

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Mohamed Khider – BISKRA  
Faculté des Sciences Exactes, des Sciences de la Nature et de la Vie  
Département d'informatique



N° d'ordre : ...../M2/2023

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de master académique en Informatique  
Mémoire inscrit dans le cadre d'un diplôme universitaire Start-up/projet Innovant.

Parcours : SIOD



## Une approche intelligente pour la collecte et l'hybridation des semences

Par :

KAZAR Maye Hanine

Encadrent: Pr. REZEG Khaled

Co-encadrent: Dr. BEDJAOUI H



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## *Remerciement*

Je souhaite exprimer ma gratitude envers Dieu pour Sa guidance et Sa protection tout au long de ce projet.

Je tiens à remercier mes directeurs de projet, le professeur REZEG Khaled et madame Dr. BEDJAOUI Hanane pour leur expertise, leurs conseils précieux et leur soutien constant.

Enfin, un grand merci à ma famille pour leur amour inconditionnel, leur patience et leur soutien indéfectible. Leur présence et leur encouragement ont été d'une valeur inestimable pour moi.

Je suis reconnaissant envers chacun d'entre vous pour votre contribution et votre soutien, qui ont été essentiels à la réussite de ce projet.

## **Dédicace**

*Je dédie ce projet de fin d'études à ma mère, un pilier de force et d'amour dans ma vie. Tu as toujours cru en moi, m'encourageant à poursuivre mes rêves et à surmonter tous les obstacles. Ta patience, ton soutien inconditionnel et ton dévouement ont été une source d'inspiration pour moi.*

*Je souhaite également adresser mes sincères remerciements à mon père, dont le soutien et les encouragements ont été précieux tout au long de cette aventure.*

*À mes sœurs, Wani, Ami, Rancu, Missou et mes frères, mes amies, et camarades, ma chère amie Lilia, je dédie ce projet avec une gratitude particulière. Votre soutien constant, votre amour et votre présence ont été une source d'inspiration pour moi. Vos encouragements, votre soutien ont été des éléments clés de ma réussite. Je suis reconnaissant d'avoir des sœurs et des frères aussi merveilleux, et j'apprécie profondément tout ce que vous avez fait pour moi.*

*Je dédie également ce projet à moi-même, en reconnaissance de mon dévouement, de ma persévérance et de ma détermination à atteindre mes objectifs académiques. Ce projet représente une étape importante de ma vie, marquant ma croissance personnelle et mes compétences acquises. Je suis fier de mes accomplissements et des compétences que j'ai développées tout au long de ce projet.*

*Que cette dédicace soit un témoignage de ma profonde gratitude envers vous tous. Votre amour, votre soutien et votre confiance en moi ont été les moteurs qui m'ont permis d'accomplir ce projet avec succès. Vous avez contribué à façonner mon avenir et je suis reconnaissant de vous avoir à mes côtés.*

# Table des matières

<i>Remerciement</i> .....	i
<i>Dédicace</i> .....	iii
Table des matières .....	iv
Table des Figures .....	v
Table des Tableaux.....	vi
Résumé.....	vii
Abstract .....	viii
ملخص .....	ix
Introduction générale .....	1
1.1. Introduction.....	4
1.2. Agriculture .....	4
1.2.1. Agriculture en Algérie .....	5
1.2.2. Défis de l'agriculture en Algérie .....	6
1.3. Semences .....	6
1.3.1. Semences et les variétés locales en Algérie.....	7
1.3.2. Évaluation banque semences en Algérie .....	8
1.4. Hybridation de semences.....	9
1.4.1. Aperçu sur les travaux d'hybridation en Algérie.....	10
1.5. Diversité des noms de semences.....	11
1.6. Conclusion .....	13
2.1. Introduction.....	15
2.2. Agriculture intelligente .....	15
2.2.1. Outils exploités .....	16
2.2.2. Agriculture intelligente pour les semences.....	16
2.3. Collecte de données des semences en agriculture.....	16
2.3.1. Comment l'intelligence artificielle peut aider dans la collecte de données des semences ..	17
2.3.2. Concepts liés à la diversité des noms des semences .....	18
2.4. Paradigme de l'ontologie (web sémantique).....	19

2.4.1.	Ontologies.....	20
2.4.2.	Ontologie informatique.....	21
2.5.	Hybridation virtuelle des semences.....	22
2.5.1.	Digital twin.....	23
2.5.2.	Applications du digital twin et l'ontologie dans l'agriculture.....	25
2.6.	Conclusion.....	27
3.1.	Introduction.....	29
3.2.	Etude de cas.....	29
3.2.1.	Semences et variétés de piment.....	29
3.2.2.	Données fournie.....	35
3.3.	Distance de similarité.....	35
3.3.1	Distance de similarité entre deux semences.....	36
3.3.2.	Comment la distance de similarités entre les semences peut aider les agriculteurs et les experts.....	36
3.3.3.	Algorithme de distance de similarité utilisé.....	37
3.3.4.	Distance de similarité dans une ontologie.....	38
3.4.	Diagramme de l'ontologie.....	39
3.5.	Hybridation entre les semences.....	40
3.5.1.	Mécanisme du digital twin dans l'hybridation de semences.....	40
3.5.2.	Explication détaillée du code et du fonctionnement de l'hybridation.....	40
3.5.3.	Résultats de l'hybridation.....	42
3.5.4.	Analyse descriptive.....	42
3.6.	Réalisation.....	44
3.6.1.	Stockage et manipulation des données.....	45
3.6.2.	Plateforme.....	47
3.7.	Conclusion.....	57
	Conclusion générale.....	58
	Bibliographie.....	60

## Table des Figures

Figure 1: les racines du piment (Badache, 2015).....	31
Figure 2: Tige du piment [28].....	32
Figure 3: fleur du piment [28].....	32
Figure 4: Fruit de piment [28].....	33
Figure 5: Graine du piment [28].....	33
Figure 6: Types de variétés. Classe A : Carré (Source Laure, 1991).....	34
Figure 7: Types de variétés. Classe B : Rectangulaire (Source Laure, 1991). ....	34
Figure 8: Types de variétés. Classe C : Triangulaire (Laure Gry, 1991).....	34
Figure 9: Le diagramme de l'ontologie .....	39
Figure 10: Analyse descriptive.....	42
Figure 11: Base de données Apex. ....	46
Figure 12: Représentation statique des données. ....	46
Figure 13: Diagramme de structure de plateforme.....	48
Figure 14: Diagramme de cas d'utilisation.....	48
Figure 15: Page d'accueil.....	51
Figure 16: Interface de la plateforme. ....	52
Figure 17: à propos de la plateforme.....	52
Figure 18: Service de la plateforme .....	53
Figure 19: Interface de la plateforme. ....	53
Figure 20: Page de calcul de distance de similarité avec les 12 paramètres qu'on a.....	54
Figure 21: Page d'hybridation entre les semences. ....	54
Figure 22: Résultat de l'hybridation. ....	55
Figure 23: Représentation statique du résultat. ....	56

## **Table des Tableaux**

Tableau 1: Utilisation du sol en Algérie [46].....	6
Tableau 2 : Caractéristiques des principales espèces cultivées [28]......	30
Tableau 3: Cycle végétatif de la culture de piment [28]......	31
Tableau 4: Croisement fait sur un ensemble de semence.....	42

## **Résumé**

L'agriculture intelligente joue un rôle crucial dans la résolution des défis auxquels est confronté le secteur agricole, en particulier en ce qui concerne la collecte et l'hybridation des semences. Dans ce projet, nous abordons ces problématiques en proposant des solutions innovantes pour optimiser la gestion des semences et améliorer la productivité agricole.

Au cours de notre travail de recherche, nous avons examiné les défis auxquels font face les agriculteurs dans la production de semences, tant au niveau mondial qu'en Algérie. Nous avons également exploré les possibilités offertes par l'agriculture intelligente pour relever ces défis de manière efficace et durable.

Dans le cadre de ce projet, nous avons développé une approche basée sur la collecte de données, l'utilisation de l'ontologie et l'hybridation virtuelle des semences. Nous avons mis en place une plateforme qui facilite la gestion des semences en proposant des fonctionnalités telles que la recherche de similarité entre les variétés, l'identification des noms de semences et la possibilité d'effectuer des croisements virtuels. De plus, nous avons développé une base de données dédiée aux semences et intégré ces éléments dans la plateforme que nous avons nommée FALAHDZ.

L'objectif principal de ce projet est d'améliorer la productivité agricole, de garantir la disponibilité de semences de qualité et de favoriser la durabilité des systèmes alimentaires. En offrant des outils et des services adaptés aux agriculteurs et aux experts, la plateforme FALAHDZ vise à soutenir la prise de décision éclairée dans le domaine de la collecte et de l'hybridation des semences. Ce projet met en évidence l'importance de l'agriculture intelligente dans la résolution des problèmes liés aux semences.

## **Abstract**

Smart agriculture plays a crucial role in addressing the challenges faced by the agricultural sector, particularly regarding seed collection and hybridization. In this project, we address these issues by proposing innovative solutions to optimize seed management and enhance agricultural productivity.

During our research work, we examined the challenges faced by farmers in seed production, both globally and in Algeria. We also explored the possibilities offered by smart agriculture to effectively and sustainably tackle these challenges.

As part of this project, we developed an approach based on data collection, ontology utilization, and virtual seed hybridization. We established a platform that facilitates seed management by offering features such as similarity search among varieties, seed name identification, and the ability to perform virtual crosses. Additionally, we developed a dedicated seed database and integrated these elements into the platform we named FALAHDZ.

The main objective of this project is to improve agricultural productivity, ensure the availability of high-quality seeds, and promote the sustainability of food systems. By providing tailored tools and services for farmers and experts, the FALAHDZ platform aims to support informed decision-making in the field of seed collection and hybridization. This project highlights the significance of smart agriculture in solving seed-related problems.

## ملخص

الزراعة الذكية تلعب دوراً حاسماً في حل التحديات التي تواجه قطاع الزراعة، خاصة فيما يتعلق بجمع وتهجين البذور. في هذا المشروع، نناقش هذه المسائل من خلال تقديم حلول مبتكرة لتحسين إدارة البذور وزيادة إنتاجية الزراعة.

في سياق بحثنا، استعرضنا التحديات التي يواجهها المزارعون في إنتاج البذور على المستوى العالمي وفي الجزائر. كما استكشفنا الفرص التي توفرها الزراعة الذكية لمواجهة هذه التحديات بطريقة فعالة ومستدامة.

ضمن هذا المشروع، قمنا بتطوير نهج يعتمد على جمع البيانات واستخدام المنطق والتهجين الافتراضي للبذور. قمنا بإنشاء منصة تسهل إدارة البذور من خلال توفير ميزات مثل البحث عن التشابه بين الأصناف، وتحديد أسماء البذور، وإمكانية إجراء تهجين افتراضي. بالإضافة إلى ذلك، قمنا بتطوير قاعدة بيانات مخصصة للبذور ودمج هذه العناصر في المنصة التي أطلقنا عليها اسم "فلاح دز".

الهدف الرئيسي لهذا المشروع هو تحسين إنتاجية الزراعة، وضمان توافر بذور عالية الجودة، وتعزيز استدامة نظم الغذاء. من خلال توفير أدوات وخدمات ملائمة للمزارعين والخبراء، تهدف منصة "فلاح دز" إلى دعم اتخاذ القرارات المدروسة في مجال جمع وتهجين البذور. يسلط هذا المشروع الضوء على أهمية الزراعة الذكية في حل مشاكل البذور.

**Introduction**

**Générale**

## Introduction générale

---

### **Introduction générale**

L'agriculture occupe une place primordiale dans de nombreux pays, et l'Algérie ne fait pas exception. En effet, ce secteur revêt une importance économique et sociale considérable, fournissant des emplois et contribuant à la sécurité alimentaire du pays. Cependant, l'agriculture en Algérie, tout comme dans de nombreux autres pays, est confrontée à une série de défis complexes.

L'un de ces défis découle des répercussions des guerres récentes, notamment la guerre en Ukraine, qui a perturbé les chaînes d'approvisionnement alimentaire à l'échelle mondiale. Ces conflits ont mis en évidence l'importance de garantir une production agricole durable et fiable pour répondre aux besoins croissants de la population .

En Algérie, l'agriculture joue un rôle crucial dans l'économie nationale et la sécurité alimentaire. Cependant, le pays est confronté à des problèmes tels que la diminution de la biodiversité, l'épuisement des sols et les changements climatiques, qui menacent la productivité agricole à long terme [47]. De plus, le manque de semences de qualité et adaptées aux conditions locales constitue un obstacle majeur pour les agriculteurs algériens .

Pour faire face à ces défis, une approche innovante est nécessaire. L'utilisation de l'intelligence artificielle et de technologies numériques telles que l'agriculture intelligente et l'hybridation virtuelle peut offrir des solutions prometteuses. Grâce à ces techniques, il est possible d'optimiser et d'automatiser la collecte et l'hybridation des semences, améliorant ainsi l'efficacité de la production et réduisant les coûts.

L'agriculture intelligente permet également de prévoir et de gérer de manière proactive les risques environnementaux, tels que les changements climatiques et la raréfaction de l'eau. En utilisant des modèles de jumeaux numériques, qui sont des représentations virtuelles de systèmes agricoles réels, il devient possible de simuler et de tester différentes stratégies agricoles, minimisant ainsi les impacts négatifs sur l'environnement [10].

L'utilisation de l'intelligence artificielle, de l'agriculture intelligente et de l'hybridation virtuelle peut apporter des solutions efficaces pour améliorer la collecte et l'hybridation des semences tout en répondant aux défis environnementaux et éthiques auxquels est confrontée l'agriculture moderne, y compris en Algérie. En adoptant ces approches innovantes, l'Algérie peut renforcer son secteur agricole, augmenter la productivité et contribuer à la sécurité alimentaire à long terme.

La question qui se pose est la suivante : comment une approche intelligente basée sur l'utilisation de l'intelligence artificielle, de l'agriculture intelligente et de l'hybridation virtuelle peut-elle faciliter de manière efficace et responsable la collecte et l'hybridation des semences,

## Introduction générale

---

tout en répondant aux défis environnementaux et éthiques auxquels est confrontée l'agriculture moderne, y compris en Algérie , Et comment l'Algérie peut-elle bénéficier de cette approche pour améliorer son secteur agricole et relever les problèmes liés aux semences ? La solution proposée consiste à créer une startup sous la forme d'une plateforme en ligne qui regroupe les solutions développées pour contribuer et aider les agriculteurs et les experts à améliorer le rendement des semences.

Ce mémoire est organisé de la manière suivante :

### **1. État de l'art :**

- Chapitre 1 : Présentation générale de l'agriculture, des semences, de l'hybridation et de la diversité des noms, en mettant l'accent sur les défis auxquels ils sont confrontés.
- Chapitre 2 : Présentation des solutions dans ces domaines, notamment l'agriculture intelligente et ses approches, l'ontologie et le digital twin.

### **2. Présentation de notre travail :**

- Chapitre 3 : Regroupement de notre travail et des résultats obtenus. Cette section met en avant les solutions développées, y compris l'architecture de la plateforme en ligne et les fonctionnalités proposées.

Ce mémoire explore les défis de la gestion des semences et propose une approche basée sur l'agriculture intelligente pour les surmonter. La création d'une startup avec une plateforme en ligne permet de rassembler ces solutions et de les mettre à disposition des agriculteurs et des experts, afin d'améliorer le rendement des semences.

# **Chapitre 01**

# **Agriculture et semences**

### **1.1.Introduction**

L'agriculture a joué un rôle essentiel dans le développement économique et social de nombreux pays, y compris l'Algérie. Ce secteur clé de l'économie algérienne a évolué au fil des ans, passant d'une agriculture de subsistance à une agriculture moderne et commerciale, avec une attention croissante portée aux semences de qualité supérieure. Les semences constituent un élément vital de l'agriculture, car elles déterminent la qualité et la quantité des cultures. En Algérie, l'utilisation de semences de qualité supérieure a conduit à une augmentation significative de la productivité agricole et a contribué à garantir la sécurité alimentaire. Dans ce chapitre, nous allons explorer l'importance des semences dans l'agriculture algérienne, l'hybridation des semences, la diversité des noms de semences, ainsi que les efforts en cours pour améliorer l'utilisation des semences de qualité supérieure dans notre pays.

### **1.2.Agriculture**

L'agriculture est l'une des activités les plus fondamentales et anciennes de l'humanité. Elle est essentielle pour nourrir les populations du monde entier et pour maintenir l'équilibre écologique de la planète. L'importance de l'agriculture est donc incontestable et son rôle est crucial pour l'avenir de notre société.

L'agriculture est importante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, elle permet de produire des aliments essentiels pour la vie humaine. Les cultures agricoles fournissent des fruits, des légumes, des céréales, des viandes et des produits laitiers qui sont nécessaires pour une alimentation saine et équilibrée. Sans l'agriculture, il serait impossible de nourrir les milliards de personnes qui peuplent notre planète.

En outre, l'agriculture est un secteur économique crucial. Elle fournit des emplois à des millions de personnes dans le monde entier, que ce soit dans les grandes exploitations agricoles ou dans les petites exploitations familiales. L'agriculture est également un moteur de développement économique pour de nombreux pays en développement, qui dépendent souvent de l'exportation de produits agricoles pour leur croissance économique [1].

Enfin, l'agriculture est importante pour l'environnement. Les pratiques agricoles durables peuvent aider à préserver les sols, les eaux et la biodiversité, tout en réduisant les émissions de gaz à effet de serre. Les agriculteurs peuvent jouer un rôle clé dans la lutte contre le changement climatique en adoptant des pratiques agricoles durables et en utilisant des technologies respectueuses de l'environnement.

Cependant, l'agriculture est confrontée à de nombreux défis, notamment la pression croissante sur les terres agricoles, la concurrence pour les ressources en eau et la dégradation des sols. Pour relever ces défis, il est essentiel que les gouvernements, les agriculteurs et les communautés travaillent ensemble pour promouvoir une agriculture durable et résiliente [1][2].

### **1.2.1. Agriculture en Algérie**

L'agriculture est un secteur économique crucial pour l'Algérie, jouant un rôle essentiel dans le développement du pays. C'est un pilier important de l'économie nationale, contribuant à la sécurité alimentaire du pays et créant des emplois dans les zones rurales [54].

En Algérie, on trouve une grande variété de cultures et de techniques de production, allant de l'agriculture traditionnelle à l'agriculture moderne et intensive. Les principales cultures comprennent les céréales, les légumes, les fruits, les olives et les dattes.

