interactifs. En résumé, la maîtrise de CSS est essentielle pour le développement web, car elle permet de contrôler l'apparence visuelle et la mise en forme des pages HTML. CSS offre une grande flexibilité et permet de

créer des designs attrayants, cohérents et adaptatifs pour les utilisateurs.³⁶

➤ JavaScript



JavaScript est un langage de programmation polyvalent utilisé principalement pour développer des applications web interactives. Il permet d'ajouter des fonctionnalités dynamiques et d'interagir avec le contenu HTML et CSS d'une page web. JavaScript est un langage côté client, ce qui signifie qu'il est exécuté directement dans le navigateur web de l'utilisateur. Il offre la possibilité de manipuler et de modifier le contenu de la page en temps réel, de répondre aux actions de l'utilisateur et de communiquer avec les serveurs pour récupérer des données ou effectuer des opérations. Avec JavaScript, les développeurs peuvent créer des fonctionnalités avancées telles que des formulaires interactifs, des animations, des effets visuels, des galeries d'images, des systèmes de navigation dynamiques, des jeux et bien plus encore. Il permet également de valider les entrées utilisateur, de gérer des événements tels que les clics de souris ou les pressions de touches, et d'effectuer des opérations mathématiques et logiques complexes. JavaScript est un langage de programmation orienté objet, ce qui signifie qu'il prend en charge les concepts de classes, d'objets et d'héritage. Il est également largement utilisé pour le développement d'applications côté serveur et le développement d'applications mobiles hybrides. En résumé, JavaScript est un langage de programmation essentiel, car il offre des fonctionnalités puissantes pour développer des applications web interactives et dynamiques. Sa polyvalence et sa large adoption en font un langage incontournable dans le domaine du développement web.

➤ PHP



PHP (Hypertext Preprocessor) est un langage de script côté serveur largement utilisé pour le développement web. Il est principalement utilisé pour générer des pages web dynamiques et

interagir avec des bases de données. PHP est intégré directement dans le code HTML, ce qui permet aux développeurs d'insérer du code PHP à l'intérieur de balises spéciales pour effectuer des opérations complexes et générer du contenu dynamique. Il peut être utilisé pour effectuer des opérations telles que la collecte et la validation des données des utilisateurs, la création de sessions, l'accès aux bases de données, la génération de contenu dynamique, la manipulation de fichiers, et bien plus encore.

Grâce à sa nature côté serveur, PHP est capable de générer du contenu personnalisé pour chaque utilisateur en fonction de ses interactions et de ses données. Il est également compatible avec de nombreux systèmes de gestion de bases de données, ce qui en fait un choix populaire pour le développement d'applications web qui nécessitent une interaction avec des données persistantes.

PHP est un langage facile à apprendre et à utiliser, avec une syntaxe similaire à celle du langage C. Il bénéficie d'une vaste communauté de développeurs qui contribuent à son évolution et à la disponibilité de nombreuses ressources et bibliothèques.³⁸

➤ MySQL



MySQL est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR) très utilisé dans le développement web. Il permet de stocker, gérer et manipuler de grandes quantités de données de manière efficace et sécurisée.

MySQL utilise le langage SQL (Structured Query Language) pour interagir avec la base de données. Il offre des fonctionnalités telles que la création, la modification et la suppression de tables, l'insertion, la mise à jour et la suppression de données, la gestion des index et des contraintes d'intégrité, ainsi que des opérations avancées telles que les jointures et les agrégations. En tant que SGBDR, MySQL offre des avantages tels que la gestion des transactions, la sécurité des données, la sauvegarde et la récupération des données, ainsi que des performances élevées pour les requêtes et les opérations sur la base de données. MySQL

est open source, ce qui signifie qu'il est gratuit et bénéficie d'une large communauté de développeurs qui contribuent à son amélioration continue et à la disponibilité de nombreuses ressources et outils. Il est largement utilisé dans le développement web pour alimenter les sites web dynamiques, les applications en ligne, les systèmes de gestion de contenu (CMS) et de nombreux autres types d'applications qui nécessitent une gestion de données efficace.³⁹

➤ **PyTorch**



PyTorch est une bibliothèque open-source de deep learning développée par Facebook's AI Research lab. Elle est largement utilisée pour ses capacités de traitement de tenseurs (similaires à NumPy) avec une accélération matérielle via les GPU. PyTorch se distingue par son approche dynamique des graphes computationnels, ce qui facilite le débogage et permet des modifications du modèle en temps réel. PyTorch est particulièrement utile pour développer et expérimenter rapidement des modèles d'apprentissage profond, grâce à son API intuitive et sa forte communauté de support.⁴⁰

➤ **Cuda**



CUDA (Compute Unified Device Architecture) est une plateforme de calcul parallèle et une interface de programmation d'application (API) développée par NVIDIA. Elle permet aux développeurs de tirer parti de la puissance de calcul des GPU (Graphics Processing Units) pour effectuer des calculs intensifs en parallèle, beaucoup plus rapidement qu'avec les CPU (Central Processing Units) traditionnels.

CUDA particulièrement utile pour des applications nécessitant une grande capacité de calcul, comme le deep learning, le traitement d'images, ou les simulations numériques. Grâce à CUDA,

tu peux écrire des programmes en C, C++ ou Python qui exécutent des milliers de threads en parallèle, exploitant ainsi pleinement les capacités matérielles des GPU NVIDIA.⁴¹

➤ **Visual studio code**



Microsoft a créé Visual Studio Code (VS Code), un éditeur de code source open source. C'est un outil puissant et souple qui facilite le développement et le débogage d'une grande diversité d'applications, telles que des applications web, des applications mobiles et des applications de bureau pour les développeurs.⁴²

➤ **Android Studio**

L'IDE officiel de Google, Android Studio, est l'outil privilégié pour concevoir des applications Android performantes. Il a été conçu spécialement pour le développement mobile et propose une gamme complète de fonctionnalités qui facilitent chaque étape, de la conception à la production.

5. La base de données

5.1 XAMPP (X Apache MYSQL Perl PHP)



XAMPP est une distribution open source tout-en-un très prisée par les programmeurs web. Un serveur web Apache, le système de gestion de bases de données MariaDB, les langages de programmation PHP et Perl, ainsi que l'outil d'administration phpMyAdmin sont inclus dans cette configuration. L'objectif de XAMPP est de faciliter l'installation et la configuration, même pour les novices, sur Windows, Linux et macOS. XAMPP s'est imposée comme l'une des solutions de développement local les plus populaires parmi les développeurs du monde entier grâce à sa facilité d'utilisation, sa grande souplesse et sa communauté active.⁴³

5.2 Apache

Apache est un serveur web open-source créé par la fondation Apache Software et accessible gratuitement.⁴⁴

Apache est un serveur Web libre et open source qui fournit l'alimentation à environ 46% des sites Web à travers le monde. Il est officiellement appelé Apache HTTP Server et est géré et développé par l'Apache Software Foundation. Il offre aux responsables de sites Web la possibilité de diffuser du contenu sur Internet - d'où le terme de "serveur Web". Il s'agit d'un des plus anciens et des plus fiables serveurs Web, et sa première version a été publiée il y a plus de 20 ans en 1995.⁴⁵

5.3 PhpMyAdmin

PhpMyAdmin est une application informatique gratuite développée en PHP, destinée à gérer MySQL en ligne. PhpMyAdmin offre une large gamme d'opérations sur MySQL et MariaDB. Les opérations couramment utilisées (gestion de bases de données, tables, colonnes, relations, indexes, utilisateurs, autorisations, etc.) peuvent être effectuées via l'interface utilisateur, tout en ayant la possibilité d'exécuter directement tout SQL système.⁴⁶

6. Les résultats obtenus

6.1. Apprentissage du modèles

➤ Apprentissage du modèle SSD

A propos de l'apprentissage du modèle SSD, nous allons démontrer dans les figures suivantes les étapes essentielles pour établir l'apprentissage.

- **Étape 01** : Monter notre DATASET dans Google Drive pour faciliter l'entraînement dans l'environnement de collaboration.⁴⁷

```
[ ] from google.colab import drive
drive.mount('/content/gdrive')

#!cp /content/gdrive/MyDrive/path/to/images.zip /content
```

Figure 19 : Uploadé Dataset dans Google Drive

- **Étape 02** : choisir le modèle adéquat et ces configurations pour établir l'apprentissage.⁴²

```
[ ] # Change the chosen_model variable to deploy different models available in the TF2 object detection zoo
chosen_model = 'ssd_mobilenet_v2_fpnlite_640x640_coco17_tpu-8'

MODELS_CONFIG = {
  'ssd-mobilenet-v2': {
    'model_name': 'ssd_mobilenet_v2_320x320_coco17_tpu-8',
    'base_pipeline_file': 'ssd_mobilenet_v2_320x320_coco17_tpu-8.config',
    'pretrained_checkpoint': 'ssd_mobilenet_v2_320x320_coco17_tpu-8.tar.gz',
  }
}

model_name = MODELS_CONFIG[chosen_model]['model_name']
pretrained_checkpoint = MODELS_CONFIG[chosen_model]['pretrained_checkpoint']
base_pipeline_file = MODELS_CONFIG[chosen_model]['base_pipeline_file']
```

Figure 20 : Sélection du modèle pour établir l'apprentissage

➤ **Apprentissage du modèle « Yolo v8, v9"»**

Le modèle YOLOv8n est composé de 225 couches, 3013733 paramètres et 3013757 gradients. Le modèle a été entraîné en utilisant une puissance de calcul de 8.2 GFLOPs.

Le modèle YOLOv9 gelan-c est composé de 621 couches, 25448637 paramètres et 25448621 gradients. Le modèle a été entraîné en utilisant une puissance de calcul de 103.2 GFLOPs.

Nous avons utilisé l'optimiseur Stochastic Gradient Descent (SGD) pour l'entraînement du modèle yolov8n.pt et yolov9gelan-c.pt Le temps nécessaire pour entraîner le modèle YOLOv8n sur 1343 images dans l'ensemble de données d'entraînement et 111 images dans l'ensemble de données de validation était de 2.5 heures. et 2.3 heures pour yolov9 gelan-c.

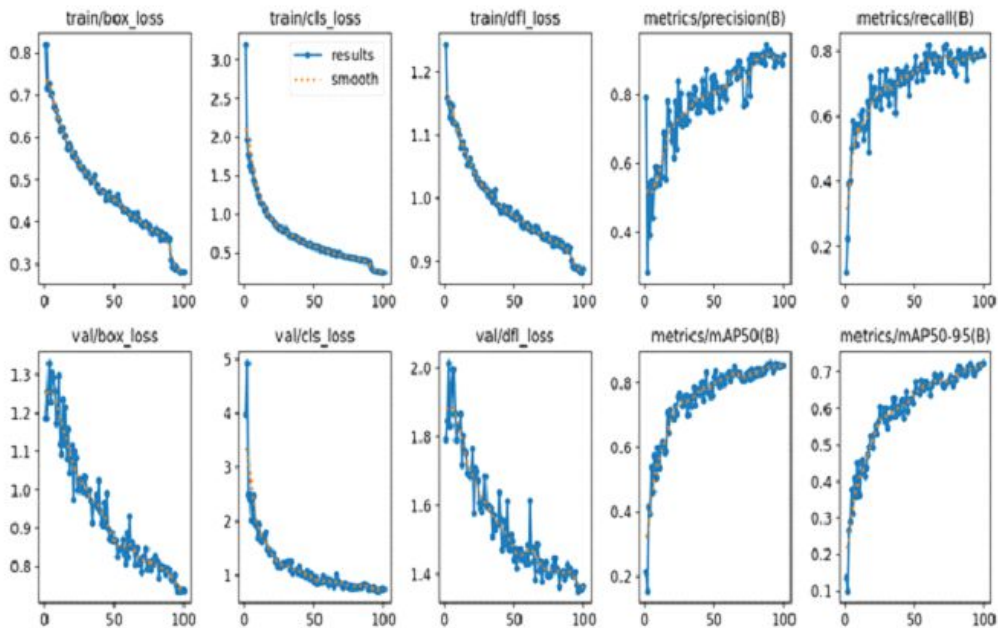


Figure 21: Graphique des performances de l'entraînement du modèle YOLOv8

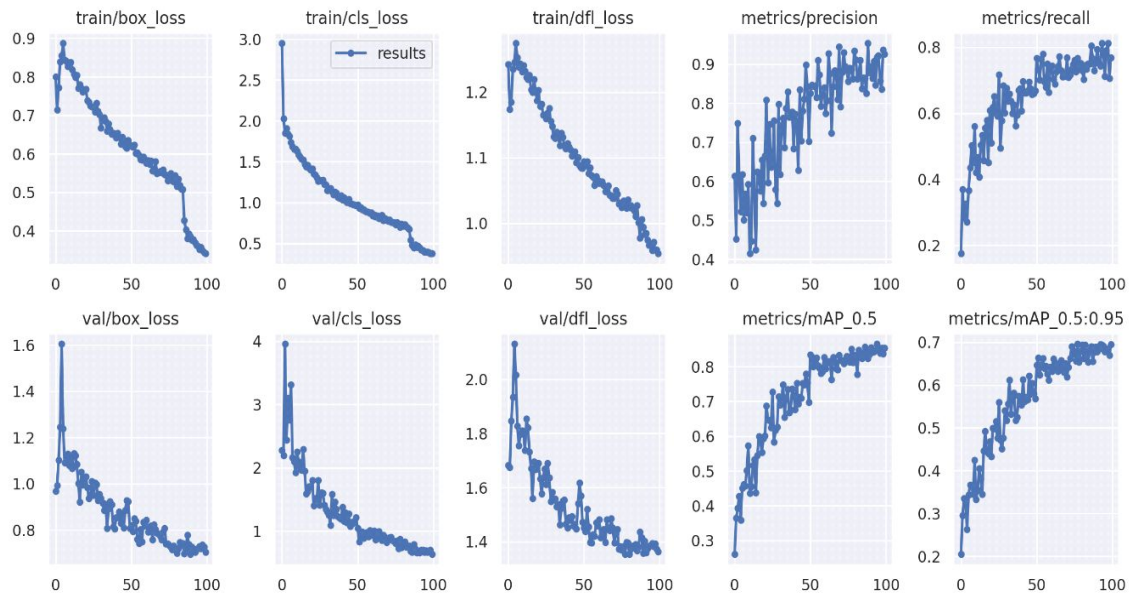


Figure 22: Graphique des performances de l'entraînement du modèle YOLOv9

Les figures 21 et 22 affichent les graphiques pour la perte de boîte englobante (box_loss), la perte de classification (cls_loss) et la perte de la couche de convolution déformable (df_l_loss) pour les ensembles d'entraînement et de validation.

➤ **La perte dans la boîte englobante**

Lors de la prédiction : est calculée comme étant l'erreur entre la boîte englobante prédite et la boîte englobante réelle.

Cela signifie en fait que plus la valeur de la perte de boîte est faible, plus l'algorithme est précis dans la prédiction de la boîte englobante ayant un chevauchement maximal avec la boîte englobante réelle.

➤ **La perte de la couche de convolution déformable**

Est une nouvelle addition à l'architecture YOLO dans YOLO v8 et v9. Cette perte mesure l'erreur dans les couches de convolution déformables, qui sont conçues pour améliorer la capacité du modèle à détecter des objets avec différentes échelles et ratios d'aspect. Une valeur plus faible de "df_l_loss" indique que le modèle est meilleur pour gérer les déformations d'objets et les variations d'apparence.

➤ **La perte de classification**

Est mesure l'erreur dans les probabilités de classe prédites pour chaque objet dans l'image par

rapport à la vérité terrain. Une valeur plus faible de "cls_loss" signifie que le modèle prédit plus précisément la classe des objets. Le modèle a rapidement montré des valeurs améliorées pour la précision, le rappel (Recall) et le mAP après environ 20 époques. De plus, la perte de boîte englobante et la perte d'objet ont montré une baisse rapide après environ 10 époques.

