

République Algérienne démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université de 08 Mai 1945 – Guelma

Faculté des Mathématiques, d'Informatique et des Sciences de la Matière

Département d'Informatique



Mémoire de Fin d'étude Master

Filière : Informatique

Option : Systèmes Informatique

Thème :

**Vers un modèle sémantique pour la gestion de  
l'interopérabilité dans le domaine de l'agriculture**

Présenté par : Moualkia Ammar

Les membres du jury :

N°	Nom et Prénom	Qualité
1	Dr. BENAMIRA ADEL	Président
2	Dr. KHEBIZI ALI	Examinateur
3	Dr. Djakhdjakha Lynda	Superviseur

Juin 2023

## **Remerciement**

---

*Je remercie Dieu pour m'avais donné santé, courage et patience afin de réaliser ce travail.*

*Mes remerciements à mon encadrante, l'enseignante « Dr. Djakhdjakha Lynda » d'avoir accepté de me diriger pour réaliser ce travail, pour son effort et ces conseils afin d'assurer un travail de qualité, son soutien, ses compétences m'ont été d'une aide inestimable. C'est un honneur pour moi.*

*Je tiens à remercier sincèrement les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre projet en acceptant d'examiner le travail et de l'enrichir par leurs remarques et propositions*

*Enfin, je remercie tous ceux qui sont de près ou de loin ont contribué à l'accomplissement de ce travail*

## *Dédicace*

---

### *Je dédie ce travail*

*A*

#### *Mes parents*

*Les plus chers au monde, qui n'ont jamais cessé de m'encourager et de me soutenir, Je vous souhaite une longue vie pleine de bonheur et surtout de la bonne santé*

*A*

#### *Ma femme*

*Mouna, c'est grâce à elle que j'avais la volonté d'inscrire et de revenir aux études supérieures, elle n'a jamais aussi cessé de m'encourager, son soutien moral m'a aidé à accomplir ce travail jusqu'à la fin.*

*A*

#### *Mes Enfants*

*Wassim et Aline, je vous souhaite que du bonheur, du succès*

*A*

*Mes Frères et sœurs, mes beaux-parents, mes beaux-frères et sœurs*

*A toutes les personnes que j'aime.*

## Table des matières

Résumé.....	7
Abstract .....	8
Introduction générale .....	9
1. Chapitre 01 : État de l'art et travaux connexes .....	11
1.1. Introduction .....	11
1.2. L'interopérabilité : .....	11
1.2.1. Définitions : .....	11
1.2.2. Types d'interopérabilités : .....	13
1.3. Concepts de base .....	14
1.3.1. Définition et objectif .....	14
1.3.2. Méthodologie de développement d'ontologies .....	15
1.4. Les Motivations de travail : .....	18
1.4.1. Méthodologie de sélection des travaux .....	18
1.4.2. Présentation des travaux sélectionnés : .....	19
1.5. Analyses et synthèse : .....	29
1.5.1. Ontologies existantes pertinentes pour le domaine agricole .....	29
1.5.2. Langages d'implémentation des ontologies .....	30
1.5.3. Résultats du regroupement des articles par sous-domaine : .....	30
1.6. Conclusion .....	31
2. Chapitre 2 : Une Ontologie pour la gestion de l'interopérabilité dans les entrepôts de grains..	32
2.1. Introduction .....	32
2.2. Développement de l'ontologie .....	32
2.2.1. La collecte d'information.....	33
2.2.2. Diagramme de classe .....	34
2.2.3. La conceptualisation.....	35
2.3. Utilisation de l'ontologie proposée.....	41
2.3.1. Acteurs et fonctionnalités offertes par le système : .....	41
2.3.2. Diagramme des cas d'utilisation : .....	43
2.3.3. Diagrammes de séquence : .....	43
2.4. Conclusion .....	45
3. Chapitre 03 : Implémentation .....	46

3.1.	Introduction .....	46
3.2.	Mise en œuvre de la contribution.....	46
3.2.1.	Langages et outils de développement.....	46
3.2.2.	Les bibliothèques utilisées .....	47
3.3.	Implémentation du système.....	48
3.2.3.	Implémentation de l'ontologie : .....	49
3.2.4.	Implémentation de l'API.....	50
3.2.5.	Implémentation de l'application Web .....	51
3.4.	Conclusion.....	54
	Conclusion générale.....	55
	Bibliographie :.....	56
	Webographie .....	58
	Travaux réalisés :.....	59

## Liste des figures :

Figure 1:Présentation des systèmes de gestion des sous-domaines dans la chaîne agricole. ....	12
Figure 2:Présentation de la hiérarchie des concepts d'une ontologie avec OntoGraf (protégé).....	14
Figure 3: Une partie de la description d'une ontologie en OWL .....	15
Figure 4: Les étapes de la méthodologie Hybride [1].....	16
Figure 5 : Histogramme de classification des articles par sous-domaines .....	30
Figure 6: Diagramme de classe représentant la hiérarchie des concepts dans le domaine des entrepôts de grains .....	34
Figure 7: Diagramme des cas d'utilisation .....	43
Figure 8:Diagramme de séquence (Ajouter un nouvel Entrepôt).....	44
Figure 9: Diagramme de séquence (Consulter tous les Entrepôts).....	44
Figure 10: Diagramme de séquence (Ajouter un équipement dans un entrepôt).....	45
Figure 11: L'architecture générale de ce système. ....	48
Figure 12: Présentation des classes sous forme hiérarchique sur protégé .....	49
Figure 13: Présentation de l'ontologie sous forme d'un graphe avec OntoGraf (protégé).....	49
Figure 14: Code source de l'API responsable à la récupération de la liste des entrepôts depuis l'ontologie .....	50
Figure 15: Teste de l'API dans avec la méthode GET sur POSTMAN .....	51
Figure 16: La page d'accueil qui présente les activités et les fonctionnalités du système .....	52
Figure 17: Ajouter un nouvel entrepôt .....	53
Figure 18: Figure Présente l'insertion de l'entrepôt dans la liste de mes entrepôts sur le portail .....	53

## Liste des Tableaux :

Tableau 1: Tableau de classification des articles par sous-domaines.....	28
Tableau 2: Ressources utilisé pour la collecte d'information.....	33
Tableau 3: Table des concepts.....	35
Tableau 4: Table des sous-concepts .....	39
Tableau 5: Table des relations .....	40
Tableau 6: Table des propriétés.....	41
Tableau 7: Les opérations de base utilisées pour la gestion de la pertinence des données et des applications (CRUD).....	50

## Liste des Abréviations :

**AgriOnt** : Agriculture ontologie

**AGROVOC** : est un vocabulaire contrôlé multilingue couvrant tous les domaines d'intérêt de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), notamment l'alimentation, la nutrition, l'agriculture

**API** : Application Programming Interface (Interface de programmation d'applications)

**CRUD** : Acronyme informatique anglais pour (Create, Read, Update, Delete)

**FAO** : L'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

**IoT** : Internet of Things (Internet des Objets)

**OWL** : Ontology Web Language

**RDF** : Resource Description Framework

**SSN** : Ontologie (semantic sensor network).

## Résumé

*Ce mémoire se focalise sur la conception d'un modèle sémantique visant à combler le manque de représentation des connaissances liées aux entrepôts de stockage dans le domaine agricole. Les entrepôts de stockage jouent un rôle clé dans la chaîne agricole, mais il existe actuellement un manque d'ontologie dédiée pour représenter de manière sémantique les informations spécifiques à ces infrastructures.*

*Dans un premier temps, nous avons effectué une revue approfondie de la littérature afin d'identifier les dimensions et les exigences spécifiques aux entrepôts de stockage agricoles. Cette analyse nous a permis de mettre en évidence le manque en représentation de connaissances dans ce domaine. Nous avons constaté un besoin pressant de combler cette lacune en développant une ontologie qui capture de manière précise et complète les concepts, les relations et les propriétés spécifiques aux entrepôts de stockage agricole.*

*En utilisant des méthodologies bien établies pour le développement d'ontologies, une ontologie dédiée aux entrepôts de stockage agricoles a été conçue. Les concepts ont été définis avec précision, en tenant compte des différentes caractéristiques des entrepôts tels que leur capacité de stockage, leur emplacement géographique, les conditions de conservation des produits, etc. Des relations et des propriétés ont été établies pour capturer les liens et les attributs spécifiques aux entrepôts de stockage.*

*Une fois l'ontologie créée, une application conviviale a été développée, permettant aux utilisateurs d'explorer et d'interagir avec les informations représentées dans l'ontologie. L'application offre une interface intuitive et conviviale, facilitant ainsi l'accès aux données sur les entrepôts de stockage agricoles. Les utilisateurs peuvent effectuer des recherches, filtrer les résultats et obtenir des informations détaillées sur les entrepôts, favorisant ainsi une meilleure compréhension et une utilisation plus efficace des données.*

*Cette approche permet de résoudre le problème d'interopérabilité en facilitant la communication, l'échange et l'utilisation efficace des informations liées aux entrepôts de stockage, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources agricoles et à une prise de décision améliorée au sein de la chaîne d'approvisionnement agricole.*

**Mots clé :** *Agriculture Intelligente, ontologie, IoT, web sémantique, entrepôts de grains.*

## Abstract

*This thesis focuses on the design of a semantic model aiming to address the lack of knowledge representation regarding storage warehouses in the agricultural domain. Storage warehouses play a crucial role in the agricultural supply chain, yet there is currently a lack of dedicated ontologies to semantically represent the specific information related to these facilities.*

*To begin with, an extensive literature review was conducted to identify the dimensions and specific requirements of agricultural storage warehouses. This analysis allowed for the determination of key concepts, relationships, and properties that need to be considered in the ontology.*

*By employing established methodologies for ontology development, a dedicated ontology for agricultural storage warehouses was designed. Concepts were precisely defined, taking into account various characteristics of warehouses such as storage capacity, geographical location, product preservation conditions, etc. Relationships and properties were established to capture the specific links and attributes of storage warehouses.*

*Once the ontology was created, a user-friendly application was developed to enable users to explore and interact with the information represented in the ontology. The application provides an intuitive and user-friendly interface, facilitating access to data on agricultural storage warehouses. Users can perform searches, filter results, and obtain detailed information about warehouses, thereby enhancing understanding and more efficient utilization of the data.*

*The results obtained demonstrated that the ontology of agricultural storage warehouses, along with its user-friendly application, allows for consistent semantic representation and practical utilization of knowledge in this domain. This approach facilitates communication, exchange, and effective utilization of information related to storage warehouses, thereby contributing to improved management of agricultural resources and enhanced decision-making within the agricultural supply chain.*

**Keywords:** *Smart Agriculture, ontology, IoT, semantic web, grain storage.*

## Introduction générale

L'agriculture joue un rôle essentiel dans l'économie mondiale en contribuant à la production alimentaire, à la sécurité alimentaire et au développement rural. Dans le domaine de l'agriculture, les entrepôts de stockage jouent un rôle clé dans la chaîne agricole en permettant le stockage à long terme des grains, la réduction des pertes post-récolte et la gestion des approvisionnements.

Cependant, la gestion des entrepôts de stockage des grains présente des défis complexes liés à l'interopérabilité des systèmes d'information, à la traçabilité des produits et à la coordination des acteurs impliqués. Ces défis peuvent entraîner des inefficacités opérationnelles, des erreurs de suivi des stocks et des difficultés dans la planification des approvisionnements.

Ces dernières années, l'utilisation des ontologies offre une solution prometteuse pour résoudre le problème d'interopérabilité dans le domaine de l'agriculture[1], [2], [3], [4], [5],[6],[7],[8],[9],[10],[11],[12].

Les ontologies sont des structures de connaissances formelles qui définissent les concepts, les relations et les propriétés spécifiques à un domaine donné. En créant un langage commun et une représentation sémantique des données agricoles, les ontologies permettent une communication cohérente et une compréhension partagée entre les différents systèmes et les acteurs d'agriculture.

L'objectif de ce mémoire est de développer un modèle sémantique pour résoudre le problème d'interopérabilité dans le domaine de l'agriculture, en particulier pour la gestion des entrepôts de stockage de grains. Ce modèle vise à faciliter l'échange et le partage de données des entrepôts, à améliorer la recherche et l'analyse des données, et à favoriser l'innovation dans la chaîne agriculture.

Dans ce mémoire, nous allons examiner l'état de l'art des ontologies dans le domaine de l'agriculture, en analysant les travaux connexes et les méthodologies existantes pour le développement d'ontologies. Nous identifierons les lacunes et les défis actuels, ainsi que les opportunités émergentes pour l'utilisation des ontologies dans des domaines spécifiques de l'agriculture.

Ensuite, nous utiliserons un cadre méthodologique pour la conception et le développement d'ontologies, en prenant en compte les activités de collecte d'information, de conceptualisation, de formalisation et d'implémentation. Nous utiliserons des techniques de raisonnement sémantique qui peuvent être utilisées pour exploiter les données représentées et générer des connaissances exploitables.

De plus, nous évaluerons l'efficacité et l'impact du modèle sémantique proposé dans un système qui sera destiné aux différents acteurs du secteur d'agriculture,

Enfin, nous clôturons avec une conclusion en mettant en évidence les avantages, les limites et les perspectives futures de recherche dans ce domaine.

# 1. Chapitre 01 : État de l'art et travaux connexes

## 1.1.Introduction

Dans la première partie de ce chapitre, nous commencerons par la description du problème majeur entre les systèmes de gestion dans le domaine de l'agriculture, en présentons quelques définitions de l'interopérabilité, ainsi son importance pour assurer une meilleure efficacité opérationnelle pour ces systèmes. Ensuite on va examiner l'état de l'art des concepts de base, en définissant le concept d'ontologie et en soulignant son efficacité en termes de représentation sémantique et formelle des données. Par la suite, nous présenterons une description et une évaluation des méthodologies de développement des ontologies, ce qui nous permettra d'identifier les faiblesses de ces méthodologies par rapport aux autres approches.

Dans la seconde partie, nous procéderons à une revue des travaux connexes, en nous concentrant sur un ensemble spécifique de mots-clés afin de cibler uniquement les articles pertinents pour notre objectif de recherche.

## 1.2.L'interopérabilité :

### 1.2.1. Définitions :

L'interopérabilité est un défi majeur dans le domaine de la gestion de l'information et des systèmes informatiques. Elle fait référence à la capacité des différents systèmes à échanger des données et à collaborer de manière transparente et efficace.

Depuis plusieurs années, l'introduction d'ontologies dans la gestion de l'interopérabilité offre une solution standardisée et cohérente pour l'échange et l'intégration des données. Elle permet de surmonter les barrières de communication entre les systèmes et favorise une meilleure utilisation des informations, conduisant ainsi à une gestion plus efficace de l'interopérabilité entre des systèmes complexes et hétérogènes.

L'utilisation de modèles formels et normalisés de représentation et d'organisation des connaissances est fortement recommandée[3] car ils peuvent :

- Améliorer le partage des connaissances entre les parties prenantes concernées (par exemple, les agriculteurs, les consommateurs, les fonctionnaires).

- Renforcer l'efficacité de la recherche d'informations en intégrant les avantages de la recherche par mot-clé et de la recherche par concept, et
- permettre l'interopérabilité sémantique des systèmes d'information[3].

L'agriculture implique une multitude d'acteurs et de processus, tels que la gestion des cultures, la gestion des ravageurs, la gestion des ressources, la gestion d'irrigation, la logistique, la traçabilité, la commercialisation, les réglementations, etc.

Chacun de ces domaines nécessite des échanges d'informations précises et opportuns pour une prise de décision éclairée et une meilleure efficacité opérationnelle.