Cependant, l'agriculture en Algérie rencontre des difficultés, notamment en raison du manque d'investissements dans l'infrastructure agricole, de la concurrence des produits importés et des problèmes liés à la sécheresse dans certaines régions. Des efforts sont déployés pour remédier à ces difficultés, notamment en encourageant l'utilisation de techniques agricoles modernes et durables [3].

L'agriculture est un secteur crucial pour l'Algérie car elle contribue à la sécurité alimentaire, à la création d'emplois et à la croissance économique. Selon les données de la FAO, elle représente environ 11% du PIB de l'Algérie et emploie plus de 14% de la population active du pays [54].

Il est important de continuer à investir dans l'agriculture en Algérie afin de soutenir les agriculteurs locaux et de promouvoir le développement durable du secteur. Cela contribuera à améliorer la sécurité alimentaire et à stimuler la croissance économique.

Comme on peut l'observer dans le tableau suivant, l'Algérie utilise différentes catégories de sols, notamment la surface agricole utile et les autres terres, dans le cadre de ses activités agricoles.

Occupation du sol			Superficie en milliers d'ha
<b>Surface agricole utile</b>	Terres labourables	Cultures annuelles (céréales, fourrages, maraîchages, etc.)	4 064
	Cultures permanentes	Terres au repos (jachères)	3 404
		Plantations fruitières	810
		Vignobles	98
		Prairies naturelles	25
	Total superficie agricole utile		8 458*
<b>Autres terres</b>	Pacages et parcours		32 776
	Terres alfatières		2 793
	Terres forestières		4 700
<b>Total des terres utilisées par l'agriculture</b>			<b>48 673</b>
<b>Terres improductives non affectées à l'agriculture</b>			<b>186 500</b>
<b>Superficie totale du territoire national</b>			<b>238 174</b>

Tableau 1: Utilisation du sol en Algérie [46].

### 1.2.2. Défis de l'agriculture en Algérie

En Algérie, le secteur agricole fait face à plusieurs défis majeurs tels que la gestion efficace de l'eau, le manque d'investissements dans l'infrastructure agricole et le problème des semences locales de qualité. La rareté des précipitations et la gestion inadéquate de l'eau entraînent des pertes de récoltes et des pénuries alimentaires. Le manque d'investissements limite l'accès des agriculteurs aux marchés et aux services de soutien, tandis que le manque de semences locales de qualité entrave leur capacité à obtenir des rendements optimaux. Pour surmonter ces défis, des mesures telles que l'adoption de techniques d'irrigation efficaces, l'augmentation des investissements dans l'infrastructure agricole et le renforcement de la production de semences locales de qualité sont nécessaires [47].

### 1.3. Semences

Les semences sont un élément clé de l'agriculture et de la sécurité alimentaire mondiale. Elles sont utilisées pour produire des cultures qui nourrissent les humains et les animaux, fournissent des matériaux de construction et des fibres, et contribuent à la biodiversité. La diversité des noms de semences reflète la richesse de la diversité génétique des plantes cultivées.

L'importance des semences réside dans leur capacité à produire des cultures de haute qualité et de grande valeur. Les semences de qualité supérieure peuvent augmenter la productivité, la résilience et la qualité des cultures, tout en réduisant les coûts de production. Les semences sont également un élément crucial de l'adaptation des cultures aux changements environnementaux, tels que le changement climatique, les sécheresses et les maladies [4].

La diversité des noms de semences est la manifestation de la diversité génétique des plantes cultivées. Les plantes cultivées peuvent être divisées en plusieurs groupes, chacun ayant des caractéristiques différentes en termes de résistance aux maladies, de rendement et de qualité. Les noms de semences reflètent cette diversité de plantes cultivées, et ils peuvent varier considérablement selon les régions, les cultures et les langues.

Cependant, cette diversité est menacée par la perte de diversité génétique des plantes cultivées, l'homogénéisation des cultures et la domination des grandes entreprises semencières. Pour protéger cette diversité, il est important de promouvoir l'utilisation de semences locales et de variétés traditionnelles, qui sont mieux adaptées aux conditions locales et qui présentent une plus grande résilience.

En conclusion, les semences sont un élément clé de l'agriculture et de la sécurité alimentaire mondiale, et leur diversité reflète la richesse de la diversité génétique des plantes cultivées. Il est important de protéger cette diversité et de promouvoir l'utilisation de semences locales et de variétés traditionnelles pour assurer la durabilité et la résilience de notre système alimentaire mondial [4].

### **1.3.1. Semences et les variétés locales en Algérie**

Les semences locales jouent un rôle essentiel dans l'agriculture en Algérie. Elles sont adaptées aux conditions spécifiques du pays, notamment au climat, au sol et aux pratiques agricoles traditionnelles. Les agriculteurs algériens ont cultivé et préservé ces variétés locales depuis des générations, en sélectionnant les plantes les plus adaptées à leur environnement.

Les semences locales en Algérie sont souvent le résultat d'une adaptation continue aux conditions locales. Elles possèdent des caractéristiques uniques, telles que la résistance aux maladies et aux parasites, la tolérance à la sécheresse ou aux températures élevées, ainsi que des qualités gustatives et nutritionnelles spécifiques. Ces caractéristiques sont le fruit de l'interaction entre les plantes et leur environnement, et sont transmises d'une génération à l'autre grâce aux semences locales [5].

Cependant, ces dernières années, la disponibilité et l'utilisation des semences locales ont diminué en raison de divers facteurs tels que l'adoption croissante de variétés commerciales et l'introduction d'hybrides à haut rendement. Cette évolution a conduit à une perte de diversité génétique et à une dépendance accrue envers les semences commerciales.

La préservation et la valorisation des semences locales en Algérie sont essentielles pour maintenir la diversité génétique des cultures et préserver les connaissances traditionnelles associées. Les variétés locales peuvent contribuer à la résilience agricole en fournissant des

options adaptées aux conditions changeantes, telles que l'augmentation des températures, la sécheresse et les nouvelles pressions biotiques [48].

Il est important de sensibiliser les agriculteurs, les décideurs politiques et le grand public à l'importance des semences locales et à la nécessité de les préserver. Les efforts de conservation des semences locales peuvent être renforcés par des partenariats entre les organisations gouvernementales, les institutions de recherche, les agriculteurs et les communautés locales.

Les semences locales jouent un rôle vital dans l'agriculture en Algérie. Elles représentent un patrimoine génétique unique, adapté aux conditions locales et aux pratiques agricoles traditionnelles. La préservation, la valorisation et l'utilisation des semences locales sont essentielles pour maintenir la diversité génétique des cultures et garantir une agriculture durable et résiliente face aux défis futurs [5][6].

### **1.3.2. Évaluation banque semences en Algérie**

En Algérie, une banque de semences revêt une importance particulière pour le développement agricole et la préservation de la diversité génétique des plantes adaptées aux conditions locales. Dans un pays où l'agriculture joue un rôle clé dans l'économie et la sécurité alimentaire, la conservation des semences est essentielle pour faire face aux défis agricoles et environnementaux spécifiques à la région [49].

Une banque de semences en Algérie permettrait de préserver les variétés de plantes traditionnelles et locales qui sont bien adaptées aux conditions climatiques, au sol et aux pratiques agricoles spécifiques du pays. Ces variétés peuvent être résistantes aux maladies et aux ravageurs locaux, et sont souvent mieux adaptées aux fluctuations climatiques, telles que les sécheresses ou les fortes chaleurs [49].

La disponibilité de semences diversifiées dans une banque de semences en Algérie serait également bénéfique pour la recherche agricole et le développement de nouvelles variétés. Les scientifiques et les agriculteurs pourraient accéder à une gamme de ressources génétiques pour développer des cultures plus résistantes aux maladies, plus productives et mieux adaptées aux conditions changeantes.

Par ailleurs, une banque de semences en Algérie permettrait de préserver les savoirs traditionnels et les pratiques agricoles locales, qui sont souvent transmis de génération en génération. Elle contribuerait à maintenir la diversité culturelle du pays, en conservant les variétés de plantes uniques et les méthodes de culture spécifiques à certaines régions.

Enfin, une banque de semences en Algérie jouerait un rôle crucial dans la sécurité alimentaire du pays. En conservant une diversité de semences, il serait possible de faire face

aux aléas climatiques, aux maladies ou aux crises alimentaires, en ayant à disposition des semences adaptées et prêtes à être cultivées pour assurer une production alimentaire suffisante et diversifiée.

En conclusion, l'établissement d'une banque de semences en Algérie est d'une importance capitale pour la préservation de la diversité génétique des plantes, le développement agricole durable, la conservation des savoirs traditionnels et la sécurité alimentaire du pays. C'est un investissement stratégique pour assurer la résilience du secteur agricole face aux défis actuels et futurs [49].

#### **1.4. Hybridation de semences**

L'hybridation des variétés est une technique importante utilisée dans l'amélioration des plantes pour créer de nouvelles variétés avec des caractéristiques souhaitables. Cette méthode consiste à croiser délibérément des variétés parentales afin de combiner leurs traits favorables et d'introduire de la diversité génétique dans les populations de plantes [7].

L'objectif de l'hybridation des variétés est d'améliorer les caractéristiques agronomiques des plantes, telles que la productivité, la résistance aux maladies et aux ravageurs, la tolérance au stress environnemental, la qualité du produit, etc. Les variétés parentales sélectionnées sont souvent des lignées pures ou des variétés d'élite présentant des traits spécifiques recherchés.

Le processus d'hybridation commence par le croisement des variétés parentales. Les fleurs mâles d'une variété sont utilisées pour polliniser les fleurs femelles de l'autre variété. La fécondation résulte en la formation de graines hybrides qui contiennent un mélange de caractères génétiques des deux parents. Ces graines hybrides donneront naissance à des plantes hybrides lorsqu'elles seront cultivées [33].

Les plantes hybrides peuvent présenter une vigueur hybride supérieure par rapport à leurs parents, ce qui se traduit par une croissance plus rapide, une meilleure résistance aux maladies et une plus grande productivité. Cependant, il est important de noter que les caractères des plantes hybrides peuvent varier considérablement. Par conséquent, il est nécessaire de sélectionner soigneusement les plantes hybrides pour s'assurer qu'elles présentent les caractéristiques souhaitées [32].

Une autre forme d'hybridation est l'hybridation interspécifique, qui implique le croisement de variétés appartenant à des espèces différentes. Cette approche permet d'introduire de nouveaux traits dans les populations de plantes, mais elle peut être plus complexe car les espèces parentales peuvent avoir des barrières génétiques qui limitent la fécondité de leurs hybrides. Des techniques spéciales, telles que la culture de tissus et la manipulation génétique, peuvent être nécessaires pour surmonter ces obstacles [7].

L'hybridation des variétés a eu un impact significatif sur l'agriculture moderne. Elle a permis de développer des variétés de plantes plus résistantes aux maladies, plus productives et mieux adaptées aux conditions environnementales changeantes. Cependant, il est important de noter que l'hybridation des variétés a également ses limites. Par exemple, les hybrides peuvent perdre leur vigueur et leur stabilité génétique lorsqu'ils se reproduisent sexuellement, ce qui nécessite l'achat de nouvelles graines hybrides à chaque saison de culture [7].

En conclusion, l'hybridation des variétés est une technique essentielle dans l'amélioration des plantes. Elle permet de créer de nouvelles variétés avec des caractéristiques agronomiques améliorées. Cependant, il est important de poursuivre la recherche dans ce domaine pour mieux comprendre les mécanismes génétiques sous-jacents et pour développer des approches plus efficaces d'hybridation des variétés. Ceci permettra de relever les défis de l'agriculture moderne et de garantir la sécurité alimentaire et la durabilité de l'agriculture [7].

#### **1.4.1. Aperçu sur les travaux d'hybridation en Algérie**

En Algérie, les gens croisent depuis longtemps différentes plantes pour obtenir de meilleures cultures comme le maïs, le blé et le tournesol. Cela permet aux plantes d'acquérir de nouvelles caractéristiques plus avantageuses comme par exemple la résistance aux insectes et aux maladies [48].

Certains agriculteurs utilisent des semences à haut potentiel comme les variétés hybrides qui sont spécifiquement sélectionnées ou développées pour présenter des caractéristiques améliorées, telles qu'un rendement élevé, une résistance aux maladies ou d'autres qualités souhaitables. Cependant, l'utilisation de ces semences hybrides nécessite que les agriculteurs s'en réapprovisionnent chaque année, ce qui représente une charge supplémentaire. Cette dépendance à l'achat de nouvelles semences peut également entraîner une réduction de la diversité des cultures, car les agriculteurs se concentrent sur un nombre limité de variétés sélectionnées. Cela peut être préoccupant car cela limite la conservation des différents types de plantes et la diversité génétique dans l'agriculture [54].

Le croisement de semences est une pratique agricole qui consiste à combiner différentes variétés de semences pour les planter ensemble dans un même champ. Cela peut être fait en croisant physiquement les variétés ou en semant les différentes variétés en rangs ou blocs mélangés à faibles distances. Le but du croisement de semences est de tirer parti des avantages complémentaires des différentes variétés, tels que la résistance aux maladies, la tolérance aux conditions environnementales, le rendement élevé ou d'autres caractéristiques souhaitables. Cette approche peut aider à améliorer la diversité génétique des cultures, à augmenter les rendements et à renforcer la résilience des cultures face aux défis agricoles [7].

### **1.5. Diversité des noms de semences**

La diversité des noms de semences en agriculture est un sujet important car elle reflète la richesse de la biodiversité agricole et permet de préserver les variétés locales et traditionnelles. Cependant, la diversité des noms peut également poser des problèmes, notamment en ce qui concerne la rareté des semences.

Selon le rapport de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) sur l'état de la biodiversité pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde, la diversité des noms de semences est un élément clé pour préserver la biodiversité agricole. Cette diversité reflète la grande variété de plantes cultivées dans le monde et permet de préserver les variétés traditionnelles qui sont mieux adaptées aux conditions locales.

Cependant, l'homonymie et la synonymie peut présenter des défis. Les similitudes entre les noms de nombreuses variétés peuvent entraîner des confusions et des erreurs lors de la sélection des semences. De plus, la multiplicité des noms attribués à certaines variétés peut compliquer leur recherche et leur conservation. Pour beaucoup de variétés

En effet, c'est le cas du clémentinier où les appellations horticoles des cultivars ont été souvent mêlées avec des dénominations locales ou commerciales. Il n'est pas rare, par conséquent, que le même nom désigne des cultivars différents (homonymie), mais aussi des noms différents sont attribués à un même cultivar (synonymie). Dans tous les cas, il convient de s'assurer de l'utilisation d'une même dénomination pour un même cultivar présentant des caractères phénotypiques décrits dans un environnement donné [51].

Heureusement, une solution potentielle à ces problèmes réside dans l'utilisation de l'ontologie des semences. Dans le prochain chapitre, nous examinerons en détail comment l'ontologie peut contribuer à clarifier les noms, à faciliter la recherche et à améliorer la conservation des variétés de semences.

En Algérie, le problème de la diversité des noms de semences est particulièrement préoccupant en raison de la rareté de certaines variétés en particulier les variétés locales. De nombreuses variétés traditionnelles ont été remplacées par des variétés modernes, ce qui a entraîné une perte de biodiversité agricole. De plus, les noms de certaines variétés ont été perdus au fil du temps, ce qui rend difficile leur identification et leur conservation.

Des exemples de synonymie ont été étudiés chez le palmier dattier (cas des cultivars Litima et gattara) [52]. De même, Le problème de nomenclature se pose grandement chez les populations de piment locales. En effet, ces populations portent toutes la même appellation de "Felfel Arbi" ; cas d'homonymie, alors que des travaux de recherche ont prouvé qu'ils existent plusieurs génotypes bien distincts [53].

En fin de compte, la diversité des noms de semences est un élément clé pour préserver la biodiversité agricole et garantir la sécurité alimentaire à long terme. Il est donc important de sensibiliser les consommateurs à l'importance de la diversité des semences et de promouvoir des politiques qui encouragent la production et la distribution de semences diversifiées, tout en étant conscient des problèmes potentiels liés à la diversité des noms [8].

## **1.6. Conclusion**

En conclusion, l'agriculture en Algérie est confrontée à des défis complexes, tels que le manque de financement, la dégradation des sols et la dépendance à l'importation de semences. La diversité des semences est essentielle pour assurer la durabilité et la sécurité alimentaire du pays. L'hybridation des semences offre des opportunités d'améliorer la qualité et la productivité des cultures, mais nécessite une gestion prudente pour éviter les coûts élevés et la perte de diversité génétique.

Pour relever ces défis, il est crucial d'investir dans la recherche et le développement agricole, de coordonner les politiques agricoles et de trouver un équilibre entre la productivité à court terme et la durabilité à long terme. Le prochain chapitre se concentrera sur les solutions de l'agriculture intelligente, qui intègre les avancées technologiques, la gestion des ressources naturelles et les bonnes pratiques agricoles pour relever ces défis. En adoptant une approche intégrée et en travaillant en collaboration, les agriculteurs, les chercheurs et les décideurs peuvent transformer le secteur agricole en Algérie et garantir la sécurité alimentaire pour les générations futures.

# **Chapitre 02**

**Intégration de la**

**Technologie**

**dans le Secteur**

**Agricole**

## **2.1.Introduction**

Agriculture intelligente est une approche révolutionnaire qui associe les avancées technologiques et les bonnes pratiques agricoles pour répondre aux défis croissants de l'agriculture moderne. Dans ce deuxième chapitre, nous allons explorer les différentes approches de l'agriculture intelligente, en nous concentrant sur l'hybridation de semences à l'aide du digital twin, la collecte de données et l'ontologie. Nous allons examiner comment ces techniques permettent d'optimiser la croissance des cultures, d'améliorer la qualité des produits et de réduire l'impact environnemental de l'agriculture. Nous aborderons également les avantages et les défis associés à l'utilisation de ces technologies, ainsi que les perspectives futures de l'agriculture intelligente.

## **2.2.Agriculture intelligente**

L'agriculture intelligente, également connue sous le nom d'agriculture de précision, est une approche de l'agriculture qui tire parti des technologies de pointe pour optimiser la productivité, la qualité et la durabilité de la production agricole. Cette méthode se base sur la collecte, l'analyse et l'utilisation de données précises sur les cultures, les sols et les conditions environnementales [10]. Voici quelques-uns de ces domaines :

**Gestion des semences :** L'agriculture intelligente met l'accent sur une gestion précise des semences, en utilisant des techniques telles que la traçabilité des semences, la gestion des stocks et la sélection des variétés adaptées aux conditions locales. Cela permet d'optimiser la productivité des cultures et de garantir la qualité des semences utilisées [34].

