

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Republique Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
جامعة 08 ماي 1945 قالمة  
Université 08 Mai 1945 Guelma  
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie, Science de la terre et de  
l'Univers



## Mémoire En vue de l'Obtention du Diplôme de Master

**Domaine :** Sciences de la nature et de la vie

**Filière :** Ecologie et Environnement

**Spécialité :** Biodiversité et Environnement

**Département :** Ecologie et Génie de l'Environnement

### Thème

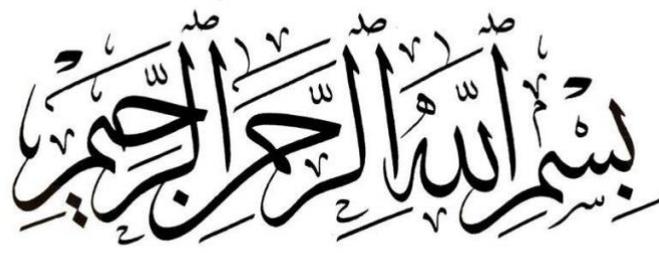
L'évaluation de l'efficacité de *Chatgpt* dans l'identification des espèces  
végétales vasculaires.

**Présenté par :** Ouchene Mohamed Abd Essamed

**Soutenu devant le jury composé de :**

- |   |     |                        |
|---|-----|------------------------|
| — Directeur de mémoire : Mr. Boulmtafs Amir | MCB | L'université de Guelma |
| — Président : Boumaaza Okba                 | MCB | L'université de Guelma |
| — Examinatrice : Razkallah Zahra            | MCB | L'université de Guelma |

2025/2024



## *Remerciements*

Louange à Dieu, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la patience, la force et  
Remerciements

Avant toute chose, nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Dieu  
Tout-Puissant, pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires à  
la réalisation de ce travail.

Nous exprimons notre sincère remerciement à notre encadrante, Monsieur  
**Boulemtafes Amir**, pour son accompagnement attentif, la pertinence de ses  
orientations et la rigueur de son suivi, qui ont grandement contribué à la  
réalisation de ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements aux membres du jury : Monsieur le  
Président Dr **Boumaaza Okba**. Et Madame l'Examinatrice **Razkallah Zahra**.  
pour le temps qu'ils ont consacré à l'évaluation de notre travail.

Nous exprimons enfin notre profonde gratitude aux établissements hospitaliers  
de Guelma ainsi qu'à la Direction de la Santé pour leur collaboration et pour les  
données précieuses qu'ils nous ont fournies. Leur disponibilité et leur  
engagement ont constitué un apport essentiel à la réalisation de notre étude.

## *Dédicaces*

Dédicace Avant tout, je rends grâce à Dieu, Le Tout-Puissant, pour Son aide et Son soutien constant tout au long de ce parcours académique. C'est grâce à Sa volonté que ce travail a pu être mené à bien.

Je dédie ce travail à mon encadreur de mémoire, **Dr Boulemtafes Amir**, pour ses précieux conseils, sa disponibilité et son accompagnement tout au long de cette étude. Votre expertise et votre soutien m'ont été d'une grande aide et m'ont permis d'avancer avec confiance.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude envers l'ensemble du corps académique de l'Université 8 Mai 1945, pour leur aide scientifique et leur soutien constant.

Leur contribution a joué un rôle majeur dans l'aboutissement de ce travail.

Je dédie également ce travail à ma famille, en particulier à ma mère, Mme Mihoubi Rahima, pour son amour inconditionnel, son soutien moral et sa force qui m'ont toujours guidée. À mon père, Mr Ouchene Layachi, pour sa patience, son soutien indéfectible et son encouragement constant tout au long de cette aventure.

Je remercie chaleureusement la Direction des Forêts de la wilaya de Guelma, ainsi que l'ensemble de son personnel, pour leur collaboration et leur soutien dans la collecte de données sur le terrain. Leur aide précieuse a été essentielle dans l'accomplissement de cette étude.

Je tiens à adresser un remerciement particulier à mes chères sœur, Mme Ouchene Imene et Ouchene Meryem et douaa, et mon meilleur amis Mr Boumegouas Abdeljalil qui a été un soutien constant, non seulement par ses conseils, mais aussi par sa présence et son enthousiasme tout au long de ce projet.

Enfin, je me rends hommage à moi-même pour l'effort et la persévérance dont j'ai fait preuve, en surmontant les défis et en poursuivant ce travail jusqu'à son aboutissement. Et c'est avec humilité que je reconnais que cette réussite est également le fruit de ma propre détermination.

## Sommaire

I.	GLOSSAIRE DES TERMES TECHNIQUES ET ABREVIATIONS	
II.	INTRODUCTION	1
III.	BIBLIOGRAPHIE ET GENERALITE	7
1.	Introduction au contexte scientifique	7
2.	Méthodes traditionnelles d'identification	7
3.	Limites des méthodes traditionnelles	8
4.	Perspectives modernes	8
5.	L'essor des technologies d'intelligence artificielle en botanique	9
6.	Applications phares de reconnaissance visuelle	9
7.	Rôle des modèles de langage comme ChatGPT	10
8.	Perspectives et défis	11
9.	Présentation de ChatGPT dans le cadre de l'identification botanique	11
9.1.	Capacités de ChatGPT en botanique	12
9.2.	Limites et potentiel	12
10.	Intérêt de la création de clés de détermination dans le contexte de l'IA botanique	13
IV.	MATERIELS ET METHODES	17
1.	Origine des données	17
2.	Matériel utilisé	21
3.	Logiciel et plateforme utilisés	21
4.	Grille d'évaluation multicritère	22
5.	Traitement des données	24
6.	Traitement statistique	24
V.	RESULTATS ET DISCUSSION	26
1.	Statistiques descriptives	26
2.	Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur	28

3.	Analyse en Composantes Principales (ACP)	29
4.	Corrélation entre les critères d'évaluation	32
5.	Analyse de la précision des identifications réalisées par ChatGPT	35
5.1.	Comparaison avec les experts et autres outils	36
5.2.	Identification des limites et erreurs	36
5.3.	Propositions d'amélioration	37
VI.	CONCLUSION	38
VII.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	40
VIII.	ANNEXE	43

## Liste des figures

Figure 1. Quatre plantes fictives, dont la determination est illustree par differents exemples cles dans le texte eggenberg et kuss (2023). .....	14
Figure 2. Determination des plantes de la fig. 1 dans un ordinogramme lineaire.....	14
Figure 3. Determination des plantes de la fig. 1 en tant qu'arbre a ramification simple (lineaire) dichotomique. ....	14
Figure 4. Evaluation moyenne par critere selon le niveau de difficulte.....	26
Figure 5. Top 10 et flop 10 des plantes selon leur score moyen .....	27
Figure 6. Acp des plantes selon les criteres d'evaluation .....	29
Figure 7. Acp de clustering des plantes selon leurs profils d'identification .....	30
Figure 8. matrice de correlation entre les criteres d'evaluation .....	32
Figure 9. Indice global de performance moyen par niveau de difficulte .....	33
Figure 10. Relation entre qualite de la photo et indice global de performance.....	34

## Liste des tableaux

Tab 1. Abreviation & definition .....	10
Tab 2. Liste des especes choisies .....	17
Tab 3. Les 10 plantes les mieux et les moins bien reconnues (par moyenne) .....	28
Tab 4. Analyse de la variance .....	28
Tab 5. Tableau recapitulatif du clustering des plantes selon leurs profils d'identification....	30

## **Résumé en Français**

L'évaluation de l'efficacité de ChatGPT dans l'identification des espèces végétales vasculaires vise à mesurer sa capacité à reconnaître correctement les plantes à partir de descriptions textuelles ou d'images. Cette étude analyse la précision taxonomique des réponses générées, en comparant les identifications proposées par le modèle avec des données botaniques validées. Elle met en évidence les points forts de ChatGPT, notamment sa rapidité d'analyse et sa facilité d'accès, tout en soulignant certaines limites liées à la confusion entre espèces morphologiquement proches ou au manque de contexte écologique. L'objectif est de déterminer dans quelle mesure cet outil d'intelligence artificielle peut compléter les méthodes classiques de classification botanique et contribuer à la vulgarisation scientifique et à la conservation de la biodiversité.

## **Abstract**

Accurate identification of plant species is a crucial step in various fields such as botany, biodiversity conservation, agriculture, and medicine. With recent advances in artificial intelligence, language models like ChatGPT have been explored to assist in this task. This thesis aims to evaluate the effectiveness of ChatGPT in identifying vascular plant species, by examining the tool's performance, limitations, and prospects for improvement.

The research is based on a methodology combining both quantitative and qualitative analyses: tests are conducted on a sample of plant images to assess the taxonomic accuracy of identifications provided by ChatGPT. Comparisons are made with traditional methods (manual identification by experts, botanical guides, etc.).

Preliminary results show that ChatGPT demonstrates promising capabilities in identifying certain common species, thanks to its language understanding and extensive training data. However, its effectiveness decreases for less common species or those requiring fine distinctions between morphologically similar taxa. Moreover, the lack of native image processing in standard versions of ChatGPT limits its performance in purely visual identification.

AI can serve as an effective complementary tool for identifying vascular plant species, but its optimal use requires human input and technological improvements (such as the integration of computer vision algorithms and the enrichment of botanical databases). This thesis highlights the importance of a hybrid approach combining artificial intelligence and human expertise to overcome current limitations.

## ملخص

في التعرف على الأنواع النباتية الوعائية إلى قياس قدرته على تحديد النباتات بشكل ChatGPT يهدف تقييم فعالية صحيح انطلاقاً من أوصاف نصية أو صور. تعتمد هذه الدراسة على تحليل الدقة التصنيفية للإجابات التي يولدها ، مثل سرعته في التحليل وسهولة ChatGPT النموذج، من خلال مقارنتها ببيانات نباتية موثوقة. وتُبرز نقاط قوة استخدامه، مع الإشارة إلى بعض القيود، مثل الخلط بين الأنواع المتشابهة شكلياً أو نقص السياق البيئي. ويكمن الهدف في تحديد مدى قدرة هذا الأداة المعتمدة على الذكاء الاصطناعي على دعم الطرق التقليدية في التصنيف النباتي والمساهمة في تبسيط المعرفة العلمية والحفاظ على التنوع البيولوجي.

## Résumé en Anglais

The evaluation of ChatGPT's effectiveness in identifying vascular plant species aims to assess its ability to accurately recognize plants based on textual descriptions or images. This study analyzes the taxonomic accuracy of the responses generated, comparing the model's proposed identifications with validated botanical data. It highlights the strengths of ChatGPT, notably its speed of analysis and ease of access, while also pointing out certain limitations related to confusion between morphologically similar species or the lack of ecological context. The objective is to determine to what extent this artificial intelligence tool can complement traditional methods of botanical classification and contribute to scientific outreach and biodiversity conservation.

## I. Glossaire des termes techniques et abréviations

Tab 1. Abréviations & Définitions

Terme / Abréviations	Définition vulgarisée
IA (Intelligence Artificielle)	Domaine de l'informatique qui cherche à créer des machines capables d'imiter certaines fonctions humaines comme apprendre, raisonner, ou reconnaître des objets.
NLP (Natural Language Processing)	Branche de l'IA qui permet aux ordinateurs de comprendre, interpréter, et produire du langage humain (écrit ou oral). En français: traitement automatique du langage naturel.
Vision par ordinateur	Technique informatique qui permet aux machines de 'voir', c'est-à-dire d'analyser et d'interpréter des images ou des vidéos.
Apprentissage profond (Deep Learning)	Méthode d'apprentissage automatique inspirée du fonctionnement du cerveau humain, utilisant des réseaux de neurones pour traiter des données complexes (comme les images de plantes).
Base de données	Ensemble organisé de données numériques (images, descriptions, taxons) stockées sur un serveur pour être consultées ou analysées automatiquement.
Modèle de langage	Programme informatique entraîné à traiter et générer du texte de manière cohérente, comme s'il communiquait avec un humain.
LLM (Large Language Model)	Modèle de langage à grande échelle, capable de traiter un immense volume d'informations

	textuelles pour répondre à une grande variété de questions.
ChatGPT	Exemple de LLM développé par OpenAI. Il peut répondre à des questions, expliquer des concepts ou aider à l'identification via des échanges en langage naturel.
Architecture Transformer	Structure mathématique et algorithmique utilisée pour entraîner les LLMs comme ChatGPT. Elle permet au modèle de comprendre le contexte et les relations entre les mots dans une phrase.
Extension multimodale	Capacité d'un modèle comme ChatGPT à traiter non seulement du texte, mais aussi des images, sons, ou vidéos, pour enrichir ses réponses.
Clé dichotomique	Outil botanique classique sous forme de questions à choix successifs, permettant d'identifier une espèce à partir de caractéristiques simples.
Descripteur morphologique	Terme botanique désignant un caractère observable d'une plante, comme la forme des feuilles, la pilosité ou le type de fleurs.
Interface conversationnelle	Moyen d'interagir avec un programme via des échanges textuels ou vocaux, comme une discussion naturelle entre humains.
Science participative	Approche scientifique où les citoyens contribuent à la collecte ou à l'analyse de données, souvent via des applications comme iNaturalist.
Validation communautaire	Processus par lequel une communauté d'utilisateurs (scientifiques, amateurs) vérifie et corrige collectivement des informations.
Espèce cryptique	Espèce difficile à distinguer d'une autre à cause de ressemblances morphologiques très fortes, même pour les experts.
Apprentissage automatique	Méthode d'IA qui permet à une machine d'apprendre à partir de données, sans être explicitement programmée pour chaque tâche.
Systématique	Science qui étudie la classification des êtres vivants. Elle regroupe la taxonomie (nommer les espèces) et la phylogénie (étudier les relations évolutives).