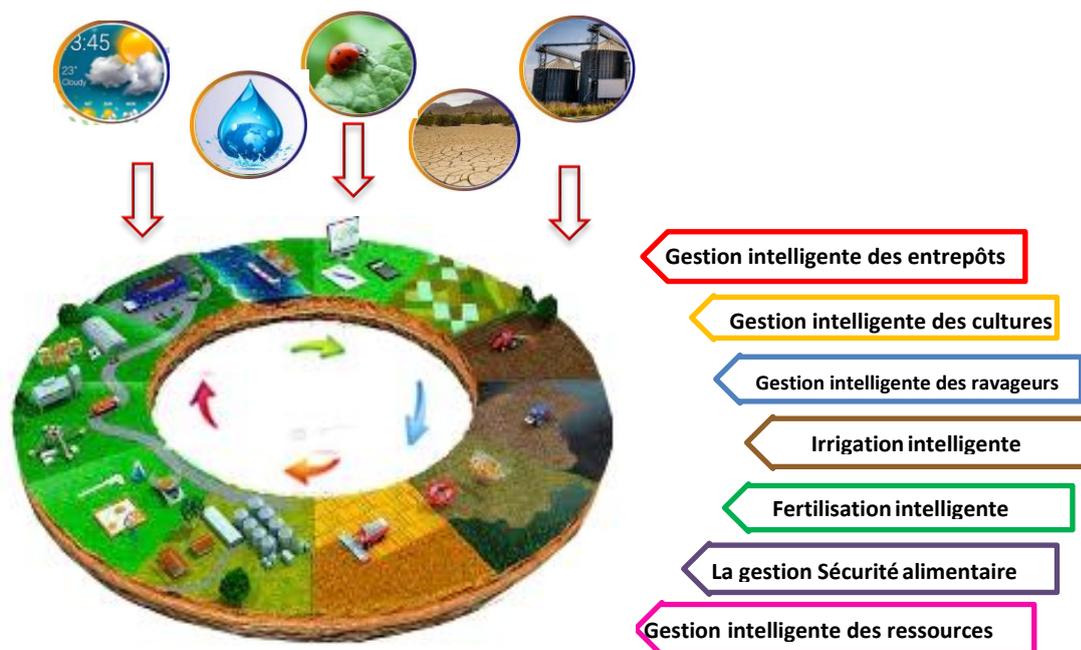


Figure 1:Présentation des systèmes de gestion des sous-domaines dans la chaîne agricole.

L'utilisation d'ontologies est indispensable pour garantir une interopérabilité efficace entre les systèmes de gestion dans le domaine de l'agriculture, car elle permet de promouvoir le facteur de réutilisation et d'améliorer l'interopérabilité des données. En outre, elle peut aider à trouver des similitudes sémantiques avec d'autres entités similaires définies dans différents référentiels[3].

L'ontologie étant la tendance actuelle de la technologie dans le domaine sémantique, il est important d'obtenir une plus grande interopérabilité dans le système agricole, ce qui permet de comprendre clairement les données hétérogènes et d'en tirer un résultat remarquable[4].

### **1.2.2. Types d'interopérabilités :**

Il convient généralement d'identifier trois (03) types d'interopérabilité : l'interopérabilité technique « pouvoir communiquer », l'interopérabilité sémantique « savoir se comprendre » et l'interopérabilité syntaxique « savoir communiquer » [w1].

#### **1.2.2.1. L'interopérabilité technique :**

Elle concerne les problèmes techniques de liaison entre systèmes, la définition des interfaces, le format des données et les protocoles, y compris les télécommunications. Elle décrit la capacité pour des technologies différentes à communiquer et à échanger des données basées sur des normes d'interface bien définies et largement adoptées.

#### **1.2.2.2. L'interopérabilité sémantique :**

Elle assure que la signification exacte des informations échangées soit compréhensible par n'importe quelle autre application, même si celle-ci n'a pas été conçue initialement dans ce but précis. En effet, des conflits sémantiques surviennent lorsque les systèmes n'utilisent pas la même interprétation de l'information qui est définie différemment d'une organisation à l'autre. Pour réaliser l'interopérabilité sémantique, les deux côtés doivent se référer à un modèle de référence d'échange d'informations commun

#### **1.2.2.3. L'interopérabilité syntaxique**

La syntaxe traduit le sens en symboles. Il y a entre la sémantique et la syntaxe le même rapport qu'entre le fond et la forme. L'interopérabilité syntaxique concerne la façon dont sont codées et formatées les données en définissant notamment la nature, le type et le format des messages échangés, Elle conduit à la notion de système ouvert permettant d'assumer l'hétérogénéité des composants.

## 1.3. Concepts de base

### 1.3.1. Définition et objectif

L'ontologie est un concept clé dans le domaine de la gestion des connaissances. Elle se réfère à une représentation formelle et structurée des concepts, des termes et des relations dans un domaine spécifique.

L'ontologie est une technique de modélisation des données pour un dépôt de données structuré, fondé sur une collection de concepts avec leurs relations sémantiques et leurs contraintes sur le domaine[1]. Elle fournit un vocabulaire commun et une taxonomie qui décrivent les concepts et les relations entre eux de manière explicite. La figure (Figure 1) suivante présente un exemple d'une ontologie

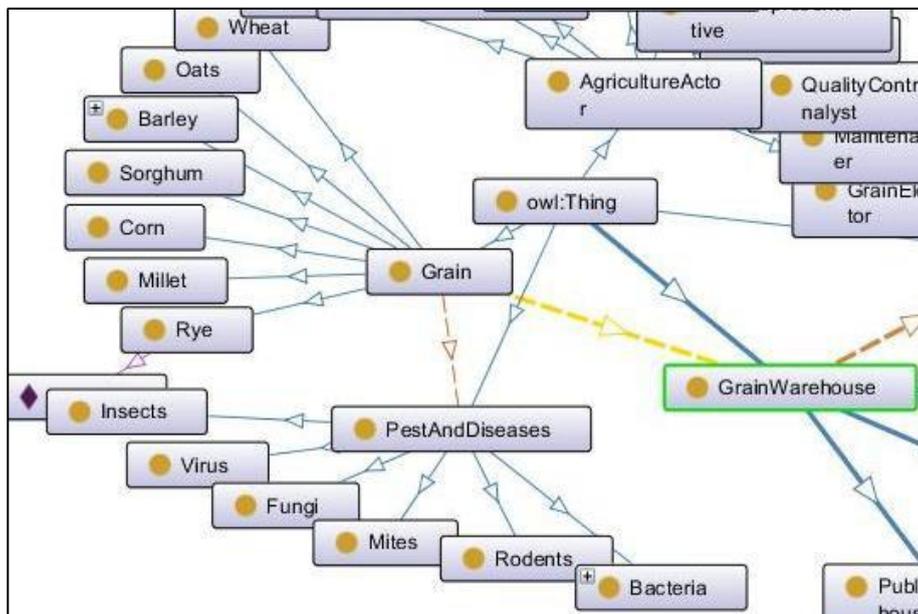


Figure 2:Présentation de la hiérarchie des concepts d'une ontologie avec OntoGraf (protégé)

L'objectif principal d'une ontologie est de capturer la signification et la sémantique des connaissances d'un domaine, afin de permettre une compréhension et une communication précises entre les humains et les machines basé sur des langages formels tels que RDF (Resource Description Framework) ou OWL (Web Ontology Language).

Le langage OWL est une solution puissante et efficace pour la construction d'ontologies dans divers domaines. Son utilisation répandue témoigne de sa capacité à relever les défis liés à la représentation sémantique des connaissances et à l'interopérabilité des

systèmes d'information. La figure (Figure 2) montre une partie de la description d'une ontologie en OWL.

```

319 <Class IRI="#Grain"/>
320 </SubClassOf>
321 <SubClassOf>
322 <Class IRI="#ConvoyerSystem"/>
323 <Class IRI="#Equipment"/>
324 </SubClassOf>
325 <SubClassOf>
329 <SubClassOf>
330 <Class IRI="#Corn"/>
331 <Class IRI="#Grain"/>
332 </SubClassOf>
333 <SubClassOf>
334 <Class IRI="#DataLoggers"/>
335 <Class IRI="#TemperatureMonitoringEquipment"/>
336 </SubClassOf>
337 <SubClassOf>
338 <Class IRI="#DustCollectorEquipment"/>
339 <Class IRI="#Equipment"/>
340 </SubClassOf>
341 <SubClassOf>
342 <Class IRI="#Farmer"/>
343 <Class IRI="#AgricultureActor"/>
344 </SubClassOf>
345 <SubClassOf>
346 <Class IRI="#ForkliftsAndHandlingEquipment"/>
347 <Class IRI="#Equipment"/>
348 </SubClassOf>
349 <SubClassOf>
350 <Class IRI="#Fungi"/>
351 <Class IRI="#PestAndDiseases"/>

```

```

685 <ObjectPropertyDomain>
686 <ObjectProperty IRI="#StoredIn"/>
687 <Class IRI="#Grain"/>
688 </ObjectPropertyDomain>
689 <ObjectPropertyDomain>
690 <ObjectProperty IRI="#equipedBy"/>
691 <Class IRI="#Warehouse"/>
692 </ObjectPropertyDomain>
693 <ObjectPropertyDomain>
694 <ObjectProperty IRI="#managedBy"/>
695 <Class IRI="#Warehouse"/>
696 </ObjectPropertyDomain>
697 <ObjectPropertyRange>
698 <ObjectProperty IRI="#InfectedBy"/>
699 <Class IRI="#PestAndDiseases"/>
700 </ObjectPropertyRange>
701 <ObjectPropertyRange>
702 <ObjectProperty IRI="#StoredIn"/>
703 <Class IRI="#Warehouse"/>
704 </ObjectPropertyRange>
705 <ObjectPropertyRange>
706 <ObjectProperty IRI="#equipedBy"/>
707 <Class IRI="#Equipment"/>
708 </ObjectPropertyRange>
709 <ObjectPropertyRange>
710 <ObjectProperty IRI="#managedBy"/>
711 <Class IRI="#AgricultureActor"/>
712 </ObjectPropertyRange>
713 <DataPropertyDomain>
714 <DataProperty IRI="#hasAbilityToFly"/>

```

Figure 3: Une partie de la description d'une ontologie en OWL

Les ontologies sont largement utilisées dans divers domaines tels que la santé, l'éducation, l'ingénierie, l'industrie, la finance, et bien d'autres encore.

### 1.3.2. Méthodologie de développement d'ontologies

Le développement d'une ontologie est un travail crucial qui nécessite l'existence d'une méthodologie bien définie. Cependant, il est important de noter qu'il n'existe pas dans la littérature une méthodologie standard universellement acceptée pour le développement d'ontologies [1]. Pour la création d'une ontologie conforme aux principes de réutilisabilité et de stabilité sémantique, il est essentiel de prendre en compte de manière rigoureuse certaines activités clés tout au long du processus de développement.

Plusieurs méthodologies ont été proposées pour la conception des ontologies [1]. Chaque méthodologie présente ses points forts et faibles, et certaines peuvent se démarquer par rapport aux autres. Parmi ces approches, on peut citer la méthodologie de Gruninger et Fox [13], l'approche Methontology [14], l'approche de Noy et McGuinness [15], l'approche d'Ushold et King [16], ainsi que la méthodologie FAO-Based proposé dans le travail de [17].

La revue de littérature [1], réalisée en 2020 intitulée "A Review on Ontology Development Methodologies for Developing Ontological Knowledge Representation Systems for Various Domains", est une étude visant à examiner les approches précédemment connues et utilisées par les développeurs pour la conception de leurs ontologies. Cette revue se concentre sur la comparaison de plusieurs méthodologies en utilisant un ensemble de critères tels que l'effort, l'utilisation, l'applicabilité, la rigueur, la formalité, le niveau de détail et la documentation.

L'objectif de cette revue n'est pas seulement d'identifier les faiblesses de chaque méthodologie, mais aussi de proposer une nouvelle méthodologie hybride qui tient compte de l'ensemble des activités suivantes :

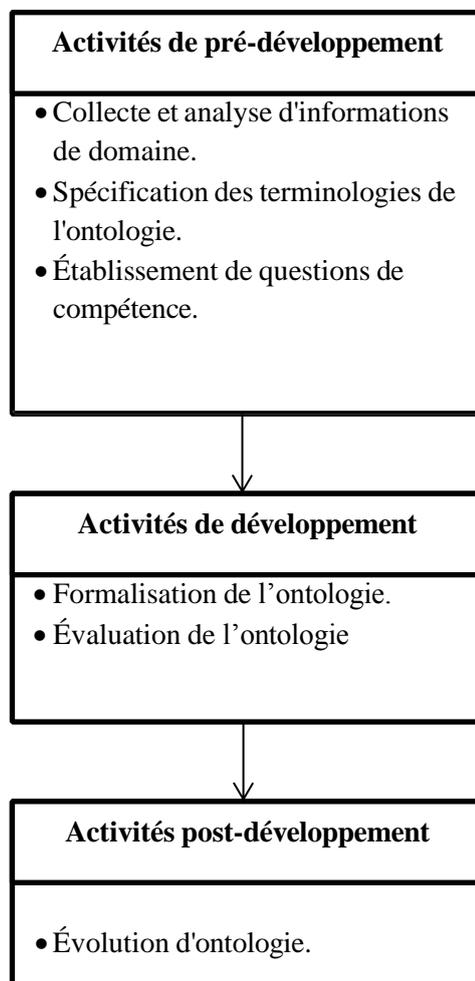


Figure 4: Les étapes de la méthodologie Hybride [1].

#### Activités de pré-développement :

- **Collecte et analyse d'informations de domaine** : Cette activité implique la recherche et la collecte d'informations pertinentes sur le domaine spécifique pour lequel l'ontologie est développée. Cela peut inclure l'examen de documents existants, l'interrogation d'experts du domaine, la consultation de bases de données et d'autres sources d'informations pertinentes. L'objectif est de rassembler les connaissances nécessaires pour construire une ontologie représentant le domaine de manière précise.
- **Spécification des terminologies de l'ontologie** : Dans cette activité, les termes et les concepts clés du domaine sont identifiés et définis. Cela comprend la création d'une liste de termes, leur définition et leur organisation hiérarchique. La spécification des terminologies permet de créer une base solide pour la représentation des connaissances dans l'ontologie.
- **Établissement de questions de compétence (en utilisant des logiques)** : Il s'agit de définir les questions de compétence qui seront utilisées pour vérifier la cohérence et l'expressivité de l'ontologie. Les questions de compétence sont formulées en utilisant des logiques formelles telles que la logique de description et la logique de premier ordre. Elles permettent de tester les règles et les inférences de l'ontologie afin de garantir sa qualité et son adéquation avec le domaine.

#### Activités de développement :

- **Formalisation d'ontologie** : Cette activité consiste à formaliser l'ontologie en utilisant un langage d'ontologie tel que RDF, OWL ou un autre langage approprié. La formalisation implique la création de classes, de propriétés, de relations et d'axiomes qui décrivent les concepts et les relations du domaine. Il peut également inclure l'utilisation de règles logiques pour exprimer des inférences et des contraintes dans l'ontologie.
- **Évaluation d'ontologie** : L'évaluation de l'ontologie vise à vérifier sa qualité et son adéquation par rapport aux objectifs initiaux. Cela peut inclure des tests de cohérence logique, des évaluations de la couverture des concepts, des comparaisons avec d'autres ontologies similaires, et l'identification des lacunes ou des incohérences éventuelles. L'évaluation permet d'identifier les problèmes potentiels et d'améliorer l'ontologie en conséquence.

Activités post-développement :

- **Évolution d'ontologie** : L'évolution de l'ontologie fait référence aux modifications et aux mises à jour apportées à l'ontologie après son développement initial. Les ontologies peuvent nécessiter des ajustements au fil du temps en fonction de l'évolution du domaine, des nouvelles exigences ou des nouvelles connaissances acquises. Cette activité implique la gestion des versions, la gestion des changements et l'adaptation de l'ontologie pour qu'elle reste pertinente et utile dans le temps.

## **1.4. Les Motivations de travail :**

Au fil des dernières années, de nombreuses recherches ont été menées pour explorer les possibilités offertes par les ontologies dans le domaine de l'agriculture. L'objectif de cette section est de fournir une synthèse actualisée des connaissances existantes dans ce domaine spécifique. Cela implique de rassembler et d'analyser les recherches, les travaux et les publications pertinents liés à l'utilisation des ontologies dans l'agriculture.