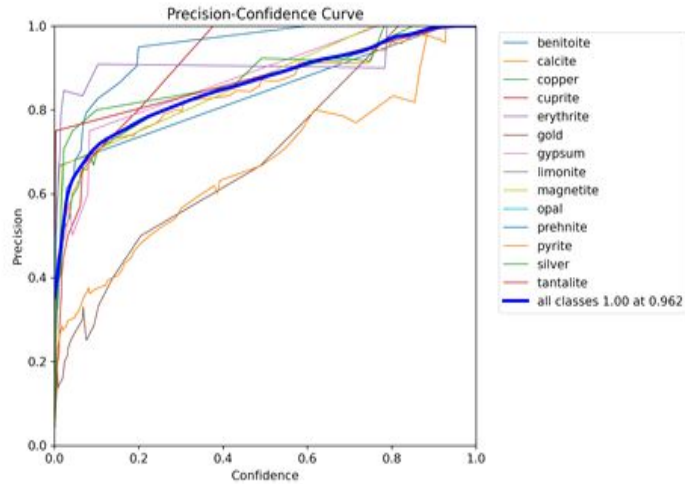


Figure 23: Courbe Précision-Confidence yolov8

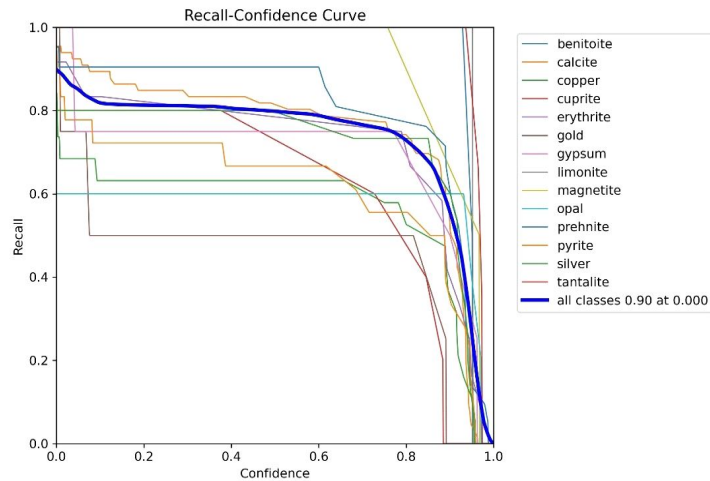


Figure 24: Courbe Rappel-Confidence yolov8

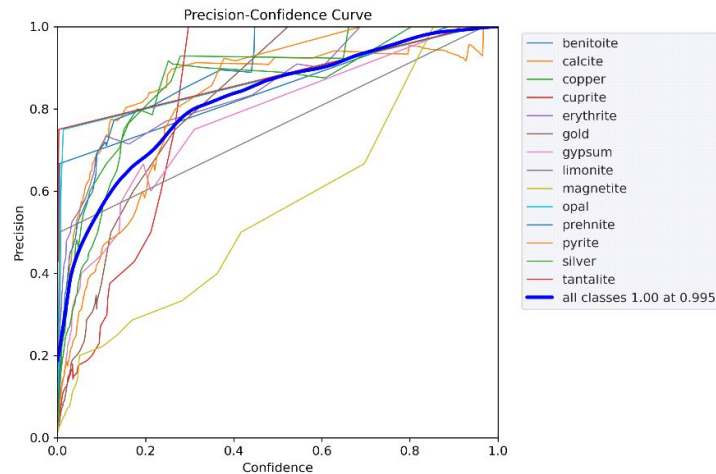


Figure 25: Courbe Précision-Confidence yolov9

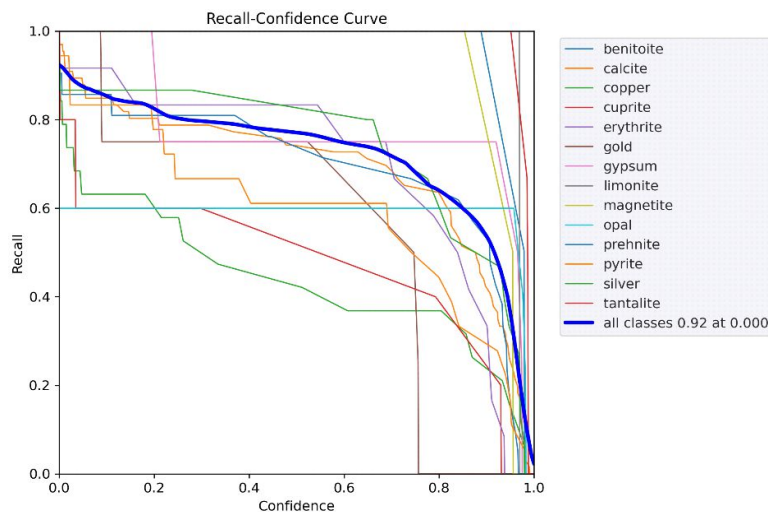


Figure 26: Courbe Rappel-Confidence yolov9

Dans les Figures (23 et 25), on observe que lorsque le seuil de confiance augmente, la précision du détecteur de minéraux augmente également. Cela indique que le détecteur devient plus précis dans ses prédictions, mais il peut également manquer certains objets positifs, ce qui entraîne une diminution du rappel. En revanche, dans les Figure (24 et 26), on constate que lorsque le seuil augmente, le rappel diminue progressivement, ce qui signifie que le détecteur manque de plus en plus d'objets positifs.

➤ Evaluation du model

Pour s'assurer que le modèle YOLOv8 généralise bien aux nouvelles données, les performances du modèle ont été évaluées sur un ensemble de validation après chaque époque d'entraînement. Le tableau 5 illustre les résultats de performance obtenus à partir de l'évaluation du modèle d'excellents résultats ont été obtenus sur les mesures de précision de détection des

minéraux en utilisant YOLO v8, v9.

Model	Map_50%	Précision%	Recall%
Yolov8	85.46	91.55	78.60
Yolov9	85.33	92.65	76.89

Figure 27: Performance des modèles

Ces résultats montrent que le modèle YOLOv8 est capable de détecter les objets avec une grande précision et un rappel élevé, ce qui en fait un choix solide pour les tâches de détection et localisation des minéraux.

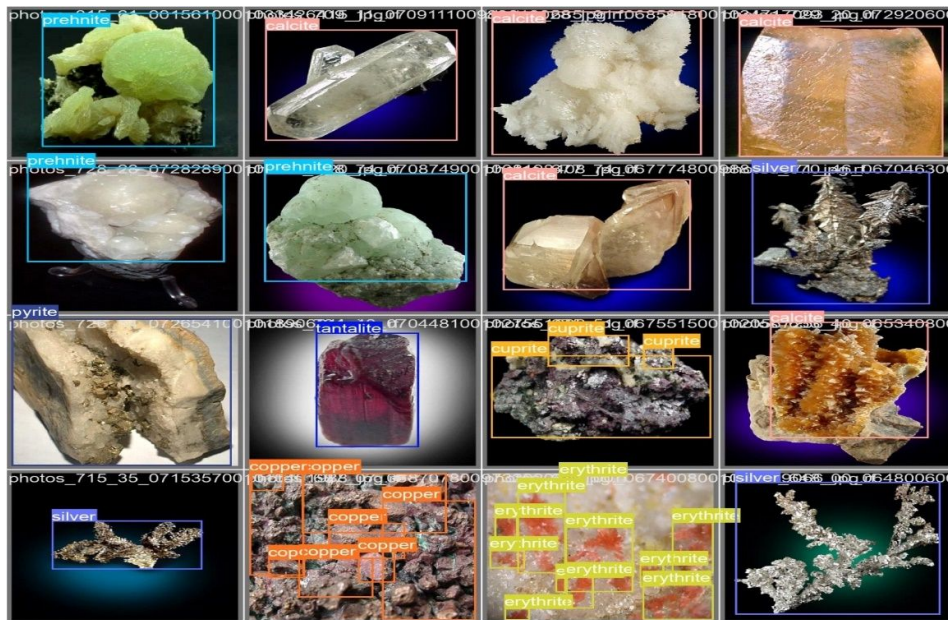


Figure 28 : Étiquettes et prédictions correspondantes pour la validation par lots (batch)

➤ Test et résultats

Après avoir validé le modèle et pour évaluer leur performance nous avons fait des tests sur l'ensemble de données du test, et on a obtenu les résultats suivants :

- **La détection des minéraux dans les images**

Les résultats obtenus (Figure 29) lors de la phase de test ont été extrêmement encourageants. Le modèle a réussi à détecter et localiser avec précision la présence des minéraux dans les images. Ces tests approfondis confirment que le modèle de détection de minéraux est robuste et fiable, ouvrant ainsi la voie à des applications.

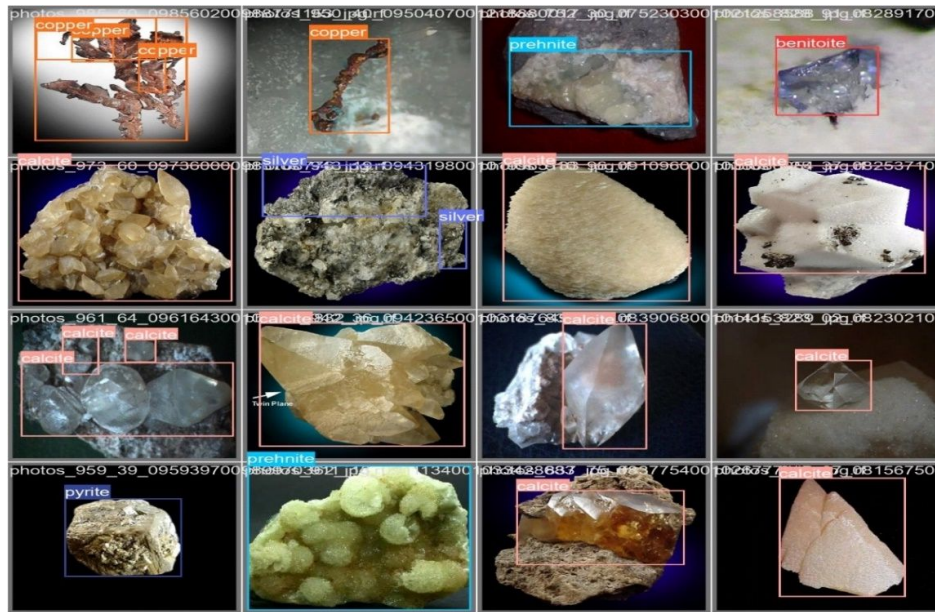


Figure 29 : Quelques résultats de tests de détection obtenus par YOLOv8.

7. Etudes comparatives

Nous avons effectué une évaluation comparative de YOLOv8 avec d'autres modèles de détection d'objets, YOLOv9 et SSD sur le même ensemble de données. Les résultats présentés dans le tableau montrent que le modèle YOLOv8 a surpassé les autres modèles en termes de détection et de reconnaissance d'objets, avec moins d'erreurs. Comme les autres modèles, YOLOv8 a également été formé sur une fonction de perte. Cependant, il se distingue comme le modèle de détection d'objets à usage général le plus efficace disponible, et il représente actuellement l'état de l'art en matière de détection d'objets.

Model	Map_50%	Précision%	Recall%
Yolov8	85.46	91.55	78.60
Yolov9	85.33	92.65	76.89
SSD	69.44	89.77	76.74

Figure 30 : Résultats des performances des modèles Yolo v8, v9 et SSD

8. Implémentation

Afin d'offrir une plateforme d'exploitation ergonomique et assez conviviale englobant un maximum de fonctionnalités concernant le travail entrepris, nous avons développé une plateforme (une application + un site web) qui permet à l'utilisateur de consulter le système de façon interactive. Les interfaces principales de cette plateforme sont présentées de façon brève ci-dessous.

9. Les interfaces graphiques application et site web

9.1. Les interface coté application

- **Page d'accueil** : La page d'accueil de l'application permet à l'utilisateur d'accéder aux services de l'application.



Figure 16 : Page d'accueil d'application

- **Page se connecter ou créer un compte :** La page se connecter/créer un compte permet à l'utilisateur de se connecter ou créer un compte s'il n'en a pas déjà un.

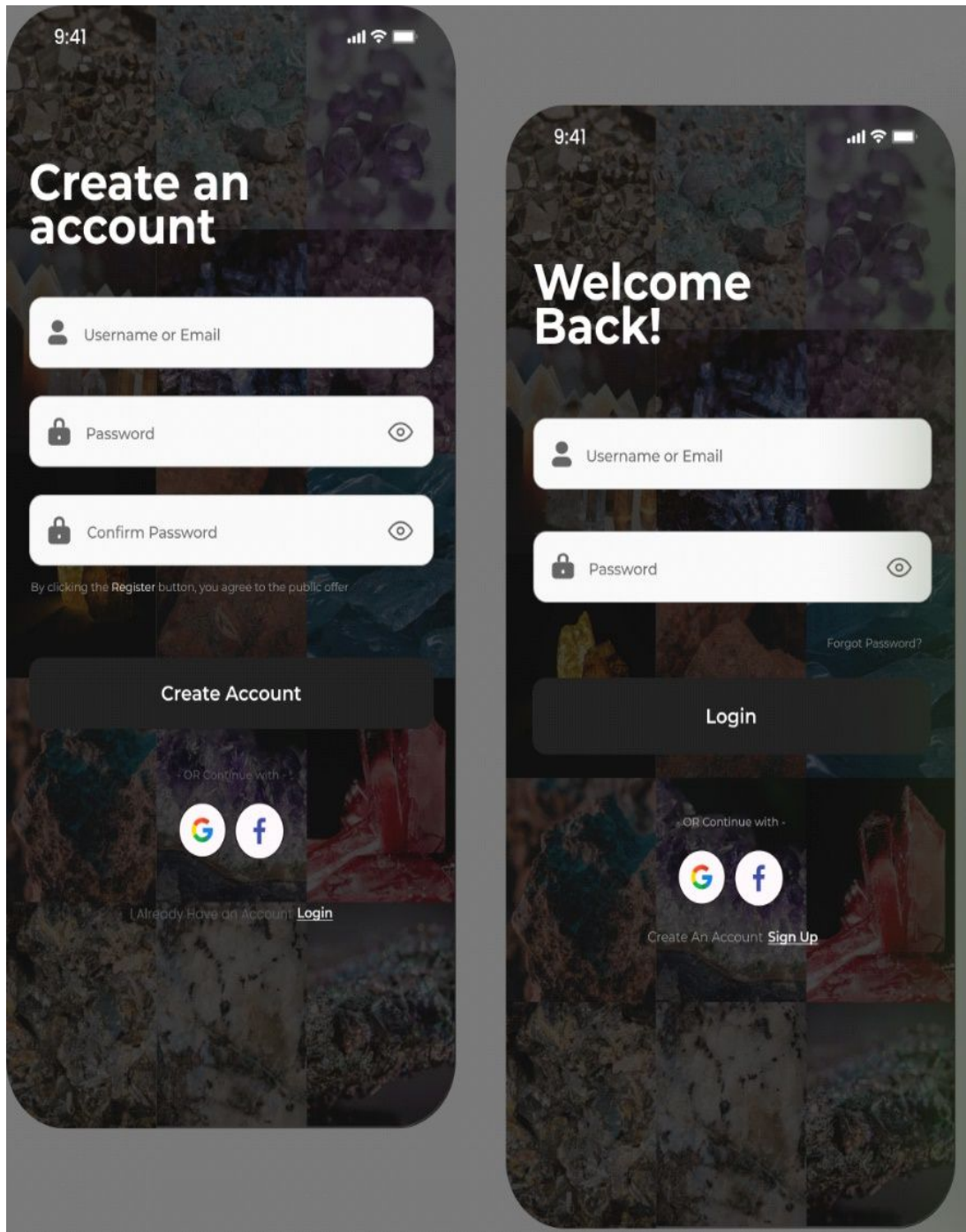


Figure 31: Page Se connecter/ créer un compte

- **Page détection en temps réel :** Tout utilisateur de notre application qui veut trouver tout type de minéral peut simplement ouvrir la caméra sur l'application et le diriger dans la direction du minérale qu'ils souhaitent reconnaître.



Figure 32: Détection en temps réel des minéraux via l'application

9.2. Les interfaces coté Site web

➤ **Page d'accueil site web** : à travers cette interface web, l'utilisateur peut :

- Accéder à son compte privé et utiliser les services de la plateforme, ou créer un nouveau compte s'il est nouveau sur la plateforme ;
- Télécharger l'application.



Figure 33: Page d'accueil de l'interface site web

➤ Page Sign in/Sign up

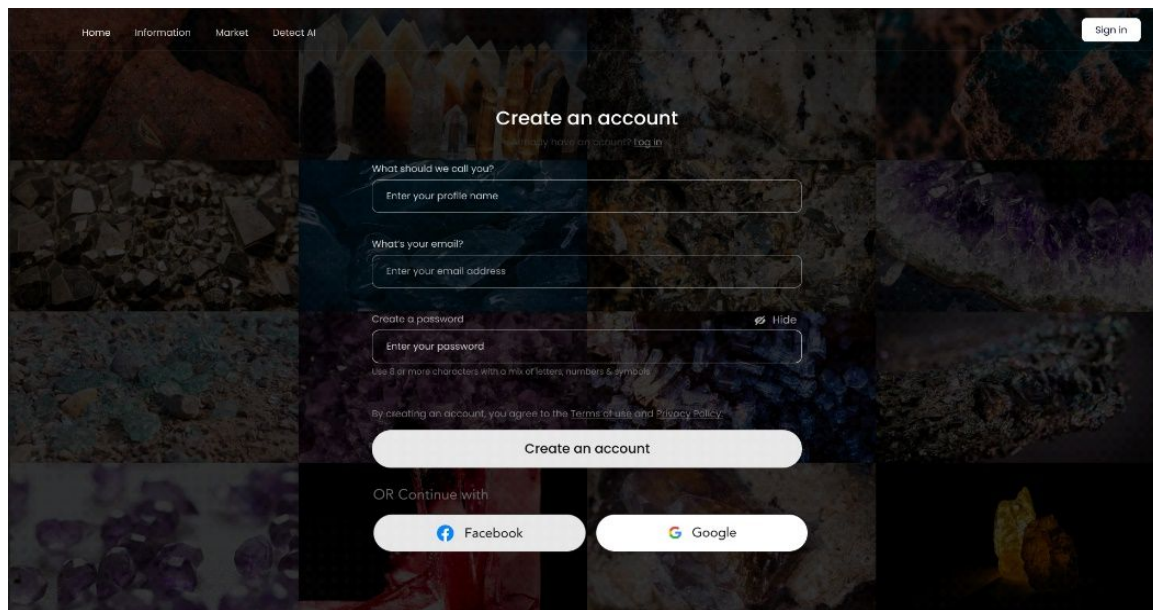
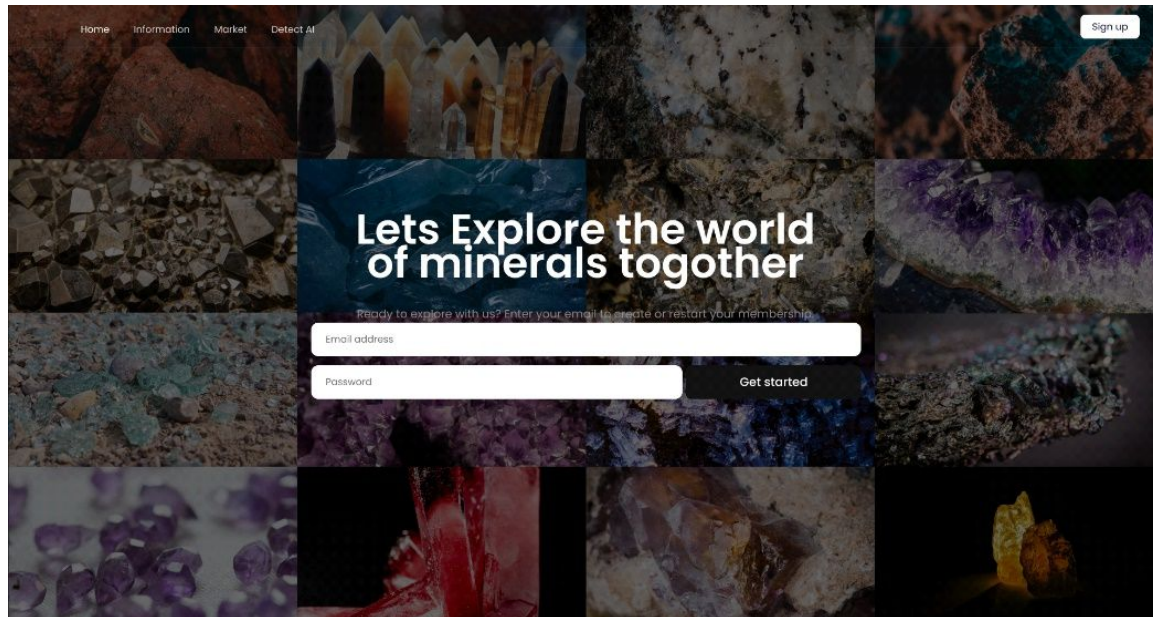


Figure 34: Pages Sign in/ Sign up du site web

- **Page principale des informations sur les minéraux :** Cette page fournit des informations générales sur tous les types de minéraux ainsi qu'une fonction de test qui permet d'enseigner de manière plus interactive.