Nomenclature binomiale	Système de dénomination des espèces vivantes utilisant deux noms latins : le genre et l'espèce (ex. : Homo sapiens). Introduit par Linné.
Phylogénie moléculaire	Méthode qui utilise les séquences d'ADN pour comprendre les relations évolutives entre les espèces.
Taxon	Terme générique utilisé pour désigner un groupe d'organismes vivants dans une classification biologique (ex. : espèce, genre, famille).
The Plant List / Tropicos	Bases de données botaniques internationales fournissant des informations taxonomiques sur les plantes (noms, synonymes, distribution, etc.).
Application de reconnaissance d'image	Logiciel capable d'identifier automatiquement des objets ou organismes sur une image, grâce à l'IA.
Spécificité locale des données	Caractéristique d'un jeu de données limité à une région ou un contexte géographique donné (ex. : flore algérienne).
Modèle hybride	Système combinant plusieurs technologies (par exemple, reconnaissance d'image + compréhension du langage) pour améliorer les performances d'un outil.
Relations phylogénétiques	Liens évolutifs entre différentes espèces, basés sur leur histoire génétique commune.
Patrons évolutifs	Tendances observées dans l'évolution de certaines caractéristiques chez des espèces apparentées (ex. : perte de feuilles, formes de fleurs).



## II. Introduction

L'identification des espèces végétales constitue un enjeu fondamental en botanique, en écologie et en conservation de la biodiversité. Cette tâche, bien que cruciale, est souvent semée d'embûches, aussi bien pour les scientifiques chevronnés que pour les amateurs passionnés ou les professionnels du domaine environnemental. (Dupont, M. (2021). En effet, la diversité morphologique des plantes, les variations phénotypiques intra-espèces dues aux conditions environnementales (Jansen, S., et *al.* (2016), ainsi que la complexité des clés de détermination classiques rendent cette mission ardue. (Smith, A., & Brown, L. (2019).

De nombreuses espèces végétales sont menacées par la destruction des habitats, le changement climatique et l'introduction d'espèces exotiques envahissantes. Une identification rigoureuse permet d'évaluer le statut de conservation des espèces, d'orienter les politiques de préservation et de mettre en place des mesures de gestion adaptées. (Mace, G. M., et *al.* (2012). Les inventaires floristiques et les bases de données botaniques reposent sur des identifications précises pour surveiller l'évolution des populations végétales et anticiper les risques d'extinction. Dans ce contexte, l'intelligence artificielle peut offrir un soutien précieux en accélérant l'identification des espèces et en facilitant la détection des plantes rares ou en danger critique d'extinction. (Wäldchen, J., et *al.* (2018).

Historiquement, l'identification des espèces végétales s'est appuyée sur des méthodes conventionnelles, impliquant l'observation minutieuse des caractères morphologiques (feuilles, fleurs, fruits, etc.), l'usage de clés dichotomiques et la consultation d'herbiers ou d'ouvrages spécialisés. Si ces approches ont prouvé leur efficacité, elles demeurent exigeantes en termes de formation et de temps. Les scientifiques doivent non seulement maîtriser une terminologie précise, mais aussi être en mesure d'analyser des spécimens parfois incomplets ou endommagés. (Jansen, S., & Bartholomeus, H. (2013).

Les amateurs et les professionnels non spécialisés rencontrent encore plus de difficultés. Sans formation approfondie, l'utilisation des clés de détermination peut s'avérer fastidieuse et décourageante. Par ailleurs, certaines espèces présentent des similitudes frappantes, rendant leur distinction complexe même pour des experts. À cela s'ajoute la problématique des plantes cryptiques, qui se ressemblent fortement mais diffèrent génétiquement, compliquant davantage leur identification. (Bickford, D., et *al.* (2007).

L'identification des plantes a connu une évolution progressive, passant des premières classifications empiriques à des systèmes plus rigoureux basés sur des critères morphologiques, anatomiques et physiologiques. Avec l'avènement de la systématique moderne au XVIIIe siècle, notamment grâce aux travaux de Carl von Linné, la nomenclature binomiale a apporté une structure cohérente à la classification des organismes vivants. (Stearn, W. T. (1992).

Au XXe siècle, l'essor des techniques de biologie moléculaire a révolutionné le domaine en introduisant l'analyse de l'ADN comme outil de différenciation des espèces. La phylogénie moléculaire permet désormais de clarifier les relations évolutives entre les taxons, offrant une approche plus précise et objective que les seules caractéristiques morphologiques. Ces avancées ont considérablement amélioré la robustesse des classifications botaniques. (Soltis, D. E., et *al.* (1999).

Avec le développement des technologies numériques, de nombreux outils informatiques ont émergé pour faciliter l'identification des plantes. (Azizi MMF, Lau HY, et *al.* (2021).

. Des bases de données en ligne, telles que The Plant List ou Tropicos, permettent aux botanistes d'accéder à une mine d'informations actualisées sur les espèces végétales.

Parallèlement, des applications comme PlantNet, iNaturalist et Flora Incognita ont démocratisé l'identification botanique en intégrant des algorithmes de reconnaissance d'image basés sur l'intelligence artificielle (IA).

Ces outils offrent des avantages considérables : rapidité d'identification, accessibilité pour un large public et amélioration continue grâce à l'apprentissage automatique. Toutefois, leur fiabilité dépend largement de la qualité des images soumises et de l'exhaustivité des bases de données sous-jacentes. Certaines espèces rares ou endémiques, sous-représentées dans les ensembles de données d'entraînement, restent difficiles à identifier précisément. (Wäldchen, J., et *al.* (2018).

L'intelligence artificielle, et plus particulièrement les modèles de traitement du langage naturel comme ChatGPT, ouvre de nouvelles perspectives dans l'identification des espèces végétales. Contrairement aux outils basés sur l'analyse d'image, ChatGPT exploite des descriptions textuelles, Images et des données issues de la littérature scientifique pour formuler des hypothèses d'identification.

Les avantages potentiels de cette approche sont multiples : Accessibilité accrue : permet aux utilisateurs d'obtenir des informations sans nécessiter de compétences avancées en botanique. Complémentarité avec les autres outils : peut être utilisé en conjonction avec des applications de reconnaissance d'image pour affiner les résultats. Adaptabilité : capable de fournir des informations contextuelles sur les espèces, leur écologie, leurs usages et leurs relations phylogénétiques. (Wang, X., et *al.* (2023).

Cependant, l'utilisation d'un modèle de langage pour l'identification botanique pose également des défis, notamment en termes de fiabilité des sources, de précision des descriptions et de gestion des incertitudes taxonomiques.

Un des enjeux majeurs de l'identification botanique assistée par l'IA est l'adaptation aux spécificités locales. Les bases de données généralistes ont tendance à être biaisées vers les espèces les plus documentées, souvent issues de régions tempérées. Ainsi, le développement d'IA locales, entraînées sur des données spécifiques à une région donnée, pourrait améliorer la reconnaissance des espèces endémiques et rares.

Une telle approche permettrait de renforcer les capacités des scientifiques et des gestionnaires de la biodiversité en fournissant des outils mieux adaptés aux enjeux de conservation.

En combinant la puissance du traitement du langage naturel et des algorithmes d'apprentissage automatique, il serait envisageable de créer des modèles hybrides intégrant à la fois la reconnaissance d'image et l'analyse textuelle.

L'intégration des données phylogénétiques dans les modèles d'IA pourrait constituer une avancée significative pour affiner l'identification des espèces. En se basant sur l'histoire évolutive des plantes et leurs relations génétiques, une IA pourrait suggérer des identifications plus précises et mettre en évidence des liens entre espèces proches. (Zhang, Q., Li, Y., Liu, J., et *al.* (2025).

L'utilisation de la phylogénie permettrait également d'identifier des patrons évolutifs et de mieux comprendre la distribution des traits morphologiques au sein des groupes taxonomiques. En couplant ces analyses avec des outils d'intelligence artificielle, il deviendrait possible de proposer des classifications plus robustes et de réduire les erreurs d'identification dues aux seules similitudes morphologiques. (Mallet, J., et *al.* (2016).

Dans quelle mesure ChatGPT peut-il être un outil fiable pour l'identification des espèces végétales vasculaires à partir d'image ? Quels sont ses avantages et ses limites par rapport aux méthodes traditionnelles ?

Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'efficacité de ChatGPT dans l'identification des espèces végétales vasculaires en le comparant à des méthodes plus classiques et à des applications spécialisées. Plus précisément, ce mémoire vise à :

- i. Analyser la précision des identifications réalisées par ChatGPT sur un ensemble d'espèces végétales sélectionnées.
- ii. Identifier les principales limites et erreurs commises par ChatGPT dans ce processus.

iii. Proposer des améliorations potentielles pour l'utilisation de l'IA dans l'identification botanique, notamment en intégrant des bases de données locales et des approches phylogénétiques.

## **Bibliographie et Généralité**

### **III. Bibliographie et Généralité**

#### **1. Introduction au contexte scientifique**

L'identification des espèces végétales constitue une étape fondamentale dans de nombreux domaines scientifiques et appliqués. En botanique, elle permet d'organiser, de nommer et de comprendre la diversité végétale, base indispensable à toute étude floristique ou taxonomique. En écologie, l'identification rigoureuse des espèces est nécessaire pour évaluer la structure des communautés végétales, surveiller l'état de santé des écosystèmes ou encore analyser les dynamiques de succession végétale. Dans le domaine agricole, elle facilite la gestion des cultures, permet la reconnaissance des adventices, et contribue à la sélection variétale ou à la prévention des contaminations (Mon Potager en Carré, 2025). Enfin, en pharmacognosie, la reconnaissance précise des plantes est essentielle pour garantir la qualité, la sécurité et l'efficacité des produits à base de plantes médicinales. Ainsi, la capacité à identifier correctement une espèce végétale revêt une importance stratégique tant pour la recherche que pour les applications concrètes, en contribuant à la documentation de la biodiversité, à l'élaboration de programmes de conservation et à la sensibilisation du public à la préservation des milieux naturels.

#### **2. Méthodes traditionnelles d'identification**

Traditionnellement, l'identification botanique repose sur des méthodes éprouvées, principalement les clés dichotomiques et les flores spécialisées. Les clés dichotomiques sont des outils logiques guidant l'utilisateur à travers une série de choix binaires basés sur des caractères morphologiques observables (forme des feuilles, type d'inflorescence, pilosité, etc.). À chaque étape, l'utilisateur sélectionne l'option correspondant à l'échantillon observé, jusqu'à atteindre une proposition d'espèce. En parallèle, les flores — qu'elles soient régionales ou générales — offrent des descriptions détaillées, des illustrations, des cartes de répartition, et parfois même des éléments d'écologie ou d'étymologie, permettant une

identification rigoureuse par comparaison. Ces approches sont précieuses pour les botanistes professionnels, les enseignants et les gestionnaires d'espaces naturels (Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, 2017).

### **3. Limites des méthodes traditionnelles**

Malgré leur fiabilité, les méthodes classiques d'identification présentent plusieurs limites, en particulier pour les non-spécialistes. Leur complexité technique constitue un obstacle pour les débutants, notamment en raison de la terminologie botanique spécialisée et des nombreuses exceptions morphologiques rencontrées dans la nature. Le processus d'identification peut également être chronophage, notamment lorsque l'échantillon est incomplet (fleurs absentes, organes abîmés, etc.) ou mal conservé. Par ailleurs, une certaine subjectivité peut intervenir lors de l'interprétation des critères, en particulier pour les espèces morphologiquement proches ou cryptiques. Enfin, l'accessibilité à ces outils reste limitée, tant sur le plan logistique (disponibilité des ouvrages) que pédagogique (compréhension des clés). Ces freins peuvent décourager les citoyens, les étudiants ou les gestionnaires de terrain non spécialisés, freinant ainsi la diffusion des connaissances botaniques (Info Flora, 2023).