Dans le contexte de ce travail, nous fixons un ensemble de questions de recherche pertinentes :

- 1- Existe-t-il des tendances émergentes ou des études spécifiques sur l'utilisation des ontologies pour la gestion intelligente dans les sous-domaines de l'agriculture, et quels sont les résultats obtenus jusqu'à présent ?
- 2- Quelles parties du cycle de l'agriculture pourraient bénéficier d'innovations ou de technologies avancées pour améliorer leur efficacité, leur durabilité ou leur productivité, mais qui ont été relativement négligées jusqu'à présent ?
- 3- Quelles approches ou techniques sont développées pour surmonter les défis liés à l'interopérabilité des données dans l'agriculture intelligente, compte tenu de la diversité des formats et des structures (hétérogénéité) de données ?

Ces questions de recherche permettent de guider notre étude visant à développer un modèle sémantique efficace pour résoudre le problème d'interopérabilité dans le domaine de l'agriculture.

### **1.4.1. Méthodologie de sélection des travaux**

L'objectif de l'étude exhaustive est de fournir une vue d'ensemble complète des développements dans le domaine de l'agriculture intelligente, en mettant particulièrement l'accent sur les mots-

clés suivants : agriculture intelligente, ontologie, IoT, web sémantique.

De plus, cette étude vise à mettre en évidence les recherches en cours et les initiatives prometteuses. Suite à cette investigation, un nombre significatif d'articles a été initialement collecté environ 70, puis réduit vers 30 articles pour diverses raisons, telles que :

- La collecte d'articles qui traitent spécifiquement des mots-clés définis.
- L'extraction des articles publiés entre 2017 et 2022.
- L'élimination des articles inaccessibles.
- La suppression des articles redondants.
- L'élimination des articles après examen de leur contenu.
- L'ensemble d'articles suivant représente le résultat de cette dernière étude :

#### **1.4.2. Présentation des travaux sélectionnés :**

L'article [2] présente une méthodologie détaillée pour la création et la mise en place d'un système basé sur l'Internet des objets (IoT) et une ontologie dans le domaine de l'agriculture intelligente. L'objectif principal est de prévenir les pertes post-récolte. Le système utilise les technologies IoT pour surveiller et contrôler les processus agricoles, en s'appuyant sur une ontologie spécifique pour améliorer l'efficacité et réduire les pertes qui surviennent après la récolte.

Dans [3], une ontologie spécifique à l'agriculture biologique et aux pratiques agricoles respectueuses de l'environnement a été développée dans la province de Nakhon Pathom. Cette ontologie favorise une compréhension partagée des connaissances agricoles entre les consommateurs, les agriculteurs et les fonctionnaires gouvernementaux. Elle facilite également l'intégration de données diverses et améliore l'efficacité de la recherche d'informations.

L'article [4] examine l'importance de l'ontologie et de l'apprentissage en profondeur dans le domaine de l'agriculture. Il explore différentes façons d'utiliser l'ontologie pour améliorer la productivité agricole et relever les défis environnementaux.

[5]: Ce travail propose des solutions pour modéliser des ontologies de tâches complexes, en

prenant en compte divers aspects tels que les objectifs, les conditions pré/post, l'interférence d'événements externes et la modification de l'état d'exécution. Ces solutions ont été appliquées à l'Ontologie des tâches des opérations agricoles, permettant une implémentation solide en OWL.

[6]: Ce travail présente un modèle UML pour représenter les concepts génériques de l'ontologie de tâches dans le domaine de l'agriculture, y compris la gestion de flux et la décomposition des tâches. Ce modèle peut être utilisé pour développer des ontologies de tâches spécifiques aux opérations agricoles.

[7]: Ce document présente le développement d'un système d'aide à la décision pour contrôler les ravageurs et les maladies des raisins. L'utilisation d'une ontologie facilite la gestion des connaissances dans le domaine de la viticulture. L'identification à distance des maladies grâce au traitement d'images et l'incorporation de la relation entre l'environnement et les ravageurs sont discutées. L'ontologie SSN [37], est utilisée pour stocker les données des capteurs d'humidité du sol.

[8]: Cet article présente une approche de modélisation utilisateur basée sur une ontologie pour améliorer la qualité de l'information dans le Système d'Information des Ressources en Germplasm de Culture (CGRIS). L'ontologie est construite en combinant des données structurées et non structurées, utilisant des outils tels que Protégé, WordNet et Graphviz. Un modèle utilisateur personnalisé est utilisé pour fournir des services personnalisés et évaluer l'efficacité du service, améliorant ainsi la qualité du service offert par CGRIS.

[9]: Les résultats expérimentaux de cet article ont montré une précision de 100% dans la classification des ravageurs et des maladies du durian pour 3 cultivars spécifiques. Cependant, les auteurs ont noté des difficultés à différencier certaines maladies, telles que la feuille brûlée et la tache de feuille, qui présentent des caractéristiques physiques similaires. Ils recommandent d'ajouter davantage de ravageurs et de maladies à l'ontologie et de mettre à jour régulièrement les connaissances pour améliorer le contrôle des ravageurs et des maladies du durian.

[10]: Cet article présente l'utilisation d'ontologies OWL pour intégrer des sources de données régionales afin de créer une base de connaissances centrale pour un système d'aide à la décision en matière de fertilisation azotée du blé d'hiver en Bavière. Le système permet aux utilisateurs d'accéder à des recommandations automatiques via une interface graphique, réduisant ainsi leur dépendance à l'aide externe. Les auteurs envisagent d'étendre le système à

d'autres domaines, mais soulignent la nécessité d'intégrer davantage de données. Ils suggèrent également que la disponibilité de ressources sémantiques supplémentaires faciliterait le développement de systèmes similaires.

[12]: L'article explore la distinction entre l'ontologie et la taxonomie dans le contexte de la microbiologie. Une application web a été développée pour étendre une ontologie microbienne existante aux archées. L'application permet d'identifier de nouveaux micro-organismes, de rechercher des informations sur les archées et d'aligner des séquences d'ARNr 16S avec celles de l'ontologie. Les experts peuvent ajouter, supprimer et modifier des informations taxonomiques, et l'application facilite le partage de ces connaissances avec d'autres applications.

L'article [18] Cette recherche présente AgriOnt, c'est une ontologie pour les systèmes d'agriculture intelligente. AgriOnt décrit les concepts de base du domaine agricole et aborde les défis liés au prétraitement et à l'analyse des ensembles de données agricoles réelles. Elle permet d'intégrer efficacement les données météorologiques dans les ensembles de données agricoles, en prenant en compte l'impact des conditions climatiques sur les rendements des cultures. Les auteurs de cet article considèrent aussi qu'en plus de l'ontologie AGROVOC qui est la plus répandue dans l'agriculture de précision, cependant, elle n'est qu'un bon système de vocabulaire pour commencer à construire une ontologie agricole plutôt que d'être utilisé comme ontologie pour l'agriculture parce que certaines de ses relations sont attribuées de manière incohérente et que d'autres sont définies de manière trop large.

L'article [19] présente le développement de l'ontologie des agrumes basée sur l'EPCA qui est proposée par le gouvernement chinois en 1958. C'est une deuxième stratégie pour l'utilisation d'AGROVOC. Du point de vue de la modélisation des connaissances, l'EPCA fournit une classification des connaissances en matière de gestion de la production agricole. Le système se compose de deux couches : La couche taxonomique comprend huit catégories : Sol, Fertilisation, Eau, Variété, Densité, Protection, Gestion et Outil. Chaque catégorie correspond à son équivalent dans l'EPCA. La couche sémantique est construite en établissant les relations dans chaque catégorie et entre les catégories. Ces relations sont des connaissances importantes pour la modélisation des connaissances sur la production d'agrumes. Le développement de l'ontologie des agrumes dans cet article, a connu l'ensemble des étapes suivante : (la définition des classes et des instances, la transformation des descriptions en triples RDF, la définition des restrictions OWL, et la définition des règles SPARQL).

[20]: l'article présente une étude exploratoire pour étudier la perspective globale de l'ontologie agricole, cette analyse documentaire offre une vision d'ensemble du domaine de l'ontologie agricole et met en évidence ses diverses applications dans des contextes nationaux spécifiques. Contrairement à d'autres domaines, l'agriculture est fortement influencée par des facteurs environnementaux et géographiques, ce qui rend les informations agricoles spécifiques à chaque situation locale en termes de climat, cultures, langues et variétés de plantes. Cette étude permet aux chercheurs d'explorer de nouvelles applications dans le domaine de l'ontologie, favorisant ainsi le développement du secteur agricole, notamment au sein des différents États.

[21]: Les auteurs de cet article examinent les ontologies pertinentes les plus populaires et présentent un modèle appelé MEGA, soutenu au niveau de l'État. Son objectif est de représenter l'information et d'intégrer tous les éléments d'un système d'irrigation, en particulier les réseaux de distribution d'eau. Ce modèle vise à améliorer l'efficacité de l'irrigation et de la production agricole en favorisant l'interopérabilité des composants du système. Pour faciliter l'échange d'informations normalisées, MEGA utilise diverses ontologies liées à l'Internet des objets, qui définissent les actions possibles pour chaque composant du système. Le projet cherche également à s'aligner sur les ontologies existantes pour promouvoir une meilleure interopérabilité entre les systèmes agricoles en Europe.

[22]: Cet article présente une ontologie d'agriculture intelligente visant à renforcer la sécurité des fermes intelligentes, qui utilisent des technologies telles que les big data, les systèmes cyber-physiques, l'intelligence artificielle et le blockchain. L'ontologie représente les entités physiques telles que les capteurs et les travailleurs de la ferme, ainsi que leurs interactions. Un système de contrôle d'accès basé sur les attributs est également proposé pour évaluer dynamiquement les demandes d'accès.

[23]: Dans cet article, les auteurs proposent une approche qui met en évidence le rôle de l'ontologie proposée dans la personnalisation du contenu. L'utilisation de l'ontologie, comme une technique du Web sémantique, permet d'améliorer la gestion des informations de l'utilisateur. Les auteurs décrivent la construction du modèle ontologique de l'utilisateur et son intégration dans un système personnalisé. L'ontologie est enrichie avec des règles SWRL, ce qui permet de déduire des services adaptés à l'utilisateur. Les fonctionnalités du système sont ensuite exposées, suivies d'une évaluation.

[24]: Cette étude vise à améliorer la précision de la prédiction des gènes candidats liés aux entités

anatomiques en utilisant des réseaux d'interaction protéine-protéine (PPI) qui intègrent les informations sur les relations entre les gènes et les entités anatomiques via une ontologie anatomique. Les résultats des évaluations démontrent que l'intégration de ces réseaux améliore considérablement la prédiction des gènes candidats par rapport aux réseaux PPI traditionnels. En incorporant les connaissances expérimentales grâce à l'ontologie anatomique, cette approche permet d'accroître la précision de la prédiction des gènes candidats associés aux entités anatomiques, ce qui constitue une avancée importante pour la recherche en biologie du développement.

[25]: C3PO, l'ontologie de planification des cultures et de processus de production, est un nouveau modèle conçu pour soutenir la production agricole diversifiée. Cette ontologie vise à aider à planifier et gérer divers aspects des processus de production de cultures. En utilisant C3PO, les agriculteurs et les professionnels de l'agriculture peuvent optimiser leurs stratégies de planification et de production de cultures.

[26]: Les chercheurs et sélectionneurs de plantes utilisent l'Ontologie des Traits de Plantes (TO) et l'Ontologie de la Culture (CO), ainsi que la base de données GrainGenes, pour stocker et accéder aux informations génétiques et génomiques sur les plantes. Ils ont associé les termes des dictionnaires de traits CO spécifiques aux cultures avec ceux de la TO [18] pour faciliter la recherche. Ces outils aident à adapter les plantes et les cultures aux changements climatiques et à la demande alimentaire croissante.

[27]: Cet article présente une ontologie de contrôle des ravageurs des cultures a été développée pour répondre à la complexité de ce domaine en agriculture. Elle fournit des informations et des connaissances pour définir des tâches et résoudre des problèmes. L'ontologie offre des opportunités pour fournir des connaissances et des services d'information aux experts en médecine des plantes, aux agronomes et aux agriculteurs. Les structures de l'ontologie sont considérées comme persistantes, mais des améliorations et des extensions sont nécessaires pour les bases de données et les tâches.

[28]: L'ontologie des traits (TO) a été développée pour améliorer la compréhension des processus moléculaires dans les organismes.

[29]: Cet article présente l'utilisation de l'information, de la communication et de la technologie pour améliorer les pratiques agricoles dans la production de coton. Un système de conseil agricole est développé en utilisant des données provenant de différentes sources pour fournir

des recommandations sur les pesticides et les insecticides aux agriculteurs basés sur une ontologie des ravageurs du coton et les services web.

[30]: Afin d'améliorer l'efficacité de la fourniture de réponses aux questions des agriculteurs, un système de connaissances appelé "Agro-Advisory System" a été développé. Ce système utilise une ontologie de culture du coton comme base de connaissances et calcule la similarité entre les requêtes des agriculteurs et les concepts de l'ontologie. Les réponses récupérées sont présentées à l'utilisateur, obtenant ainsi de meilleurs résultats avec une similarité supérieure à 65%.

[31]: Dans cette étude, les chercheurs proposent un modèle de représentation des connaissances appelé "carte de connaissances" pour l'agriculture numérique. Ce modèle utilise une ontologie comme base de connaissances et permet de collecter, stocker et exploiter les connaissances provenant de différentes sources. Les résultats montrent que ce modèle est efficace et évolutif, offrant un référentiel de connaissances pour l'agriculture numérique. Cela résout le défi d'organiser et d'exploiter efficacement les connaissances agricoles accumulées à partir de diverses sources.

[32]: L'article présente une approche basée sur l'ontologie pour organiser les données de la chaîne d'approvisionnement en pommes de terre et promouvoir la durabilité. Il décrit les classes et attributs utilisés dans cette approche et présente les résultats d'une enquête évaluant son efficacité. L'objectif est d'améliorer la coopération entre les acteurs de la chaîne d'approvisionnement pour une production et une consommation durable de pommes de terre.

[33]: L'article analyse le transcriptome du grillon domestique à différents stades de vie pour améliorer la production d'insectes comestibles. Des contigs ont été assemblés et des gènes essentiels pour le développement des grillons ont été identifiés. Ces résultats constituent une première étape vers la création de grillons génétiquement améliorés pour une utilisation dans l'alimentation humaine et animale. L'utilisation des ontologies a été pour l'annotation des gènes, une analyse d'enrichissement des termes de l'ontologie des gènes (GO) est réalisée pour chaque étape.

[34]: Dans cet article une approche basée sur une ontologie a été développée pour identifier les maladies du riz en se basant sur les symptômes, les couleurs, les formes et les parties des plantes infectées. Des requêtes DL et des raisonneurs sont utilisés pour l'identification. Le système est en cours d'évaluation et les auteurs soulignent la nécessité d'améliorer l'efficacité et l'exactitude

en consultant des experts et en prenant en compte les contextes environnementaux.

[35]: L'article présente le système OntoAQ (Ontology-Based Flexible Querying System for Farmer), ce système est conçu pour aider les agriculteurs en traitant leurs requêtes relatives aux cultures. Les agriculteurs soumettent ces requêtes basées sur leurs observations concernant les cultures. Le système utilise une ontologie de base de connaissances stockée sous forme de graphe dans une base de données, et effectue une recherche basée sur ce graphe pour traiter la requête. Les ontologies sont stockées sous forme de triples RDF dans une base de données. Jena fournit des API permettant de les modéliser sous forme de graphe avec des nœuds et des arêtes. L'ontologie est donc exprimée sous la forme d'un graphe dont le sujet et l'objet sont des nœuds et les prédicats des arêtes. En parcourant ce graphe et en établissant des relations entre les nœuds, on obtient un chemin d'informations significatives pour l'ontologie des cultures.

[36]:L'article présente un dispositif de surveillance intelligent qui mesure la température et l'humidité dans les fermes, les entrepôts et les marchés. Les données sont visualisées à l'aide de graphiques générés par Amazon Quicksight. Ces informations aident à prendre des décisions sur la sécurité alimentaire et l'amélioration des pratiques agricoles. Une application mobile ou un site web peuvent être développés pour éviter la nécessité de scanner des codes QR.