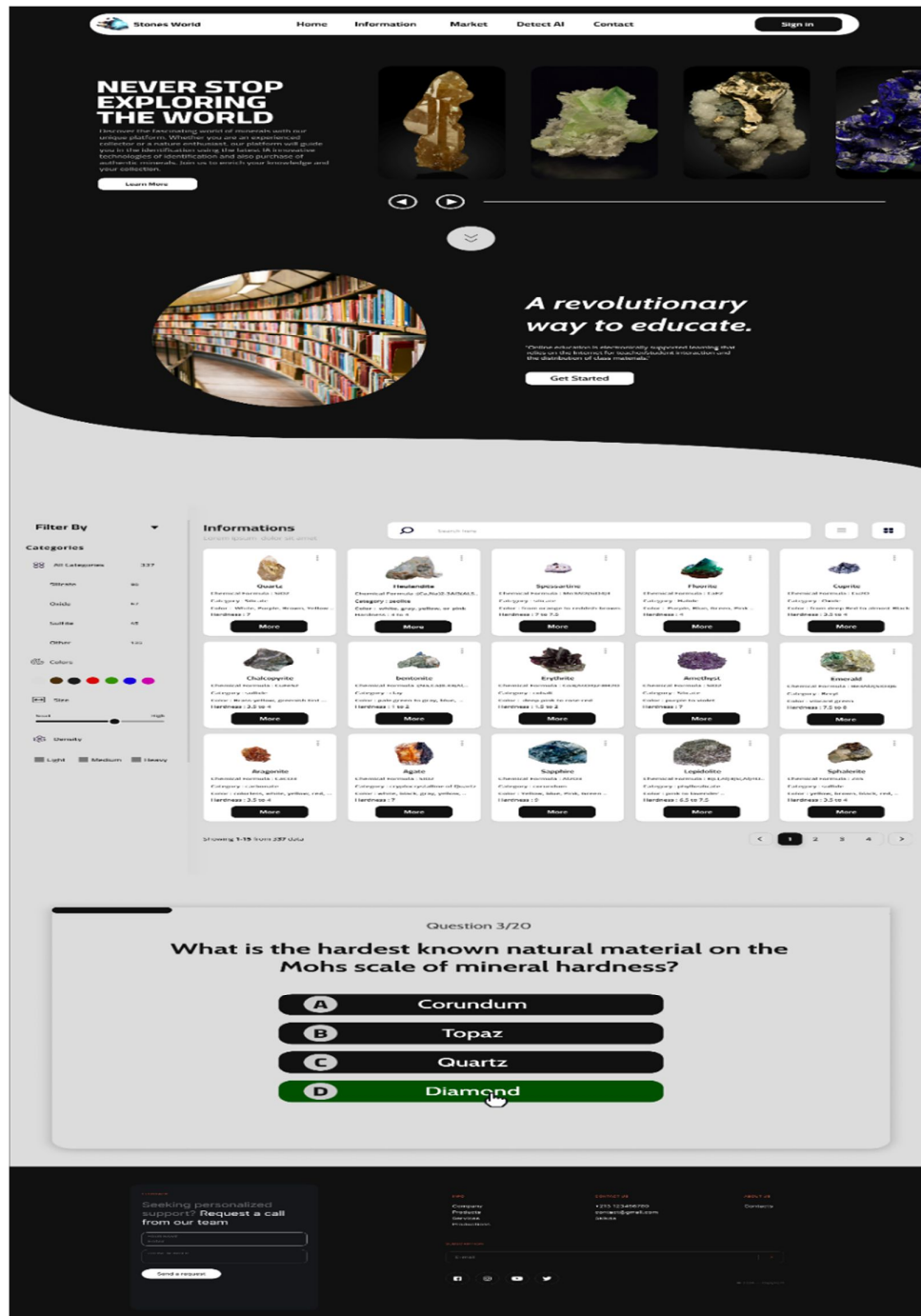


Figure 35: Page principale des informations sur les minéraux

- **Page du MarketPlace :** Parcourez les nombreux types de minéraux disponibles à l'achat. Le MarketPlace présente divers types de minéraux classés par type, couleur, prix...

The screenshot displays the 'MarketPlace' section of the 'Stones World' website. At the top, there is a navigation bar with links for Home, Information, Market, Detect AI, and Contact, along with a user profile 'Kader'. A 'Categories' sidebar on the left lists various mineral types: Silicate, Oxide, Sulfide, Carbonate, Halide, Sulfate, Phosphate, Native Elements, and Others. The main content area features 'Explore famous categories' with four image thumbnails. Below this is a 'Browse Minerals' section with a search bar and a 'Filter' sidebar. The filter sidebar includes sections for 'CATEGORY' (Silicate Minerals, Non-Silicate Minerals, Organic Minerals), 'PRICE RANGE' (with a slider and radio buttons), and 'COLORS' (with color swatches). The main grid displays 12 mineral products, each with an image, name, description, and price. The products shown are: Brown Quartz (12000 DZD), Erythrite (10000 DZD), Cuprite (13500 DZD), Chalcocite (11600 DZD), Amethyst (14000 DZD), Lepidolite (11200 DZD), Sapphire (17000 DZD), Agate (19000 DZD), Sphalerite (11000 DZD), Heulandite (11300 DZD), Benterite (17000 DZD), and Spessartine (11000 DZD). At the bottom, there is a contact form with fields for name, email, and phone number, and a 'Send a request' button. Social media icons and a copyright notice are also visible.

Figure 36: Section MarketPlace

- **Page spéciale Partenaire :** Dans cette section spéciale, nous présentons chacun de nos magasins partenaires.

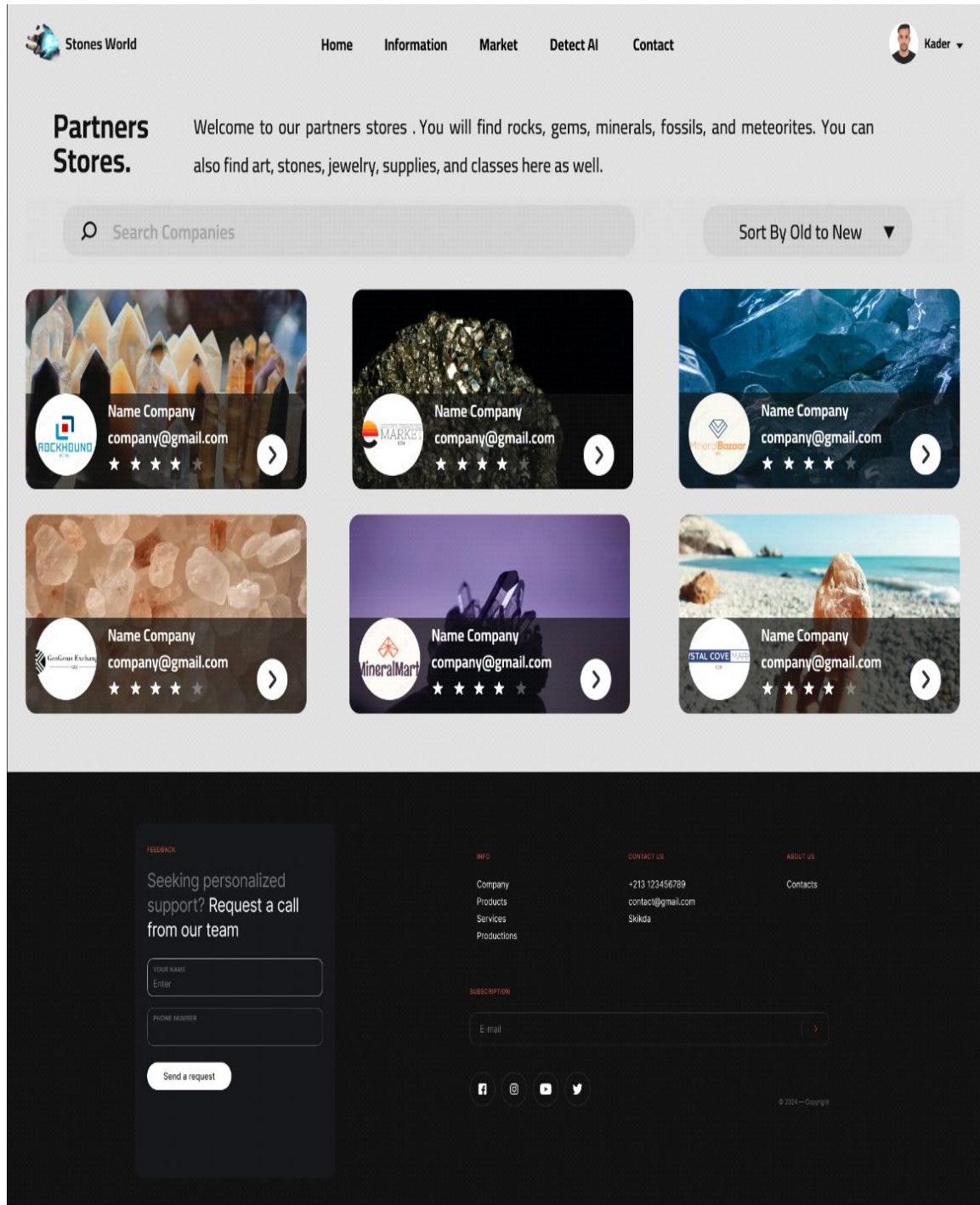


Figure 37: Les magasins partenaire

➤ Page Détection de minéraux

Stones World

Home Information Market Detect AI Contact

Kader

Identificate Your Minerals with Powerfull AI

Add your photo here, you can upload only 1 picture

Drag and drop your file here

Maximum 2200px with recommended. Max 10MB

OR

Browse Files

FEEDBACK

Seeking personalized support? Request a call from our team

YOUR NAME
Enter

PHONE NUMBER

Send a request

INFO

Company
Products
Services
Productions

CONTACT US

+213 123456789
contact@gmail.com
Skikda

ABOUT US

Contacts

SUBSCRIPTION

E-mail

Facebook Instagram YouTube Twitter

© 2024 - Copyright

Figure 38: La section d'identification


Dans cette section Identification : vous pouvez insérer l'image souhaitée sur laquelle vous souhaitez obtenir l'identification en la téléchargeant. Voici un exemple montrant le résultat obtenu :

Stones World

[Home](#)
[Information](#)
[Market](#)
[Detect AI](#)
[Contact](#)

Kader ▾

Identificate Your Minerals with Powerfull AI



Chalcopyrite is a copper iron sulfide mineral with the chemical formula $CuFeS_2$. It has a brass-yellow color and metallic luster, often with a greenish-black streak. Chalcopyrite is the most important copper ore, providing approximately 50% of the world's copper supply. It forms in igneous, metamorphic, and sedimentary rocks and is commonly found in sulfide mineral deposits. Due to its similar appearance to gold, it is sometimes referred to as "fool's gold."

[Learn More](#)

FEEDBACK

Seeking personalized support? Request a call from our team

Enter

[Send a request](#)

INFO

- Company
- Products
- Services
- Productions

CONTACT US

+213 123456789

contact@gmail.com

Skikda

ABOUT US

Contacts

SUBSCRIPTION

© 2024 — Copyright

Figure 39: Résultat d'identification obtenu après le téléchargement de la photo

10. Conclusion

L'identification et la détection automatique des minéraux est une tâche très importante qui aide le praticien à établir un diagnostic appuyé. Ce chapitre a été consacré à l'implémentation de la solution basée sur l'utilisation des modèles Yolov8, v9 et SSD. A notre connaissance, c'est le premier travail concernant l'application de YOLOv8, v9 et aussi SSD dans la détection automatique des minéraux. Les résultats obtenus sont très satisfaisants (mAP_50= 85.46%, Précision=91.55%, Recall%= 78.60%) qui dépasse les résultats obtenus avec Yolov9 et SSD.

Conclusion générale

VI. Conclusion générale

L'utilisation de l'IA dans les systèmes d'identification et de reconnaissance des minéraux révolutionne le domaine de la minéralogie et des industries connexes. Grâce à des algorithmes d'apprentissage automatique avancés, et en particulier aux méthodes d'apprentissage en profondeur, ces systèmes peuvent analyser de vastes quantités de données minéralogiques avec une précision et une rapidité sans précédent. Ces avancées offrent des avantages significatifs, notamment dans les secteurs de l'extraction minière, de la géologie, et de la recherche scientifique. L'IA permet non seulement une identification plus rapide et plus précise des minéraux, mais elle contribue également à optimiser les processus industriels et à réduire les erreurs humaines, ouvrant la voie à des innovations encore plus grandes dans le domaine de la minéralogie.

Notre travail a porté sur la détection et la localisation automatisées des minéraux, dans le but de fournir une aide à la décision pour une détection plus précise et des minéraux. Pour réaliser ce système nous avons utilisé une approche qui repose sur les réseaux de neurones convolutifs, en particulier le modèle YOLOv8. L'approche proposée montre des résultats très pertinents dans le domaine de la détection et localisation des minéraux. Sur la base des résultats obtenus, YOLOv8 (You Only Look Once version 8) a démontré une supériorité notable par rapport à d'autres modèles contemporains tels que YOLOv9 et le modèle Single Shot Detector (SSD) en termes de précision (accuracy). Pour conclure les principaux objectifs fixés dans ce travail ont été atteints avec succès. Cependant pour améliorer davantage la détection des minéraux dans le domaine d IA.

- **Perspectives futures**

Il est important de souligner que plusieurs solutions et approches peuvent être envisagées :

- **Intégration de Données Multispectrales** : Utiliser des données provenant de capteurs multispectraux ou hyperspectraux pour enrichir les modèles de détection. Cela permettrait de capturer des caractéristiques spectrales spécifiques aux différents types de minéraux, augmentant ainsi la précision de l'identification.
- **Enrichissement des Bases de Données** : Construire et utiliser des bases de données larges et diversifiées de minéraux, incluant des images sous différents angles, éclairages et contextes, pour entraîner les modèles. Cela améliorerait leur capacité à généraliser et à reconnaître les minéraux dans des conditions réelles variées.

- Ensembles de Modèles (Model Ensembles) : Combiner plusieurs modèles de détection pour tirer parti de leurs forces respectives. Par exemple, utiliser YOLOv8 en conjonction avec des modèles basés sur des réseaux de neurones convolutifs plus profonds pour capturer des caractéristiques fines.
- Déploiement sur des Architectures de Calcul Distribué : Utiliser des architectures de calcul distribuées, telles que le cloud computing, pour traiter de grandes quantités de données en parallèle, améliorant ainsi l'efficacité et la scalabilité des solutions de détection.