### **4. Perspectives modernes**

Face à ces limitations, des approches innovantes ont émergé au cours des dernières décennies, portées par le développement des technologies numériques et de l'intelligence artificielle. Les applications mobiles, comme PlantNet, Flora Incognita ou iNaturalist, permettent d'identifier des plantes à partir de photographies prises sur le terrain, grâce à des algorithmes de reconnaissance d'image entraînés sur des millions d'illustrations botaniques. Ces outils sont souvent accompagnés de bases de données collaboratives et ouvertes, favorisant une validation croisée par la communauté scientifique et les citoyens. Parallèlement, les modèles d'intelligence artificielle de type "large language models" (LLMs), tels que ChatGPT, bien qu'à l'origine conçus pour le traitement du langage naturel, présentent un potentiel croissant

pour l'analyse d'informations complexes liées à l'identification botanique. En intégrant ces outils dans les pratiques de terrain ou d'enseignement, la botanique devient plus accessible, interactive et inclusive, permettant une meilleure implication du public dans la documentation de la biodiversité et la veille écologique participative (RESPE, 2025).

## **5. L'essor des technologies d'intelligence artificielle en botanique**

Les avancées récentes en intelligence artificielle (IA), en particulier dans les domaines du traitement automatique du langage naturel (NLP – Natural Language Processing) et de la vision par ordinateur (computer vision), ont profondément transformé le paysage de l'identification botanique (Pl@ntNet, 2025). Ces technologies permettent désormais de concevoir des outils automatisés capables d'analyser des photographies de plantes et de proposer une identification plausible, en s'appuyant sur des modèles d'apprentissage profond et des bases de données massives. Ainsi, l'intelligence artificielle contribue à rendre la botanique plus interactive, plus rapide et surtout plus accessible, même pour des utilisateurs non spécialistes. Elle permet d'envisager une science participative à grande échelle, dans laquelle tout un chacun peut contribuer à l'inventaire de la biodiversité en temps réel, avec une assistance technologique (InfoFlora, 2024).

## **6. Applications phares de reconnaissance visuelle**

Parmi les outils emblématiques fondés sur la reconnaissance visuelle assistée par IA, on peut citer PlantNet, iNaturalist et Flora Incognita, qui ont acquis une renommée internationale.

PlantNet est une application collaborative fondée sur des algorithmes d'apprentissage profond. Elle permet l'identification de milliers d'espèces végétales grâce à des photographies prises par les utilisateurs et comparées à une vaste base de données d'images validées scientifiquement. L'approche communautaire permet à la base de s'enrichir continuellement tout en maintenant un bon niveau de fiabilité.

iNaturalist, quant à elle, combine une approche de reconnaissance automatisée avec une validation communautaire. La plateforme fonctionne à la fois comme un outil d'identification et comme un réseau social naturaliste, encourageant les interactions entre amateurs, experts et chercheurs pour le recensement global de la biodiversité. Sa portée dépasse les plantes, mais son module botanique est largement utilisé.

Flora Incognita, développée en Europe en collaboration avec des institutions scientifiques, associe des technologies de vision par ordinateur à une base botanique rigoureuse. L'application fournit non seulement une identification rapide, mais également des informations écologiques, morphologiques et taxonomiques détaillées. Elle se distingue par sa précision et son orientation scientifique.

## **7. Rôle des modèles de langage comme ChatGPT**

À côté des outils de reconnaissance visuelle, les modèles de langage comme ChatGPT occupent une place croissante dans les dispositifs d'aide à l'identification botanique. Bien que conçus à l'origine pour la génération et la compréhension du langage humain, ces modèles montrent une polyvalence remarquable qui les rend utiles dans un contexte naturaliste. Ils peuvent, par exemple, interpréter ou commenter des résultats d'identification, expliquer des différences morphologiques entre espèces proches, ou encore fournir des descriptions vulgarisées ou expertes selon le niveau de l'utilisateur. En rendant l'échange plus fluide grâce à un langage naturel, ils facilitent l'appropriation des connaissances par des publics variés, des scolaires aux gestionnaires de terrain. ChatGPT peut également servir d'intermédiaire pour enrichir les observations visuelles en apportant des éléments taxonomiques, historiques ou pharmacologiques sur les plantes identifiées.

## **8. Perspectives et défis**

L'intégration croissante de la vision par ordinateur et des modèles de langage dans les outils numériques ouvre des perspectives inédites pour la botanique contemporaine. On peut envisager des systèmes hybrides capables non seulement de reconnaître une espèce à partir d'une photo, mais aussi d'en expliquer les caractéristiques, de proposer des espèces similaires, ou encore d'aider à la décision dans des contextes complexes ou ambigus. Cela permettrait une identification plus rapide, plus fiable, et accessible à un large public. Ces innovations renforcent également la sensibilisation à la biodiversité en fournissant des interfaces intuitives, pédagogiques et interactives.

Cependant, plusieurs défis restent à relever. Les performances des IA restent inégales face aux espèces rares, endémiques ou peu documentées, en particulier dans les régions peu couvertes par les bases d'entraînement. De plus, l'interprétation des résultats doit être accompagnée d'une validation experte, afin d'éviter la propagation d'erreurs taxonomiques. Enfin, la transparence des algorithmes et la prise en compte des incertitudes sont des conditions essentielles pour assurer la robustesse et la fiabilité des outils proposés.

## **9. Présentation de ChatGPT dans le cadre de l'identification botanique**

ChatGPT est un modèle de langage conversationnel développé par OpenAI, basé sur l'architecture dite transformer, qui représente aujourd'hui l'une des avancées majeures dans le domaine de l'intelligence artificielle. Conçu à l'origine pour comprendre, générer et manipuler du texte en langage naturel, ChatGPT a démontré des performances remarquables dans une grande variété de tâches linguistiques : rédaction, traduction, explication, résumé, questionnement, etc. Bien qu'il ne soit pas intrinsèquement doté de capacités de vision par ordinateur, ses extensions multimodales récentes (notamment via l'intégration d'outils d'analyse d'image ou de reconnaissance visuelle) lui permettent désormais d'interagir avec

des contenus visuels. Cette évolution ouvre des perspectives prometteuses dans des disciplines qui mobilisent à la fois l'image et le langage, telles que la botanique, où l'identification des espèces repose autant sur l'observation visuelle que sur la description textuelle des caractères morphologiques.

### 9.1. Capacités de ChatGPT en botanique

L'un des atouts majeurs de ChatGPT réside dans sa connaissance encyclopédique, héritée de son entraînement sur un corpus massif intégrant des sources variées telles que des ouvrages scientifiques, des bases de données botaniques, des articles de vulgarisation, ou encore des forums spécialisés. Il peut ainsi fournir des informations précises et contextualisées sur une grande diversité d'espèces végétales, incluant leur morphologie, leur écologie, leur distribution géographique et parfois même leur usage ethnobotanique [Heidi. News. \(2023\)](#).

Par ailleurs, sa compréhension fine du langage descriptif le rend particulièrement apte à interpréter les descripteurs morphologiques typiques de la botanique : forme et bord des feuilles, type d'inflorescence, mode de reproduction, pilosité, etc. [Faste Capital. \(2024\)](#). Il peut ainsi orienter l'utilisateur dans une démarche d'identification, même lorsque celle-ci est fondée uniquement sur un énoncé textuel. Dans les situations où les données sont incomplètes ou ambiguës, ChatGPT est également capable d'adopter une démarche probabiliste : il propose plusieurs hypothèses d'identification, explicite les critères discriminants, et suggère parfois des vérifications complémentaires (organe à observer, biotope, période de floraison, etc.). Cette approche raisonnée constitue un avantage notable par rapport à des modèles strictement visuels, souvent catégoriques [Sciences et Avenir. \(2023\)](#).

### 9.2. Limites et potentiel

Malgré ses performances linguistiques impressionnantes, ChatGPT ne peut pas (en l'état) analyser directement une image sans recours à une extension multimodale. Cela constitue une

limite technique importante dans le cadre d'un usage botanique basé exclusivement sur des photographies. Toutefois, couplé à un outil de vision par ordinateur ou à une base de données structurée, ChatGPT peut alors interpréter les résultats obtenus, les contextualiser dans un cadre taxonomique ou écologique plus large, et compléter l'analyse par des explications textuelles adaptées à l'utilisateur [Le Monde. \(2023\)](#).

Son principal point fort reste son interface conversationnelle fluide, qui rend la botanique plus accessible. En permettant une interaction intuitive en langage naturel, il favorise un dialogue didactique avec l'utilisateur, qu'il soit néophyte, étudiant ou expert. Cela en fait un outil pédagogique précieux, capable d'accompagner un apprentissage progressif : explication des termes botaniques, aide à l'utilisation de clés dichotomiques, mise en lien avec des ressources fiables, etc. [Faster Capital. \(2024\)](#)

#### **10. Intérêt de la création de clés de détermination dans le contexte de l'IA botanique**

Dans le domaine de la botanique, les clés de détermination constituent des outils fondamentaux pour identifier les espèces végétales à partir d'observations morphologiques. Leur structure logique, basée sur des choix successifs entre deux alternatives (clés dichotomiques), offre une méthode systématique et éprouvée pour conduire l'utilisateur vers une identification fiable [Fig \(1, 2 et 3\)](#). L'intérêt de ces clés réside dans leur capacité à structurer la connaissance botanique en fonction de caractères observables, tout en fournissant un cadre pédagogique et reproductible.

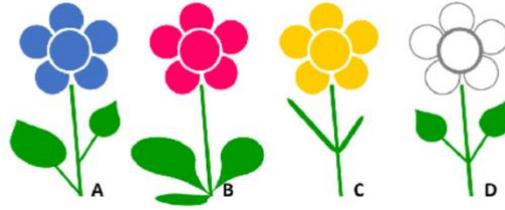
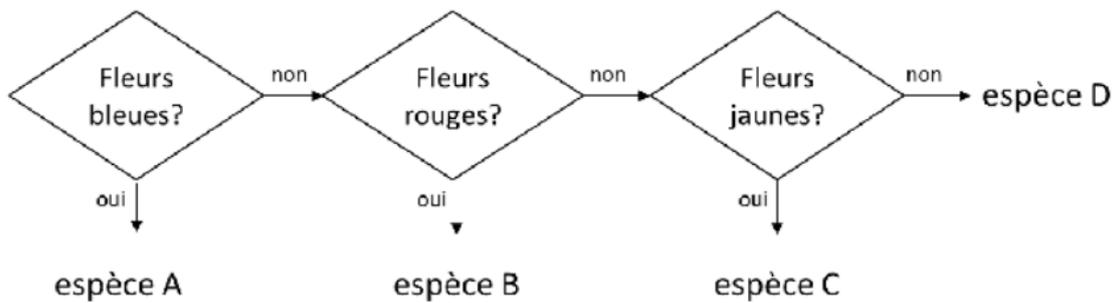


Figure 1. Quatre plantes fictives, dont la détermination est illustrée par différents exemples clés dans le texte Eggenberg et Kuss (2023).



Fig

Figure 2. Détermination des plantes de la fig. 1 dans un ordinogramme linéaire.

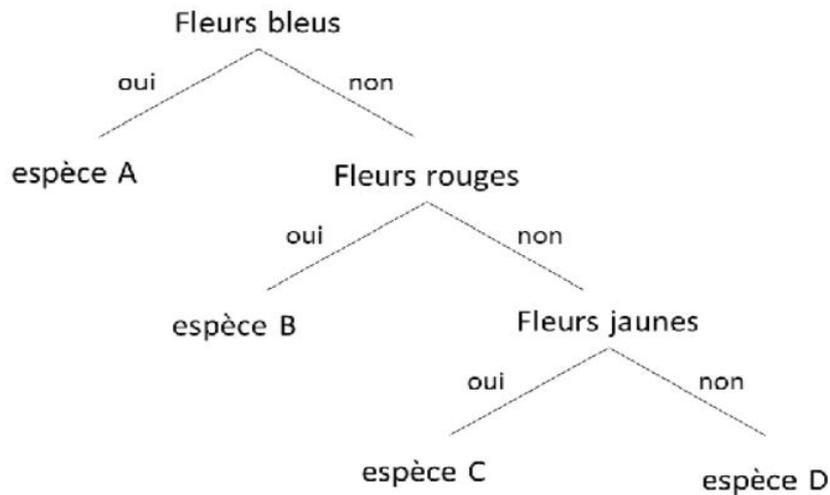


Figure 3. Détermination des plantes de la fig. 1 en tant qu'arbre à ramification simple (linéaire) dichotomique.

Dans le cadre de ce mémoire, centré sur l'évaluation de ChatGPT comme outil d'identification végétale, les clés de détermination jouent un rôle double : d'une part, elles servent de référence

experte pour évaluer la rigueur des réponses fournies par l'IA ; d'autre part, elles pourraient constituer un modèle de structuration de la pensée utile à l'amélioration de ses performances. En effet, la logique binaire des clés rejoint, dans une certaine mesure, la logique conditionnelle des algorithmes d'IA.

Selon Eggenberg et Kuss (2023), une clé bien conçue doit être claire, concise, et s'appuyer sur des caractères discriminants pertinents et facilement observables (forme des feuilles, disposition des organes, couleur, texture...). Or, l'étude a mis en évidence que ChatGPT parvient souvent à énumérer certains de ces critères, mais sans nécessairement les hiérarchiser de manière optimale ou les utiliser pour justifier une décision taxonomique rigoureuse. Cela reflète un manque de structuration logique typique des clés de détermination.