Le tableau 1, présente une classification des articles par sous domaine, l'année, et la région,

<b>Sous-Domaine</b>	<b>N° Réf</b>	<b>Titre</b>	<b>Année</b>	<b>Région/ Payé</b>
<b>Gestion des Ravageurs</b>	[5]	Complex Task Ontology Conceptual Modelling Towards the Development of the Agriculture Operations Task Ontology	2018	Espagne
	[7]	Decision support for grape crop protection using ontology	2019	Inde
	[9]	Ontology-Based Semantic Retrieval for Durian Pests and Diseases Control System	2021	Thaïlande
	[12]	Microbial Taxonomy Ontology for Agriculturally Important Microorganisms (AMO) Coupled with Sequence Alignment Reinforcement Options	2018	Inde
	[27]	Ontology of Crop Pest Control	2020	Bulgarie
	[29]	Ontology based expert system for pests and disease management ontology based expert system for pests and disease management of cotton crop in india	2017	Inde
<b>Gestion d'irrigation</b>	[21]	Adaptation of Ontology Sets for Water Related Scenarios Management with IoT Systems for a More Productive and Sustainable Agriculture Systems	2017	Espagne
<b>Gestion des Maladie des plantes</b>	[7]	Decision support for grape crop protection using ontology	2019	Inde
	[9]	Ontology-Based Semantic Retrieval for Durian Pests and Diseases Control System	2021	Thaïlande
	[11]	An Ontology-based Approach to Plant	2018	Thaïlande
	[35]	OntoAQ Ontology- Based Flexible	2018	Inde
<b>Gestion de la fertilisation</b>	[4]	Deep Learning Ontology: Dimensions in the Field of Agriculture, A Survey (Ontologie de l'apprentissage profond : Dimensions dans le domaine de l'agriculture, Une enquête)	2018	Inde
	[10]	Ontology-Based Decision Support System for the Nitrogen Fertilization of Winter Wheat	2021	Allemagne
	[18]	Ontology based Approach for Precision Agriculture	2018	Irlande

	[19]	Citrus ontology development based on the eight-point charter of agriculture	2018	Chine
<b>Gestion des cultures</b>	[18]	Ontology based Approach for Precision Agriculture	2018	Ireland
	[25]	Crop Planning and Production Process Ontology C3PO a New Model to Assist Diversified Crop Production	2021	France
	[26]	The Plant Trait Ontology Links Wheat Traits for Crop Improvement and Genomics	2020	USA
	[30]	Ontology-based Advisory System for Cotton Crop Farmers S. Narayana Professor,	2017	Inde
<b>Gestion des Ressources en Eau</b>	[18]	Ontology based Approach for Precision Agriculture	2018	Ireland
<b>Agriculture Biologique</b>	[3]	An ontology-based knowledge management for organic and good agricultural practice agriculture: A case study of Nakhon Pathom Province, Thailand	2018	Thaïlande
	[6]	Task Ontology Modeling for Technical Knowledge Representation in Agriculture Field Operations Domain	2017	Brazil
	[8]	Ontology-based User Modeling for Chinese Crop Germplasm Resources Information System	2019	China
	[24]	Integration of anatomy ontology data with protein-protein interaction networks improves the candidate gene prediction accuracy for anatomical entities	2020	USA
	[28]	Trait ontology analysis based on association mapping studies bridges the gap between crop genomics and Phenomics	2019	China
<b>Gestion après Récolte</b>	[2]	An ontology enabled internet of things framework in intelligent agriculture for preventing post-harvest losses	2020	Chine/ Inde
<b>Multiples</b>	[20]	An Exploratory Study on Agriculture Ontology: A Global Perspective	2017	Inde
	[22]	A Smart-Farming Ontology for Attribute Based Access Control	2020	USA

	[31]	OAK Ontology-Based Knowledge Map Model for Digital Agriculture	2020	Ireland
	[33]	Transcriptome analysis of life stages of the house cricket, Acheta domesticus, to improve insect crop production	2020	USA
<b>Sécurité Alimentaire</b>	[32]	On Processing Potato: 1. Survey of the Ontology, History and Participating Actors	2022	Holland
<b>Gestion des entrepôts</b>	/	/	/	/

Tableau 1: Tableau de classification des articles par sous-domaines

## **1.5. Analyses et synthèse :**

Cette analyse consiste à démontrer la tendance actuelle des articles et des recherches dans le domaine de l'agriculture intelligente, l'utilisation des ontologies pour la représentation des données ainsi leurs méthodologies de conception, le langage d'implémentation des ontologies, l'utilisation des systèmes basés sur L'internet des objets.

### **1.5.1. Ontologies existantes pertinentes pour le domaine agricole**

D'après notre analyse des travaux connexes présentés dans le tableau 1, la quasi-totalité des articles étudiés considère que l'utilisation de la modélisation ontologique représente la meilleure solution pour la représentation des données. Plusieurs solutions ont été proposées en utilisant des ontologies existantes, notamment :

- L'ontologie AGROVOC est réutilisée dans les articles [2] , [10], [18], [20] et [27].
- L'ontologie d'agriculture Agri-Ont est utilisée dans les articles [18],[31].
- L'ontologie des tâches d'exploitation agricole AGROPTO est réutilisée dans l'article [5], où OntoUML est utilisé pour développer des modèles conceptuels afin de décrire les aspects d'une tâche complexe.
- Dans les articles [26] et [28], l'ontologie des traits (TO) et l'ontologie de la Culture (CO) pour le blé sont utilisées. Les chercheurs ont également associé 246 traits de la base de données GrainGenes à 155 termes de la TO.
- L'ontologie des maladies des plantes PDO, l'ontologie de la protection des plantes (PPOntology) et l'ontologie du riz (RO) sont utilisées dans l'article [11].
- L'ontologie des réseaux de capteurs sémantiques SSN [37] est utilisée dans les articles [7], [18] et [21] pour le stockage des informations collectées par les capteurs. Par exemple, dans l'article [7], les capteurs d'humidité du sol sont utilisés pour enrichir le web sémantique dans le domaine de la gestion et de la lutte contre les ravageurs qui affectent le raisin.

### 1.5.2. Langages d'implémentation des ontologies

La majorité des articles [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10],[11], [12], [18], [19], [20], [22], [23], [25], [27], [29], [30], [31] et [35] motivent l'utilisation du langage d'ontologie Web OWL pour la description des ontologies, ce langage représente les concepts des classes en générale, ainsi l'intégration des règles SWRL pour donner la forme sémantique aux systèmes.

### 1.5.3. Résultats du regroupement des articles par sous-domaine :

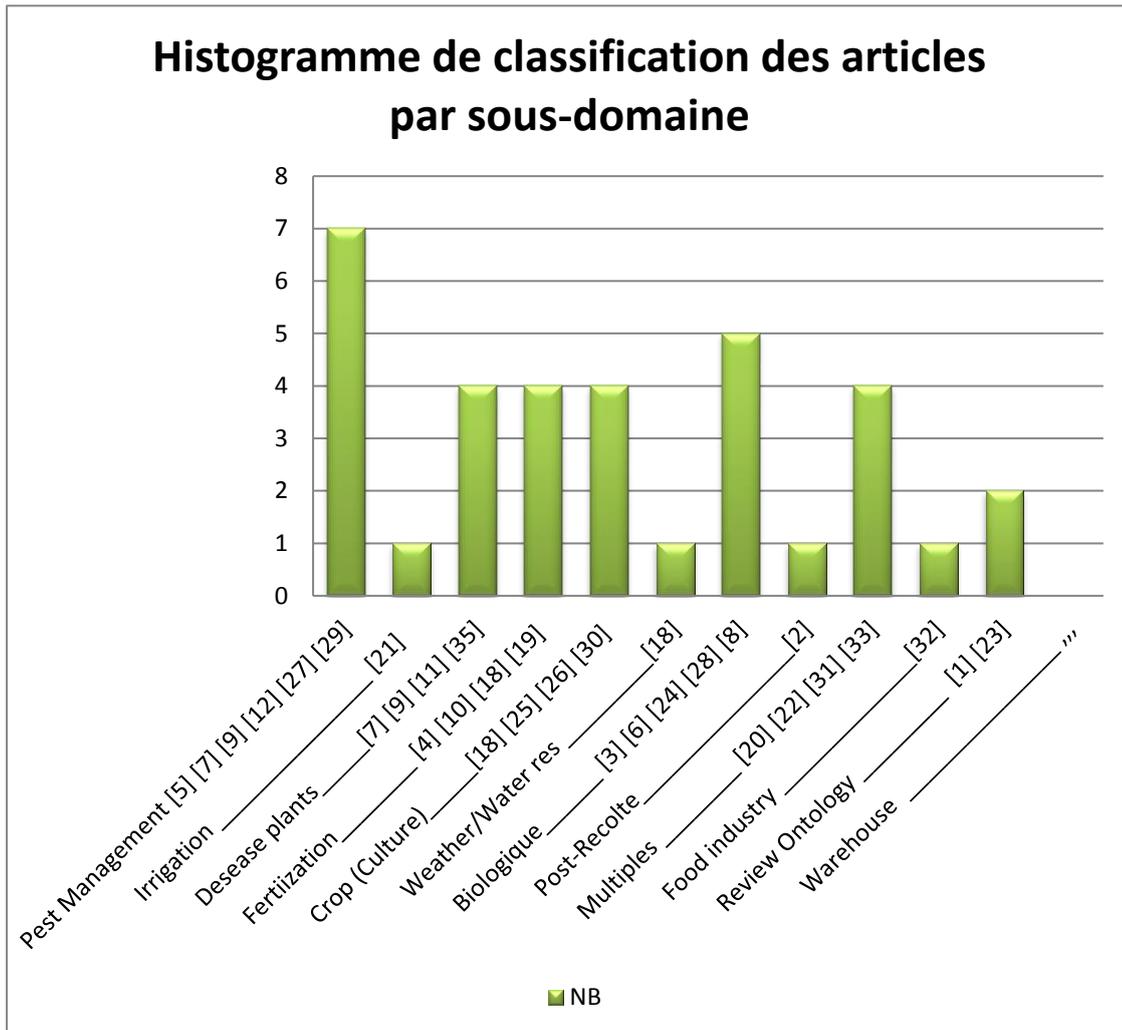


Figure 5 : Histogramme de classification des articles par sous-domaines

Après avoir analysé et regroupé les articles par sous-domaine, comme le montre la figure 4, nous avons obtenu des résultats qui répondent à notre question initiale. Dans toutes les étapes du cycle agricole, nous avons identifié au moins une solution (sous-système) proposée pour améliorer leur gestion et leur efficacité. Cependant, nous avons constaté une négligence marquée en ce qui concerne la représentation des connaissances relatives aux entrepôts de

stockage. Cette partie joue un rôle clé dans la chaîne agricole, et l'absence d'une gestion appropriée du stockage a un impact sur cette chaîne. C'est pourquoi nous avons envisagé de développer un sous-système de gestion des entrepôts de stockage, en utilisant des ontologies pour une meilleure structuration des données et des informations au sein de la chaîne d'approvisionnement agricole.

## **1.6. Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons examiné en détail l'état de l'art des ontologies dans le domaine de l'agriculture. Nous avons réalisé une analyse approfondie des travaux existants et des méthodologies utilisées pour le développement d'ontologies. Les ontologies ont prouvé leur capacité à améliorer les performances des systèmes de gestion agricole en permettant la mise en place de mécanismes de contrôle intelligents grâce à l'intégration de l'inférence.

Cependant, nous avons identifié un manque de modèle sémantique spécifique pour la gestion des entrepôts de stockage dans le domaine agricole. Nous avons constaté un besoin d'un modèle qui réponde aux exigences nécessaires pour une gestion optimale des entrepôts. Dans le chapitre suivant, nous proposerons un modèle qui abordera spécifiquement cette problématique. Notre objectif sera de concevoir une ontologie qui permettra une gestion avancée et interopérable des entrepôts de stockage agricole, en prenant en compte les différentes dimensions et contraintes propres à ce domaine.

## **2. Chapitre 2 : Une Ontologie pour la gestion de l'interopérabilité dans les entrepôts de grains**

### **2.1.Introduction**

Dans le contexte de notre travail, nous nous concentrons spécifiquement sur la gestion des entrepôts de stockage des grains, qui jouent un rôle clé dans la préservation des récoltes céréalières. Une gestion efficace de ces entrepôts est essentielle pour éviter les pertes dues à l'humidité, aux insectes, aux moisissures ou à d'autres facteurs qui peuvent affecter la qualité des grains.

L'utilisation d'une ontologie pour la gestion des entrepôts de stockage des grains peut faciliter l'interopérabilité des systèmes d'information, la traçabilité des produits, la planification des approvisionnements et la coordination des acteurs impliqués dans cette activité cruciale de la chaîne agricole.

Dans ce deuxième chapitre, nous aborderons en détail les étapes clés du développement de notre ontologie de domaine. Nous allons également concevoir un système qui exploite cette ontologie. Ce système utilisera les concepts, les relations et les entités définis dans l'ontologie pour faciliter la recherche, la gestion et l'analyse des connaissances dans le domaine spécifique de l'agriculture.

### **2.2.Développement de l'ontologie**

Dans cette section, nous nous appuyons sur la méthodologie de [1] mentionnée dans le premier chapitre pour développer notre ontologie. Nous présentons les étapes clés de collecte d'informations, de conceptualisation et de formalisation, qui sont essentielles pour la création d'une ontologie robuste et précise dans le domaine de l'agriculture.

### 2.2.1. La collecte d'information

La collecte d'informations constitue la première étape du processus de développement de l'ontologie. Dans le cadre de notre travail, nous avons effectué une recherche approfondie et exploité un ensemble de sources d'informations pertinentes pour collecter les données nécessaires à la construction de notre ontologie. Ces sources comprenaient des articles scientifiques, des documents techniques, des rapports et des systèmes dans le domaine de l'agriculture et de la gestion des entrepôts de stockage des grains :

N° Réf	Titre	Auteurs/ Source
[36]	R. K. Kodali and J. John, "IoT Monitoring System for Grain Storage," pp. 1-6,	R. K. Kodali and J. John, CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, 26 September 2020
[38]	« Systèmes Appropriés de Stockage des Semences et des Grains pour les Agriculteurs à Petite Échelle »	Cephas Taruvinga, Danilo Mejia et Javier Sanz Alvarez, contributions de COOPI, de la FAO, d'OCHA, d'ONU-Habitat 2014,
[39]	Étude des problèmes rencontrés par la plante de blé sur le terrain et lors du stockage «دراسة المشاكل التي تواجه نبات القمح في الحقل والتخزين»	Université des Frères Mentouri Constantine1 Faculté des Sciences de Département : Biologie Et écologie Végétale 2020
[40]	Conception et prototypage d'un système complet pour la surveillance du grain dans les silos de stockage	Fehd BETTAHAR, Doctorat de l'Université de TOULOUSE- Jean Jaurès. 2016
[41]	Protection des céréales, des oléagineux et des légumineuse à grain entreposés à la ferme contre les insectes, les acariens et les moisissures	Dave Abramson , et..al Centre de Recherche des Céréales, Agriculture et agroalimentaire CANADA, 2001
[w14]	Insectes ravageurs lors du stockage des grains : prévention et surveillance sont essentiels	<b>EcophytoPIC</b> le portail de la Protection Intégrée des Cultures

Tableau 2: Ressources utilisé pour la collecte d'information

Une fois les informations collectées, nous avons utilisé un diagramme de classe pour structurer et organiser ces données de manière logique. Le diagramme de classe nous a permis de représenter les concepts clés, les relations et les attributs associés aux entités dans notre ontologie. Il nous a également aidés à définir les hiérarchies, les propriétés et les contraintes nécessaires pour modéliser efficacement les différents aspects de la gestion des entrepôts de stockage des grains (Figure suivante).