VII. Bibliography

- [1] <https://universe.roboflow.com/project-24eev/rock-minerals/dataset/2>
- [2] MANTOUZI, S., & Youssef, S. A. I. D. (2023). Intelligence artificielle et performance du secteur de l'enseignement supérieur marocain: Enjeux et interactions. *Revue Française d'Economie et de Gestion*, 4(11).
- [3] https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/952034_2603404c75594d7db90577c1e8cdb5d4.html
- [4] <https://www.mdpi.com/2224-2708/11/3/50>
- [5] <https://www.jedha.co/formation-ia/algorithme-fully-connected-neural-network>
- [6] CHAKIB, B. M. Détection de somnolence des conducteurs utilisant l'apprentissage profond.
- [7] Valentin, N. O. Ë. L. Séries temporelles et réseaux de neurones récurrents
- [8] <https://www.lebigdata.fr/gan-definition-tout-savoir>
- [9] Khokhlova, M., Gouet-Brunet, V., Abadie, N., & Chen, L. (2020, June). Recherche multimodale d'images aériennes multi-date à l'aide d'un réseau siamois. In *Conférence française en Reconnaissance des Formes, Image, Apprentissage et Perception (RFIAP 2020)*.
- [10] <https://datascientest.com/transformer-neural-network-tout-savoir>
- [11] <https://www.datasciencetoday.net/index.php/en-us/deep-learning/173-les-reseaux-de-neurones-convolutifs>
- [12] Steemans, P. (2024). Initiation à la géologie générale.
- [13] Minéraux et pierres précieuses PDF
- [14] <https://repository.enp.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/4989/1/ALIQUANE.Toufik.pdf>
- [15] Diffraction des rayons X appliquée au patrimoine PDF
- [16] <https://medium.com/scalian/la-d%C3%A9tection-dobjet-o%C3%B9-en-est-on-3b51ea1bd4f5>
- [17] [DataScientest.com](https://datascientest.com). <https://datascientest.com/you-only-look-once-tout-savoir>.
- [18] <https://rockidentifier.com/fr/>
- [19] <https://mineraly.fr/>
- [20] https://play.google.com/store/apps/details/Rock_Identifier_Stone_ID?id=com.picturerock.rock&hl=ln
- [21] <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.moonx.rockmaster>
- [22] Zhang, Junyu, et al. "Mineral identification based on deep learning using image luminance equalization." *Applied Sciences* 12.14 (2022): 7055.

- [23] Wang, C. Y., Bochkovski, A., & Liao, H. Y. M. (2023). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. In Proceedings of the IEEE/CVF
- [24] Boillet, M. (2023). Détection d'objets dans les documents numérisés par réseaux de neurones profonds (Doctoral dissertation, Université de Rouen).
- [25] Liu, G., Nouaze, J. C., Touko Mbouembe, P. L., & Kim, J. H. (2020). YOLO-tomato: A robust algorithm for tomato detection based on YOLOv3. Sensors, 20(7), 2145.
- [26] Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. Dans Conférence NIPS.
- [27] Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo algorithm developments. Procedia Computer Science, 199, 1066-1073.
- [28] Chien-Yao Wang, I-Hau Yeh., and Hong-Yuan Mark Liao. (2024). YOLOv9: Learning What You Want to Learn Using Programmable Gradient Information.
- [29] <https://docs.ultralytics.com/fr/models/yolov9/#impact-on-lightweight-models>
- [30] Liu, W. et al. (2016). SSD: Single Shot MultiBox Detector. In: Leibe, B., Matas, J., Sebe, N., Welling, M. (eds) Computer Vision – ECCV 2016. ECCV 2016. Lecture Notes in Computer Science(), vol 9905. Springer, Cham.
- [31] <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/getting-started-with-ssd.html>
- [32] Nelson, Mark J., and Amy K. Hoover. "Notes on using Google Colaboratory in AI education." Proceedings of the 2020 ACM conference on innovation and Technology in Computer Science Education. 2020.
- [33] <https://www.geeksforgoeks.org/python-programming-language> Accédé le 07/09/2021
- [34] <https://roboflow.com/>
- [35] Musciano, Chuck, and Bill Kennedy. HTML & xhtml: The definitive guide: The definitive guide. " O'Reilly Media, Inc.", 2002.
- [36] <https://css.com/>
- [37] <https://www.javascript.com/>
- [38] <https://www.php.com/>
- [39] <https://www.mysql.com/>
- [40] <https://pytorch.org/>
- [41] <https://www.cuda.com/>
- [42] <https://code.visualstudio.com/>
- [43] <https://www.apachefriends.org/index.html>

[44] <https://www.wpbeginner.com/fr/glossary/apache/>

[45] <https://www.hostinger.fr/tutoriels/quest-ce-quapache-serveur-web-apache>

[43] <https://www.phpmyadmin.net/>

[44] <https://colab.research.google.com/drive/1rIEmDZYuti4n5q1AXVo5ilyur4JubRWw?usp=sharing#scrollTo=6QPmVBSILTzM>

Annexe

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
People's Democratic Republic of Algeria
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministry of Higher Education and Scientific Research
University of 20 août 1955-Skikda



Faculty of Science
Department of Computer Science

**National Coordinating Committee for Monitoring Innovation and Incubation of University
Businesses**

**Project Guide to obtain the Certification of an Emerging start-up Institution under
Ministerial Decision 1275.**

Subject

Stones World

An artificial intelligence platform for identification and marketing

Presented by

- Mameri Rabah
- Boukezoula Abdelkader
- Lakroune Mohamed Ayoub
- Satouh Chaima
- Boussis Sami Aymen

Supervised by

**Dr.KERRAOUI Sarra
Dr.BOUGAMOUSA Fatah**

Session: 2023/2024

Information Card

About Supervision and the Team

1. Supervisory Team

Main Supervisor : Kerraoui Sarra	Specialization: Doctor in software engineering
Assistant Supervisor : Bougamouza Fateh	Specialization: Doctor in Artificial Intelligence

2. Work Team

Project Team	Speciality	Faculty
Mameri Rabah	Artificial Intelligence / Hydrogeology	Science
Boussis Sami Aymen	Artificial Intelligence	Science
Lakroune Mohammed Ayoub	Artificial Intelligence	Science
Boukezoula Abdelkader	Distributed Networks and Systems	Science
Satouh Chaima	Distributed Networks and Systems	Science

Annex

First Axis: Presentation of the project	1
1. The Idea of the Project (Proposed Solution)	2
2. The Proposed Values	2
3. The Project Team	3
4. The Project Objectives.....	3
5. A timeline to complete the project.....	4
Second Axis: The innovative aspects	5
1. The nature of the innovations.....	6
2. The areas of innovation	6
Third Axis: Strategic Market Analysis.....	8
1. Market Segment Offering	9
1.1 Market Segment	9
2.1 Potential Market.....	9
3.1 Target market	9
2. Measuring the intensity of competition	9
3. Marketing Strategy.....	10
Fourth Axis: Production and Organization Plan	12
1. Production Process.....	13
2. Supply	14
3. Labor Force.....	14
4. Key Partnerships.....	14
Fifth Axis: Financial Plan	16
1. Costs and Expenses.....	17
2. Business Number.....	19

3.	Expected Result Statement	20
4.	Cash Flow Plan	21
Sixth Axis: Pilot Prototyping Model.....		23
1.	Pilot prototype.....	24
1.1	Prototype of Application	24
2.1	Prototype of Web Site	29
Business Model Canvas _BMC_		40

List of Figures

Figure 1 : The nature of innovations	6
Figure 2 : Stages of the production process.....	13
Figure 3 : Welcome page	24
Figure 4 : Sign in page.....	25
Figure 5 : Sign up page	26
Figure 6 : Application's main page.....	27
Figure 7 : Discover section	28
Figure 8 : The platform's main interface.....	29
Figure 9 : Sign in page.....	30
Figure 10 : Sign up page.....	30
Figure 11 : Information main page	31
Figure 12 : Detailed Information Page.....	32
Figure 13 : Marketplace section	33
Figure 14 : Product page.....	34
Figure 15 : Partner stores.....	35
Figure 16 : Detailed partner store	36
Figure 17 : Identification section.....	37
Figure 18 : Identification result.....	38
Figure 19 : Admin section.....	39

List of Tables

Table 1 : A timeline to complete the project	4
Table 2 : Direct and indirect competitors.....	10
Table 3 :The most important partnerships	15
Table 4 : Project costs and required investments	18
Table 5 : Returns (revenue).....	18
Table 6 : Expected turnover in optimistic scenario	19
Table 7 : Expected turnover in pessimistic scenario	20
Table 8 : Calculations of expected results.....	21
Table 9 : Expected revenues and expenses during the first year	22
Table 10 : Business Model Canvas (BMC).....	42

First Axis: Presentation of the project

1. The Idea of the Project (Proposed Solution)

- Our project's mainly focus is providing services by using contemporary sites and applications to explore, identify, learn and trade/sell a variety of minerals and stones;
- An extensive study in our society gave rise to the idea for this project. Because of the unawareness of the difference between stones and minerals, and also the lack of appreciation of the mineral's economic worth;
- We intend to develop a platform and an application;
- By an integrated digital platform that connects the mineralogy community with the mineral commerce. The website Contains details regarding the different stones and their significance, including their properties, histories, and market values, the application allows the detection and identification of the stone's type. Users will also be able to buy and sell these natural treasures easily, safely and with quality assurance. In addition of the economical aspect, this project aims to educate people about the geological treasures of our world;
- We choosed our country Algeria as the initial field of our project, the reason behind this choice is its richness in various minerals and the absence of the competitors in this industry.

2. The Proposed Values

- **Ease of Learning:** Simplifying the process of learning about various kinds of minerals using a computer or smartphone;
- **Convenient Access:** Providing practical and comfortable access to our platform through a smartphone application;
- **Inclusivity:** Ensuring availability and accessibility to all societal groups;
- **Innovative Technology:** Utilizing cutting-edge deep learning technology to revolutionize the identification and exchange of minerals, fostering innovation in the field of mineralogy;
- **Educational Outreach:** Educating people about different kinds of minerals and their applications;
- **Comprehensive Information:** Offering a website with thorough and user-friendly information about a variety of minerals;

- **E-commerce Integration:** Including a feature that allows consumers to buy minerals from specific companies.

This project aims to improve knowledge and educational materials for a broad spectrum of users while streamlining the process of mineral identification and increasing transparency and accessibility in the mineral trade.

3. The Project Team

- **Mameri Rabah**

Master's 2 student at the University of Skikda, specializing in Artificial Intelligence and Hydrogeology. Responsible for the dataset research.

- **Boukezoula Abdelkader**

Master's 2 student at the University of Skikda, specializing in Distributed Networks and Systems. Responsible for the Ui/UX.

- **Lakroune Mohamed Ayoub**

Master's 2 student at the University of Skikda, specializing in Artificial Intelligence. Responsible for the coding.

- **Satouh Chaima**

Master's 2 student at the University of Skikda, specializing in Distributed Networks and Systems. Responsible for the website design and marketing.

- **Boussis Sami Aymen**

Master's 2 student at the University of Skikda, specializing in Artificial Intelligence. Responsible for the application development.

4. The Project Objectives

- We want to establish ourselves as Algeria's leading provider of mineral-related websites and applications over the first five years of operation;

- Increase our accessibility to reach a larger spectrum of users.
- Form strategic alliances with pertinent parties to expand our market reach and boost user adoption;
- Gain a substantial portion of the market by providing a distinctive and easy-to-use platform for mineral education;
- customer satisfaction rate;
- Constantly innovate and improve our platform to satisfy our target market's changing wants and preferences;
- Promote revenue growth by providing extra services, including choices for buying minerals, to create long-term revenue streams and achieve a marketing share estimated at 12% from the total of international mineral selling;
- Promote a solid brand image in Algeria's mining sector built on dependability, trust, and great customer service.

5. A timeline to complete the project

Here is the timeline for project completion:







			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1		Research and Planning	X	X	X									
2		Design and Prototyping			X	X	X	X						
3		Development					X	X	X	X	X			
4		Testing and Refinement									X	X		
5		Launch and Deployment											X	
6		Marketing and Maintenance											X	X

Table 1 : A timeline to complete the project

Second Axis: The innovative aspects

1. The nature of the innovations

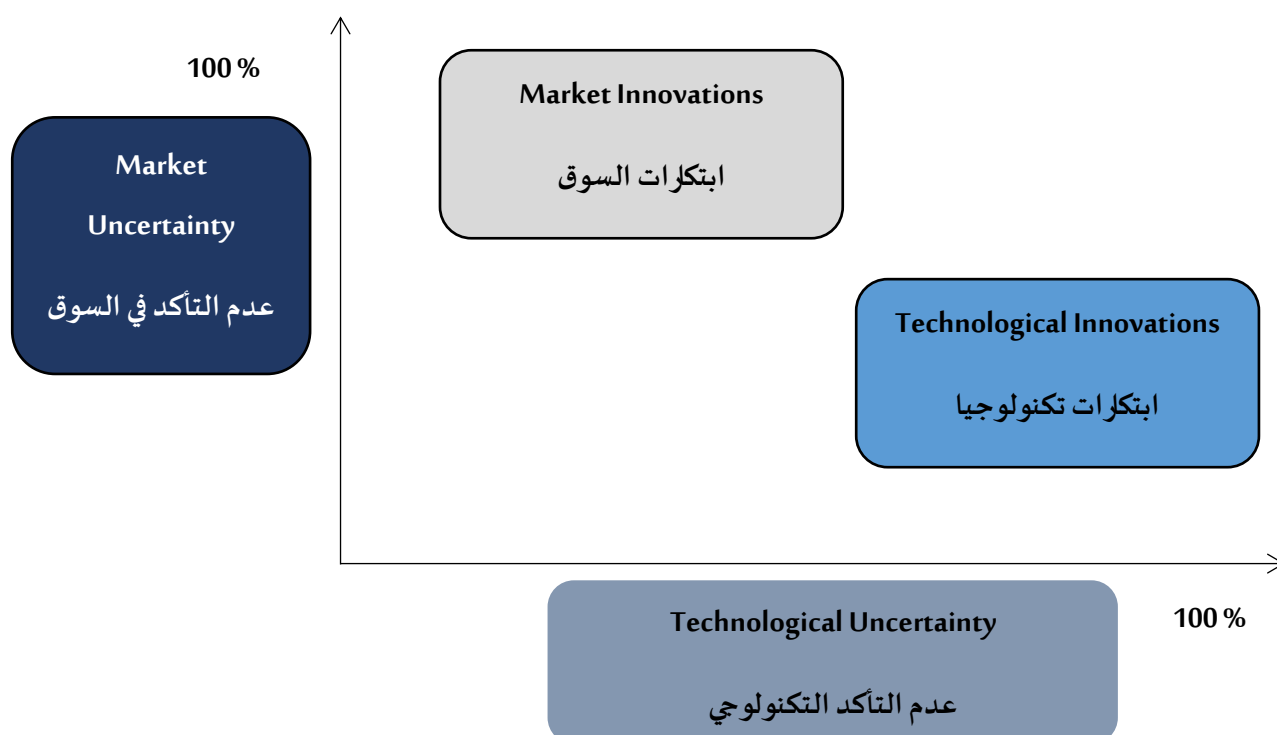


Figure 1: The nature of innovations

This technology program aims to educate more about minerals, and take advantage of contemporary technology in the mineral exploration process. In addition, it allows purchasing via an integrated e-commerce interface, made possible through cooperation with relevant players in the industry.

2. The areas of innovation

- **AI-Powered Mineral Identification:** Utilizes advanced deep learning algorithms for precise mineral identification from images;
- **Comprehensive Digital Platform:** Integrates a robust mineral database, AI tools for identification, and a secure marketplace;
- **Educational Content and Resources:** Offers diverse educational materials and interactive tools for learning about minerals;
- **E-Commerce Capabilities:** Provides a secure marketplace with AI-driven recommendations for buying and selling minerals;
- **Mobile Accessibility:** Mobile application ensures convenient access to platform features anytime, anywhere;

- **Community and Networking:** Facilitates user interaction through forums, user groups, and collaboration with experts;
- **Sustainability and Ethical Sourcing:** Promotes ethical practices in mineral sourcing and trading, ensuring transparency;
- **Data Analytics and Market Insights:** Utilizes data analytics to provide market trends and insights for informed decision-making.

These innovations collectively aim to enhance accessibility, education, transparency, and user engagement in the field of mineralogy.

Third Axis: Strategic Market Analysis

1. Market Segment Offering

The "Stones World" application and platform is a comprehensive digital project focused on the world of minerals, utilizing cutting-edge technologies like augmented reality and image recognition to provide users with an engaging exploration experience. Here are the main features and market segments targeted by the "Stones World" project:

1.1 Market Segment

- **Primary Audience:** Mineral aficionados, collectors, and hobbyists with a strong interest in gemology, geology, and the artistic uses of minerals;
- **Professional Users:** Includes professionals such as jewelry manufacturers, interior designers, educators, and researchers in earth sciences, who rely on minerals for their work and studies.

2.1 Potential Market

Encompasses individuals and companies interested in purchasing minerals for various purposes, including industrial applications, ornamental uses, mining, and collections for museums.

3.1 Target market

Defined based on specific criteria aligned with the product's characteristics and commercial objectives:

- For jewelers seeking unique materials for creating exceptional jewelry pieces.
- For industrial companies requiring minerals for operational needs and manufacturing processes.

2. Measuring the intensity of competition

In the dynamic world of economics, competition plays a pivotal role in fostering innovation and driving progress. The following table provides a comprehensive overview of competitors in both domestic and international markets, highlighting their distinct characteristics. Through this analysis, we aim to deepen our understanding of market dynamics and the key factors driving success in this complex field according to the following table:

Competitor Type	Example/Type	Strengths	Weaknesses	Opportunities
Direct Competitors				
Local Marketplaces	Jumia Algeria	Established presence, extensive logistics, user-friendly	General marketplace, limited specialized features, high competition	Develop a niche platform with AI-powered detection
Local Gem and Mineral Shops	Various small shops	Established customer relationships, physical inspection	Limited online presence, smaller inventory, no advanced tools	Partner with local shops to list their inventory online
Indirect Competitors				
Trade Shows and Exhibitions	Various regional events	Direct interaction, access to high-quality specimens	Limited frequency, geographic reach, higher costs	Offer virtual trade show features within the app
Social media, Marketplaces	Facebook, Instagram	Wide reach, target specific audiences, low entry barriers	Lack of formal structure, high fraud risk, no integrated tools	Provide a secure, regulated platform with AI detection

Table 2 : Direct and indirect competitors

3. Marketing Strategy

- **Multichannel communication**

- Heavy use of social media (Facebook, Instagram, YouTube, LinkedIn, TikTok, Telegram);
- Advertisements on radio and television;
- Placement of articles in specialized periodicals and journals to target specific audiences.