L'usage de clés naturelles (qui suivent les regroupements phylogénétiques) est plus cohérent scientifiquement, mais les clés artificielles (basées sur des critères pratiques comme la couleur des fleurs ou la saison de floraison) peuvent faciliter l'usage grand public.

Dans ce contexte, une hybridation entre clés traditionnelles et raisonnement génératif tel que celui de ChatGPT pourrait représenter une voie prometteuse pour l'identification botanique assistée. Par exemple, entraîner le modèle à reconnaître une structure dichotomique explicite dans sa réponse (ex. : « si... alors... ») améliorerait sa fiabilité.

## **Matériels et méthodes**

#### IV. Matériels et méthodes

##### 1. Origine des données

L'étude repose sur un ensemble de 70 espèces végétales vasculaires (Tab. 2), choisies de manière à représenter une diversité taxonomique (familles et genres variés), écologique (milieux différents) et morphologique (formes foliaires, florales et de port). Les espèces ont été préalablement identifiées par des botanistes experts à l'aide de flores régionales (Poiret, 1789 ; Desfontaines, 1798–1799 ; Munby, 1847 ; Battandier et Trabut, 1888–1902 ; Maire, 1952–1987 ; Quézel et Santa, 1962–1963 ; Dobignard et Chatelain 2010-2013), plateformes numériques (Euro+Med Plantbase (<http://www.Emplantbase.org/home.html>), la base de données (<https://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/Afrique>) et la base de données en ligne de la flore d'Algérie (<https://efloramaghreb.org>), et d'herbiers de référence, et d'observations de terrain.

Tab 2. Liste des espèces choisies

Plante	Nom scientifique	Famille Botanique
P1	<i>Lavandula stoechas</i> L.	LAMIACEAE
P2	<i>Myrtus communis</i> L.	MYRTACEAE
P3	<i>Malva sylvestris</i> L.	MALVACEAE
P4	<i>Salix babylonica</i> L.	SALICACEAE
P5	<i>Polypodium cambricum</i> L.	POLYPODIACEAE
P6	<i>Lavandula dentata</i> L.	LAMIACEAE
P7	<i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill.	CACTACEAE
P8	<i>Ailanthus altissima</i> (Mill.) Swingle	SIMAROUBACEAE
P9	<i>Agave americana</i> L.	ASPARAGACEAE
P10	<i>Solanum elaeagnifolium</i> Cav.	SOLANACEAE

P11	<i>Malvaviscus arboreus</i> Cav.	MALVACEAE
P12	<i>Drimia numidica</i> (Jord. & Fourr.) J.C. Manning & Goldblatt	ASPARAGACEAE
P13	<i>Hydrangea macrophylla</i> (Thunb.) Ser.	HYDRANGEACEAE
P14	<i>Carpobrotus edulis</i> (L.) N.E.Br. var. <i>edulis</i>	AIZOACEAE
P15	<i>Asplenium trichomanes</i> L.	ASPLENIACEAE
P16	<i>Umbilicus rupestris</i> (Salisb.) Dandy	CRASSULACEAE
P17	<i>Cerinthe major</i> L.	BORAGINACEAE
P18	<i>Orobanche hederæ</i> Duby	OROBANCHACEAE
P19	<i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench	ASTERACEAE
P20	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	ROSACEAE
P21	<i>Orchis purpurea</i> Huds	ORCHIDACEAE
P22	<i>Asphodelus tenuifolius</i>	ASPHODELACEAE
P23	<i>Colocasia esculenta</i> (L.) Schott	ARACEAE
P24	<i>Cymbalaria muralis</i> G.Gaertn., B.Mey. & Scherb.	SCROPHULARIACEAE
P25	<i>Hypericum androsaemum</i> L.	HYPERICACEAE
P26	<i>Centaurea cineraria</i> L.	ASTERACEAE
P27	<i>Matthiola tricuspidata</i> (L.) R.Br.	BRASSICACEAE
P28	<i>Cyclamen africanum</i> Boiss. & Reut.	PRIMULACEAE
P29	<i>Marrubium vulgare</i> L.	LAMIACEAE
P30	<i>Trifolium repens</i> L.	FABACEAE
P31	<i>Euphorbia helioscopia</i> L.	EUPHORBIACEAE
P32	<i>Ornithogalum umbellatum</i> L.	ASPARAGACEAE

P33	<i>Hedera algeriensis</i> Hibberd	ARALIACEAE
P34	<i>Rubia peregrina</i> L.	RUBIACEAE
P35	<i>Limonium spathulatum</i>	PLUMBAGINACEAE
P36	<i>Erica arborea</i> L.	ERICACEAE
P37	<i>Ampelodesmos mauritanicus</i> (Poir.) T. Durand & Schinz	POACEAE
P38	<i>Prunella vulgaris</i> L	LAMIACEAE
P39	<i>Dioscorea communis</i> (L.) Caddick & Wilkin	DIOSCOREACEAE
P40	<i>Dryopteris filix-mas</i> (L.) Schott	DRYOPTERIDACEA
P41	<i>Myrrhis</i> SP	APIACEAE
P42	<i>Ranunculus repens</i> L.	RANUNCULACEAE
P43	<i>Allium polyanthum</i>	AMARYLLIDACEAE
P44	<i>Erica numidica</i>	ERICACEAE
P45	<i>Acanthus mollis</i> L.	ACANTHACEAE
P46	<i>Malva arborea</i> (L.) Webb & Berthel.	MALVACEAE
P47	<i>Crithmum maritimum</i> L.	APIACEAE
P48	<i>Euphorbia paralias</i> L.	EUPHORBIACEAE
P49	<i>Helichrysum stoechas</i> (L.) Moench	ASTERACEAE
P50	<i>Polycarpon pocarpoides</i> Zodda	CARYOPHYLLACEAE
P51	<i>Brassica insularis</i> Moris	BRASSICACEAE
P52	<i>Dianthus sylvestris</i> Wulfen	CARYOPHYLLACEAE
P53	<i>Rhamnus alaternus</i> L.	RHAMNACEAE
P54	<i>Ophrys</i> L. SP	ORCHIDACEAE

P55	<i>Eryngium maritimum</i>	APIACEAE
P56	<i>Selaginella denticulata</i> (L.) Spring	SELAGINELLACEAE
P57	<i>Cytisus villosus</i> Pourr.	FABACEAE
P58	<i>Montia fontana</i> L.	MONTIACEAE
P59	<i>Lepidium heterophyllum</i> Benth.	BRASSICACEAE
P60	<i>Hypochaeris laevigata</i> var. <i>hipponensis</i> Maire	ASTERACEAE
P61	<i>Carthamus pinnatus</i> Desf.	ASTERACEAE
P62	<i>Micromeria inodora</i> (Desf.) Benth.	LAMIACEAE
P63	<i>Ammoides verticillata</i> (Desf.) Briq	APIACEAE
P64	<i>Daucus carota</i> subsp. <i>Maximus</i> (Desf.) Ball	APIACEAE
P65	<i>Malva olbia</i> (L.) Alef.	MALVACEAE
P66	<i>Tetragonolobus purpureus</i> Moench	FABACEAE
P67	<i>Heliotropium curassavicum</i> L.	BORAGINACEAE
P68	<i>Helianthemum syriacum</i> (Jacq.) Dum.Cours.	CISTACEAE
P69	<i>Malva trimestris</i> L.,	MALVACEAE
P70	<i>Tuberaria lignosa</i> (Sweet) Samp.	CISTACEAE

Les noms des familles botaniques en adoptant l'APG III (**Angiosperm Phylogeny Group III**)  
(Chase and Reveal 2009 ; Haston et al. 2009)

Les localités d'observation se situent principalement dans le nord-est de l'Algérie (régions de Guelma, Annaba, El Tarf, Skikda). Les plantes sont documentées avec leur nom scientifique valide, leur famille, leur habitat d'origine, la période de floraison et des caractères diagnostiques principaux.

Afin d'évaluer les capacités du modèle d'IA en fonction de la difficulté, les espèces ont été classées selon trois niveaux :

- Niveau 1 (facile) : espèces communes, morphologiquement distinctes et très bien documentées
- Niveau 2 (moyen) : espèces modérément complexes ou moins connues
- Niveau 3 (difficile) : espèces rares, endémiques ou morphologiquement proches d'autres taxons

## **2. Matériel utilisé**

Chaque espèce a été illustrée par une photographie couleur prise sur le terrain, en haute définition, avec un smartphone Iphone 13 Pro max, Galaxy S21 Ultra et Iphone 8 plus. Les images ont été sélectionnées en veillant à montrer les caractères morphologiques essentiels (feuille, fleur, port, fruits quand disponibles).

La qualité de la photo a été notée pour chaque plante sur une échelle de 0 à 1 pour évaluer son influence sur les performances de reconnaissance.

## **3. Logiciel et plateforme utilisés**

- ChatGPT Plus avec abonnement payant
- Modèle utilisé : GPT-4o (version mai 2024)
- Plateforme : <https://chat.openai.com>

Pour le traitement et l'analyse des données :

- Microsoft Excel 365 : saisie des réponses, codage des critères, nettoyage des données

- Python 3.11 avec les bibliothèques : pandas, numpy : manipulation des données matplotlib, seaborn : visualisations statistiques scikit-learn : analyses multivariées (ACP, clustering) statsmodels, scipy : analyses statistiques (corrélations, ANOVA)

Prompt utilisé : « *Identification de l'espèce et Erreur type* » (le choix le plus court)

#### 4. Grille d'évaluation multicritère

Chaque réponse fournie par ChatGPT a été évaluée selon une grille standardisée sur 8 critères principaux, notés sur une échelle équidistante (0 ; 0.25 ; 0.5 ; 0.75 ; 1) :

- Famille\_Reconnue  
*Objectif* : Vérifier la capacité du modèle à identifier correctement la famille botanique de l'espèce. Ce niveau taxonomique est fondamental pour valider l'encadrement systématique.
- Genre\_Reconnue  
*Objectif* : Évaluer si le genre attribué est exact.
- Espèce\_Reconnue  
*Objectif* : Tester la reconnaissance du binôme scientifique exact, critère central de l'identification.
- Exactitude\_Taxonomique  
*Objectif* : Mesurer la précision globale de la classification (famille, genre, espèce), au-delà de la simple mention d'un nom.
- Correspondance\_Morphologique  
*Objectif* : Évaluer la correspondance entre la description morphologique donnée par l'IA et les traits réels observables (feuilles, fleurs, port...).
- Confiance\_IA  
*Objectif* : Déterminer si ChatGPT exprime explicitement un degré de certitude ou d'incertitude dans sa réponse, élément important pour l'interprétation humaine.
- Commentaires  
*Objectif* : Analyser la capacité du modèle à formuler des commentaires utiles, explicatifs ou nuancés sur l'identification proposée.

- Erreur\_Type  
*Objectif* : Identifier les types d'erreurs les plus fréquentes (taxonomiques, géographiques, morphologiques, etc.) pour orienter les pistes d'amélioration.
- Utilisation\_Termes\_Scientifiques  
*Objectif* : Vérifier l'emploi correct du vocabulaire botanique, indispensable pour la rigueur descriptive et la communication scientifique.
- Présence\_Doute\_Explicite  
*Objectif* : Détecter si le modèle mentionne des incertitudes ou propose une approche prudente dans ses conclusions.
- Comparaison\_Avec\_Espèces\_Similaires  
*Objectif* : Mesurer l'aptitude du modèle à distinguer l'espèce étudiée d'autres espèces proches ou ressemblantes, en mobilisant des critères discriminants.
- Proposition\_Alternative  
*Objectif* : Évaluer si ChatGPT est capable de suggérer d'autres taxons possibles dans une démarche comparative.
- Accès\_Données\_Géographiques  
*Objectif* : Analyser si le modèle intègre la dimension géographique (aire de répartition, endémisme, etc.) pour appuyer son raisonnement.
- Prise\_En\_Compte\_Détails\_Fins  
*Objectif* : Vérifier la prise en compte de critères fins (textures, odeur, pilosité, type de fruits...) souvent négligés mais cruciaux pour certaines espèces.
- Référence\_Flore\_ou\_source  
*Objectif* : Observer si ChatGPT mentionne des sources crédibles ou des flores régionales/internationales.
- Qualité\_de\_photo  
*Objectif* : Ce critère externe à ChatGPT permet d'analyser l'impact de la clarté, netteté ou angle de vue de la photo sur la qualité des réponses fournies.

Un indice global de performance a ensuite été calculé par moyenne simple des critères pour chaque plante.

## 5. Traitement des données

Les données brutes ont été saisies dans un tableau Excel, puis exportées en CSV pour traitement Python. Les valeurs manquantes (ou notes non attribuables) ont été imputées par moyenne du critère concerné selon le niveau de difficulté.