### 2.2.2. Diagramme de classe

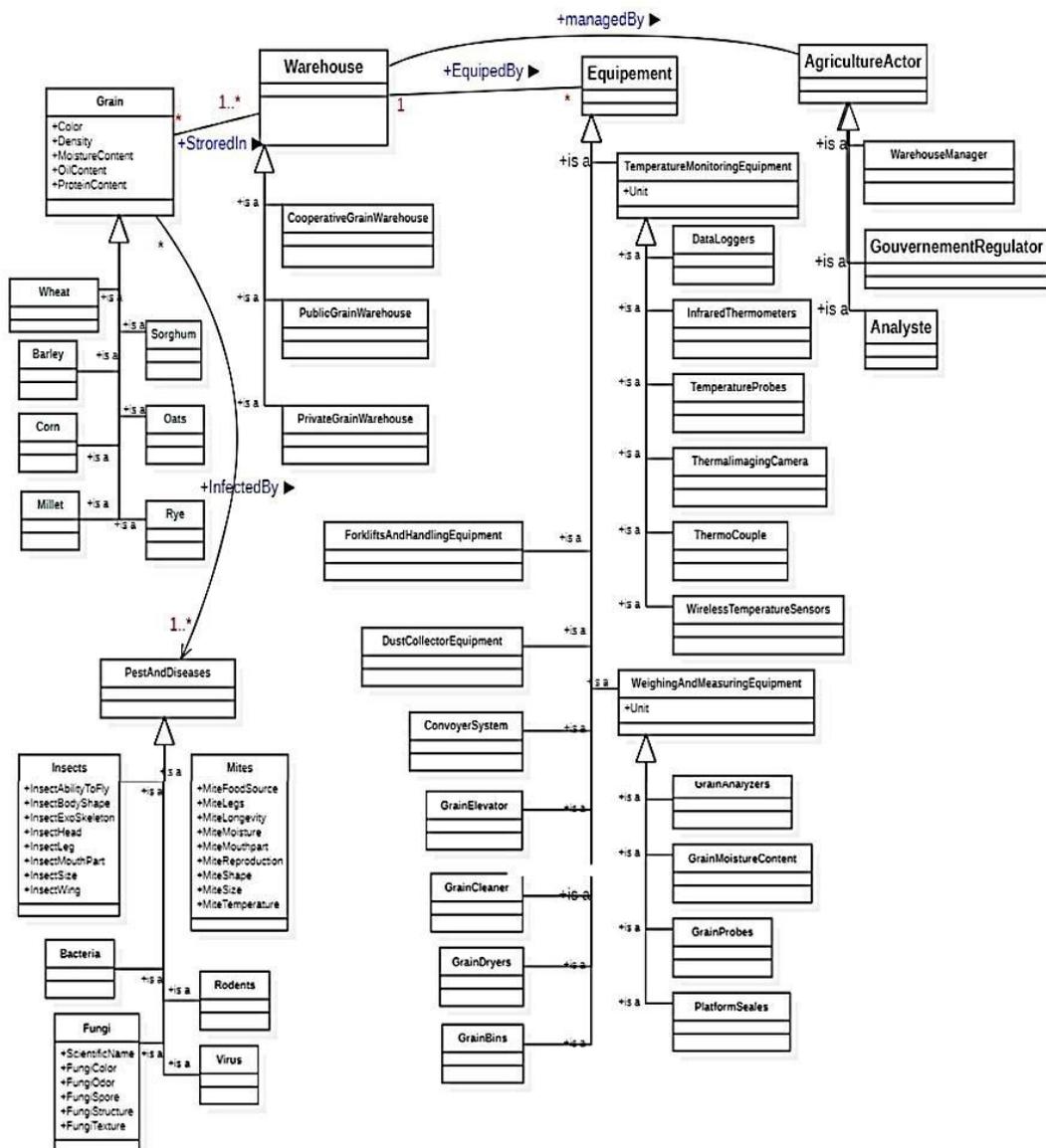


Figure 6: Diagramme de classe représentant la hiérarchie des concepts dans le domaine des entrepôts de grains

L'utilisation d'un diagramme de classe nous a offert une représentation visuelle claire de la structure de notre ontologie, facilitant ainsi la compréhension et la communication des concepts et des relations entre les différents éléments. Il a également servi de guide lors des étapes ultérieures de développement, en fournissant une base solide pour la construction de l'ontologie et l'intégration des fonctionnalités requises.

### 2.2.3. La conceptualisation

L'étape de conceptualisation joue un rôle essentiel dans le développement de notre ontologie. En se basant sur le diagramme de classe, cette étape vise à définir les concepts clés, les relations et les structures qui seront utilisés pour représenter de manière précise et sémantiquement riche les connaissances et les informations liées à notre domaine.

#### 2.2.3.1. Description des concepts :

<b>Libellé</b>	<b>Description</b>
Grain	Ce concept représente les grains qui sont stockés dans les entrepôts. Il capture les caractéristiques et les propriétés spécifiques associées aux grains dans le contexte de l'entrepôt.
Warehouse	Il représente un entrepôt de stockage. Il capture les caractéristiques et les propriétés spécifiques associées à un entrepôt de grain.
Equipement	Ce concept représente les équipements utilisés dans un entrepôt de grain. Il capture les informations sur les différents types d'équipements utilisés pour le stockage, la manipulation, le traitement et d'autres activités liées aux grains.
PestsandDisease	Il représente les ravageurs et les maladies qui affectent les grains stockés dans un entrepôt. Il capture les informations sur les différentes espèces d'insectes, de rongeurs, de moisissures qui peuvent causer des dommages aux grains et compromettre leur qualité.
AgricultureActor	Ce concept représente les différents acteurs ou parties prenantes impliquées dans le domaine de l'agriculture et de la gestion des entrepôts de grains. Il capture les informations sur les individus, les organisations qui jouent un rôle actif dans les activités liées à l'agriculture, à la gestion des stocks et à la distribution des grains.

Tableau 3: Table des concepts

### 2.2.3.2. Description des sous-concepts

<b>Libellé</b>	<b>Description</b>	<b>Sur-classe</b>
WarehouseManager	Ce concept représente l'acteur gestionnaire d'un entrepôt, c'est la personne capable d'effectuer la gestion de : ses entrepôts, les équipements affectés à chaque entrepôt, et la distribution des grains.	AgricultureActor
GouvernementRegulator	Ce concept représente l'acteur gouverneur: il est capable d'effectuer la gestion des : entrepôts publiques, des équipements, la distribution des grains, et la consultation et la gestion des statistiques de tous entrepôts	AgricultureActor
Analyste	Ce concept représente l'acteur analyste , c'est l'expert dans le domaine capable d'effectuer la gestion des ravageurs et des maladies qui affectent les grains stockés	AgricultureActor
Wheat	Ce concept représente les grains de blé, c'est le produit stocké dans l'entrepôt, dans des conditions spécifiques,	Grain
Corn	Ce concept représente les grains de maïs, c'est un produit stocké dans l'entrepôt, dans des conditions spécifiques,	Grains
Sorghum	Ce concept représente les grains de Sorghum, c'est un produit stocké dans l'entrepôt, dans des conditions spécifiques,	Grains
Oats	Ce concept représente les grains de avoine, c'est un produit stocké dans l'entrepôt, dans des conditions spécifiques,	Grains
Rye	Ce concept représente les grains de Rye, c'est un produit stocké dans l'entrepôt, dans des conditions spécifiques,	Grains
Millet	Ce concept représente les grains de millet, c'est un produit stocké dans l'entrepôt, dans des	Grains

	conditions spécifiques,	
Weighing and measuring Equip	Ce concept représente l'équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour mesurer le poids des grains désigné pour stock	Equipment
PlatformScales	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme balance.	Weighing and measuring Equip
GrainMoistureContent	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour la mesure du teneur en humidité des grains	Weighing and measuring Equip
GrainAnalyzers	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour analyser les grains	Weighing and measuring Equip
GrainProbs	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme une sondes à grains.	Weighing and measuring Equip
TemperatureMonitoringEquip	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour afficher la température mesurée	Equipment
TemperatureProbs	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme une sonde de température	TemperatureMonitoringEquip
ThermoCouple	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, il permet notamment de mesurer des températures très élevées,	TemperatureMonitoringEquip
InfraredThermometers	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, c'est un Thermomètres infrarouges, utilisé pour mesurer les températures avec infrarouge .	TemperatureMonitoringEquip
DataLoggers	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme enregistreur de données.	TemperatureMonitoringEquip
WirelessTemperatureSensors	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme un Capteurs de température sans fil.	TemperatureMonitoringEquip

ThermalImagingCamera	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, c'est une Caméra d'imagerie thermique, elle mesure la température à partir des photos prises	TemperatureMonitoringEquip
ConveyorSys	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé comme un système de convoyeur	Equipement
GrainElevator	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, joue le rôle d'un elevateur de grain	Equipement
GrainDryers	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour sécher les grains avant le stockage	Equipement
GrainCleaner	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour Nettoyer les grains avant le stockage.	Equipement
GrainBins	Ce concept représente des équipements installés dans l'entrepôt, utilisé comme des Bacs à grains	Equipement
DustCollectionEquipment	Ce concept représente un équipement installé dans l'entrepôt, utilisé pour dépoussiérer les grains en cas de poussières	Equipement
Insects	Il regroupe l'ensemble des insectes qui affectent les grains dans l'entrepôt, et qui peuvent causer des dommages aux grains et compromettre leur qualité.	PestsandDiseases
Mites	Il regroupe l'ensemble des Acariens qui affectent les grains dans l'entrepôt, et qui peuvent causer des dommages aux grains et compromettre leur qualité.	PestsandDiseases
Rodents	Il regroupe l'ensemble des rongeurs qui affectent les grains dans l'entrepôt, et qui peuvent causer des dommages aux grains et	PestsandDiseases

	compromettre leur qualité.	
Fungi	Il contient les champignons qui créent un milieu favorable pour la propagation des maladies et des insectes, et qui peuvent causer des dommages aux grains et compromettre leur qualité.	PestsandDiseases
Bacteria	Il contient les Bactéries qui aide à la propagation des maladies et des insectes, causent des dégât et des perte des grains ainsi influe directement sur leur qualité.	PestsandDiseases
Viruses	Il contient les virus qui créent un milieu favorable pour la propagation des maladies et des insectes, et qui peuvent causer des dommages aux grains et compromettre leur qualité.	PestsandDiseases

Tableau 4: Table des sous-concepts

### 2.2.3.3. Description des relations

Libellé	Description	Domain	Range
<b>infectedby</b>	Cette relation indique que les grains peuvent être affectés ou infectés par différents types d'insectes et de maladies.	Grain	PestAndDiseases
<b>equipedBy</b>	Cette relation indique que les entrepôts de stockage des grains sont équipés de différents équipements.	GrainWarehouse	Equipment
<b>storedIn</b>	Cette relation indique que les grains sont stockés dans les entrepôts de stockage.	Grain	GrainWarehouse

<b>managedBy</b>	Cette relation indique que les entrepôts de stockage et les informations liés aux ces derniers sont gérés par un acteur d'agriculture	GrainWarehouse	AgricultureActor
------------------	---	----------------	------------------

Tableau 5: Table des relations

*2.2.3.4. Description des propriétés :*

<b>Libellé</b>	<b>Domain</b>	<b>Range</b>
hasBacteriaCafungipsula	Bacteria	Boolean
hasBacteriaCell	Bacteria	Boolean
hasBacteriaFlagella	Bacteria	Boolean
hasBacteriaShape	Bacteria	String
hasColor	Grain	String
hasDensity	Grain	String
hasMoistureContent	Grain	Double
hasOilContent	Grain	Double
hasProteinContent	Grain	Float
hasFungiColor	Fungi	String
hasFungiOdor	Fungi	Boolean
hasFungiSpore	Fungi	Boolean
hasFungiStructure	Fungi	String
hasFungiTexture	Fungi	String
hasInsectAbilityToFly	Insects	Boolean
hasInsectBodyShape	Insects	String
hasInsectExoSkeleton	Insects	Boolean
hasInsectHead	Insects	Boolean
hasInsectLeg	Insects	Boolean
hasInsectMouthPart	Insects	Boolean
hasInsectSize	Insects	Double

hasInsectWing	Insects	Boolean
hasMiteFoodSource	Mites	String
hasMiteLegs	Mites	Boolean
hasMiteLongevity	Mites	Double
hasMiteMoisture	Mites	Double
hasMiteMouthpart	Mites	Boolean
hasMiteReproduction	Mites	Boolean
hasMiteShape	Mites	string
hasMiteSize	Mites	double
hasMiteTemperature	Mites	double
hasLocation	GrainWarehouse	String
hasStorageCapacity	GrainWarehouse	integer

Tableau 6: Table des propriétés

## 2.3. Utilisation de l'ontologie proposée

Dans cette section, nous allons utiliser l'ontologie proposée comme une base dédiée à la gestion des entrepôts de stockage. Elle est utilisée comme une ressource de connaissances centrale, fournissant une représentation sémantique et formelle des concepts, des relations et des règles spécifiques à notre domaine.

### 2.3.1. Acteurs et fonctionnalités offertes par le système :

Dans notre système, différents acteurs interagissent pour bénéficier des fonctionnalités offertes :

#### 3.2.1.1. Gestionnaires d'entrepôts de stockage des grains :

Les gestionnaires d'entrepôts sont responsables de la gestion quotidienne des entrepôts de stockage des grains. Notre système leur offre les fonctionnalités suivantes :

- **Gestion d'un entrepôt** : Cette fonctionnalité permet aux gestionnaires d'entrepôt d'effectuer les opérations suivantes telles que : l'ajout d'un nouvel entrepôt, avec son emplacement, sa capacité, ainsi d'autres fonctionnalités telles que : la suppression, la modification, et l'affichage des détails.

-**Gestion des grains** : cette fonctionnalité permet le suivi détaillé des stocks de grains, y compris l'identification de quantité, type et la localisation.

-**Gestion des opérations de stockage** : Suivi des mouvements de grains, à l'entrée et à la sortie de l'entrepôt.

-**Gestion des ravageurs et des maladies** : Identification et suivi des ravageurs nuisibles et des maladies qui affectent les grains en stock.

### **3.2.1.2. Gouverneur :**

Ce gestionnaire est responsable de la supervision et de la gestion à grande échelle des entrepôts de stockage des grains. Notre système lui offre les fonctionnalités suivantes :

- **Gestion des entrepôts publics** : Cette fonctionnalité permet aux gouverneurs de gérer l'ensemble des entrepôts publics tels que : l'ajout d'un nouvel entrepôt, la suppression, la modification, Lors de l'ajout d'un entrepôt, les informations telles que le nom de l'entrepôt, son emplacement, sa capacité de stockage doivent être introduites.
- **Gestion des équipements dans les entrepôts publics** : Cette fonctionnalité permet de : Ajouter des équipements dans les entrepôts et d'autres fonctionnalités tels que : la suppression, la mise à jour des équipements, et la récupération de l'ensemble des équipements installés dans un entrepôt.
- **Gestion des grains** : Cette fonctionnalité permet le suivi détaillé des stocks de grains, y compris l'identification, la quantité, la qualité et l'affectation.
- **Gestion des ravageurs et des maladies** : Identification et suivi des ravageurs nuisibles et des maladies qui affectent les grains en stock.
- **Consultation et la gestion des statistiques** : Cette fonctionnalité permet la supervision et de la gestion à grande échelle des entrepôts de stockage des grains. Elle offre la possibilité d'établir des statistiques liés à l'état des stocks, l'état des grains, les informations telles que le nombre des entrepôts réparties à l'échelle nationale.

### **3.2.1.3. Analyste :**

Cet acteur est responsable de la gestion et le suivi des ravageurs et des maladies. Notre système lui offre les fonctionnalités suivantes :

- **Gestion des ravageurs et des maladies** : Identification et suivi des maladies et des ravageurs qui peuvent affecter les grains dans l'entrepôt, telles que les insectes nuisibles, les champignons...etc.

### 3.2.2. Diagramme des cas d'utilisation :

Le diagramme des cas d'utilisation est un outil essentiel dans la phase de conception d'un système logiciel. Son objectif principal est de représenter les différentes fonctionnalités et les interactions entre les utilisateurs et le système lui-même. La figure 6 illustre les interactions des acteurs agricoles avec notre système.