- **Strategic partnerships**

- Collaboration with local organizations, museums, educational institutions, and universities to enhance visibility and credibility;
- Establishing partnerships with reputable vendors of minerals and stones to ensure quality and diversity of offerings.

- **Competitive Pricing Strategy**

- Thorough analysis of market prices to ensure competitive positioning;
- Offering value-for-money products to attract and retain customers.

- **Customer Relationship Management (CRM)**

- Provision of comprehensive after-sale support and personalized assistance;
- Loyalty programs and exclusive benefits to enhance customer retention;
- Implementation of a system for tracking returns and handling customer requests efficiently;
- Utilization of user data and feedback for continuous improvement;
- Transparent communication with customers regarding updates and changes to product offerings.

Fourth Axis: Production and Organization Plan

1. Production Process

The production process passes through several stages, which we show in the following figure:

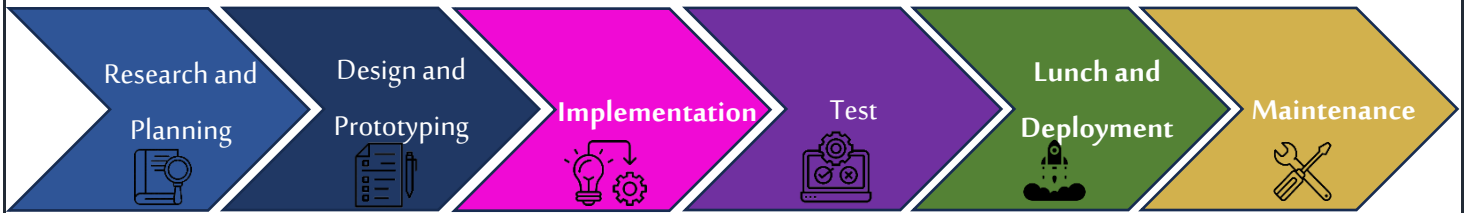


Figure 2: Stages of the production process

- **Research and Planning**
 - Conduct market research to analyze user needs and define project goals;
 - Set strategic objectives for creating an intuitive mineral identification platform.
- **Design and Prototyping**
 - Create wireframes and mockups for the mobile app and website interfaces;
 - Develop interactive prototypes to test mineral identification functionalities.
- **Implementation**
 - Develop front-end for intuitive user interaction and smooth navigation;
 - Implement back-end for data management, security, and integration of advanced AI-based identification functionalities;
 - Incorporate algorithms for real-time mineral recognition from user-captured images.
- **Test**
 - Conduct performance, security, and usability testing;
 - Validate accuracy of mineral identification using YOLO and SSD algorithms.
- **Lunch and Deployment**
 - Deploy mobile app on major app stores and website on secure servers;
- **Maintenance**

After the launch, the application or website requires ongoing maintenance to ensure it remains functional and includes:

- Provide ongoing support, updates, and enhancements based on user feedback.

2. Supply

The completion of our project requires supplies and various equipment which will be purchased on credit from our suppliers. Our main suppliers are: Mobile application developers, Website developers, Sellers of computer and office equipment, Photographic equipment.

3. Labor Force

We seek to create sustainable wealth and provide diverse job opportunities. six people will be employed directly (2 sales manager, 2 customer support, 1 mineral expert,2 developers,2 marketing staff and 1 sanitation worker), while indirect positions will be available according to our program of activities and may include a videographer and photographer, a graphic designer for marketing campaigns. And sales representatives to distribute our products.

4. Key Partnerships

The following table shows the principal partnerships:

Partnership Type	Description	Benefits	Examples
Business Incubator at Skikda University	Support for startup growth and development	Access to funding, mentorship, networking opportunities	University startup incubators, such as the business incubator at Skikda University.
Educational Institutions	Promote app as an educational tool and resource	Enhanced credibility, knowledgeable user base, R&D	University geology departments, research institutes
Ministry of Energy	Align with national energy and mineral exploration initiatives	Government support, regulatory compliance, access to resources	Government mineral exploration projects
Retailers of Gemstones and Auction Houses	Partner with retailers and auction houses for listing and sales	Expanded inventory, access to rare items, increased sales	Local and international gemstone retailers, auction houses

Technology Collaborators	Work with technology firms for advanced features and integration	Cutting-edge technology, improved functionality, innovation	AI development firms, sensor technology companies, IT service providers
Regulatory and Certification Organizations	Ensure compliance and certification for minerals and gemstones	Trust and credibility, regulatory compliance, quality assurance	Certification bodies, regulatory agencies
Research Labs and Geological Institutes	Collaborate on mineral detection technology and geological research	Advanced research, technology development, expert insights	Geological research labs, institutes, and universities

Table 3 :The most important partnerships

By forming strategic partnerships with educational institutions, the Ministry of Energy, and Sonatrach, the Skikda University Business Incubator, the Mineral Marketplace and Detection App can leverage these relationships to enhance its capabilities, ensure regulatory compliance, and build credibility in the market. These partnerships provide access to valuable resources, data, and expertise, positioning the app as a leading tool in the mineral and gemstone industry.

Fifth Axis: Financial Plan

1. Costs and Expenses

The following table shows all project costs and burdens:

Costs and Expenses	Amount (DZD)
Development Costs	
App Development	500 000
Design	100 000
Frontend Development	150 000
Backend Development	200 000
Testing and Quality Assurance	50 000
Operational Costs (First Year)	
Server Costs	120 000
Hosting Services	40 000
Technical Support	100 000
Total	260 000
Marketing and Sales Costs (First Year)	
Digital Advertising	300 000
Influencer Partnerships	100 000
Promotional Events	50 000
Total	450 000
Staff Salaries (First Year)	
Developers (2)	800 000
Marketing Staff (2)	600 000
Customer Support (2)	400 000
Sanitarian worker	252 000
Sales managers (2)	105 600
Total	2 568 400
Legal and Compliance Costs	
Legal Consultations	150 000
Compliance Audits	60 000
Total	210 000
Total Initial Investment (First Year) in DZD	
Development Costs	500 000
Operational Costs	260 000
Marketing and Sales Costs	450 000

Staff Salaries	1,800,000
Legal and Compliance Costs	210 000
Total	3,220,000
Sources of Funding in Algeria	
Seed Funding	
Personal Savings	1,000,000
Venture Capital Investment	2,000,000

Table 4 : Project costs and required investments

- Revenue Table in DZD :

Revenue Stream	Year 1	Year 2	Year 3
Commission on Sales	1,000,000	2,500,000	5,000,000
Subscription Fees	400,000	1,000,000	2,000,000
Advertising	600,000	1,500,000	3,000,000
In-App Purchases	200,000	500,000	1,000,000
Partnerships and Sponsorships	300,000	750,000	1,500,000
Total Revenue in DZD	2,500,000	6,250,000	12,500,000

Table 5 : Returns (revenus)

Conclusion for Algeria:

The initial investment required for the Mineral Marketplace and Detection App in Algeria is estimated at 3,220,000 DZD for the first year. Funding will primarily come from personal savings and venture capital investment.

Revenue is projected to increase significantly over the first three years of operation, reaching 12,500,000 DZD by Year 3. Revenue streams include commission on sales, subscription fees, advertising, in-app purchases, and partnerships. With careful financial management and strategic growth initiatives, the app aims to achieve profitability and long-term success in the Algerian market.

2. Business Number

The project has not yet begun operations, but in the year that it begins, its turnover is expected to be determined. There are two possible outcomes: an optimistic and a pessimistic result as shown in the following table:

a) Optimistic scenario:

1st year:

Month of the year	Forecast turnover excluding tax (DZD)
January	300 000.00
February	370 000.00
March	410 000.00
April	420 000.00
May	450 000.00
June	490 000.00
July	537 000.00
August	550 000.00
September	580 000.00
October	594 000.00
November	610 000.00
December	633 000.00
TOTAL HT	5 944 000.00
MONTANT TVA 19%	1 129 360.00
TOTAL TTC	7 073 360.00

Table 6 : Expected turnover in optimistic scenario

b) Pessimistic scenario

1st year:

Month of the year	Forecast turnover excluding tax (DZD)
January	180 000.00
February	190 000.00

March	200 000.00
April	210 000.00
May	205 000.00
June	220 000.00
July	210 000.00
August	220 000.00
September	230 000.00
October	240 000.00
November	250 000.00
December	230 000.00
TOTAL HT	2 585 000.00
MONTANT TVA 19%	491 150.00
TOTAL TTC	3 076 150.00

Table 7 : Expected turnover in pessimistic scenario

3. Expected Result Statement

	1 st Year
Operating Revenue	
Minerals commission	
App revenues	4 395 000.00
gross margin	4 395 000.00
External costs	
Assurances	
Telephone, internet	30 000.00
Other subscription	
Hosting cost	40 000.00
Electricity	36 000.00
value-added	4 289 000
Taxes (15%)	46 800.00
Employees' salaries	4 108 000.00
Employee's social charges	944 840.00
Executive levy(s)	

Social office leader(s)	42 000.00
gross operating surplus	696 60
Financial charges	-
Depreciation allowance	200 000
Pre-tax profit	469630
Corporation tax	129 053,6
Net accounting income	367 306,40

Table 8 : Calculations of expected results

4. Cash Flow Plan

The following table shows all revenues and all expected expenses during the first year:

Cash budget over 12 months

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
collections												
gross sales	357 000	440 300	487 900	499 800	535 500	583 100	639 030	654 500	690 200	706 860	725 900	735 270
Borrowing	3 220 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Subsidies	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Capital contributions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Current account contributions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Exceptional products	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TOTAL ENTRIES	3 577 000	440 300	487 900	499 800	535 500	583 100	639 030	654 500	690 200	706 860	725 900	735 270
disbursements												
Fixed assets	3 220 000											
Expense report												

Net wages	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033	214 033
Social security contributions	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386	51 386
Suppliers	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750	3 750
General expenses													
Rents	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000	25 000
Loan maturities	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666	16 666
VAT payable													
Taxes	4 500	5 500	6 150	6 300	6 750	7 350	8 055	8 250	8 700	8 910	9 150	9 495	9 495
Special expenses													
TOTAL SORTIES	3 535 417	316 367	316 967	317 117	317 567	318 167	318 872	319 067	319 517	319 727	319 967	319 967	320 312
Bank													
sold before		41 583	165 516	336 449	519 132	737 065	1 001 998	1 322 156	1 657 589	2 028 272	2 415 405	2 821 338	2 821 338
Sold final	41 583	165 516	336 449	519 132	737 065	1 001 998	1 322 156	1 657 589	2 028 272	2 415 405	2 821 338	3 236 296	3 236 296
VAT collected	57 000	70 300	77 900	97 800	85 500	93 100	102 030	104 500	110 200	112 860	115 900	120 270	120 270
VAT on purchase	515 515	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590	4 590
VAT payable	-458 515	392 805	319 495	226 285	145 375	56 865	40 575	140 485	246 095	354 365	465 675	581 355	581 355

Table 9 : Expected revenues and expenses during the first year

Sixth Axis: Pilot Prototyping Model

1. Pilot prototype

1.1 Prototype of Application

- **Application's Welcome page:** This page enables the user to access the app's main page by logging in or creating an account if they don't already have one.

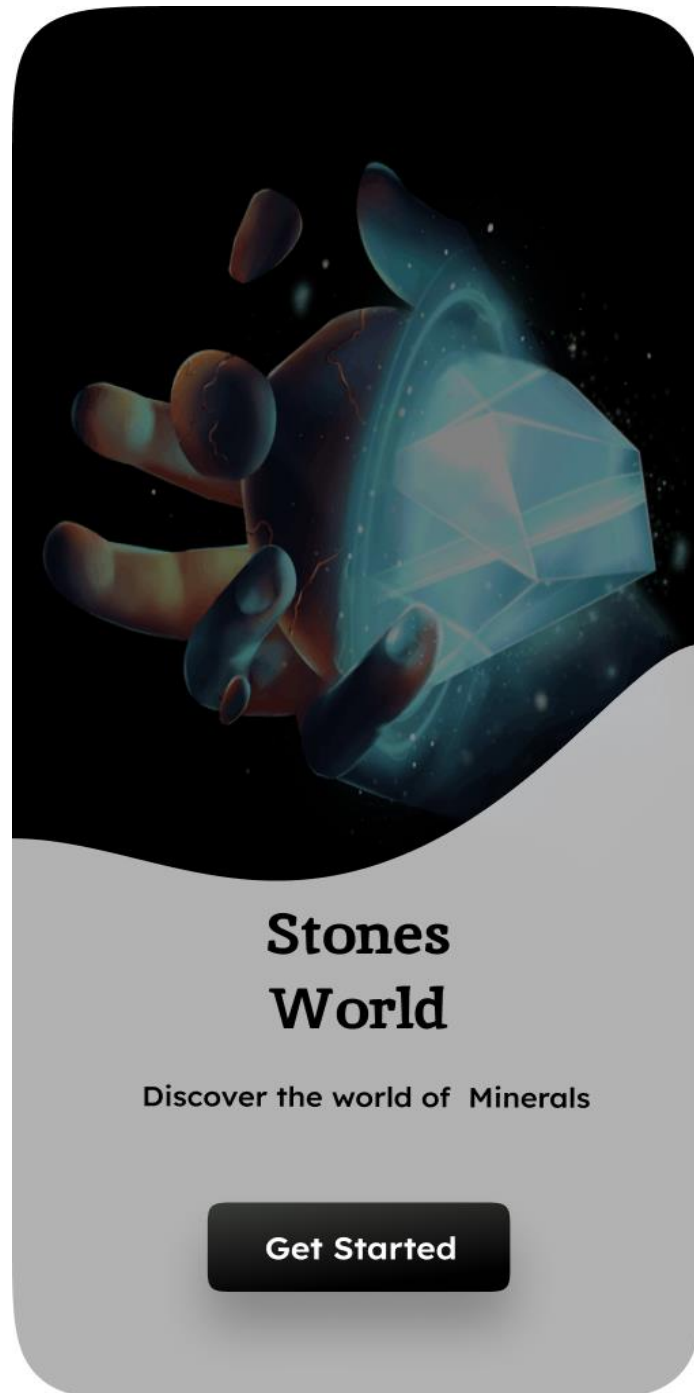


Figure 3: Welcome page

- **Sign in page:** This page allows users to sign to the app. In the absence of an account, he already has, he must create an account.