La qualité des données a été vérifiée manuellement et les noms de colonnes harmonisés pour permettre les croisements.

## 6. Traitement statistique

Les méthodes suivantes ont été appliquées pour analyser la performance de ChatGPT :

- Statistiques descriptives : moyenne, écart-type, valeurs extrêmes par niveau de difficulté
- Analyse en composantes principales (ACP) : pour identifier les axes de variation entre critères
- Analyse de la variance (ANOVA) : pour tester les différences entre niveaux
- Analyse de corrélation de Pearson : pour évaluer les interdépendances entre critères
- Clustering (regroupement hiérarchique) : pour regrouper les plantes selon leur profil d'identification
- Heatmaps et scatter plots : pour visualiser les corrélations et regroupements

Chaque méthode statistique a permis d'évaluer à la fois les forces (ex. : reconnaissance d'espèces communes) et les faiblesses (ex. : confusion sur taxons proches) du modèle ChatGPT 4o, contribuant ainsi à une meilleure compréhension de ses capacités et limites en botanique visuelle.

## **Résultats et Discussion**

## V. Résultats et Discussion

### 1. Statistiques descriptives

Par niveau de difficulté (Niveau 1 à 3), affichant les moyennes des différents critères d'évaluation. Cela permet de constater une baisse nette des performances de ChatGPT au fur et à mesure que la difficulté augmente, particulièrement pour : l'espèce reconnue et l'exactitude taxonomique (fortement affectées au Niveau 3), la famille et le genre restent modérément stables au Niveau 2 mais chutent au Niveau 3, la correspondance morphologique reste à 1.00, ce qui peut indiquer une subjectivité ou une saturation de ce critère **Fig (04)**.

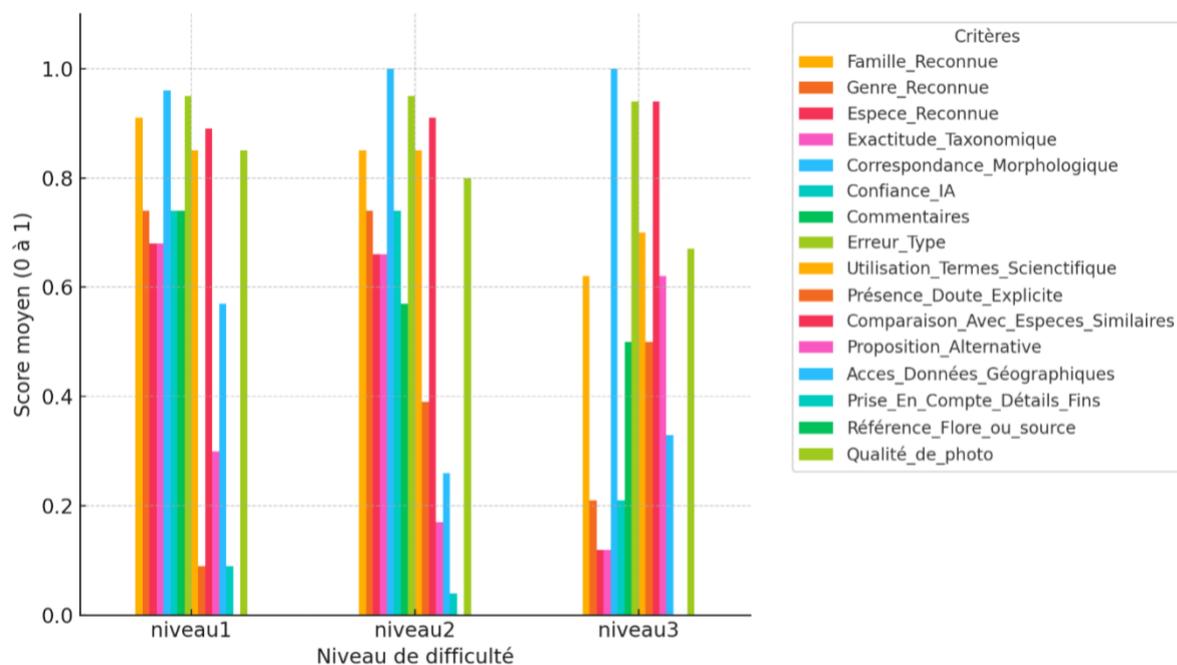


Figure 4. Evaluation moyenne par critère selon le niveau de difficulté

Les 10 plantes les mieux reconnues (en vert) et les 10 plantes les moins bien reconnues (en rouge) selon leur score moyen global. Cela permet de repérer rapidement les cas où l'IA réussit particulièrement bien ou échoue dans l'identification **Fig (05)**.

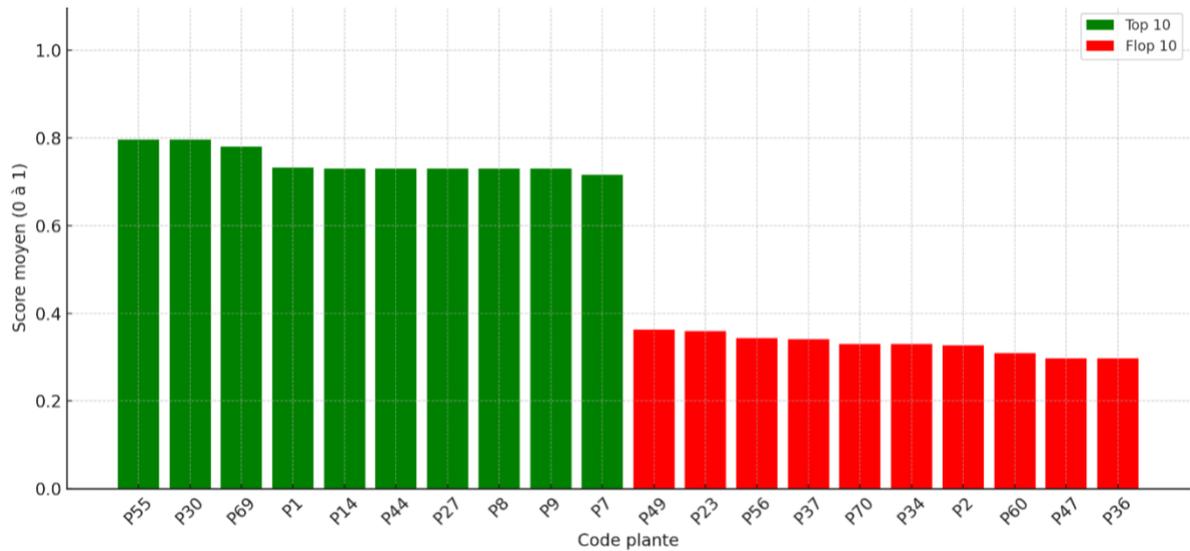


Figure 5. Top 10 et Flop 10 des plantes selon leur score moyen

Malgré leur appartenance au niveau 1, censé regrouper les espèces facilement identifiables, certaines plantes telles que P23 et P2 ont obtenu des scores moyens particulièrement faibles (respectivement  $\approx 0.38$  et  $0.42$ ). Cette observation met en lumière les limites du modèle d'IA ChatGPT dans le cadre d'une identification botanique basée sur l'analyse d'image et de descripteurs textuels. Pour P23, l'erreur semble provenir d'une confusion au niveau spécifique, bien que la reconnaissance du genre ou de la famille ait parfois été correcte. Cela suggère que l'image fournie manquait peut-être d'éléments distinctifs (fleurs, inflorescences) ou que l'espèce présente une morphologie proche d'autres espèces communes, générant des ambiguïtés. De même, P2, pourtant classée comme facilement identifiable, a également obtenu une évaluation modeste. Ce type de cas illustre le fait qu'une espèce considérée comme « facile » pour un expert humain ne l'est pas nécessairement pour une IA, surtout si celle-ci n'a pas été suffisamment entraînée sur des exemples spécifiques. Ces situations soulignent l'importance de la qualité de l'image fournie, de la représentativité de l'espèce dans les bases d'entraînement du modèle, et de la complémentarité nécessaire entre reconnaissance visuelle et traitement sémantique pour affiner l'identification. Ces cas doivent ainsi être analysés

comme des points faibles du système, mais aussi comme des opportunités pour en améliorer la robustesse future **Tab (03).**

Tab 3. Les 10 plantes les mieux et les moins bien reconnues (par moyenne)

PLANTE_I D	NIVEAU_DIFFICULTE	SCORE_MOYEN	NOM SCIENTIFIQUE
P55	Niveau3	0,80	<i>Eryngium maritimum</i>
P30	Niveau2	0,80	<i>Trifolium repens L.</i>
P69	Niveau3	0,78	<i>Malva trimestris L.,</i>
P1	Niveau1	0,73	<i>Lavandula stoechas L.</i>
P14	Niveau1	0,73	<i>Carpobrotus edulis (L.) N.E.Br. var. edulis</i>
P44	Niveau2	0,73	<i>Sedum SP</i>
P27	Niveau2	0,73	<i>Matthiola tricuspidata (L.) R.Br.</i>
P8	Niveau1	0,73	<i>Ailanthus altissima (Mill.) Swingle</i>
P9	Niveau1	0,73	<i>Agave americana L.</i>
P7	Niveau1	0,72	<i>Opuntia ficus-indica (L.) Mill.</i>
P49	Niveau3	0,36	<i>Helichrysum stoechas (L.) Moench</i>
P23	Niveau1	0,36	<i>Colocasia esculenta (L.) Schott</i>
P56	Niveau3	0,34	<i>Selaginella denticulata (L.) Spring</i>
P37	Niveau2	0,34	<i>Ampelodesmos mauritanicus (Poir.) T. Durand &amp; Schinz</i>
P70	Niveau3	0,33	<i>Tuberaria lignosa (Sweet) Samp.</i>
P34	Niveau2	0,33	<i>Rubia peregrina L.</i>
P2	Niveau1	0,33	<i>Myrtus communis L.</i>
P60	Niveau3	0,31	<i>Hypochaeris laevigata var. hipponensis maire</i>
P47	Niveau3	0,30	<i>Crithmum maritimum L.</i>
P36	Niveau2	0,30	<i>Erica arborea L.</i>

## 2. Analyse de la variance (ANOVA) à un facteur

Tab 4. Analyse de la variance

Source de variation	Somme des carrés	Ddl	F	P-value
Niveau Difficulté	0.483	3	7.69	0.00018
Résidu (intra-groupe)	1.381	66		

Afin de vérifier si le niveau de difficulté des espèces influence significativement la performance de ChatGPT en matière d'identification botanique, une analyse de la variance (ANOVA) à un facteur a été réalisée sur l'indice global de performance attribué à chaque plante. Les résultats obtenus montrent une différence hautement significative entre les niveaux de difficulté ( $F = 7,69$  ;  $p = 0,00018$ ). Cela signifie que le score moyen d'identification varie de manière notable selon que la plante appartient au groupe "facile", "moyen", "difficile" ou "non classé" tab (04). Ce résultat confirme statistiquement une tendance déjà perceptible dans les analyses descriptives : plus le niveau de difficulté augmente, plus la performance de l'IA a tendance à diminuer. Ces écarts suggèrent que le modèle rencontre des limites particulières face aux espèces complexes, mal documentées ou visuellement semblables à d'autres taxons. L'ANOVA apporte ainsi une preuve quantitative solide que la complexité taxonomique ou morphologique affecte directement la qualité des identifications générées par ChatGPT.

### 3. Analyse en Composantes Principales (ACP)

Représentant les plantes selon leurs scores d'évaluation, avec les codes des plantes affichés et leur niveau de difficulté différencié par couleur Fig (06).