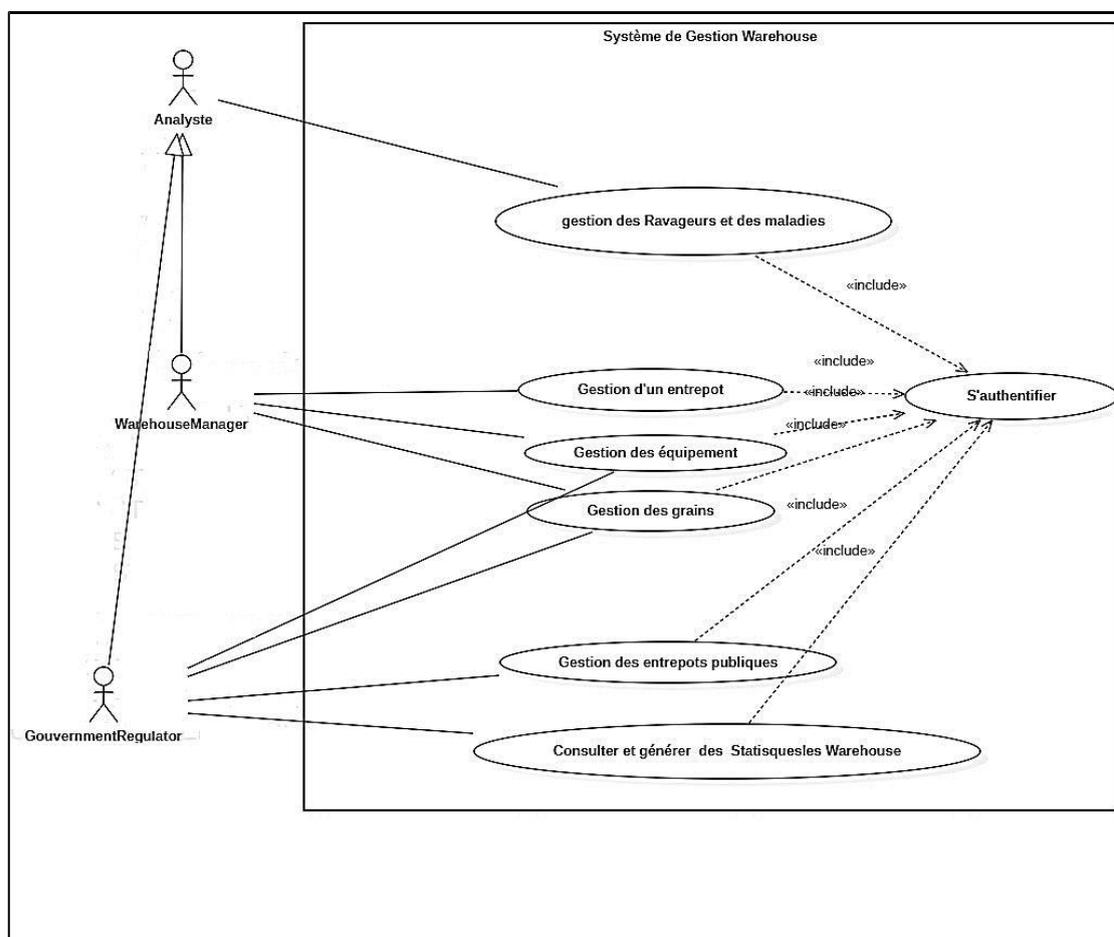


Figure 7: Diagramme des cas d'utilisation

### 3.2.3. Diagrammes de séquence :

Les diagrammes de séquence sont couramment utilisés pour modéliser des fonctionnalités spécifiques d'un système, des processus métier ou des scénarios d'utilisation. Les diagrammes de séquence permettent de visualiser le flux d'exécution d'un scénario, en montrant l'ordre dans lequel les objets interagissent et les messages qu'ils échangent. Les figures suivantes

offrent un aperçu visuel de quelques scénarios :

### 3.2.3.1. Ajouter un nouvel Entrepôt (Warehouse) par un gestionnaire d'entrepôt

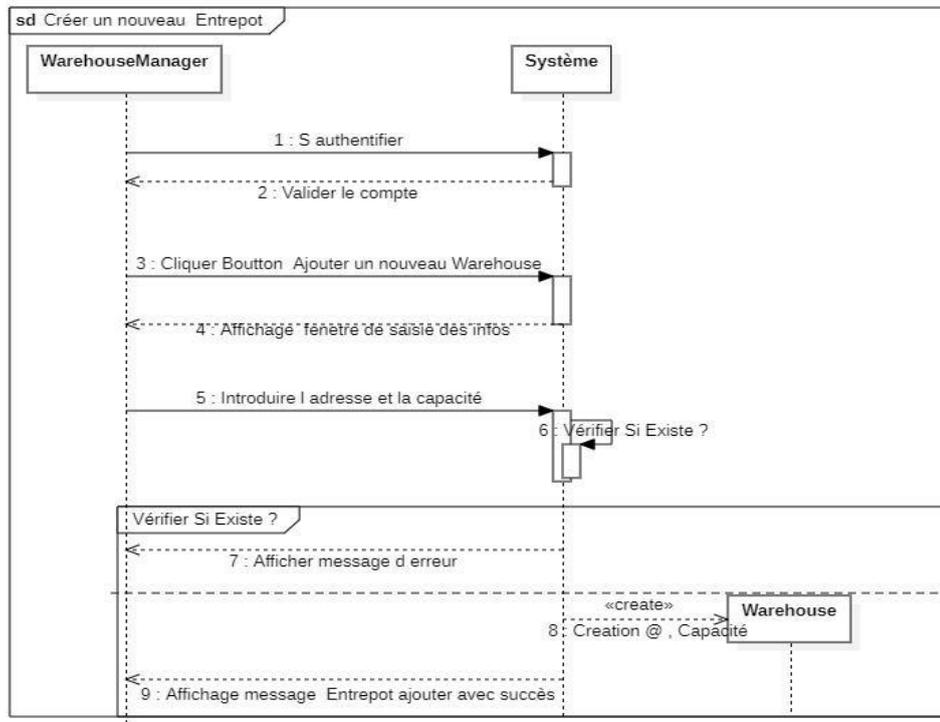


Figure 8:Diagramme de séquence (Ajouter un nouvel Entrepôt)

### 3.2.3.2. Consulter tous les Entrepôts par un gouvernement manager de

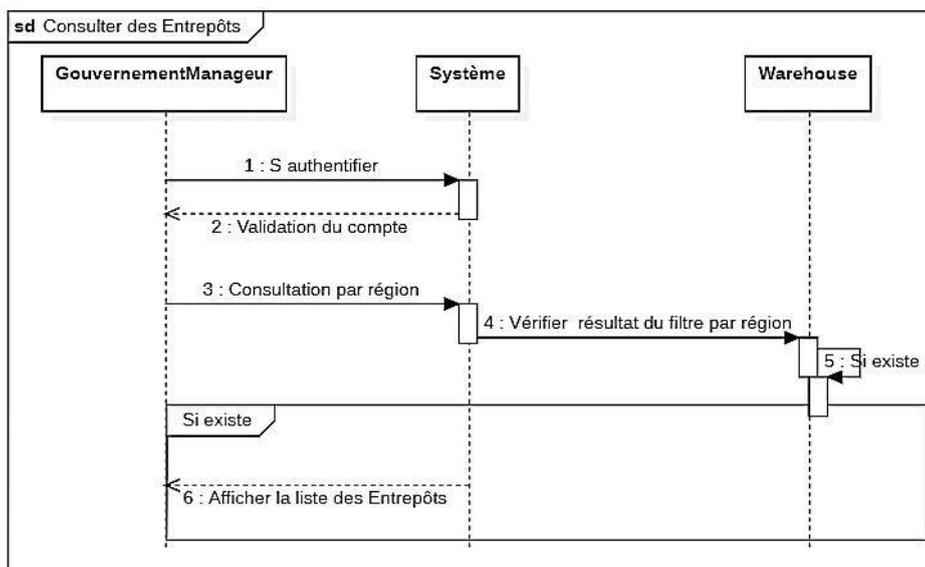


Figure 9: Diagramme de séquence (Consulter tous les Entrepôts)

### 3.2.3.3. Ajouter un équipement dans un entrepôt par WarehouseManager

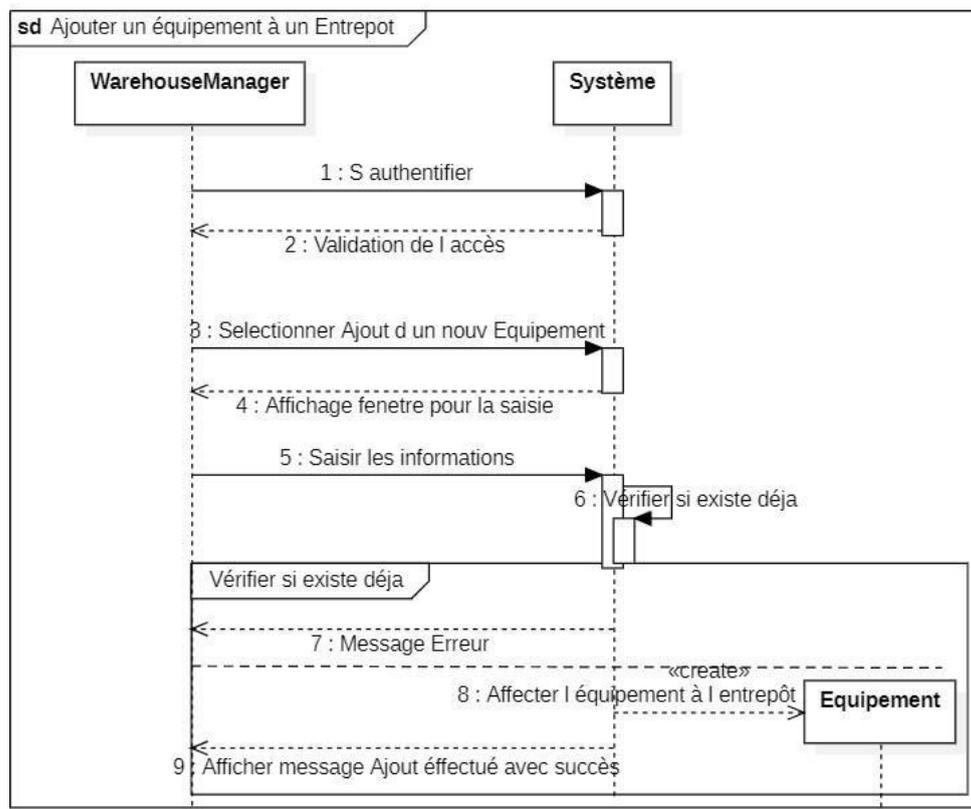


Figure 10: Diagramme de séquence (Ajouter un équipement dans un entrepôt)

## 2.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réalisé une avancée significative en développant une ontologie spécifique pour le domaine du stockage de grains. Cette ontologie nous permet de représenter et de structurer les connaissances et les informations essentielles relatives à la gestion des entrepôts de stockage de grains de manière sémantique.

En utilisant cette ontologie comme base, nous avons pu concevoir un système qui offre une gestion efficace des entrepôts de stockage de grains, en prenant en compte les exigences spécifiques du domaine. Grâce à l'utilisation de l'ontologie, nous pouvons atteindre une meilleure organisation des données et une interprétation précise des informations liées au stockage des grains. Le système conçu permet d'offrir plusieurs fonctionnalités aux plusieurs acteurs agricoles.

Le chapitre suivant abordera l'implémentation de l'ontologie et du système proposé.

## 3. Chapitre 03 : Implémentation

### 3.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous décrivons les travaux applicatifs et les détails de mise en œuvre de notre travail. Nous allons décrire d'abord les outils et langage d'implémentation. Par la suite, nous détaillons les étapes de développement de notre système, et nous terminons par une présentation des fonctionnalités principales du système.

### 3.2.Mise en œuvre de la contribution

Dans cette section, nous allons spécifier, dans un premier temps, les outils et les langages utilisés pour développer notre système. Dans un second temps, nous allons décrire notre système.

#### 3.2.1. Langages et outils de développement

Cette partie présente les langages et les outils utilisés pour l'implémentation du système.

##### *3.2.1.1. Le langage Java Script*

JavaScript désigne un langage de développement informatique, et plus précisément un langage de script orienté objet. On le retrouve principalement dans les pages Internet. Il permet, entre autres, d'introduire sur une page web ou HTML des petites animations ou des effets. [w2]

##### *3.2.1.2. Le langage Python*

Python est un langage de programmation interprété, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de le compiler avant de l'exécuter. Il est gratuit, mais il peut être utilisé sans restriction dans des projets commerciaux. Il est portable, non seulement sur diverses variantes d'Unix, mais également sur des systèmes d'exploitation propriétaires : Mac OS, BeOS, NeXTStep, MS-DOS et diverses variantes de Windows [w3].

##### *3.2.1.3. Le navigateur Anaconda*

Le navigateur Anaconda est une interface utilisateur graphique (GUI) de bureau inclus dans la distribution Anaconda qui nous permet de lancer des applications et de gérer facilement les packages, les environnements et les canaux sans utiliser les commandes de l'interface de ligne de commande. Il est disponible pour Windows, macOS et Linux. [w4].

##### *3.2.1.4. Jupyter Notebook*

Jupyter Notebook et son interface flexible étendent le notebook au-delà du code à la visualisation, au multimédia, à la collaboration, etc. En plus d'exécuter le code, il stocke le code et la sortie, ainsi que les notes de démarque, dans un document modifiable appelé bloc- notes.

Lorsqu'il est enregistré, celui-ci est envoyé du navigateur au serveur du bloc-notes, qui l'enregistre sur le disque en tant que fichier JSON avec une extension .ipynb. [w5]

#### *3.2.1.5. Visual Studio Code*

Visual Studio Code est un éditeur de code source léger mais puissant qui s'exécute sur votre bureau et est disponible pour Windows, macOS et Linux. Il est livré avec un support intégré pour JavaScript, TypeScript et Node.js et dispose d'un riche écosystème d'extensions pour d'autres langages (tels que C++, C#, Java, Python, PHP, Go) et moteurs d'exécution (tels que .NET et Unity) [w6].

#### *3.2.1.6. Protégé*

Protégé est un système auteur pour la création d'ontologies. Il a été créé à l'université Stanford et est très populaire dans le domaine du Web sémantique et au niveau de la recherche en informatique. Protégé est développé en Java. Il est gratuit et son code source est publié sous une licence libre [w7].

### **3.2.2. Les bibliothèques utilisées**

#### *3.2.1.1. Owlready2*

Owlready2 est un package pour la programmation orientée ontologie en Python. Il peut charger des ontologies OWL 2.0 en tant qu'objets Python, les modifier, les enregistrer et effectuer un raisonnement via Hermit (inclus). Owlready2 permet un accès transparent aux ontologies OWL (contrairement aux API habituelles basées sur Java). [w8]

#### *3.2.1.2. Flask*

Flask est un micro framework open-source de développement web en Python. Il est classé comme microframework car il est très léger. Flask a pour objectif de garder un noyau simple mais extensible. Il n'intègre pas de système d'authentification, pas de couche d'abstraction de base de données, ni d'outil de validation de formulaires. Cependant, de nombreuses extensions permettent d'ajouter facilement des fonctionnalités.[w9]

#### *3.2.1.3. React*

React (aussi appelé React.js ou ReactJS) est une bibliothèque JavaScript libre développée par Facebook (maintenant Meta) depuis 2013. Le but principal de cette bibliothèque est de faciliter la création d'application web monopage, via la création de composants dépendant d'un état et générant une page (ou portion) HTML à chaque changement d'état. [w10]

#### *3.2.1.4. Axios*

Axios est un client HTTP basé sur des promesses pour node.js et le navigateur. Il est isomorphe (= il peut fonctionner dans le navigateur et nodejs avec la même base de code). Côté serveur, il utilise le module http natif de node.js, tandis que côté client (navigateur), il utilise XMLHttpRequests [w11].

#### *3.2.1.5. Node.js*

Node.js est une plateforme logicielle libre en JavaScript, orientée vers les applications réseau événementielles hautement concurrentes qui doivent pouvoir monter en charge [w12].