**Sélection des variétés :** Grâce à l'agriculture intelligente, les agriculteurs ont accès à des outils et des techniques avancées pour la sélection de variétés de semences. Cela inclut l'utilisation de données génétiques, d'analyses de rendement, de modèles de croissance des cultures et de tests de tolérance aux maladies et aux conditions environnementales. Ces approches permettent de choisir les variétés de semences les plus adaptées pour maximiser les rendements et résister aux défis spécifiques rencontrés sur le terrain [35].

**Technologies de semences :** L'agriculture intelligente intègre également des technologies de pointe pour améliorer la production et la qualité des semences. Cela comprend l'utilisation de techniques de multiplication des semences, telles que la culture in vitro et l'hybridation assistée par la technologie des marqueurs moléculaires. Ces approches permettent d'obtenir des semences de qualité supérieure, avec des caractéristiques spécifiques telles que la résistance aux maladies, la tolérance aux conditions défavorables et des profils nutritionnels améliorés [36].

Gestion de la fertilité des sols : Une autre dimension de l'agriculture intelligente est la gestion précise de la fertilité des sols. En utilisant des techniques telles que la cartographie des sols, l'analyse des nutriments et la télédétection, les agriculteurs peuvent optimiser l'application des engrais et des amendements pour répondre aux besoins spécifiques des cultures et des variétés de semences utilisées. Cela contribue à une utilisation plus efficace des ressources et à une meilleure croissance des plantes [37].

### **2.2.1. Outils exploités**

Les outils utilisés dans l'agriculture intelligente incluent une variété de technologies telles que les capteurs, les drones, les systèmes d'information géographique (SIG), les outils de modélisation, les outils de gestion de l'irrigation et les robots agricoles. Ces outils permettent aux agriculteurs de recueillir des données précises sur les conditions environnementales, la croissance des cultures et la qualité des sols. Ces données sont ensuite utilisées pour prendre des décisions éclairées sur les pratiques agricoles telles que l'irrigation, la fertilisation, la protection des cultures et la récolte [11].

En utilisant ces outils, les agriculteurs peuvent améliorer leur efficacité, optimiser leurs pratiques agricoles et améliorer la productivité et la durabilité de leur production. Des organismes tels que l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO) et l'Initiative pour l'agriculture de précision (PAI) offrent des ressources pour en savoir plus sur l'agriculture intelligente et les outils qui y sont utilisés.

### **2.2.2. Agriculture intelligente pour les semences**

L'agriculture intelligente peut être utilisée pour aider les agriculteurs à sélectionner et produire des semences de qualité supérieure. Les outils de l'agriculture intelligente permettent de suivre avec précision les caractéristiques des plantes et les conditions environnementales, ce qui peut aider les agriculteurs à optimiser leur production de semences. Par exemple, les drones et les satellites peuvent fournir des images aériennes pour surveiller les cultures de semences, tandis que l'analyse de données peut aider à déterminer les pratiques agricoles les plus efficaces pour produire des semences de haute qualité. En fin de compte, l'utilisation de l'agriculture intelligente peut contribuer à améliorer les rendements et la durabilité de la production agricole en produisant des semences de meilleure qualité [34].

## **2.3. Collecte de données des semences en agriculture**

La collecte de données sur les semences en agriculture est une étape importante pour améliorer la production, la qualité et la résilience des cultures. La collecte de données peut être

effectuée à différentes étapes du cycle de vie des semences, de la sélection à la production en passant par la commercialisation. Cependant, pour une collecte de données efficace, il est important de suivre certaines étapes clés.

La première étape de la collecte de données est la définition des objectifs et des besoins de l'étude. Il est important de déterminer les variables à mesurer et les méthodes de collecte de données appropriées pour répondre aux questions de recherche et aux besoins de l'entreprise.

La deuxième étape consiste à choisir les bonnes méthodes de collecte de données. Les méthodes de collecte de données peuvent inclure des enquêtes, des observations, des essais sur le terrain et des analyses de laboratoire. Il est important de sélectionner les méthodes les plus appropriées pour les variables à mesurer et les objectifs de l'étude.

La troisième étape est de mettre en place un plan de collecte de données efficace, qui inclut des procédures de qualité pour assurer la précision et la fiabilité des données collectées. Les procédures de qualité peuvent inclure des contrôles de qualité des données, des procédures d'échantillonnage et des méthodes de stockage et de traitement des données [13].

La quatrième étape est l'analyse des données collectées. Les données doivent être analysées pour identifier les tendances, les relations et les corrélations entre les variables mesurées. Les résultats de l'analyse peuvent être utilisés pour améliorer les pratiques agricoles, optimiser la production et la qualité des semences, et améliorer la résilience des cultures.

En conclusion, la collecte de données sur les semences en agriculture est une étape importante pour améliorer la production, la qualité et la résilience des cultures. Il est important de suivre des étapes clés pour une collecte de données efficace, notamment la définition des objectifs et des besoins de l'étude, le choix des bonnes méthodes de collecte de données, la mise en place d'un plan de collecte de données efficace et l'analyse des données collectées [13] [14].

### **2.3.1. Comment l'intelligence artificielle peut aider dans la collecte de données des semences**

L'intelligence artificielle peut être utilisée pour faciliter la collecte de données de semence de différentes manières. Voici quelques exemples :

1. Classification des graines : Les modèles d'IA peuvent être entraînés à reconnaître et à classer différents types de graines. Ils peuvent analyser des images de graines et les attribuer à des catégories spécifiques, ce qui permet d'automatiser le processus de classification des semences [10].
2. Contrôle de la qualité des semences : L'IA peut aider à évaluer la qualité des semences en analysant des caractéristiques telles que la taille, la forme et la couleur. Les modèles d'IA peuvent être entraînés à identifier les semences endommagées, les semences mal

formées ou les contaminants, ce qui permet de trier les semences défectueuses et d'améliorer la qualité globale des lots de semences [37].

3. Suivi de la germination : L'IA peut être utilisée pour surveiller le processus de germination des semences. En analysant des images ou des données de capteurs, les modèles d'IA peuvent détecter et suivre les stades de germination, ce qui permet de collecter des informations précises sur le taux de germination, le délai de germination, etc.
4. Optimisation des rendements : En analysant des données historiques de semences, de sols, de conditions climatiques et d'autres facteurs, les modèles d'IA peuvent fournir des recommandations pour optimiser les rendements des cultures. Ces recommandations peuvent inclure des stratégies de semis, des pratiques de gestion et des ajustements des quantités de semences utilisées.
5. Gestion de l'inventaire des semences : L'IA peut être utilisée pour gérer et suivre les stocks de semences. En analysant les données de vente, de demande et de disponibilité, les modèles d'IA peuvent aider à prédire les besoins futurs en semences, à éviter les pénuries ou les surplus, et à optimiser la gestion des stocks [12].

En utilisant l'intelligence artificielle pour la collecte de données de semence, il est possible d'améliorer l'efficacité, la précision et la fiabilité des processus liés aux semences, ce qui peut avoir un impact positif sur l'agriculture, la sécurité alimentaire et la durabilité environnementale.

### 2.3.2. Concepts liés à la diversité des noms des semences

Il existe de nombreux concepts liés à la diversité des noms de semences et à la biodiversité agricole en général. En voici quelques-uns :

- **Ontologie** : une ontologie est une description formelle et structurée des concepts et des relations entre eux. Dans le domaine de la biodiversité, les ontologies sont souvent utilisées pour décrire les différentes espèces, les traits morphologiques, les habitats, etc. Les ontologies peuvent aider à organiser et à partager les connaissances sur la biodiversité, y compris les noms de semences.
- **Taxonomie** : La taxonomie est la science de la classification des organismes vivants en groupes hiérarchiques basés sur leurs caractéristiques communes. Vous pouvez utiliser une approche taxonomique pour classer et organiser les différentes variétés de semences en fonction de leurs caractéristiques et de leurs relations [50].

- **Système d'information sur les ressources génétiques :** Un système d'information sur les ressources génétiques (SIRG) est une base de données ou un ensemble d'outils informatiques qui permettent de collecter, de stocker et de gérer des informations sur les ressources génétiques, y compris les semences. Un SIRG peut inclure des informations sur les noms, les caractéristiques, les origines géographiques, les propriétés agronomiques, etc [1].
- **Vocabulaire contrôlé :** L'utilisation d'un vocabulaire contrôlé consiste à établir un ensemble de termes normalisés et standardisés pour décrire les différentes caractéristiques des semences. Cela facilite la recherche et l'organisation des données. Vous pouvez créer un vocabulaire spécifique pour votre projet, en incluant des termes pertinents tels que les traits morphologiques, les origines géographiques, les utilisations, etc.

Ces concepts sont tous liés à la diversité des noms de semences et à la biodiversité agricole en général. Comprendre ces concepts peut aider à développer des politiques et des pratiques qui protègent la diversité des semences et des espèces, tout en répondant aux besoins des agriculteurs et des communautés locales.

### 2.4. Paradigme de l'ontologie (web sémantique)

Le Web sémantique est comme une version améliorée d'Internet qui permet aux ordinateurs de comprendre et de partager plus facilement des informations entre eux. Il utilise des outils et des langages spéciaux pour aider à expliquer ce que les choses signifient et comment elles sont liées les unes aux autres. Cela aide différents programmes et applications à travailler ensemble et à partager plus facilement leurs connaissances.

Il y a longtemps, les gens ont créé une façon d'organiser l'information qui ressemble à une carte. Cette idée a été très utile aux scientifiques et à d'autres experts pour mieux comprendre les choses dans de nombreux domaines différents comme les animaux, la santé des gens, l'argent et la façon dont les gens se comportent [23].

Le Web sémantique utilise une manière spéciale d'organiser l'information appelée « ontologie » pour aider les ordinateurs à mieux la comprendre. Cela aide les ordinateurs à trouver plus facilement des informations importantes et à connecter différentes informations entre elles [17].

L'ontologie aide les machines à mieux comprendre les informations afin qu'elles puissent les trouver et les utiliser plus facilement. C'est comme leur donner une carte pour les aider à trouver ce qu'ils cherchent.

L'ontologie est comme un langage spécial que les ordinateurs peuvent comprendre. Cela les aide à mieux lire et utiliser les informations. Ceci est important pour des choses comme Internet. Si vous voulez en savoir plus à ce sujet, vous pouvez rechercher des informations supplémentaires [17] [18].

### **2.4.1. Ontologies**

#### **Définition**

L'ontologie est un domaine de la science informatique qui se concentre sur la création d'un vocabulaire commun et partagé pour une certaine catégorie de connaissances. Elle peut être utilisée pour décrire les concepts, les relations et les entités d'un domaine spécifique, en fournissant un cadre de référence pour la modélisation, l'organisation et la représentation des connaissances.

En d'autres termes, une ontologie permet de structurer et de formaliser une connaissance, afin de faciliter sa compréhension et son partage entre différents acteurs. Elle permet également de rendre les informations plus accessibles, notamment pour les machines qui peuvent les utiliser pour effectuer des tâches telles que la recherche d'informations ou la prise de décisions.

L'ontologie peut être utilisée dans différents domaines, tels que la biologie, la médecine, l'ingénierie, la finance et bien d'autres. Elle est souvent utilisée en conjonction avec d'autres technologies, telles que l'intelligence artificielle, le web sémantique et les systèmes d'information [55].

La création d'une ontologie implique un processus itératif de modélisation et de validation, où les concepts, les relations et les entités sont définis, décrits et organisés en hiérarchies et en réseaux. Plusieurs outils sont disponibles pour aider à la création et à la gestion d'ontologies, tels que Protégé, WebOnto, OntoEdit et TopBraid Composer [22].

Les ontologies ont connu une utilisation croissante ces dernières années, en particulier dans le domaine de l'intelligence artificielle, où elles ont été utilisées pour la modélisation de connaissances et l'analyse de données. Les recherches dans ce domaine continuent de progresser, avec des développements tels que l'ontologie des réseaux de neurones et l'ontologie des processus métiers.

En conclusion, l'ontologie est un outil important pour la modélisation et la représentation de connaissances, permettant une meilleure compréhension et un partage plus facile de l'information. Son utilisation continue de se développer et d'évoluer, offrant de nouvelles possibilités pour l'analyse de données et l'intelligence artificielle [19] [20].

### **2.4.2. Ontologie informatique**

L'ontologie informatique est un sous-domaine de la science informatique qui se concentre sur la création d'une représentation formelle et structurée de connaissances, afin de faciliter leur traitement et leur partage entre les systèmes informatiques et les utilisateurs. Elle est utilisée pour décrire les concepts, les relations et les entités d'un domaine spécifique, en fournissant un vocabulaire commun pour la modélisation, l'organisation et la représentation des connaissances.

Les ontologies informatiques ont de nombreuses applications, notamment dans les domaines de la recherche d'information, de la gestion des connaissances, de l'intelligence artificielle et du web sémantique. Elles permettent d'améliorer la précision et la pertinence des résultats de recherche, de faciliter la collaboration et le partage de connaissances entre différents acteurs, et de rendre les informations plus accessibles et plus compréhensibles pour les machines [22].

La création d'une ontologie informatique implique généralement un processus itératif de modélisation et de validation, où les concepts, les relations et les entités sont définis, décrits et organisés en hiérarchies et en réseaux. Cette modélisation peut être effectuée à l'aide de différents langages et formats, tels qu'OWL, RDF, SKOS et UML [23].

Les ontologies informatiques sont souvent utilisées en conjonction avec d'autres technologies, telles que les moteurs de recherche sémantiques, les agents intelligents et les systèmes d'information. Elles peuvent également être intégrées à des systèmes de gestion de base de données, afin d'améliorer la qualité des données et la précision des requêtes [22].

#### **A- Composants de L'ontologie**

Selon Gruber (1993), l'ontologie est composée de trois éléments principaux : les concepts, les relations et les instances. Les concepts représentent les classes d'objets ou d'entités dans le domaine d'application, les relations décrivent les liens entre les concepts, et les instances sont les exemples concrets d'entités appartenant à une classe.

Staab et Studer (2004) ajoutent que les ontologies peuvent également inclure des axiomes et des règles, qui spécifient les contraintes et les propriétés des concepts et des relations. Ces axiomes et règles permettent de déduire de nouvelles connaissances à partir des informations existantes, ou de vérifier la cohérence et la complétude de l'ontologie.

En somme, les composants de l'ontologie incluent les concepts, les relations, les instances, les axiomes et les règles. Ensemble, ces éléments permettent de créer une représentation formelle et structurée de la connaissance, facilitant ainsi le partage, la recherche et l'analyse des informations dans un domaine spécifique.

#### **B- Rôle de l'ontologie**

L'ontologie est comme un grand dictionnaire qui aide les ordinateurs et les gens à se parler sur des sujets spécifiques. Cela garantit que tout le monde connaît les mêmes mots et les mêmes idées, ce qui les aide à mieux se comprendre.

L'ontologie computationnelle est un moyen d'organiser les informations sur un ordinateur. Il est utilisé dans de nombreux domaines différents comme la science, les robots et la médecine [24].

### **C- Rôle de l'ontologie dans la collecte de données**

L'ontologie joue un rôle important dans la collecte de données sur les semences en agriculture. L'ontologie peut être définie comme une représentation formelle et explicite des concepts, des termes et des relations entre eux dans un domaine donné. Dans le domaine de l'agriculture, les ontologies peuvent être utilisées pour représenter les connaissances sur les semences, telles que les noms des plantes, les caractéristiques botaniques, les conditions de croissance et les performances des cultures [25].

En utilisant des ontologies dans la collecte de données sur les semences, il est possible d'établir un langage commun entre les différents acteurs impliqués dans le processus de collecte de données. Cela permet de garantir une compréhension partagée des concepts et des termes utilisés pour décrire les semences, et facilite ainsi la collecte et la gestion des données.

Les ontologies peuvent également être utilisées pour automatiser la collecte de données sur les semences à partir de sources diverses, telles que les catalogues de semences et les bases de données. En utilisant des ontologies pour extraire des informations à partir de ces sources, il est possible de produire des ensembles de données normalisés et cohérents qui peuvent être utilisés pour la recherche agricole [25] [26].

### **2.5. Hybridation virtuelle des semences**

L'agriculture virtuelle a introduit une méthode novatrice pour le croisement des graines de plantes, connue sous le nom d'hybridation virtuelle. Cette approche permet de réaliser des croisements de manière virtuelle, sans nécessiter d'intervention physique dans le monde réel. Grâce aux capacités informatiques avancées, les chercheurs peuvent désormais sélectionner les meilleures combinaisons de plantes [27].

Dans le processus d'hybridation virtuelle, les scientifiques exploitent des informations relatives aux parents des plantes, telles que leur état de santé et leur rendement, ainsi que des données génétiques. Ces informations sont utilisées pour élaborer des programmes informatiques capables de prédire les caractéristiques des descendants résultant des croisements. Ainsi, il devient possible de créer des simulations numériques sans avoir besoin de réaliser physiquement les hybridations [7].

Cette nouvelle approche présente de nombreux avantages par rapport aux méthodes traditionnelles. Tout d'abord, elle permet d'accélérer le processus de sélection et de réduire les coûts associés. De plus, l'hybridation virtuelle ouvre la voie à des combinaisons de plantes qui ne seraient pas réalisables par des moyens conventionnels.

Néanmoins, l'hybridation virtuelle n'est pas dénuée de défis. Les modèles informatiques ne peuvent pas toujours fournir toutes les informations requises sur les nouvelles plantes, et il est essentiel de disposer de données précises sur les plantes parentes pour garantir la pertinence des résultats obtenus.

En conclusion, l'hybridation virtuelle représente une avancée prometteuse dans la création de nouveaux cultivars dans le domaine de l'agriculture. Elle offre une solution plus rapide et économique, bien que certains obstacles subsistent. Il est donc crucial de continuer à améliorer cette approche afin d'en exploiter pleinement le potentiel [27].

### **2.5.1. Digital twin**

#### **Définition**

Le digital twin (jumeau numérique) est une technologie qui permet de créer une représentation virtuelle d'un objet, d'un processus ou d'un système dans le monde physique. Il s'agit d'un modèle informatique qui reflète les caractéristiques, les performances et le comportement de l'objet réel [29]. Le digital twin peut être utilisé pour surveiller et optimiser le fonctionnement d'un système en temps réel, pour tester des scénarios hypothétiques et pour prédire le comportement futur du système.