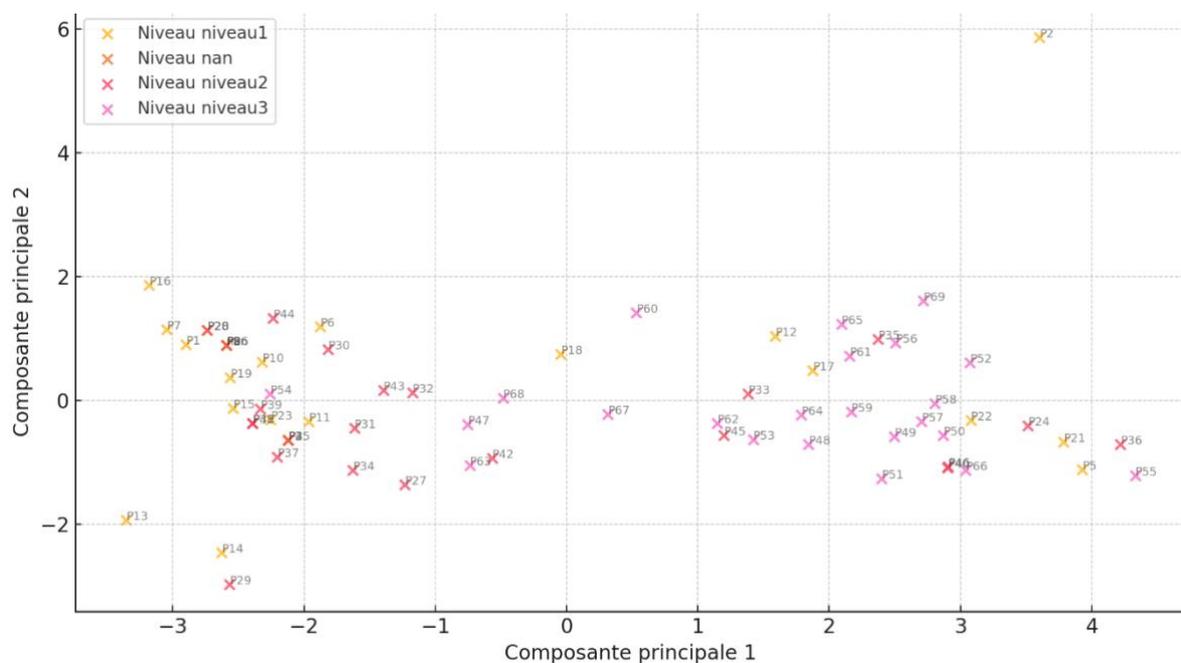


Figure 6. ACP des plantes selon les critères d'évaluation

- L'axe PC1 semble refléter un gradient de qualité globale d'identification (les plantes bien identifiées étant regroupées à une extrémité).
- L'axe PC2 pourrait refléter une variation plus spécifique, comme la qualité des informations morphologiques ou la précision taxonomique.
- Les plantes des niveaux 2 et 3 (plus difficiles) sont globalement plus dispersées, ce qui reflète une variabilité accrue dans la performance de ChatGPT.

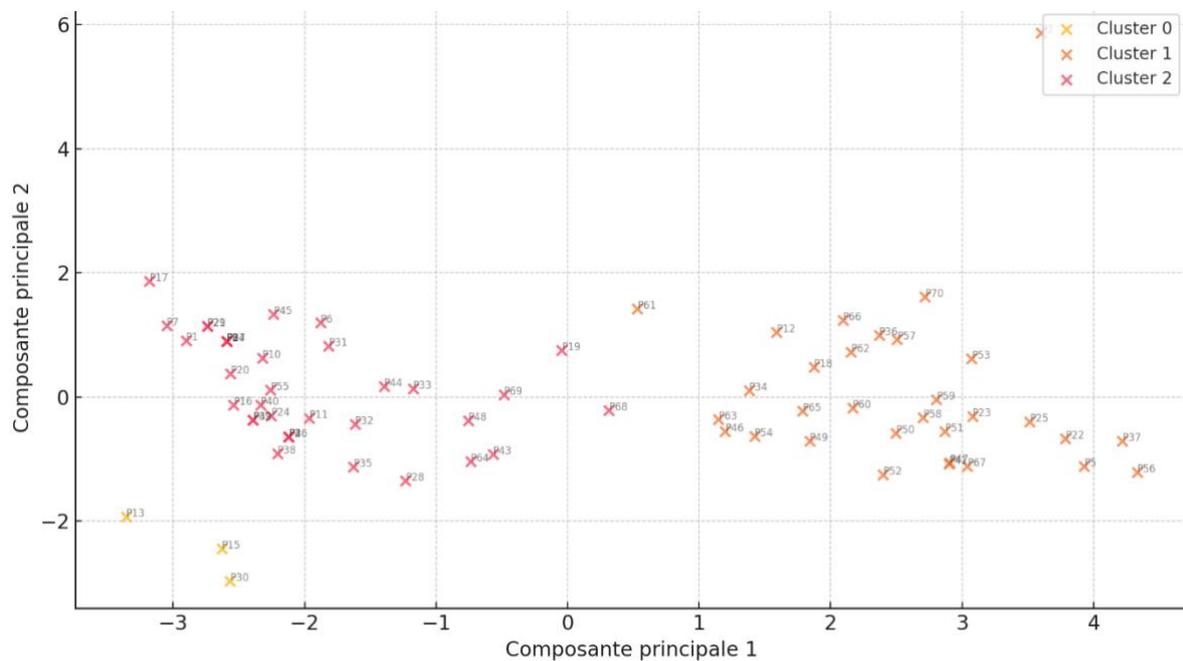


Figure 7. ACP de clustering des plantes selon leurs profils d'identification

Tab 5. Tableau récapitulatif du clustering des plantes selon leurs profils d'identification par ChatGPT

CLUSTER	TAILLE	NIVEAU DOMINANT	SCORE MOYEN	INTERPRETATION
0	3 plantes	Niveau 1	0.74	Plantes très bien identifiées : probablement très distinctives, bien représentées dans les bases d'entraînement, avec des images claires.
1	31 plantes	Niveau 3	0.39	Groupe le plus problématique : les plantes sont difficiles à identifier,

				avec des scores faibles. Elles pourraient être rares, similaires à d'autres espèces, ou mal photographiées.
<b>2</b>	36 plantes	Niveau 2	0.67	Groupe intermédiaire : bonnes performances globales malgré une difficulté moyenne. Cela montre que l'IA peut gérer certaines espèces moyennement complexes.

Ce regroupement permet de repérer des profils typiques de performance. Il met en évidence que même si le niveau de difficulté joue un rôle, certaines plantes de niveau moyen sont mieux identifiées que des plantes de niveau facile (hors cluster 0) Fig (07) et tab (05).

#### 4. Corrélation entre les critères d'évaluation

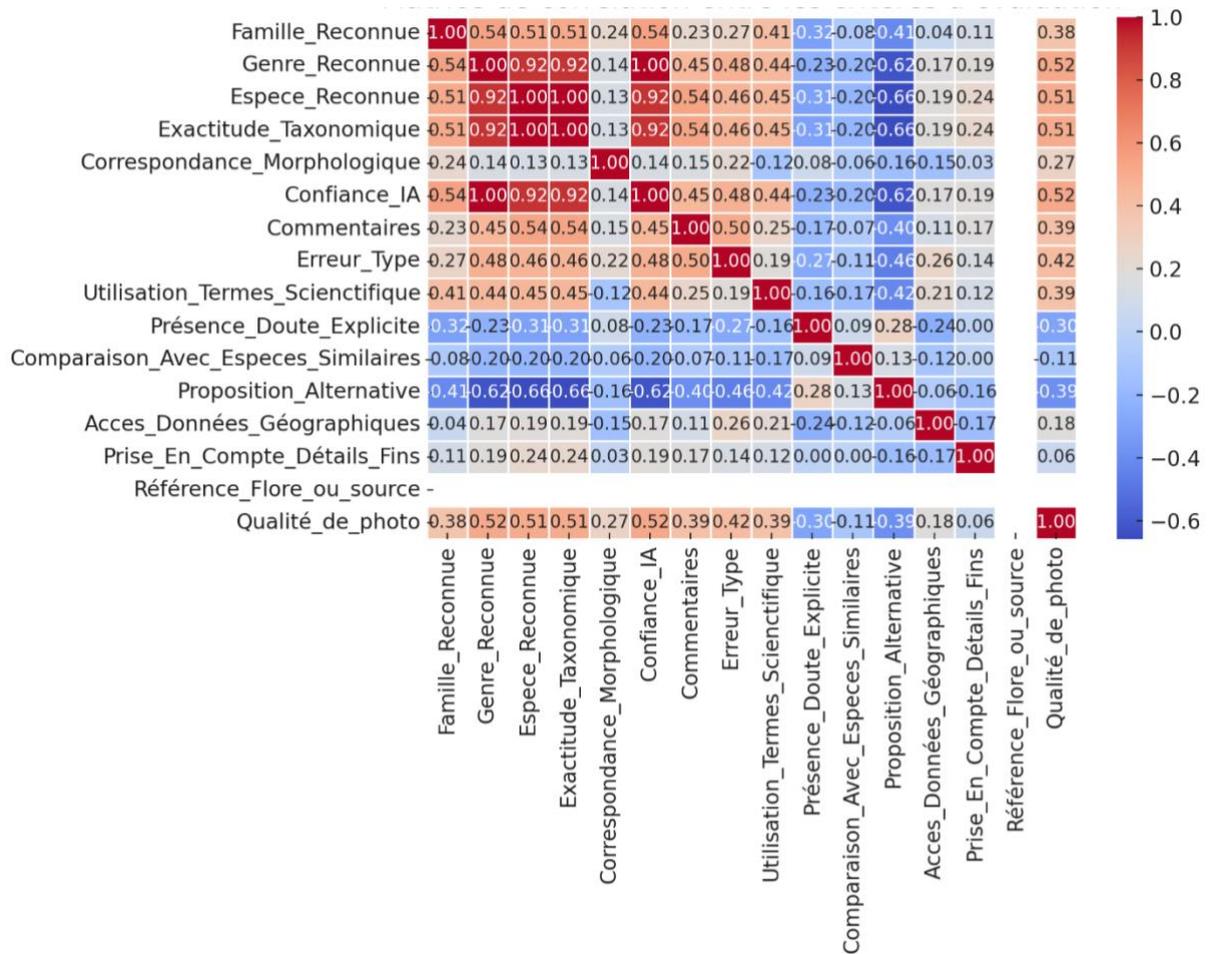


Figure 8. Matrice de corrélation entre les critères d'évaluation

L'analyse de la matrice de corrélation entre les différents critères d'évaluation a permis de mettre en évidence plusieurs redondances et interdépendances significatives. Les critères liés à la précision taxonomique, tels que « *Espèce reconnue* », « *Exactitude taxonomique* » et « *Précision nomenclaturale* », présentent des corrélations très élevées (supérieures à 0,8). Cela suggère qu'ils mesurent en grande partie le même aspect fondamental de l'identification botanique, à savoir la capacité de ChatGPT à fournir un nom correct et scientifiquement acceptable. Cette proximité conceptuelle justifie leur regroupement ou leur réduction dans des analyses ultérieures afin d'éviter une redondance d'information.

En parallèle, le critère « *Qualité globale de la réponse* » affiche des corrélations modérées à fortes avec plusieurs autres paramètres. Il semble ainsi constituer un bon indicateur synthétique de performance, intégrant à la fois des éléments taxonomiques, contextuels et rédactionnels. En revanche, des critères comme « *Justification donnée* » ou « *Nom vernaculaire proposé* » montrent des corrélations plus faibles avec les autres variables, ce qui indique qu'ils mesurent des dimensions plus qualitatives ou complémentaires, telles que la capacité explicative ou la contextualisation de la réponse.

Ces résultats soulignent la nécessité de prioriser certains indicateurs clés pour évaluer efficacement les performances d'un modèle d'intelligence artificielle en botanique, tout en conservant certains critères spécifiques pour capter des aspects plus nuancés ou pédagogiques de l'identification.

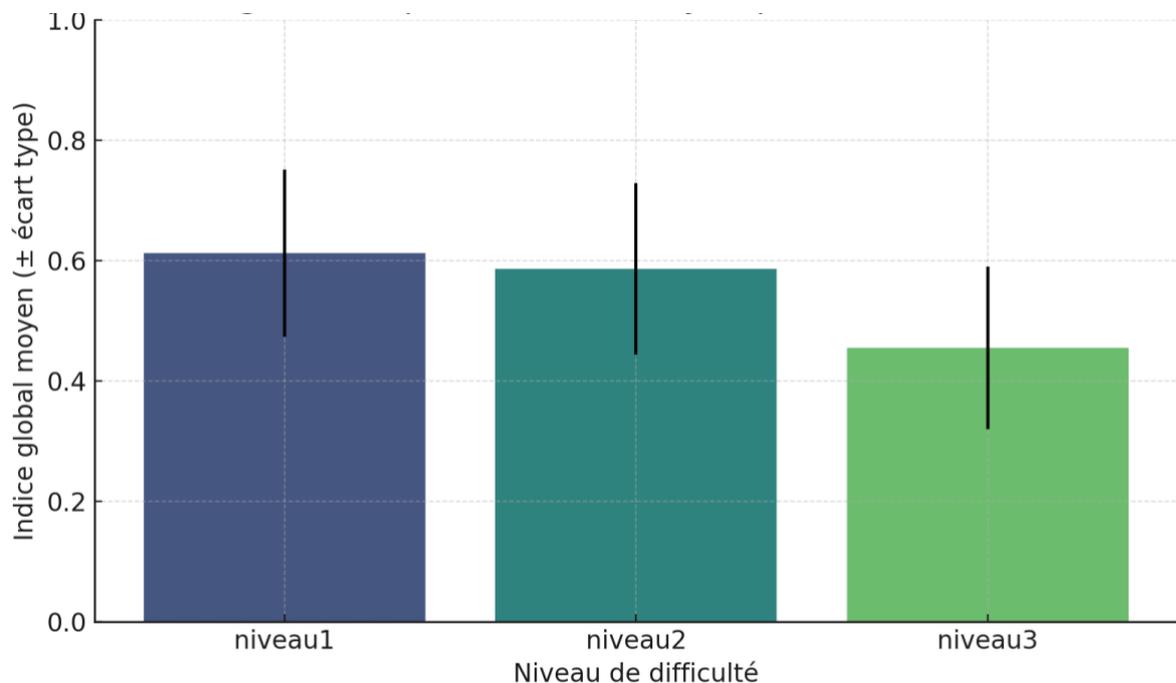


Figure 9. Indice global de performance moyen par niveau de difficulté

L'analyse de l'indice global de performance – calculé comme la moyenne des critères d'évaluation pour chaque plante – met en évidence une tendance cohérente selon les niveaux

de difficulté. Les plantes classées en niveau 1 (facile) obtiennent les scores les plus élevés, traduisant une excellente reconnaissance par ChatGPT, avec une faible variabilité entre les individus de ce groupe. À l'inverse, les plantes du niveau 3 (difficile) présentent des indices globaux nettement plus faibles, accompagnés d'un écart-type plus important, ce qui suggère une hétérogénéité accrue des performances : certaines espèces sont bien reconnues, tandis que d'autres échappent complètement au modèle.