### 3.2.1.6. Material UI

Material UI est une bibliothèque de composants open-source React qui implémente le Material Design de Google. Elle comprend une collection complète de composants prédéfinis qui sont prêts à être utilisés en production dès la sortie de la boîte. Material UI magnifique par sa conception et propose une suite d'options de personnalisation qui facilitent la mise en œuvre de votre propre système de conception personnalisé en plus de nos composants [w13].

## 3.3. Implémentation du système

Le développement de notre système se divise en trois parties principales : un backend, l'API et le front-end.

Le backend concerne l'ontologie, l'API c'est l'intermédiaire et le front-end représente l'interface.

La figure suivante explique l'architecture générale de ce système :

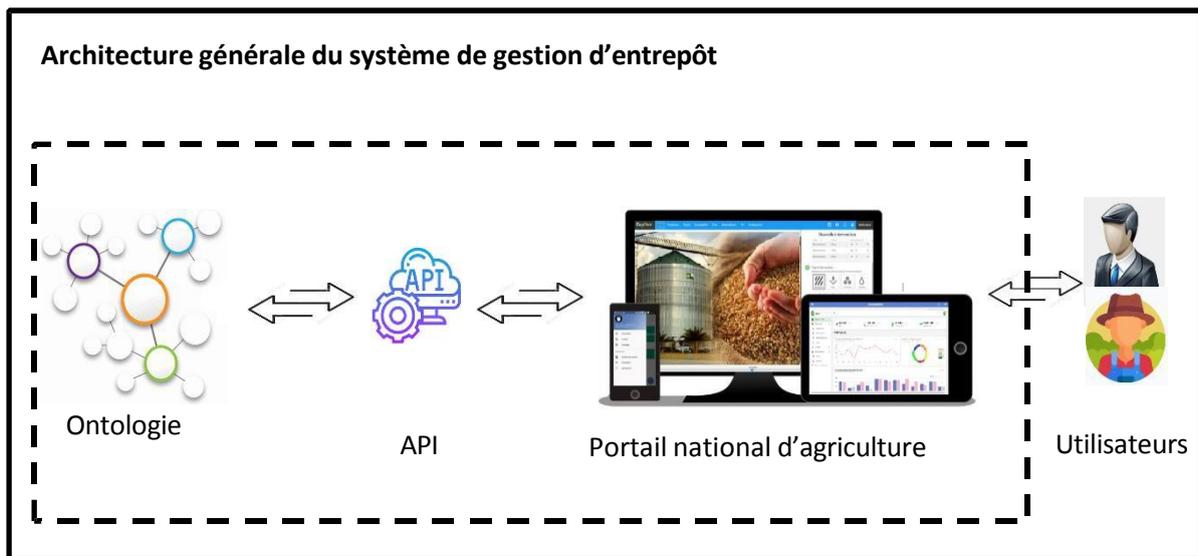


Figure 11: L'architecture générale de ce système.

### 3.2.3. Implémentation de l'ontologie :

Nous avons utilisé protégé, version 5.5.0 pour l'implémentation de l'ontologie. Les figures 13 et 14 montrent l'ontologie développée :

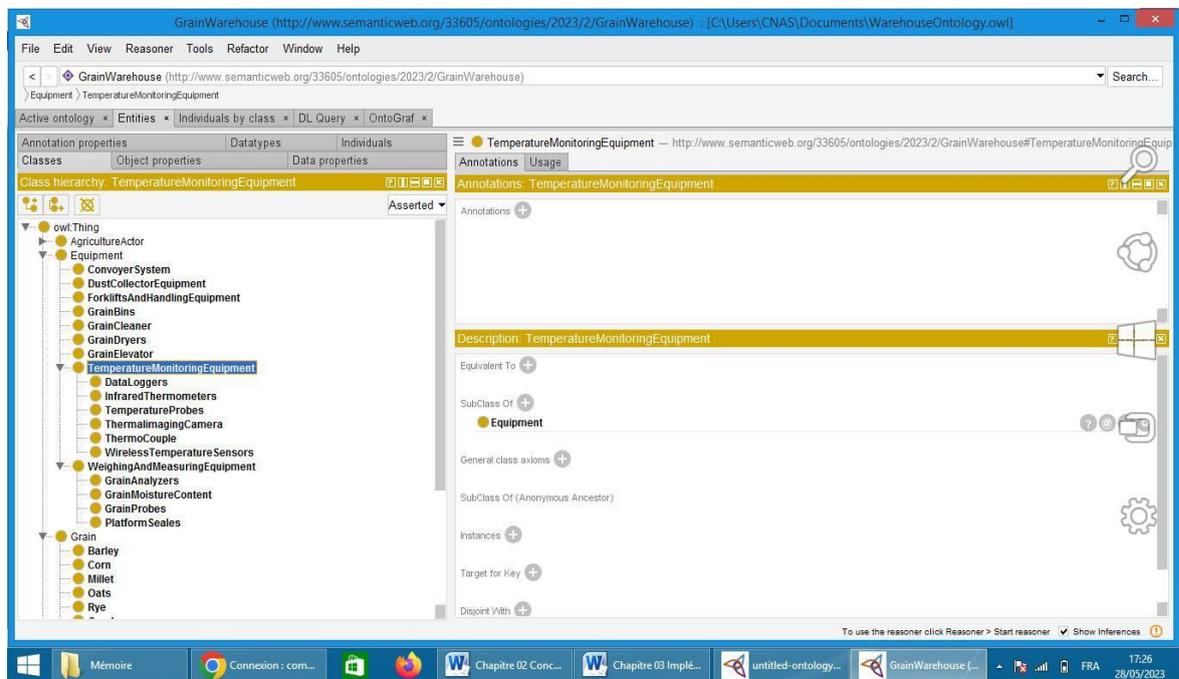


Figure 12: Présentation des classes sous forme hiérarchique sur protégé

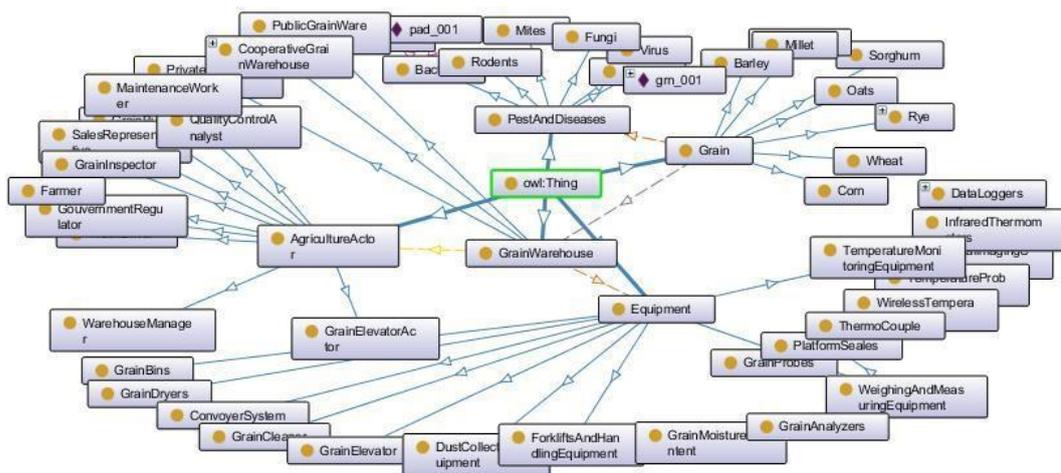


Figure 13: Présentation de l'ontologie sous forme d'un graphe avec OntoGraf (protégé)

### 3.2.4. Implémentation de l'API

Une fois notre ontologie créée, nous passons à la création de l'API qui joue un rôle intermédiaire entre l'application Web et l'ontologie. L'API utilise différentes méthodes pour gérer l'ensemble des classes de l'ontologie. Dans le but d'exploiter au mieux le système, ces méthodes doivent inclure au moins les quatre opérations de base relatives à la gestion des données et des applications (CRUD) : Créer (Create), Lire (Read), Mettre à jour (Update) et Supprimer (Delete). Ces opérations sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

Operation	Code/commande	Utilisation
Create	POST	Pour ajouter un nouvel individu
Read	GET	Pour récupérer les informations d'un individu
Update	PUT	Mise à jour des données
Delete	DELETE	Pour supprimer un individu

Tableau 7: Les opérations de base utilisées pour la gestion de la pertinence des données et des applications (CRUD)

La figure suivante présente un exemple du code source de l'API responsable à la récupération de la liste des entrepôts depuis l'ontologie

```
class GrainWarehouseResource(Resource):
    def get(self, num_warehouse):
        warehouses = onto.search(iri="*gwh_" + num_warehouse, is_a=onto.GrainWarehouse)
        warehouse = warehouses[0] if warehouses else None
        if warehouse:
            result = {
                'location': warehouse.hasLocation[0],
                'storageCapacity': warehouse.hasStorageCapacity[0],
                'nature': str(classe_name(warehouse)),
                'equipments': [equipment.name.replace("eqm_", "") for equipment in warehouse.equippedBy]
            }
            return result, 200
        return {"message": "warehouse non trouvé"}, 404
```

Figure 14: Code source de l'API responsable à la récupération de la liste des entrepôts depuis l'ontologie

Le test de cette partie de l'API sur POSTMAN, dans la figure suivante :

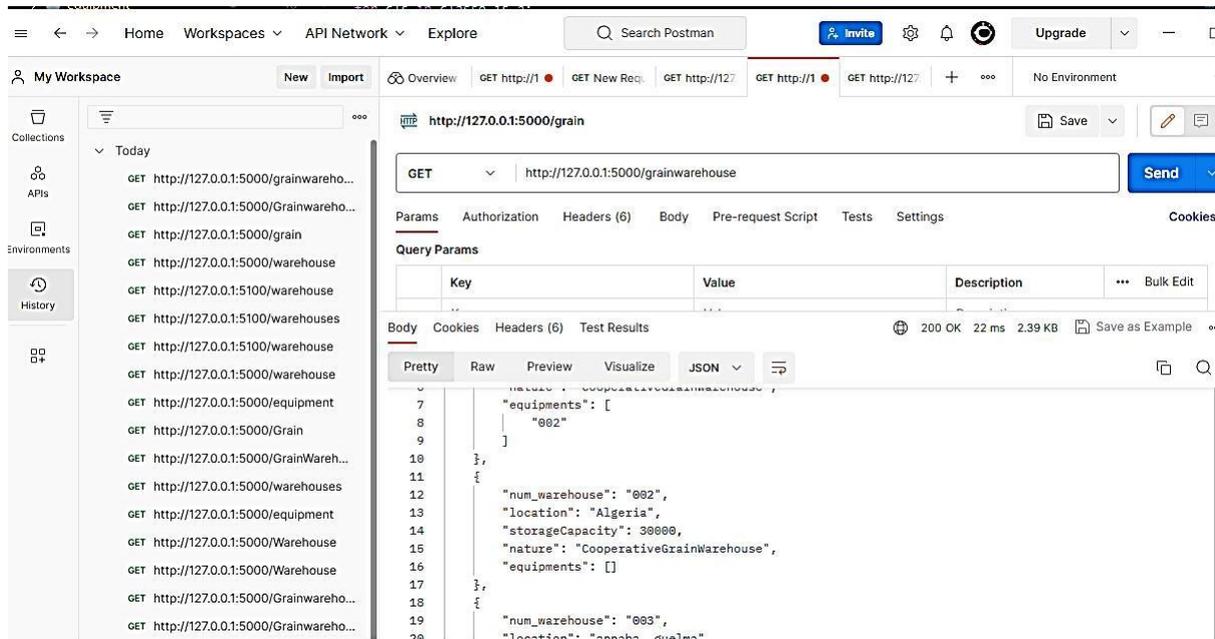


Figure 15: Teste de l'API dans avec la méthode GET sur POSTMAN

### 3.2.5. Implémentation de l'application Web

Après avoir créé et testé l'API, nous procédons à l'implémentation de l'application Web qui joue le rôle d'interface utilisateur. Nous avons utilisé React en tant que framework pour les fonctionnalités de manipulation, et Material-UI pour la création de l'ensemble des composants du site.

#### 3.3.3.1. Présentation de l'application Web :

La page d'accueil joue un rôle essentiel en présentant l'activité du site de manière claire et concise. Elle fournit des informations pertinentes à chaque profil d'utilisateur, sous forme de tableaux de bord et de graphiques en temps réel, facilitant ainsi la prise de décisions appropriées par les superviseurs du système. En tant que tableau de bord central, la page d'accueil offre un aperçu instantané des métriques clés et des tendances, permettant aux utilisateurs de visualiser rapidement l'état actuel de l'activité. La figure suivante illustre cette interface intuitive et informative.

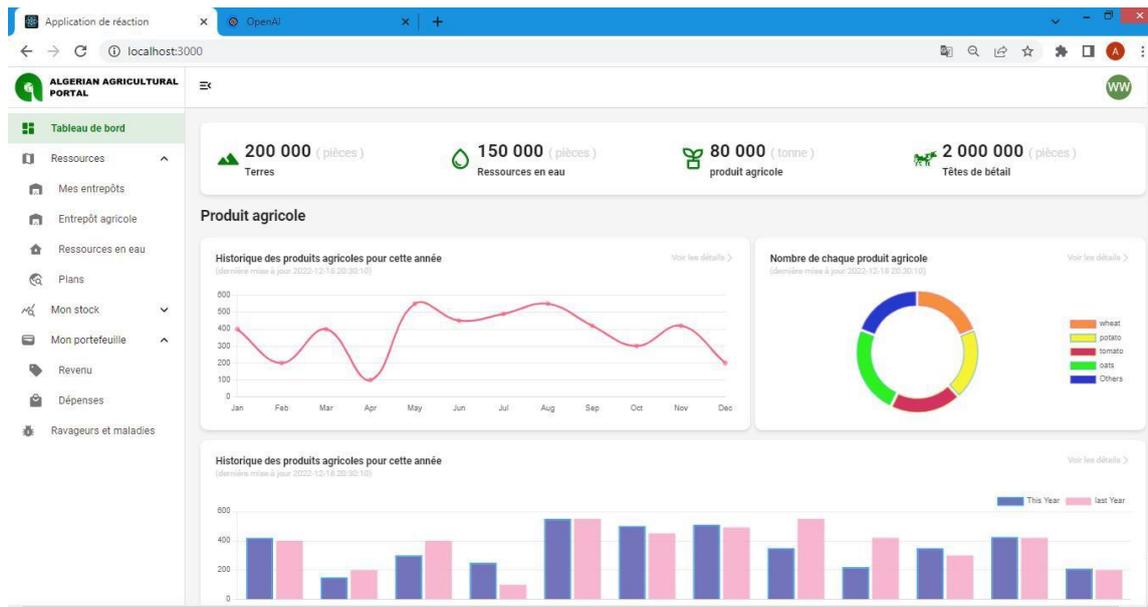


Figure 16: La page d'accueil qui présente les activités et les fonctionnalités du système

Ce système de gestion des entrepôts est conçu pour faciliter le suivi et la gestion de chaque entrepôt de manière efficace. Il offre aux utilisateurs la possibilité de surveiller en temps réel l'état de chaque entrepôt, ainsi que de gérer les ravageurs et les maladies qui peuvent affecter les grains pendant le stockage. Dans le menu dédié aux ravageurs et aux maladies, accessible depuis la colonne de gauche, les utilisateurs peuvent identifier et classifier différents types de risques tels que les insectes, les virus et autres maladies. De plus, le système permet d'introduire les caractéristiques spécifiques de chaque type de risque, offrant ainsi une gestion plus précise et ciblée des problèmes liés à la santé des grains.

L'application web interagit de manière directe avec l'ontologie, ce qui signifie que toute modification ou ajout effectué dans l'application sera automatiquement mis à jour dans l'ontologie. Cela garantit une synchronisation constante entre les données de l'application et la représentation sémantique des entrepôts. Les figures suivantes 17 et 18 illustrent un exemple de processus d'ajout d'un nouvel entrepôt à la liste.