Le concept de digital twin est souvent utilisé dans le domaine de l'Internet des objets (IoT) pour permettre la surveillance et la maintenance prédictive des équipements industriels et des infrastructures. Les jumeaux numériques sont également utilisés dans l'industrie manufacturière pour simuler des processus de production et optimiser la qualité et l'efficacité de la production.

Le développement de la technologie de digital twin a été facilité par les progrès de la simulation numérique, de l'intelligence artificielle et de l'apprentissage automatique. En effet, ces technologies permettent de créer des modèles numériques de plus en plus précis et de prédire le comportement futur des systèmes avec une grande précision.

En résumé, le digital twin est une technologie de modélisation numérique qui permet de créer une représentation virtuelle d'un objet, d'un processus ou d'un système dans le monde physique. Cette technologie offre de nombreux avantages pour la surveillance et l'optimisation des systèmes en temps réel, ainsi que pour la simulation de scénarios hypothétiques et la prédiction du comportement futur des systèmes [29] [30].

### **Concept**

Un jumeau numérique est comme une version factice de quelque chose de réel que nous pouvons créer sur un ordinateur. Cela nous aide à garder une trace de ce qui se passe avec la vraie chose et à comprendre comment elle pourrait se comporter dans différentes situations [38].

Digital Twin, c'est comme avoir une copie de quelque chose dans l'ordinateur que nous pouvons utiliser pour vérifier comment cela fonctionne dans la vraie vie. Nous pouvons l'utiliser pour améliorer le fonctionnement des choses, prévenir les problèmes et faire rapidement des choix intelligents. C'est comme avoir une boule de cristal magique qui nous dit ce qui pourrait arriver si nous faisons quelque chose. Nous pouvons l'utiliser dans de nombreux travaux différents, comme la fabrication d'avions, de bâtiments ou la santé des gens [38].

Pour créer un jumeau numérique, nous devons recueillir des informations provenant de différents endroits, comme des capteurs et d'anciens enregistrements. Nous utilisons ces informations pour créer un modèle informatique 3D de quelque chose de réel. Ensuite, nous mettons ce modèle dans un programme informatique pour gérer toutes les informations [29].

Le jumeau numérique est comme une aide qui peut faire beaucoup de choses différentes, comme vérifier si quelque chose doit être réparé avant qu'il ne casse, s'entraîner à faire les choses, s'assurer que les choses sont sûres, et plus encore.

Digital Twin est une nouvelle idée utilisée dans des technologies sophistiquées telles que l'industrie 4.0 et l'Internet des objets. Il aide les gens à améliorer les choses en en faisant une copie sur un ordinateur.

### **Principe**

Le principe du digital twin (jumeau numérique) repose sur la création d'une réplique virtuelle d'un objet, d'un système ou d'un processus dans le monde réel. Cette réplique virtuelle est alimentée par des données en temps réel provenant de capteurs, de modèles et d'autres sources d'information [29]. Le digital twin permet de suivre et de simuler le comportement, l'état et les performances de l'objet réel.

Le concept de digital twin trouve son origine dans le domaine de l'ingénierie et de la fabrication, mais il est désormais appliqué à de nombreux secteurs, y compris l'agriculture. Dans le contexte agricole, un digital twin peut représenter une culture spécifique, un animal ou un système agricole dans son ensemble [38].

La création d'un digital twin commence par la collecte de données pertinentes sur l'objet réel, telles que des mesures physiques, des données environnementales, des conditions de croissance, etc. Ces données sont ensuite utilisées pour créer et alimenter le modèle numérique

correspondant. Le modèle numérique simule le comportement de l'objet réel, permettant ainsi de visualiser et d'analyser ses caractéristiques et ses performances.

Les avantages du digital twin sont multiples. Tout d'abord, il permet une surveillance en temps réel de l'objet réel, offrant ainsi une compréhension plus approfondie de son état et de son fonctionnement. Les données collectées par le digital twin peuvent être utilisées pour détecter les anomalies, prévoir les problèmes potentiels et prendre des décisions éclairées pour optimiser les performances [39].

De plus, le digital twin permet de simuler différents scénarios et d'évaluer l'impact des changements avant de les mettre en œuvre dans le monde réel. Cela réduit les risques, améliore l'efficacité des processus et facilite l'innovation.

Enfin, le digital twin facilite la collaboration et le partage d'informations entre les parties prenantes. Les acteurs impliqués dans un projet ou un processus peuvent accéder aux données du digital twin pour prendre des décisions collaboratives basées sur des informations précises et partagées [40].

### **2.5.2. Applications du digital twin et l'ontologie dans l'agriculture**

#### **"Utilisation du jumeau numérique pour l'optimisation de l'agriculture : une approche de Bill Gates"**

Le travail de Bill Gates sur le jumeau numérique pour l'agriculture consiste à appliquer cette technologie dans le secteur agricole afin d'améliorer la productivité et l'efficacité des exploitations. Le jumeau numérique est un modèle virtuel qui représente de manière précise et détaillée un environnement agricole réel, en collectant des données en temps réel à partir de capteurs disséminés dans les champs.

Le résultat obtenu grâce à l'utilisation du jumeau numérique est une meilleure surveillance des cultures et une optimisation des décisions agricoles. Les agriculteurs peuvent obtenir une vision complète de l'état de leur exploitation en analysant les données recueillies, ce qui leur permet de prendre des décisions éclairées pour ajuster l'irrigation, appliquer des quantités optimales d'engrais ou de pesticides, et détecter rapidement les problèmes de santé des cultures.

En utilisant le jumeau numérique, les agriculteurs peuvent également simuler différents scénarios et tester des stratégies d'optimisation avant de les mettre en pratique dans le monde réel. Cela leur permet de minimiser les risques, d'économiser du temps et des ressources, tout en maximisant les rendements et en préservant l'environnement.

En résumé, le travail de Bill Gates sur le jumeau numérique pour l'agriculture vise à offrir aux agriculteurs une solution technologique innovante pour améliorer leurs pratiques agricoles, augmenter la productivité et contribuer à une agriculture plus durable et plus rentable [41].

### **"AgOnt: Ontologie pour l'Internet des objets agricoles"**

Le travail propose une approche basée sur l'ontologie pour résoudre le défi de l'intégration sémantique des ressources d'information agricole dans le contexte de l'Internet des objets (IoT) agricole. Les auteurs construisent une ontologie, appelée AgOnt, qui décrit et extrait la sémantique des objets agricoles tels que les semences, les céréales, le transport, le stockage et la consommation. L'ontologie AgOnt fournit une base logique pour la création d'une base de connaissances sur l'agriculture, où les différents systèmes d'information agricole peuvent être intégrés de manière cohérente. Les utilisateurs peuvent interroger cette base de connaissances pour accéder à l'historique des produits agricoles et identifier les conditions anormales qui pourraient avoir affecté la qualité des produits. En conclusion, ce travail propose une approche basée sur l'ontologie pour l'IoT agricole, en mettant l'accent sur l'interopérabilité sémantique et la possibilité de retracer l'historique des produits agricoles. Des travaux futurs sont suggérés pour gérer l'ontologie de manière dynamique, développer des modèles de requête utilisateur et améliorer la migration des systèmes existants vers une approche basée sur l'ontologie [42].

## **2.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail l'utilisation et l'importance de l'intelligence artificielle dans le domaine de l'agriculture. Nous avons mis en évidence comment l'ontologie peut jouer un rôle crucial dans la résolution du problème de la diversité des noms de variétés, en fournissant une structure sémantique commune pour les données agricoles. De plus, nous avons exploré comment l'utilisation du jumeau numérique peut permettre de prédire les caractéristiques des descendants potentiels dans le cadre des hybridations réalisées.

Dans le prochain chapitre, notre objectif sera de mettre en pratique ces approches en développant une plateforme dédiée à l'agriculture intelligente. Cette plateforme offrira des services permettant de résoudre les problèmes liés à la diversité des noms de variétés, en utilisant l'ontologie comme outil de structuration des données. De plus, nous mettrons en place des fonctionnalités basées sur le jumeau numérique, qui permettront aux agriculteurs de prédire les caractéristiques des descendants potentiels avant de réaliser des hybridations réelles.

Notre travail consistera donc à concevoir et mettre en œuvre cette plateforme, en veillant à ce qu'elle réponde aux besoins spécifiques des agriculteurs et des acteurs de l'industrie agricole. Nous visons à fournir des services avancés et conviviaux, facilitant ainsi l'adoption de l'intelligence artificielle dans le secteur agricole.

# **Chapitre 03**

## **Conception et développement**

### **3.1. Introduction**

L'intelligence artificielle ouvre de nouvelles perspectives pour faciliter les tâches et le travail des agriculteurs. Dans le cadre de notre travail, nous nous concentrons sur la construction d'une banque de données qui permettra de stocker les données de base et les paramètres des semences de piments. Notre objectif est de créer une plateforme qui facilite la recherche de semences dans différents endroits, le calcul de la distance de similarité entre les semences et la création de nouvelles variétés en utilisant le concept de "digital twin" ou jumeau numérique.

Notre plateforme, nommée FALAHZ, sera une startup dédiée au domaine agricole. Nous proposerons une solution basée sur l'intelligence artificielle, en utilisant une ontologie pour résoudre le problème de l'homonymie des variétés de semences, et le jumeau numérique pour faciliter le processus d'hybridation. Notre objectif est de fournir des services d'hybridation et de recherche sur les semences, en offrant des fonctionnalités avancées basées sur l'intelligence artificielle.

Notre travail consistera à développer la plateforme FALAHZ qui regroupera des solutions pour les problèmes agricoles. Cette plateforme utilisera l'intelligence artificielle pour faciliter la recherche de semences et le processus d'hybridation, en utilisant des technologies telles que l'ontologie et le jumeau numérique. Nous avons pour ambition d'aider les agriculteurs en leur offrant des outils performants et des services innovants dans le domaine agricole.

### **3.2. Etude de cas**

#### **3.2.1. Semences et variétés de piment**

Le piment, appartenant au genre *Capsicum* de la famille des Solanaceae, est un fruit tropical originaire d'Amérique du Sud et centrale. Il s'est ensuite répandu en Europe, en Afrique et en Asie. Aujourd'hui, il est cultivé dans presque tous les pays du monde en raison de son intérêt socio-économique en tant qu'additif alimentaire et légume apprécié pour sa saveur piquante et épicée, largement utilisé dans les cuisines traditionnelles et modernes.

L'Oasis de Biskra, en Algérie, est connue au niveau national pour sa biodiversité végétale et est notamment réputée pour sa production de dattes et ses cultures maraîchères en plein champ et sous serre. Les superficies consacrées à ces cultures sont significatives, avec 12 857

hectares en plein champ et 8 383 hectares sous serre, ce qui en fait un pôle national en matière de production de cultures primeurs.

Le piment appartient au genre *Capsicum* de la famille des Solanaceae. Il peut être annuel dans les climats tempérés, mais il est pérenne dans les régions subtropicales. Différentes espèces de piments sont cultivées pour leurs fruits de tailles et de couleurs variables, utilisés comme épices (piment rouge) ou légumes (piment doux ou poivron). Ils sont généralement regroupés sous le nom de poivrons ou piments. Le nom du genre *Capsicum* pourrait être dérivé du mot latin "capsa", qui signifie valise, en référence à la forme du fruit qui renferme les graines [28].

Le piment a un port dressé buissonnant, mais il nécessite un support en culture protégée en raison de son étiolement et de sa longue durée de culture. La plante du piment a été découverte par Christophe Colomb en 1493, mais elle était déjà cultivée depuis 2500 ans avant notre ère. Les peuples indigènes d'Amérique centrale et d'Amérique du Sud l'avaient largement domestiquée. Les Incas et les Mayas utilisaient les fruits et les graines du piment comme épices et médicaments en raison de leurs propriétés stimulantes de la circulation sanguine, anesthésiantes locales externes et antibiotiques. Le piment fort et le poivron (*Capsicum annuum*) étaient probablement originaires du Mexique, tandis que le piment antillais (*Capsicum chinense*) venait de la région amazonienne et le piment oiseau (*Capsicum frutescens*) des régions côtières du sud de l'Amérique du Sud tropicale. Ces trois espèces ont été intensivement croisées en culture, donnant naissance à de nombreuses formes intermédiaires [28] le tableau suivant sur les caractéristiques des principales espèces cultivées:

<b>Règne</b>	<i>plantae</i>
<b>Ordre</b>	<i>Phanérogames</i>
<b>Embranchement</b>	<i>Spermaphytes</i>
<b>Sous embranchement</b>	<i>Angiosperme</i>
<b>Classe</b>	<i>Dicotylédones</i>
<b>Sous classe</b>	<i>Gamopétales</i>
<b>Famille</b>	<i>Solanacées</i>
<b>Genre</b>	<i>Capsicum</i>

Tableau 2 : Caractéristiques des principales espèces cultivées [28].

Les piments ont été introduits en Europe du Nord, en Afrique et en Méditerranée par des voyageurs qui souhaitaient les utiliser comme condiments et épices dans leur alimentation. Au fil du temps, le piment est devenu populaire dans les régions septentrionales. Son expansion s'est notamment produite grâce aux comptoirs portugais et espagnols, ainsi qu'à l'influence des missionnaires franciscains et jésuites.

Stade 1	Levée
Stade 2	Les cotylédons sont étalés
Stade 3	Deux feuilles étalées sur la tige principale
Stade 4	Davantage de feuilles étalées sur la tige
Stade 5	Début floraison
Stade 6	Floraison
Stade 7	Développement du fruit

**Tableau 3:** Cycle végétatif de la culture de piment [28].

Voici les caractéristiques principales de la plante de piment *Capsicum annum* L :  
Système racinaire : Le système racinaire du piment est pivotant, avec de nombreuses racines adventives se développant sur l'axe hypocotylé.



**Figure 1:** les racines du piment (Badache, 2015).

Système aérien : Le piment est une plante herbacée qui peut atteindre 40 à 50 cm de hauteur. Il est annuel dans les climats tempérés et pérenne en zone tropicale. Les feuilles du piment ont un pétiole long et un limbe ovoïde ou lancéolé. Elles sont persistantes, entières, alternes, lancéolées et terminées en pointe aiguë.



Figure 2: Tige du piment [28].

Fleurs : Les fleurs du piment apparaissent solitaires au sommet d'un pédicelle prenant naissance à un nœud de la tige. Elles sont généralement solitaires, pendantes ou dressées, et sont situées à la base de chaque ramification. Leur corolle est blanche ou blanchâtre et composée de 5 pétales soudés. Chaque fleur compte 5 à 7 étamines, et l'anthère de chaque fleur est constituée de 2 sacs polliniques à déhiscence latérale, les image représente la fleur du piment:



Figure 3: fleur du piment [28].

Fruits : Les fruits du piment peuvent avoir différentes formes, notamment allongées, flexueuses, coniques, globuleuses à 3 ou 4 loges, sphériques ou plats côtelés. À maturité, les couleurs rouge ou jaune dominent, bien que les formes et les couleurs des fruits puissent varier considérablement. Les fruits du piment contiennent des composés de Capsicum qui leur donnent leur goût piquant, ainsi qu'une quantité importante de vitamine C.



Figure 4: Fruit de piment [28].

Graines : Les graines du piment sont arrondies, plates et blanchâtres. Elles ont une saveur piquante beaucoup plus prononcée que la chair du fruit. Les graines conservent leur pouvoir germinatif pendant 4 à 5 ans à température ambiante.



Figure 5: Graine du piment [28].

Il existe différents types de variétés de piment, regroupés en trois classes principales : les carrés, les rectangulaires et les triangulaires. Les carrés comprennent les variétés américaines, italiennes et hollandaises. Les variétés rectangulaires sont divisées en demi-longues, trois-quarts longues et longues. Les variétés triangulaires, également appelées "cornées", sont proches des types sauvages d'origine. Il existe également des formes cordiformes et sphériques plus aplaties, principalement utilisées dans l'industrie de transformation.

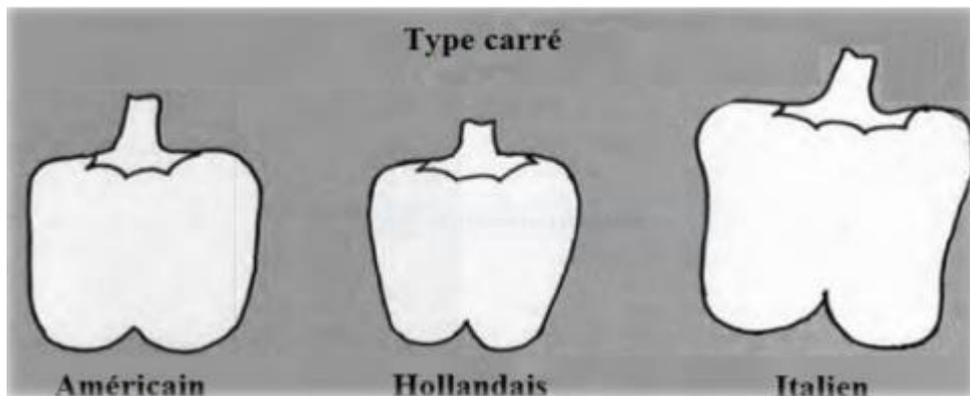


Figure 6: Types de variétés. Classe A : Carré (Source Laure, 1991)

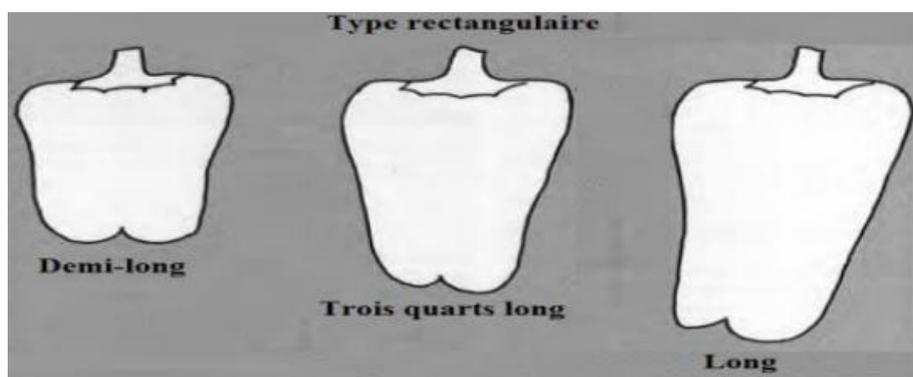


Figure 7: Types de variétés. Classe B : Rectangulaire (Source Laure, 1991).