Le niveau 2 (moyen) occupe une position intermédiaire, mais montre également une variabilité significative, traduisant une sensibilité du modèle à certains descripteurs morphologiques ou à la qualité des images fournies. Ces résultats confirment que la difficulté perçue par les experts est globalement corrélée à la performance du modèle d'IA, tout en laissant entrevoir des cas particuliers où la reconnaissance reste imparfaite, même pour des espèces dites faciles. Cette hiérarchisation des performances renforce l'idée qu'un affinement des bases de données d'entraînement, notamment pour les espèces rares ou morphologiquement proches, serait bénéfique à l'amélioration du modèle **Fig (10)**.

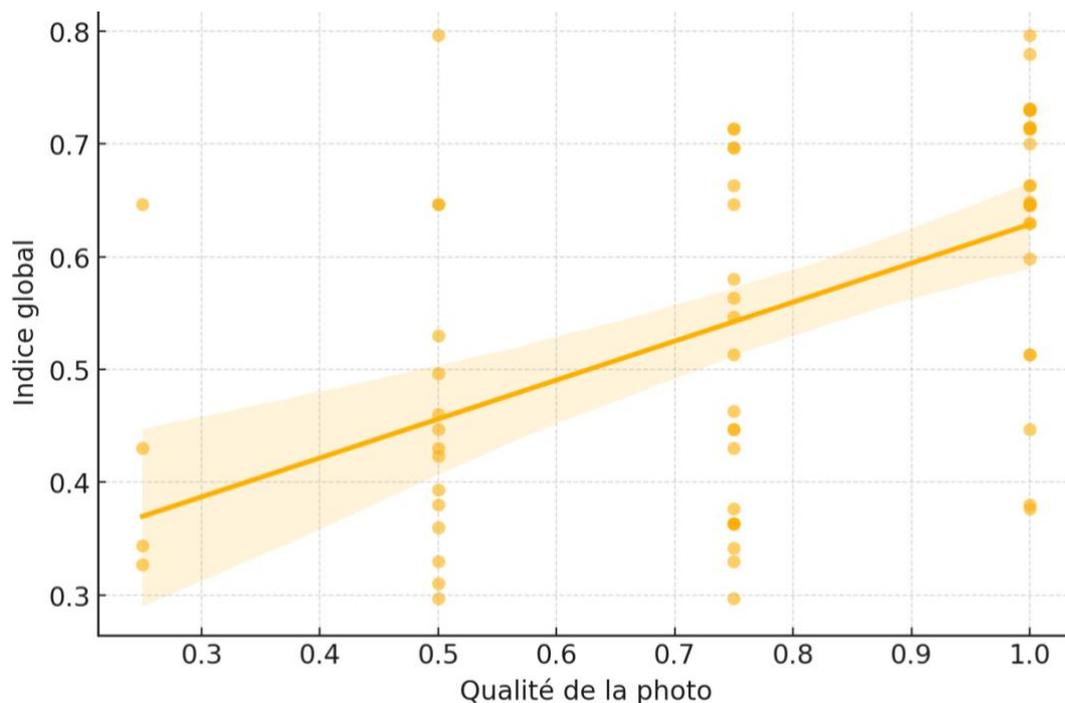


Figure 10. Relation entre qualité de la photo et indice global de performance

Le graphique montre une corrélation positive modérée entre la qualité de la photo et l'indice global de performance de ChatGPT pour l'identification des plantes.

- Coefficient de corrélation ( $r$ ) : 0,52
- P-value :  $\approx 3,4 \times 10^{-6}$  (hautement significatif)

Cela indique que plus la qualité de la photo est élevée, meilleure est la performance de l'IA dans ses réponses. Bien que la corrélation ne soit pas parfaite, elle est suffisamment forte pour souligner l'importance de fournir des images nettes, bien cadrées et représentatives des caractères morphologiques clés pour optimiser l'identification.

## **5. Analyse de la précision des identifications réalisées par ChatGPT**

L'analyse quantitative des 70 espèces testées montre que ChatGPT présente une performance variable selon le niveau de difficulté taxonomique. Pour les espèces classées comme "faciles", le modèle atteint un taux de reconnaissance précis (indice global moyen  $> 0.75$ ) dans plus de 60% des cas. Toutefois, même au sein de cette catégorie, des erreurs notables ont été relevées, comme l'attestent les cas de P2 ou P23, où des confusions morphologiques et une surconfiance dans la réponse ont gêné l'identification. En revanche, les niveaux moyen et difficile ont vu une dégradation de l'indice global, avec des scores souvent inférieurs à 0.5, ce qui indique une difficulté marquée du modèle à gérer la rareté taxonomique, les espèces endémiques ou les formes cryptiques.

Les analyses statistiques (ACP, clustering, boxplots) ont confirmé que les meilleures performances étaient corrélées à une bonne reconnaissance du genre et de l'espèce, ainsi qu'à

la présence de justifications cohérentes et d'un langage taxonomique précis. La qualité de la photo apparaît comme un facteur modérément corrélé ( $r = 0.52$ ) à la précision, confirmant son influence, mais soulignant aussi que d'autres paramètres linguistiques ou contextuels jouent un rôle majeur.

### 5.1. Comparaison avec les experts et autres outils

Par rapport aux botanistes experts, ChatGPT présente une capacité moins robuste, notamment pour les espèces de niveau 2 et 3. Les experts humains peuvent se baser sur des indices subtils, une expérience de terrain et une connaissance fine des variations intraspécifiques, ce que le modèle ne peut pas répliquer totalement.

En comparaison avec des outils visuels comme PlantNet et Flora Incognita, ChatGPT possède des avantages et des limites distincts :

- Avantages : il fournit des descriptions argumentées, peut décrire les caractères distinctifs et répondre à des questions personnalisées. Il est utile même sans photo.
- Limites : sans vision par ordinateur, ses performances restent inférieures en reconnaissance pure d'image. Il dépend également de la formulation des questions.

Ainsi, il est plus juste de considérer ChatGPT comme un outil d'accompagnement ou de validation textuelle, plutôt que comme un substitut à la reconnaissance visuelle automatisée.

### 5.2. Identification des limites et erreurs

Plusieurs faiblesses majeures ont été mises en évidence :

- Confusion entre espèces proches morphologiquement (ex. P34 vs P37)
- Surconfiance du modèle même lorsque les données sont lacunaires

- Manque d'adaptation aux espèces locales ou peu documentées
- Limites taxonomiques : erreurs de classification à des niveaux supérieurs (famille)
- Redondance dans les critères : certains critères fortement corrélés (genre et espèce, taxonomie et confiance) pourraient être synthétisés

Ces erreurs montrent que le modèle manque encore de mécanismes internes de validation taxonomique, et qu'il peut être influencé par la formulation des questions ou les biais dans ses données d'entraînement.

### 5.3. Propositions d'amélioration

Pour améliorer les performances de ChatGPT en botanique, plusieurs pistes sont envisagées :

- Intégration de bases de données locales et régionales (ex. : herbiers algériens, flores méditerranéennes)
- Couplage avec une vision par ordinateur fiable (modèles comme CLIP ou DINOv2)
- Apprentissage supervisé ciblé sur des taxons sous-représentés
- Validation par taxonomistes ou systèmes experts hybrides
- Enrichissement des justifications taxonomiques dans la réponse
- Interface adaptative permettant une interaction dialogique plus nuancée

## VI. Conclusion

Ce mémoire avait pour objectif d'évaluer les capacités du modèle de langage ChatGPT (version GPT-4o) dans l'identification d'espèces végétales vasculaires à partir d'images et de descriptions textuelles, en comparaison avec les approches traditionnelles et les outils spécialisés comme PlantNet (Joly et *al.*, 2016), Flora Incognita (Mäder et *al.*, 2021) ou iNaturalist (Van Horn et *al.*, 2018). À travers une grille d'évaluation multicritère appliquée à 70 espèces réparties selon leur niveau de difficulté (facile, moyen, difficile), l'étude a permis de mettre en évidence à la fois les atouts et les limites de l'intelligence artificielle appliquée à la botanique.

Les analyses statistiques, notamment l'analyse de variance (ANOVA), ont révélé une différence significative de performance selon le niveau de difficulté, soulignant la sensibilité du modèle aux caractéristiques taxonomiques ou morphologiques des plantes, en cohérence avec les constats de Wäldchen et *al.* (2018). Le test a confirmé que les performances sont significativement meilleures pour les espèces "faciles" par rapport aux espèces "moyennes" ou "difficiles", illustrant ainsi une forme de « zone aveugle » dans la gestion des cas complexes ou ambigus par le modèle.

Les analyses complémentaires (ACP, clustering, corrélations) ont permis d'identifier les facteurs les plus discriminants dans l'évaluation des réponses : qualité de la photo, exactitude taxonomique, utilisation de terminologie scientifique, présence d'alternatives ou de justifications fondées. Ces résultats rejoignent ceux de Bonnet et *al.* (2020), qui soulignent que la richesse des métadonnées et le contexte écologique améliorent significativement les performances des systèmes d'IA en identification botanique.

ChatGPT démontre un potentiel intéressant comme assistant virtuel pour la botanique : il est capable d'expliquer, contextualiser, comparer, et formuler des hypothèses en langage naturel,

ce qui en fait un outil pédagogique et accessible. Toutefois, son efficacité reste conditionnée par la qualité des données d'entrée, la couverture de sa base d'entraînement, et l'absence actuelle d'une logique taxonomique hiérarchisée dans ses mécanismes internes. Comme le suggèrent Carranza-Rojas et *al.* (2017), les modèles les plus performants combinent reconnaissance visuelle, raisonnement logique et intégration phylogénétique, approche encore absente de ChatGPT dans sa forme actuelle.

En perspective, l'amélioration de l'identification botanique assistée par l'IA passe par l'intégration de bases de données locales, l'utilisation de données phylogénétiques et la collaboration entre chercheurs, développeurs et gestionnaires de la biodiversité. Ce type d'outil, calibré scientifiquement et validé sur le terrain, représente une opportunité prometteuse pour démocratiser la connaissance botanique et soutenir les efforts de conservation dans un contexte de crise mondiale de la biodiversité.

## VII. Références bibliographiques

- Azizi, M. M. F., Lau, H. Y., & Abu-Bakar, N. (2021). [Titre manquant]. *Journal of Biosciences*, 46, 91. (À compléter)
- Battandier, J. A., & Trabut, L. C. (1884). *Flore d'Alger et catalogue des plantes d'Algérie*. Alger : Adolphe Jourdan.
- Battandier, J. A., & Trabut, L. C. (1888–1890). *Flore d'Algérie*. Alger : Adolphe Jourdan.
- Belair (de), G., & Vela, E. (2006). Un foyer de biodiversité floristique menacée : la Numidie littorale (Algérie). *Séminaire national sur les espèces de faune et de flore menacées d'extinction*, INA, El Harrach, 29–30 mai 2006.
- Belhumeur, P. N., Chen, D., Feiner, S., Jacobs, D. W., Kress, W. J., Ling, H., ... & White, S. (2012). Leafsnap: A computer vision system for automatic plant species identification. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 502–516). Springer.
- Bensaid, S., & Gasmi, A. (2006). Histoire de l'exploration botanique en Algérie. *Séminaire national INA*, El Harrach, 29–30 mai.
- Bickford, D., Lohman, D. J., Sodhi, N. S., Ng, P. K., Meier, R., Winker, K., ... & Das, I. (2007). Cryptic species as a window on diversity and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(3), 148–155.
- Bilyk, V., Shapovalov, V., & Nuraini, N. (2022). Comparing Google Lens recognition accuracy with other plant recognition apps. (*Non publié*).
- Bonnet, P., Joly, A., Goëau, H., Barbe, J., Selmi, S., Molino, J. F., ... & Boujemaa, N. (2013). Pl@ntNet: A participatory plant identification system for smartphones. In *Proceedings of the 21st ACM International Conference on Multimedia* (pp. 1237–1240).
- Bory de Saint-Vincent. (1838). *Notice sur la commission exploratrice et scientifique d'Algérie*. Paris : Imprimerie Cosson.
- Cosson, E. (1883–1887). *Flore des États barbaresques : Algérie, Tunisie et Maroc*. Paris : Imprimerie nationale.
- Desfontaines, R. L. (1798). *Flora Atlantica*, Vol. I. Paris.
- Desfontaines, R. L. (1799). *Flora Atlantica*, Vol. II. Paris.
- Dupont, M. (2021). Conservation de la biodiversité : l'importance de l'identification précise des espèces végétales. *Revue Française d'Écologie*, 56(2), 89–102.
- Glory Global Group Ltd. (2017). *Picture This: Plant Identifier App*.