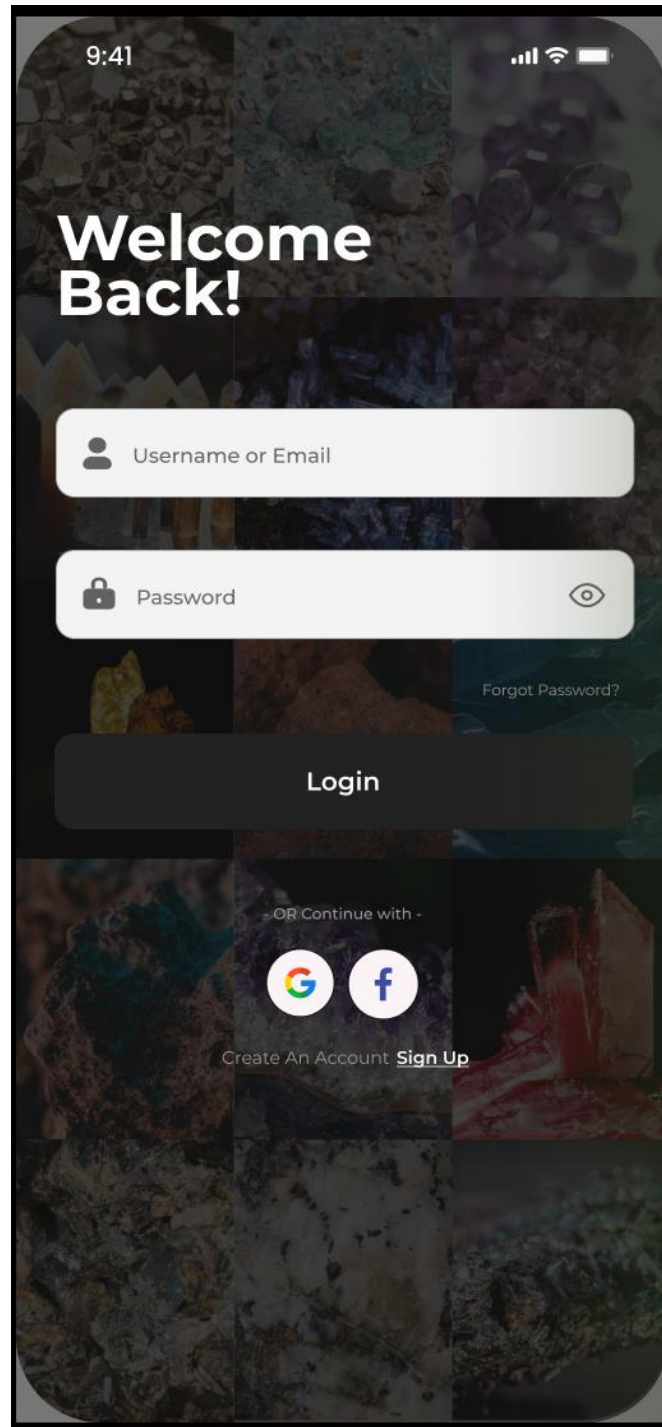


Figure 4 : Sign in page

- Sign up page

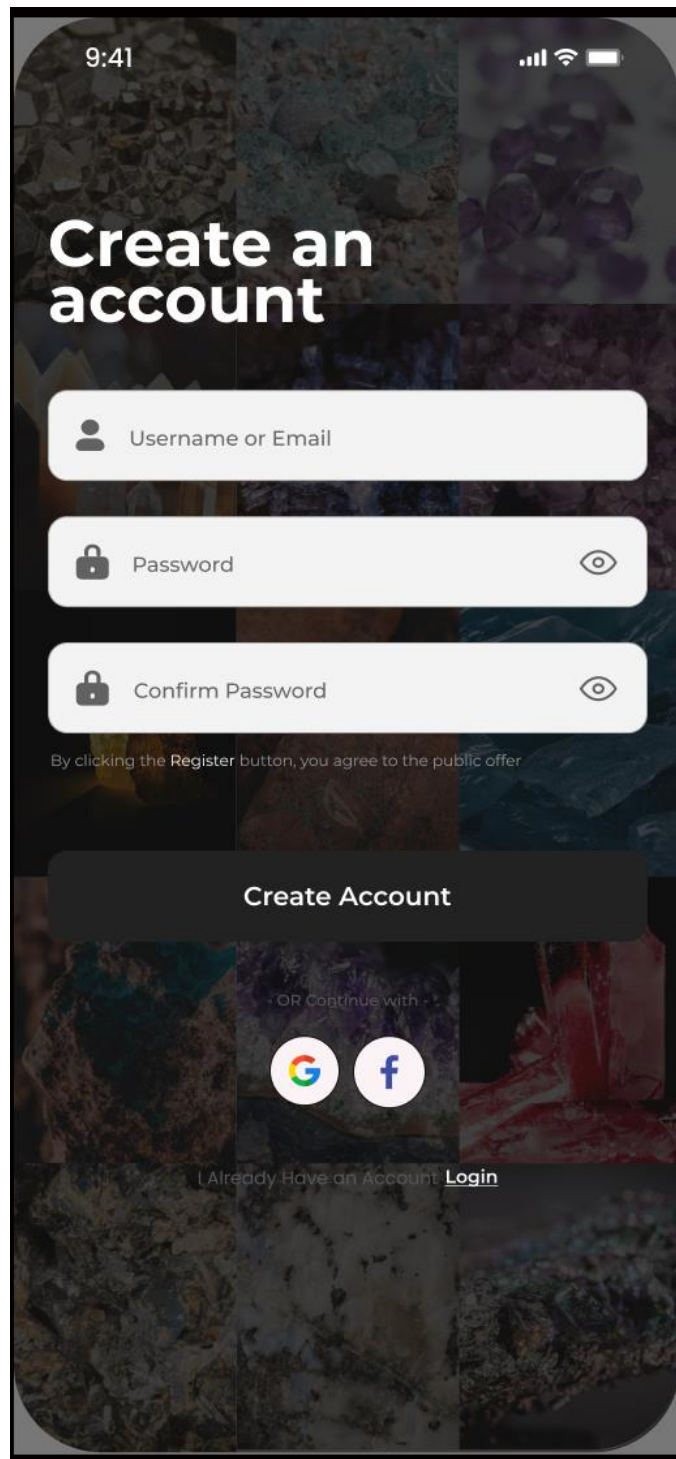


Figure 5 : Sign up page

- **Application's main page:** In the application's main page: the user is given access to the following:
 - Brief information about certain minerals;
 - The ability to turn on the camera and examine the mineral to be known;
 - A real-time view of what the camera detects;
 - An instant display of the type of mineral detected along with additional information about it.

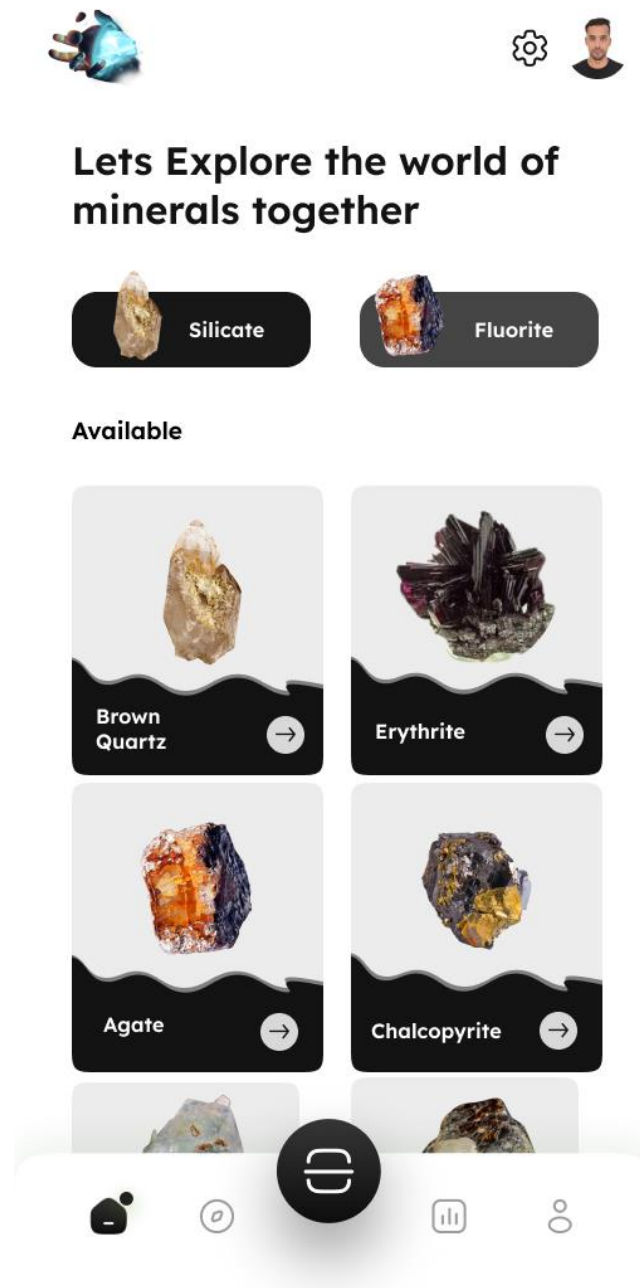


Figure 6: Application's main page

- **Discover section:** Any user of our app who wants to find any type of mineral can simply open the camera on the app and direct it in the direction of the mineral they wish to recognize. The results will then appear to him, along with additional information about the mineral, including his name and a brief description. Then to find out more information he can go through the site by clicking the button below the mineral description.

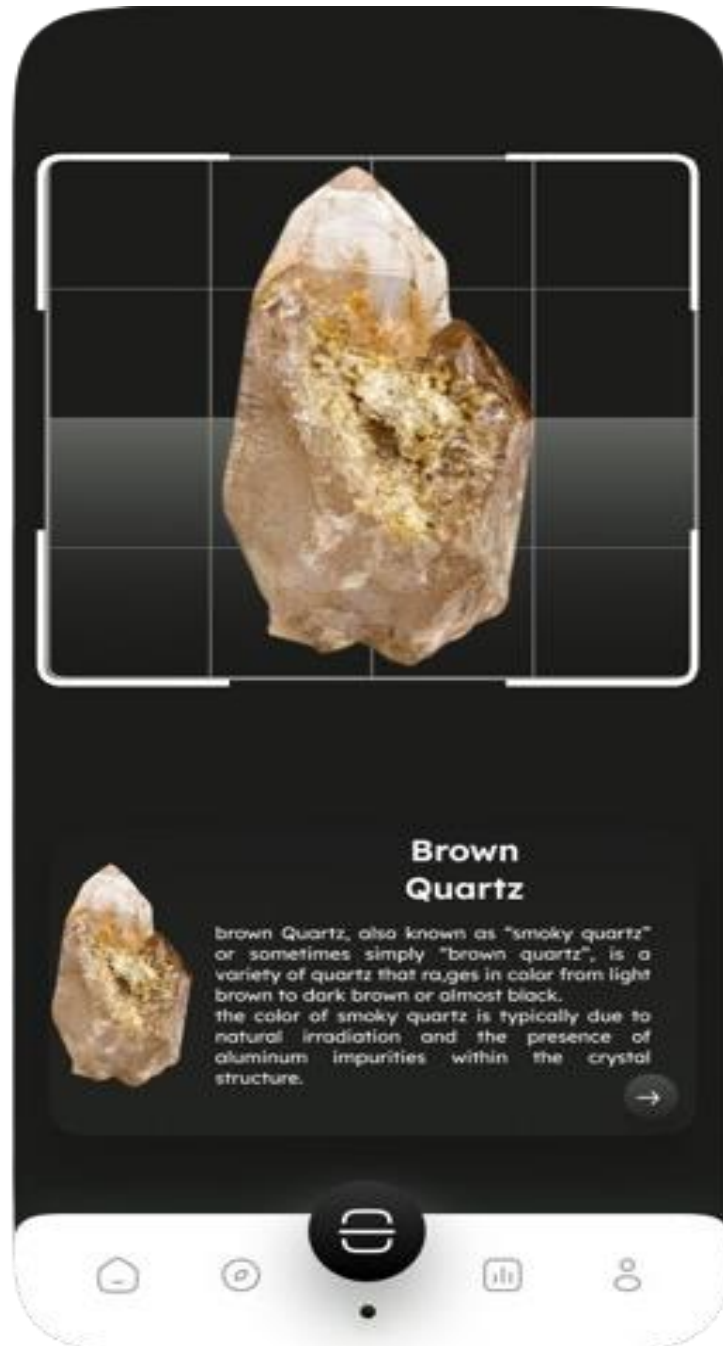


Figure 7 : Discover section

2.1 Prototype of Web Site

- **The main interface:** Through this interface, the user can:
 - Access the private account and take advantage of the platform's services or create a new account if the user is new on the platform;
 - Download the application.

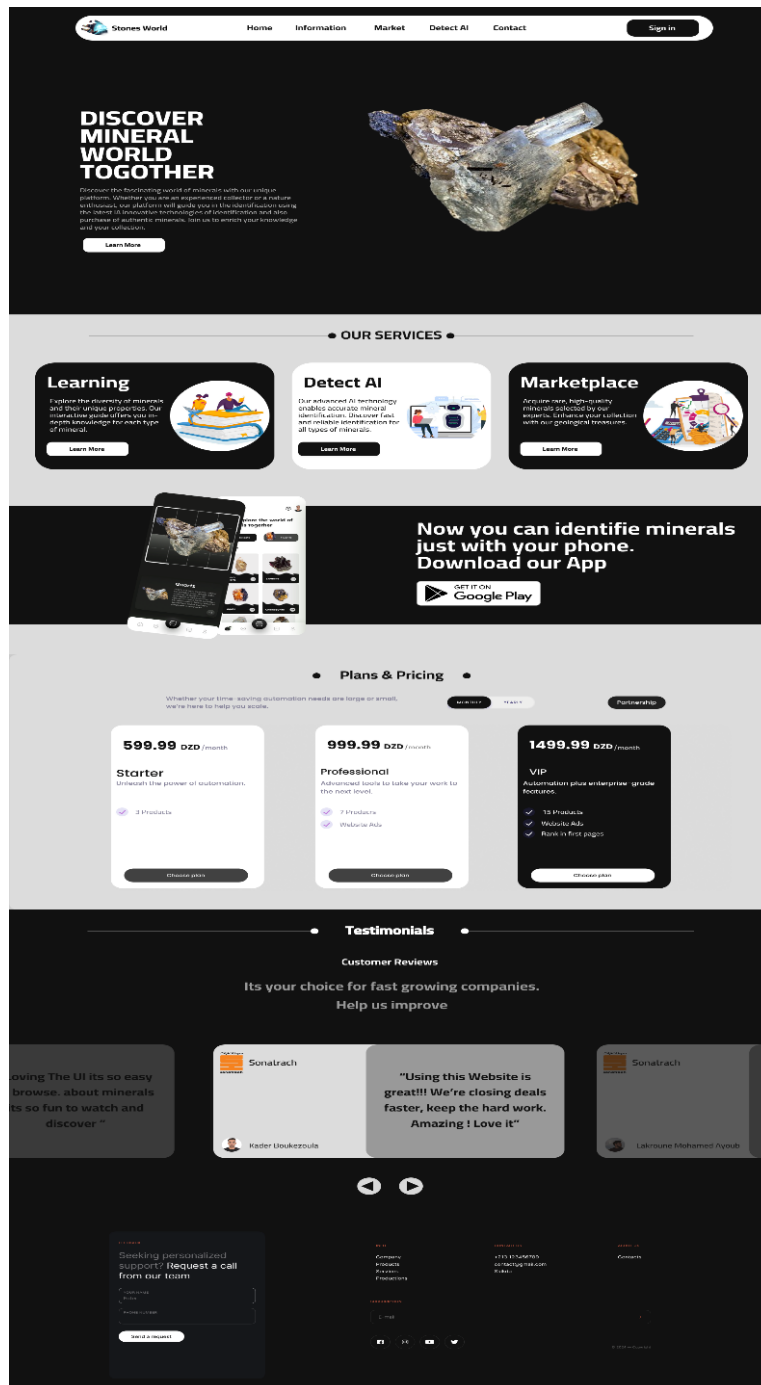


Figure 8 : The platform's main interface

- **Sign in:** Sign-in page allows users to log in. If they do not already have an account, they must create one.

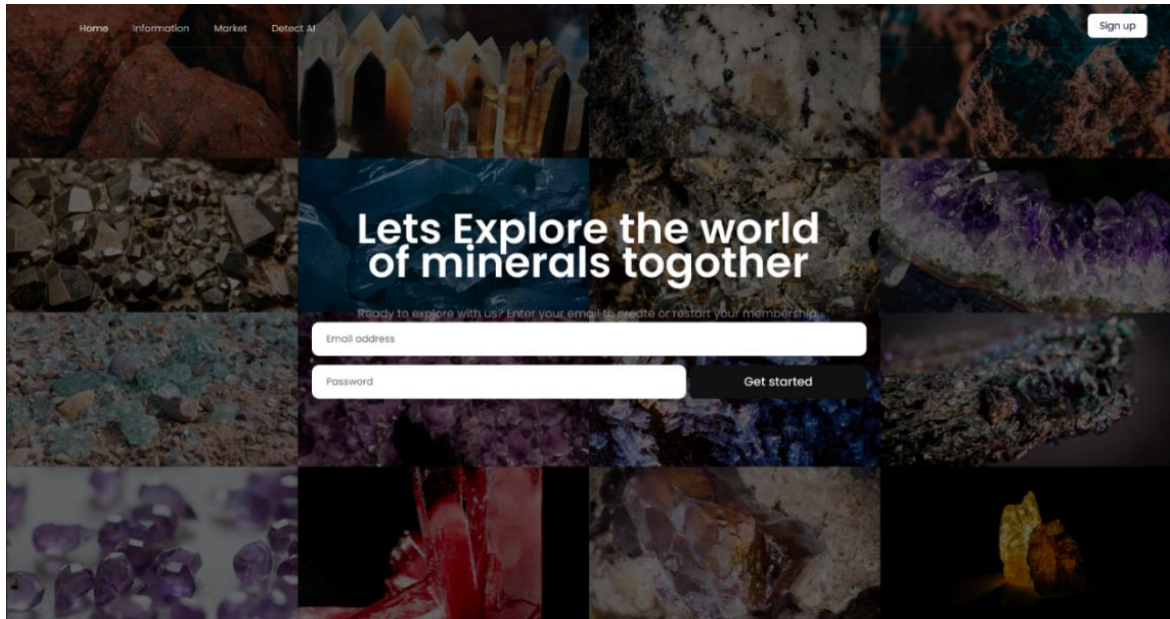


Figure 9: Sign in page

- **Sign up page:** The platform's sign-up page allows new users to create an account to access our services. Enter your details and select a username and password. Once registered, you can start exploring all the features our platform has to offer.