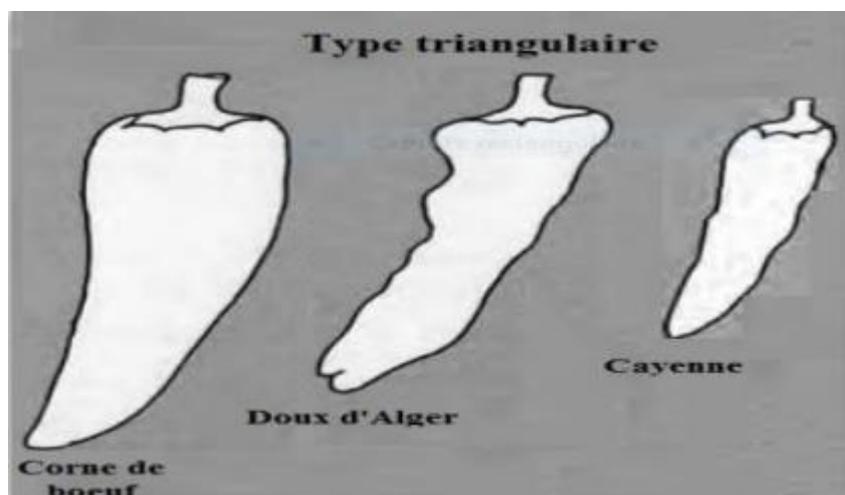


Figure 8: Types de variétés. Classe C : Triangulaire (Laure Gry, 1991)

### 3.2.2. Données fournies

Avec l'agronome Dr.BEDJAOUI.H qui nous a aidés, nous avons choisi douze paramètres différents qui caractérisent le piment pour travailler.

Voici une explication des 12 paramètres de variété de piment :

1. Longueur de la tige (en centimètres) : mesure la longueur de la tige de la plante de piment.
2. Diamètre de la tige (en centimètres) : mesure l'épaisseur de la tige de la plante de piment.
3. Jours avant la fructification : indique le temps nécessaire pour que les fruits commencent à apparaître sur la plante.
4. Période de fructification (en jours) : mesure la durée pendant laquelle les fruits sont produits sur la plante de piment.
5. Longueur du fruit (en centimètres) : mesure la longueur des fruits de piment.
6. Largeur du fruit (en centimètres) : mesure la largeur des fruits de piment.
7. Poids du fruit (en grammes) : indique le poids des fruits de piment.
8. Épaisseur de la paroi du fruit (en millimètres) : mesure l'épaisseur de la paroi des fruits de piment.
9. Longueur du placenta (en millimètres) : mesure la longueur du tissu qui se trouve à l'intérieur des fruits de piment.
10. Rapport placenta/longueur du fruit : rapporte la longueur du tissu placenta à la longueur du fruit de piment.
11. Diamètre des graines (en millimètres) : mesure le diamètre des graines de piment.
12. Nombre de graines par fruit : indique le nombre de graines contenu dans un fruit de piment.

### 3.3. Distance de similarité

La distance de similarité est une mesure utilisée en analyse de données pour déterminer la similitude entre deux objets ou deux ensembles de données. Cette mesure est souvent utilisée en bio-informatique pour comparer les séquences génétiques de différents organismes, mais elle peut également être appliquée à de nombreuses autres disciplines, y compris l'agriculture [12].

En agriculture, la distance de similarité peut être utilisée pour évaluer la similitude entre les variétés de plantes en se basant sur des caractéristiques telles que la taille, la couleur, la texture et la composition en nutriments. Cette évaluation permet de déterminer les relations

génétiques entre les différentes variétés de plantes, ce qui peut être utile pour la sélection des semences et la conservation de la diversité génétique.

Plusieurs méthodes sont utilisées pour calculer la distance de similarité en agriculture. L'une des méthodes les plus couramment utilisées est la distance euclidienne, qui calcule la distance entre deux points dans un espace à plusieurs dimensions. D'autres méthodes incluent la distance de Manhattan et la distance de Mahalanobis.

L'utilisation de la distance de similarité en agriculture peut avoir de nombreux avantages. Elle peut aider les agriculteurs à sélectionner les variétés de plantes les plus adaptées à leur environnement, ce qui peut améliorer la production agricole et réduire les pertes de récoltes. Elle peut également aider les sélectionneurs de semences à développer de nouvelles variétés de plantes qui répondent aux besoins spécifiques des agriculteurs et des consommateurs [12].

En conclusion, la distance de similarité est un outil important en agriculture pour l'analyse de données et l'évaluation de la similitude entre différentes variétés de plantes. Elle peut être utilisée pour aider les agriculteurs et les sélectionneurs de semences à prendre des décisions éclairées en matière de sélection de semences et de développement de nouvelles variétés de plantes. Cependant, comme pour toute mesure, il est important de considérer les limites et les biais potentiels associés à l'utilisation de la distance de similarité.

### **3.3.1 Distance de similarité entre deux semences**

La distance de similarité entre deux semences est une mesure qui permet de comparer les caractéristiques génétiques des deux variétés de plantes à partir desquelles les semences ont été produites. Cette mesure est souvent utilisée dans la sélection de semences et la conservation de la diversité génétique des plantes cultivées.

La distance de similarité entre deux semences peut être calculée en utilisant différentes méthodes, telles que la distance euclidienne, la distance de Manhattan ou la distance de Mahalanobis. Ces méthodes permettent de comparer les différences entre les traits morphologiques, physiologiques et biochimiques des deux variétés de plantes à partir desquelles les semences ont été produites [12].

L'utilisation de la distance de similarité entre deux semences peut aider les sélectionneurs de semences à choisir les variétés les plus adaptées pour une région donnée ou pour une utilisation spécifique. Par exemple, si un agriculteur cherche à cultiver des plantes dans un environnement avec des sols acides, il peut utiliser la distance de similarité pour trouver des variétés qui ont une meilleure tolérance à l'acidité du sol [45].

### **3.3.2. Comment la distance de similarités entre les semences peut aider les agriculteurs et les experts**

La distance de similarité entre les semences peut être très utile pour les agriculteurs et les experts en agriculture dans leur travail. Cette mesure permet de quantifier la similitude entre différentes variétés de semences et peut être utilisée pour plusieurs applications.

Tout d'abord, cela peut aider à sélectionner les semences les plus adaptées à un environnement donné [13]. En comparant les distances de similarité entre différentes variétés de semences, les agriculteurs peuvent choisir celles qui sont le plus adaptées aux conditions de sol et de climat de leur région. Cela peut aider à augmenter les rendements et à réduire les coûts associés à l'utilisation de semences mal adaptées [7].

En outre, la distance de similarité peut également aider à prévoir la performance des cultures. Si une variété de semence est très similaire à une variété connue pour ses performances supérieures, il est probable qu'elle produira également de bons résultats. Cette information peut aider les agriculteurs à planifier leur saison de croissance et à prendre des décisions éclairées sur les types de semences à utiliser [12].

Enfin, la distance de similarité peut également aider à maintenir la diversité génétique des cultures. En comparant les distances de similarité entre différentes variétés de semences, les agriculteurs peuvent identifier les variétés qui sont les plus distinctes et éviter de planter des semences trop similaires les unes aux autres. Cela peut aider à préserver la diversité génétique et à réduire les risques de perte de culture due à des maladies ou des ravageurs.

### 3.3.3. Algorithme de distance de similarité utilisé

Calcul de distance de similarité entre deux semences qui ont 12 paramètres. Voici comment fonctionne l'algorithme du code de distance de similarité :

1. Lorsque l'utilisateur saisit les paramètres des deux semences et clique sur le bouton "Calculer", la fonction `executer()` est appelée.
2. Dans la fonction `executer()`, nous récupérons les valeurs saisies dans les zones de texte et les divisons en tableaux de nombres (`seed1`` et `seed2``). Nous vérifions également si les tableaux ont bien une longueur de 12, sinon une erreur est levée.
3. Ensuite, nous appelons la fonction `similarity_distance(seed1, seed2)`` pour calculer la distance de similarité entre les deux semences. Cette fonction prend les deux semences (`seed1`` et `seed2``) en entrée.
4. Dans la fonction `similarity_distance()`, nous itérons sur les 12 paramètres des semences à l'aide d'une boucle. Pour chaque paramètre, nous calculons la différence entre les valeurs correspondantes des deux semences, puis élevons cette différence au carré.

5. Nous ajoutons le carré de la différence au "sum\_of\_squares" pour obtenir la somme des carrés de toutes les différences.
6. Enfin, nous prenons la racine carrée de la somme des carrés pour obtenir la distance de similarité entre les deux semences.
7. Le résultat de la distance de similarité est affiché à l'utilisateur dans la zone de texte avec l'ID "resultat".

En résumé, cet algorithme calcule la distance de similarité entre deux semences en itérant sur les paramètres des semences, en calculant la différence entre les valeurs correspondantes, en élevant cette différence au carré, puis en prenant la racine carrée de la somme des carrés. Cela permet de mesurer à quel point les paramètres des deux semences sont similaires ou différents.

### **3.3.4. Distance de similarité dans une ontologie**

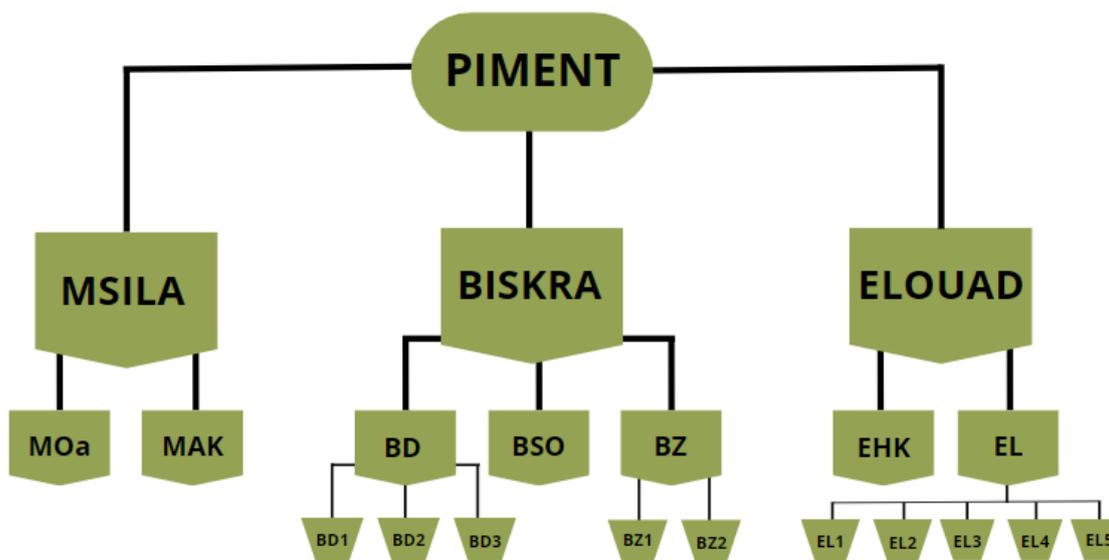
La distance de similarité pour une ontologie est une mesure utilisée pour évaluer la similarité entre deux concepts ou instances dans une ontologie. Cette mesure quantifie à quel point deux concepts ou instances sont semblables ou proches les uns des autres en termes de leurs propriétés, de leurs relations et de leur position hiérarchique dans l'ontologie [45].

Il existe différentes méthodes pour calculer la distance de similarité dans une ontologie. L'une des approches couramment utilisées est la mesure de similarité basée sur le chemin le plus court entre deux concepts ou instances dans la structure hiérarchique de l'ontologie. Cette mesure considère la longueur du chemin entre les deux concepts, en prenant en compte les relations et les niveaux hiérarchiques traversés. Plus le chemin est court, plus les concepts sont similaires.

Une autre approche populaire est la mesure de similarité basée sur l'information. Cette méthode utilise des mesures d'information telles que l'information mutuelle, la divergence de Kullback-Leibler ou l'indice de Jaccard pour quantifier la similarité entre deux concepts ou instances. Ces mesures comparent les distributions de propriétés ou de relations des concepts et calculent leur degré de similarité en fonction de la quantité d'informations partagées.

Il est important de noter que la distance de similarité peut varier en fonction du contexte et de l'objectif spécifique de l'analyse. Différentes ontologies peuvent utiliser des mesures de similarité adaptées à leurs structures et à leurs domaines d'application spécifiques [45].

### 3.4. Diagramme de l'ontologie



**Figure 9:** Le diagramme de l'ontologie

L'ontologie que nous utilisons pour représenter les variétés de piments et leurs emplacements géographiques est structurée de la manière suivante :

La racine de notre ontologie est le concept de "Piment". À partir de cette racine, nous développons des branches correspondant aux lieux spécifiques où les piments sont cultivés. Ces lieux comprennent Biskra, Msila et El Oued.

Sous la branche "Biskra", nous avons les variétés de piments spécifiques cultivées dans cette région, notamment les variétés "BD", "BSD" et "BZ".

De même, sous la branche "El Oued", nous identifions les appellations des variétés de piments cultivées dans cette région, telles que "EHK" et "EL".

Enfin, sous la branche "Msila", nous répertorions les variétés de piments cultivées dans cette zone, notamment les variétés "MOa" et "MAK".

Cette structure en arborescence nous permet d'organiser et de hiérarchiser les connaissances sur les variétés de piments et leurs emplacements géographiques. Elle facilite également la recherche et la classification des informations pertinentes à chaque variété et à chaque lieu.

Il est important de souligner que cette ontologie peut être enrichie en ajoutant d'autres nœuds et relations pour représenter plus en détail les caractéristiques, les propriétés et les informations spécifiques à chaque variété de piment ou à chaque lieu de culture.

En utilisant cette ontologie, vous pouvez explorer et analyser les relations entre les variétés de piments, leurs appellations régionales et leurs emplacements géographiques, ce qui

peut être utile pour diverses applications telles que la recherche agricole, la gestion des ressources et la prise de décisions en matière de culture de piments.

### **3.5. Hybridation entre les semences**

#### **3.5.1. Mécanisme du digital twin dans l'hybridation de semences**

Le jumeau numérique aide à créer de nouvelles graines en utilisant des modèles informatiques pour voir ce qui se passera lorsque différents types de graines sont combinés.

Lorsque nous voulons faire une copie numérique d'une plante [29], nous devons obtenir des informations sur à quoi ressemblaient les parents de la plante. Nous utilisons ces informations pour créer une version simulée ou virtuelle de ce à quoi ressemblerait leur descendance végétale.

Un modèle aide les scientifiques à déterminer quel type de plantes poussera bien ensemble pour créer de nouvelles plantes vraiment fortes et capables de lutter contre les mauvaises choses comme les maladies et les insectes [30]. Cela les aide à décider quelles plantes utiliser pour créer les meilleures nouvelles plantes.

#### **3.5.2. Explication détaillée du code et du fonctionnement de l'hybridation**

Nous avons deux zones de texte (textarea) qui permettent à l'utilisateur de saisir les paramètres des deux semences. Chaque zone de texte est enveloppée dans une colonne (<div class="col-md-6">) pour créer une disposition en deux colonnes responsives.

Lorsque l'utilisateur clique sur le bouton "Calculer", la fonction executeHybridization() est appelée.

Dans la fonction executeHybridization(), nous récupérons les valeurs saisies dans les zones de texte et les divisons en tableaux de nombres (seed1 et seed2). Nous vérifions également si les tableaux ont bien une longueur de 12, sinon une erreur est levée.

Nous définissons également le taux de mutation (mutationRate) à 0.1. on peut ajuster ce taux en fonction de vos besoins.

Ensuite, nous appelons la fonction crossover(seed1, seed2, mutationRate) pour effectuer le croisement génétique entre les deux semences. Cette fonction prend les deux semences (seed1 et seed2) ainsi que le taux de mutation en entrée.

Dans la fonction crossover(), nous créons un nouveau tableau (newSeed) qui contiendra les paramètres de la nouvelle semence résultant du croisement. Pour chaque paramètre, nous générons une valeur aléatoire comprise entre les valeurs correspondantes des deux parents (seed1 et seed2). Ensuite, nous appelons la fonction mutation(newSeed, mutationRate) pour appliquer une possible mutation aux paramètres de la nouvelle semence.

La fonction `mutation()` parcourt chaque paramètre de la semence et, avec une probabilité basée sur le taux de mutation, génère une nouvelle valeur mutée pour ce paramètre. Vous devrez implémenter la logique spécifique pour générer une valeur mutée en fonction de vos besoins. Dans le code actuel, la fonction `generateMutatedValue()` est définie mais vide. Vous devez compléter cette fonction en fonction de votre logique de mutation.

Finalement, nous affichons les paramètres de la nouvelle semence dans la zone de texte avec l'ID "resultat" en utilisant la fonction `join()` pour formater les paramètres de la semence avec des sauts de ligne.

En résumé, le code permet à l'utilisateur de saisir les paramètres de deux semences, puis effectue un croisement génétique entre ces deux semences pour créer une nouvelle semence. Une mutation peut également être appliquée aux paramètres de la nouvelle semence. Les paramètres de la nouvelle semence sont ensuite affichés à l'utilisateur.