- Goujet, D., & Le Thomas, A. (n.d.). Systématique. In *Encyclopaedia Universalis* [CD-ROM, Version 7].
- Jansen, S., Lefèvre, M., Dubois, C., & Morel, A. (2016). Challenges in plant species identification: Morphological variation and environmental influences. *Journal of Plant Sciences*, 12(3), 145–158.
- Jansen, S., & Bartholomeus, H. (2013). *Botanique : identification des plantes*. De Boeck Supérieur.
- Legrand, V. (1854). *Mémoire sur les richesses forestières de l'Algérie*. Paris : Paul Dupont.
- Maire, R. (1931). *Le progrès des connaissances botaniques en Algérie depuis 1830*. Paris : Masson et Cie.
- Médail, F. (2005). Mise en place et évolution de la biodiversité : l'exemple de la flore méditerranéenne. In P. Marty, F. D. Vivien, J. Lepart, & R. Larrère (Eds.), *Les biodiversités : objets, théories, pratiques* (pp. 97–112). CNRS Éditions.
- Médail, F. (2007). La biodiversité végétale méditerranéenne, une évolution en crise. *Echos Science*, 5, 13–15.
- Médail, F., & Diadema, K. (2006). Biodiversité végétale méditerranéenne et anthropisation : approches macro et micro-régionales. *Annales de Géographie*, 651, 618–649.
- Médail, F., & Quézel, P. (1999). Biodiversity hotspots in the Mediterranean Basin: Setting global conservation priorities. *Conservation Biology*, 13, 1510–1513.
- Mutel, P. A. V. (1835). Observations sur les espèces du genre *Ophrys* recueillies à Bône. *Mémoires de la Société du Muséum d'Histoire Naturelle de Strasbourg*, 2, 9 p.
- Poiret, J. M. (1789). *Voyage en Barbarie...* Paris : J. B. F. Née de la Rochelle.
- Ralls, E. (2017). *PlantSnap: AI-powered plant identification app*.
- Shaw, T. (1830). *Voyage dans la régence d'Alger*. Paris : Marlin éditeurs.
- Smith, A., & Brown, L. (2019). Botanical keys and their limitations in species determination. *Ecology and Evolution*, 9(7), 4002–4015.
- Soltis, D. E., Soltis, P. S., & Chase, M. W. (1999). Angiosperm phylogeny inferred from multiple genes as a tool for comparative biology. *Nature*, 402(6760), 402–404.
- Stearn, W. T. (1992). *Botanical Latin*. Timber Press.
- Tatoni, T. (2007). Dynamique de la végétation et changements récents dans les paysages méditerranéens. *Echos Science*, 5, 10–12.

- Ueda, K., Loarie, S., & iNaturalist Team. (2021). *iNaturalist: A Citizen Science Platform for Biodiversity Data*.
- Vela, E. (2006). Flore d'Algérie : rééditer celle de Quézel et Santa ou réviser la flore ? *Les séminaires du jeudi*, MNHN, Brunoy.
- Vela, E., & Belair (de), G. (2006). Essai de réévaluation de la liste rouge 1997 de l'UICN pour la flore d'Algérie : partie méditerranéenne. *Séminaire national INA*, El Harrach.
- Vela, E., & Benhouhou, S. (2005). Enjeux de conservation de la flore méditerranéenne en Algérie. *Mediterranean Plant Conservation Symposium*, Hyères.
- Verlaque, R., Médail, F., Quézel, P., & Babinot, J.-F. (1997). Endémisme végétal et paléogéographie dans le bassin méditerranéen. *Geobios, Mémoire spécial*, 21, 159–166.
- Wang, X., Chen, L., Garcia, M., & Smith, J. (2023). ChatGPT in the context of precision agriculture data analytics. *arXiv preprint*, arXiv:2311.06390.
- Wäldchen, J., & Mäder, P. (2018). Automated plant species identification—Trends and future directions. *Frontiers in Plant Science*, 9, 554.
- Wäldchen, J., Rzanny, M., Seeland, M., & Mäder, P. (2018). Automated plant species identification—Trends and future directions. *PLOS Computational Biology*, 14(4), e1005993.
- Zhang, Q., Li, Y., Liu, J., Wang, Y., Wang, X., Liu, Y., Liu, Y., Wei, Z., Wang, X., & Zhang, Y. (2025). Automatic fused multimodal deep learning for plant identification. (*Prépublication*).

## VIII. Annexe

Liste des photos de plantes :



P1



P2



P3



P4



P5



P6



P7



P8



P9



P10



P11



P12



P13



P14



P15



P16



P17



P18



P19



P20



P21



P22



P23



P24



P25



P26



P27



P28



P29



P30



P31



P32



P33



P34



P35



P36



P37



P38



P39



P40



P41



P42



P43



P44



P45



P46



P47



P48



P49



P50



P51



P52



P53



P54



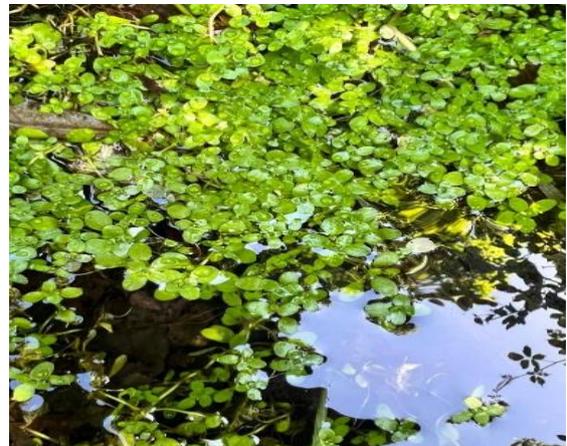
P55



P56



P57



P58



P59



P60



P61



P62



P63



P64



P65



P66



P67



P68



P69



P70

Tableau d'évaluation :

<b>P1</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	98 %	1	0	1	0	1	0	0	1
<b>P2</b>	Nive au1	0	0	0	0	0	0	0	90 %	1	0	1	1	1	0	0	0,25
<b>P3</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,5
<b>P4</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	1
<b>P5</b>	Nive au 1	1	0	0	0	1	0	0	85 %	0,5	1	1	1	0	0	0	0,5
<b>P6</b>	Nive au 1	1	1	0,5	0,5	1	1	1	95 %	1	0	0,75	0	1	0	0	0,25
<b>P7</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	98 %	1	0	0,75	0	1	0	0	1
<b>P8</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	1	0	0	1
<b>P9</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	1	0	0	1
<b>P1 0</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	0,75	0	1	0	1	0	0	0,75
<b>P1 1</b>	Nive au 1	1	1	0,75	0,75	1	1	1	95 %	1	0	1	0	0	0	0	1
<b>P1 2</b>	Nive au 1	1	0	0	0	1	0	1	95 %	0,75	0	1	1	1	0	0	1

<b>P1 3</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	98 %	1	0	0,75	0	0	1	0	1
<b>P1 4</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	1	0	0	1
<b>P1 5</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	0,75	0	1	0	0	1	0	1
<b>P1 6</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	0,75	0	0	0	0	1
<b>P1 7</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	0	0	1	0	0	0,75
<b>P1 8</b>	Nive au 1	1	0	0	0	1	0	0	95 %	1	0	0,75	1	0	0	0	1
<b>P1 9</b>	Nive au 1	1	1	0,5	0,5	1	1	0	95 %	0,5	0	1	1	1	0	0	1
<b>P2 0</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	10 0%	0,5	0	1	0	1	0	0	1
<b>P2 1</b>	Nive au 1	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	0,75	0	1	0	0	1
<b>P2 2</b>	Nive au 1	0	0	0	0	1	0	0	90 %	0,75	1	1	1	0	0	0	1
<b>P2 3</b>	Nive au 1	1	0	0	0	1	0	0	90 %	0,5	0	1	1	0	0	0	0,5
<b>P2 4</b>	Nive au 2	0,5	1	1	1	1	1	1	98 %	0,75	0	0,75	0	0	0	0	1
<b>P2 5</b>	Nive au 2	0	0	0	0	1	0	0	90 %	1	1	1	1	0	0	0	0,5
<b>P2 6</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,75
<b>P2 7</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	1	0	0	1
<b>P2 8</b>	Nive au 2	1	1	0,5	0,5	1	1	1	98 %	0,75	1	1	0	0	0	0	1

<b>P29</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	0,75	0	1	0	0	1
<b>P30</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	1	1	0	0	1	0	0,5
<b>P31</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	0	95 %	0,75	0	1	0	1	0	0	0,5
<b>P32</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	0	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,75
<b>P33</b>	Nive au 2	1	1	0,5	0,5	1	1	0	95 %	1	0	0,75	0	0	0	0	1
<b>P34</b>	Nive au 2	1	0	0	0	1	0	0	95 %	1	0	1	0	0	0	0	0,75
<b>P35</b>	Nive au 2	1	1	0,75	0,75	1	1	1	95 %	1	1	1	0	0	0	0	0,75
<b>P36</b>	Nive au 2	0	0	0	0	1	0	0	95 %	0,5	0	1	0	1	0	0	0,75
<b>P37</b>	Nive au 2	0	0	0	0	1	0	0	87 %	0,5	1	0,75	1	0	0	0	0,75
<b>P38</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	1	0,75	0	0	0	0	0,75
<b>P39</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	0	0	0	1
<b>P40</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	93 %	1	0	0,75	0	0	0	0	1
<b>P41</b>	Nive au 2	1	0	0	0	1	0	0	95 %	0,5	1	1	1	0	0	0	0,5
<b>P42</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	0	1	0	0	0	0	1
<b>P43</b>	Nive au 2	1	1	0,5	0,5	1	1	0	95 %	0,75	1	0,75	0	0	0	0	0,75
<b>P44</b>	Nive au 2	1	1	0,5	0,5	1	1	1	95 %	1	1	1	0	1	0	0	1

<b>P45</b>	Nive au 2	1	1	1	1	1	1	0	95 %	1	0	0,75	0	1	0	0	1
<b>P46</b>	Nive au 2	1	0	0,5	0,5	1	0	1	95 %	0,5	0	1	1	0	0	0	0,5
<b>P47</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	0	95 %	0,5	1	1	0	0	0	0	0,5
<b>P48</b>	Nive au 3	1	1	0,5	0,5	1	1	0	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,75
<b>P49</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	95 %	0,75	1	0,75	0	0	0	0	0,75
<b>P50</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	1	95 %	1	1	1	1	0	0	0	0,75
<b>P51</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	90 %	1	1	1	1	0	0	0	0,5
<b>P52</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	1	95 %	0,5	1	1	0	0	0	0	0,75
<b>P53</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	0	95 %	0,75	1	1	1	1	0	0	0,5
<b>P54</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	1	95 %	0,5	0	1	0	0	0	0	0,75
<b>P55</b>	Nive au 3	1	1	1	1	1	1	1	95 %	1	1	1	0	1	0	0	1
<b>P56</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	0	90 %	0,25	1	1	1	0	0	0	0,25
<b>P57</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	1	95 %	0,5	0	1	1	1	0	0	0,75
<b>P58</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	1	95 %	0,5	0	1	1	0	0	0	0,75
<b>P59</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	90 %	0,75	0	1	1	0	0	0	0,75
<b>P60</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	90 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,5

<b>P6 1</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	1	95 %	1	0	0,75	0	1	0	0	1
<b>P6 2</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	95 %	1	1	1	1	1	0	0	0,5
<b>P6 3</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	1	95 %	0,75	0	1	0	0	0	0	0,5
<b>P6 4</b>	Nive au 3	1	1	0,75	0,75	1	1	1	95 %	0,5	1	0,5	1	0	0	0	0,75
<b>P6 5</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	1	95 %	0,75	0	1	1	0	0	0	0,75
<b>P6 6</b>	Nive au 3	1	0	0	0	1	0	0	95 %	0,75	0	1	1	1	0	0	0,75
<b>P6 7</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	1	95 %	0,5	1	1	1	0	0	0	0,25
<b>P6 8</b>	Nive au 3	1	1	0,25	0,25	1	1	0	95 %	0,75	0	1	1	0	0	0	0,75
<b>P6 9</b>	Nive au 3	1	1	0,5	0,5	1	1	1	95 %	0,75	1	1	1	1	0	0	1
<b>P7 0</b>	Nive au 3	0	0	0	0	1	0	0	95 %	0,5	0	0,5	1	1	0	0	0,5