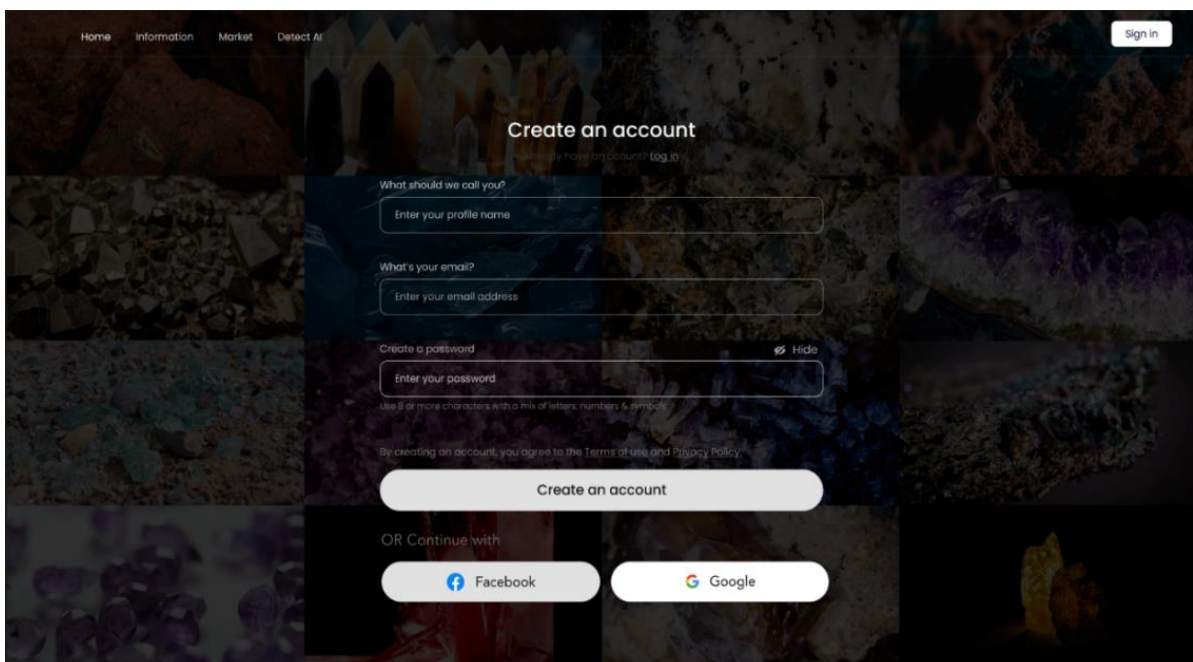


Figure 10: Sign up page

Our platform provides distinctive services:

1) **Education:** Explore and learn about the diversity of minerals and their unique characteristics. The following page shows the educational aspect of the site:

- **Information main page:** The page shows the different types of minerals and detailed information can be found for each mineral individually as well as the Quiz feature (test for your information).

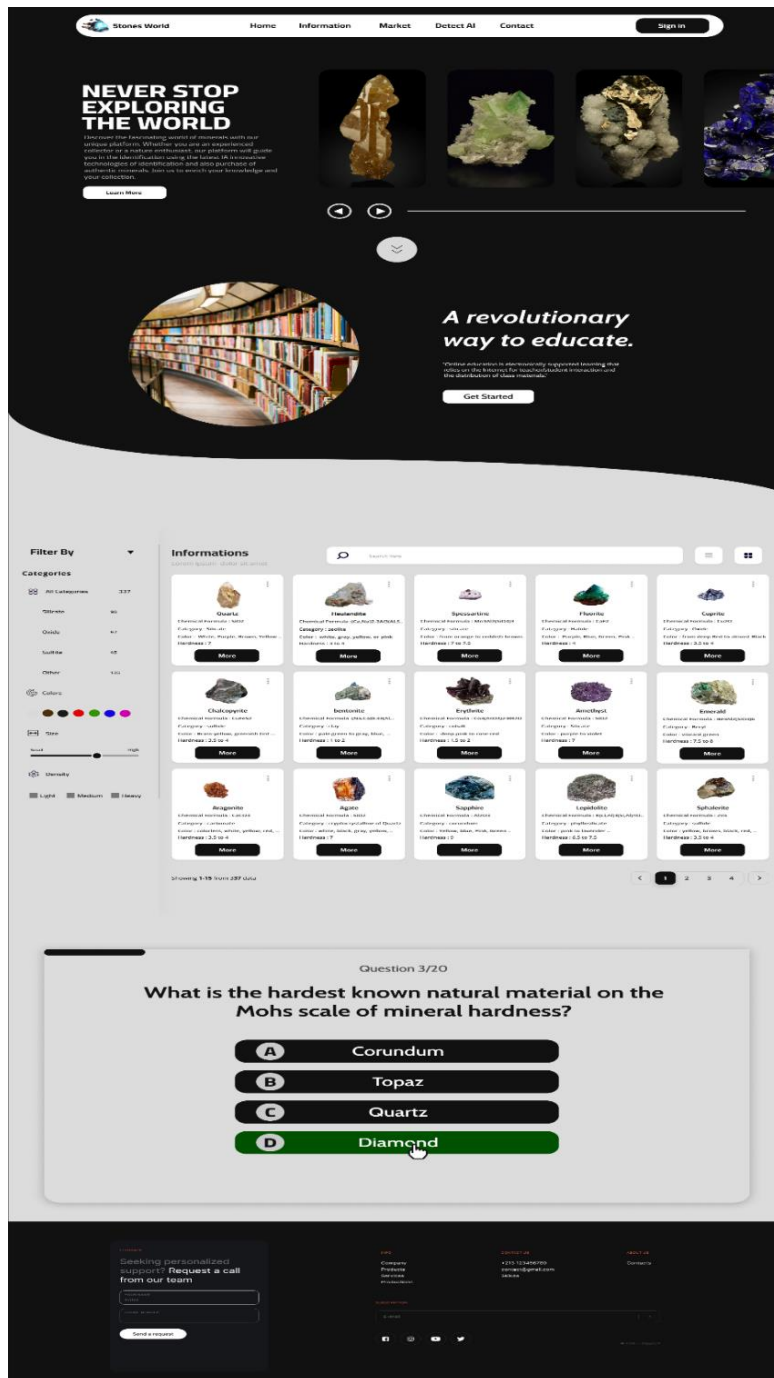


Figure 11: Information main page

- Detailed Information Page:** This page provides detailed and accurate information about specific minerals, including their physical properties, locations, and uses.

The screenshot shows a webpage titled "Brown Quartz" from "Stones World". The page layout includes a navigation bar at the top with links for Home, Information, Market, Detect AI, and Contact. Below the navigation is a header section with the title "Brown Quartz" and a large image of a brown quartz specimen. A descriptive paragraph follows, explaining that brown quartz, also known as "smoky quartz" or "smoky quartz", is a variety of quartz that ranges in color from light brown to dark brown or almost black. The color is typically due to natural irradiation and the presence of aluminum impurities within the crystal structure.

Below the description are several tabs: Quartz, Silicon, SiO₂, ?, Rhombohedral, and Transparent. The main content area is titled "Mineral Information" and is divided into several sections:

- Geology and Formation:** This section explains that brown quartz, commonly referred to as smoky quartz, forms in a variety of geological environments. It is most frequently found in granitic rocks and associated pegmatites. The formation process involves:
 - Irradiation:** Natural radiation from surrounding rocks or from radioactive elements within the quartz itself alters the crystal structure, leading to the characteristic brown to black coloration.
 - Aluminum Impurities:** The presence of aluminum within the quartz lattice is a key factor. When quartz containing aluminum impurities is exposed to radiation, it causes the coloration typical of smoky quartz.
- Physical and Optical Properties:** This section states that like all quartz, brown quartz has a hardness of 7 on the Mohs scale, making it relatively hard and durable. It has a vitreous luster and a hexagonal crystal system. The brown coloration is usually the result of natural irradiation of aluminum-containing quartz.
- Locations and Sources:** This section lists notable sources of smoky quartz worldwide:
 - Switzerland:** The Swiss Alps are famous for producing high-quality smoky quartz crystals.
 - Brazil:** Known for large, well-formed crystals.
 - United States:** Particularly in Colorado, where "Smoky Hawk Mine" is renowned.
 - Madagascar:** Produces fine, deep-colored specimens.
 - Scotland:** Cairngorm Mountains are known for the Cairngorm variety of smoky quartz.
- Uses and Applications:** This section lists various uses:
 - Jewelry:** Faceted stones, cabochons, and beads.
 - Ornamentation:** Carvings, sculptures, and decorative objects.
 - Metaphysical:** Used in crystal healing and spiritual practices for grounding and protection.
 - Industrial:** Occasionally used in electronics and precision instruments due to its piezoelectric properties.
- Cultural and Historical Significance:** This section discusses the historical and cultural uses of smoky quartz:
 - Ancient Cultures:** Used in various cultures for amulets and talismans believed to provide protection and grounding.
 - Scotland:** Cairngorm quartz has been used historically in traditional Highland dress accessories, such as brooches and kilt pins.
 - Modern Spirituality:** Popular in New Age and metaphysical communities for its supposed ability to absorb negative energy and promote emotional calmness.
- Care and Maintenance:** This section provides practical advice:
 - Cleaning:** Use mild soap and water with a soft brush to clean the stone. Avoid harsh chemicals.
 - Storage:** Store separately to prevent scratches, ideally wrapped in a soft cloth or in a padded jewelry box.
 - Handling:** Despite its hardness, quartz can chip or fracture with hard impacts. Handle with care to avoid damage.
 - Avoid Heat:** Prolonged exposure to direct sunlight or high temperatures can cause color fading.

At the bottom of the page, there is a dark footer area with a call to action: "Looking personalized support? Request a call from our team." and a "Request Call" button. Social media icons for Facebook, Instagram, and Twitter are also visible.

Figure 12: Detailed Information Page

2) **Marketplace:** You can browse the many mineral kinds that are available for purchase and it will display various mineral types categorized by type.

- **Marketplace section**

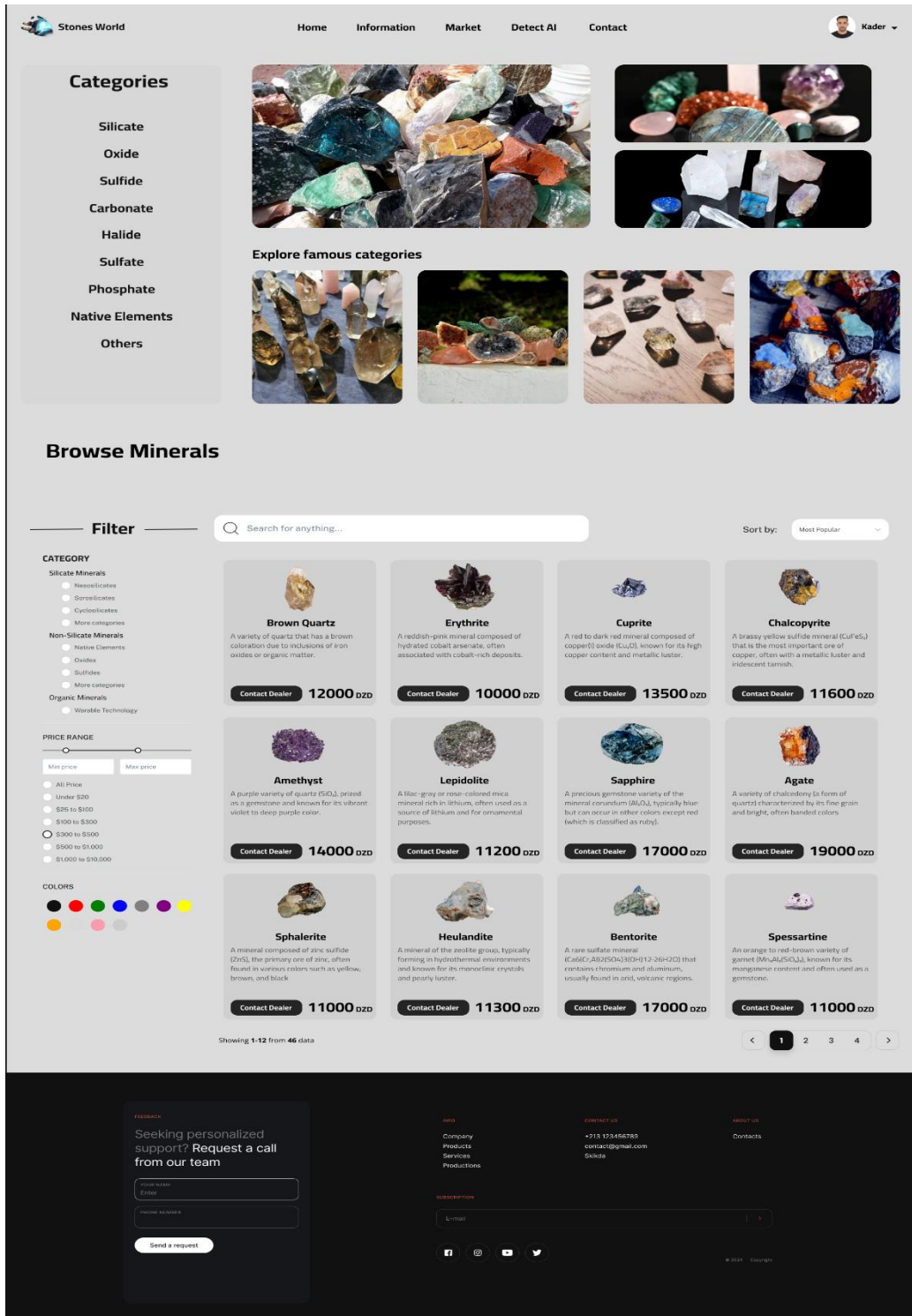


Figure 13: Marketplace section

- **Product page:** After selecting the desired mineral, you would like to buy, you get redirected to this page that shows the description, uses and customer feedback about this mineral.

Stones World Home Information Market Detect AI Contact Kader

Amethyst Cluster.

1,0000.00 DZD

Chemical Composition: SiO₂ (Silicon Dioxide)
 Color: Ranges from light lavender to deep purple, depending on the presence of iron and other trace elements.
 Hardness: 7 on the Mohs scale, making it a durable gemstone.
 Crystal System: Trigonal
 Luster: Vitreous (glassy)

Description

amethyst is a mineral gemstone that comes from quartz. It is usually transparent and best known for its violet color. Even though it is a form of quartz, it has more iron oxide (Fe₂O₃) than any other kind of quartz

Origins : Madagascar

Uses of Amethyst Clusters

- Decorative and Aesthetic:**
 - Due to their natural beauty, amethyst clusters are popular as decorative items in homes and offices.
- Meditation and Healing Practices:**
 - Often used as centerpieces during meditation sessions or healing rituals.
 - Placing an amethyst cluster in a room is believed to cleanse and purify the energy of the space.
- Jewelry:**
 - Smaller pieces of amethyst clusters can be crafted into beautiful jewelry pieces such as necklaces, earrings, and rings.
- Feng Shui:**
 - Amethyst clusters are used in Feng Shui to bring harmony and balance to living spaces.
 - They are placed in areas of the home that require calming and spiritual energy.

Our Customer Feedback
 Don't take our word for it. Trust our customers

Previous Next

Satouh Chaima ★★★★★
 I started using this website out of curiosity about gemstones, and now I'm hooked! The detailed information and high-quality images make learning about minerals so easy and fun. I even sold some of my finds here at a good price!

Lakroune Mohamed Ayoub ★★★★★
 I've been a collector for years, but this site has taken my passion to the next level. The educational content is thorough and accessible, making it easy to dive deeper into mineralogy. And the community here is fantastic—always ready to help with identifica...

Mameri Rabah ★★★★★
 As a geology student, this site has been an invaluable resource for my studies. The identification tool is spot on, helping me quickly learn and confirm different minerals for my assignments. Plus, the marketplace section is great for finding unique specimens to add t...

Seeking personalized support? Request a call from our team

Full name:

Phone Number:

Send a request

INFO
 Company
 Products
 Services
 Productions

CONTACT US
 +213 823456789
 contact@gmail.com
 2024

SUBSCRIPTION
 E-mail:

Facebook Instagram YouTube Twitter

© 2024 - Stones World

Figure 14: Product page

- **Partner stores:** In this special section, we display for you each one of our partners stores.

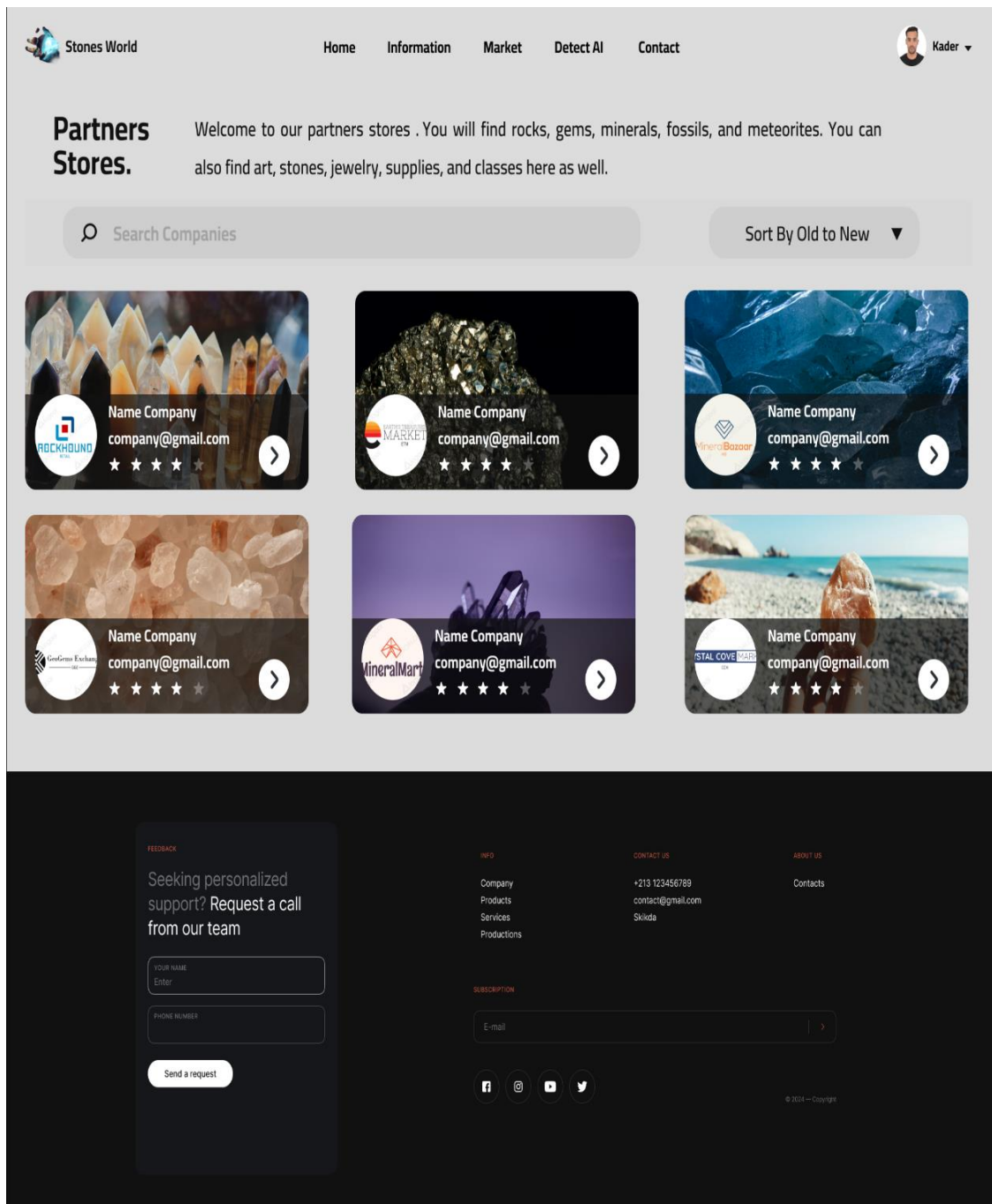


Figure 15 : Partner stores

- **Detailed partner store:** This page provides detailed informations about the partner store.