### 3.5.3. Résultats de l'hybridation

#### Résultats obtenus

Ce tableau présente les résultats d'hybridation obtenus à partir du croisement de différentes variétés de semences de piment, répertoriées dans notre base de données. Les valeurs en jaune indiquent les résultats correspondant aux caractéristiques désirées.

namesem	SL	SD	DyF	FBp	FL	FW	FWg	FWT	PeL	FL/PeL	SD	SMF
bd1x bd1	20.08	1.53	80.00	40.00	6.18	2.65	14.88	1.67	1.63	3.51	3.65	26.77
bd1x bd1	19.15	1.54	80.00	40.00	6.09	2.57	13.50	1.14	1.38	4.20	3.88	70.01
bd1x bd1	24.63	1.45	80.00	40.00	5.64	2.47	12.44	1.67	1.61	3.74	3.87	25.10
bd1x bd2	23.35	1.66	69.79	44.75	7.22	2.88	23.60	1.82	1.96	4.18	3.70	16.08
bd1x bd2	21.70	2.11	79.11	43.51	8.84	2.98	17.48	1.74	1.75	3.98	3.99	15.93
bd1x bd2	26.40	1.54	77.20	44.77	8.23	2.18	20.34	1.76	1.74	4.84	3.78	8.08
bd1x bd2	19.10	1.52	77.89	47.98	7.81	3.11	20.00	1.98	1.73	3.96	3.98	15.18
bd1x bd3	19.54	1.59	78.68	46.41	6.30	2.21	11.69	1.68	1.72	3.77	3.98	30.33
bd1x bd3	20.77	1.57	75.43	49.88	8.04	2.69	15.07	1.72	1.72	4.25	3.85	91.86
bd1x bd3	21.02	1.49	75.38	45.62	6.01	2.30	12.45	1.64	1.68	3.74	3.81	51.64
bd1x bd3	18.23	1.73	77.41	49.64	6.40	2.29	12.56	1.54	1.74	3.93	3.92	37.12
bd1x bso	18.30	1.55	80.00	40.00	6.40	2.44	12.87	1.60	1.78	3.59	3.79	13.88
bd1x bso	17.72	1.51	80.00	40.00	6.39	2.26	11.43	1.54	1.58	3.93	3.82	51.18
bd1x bso	17.55	1.55	80.00	40.00	7.00	2.24	12.54	1.43	1.97	4.04	3.57	24.74
bd1x bso	18.16	1.53	80.00	40.00	6.43	2.44	12.12	1.09	1.66	3.39	3.89	63.23
bd1x bz1	22.08	1.50	80.00	40.00	6.10	2.14	12.05	1.49	2.20	3.39	3.72	62.38
bd1x bz1	19.68	1.59	80.00	40.00	6.61	2.36	14.01	1.64	1.93	3.75	3.63	77.27
bd1x bz1	23.57	1.57	80.00	40.00	6.49	2.19	16.72	1.44	2.01	3.53	3.88	21.14
bd1x bz1	19.29	1.54	80.00	40.00	7.24	2.18	13.41	1.47	2.51	3.41	3.82	22.91
bd1x bz2	18.76	1.15	70.62	43.93	6.36	2.39	14.68	1.68	1.83	3.39	3.84	8.84
bd1x bz2	18.79	1.72	69.93	54.72	6.33	2.32	12.97	1.85	2.05	3.17	3.49	123.45
bd1x bz2	19.10	1.50	71.29	42.34	6.32	2.93	13.54	1.49	1.72	3.64	3.64	19.63
bd1x bz2	19.98	1.44	77.55	53.45	6.29	2.53	12.57	1.64	1.75	3.35	3.90	4.94
bd1x ehk	20.09	1.30	80.00	40.00	6.35	2.49	13.10	1.61	1.85	3.24	3.70	18.62
bd1x el1	16.93	1.41	78.84	52.61	6.79	2.28	11.35	1.63	1.80	3.58	3.73	20.87
bd1x el2	20.09	1.46	79.86	45.68	6.33	2.61	12.95	1.76	1.83	3.62	3.95	19.06
bd1x el3	18.20	1.60	80.00	40.00	6.00	2.32	12.29	1.72	1.78	3.25	3.91	18.35
bd1x el4	16.45	1.48	76.11	40.70	6.74	2.40	13.36	1.58	1.87	3.61	3.76	68.84
bd1x el5	14.20	1.53	78.78	40.30	6.24	2.51	13.76	1.65	1.75	3.61	3.89	43.29
bd1x Moa	18.18	1.56	80.00	40.00	6.44	2.42	14.02	1.71	1.80	3.49	3.91	21.39
bd1x Mak	22.31	1.53	79.11	53.34	7.19	2.42	14.87	1.52	1.74	4.83	3.93	0.94
ehk x bd2	24.31	1.57	70.79	42.21	6.44	3.02	15.58	1.84	2.20	3.42	3.69	4.17
ehk x bd3	23.94	0.82	76.36	45.65	6.10	2.32	13.47	1.58	1.83	3.46	3.62	19.14
ehk x bso	18.95	0.50	80.00	40.00	6.21	2.56	13.59	1.58	1.99	3.37	3.55	12.52
ehk x bz1	25.30	1.02	80.00	40.00	6.04	1.80	13.54	1.46	2.51	2.40	3.65	71.08
ehk x bz2	24.09	0.95	69.55	44.53	6.36	2.59	14.28	1.70	1.99	3.28	3.69	4.44
ehk x el1	14.28	1.32	79.34	47.85	6.69	2.35	11.06	1.61	2.23	3.05	3.59	19.42
ehk x el2	22.95	0.41	75.79	47.76	6.24	2.68	13.82	2.07	1.94	3.23	3.70	15.44
ehk x el3	22.57	1.03	80.00	40.00	5.95	2.64	13.46	1.64	1.96	3.14	3.75	16.00
ehk x el4	22.97	1.32	75.74	41.99	6.12	2.81	15.45	1.63	1.79	3.13	3.61	23.34
ehk x el5	22.83	1.06	76.05	46.35	7.01	2.60	13.73	1.57	1.99	3.12	3.60	19.96
ehk x Moa	17.59	0.60	75.42	42.88	6.15	2.91	7.10	1.62	1.83	3.34	3.76	27.72
ehk x Mak	23.81	1.19	80.00	40.00	6.52	2.64	13.89	1.78	1.96	3.13	3.75	44.13

Tableau 4: Croisement fait sur un ensemble de semence.

### 3.5.4. Analyse descriptive

Ce tableau offre une analyse descriptive du croisement effectué. Il présente en détail les caractéristiques et les résultats obtenus lors du croisement des différentes variétés.

Statistique	Nombre de graines par fruit	Diamètre des graines	port placenta/longueur du	PeL	longueur de la placente	de la paroi du	Poids du fruit	Largeur du fruit	Longueur du fruit	Jours avant la fructification	Diamètre tige	Longueur tige
Minimum	0.941	3.494	2.399	1.385	1.093	7.102	1.802	5.636	40.000	69.546	0.410	14.202
Maximum	123.447	3.992	4.838	2.513	2.069	23.603	3.107	8.942	54.718	80.000	2.108	26.399
Moyenne	31.870	3.770	3.580	1.875	1.628	13.898	2.491	6.572	43.694	77.489	1.385	20.395
Ecart-type (r)	26.486	0.131	0.454	0.217	0.175	2.665	0.270	0.649	4.412	3.335	0.335	2.878
Coefficient d	0.821	0.034	0.125	0.114	0.106	0.190	0.107	0.098	0.100	0.043	0.239	0.139

Figure 10: Analyse descriptive.

L'hybridation virtuelle des semences de piment a donné des résultats significatifs et prometteurs. L'analyse des données recueillies révèle une variation notable dans les caractéristiques des plantes issues de cette hybridation.

La longueur moyenne de la tige des plants de piment obtenus est d'environ 31,9 centimètres, avec une étendue allant de 0,9 à 123,4 centimètres. Cette amplitude démontre une diversité génétique intéressante, essentielle pour la résilience des cultures face aux défis environnementaux. Le diamètre moyen de la tige est d'environ 3,8 centimètres, avec une variation minimale. Cela indique une certaine stabilité dans cette caractéristique chez les plants obtenus [53].

En ce qui concerne le temps nécessaire à la fructification, nous observons une moyenne d'environ 3,6 jours, avec une plage s'étendant de 2,4 à 4,8 jours. Cette précocité dans la fructification est un avantage important pour les agriculteurs, car cela permet une récolte plus rapide.

La période de fructification moyenne est d'environ 1,9 centimètre, avec une étendue allant de 1,4 à 2,5 centimètres. Cette caractéristique est essentielle pour déterminer la durée de récolte et la productivité des cultures.

La longueur et la largeur moyennes des fruits obtenus sont respectivement d'environ 13,9 centimètres et 1,6 centimètre. Cette taille des fruits est relativement homogène, ce qui peut faciliter la récolte et le conditionnement.

Le poids moyen des fruits est d'environ 77,5 grammes, avec une variation significative allant de 7,1 à 23,6 grammes. Cette diversité de poids peut offrir aux agriculteurs des options pour différentes utilisations commerciales des piments.

L'épaisseur de la paroi des fruits est en moyenne de 2,5 millimètres, ce qui peut avoir un impact sur la texture et la qualité des piments.

La longueur moyenne du placenta des fruits est d'environ 6,6 millimètres, avec une étendue allant de 5,6 à 8,8 millimètres. Cette caractéristique est importante car le placenta contient les graines et peut influencer la saveur et la puissance du piment.

Le rapport placenta/longueur du fruit varie en moyenne autour de 43,7%, ce qui peut être un indicateur de la concentration des composés actifs dans les piments.

Le diamètre moyen des graines est d'environ 1,4 millimètre, avec une variation allant de 0,4 à 2,1 millimètres. Cette diversité de taille des graines peut jouer un rôle dans la résistance aux maladies et l'adaptation aux conditions locales [53].

Enfin, le nombre moyen de graines par fruit est d'environ 20,4, avec une variation significative allant de 14,2 à 26,4 graines. Une plus grande quantité de graines par fruit peut offrir des possibilités de multiplication des cultures et de sélection de variétés résilientes.

Ces résultats obtenus grâce à l'hybridation virtuelle de variétés de piment démontrent la faisabilité et le potentiel de cette approche pour améliorer les caractéristiques des cultures.

Cependant, il est important de noter que ces résultats sont basés sur une étude spécifique et qu'ils peuvent varier en fonction des conditions de culture, des méthodes d'hybridation et d'autres facteurs environnementaux. Des études supplémentaires et des essais sur le terrain seront nécessaires pour confirmer ces observations et évaluer la performance des plants de piment obtenus à plus grande échelle [53].

### 3.6. Réalisation

Après avoir créé des solutions aux problèmes évoqués dans notre recherche, généré des algorithmes, des codes et réalisé une étude sur le piment pour évaluer la validité de notre programme d'hybridation à l'aide du digital twin, ainsi que la création d'une ontologie pour notre base de données et d'un système de calcul et de recherche sur la similarité des semences, nous avons décidé de créer notre plateforme et notre startup Falah DZ.

Falah DZ est une plateforme numérique innovante qui vise à révolutionner l'industrie agricole en fournissant des outils avancés pour la sélection et l'hybridation des semences de piments. Notre objectif est d'aider les agriculteurs et les experts en agriculture à optimiser leurs pratiques de sélection de semences, à améliorer les rendements des cultures et à préserver la diversité génétique des variétés de piments.

Notre plateforme offre plusieurs fonctionnalités clés :

1. **Système d'hybridation virtuelle** : Grâce à notre algorithme avancé, les utilisateurs peuvent explorer différentes combinaisons de caractéristiques génétiques des variétés de piments pour créer de nouvelles variétés hybrides. Notre système offre des recommandations personnalisées basées sur la similarité génétique et les préférences des utilisateurs.
2. **Base de données de semences** : Nous avons construit une vaste base de données de semences de piments, alimentée par une ontologie bien structurée. Les utilisateurs peuvent accéder à des informations détaillées sur chaque variété, y compris les caractéristiques génétiques, les conditions de croissance optimales et les performances agronomiques.
3. **Calcul de la similarité des semences** : Notre système utilise des méthodes avancées de calcul de la distance de similarité pour évaluer la proximité génétique entre différentes semences de piments. Cela permet aux utilisateurs de trouver les variétés les plus similaires en fonction de leurs besoins spécifiques, tels que l'adaptation à un environnement particulier ou la résistance à des maladies spécifiques.
4. **Visualisation des résultats** : Nous fournissons des visualisations graphiques claires et compréhensibles des résultats de similarité, permettant aux utilisateurs de prendre des décisions éclairées lors de la sélection de semences.

5. Collaboration et partage : Notre plateforme permet aux agriculteurs et aux experts de collaborer, d'échanger des connaissances et de partager leurs expériences dans le domaine de la sélection et de l'hybridation des semences de piments.

Falah DZ est dédiée à l'innovation continue et à l'amélioration de nos services. Nous travaillons en étroite collaboration avec les acteurs de l'industrie agricole pour répondre aux besoins spécifiques des agriculteurs et pour contribuer à l'avancement de l'agriculture durable.

### 3.6.1. Stockage et manipulation des données

Nous avons choisi d'utiliser la plateforme APEX ORACLE pour conserver nos données et pour manipuler notre base de données. APEX ORACLE est un environnement de développement web qui permet de créer des applications d'entreprise basées sur une base de données Oracle. L'environnement APEX fournit un ensemble d'outils pour créer des interfaces utilisateur, des rapports, des graphiques, des tableaux de bord et des applications métiers complexes.



Le rôle d'Apex Oracle dans notre travail est de nous permettre de stocker et de manipuler efficacement nos données de manière organisée. Avec Apex Oracle, nous pouvons créer une base de données centrale pour stocker toutes nos données, ce qui nous permet de les retrouver rapidement et facilement lorsque nous en avons besoin. En outre, Apex Oracle nous permet de créer des applications web personnalisées pour visualiser, analyser et manipuler ces données. Ces applications peuvent être facilement personnalisées en fonction de nos besoins spécifiques, ce qui facilite l'analyse des données et la prise de décision.

En utilisant Apex Oracle, nous pouvons également automatiser certaines tâches, ce qui nous permet de gagner du temps et d'améliorer notre productivité. Par exemple, nous pouvons créer des rapports automatisés pour analyser nos données en temps réel, ou configurer des alertes pour être averti lorsque des données spécifiques dépassent des seuils prédéfinis.

En résumé, Apex Oracle est une plateforme puissante qui nous permet de stocker, de gérer et de manipuler efficacement nos données de manière organisée. Elle nous permet de créer des applications web personnalisées pour visualiser, analyser et manipuler nos données, ce qui facilite l'analyse des données et la prise de décision.

Name	Ph	SI	Sd	Li	Lu	Lix	Dyf	Flp	FI	Fu	Flx	Fag	Fert	Nic	Pd	FI Pd	Sd2	Sa F
ED1	50.3	18.67	1.5	8.4	4.9	1.7	80	40	6.4	2.2	2.9	11.79	1.6	3.0	1.8	3.6	3.9	20
ED1	54.0	27.17	1.5	7.8	4.2	1.7	80	40	8.8	3.3	1.8	16.84	1.8	4.0	1.7	3.5	3.6	36
ED1	58.7	24.50	1.5	7.7	4.6	1.7	80	40	5.9	2.8	2.1	13.98	1.1	4.0	1.4	4.3	3.7	101
ED1	51.7	25.33	1.4	9.1	5.3	1.7	80	40	5.5	2.6	2.1	13.05	1.8	4.0	1.5	3.8	3.3	28
ED2	59.3	24.67	1.7	7.1	4.1	1.7	69	57	9.3	2.9	3.2	24.61	1.8	3.0	2.1	4.5	3.6	5
ED2	62.2	23.67	2.3	7.4	4.0	1.8	69	57	9.4	3.2	2.9	24.05	1.9	3.0	2.3	4.1	4.0	3
ED2	73.5	28.33	1.6	6.7	3.5	1.9	69	57	8.5	3.3	2.6	26.47	1.8	4.0	1.7	4.9	3.6	0
ED2	58.3	27.33	1.5	9.2	5.0	1.9	69	57	8.1	3.3	2.4	24.80	2.1	4.0	1.7	4.7	4.0	12
ED3	57.0	23.17	1.5	9.8	5.8	1.7	75	50	6.0	2.9	2.0	15.00	1.6	3.0	1.5	4.1	3.8	140
ED3	53.8	23.33	1.7	7.3	4.8	1.5	75	50	8.2	3.0	2.7	20.18	1.8	3.0	1.7	4.8	3.7	153
ED3	50.3	22.67	1.6	9.7	5.6	1.7	75	50	6.1	2.2	2.8	11.25	1.8	3.0	1.6	3.9	4.0	52
ED3	56.7	17.33	1.9	7.4	4.9	1.5	75	50	7.3	2.8	2.6	12.58	1.5	3.0	1.7	4.2	3.9	55

Figure 11: base de données apex.

Apex nous fournit un environnement convivial et intuitif qui facilite la modification et l'ajout de données. Son interface claire et simple à utiliser permet d'effectuer facilement des modifications ou des ajouts à nos ensembles de données.

Dashboard

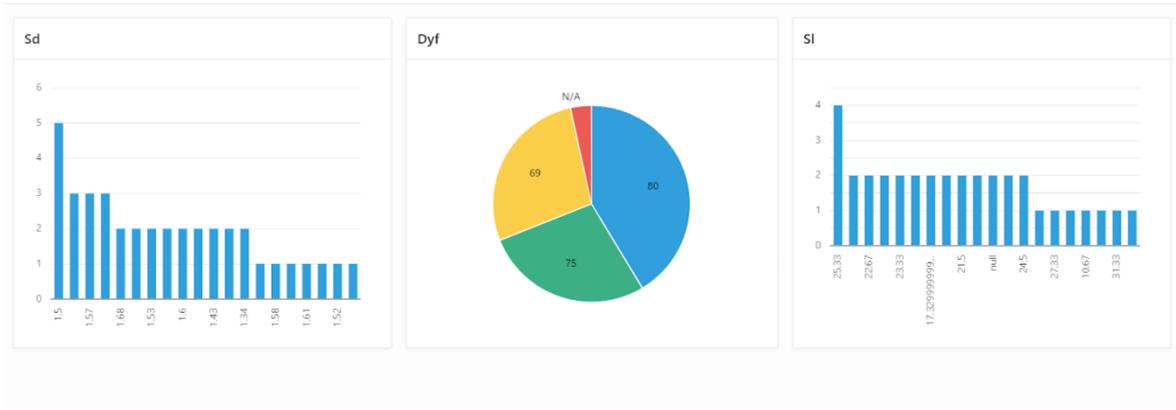


Figure 12: Représentation statique des données.

Il offre également des outils de visualisation de données avancés, comme illustré dans la figure. Ces outils permettent de représenter graphiquement les données de manière claire et compréhensible, ce qui facilite l'analyse et la prise de décision.

### 3.6.2. Plateforme

Falah DZ est une plateforme de pointe dédiée à soutenir et accompagner les agriculteurs et les experts du domaine agricole dans l'amélioration de leur rendement et de leur efficacité. Nous offrons une gamme complète de services et d'outils pour répondre aux besoins de nos utilisateurs.

Notre plateforme se distingue par sa capacité à fournir des conseils personnalisés et des consultations expertes pour aider les agriculteurs à prendre des décisions éclairées et à optimiser leurs pratiques agricoles. Nos experts sont disponibles pour répondre aux questions, fournir des recommandations et proposer des solutions adaptées à chaque situation.

En plus des services de consultation, Falah DZ met à disposition des informations détaillées sur les semences, y compris leur description, leurs caractéristiques et les endroits où les acheter. Nous fournissons également des instructions claires et des conseils pratiques pour différentes étapes de la production agricole, allant de la préparation du sol à la récolte.



Notre plateforme facilite également l'hybridation virtuelle entre les semences, ce qui permet aux agriculteurs et aux experts en agronomie de découvrir de nouvelles combinaisons prometteuses pour améliorer les performances des cultures. Grâce à nos outils avancés, les utilisateurs peuvent générer des rapports personnalisés, analyser des données spécifiques et tirer des conclusions utiles pour optimiser leurs stratégies de culture.

Chez Falah DZ, nous sommes fiers de proposer une interface conviviale et facile à utiliser, rendant notre plateforme accessible à tous les agriculteurs, qu'ils soient novices ou expérimentés en technologie. Nous nous efforçons de rendre nos services abordables et adaptés aux besoins de chaque utilisateur, en mettant l'accent sur la valeur ajoutée que nous apportons à leur activité agricole.

En résumé, Falah DZ est la plateforme de référence pour les agriculteurs et les experts en agriculture. Nous offrons des consultations personnalisées, des informations sur les semences, des instructions pratiques, des outils de calcul avancés et des capacités d'hybridation virtuelle. En choisissant Falah DZ, nos utilisateurs bénéficient d'un partenaire fiable et compétent pour les aider à atteindre leurs objectifs de rendement et de réussite dans le domaine agricole.

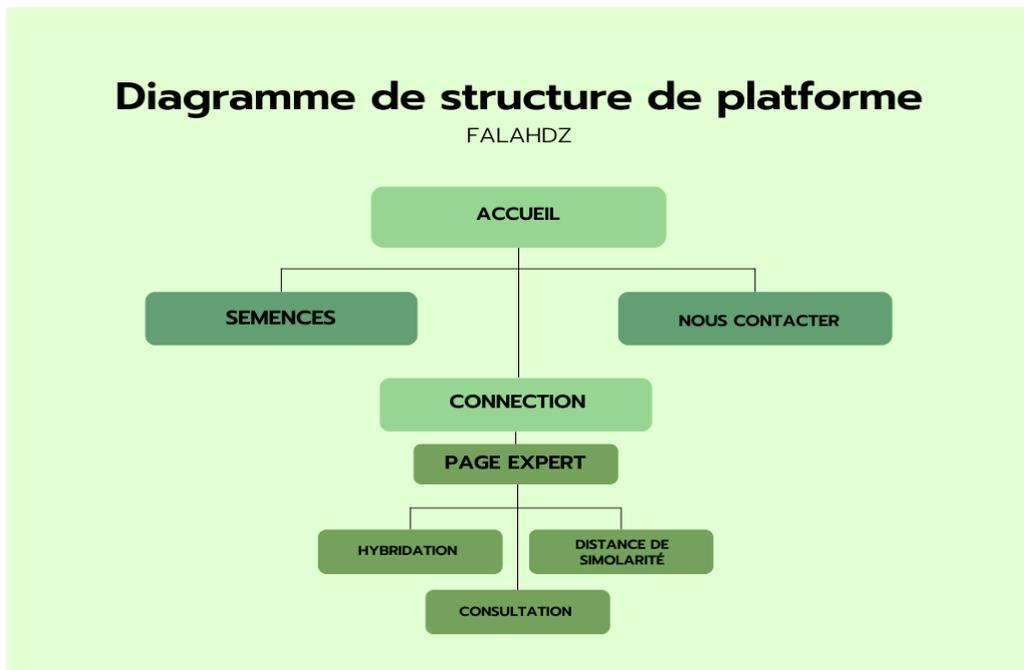


Figure 13: Diagramme de structure de plateforme.

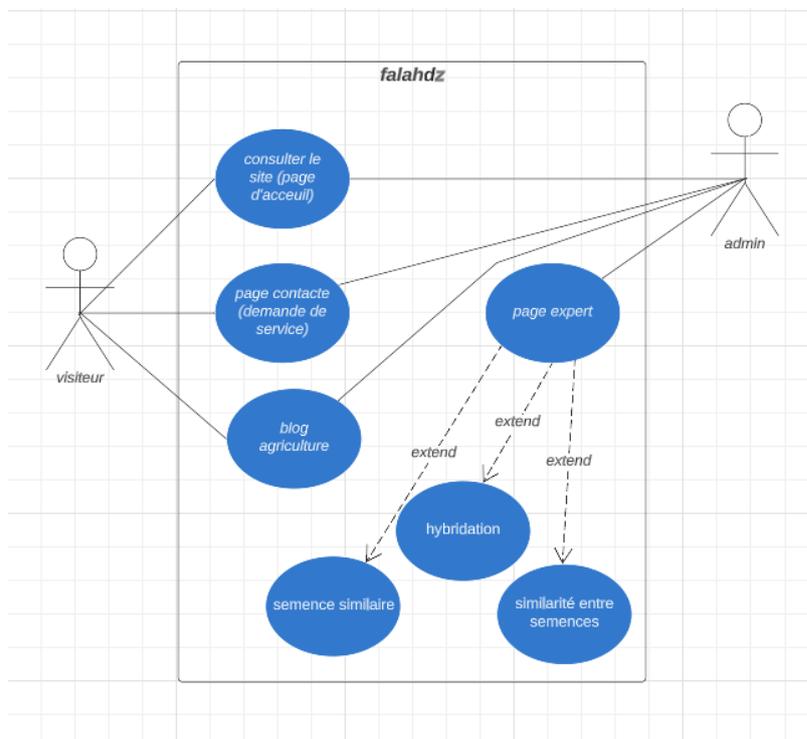


Figure 14: Diagramme de cas d'utilisation.

Le diagramme de cas d'utilisation décrit les différentes fonctionnalités et interactions possibles sur votre site FALAHDZ. Voici une explication du diagramme et des différents acteurs impliqués :

1. Utilisateur : L'utilisateur est un acteur principal qui interagit avec notre site Web. Il peut accéder à la page d'accueil pour obtenir une vue d'ensemble des services proposés et des informations sur votre entreprise. L'utilisateur peut également consulter la page du blog agricole pour obtenir des informations pertinentes sur l'agriculture et d'autres sujets connexes.

2. Administrateur/expert : L'administrateur ou l'expert agricole est un autre acteur important qui gère le site Web. Ils ont la responsabilité de répondre aux demandes des utilisateurs et de fournir des services de consultation agricole. Ils sont chargés de gérer les différentes fonctionnalités du site, de répondre aux messages reçus via la page de contact et de traiter les demandes spécifiques des utilisateurs.

Les fonctionnalités disponibles pour les utilisateurs sur le site Falahdz sont les suivantes :

- Consulter les services : Les utilisateurs peuvent visualiser les différents services proposés par notre entreprise agricole. Cela peut inclure des services de consultation, d'hybridation virtuelle, de recherche de semences similaires, etc. Les informations sur ces services sont disponibles pour aider les utilisateurs à prendre des décisions éclairées.

- Consulter les informations : Les utilisateurs peuvent accéder aux informations disponibles sur notre plateforme, telles que des articles de blog, des ressources agricoles, des études de cas, etc. Cela leur permet de se tenir informés des dernières tendances et des bonnes pratiques en matière d'agriculture.

- Contacter : Les utilisateurs ont la possibilité de contacter notre entreprise agricole via la page de contact. Ils peuvent demander des services de consultation agricole, poser des questions spécifiques, demander des informations supplémentaires, etc. L'administrateur ou l'expert agricole recevra ces demandes et y répondra de manière appropriée.

Le diagramme de cas d'utilisation reflète les différentes interactions entre les utilisateurs et notre site Web agricole, ainsi que le rôle de l'administrateur ou de l'expert agricole pour fournir un support et des services personnalisés. Cela permet aux utilisateurs d'explorer, de demander des informations et d'obtenir des services adaptés à leurs besoins spécifiques en matière d'agriculture.

### 3.6.3. Schéma de la plateforme

Dans la réalisation de notre plateforme, nous utilisons plusieurs langages de programmation et technologies clés pour assurer son bon fonctionnement et offrir une expérience utilisateur optimale. Parmi ces éléments, nous utilisons HTML, CSS, Bootstrap, JavaScript et PHP.



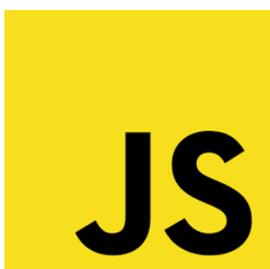
HTML (HyperText Markup Language) est utilisé pour structurer le contenu de notre site web. Grâce à HTML, nous pouvons créer une hiérarchie claire des éléments tels que les en-têtes, les paragraphes, les tableaux et les formulaires. Cela permet d'organiser les données de manière cohérente et de faciliter la navigation des utilisateurs.



CSS (Cascading Style Sheets) est utilisé pour styliser notre site web et lui donner une apparence attrayante. Nous utilisons CSS pour définir les couleurs, les polices, les marges, les bordures et autres propriétés visuelles des éléments HTML. Grâce à cela, nous pouvons personnaliser le design de notre plateforme et la rendre esthétiquement plaisante.



Bootstrap est un framework CSS qui nous aide à développer une interface utilisateur réactive et adaptée aux appareils mobiles. En utilisant les composants préconçus et les classes CSS de Bootstrap, nous pouvons créer rapidement des mises en page réactives et harmonieuses. Cela permet à notre plateforme de s'adapter de manière transparente aux différentes tailles d'écran et aux appareils utilisés par les utilisateurs.



JavaScript est un langage de programmation côté client qui apporte de l'interactivité à notre plateforme. Nous utilisons JavaScript pour ajouter des fonctionnalités dynamiques telles que des interactions utilisateur, des validations de formulaires, des animations et des requêtes asynchrones.

Cela permet d'améliorer l'expérience utilisateur en offrant une interaction fluide et en temps réel.



Enfin, PHP (Hypertext Preprocessor) est utilisé comme langage de programmation côté serveur. Nous utilisons PHP pour interagir avec la base de données Apex, récupérer les données sur les semences de piments et les afficher sur notre plateforme. PHP nous permet également de traiter les formulaires soumis par les utilisateurs, d'exécuter des calculs côté serveur et de générer des pages dynamiques en fonction des actions des utilisateurs.

En combinant HTML, CSS, Bootstrap, JavaScript et PHP, nous créons une plateforme web complète et fonctionnelle. HTML structure le contenu, CSS le stylise, Bootstrap facilite la réactivité, JavaScript apporte de l'interactivité et PHP gère les interactions avec la base de données et la génération de contenu dynamique. Ces technologies travaillent ensemble pour offrir une expérience utilisateur fluide, attrayante et riche en fonctionnalités sur notre plateforme.

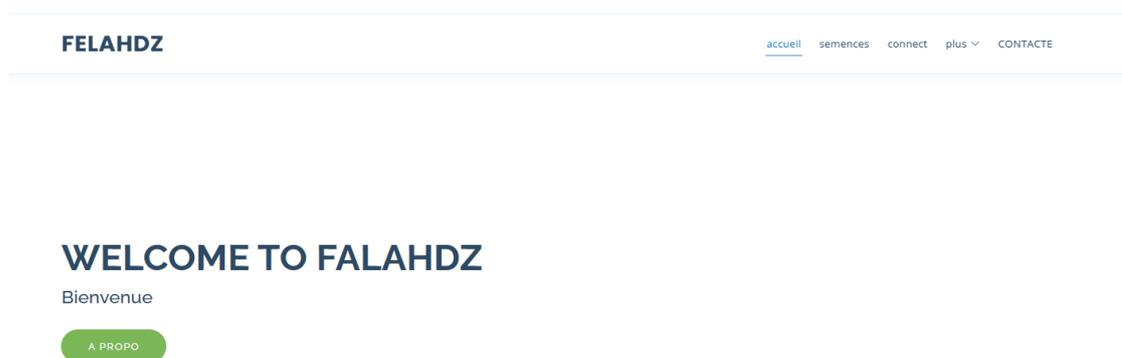


Figure 15: Page d'accueil

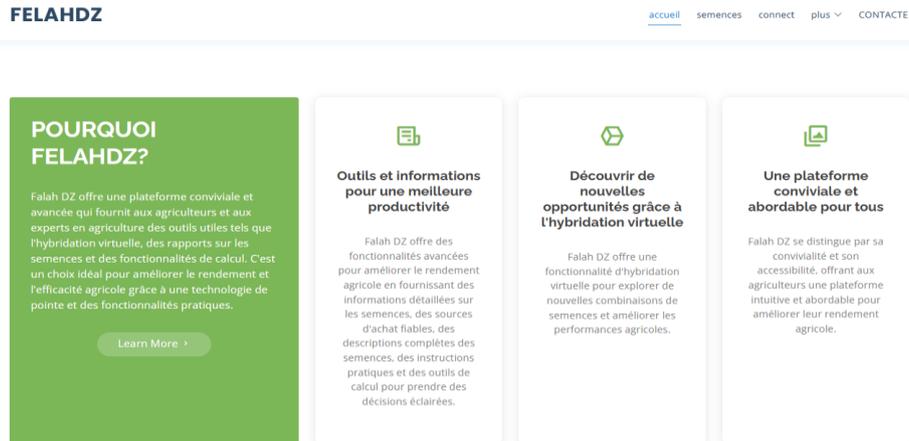
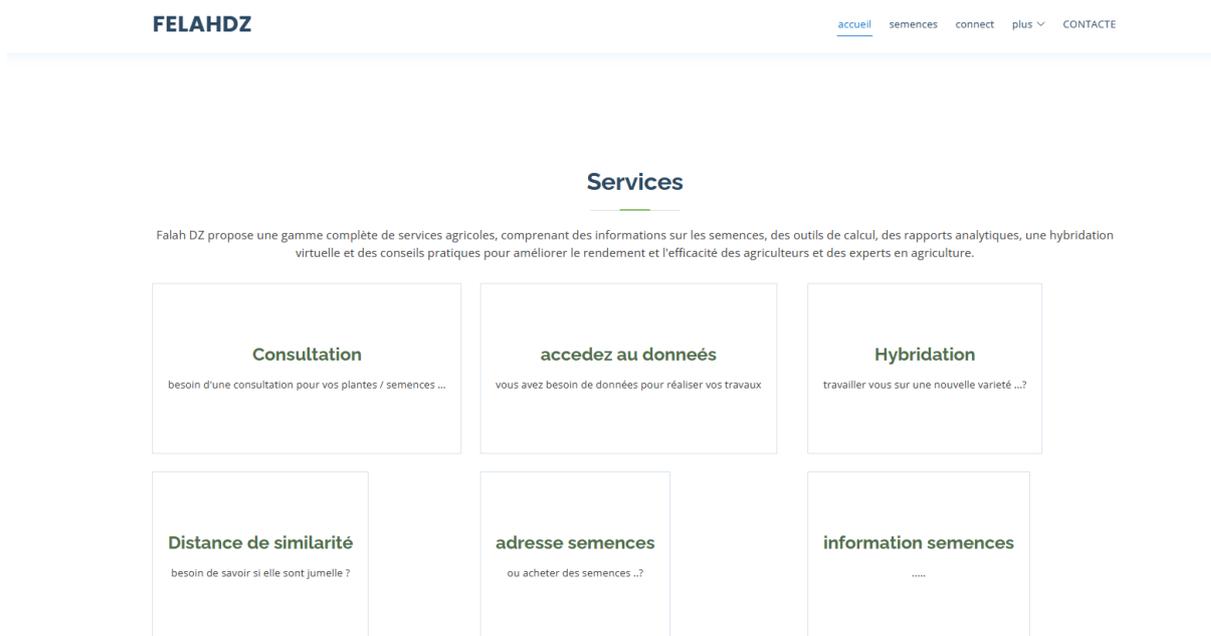


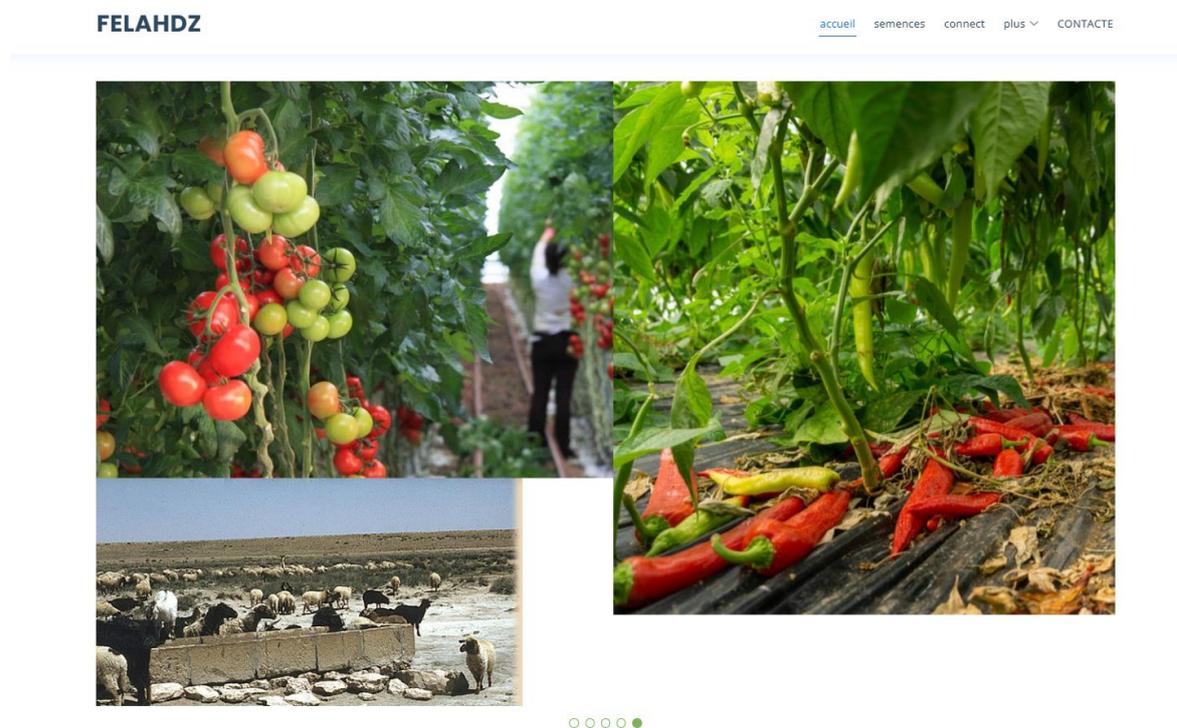
Figure 16: Interface de la plateforme.



Figure 17: à propos de la plateforme.