Stones World Home Information Market Detect AI Contact Kader

Store Name ★★★★★ [Contact](#)

About Store :

Welcome to our Mineral Marketplace, the premier online destination for enthusiasts, collectors, and professionals alike. Here, you'll discover a diverse array of exquisite minerals from around the globe, each with its unique story and geological significance. Whether you're seeking rare specimens to enhance your collection, looking for educational materials to expand your knowledge, or aiming to find the perfect gemstone for jewelry making, our marketplace provides a trusted platform to buy and sell with confidence. Connect with sellers, negotiate deals, and celebrate the beauty of nature's treasures—all in one convenient location.

Products

- Erythrite**
A reddish-pink mineral composed of hydrated cobalt arsenate, often associated with cobalt-rich deposits.
[Contact Dealer](#) **10000 DZD**
- Lepidolite**
A lilac-gray or rose-colored mica mineral rich in lithium, often used as a source of lithium and for ornamental purposes.
[Contact Dealer](#) **11200 DZD**
- Sapphire**
A precious gemstone variety of the mineral corundum (Al₂O₃), typically blue but can occur in other colors except red (which is classified as ruby).
[Contact Dealer](#) **17000 DZD**
- Chalcopyrite**
A brassy yellow sulfide mineral (CuFeS₂) that is the most important ore of copper, often with a metallic luster and iridescent tarnish.
[Contact Dealer](#) **11600 DZD**
- Brown Quartz**
A variety of quartz that has a brown coloration due to inclusions of iron oxides or organic matter.
[Contact Dealer](#) **12000 DZD**
- Sphalerite**
A mineral composed of zinc sulfide (ZnS), the primary ore of zinc, often found in various colors such as yellow, brown, and black.
[Contact Dealer](#) **11000 DZD**
- Bentonite**
A rare sulfate mineral [Ca(Ge,Al)2(SO4)3(OH)·12-20H2O] that contains titanium and aluminum, usually found in and volcanic regions.
[Contact Dealer](#) **17000 DZD**

Contact :

- ☎ **06xx xx xx xx**
- ✉ **company@gmail.com**
- 📍 **Skikda, Algeria**

FEEDBACK
Seeking personalized support? Request a call from our team

First name

Last name

[Send a request](#)

NAV
Company
Products
Services
Productions

CONTACT US
+213 123456789
contact@gmail.com
Skikda

ABOUT US
Contacts

SUBSCRIPTIONS
E-mail

Facebook Instagram YouTube Twitter

© 2024 - Stones World

Figure 16: Detailed partner store

3) Identification: The initial step of mineral identification involves uploading an image of the mineral. Once uploaded, the system will automatically provide results showing the type of mineral along with related information.

- **Identification section:** you can insert the desired image you want to get the identification on by uploading it.

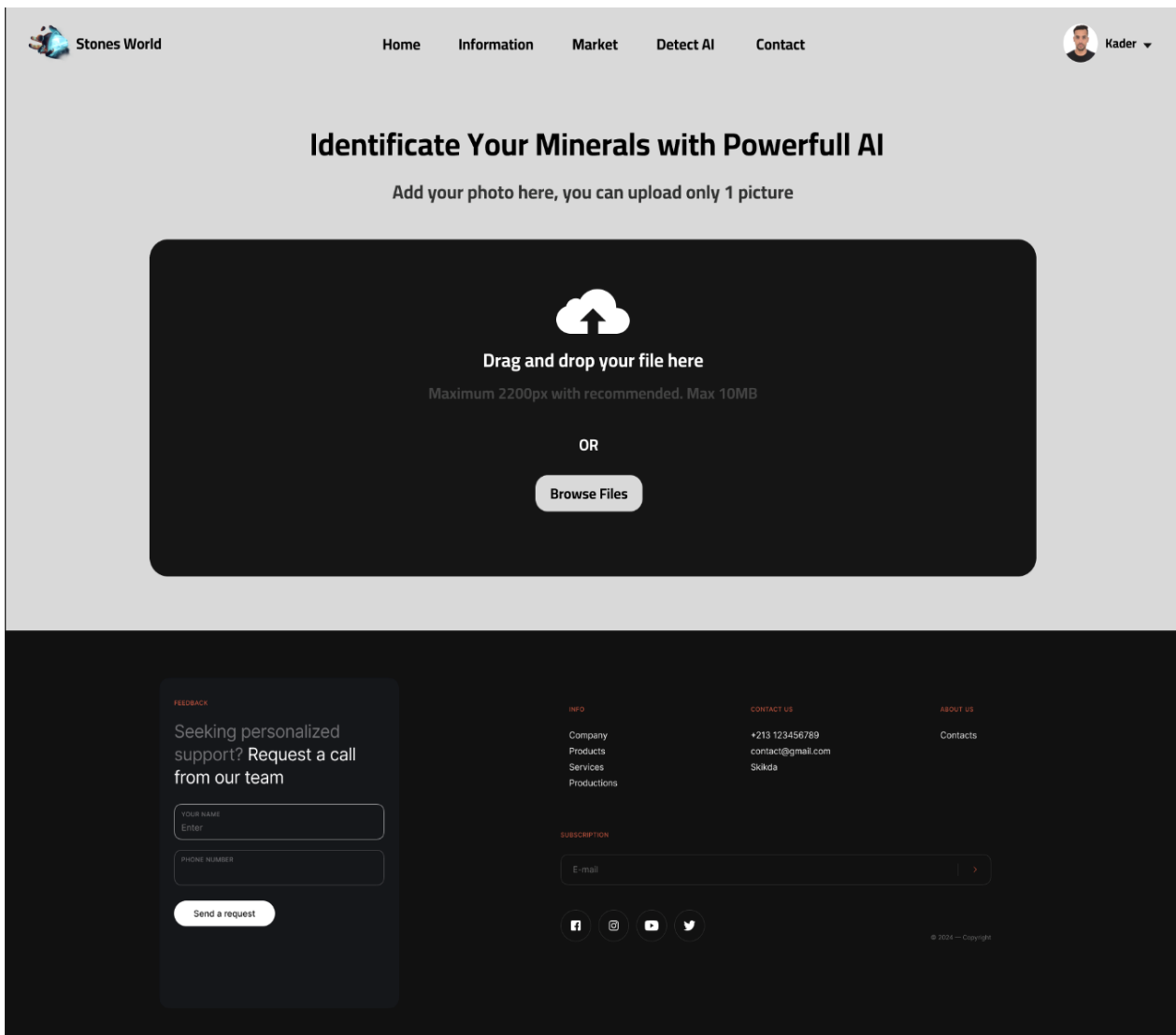


Figure 17: Identification section

- **Identification result:** After uploading the picture, you automatically obtain the result showing the type of the mineral with some related informations.

The screenshot displays the 'Stones World' website interface. At the top, there is a navigation bar with the logo 'Stones World' on the left and menu items 'Home', 'Information', 'Market', 'Detect AI', and 'Contact' in the center. A user profile icon labeled 'Kader' is on the right. The main heading reads 'Identificate Your Minerals with Powerfull AI'. Below this, a central image shows a hand in a white glove holding a small, dark, metallic mineral specimen, which is highlighted by a blue rectangular box. To the right of the image, a text block provides detailed information about Chalcopyrite, including its chemical formula $CuFeS_2$ and its status as a major copper ore. A 'Learn More' button is positioned at the bottom right of this text block. The footer area is dark and contains four columns of information: 'FEEDBACK' with a form for name and phone number; 'INFO' listing company details; 'CONTACT US' with phone and email; and 'ABOUT US' with a 'Contacts' link. Social media icons and a copyright notice are also present.

Figure 18 : Identification result

- **Admin section**

The admin section of a website is a dedicated area that provides administrators with tools and interfaces to manage various aspects of the website's content, user accounts, settings, and functionality. This page represents an example of a partner's admin section, showcasing key features to ensure proper functioning.

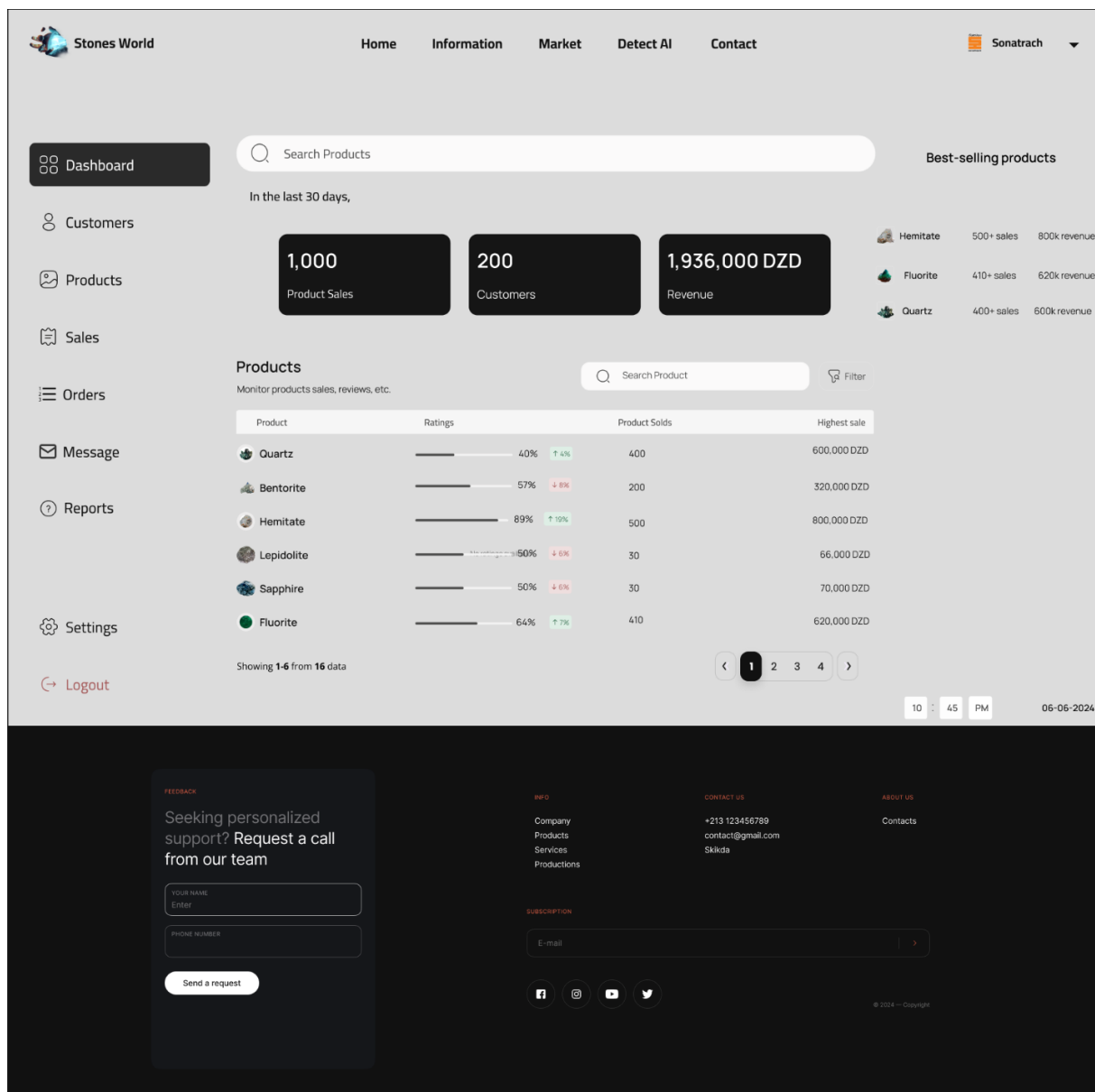


Figure 19: Admin section

Annex:

Business Model Canvas _BMC_

BMC

Our idea is: " Stones World " An Artificial Intelligence Platform for Discovery and Marketing

Key Partnerships	Key Activities	Proposed Values	Customer Relationships	Customer Segments
<ul style="list-style-type: none"> - Skikda University Business Incubator; - Educational Institutions; - Ministry of Energy; - Retailers of Gemstones; - Technology Collaborators; - Regulatory and Certification Organizations; - Research Labs and Geological Institutes; - Mining and Exploration Companies. 	<ul style="list-style-type: none"> - Platform Development; - Marketing service; - Customer Communication; - Mobile app development; - Data security and privacy management. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprehensive Platform; - AI-Powered Detection; - Educational Resources; - Community Engagement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Self-Service; - Community Interaction; - Customer Support. 	<p>B2C:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Individual mineral enthusiasts; - Hobbyists and collectors; - Casual Buyers. <p>B2G:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Geological Institutions and Scientifics; - Museum specialized in stones; - Pharmaceutical business. <p>B2B:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jewelry designers and professionals; - Students and educators in the gemological field; - Jewelry Manufacturers; - Mineral Suppliers;
	Key Resources		Distribution Channels	
	<ul style="list-style-type: none"> - Human resources; - Technological infrastructure; - Electronic and office equipment. 		<ul style="list-style-type: none"> -Mobile application (iOS and Android); -Website; -Online marketplaces and e-commerce integrations; -Social media platforms; -Offline events and partnerships. 	

				- Mosaic artist; - Pharmaceutical business.
Costs		Revenue Streams		
<ul style="list-style-type: none"> - Development Costs; - Operational Costs; - Marketing Costs; - Content Creation Costs. 		<ul style="list-style-type: none"> - Transaction Fees; - Premium Features; - Advertising; - Partnership Fees. 		

Table 10 : Business Model Canvas (BMC)



بطاقة معلومات خاصة بمذكرة التخرج

رقم التسجيل : 36018662

اسم و لقب الطالب : * مهدي راجح

..... 36022021 *

..... لقرون محمد أيوب *

..... 36007568 *

..... بوليسين ياسين أمين *

..... 36008531 *

..... بوقزولة عبد القادر *

..... 36009976 *

..... بياطوح نسيما *

اسم و لقب المشرف على المذكرة : قروي سارة

عنوان المذكرة : عالم الأجرار : مذكرة ذكاء اجتماعي

الإختصاص : التسويق

القسم : إعلام آلي

المستوى : ماجستير

التخصص : ذكاء اجتماعي - شبكات وأنظمة موزعة

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955- skikda-

Faculté des Sciences

Département d'Informatique



جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

كلية العلوم

قسم الاعلام الآلي

الرقم : / 3 / 1 / أ / ل.ع. / 2024

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné: .K.E.R.R.A.D.U.I.S.A.R.R.A.....

Certifie que l'étudiant(e) :.S.A.T.O.U.H.C.H.A.I.M.A.....

Spécialité : .Réseaux et Systèmes Distribués:.(RSD).....

Ayant soutenu le projet intitulé :.Mouda de Piemes :.plateforme.

.....
d'intelligence Artificielle pour l'identification et le marketing.

A apporté les corrections nécessaires sur son manuscrit de Master



Signature de l'encadreur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955- skikda-

Faculté des Sciences

Département d'Informatique



جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

كلية العلوم

قسم الاعلام الآلي

الرقم : / ق / 1 / أ / ل / 2024

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné: .K.E.RRAOUI...SARRA.....

Certifie que l'étudiant(e) :.BOUK.E.ZOULA.ABDE.L.K.A.DER...

Spécialité : Réseaux et Systèmes Distribués. (R.S.D.).....

Ayant soutenu le projet intitulé :.Foude de Pi mes :.Plateforme
d'intelligence Artificielle pour l'identification et le Marketing

A apporté les corrections nécessaires sur son manuscrit de Master



Signature de l'encadreur

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université 20 Août 1955- skikda-

Faculté des Sciences

Département d'Informatique



جامعة 20 أوت 1955 - سكيكدة

كلية العلوم

قسم الاعلام الآلي

الرقم : / 3 / 1 / 1 / ل.م.ع / 2024

Autorisation de Dépôt de Mémoire de Master

Je soussigné: ..K.E.R.R.A.O.V.I..S.A.R.R.A.....

Certifie que l'étudiant(e) :..M.A.M.E.R.I..R.A.B.A.H.....

Spécialité : ..Intelligence..Artificielle..(..I.A.).....

Ayant soutenu le projet intitulé : ..Mondes de Pièces : plateformes

d'intelligence Artificielle pour l'identification et le Marketing ..

A apporté les corrections nécessaires sur son manuscrit de Master



Signature de l'encadreur