**Figure 18:** Service de la plateforme



**Figure 19:** Interface de la plateforme.

**FELAHZ** [accueil](#) [semences](#) [connect](#) [plus](#) [CONTACTE](#)

### DISTANCE DE SIMILARITE

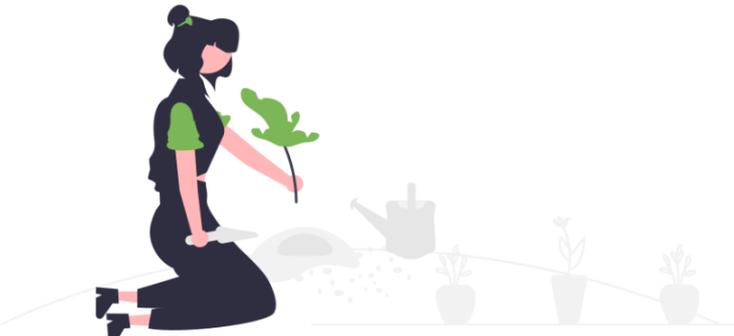
Le calcul avec les 12 paramètres :

19.33 1.68 80 40 5.4 3.05 14.51 1.85 2.09 2.58 3.63 17

24.67 0.21 80 40 6.09 2.61 13.6 1.57 1.97 3.09 3.6 16

Calculer

La distance de similarité entre les deux semences est de : 5.790345412840242



**Figure 20:** Page de calcul de distance de similarité avec les 12 paramètres qu'on a.

Sur cette page, l'expert a la possibilité de saisir les paramètres des semences afin de calculer la distance de similarité entre les deux. Les paramètres des semences peuvent inclure des caractéristiques telles que la taille, la couleur, le poids, la texture, etc. Une fois les paramètres entrés, l'algorithme de calcul de distance de similarité est déclenché, et le résultat est affiché à l'expert sous forme de valeur numérique. Cette valeur numérique représente la mesure de similarité entre les deux semences, indiquant à quel point elles sont similaires ou différentes les unes des autres.

**FELAHZ** [accueil](#) [semences](#) [connect](#) [plus](#) [CONTACTE](#)

### HYBRIDATION

Le calcul de l'hybridation :

Calculer

Paramètre	Valeur
-----------	--------

**Figure 21:** Page d'hybridation entre les semences.

### HYBRIDATION

Le calcul de l'hybridation :

24.67 0.21 80 40 6.09 2.61 13.6 1.57 1.97 3.09 3.6 16

19.33 1.68 80 40 5.4 3.05 14.51 1.85 2.09 2.58 3.63 17

Calculer

Paramètre	Valeur
SL	20.892513922431945
StD	1.6169914777811936
Dyf	80
FBp	40
FL	5.721462817354409
FW	2.7485331095752277
FWg	13.759731822037349
FwT	1.7615758408460145
PcL	2.0327620605105
FL/PcL	2.6218101744662317
SD	3.609945116856533
SN/F	16.92851916813571

**Figure 22:** Résultat de l'hybridation.

Sur la page d'hybridation, l'expert a la possibilité de saisir les paramètres de chaque parent, tels que les caractéristiques génétiques, les traits spécifiques, les attributs morphologiques, etc. Ces paramètres sont utilisés pour effectuer le processus d'hybridation virtuelle entre les deux parents. Une fois les paramètres entrés, l'algorithme d'hybridation est déclenché pour générer le descendant résultant de cette hybridation.

Le descendant obtenu est affiché dans un tableau, où les caractéristiques spécifiques du descendant, héritées des parents, sont présentées. Cela permet à l'expert de visualiser les attributs et les traits du descendant résultant de l'hybridation.

En plus de l'affichage sous forme de tableau, l'expert a également la possibilité de visualiser une représentation graphique, telle qu'un diagramme, qui illustre les relations génétiques et les caractéristiques héritées du descendant. Cette représentation graphique offre une vue visuelle des informations et facilite la compréhension des résultats d'hybridation.

En combinant à la fois les résultats affichés dans le tableau et la représentation graphique, l'expert peut analyser et évaluer les caractéristiques du descendant résultant de l'hybridation des parents.

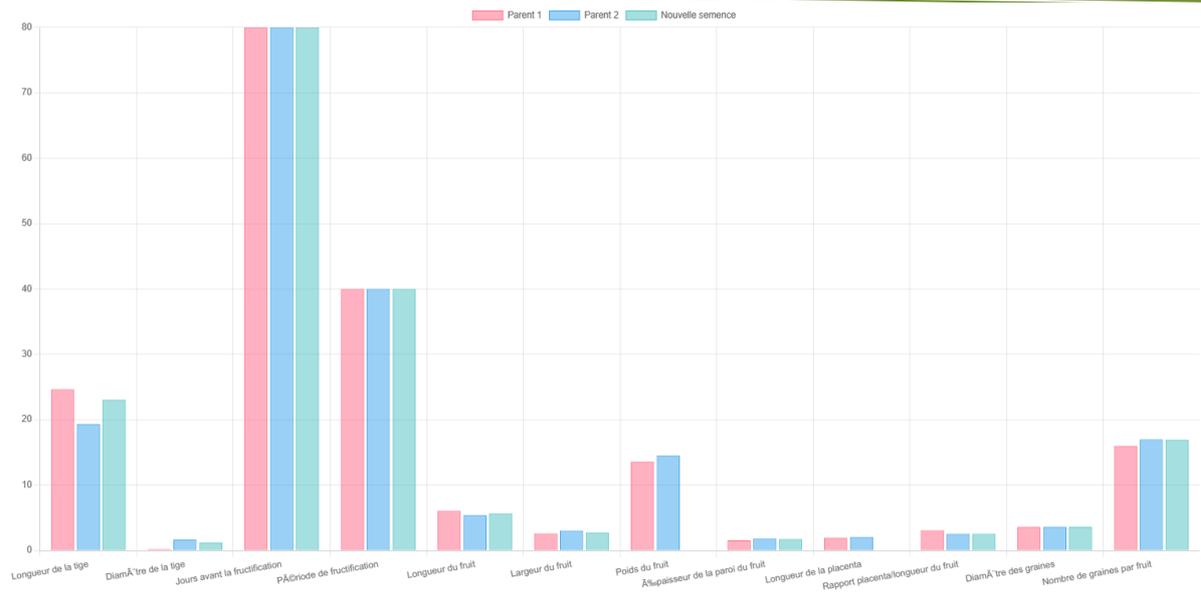


Figure 23: Représentation statique du résultat.

### **3.7. Conclusion**

En conclusion, le troisième chapitre de notre projet a été une étape essentielle dans le développement de notre mémoire, nous avons consacré une partie importante à la création d'une ontologie spécifique aux noms et emplacements des semences. Cette ontologie nous a permis de structurer et de hiérarchiser les informations liées aux variétés de semences ainsi qu'à leurs emplacements de culture. Grâce à cette ontologie, nous avons pu établir des relations sémantiques entre les différentes entités, ce qui facilite la recherche, la classification et l'analyse des données relatives aux semences. Cette approche ontologique a apporté une dimension supplémentaire à notre plateforme Falahdz en fournissant une base solide pour la gestion et l'exploitation des informations sur les semences.

### **Conclusion générale**

Les semences jouent un rôle fondamental dans la sécurité alimentaire, la santé des citoyens et la préservation de la biodiversité agricole. Dans le cadre de notre projet, nous avons exploré différentes approches et technologies pour optimiser la gestion et l'hybridation des semences.

En mettant l'accent sur la diversité des noms de semences en Algérie, nous avons identifié les défis auxquels l'agriculture est confrontée, tels que la difficulté de classification et de recherche des variétés de semences. Pour résoudre ces problèmes, nous avons développé une ontologie spécifique aux noms et emplacements des semences, qui a permis de structurer les informations de manière hiérarchique et de faciliter la recherche, la classification et l'analyse des données relatives aux semences.

De plus, nous avons mis en place une base de données dédiée au stockage et à la gestion des données sur les semences. Cette base de données constitue un environnement sécurisé pour conserver les informations collectées, ce qui est essentiel pour soutenir la stratégie de l'État algérien en matière de sécurité alimentaire et de préservation des semences.

En utilisant le concept de "digital twin", nous avons développé une approche innovante d'hybridation virtuelle des semences. Cette approche permet aux utilisateurs de créer virtuellement de nouvelles variétés en combinant les caractéristiques génétiques des semences existantes, facilitant ainsi le développement de nouvelles variétés plus résistantes, productives et adaptées aux besoins locaux.

Notre plateforme, nommée Falahdz, constitue un outil puissant au service des agriculteurs, des chercheurs et des experts. Elle offre un accès facile aux données sur les semences, permet le calcul de la distance de similarité entre les semences, et fournit des outils interactifs pour l'hybridation virtuelle et la prédiction des caractéristiques des variétés résultantes.

Cependant, il est important de souligner que notre travail ne s'arrête pas là. Nous reconnaissons la nécessité de continuer à développer nos recherches et nos services afin de fournir des résultats encore plus précis et d'étendre notre portée à d'autres variétés de cultures.

Dans un avenir proche, nous visons à développer notre programme d'hybridation pour fournir des résultats en 3D encore plus détaillés, en tenant compte d'un plus grand nombre de paramètres et de variables. Nous cherchons également à élargir notre base de données afin de

## Conclusion générale

---

collecter plus d'informations et de connaissances pour généraliser nos programmes et offrir nos services à une plus grande variété de cultures.

En conclusion, notre projet vise à renforcer la stratégie de l'État algérien en matière de sécurité alimentaire et de préservation des semences. En utilisant des approches telles que l'ontologie, la base de données et le digital twin, nous avons développé des solutions innovantes pour optimiser la gestion, l'hybridation et la conservation des semences. Ces avancées contribueront à améliorer la productivité agricole, à garantir la disponibilité de semences de qualité et à assurer la durabilité des systèmes alimentaires en Algérie.

## Bibliographie

- [1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): <http://www.fao.org/home/en/>
- [2] The World Bank: <https://www.worldbank.org/en/topic/agriculture>
- [3] Bessaoud, O., Pellissier, J. P., Rolland, J. P., & Khechimi, W. (2019). Rapport de synthèse sur l'agriculture en Algérie (Doctoral dissertation, CIHEAM-IAMM).
- [4] Turner, M. (2013). Les semences (p. 224). éditions Quae.
- [5] Abdelguerfi, A., & Laouar, M. (2000, February). Les ressources génétiques des blés en Algérie passé, présent et avenir. In Symposium blé (pp. 133-148).
- [6] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). Algeria: Promoting the use of local varieties to increase agricultural biodiversity.
- [7] Curry, H. A. (2022). Hybrid Seeds in History and Historiography. *Isis; an international review devoted to the history of science and its cultural influences*, 113(3), 610. <https://doi.org/10.1086/721075>.
- [8] FAO. (2019). L'état de la biodiversité pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Rome: Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- [9] Benabdelkader, T., & Hamel, C. (2014). Noms vernaculaires des variétés de blé tendre en Algérie: diversité et utilisation. *Cahiers Agricultures*, 23(1), 32-40.
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2021). Precision Agriculture. <http://www.fao.org/precision-agriculture/en/>
- [11] Initiative for Precision Agriculture. (2021). What is Precision Agriculture? <https://precisionagriculture.org/what-is-precision-agriculture/>
- [12] Mesure de similarité. (2023, March 17). In Wikipedia. [https://fr.wikipedia.org/wiki/Mesure\\_de\\_similarit%C3%A9](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mesure_de_similarit%C3%A9)
- [13] Bulletin d'informations international des partenaires du Millennium Seed Bank Project. Gestion et échange de données des banques de semences – méthodes en vigueur et possibilités d'avenir. Numéro 16, Janvier-Juin 2009. ISSN 1475-8245.
- [14] International Treaty on Plant Genetic Resources for Food and Agriculture : <http://www.fao.org/plant-treaty/en/>
- [15] FAO(2019)"Artificialintelligenceinagriculture",<http://www.fao.org/3/ca5237en/ca5237en.pdf>

## Bibliographie

---

- [16] Kusuma, K., et al. (2019) "Artificial intelligence for sustainable agriculture: A comprehensive review", [17]Journal of Cleaner Production, 222, 1129-1148. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.141>
- Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge acquisition, 5(2), 199-220.
- [18] Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. Scientific american, 284(5), 34-43.
- [19] Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. Stanford knowledge systems laboratory technical report KSL-01-05.
- [20] Studer, R., Benjamins, V. R., & Fensel, D. (1998). Knowledge engineering: Principles and methods. Data & Knowledge Engineering, 25(1-2), 161-197.
- [21] Chaumier, J. (2007). Les ontologies: Antécédents, aspects techniques et limites. Documentaliste-Sciences de l'Information, 44, 81-83. <https://doi.org/10.3917/docsi.441.0081>
- [22] Staab, S., & Studer, R. (Eds.). (2004). Handbook on ontologies (Vol. 1). Springer Science & Business Media.
- [23] Fabien Gandon,(2006),Ontologies informatiques
- [24] Uschold M., Gruninger M., "Ontologies: principles, methods, and applications". Knowledge Engineering Review, Vol.11,No2, pp.93–155, 1996.
- [25] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge acquisition, 5(2), 199-220.
- [26] Baader, F., Calvanese, D., McGuinness, D., Nardi, D., & Patel-Schneider, P. F. (Eds.). (2017). The description logic handbook: Theory, implementation, and applications. Cambridge University Press.
- [27]Han, Y., Wang, K., Liu, Z., Pan, S., Zhao, X., Zhang, Q., & Wang, S. (2020). Research on Hybrid Crop Breeding Information Management System Based on Combining Ability Analysis. Sustainability, 12(12), 4938. <https://doi.org/10.3390/su12124938>.
- [28] Maanani Rayan , 2021,Production vegetal , master2
- [29] Tao, F., Xiao, B., Qi, Q., Cheng, J., & Ji, P. (2022). Digital twin modeling. Journal of Manufacturing Systems, 64, 372-389. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.015>.
- [30] Mercanti-Guérin, M. (2022). De La Creativite Perçue Au Biais De Statu Quo Le Cas Des Jumeaux Numeriques Dans L'Habitat.
- [31] Berville, A., Faivre-Rampant, P., Santoni, S., & Moreau, E. (1990). Contrôle de la pureté des semences de base et de prébase mâle-stériles cytoplasmiques par hybridation moléculaire avec un plasmide mitochondrial. Agronomie, 10(9), 727-734.

## Bibliographie

---

- [32] Singh, R.K., and Chaudhary, B.D. (2004). *Biotechnology: Plant Breeding and Hybrid Seed Production*. Rastogi Publications.
- [33] Acquaah, G. (2012). *Principles of Plant Genetics and Breeding*. John Wiley & Sons.
- [34] Singh, A., & Gaur, P. M. (2020). *Precision Agriculture in Seed Production*.
- [35] Antolini, L. S., Scare, R. F., & Dias, A. (2015, June). Adoption of precision agriculture technologies by farmers: A systematic literature review and proposition of an integrated conceptual framework. In *IFAMA world conference June* (pp. 14-17).
- [36] Dorado, J., & Mulet, A. (2017). *Precision agriculture in seed technology*.
- [37] Guo, Y., et al. (2020). Advances in precision nutrient management for enhancing nutrient use efficiency and crop productivity.
- [38] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012). The digital twin paradigm for future NASA and US air force vehicles. In *Proc. AIAA Infotech@ Aerospace* (p. 17-19). AIAA.
- [39] Tao, F., Cheng, Y., Zhang, L., Nee, A. Y., & Wang, L. (2018). Digital twin-driven product design, manufacturing and service with big data. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 94(9-12), 3563-3576.
- [40] Bergmann, R., & Beykirch, K. (2021). From product data to digital twins: An industrial approach for a digital twin setup. *Procedia CIRP*, 93, 730-735.
- [41] Pylianidis, C., Osinga, S., & Athanasiadis, I. N. (2021). Introducing digital twins to agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 105942. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105942>
- [42] Hu, S., Wang, H., She, C., & Wang, J. (2011). AgOnt: ontology for agriculture internet of things. In *Computer and Computing Technologies in Agriculture IV: 4th IFIP TC 12 Conference, CCTA 2010, Nanchang, China, October 22-25, 2010, Selected Papers, Part I 4* (pp. 131-137). Springer Berlin Heidelberg.
- [43] ASKANE Y, EL-OUCHI Y, EL MESSBAHI S, EL JADIDI ALAOUIS, (2010), *L'Ontologie (Informatique)*.
- [44] Khenfer, B., Chehma, A., & Huguenin, J. (2019). Importance d'une banque de semences du sol pour régénérer des parcours camélins algériens.
- [45] Slimani, T., BenYaghlane, B., & Mellouli, K. (2007, March). Une extension de mesure de similarité entre les concepts d'une ontologie. In *International conference on sciences of electronic, technologies of information and telecommunications* (Vol. 69). [46] Ministère de l'Agriculture et du développement rural, année 2008, cité par Ahmed Ali (2011).

## Bibliographie

---

- [47] Omari, C., Moisseron, J. & Alpha, A. (2012). L'agriculture algérienne face aux défis alimentaires: Trajectoire historique et perspectives. *Revue Tiers Monde*, 210, 123-141. <https://doi.org/10.3917/rtm.210.0123>
- [48] Belhadj, S. (1999). Les pistacheraies algériennes: Etat actuel et dégradation. *Cahiers Options MED*, 56, 107-109.
- [49] Khenfer, B., Chehma, A., & Huguenin, J. (2019). Importance d'une banque de semences du sol pour régénérer des parcours camélins algériens.
- [50] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/la-taxonomie-s1221>
- [51] Chahidi, B., El-Otmani, M., Jacquemond, C., Tijane, M. H., El-Mousadik, A., Srairi, I., & Luro, F. (2008). Utilisation de caractères morphologiques, physiologiques et de marqueurs moléculaires pour l'évaluation de la diversité génétique de trois cultivars de clémentinier. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1), 1-12.
- [52] BEDJAOUÏ, H. (2019). *Etude de la diversité génétique de quelques accessions de palmier Dattier (Phoenix dactylifera L.) en Algérie moyennant les marqueurs de l'ADN de type SSR* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- [53] Bedjaoui, H., Boulelouah, N., Mehaoua, M. S., & Baississe, S. (2022). Exploring agro-morphological diversity of Algerian hot pepper (*Capsicum annum* L.) accessions using multivariate statistics. *Emirates Journal of Food and Agriculture*.
- [54] Bessaoud, O. (1994). L'agriculture en Algérie: de l'autogestion à l'ajustement. *CIHEAM, options méditerranéennes, série*, (8), 89-103.
- [55] Mellal N., "Réalisation de l'interopérabilité sémantique des systèmes, basée sur les ontologies et les flux d'information", Thèse de Doctorat, Université de Savoie, 2007.