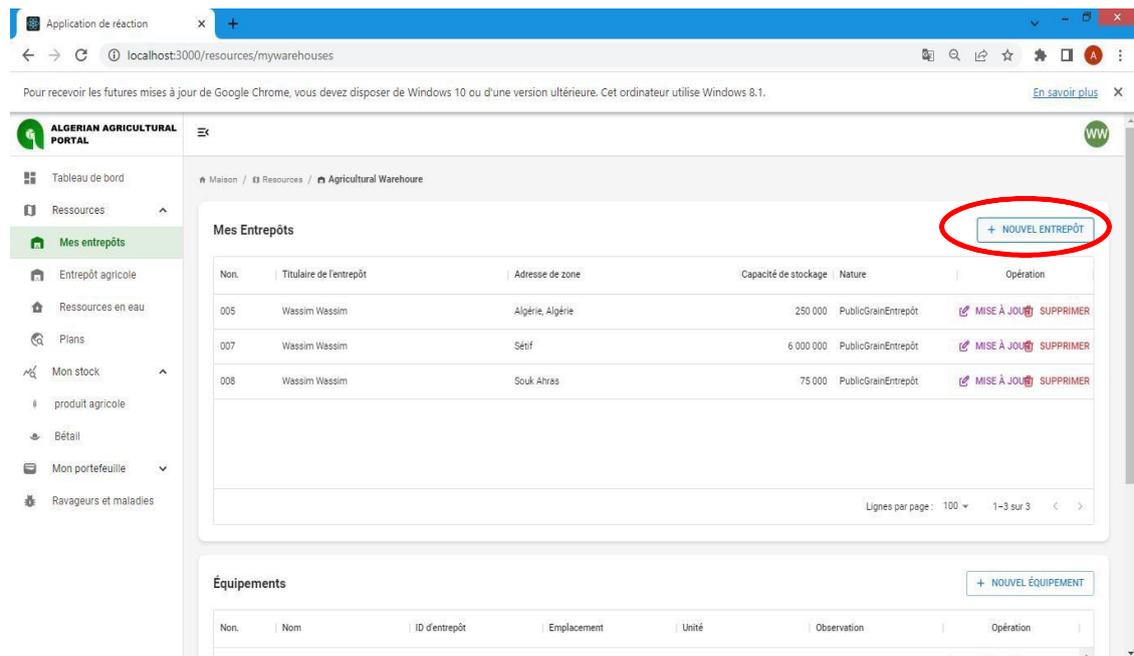


Figure 17: Ajouter un nouvel entrepôt

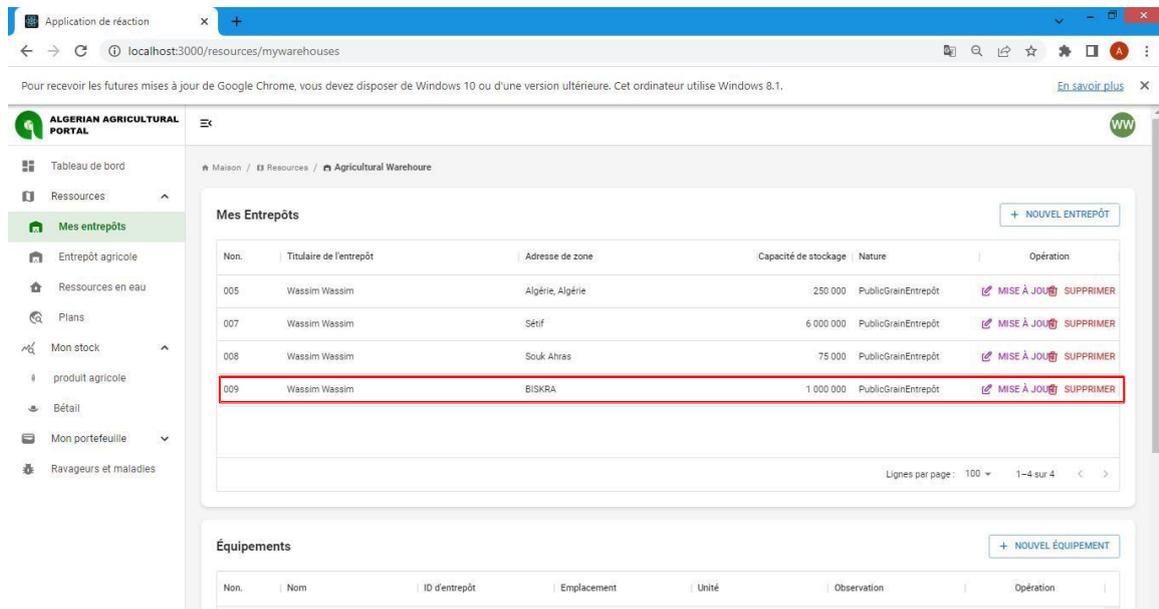


Figure 18: Figure Présente l'insertion de l'entrepôt dans la liste de mes entrepôts sur le portail

La figure 19 montre l'instanciation du nouvel entrepôt dans l'ontologie.

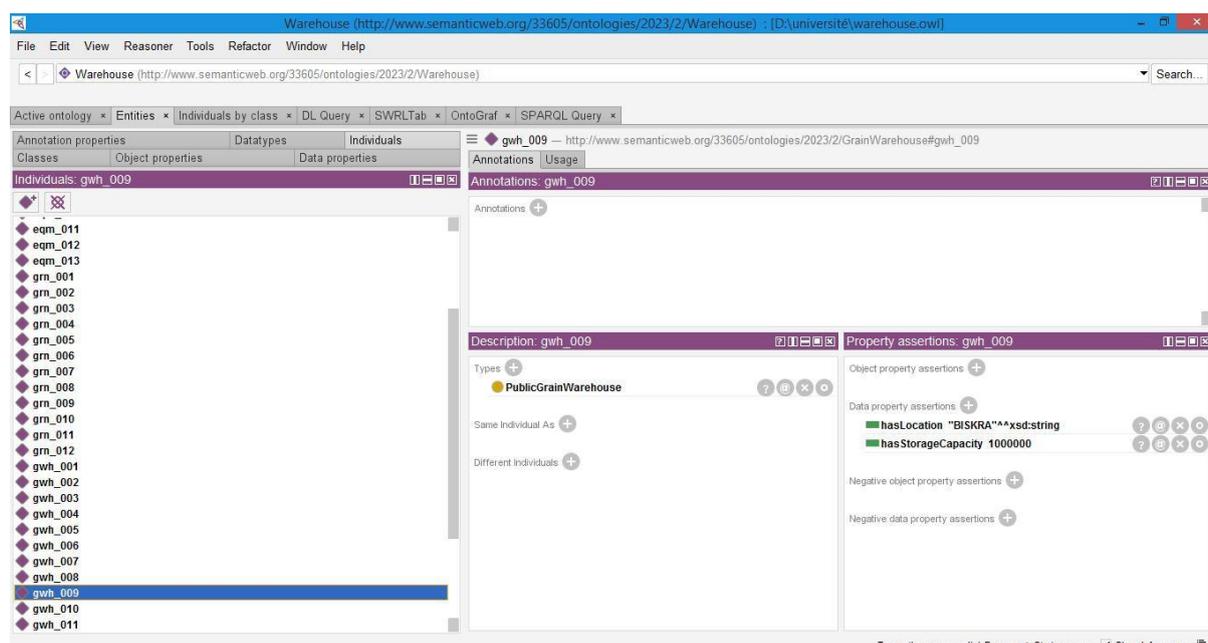


Figure 19: Figure présente l'entrepôt inséré dans la liste de mes entrepôts au niveau de l'ontologie (protégé)

### 3.4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réussi à concrétiser notre conception en développant et en mettant en œuvre le système de gestion des entrepôts de stockage de grains basé sur l'ontologie que nous avons précédemment conçue. L'implémentation du système a été réalisée avec succès, en utilisant les technologies et les outils appropriés. Nous avons pu exploiter les fonctionnalités de l'ontologie pour organiser les données de manière sémantique et faciliter l'interprétation des informations liés au stockage des grains.

Le système offre une interface conviviale permettant aux utilisateurs d'interagir facilement avec les fonctionnalités offertes. L'implémentation de ce système a apporté de nombreux avantages à la chaîne agricole et aux parties prenantes concernées.

## Conclusion générale

Ce mémoire de fin d'études a apporté une contribution significative en abordant le problème de représentation sémantique des connaissances et la gestion d'interopérabilité. Grâce à une revue approfondie de la littérature et à l'utilisation de méthodologies bien établies, une ontologie dédiée aux entrepôts de stockage agricoles a été conçue, permettant une représentation précise des concepts, des relations et des propriétés spécifiques à ces infrastructures.

L'application développée pour exploiter cette ontologie offre une interface intuitive et conviviale, facilitant l'accès et l'interaction avec les informations représentées. Les utilisateurs ont la possibilité d'effectuer des recherches, de filtrer les résultats et d'obtenir des détails sur les entrepôts de stockage agricoles, ce qui favorise une meilleure compréhension, une utilisation plus efficace des données et une interopérabilité entre les acteurs agricoles.

Notre contribution permet de faciliter la communication, l'échange et l'utilisation des informations liées aux entrepôts de stockage, contribuant ainsi à une gestion plus efficace des ressources agricoles et à une prise de décision améliorée au sein de la chaîne d'approvisionnement agricole.

Cependant, il convient de noter qu'il existe encore des possibilités d'amélioration dans ce domaine. Par exemple, des travaux futurs pourraient se concentrer sur l'expansion de l'ontologie en incluant davantage de concepts et de relations pour couvrir des aspects spécifiques des entrepôts de stockage agricoles, tels que les normes de sécurité, les réglementations environnementales et les systèmes de suivi des produits. De plus, une intégration plus poussée avec d'autres systèmes et bases de données agricoles existants pourrait permettre une meilleure interopérabilité et une utilisation plus large des informations.

En outre, des efforts supplémentaires pourraient être déployés pour évaluer et valider l'ontologie et son application conviviale, en les testant sur un échantillon plus large d'utilisateurs et en recueillant leurs retours d'expérience. Cela permettrait de mettre en évidence les points forts et les limitations du modèle sémantique proposé et d'identifier des possibilités d'amélioration supplémentaires.

## Bibliographies :

- [1] E. F. Aminu and M. B. Abdullahi, "A Review on Ontology Development Methodologies for Developing Ontological Knowledge Representation Systems for various Domains," no. April, pp. 28–39, 2020, doi: 10.5815/ijieeb.2020.02.05.
- [2] P. S. B. Siva, K. S. Prasanna, and J. M. R. Manikandan, "An ontology enabled internet of things framework in intelligent agriculture for preventing post - harvest losses," *Complex Intell. Syst.*, vol. 7, no. 4, pp. 1767–1783, 2021, doi: 10.1007/s40747-020-00183-y.
- [3] U. Pakdeetrakulwong and K. Hengpraprom, "An ontology-based knowledge management for organic and good agricultural practice agriculture : A case study of Nakhon Pathom Province , Thailand," vol. 13, no. 4, pp. 26–34, 2018, doi: 10.14456/jtir.2018.37.
- [4] A. Survey, V. M. Kushala, and M. C. Supriya, "Deep Learning Ontology : Dimensions in the Field of," vol. VII, no. I, pp. 17–21, 2018.
- [5] E. Abrahão, A. Riyuiti, H. Complex, T. Ontology, and C. Modelling, "Complex Task Ontology Conceptual Modelling : Towards Ontology To cite this version : HAL Id : lirmm-03127839," 2021.
- [6] E. Abrahão, S. Paulo, and S. Paulo, "Task Ontology Modeling for Technical Knowledge Representation in Agriculture Field Operations Domain," no. 1, pp. 2–6.
- [7] R. I. Systems, "Decision support for grape crop protection using ontology Archana Chougule \* and Vijay Kumar Jha Debajyoti Mukhopadhyay," vol. 11, no. 1, pp. 24–37, 2019.
- [8] L. Chen, H. Si, and Y. Cao, "Ontology-based User Modeling for Chinese Crop Germplasm Resources Information System," no. Cii, pp. 401–408, 2019.
- [9] P. Visutsak, "Ontology-Based Semantic Retrieval for Durian Pests and Diseases Control System," vol. 11, no. 1, 2021, doi: 10.18178/ijmlc.2021.11.1.1019.
- [10] I. Kessler, A. Perzylo, and M. Rickert, "Ontology-Based Decision Support System for the Nitrogen Fertilization of Winter Wheat".
- [11] W. Jearanaiwongkul, C. Anutariya, and F. Andres, "An Ontology-based Approach to Plant Disease Identification System," *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, no. December, 2018, doi: 10.1145/3291280.3291786.
- [12] C. K. Deb, S. K. Karn, M. Das, and S. Marwaha, "Microbial Taxonomy Ontology for Agriculturally Important Microorganisms ( AMO ) Coupled with Sequence Alignment Reinforcement Options Microbial Taxonomy Ontology for Agriculturally Important Microorganisms ( AMO ) Coupled with Sequence Alignment Reinforce," no. April, 2018, doi: 10.20546/ijcmas.2018.704.358.
- [13] M. Grüninger, M. S. Fox, and M. Gruninger, "Methodology for the Design and Evaluation of Ontologies," *Int. Jt. Conf. Artif. Intel. (IJCAI95), Work. Basic Ontol. Issues Knowl. Shar.*, pp. 1–10, 1995, [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.44.8723>
- [14] M. Fernández, A. Gómez-Pérez, and N. Juristo, "MÉTHONTOLOGIE : de l'art ontologique vers l'ingénierie ontologique. Dans Actes de l'AAAI97 Symposium de printemps," pp. 33–40, 1997.
- [15] N. F. Noy and D. L. McGuinness, "A Guide to Creating Your First Ontology," *Biomed. Informatics Research*, pp. 7–25, 2001, [Online]. Available: [http://bmir.stanford.edu/file\\_asset/index.php/108/BMIR-2001-0880.pdf](http://bmir.stanford.edu/file_asset/index.php/108/BMIR-2001-0880.pdf)
- [16] M. Uschold and M. King, "Towards a Methodology for Building Ontologies," *Work. Basic Ontol. Issues Knowl. Shar.*, no. July, 1995.
- [17] Y. L. Zheng, Q. Y. He, P. Qian, and Z. Li, "Construction of the Ontology-Based Agricultural Knowledge Management System," *J. Integr. Agric.*, vol. 11, no. 5, pp. 700–709, 2012, doi: 10.1016/S2095-3119(12)60059-8.
- [18] Q. H. N. B and T. Kechadi, *Ontology Based Approach for Precision*. Springer International

- Publishing, 2018. doi: 10.1007/978-3-030-03014-8.
- [19] Y. Wang and Y. Wang, "Citrus ontology development based on the eight-point charter of agriculture," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 155, no. September 2017, pp. 359–370, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.10.034.
- [20] J. Jebaraj, "An Exploratory Study on Agriculture Ontology : A Global Perspective," no. 6, pp. 202–206, 2017.
- [21] D. Sánchez-de-rivera, J. A. López, J. A. Martínez, and A. F. Skarmeta, "Adaptation of ontology sets for water related scenarios management with IoT systems for a more productive and sustainable agriculture systems".
- [22] S. Sree, L. Chukkapalli, A. Piplai, S. Mittal, M. Gupta, and A. Joshi, "A Smart-Farming Ontology for Attribute Based Access Control".
- [23] M. Maalej, A. Mtibaa, and F. Gargouri, "Ontology-based User Model for Personalized Search in a Social Network," vol. 147, no. 10, pp. 87–106, 2018.
- [24] P. C. Fernando, P. M. Mabee, and E. Zeng, "Integration of anatomy ontology data with protein – protein interaction networks improves the candidate gene prediction accuracy for anatomical entities," pp. 1–26, 2020, doi: 10.1186/s12859-020-03773-2.
- [25] B. Darnala, F. Amardeilh, C. Roussey, and C. Jonquet, "Crop Planning and Production Process Ontology ( C3PO ), a New Model to Assist Diversified Crop Production".
- [26] L. Cooper, M. Laporte, J. Elser, and V. Carollo, "The Plant Trait Ontology Links Wheat Traits for Crop Improvement and Genomics," pp. 6–7, 2020.
- [27] K. Onkov, "Ontology of Crop Pest Control Ontology of Crop Pest Control," no. July, 2020, doi: 10.1145/3388176.3388208.
- [28] Q. Pan *et al.*, "Trait ontology analysis based on association mapping studies bridges the gap between crop genomics and Phenomics," pp. 1–14, 2019.
- [29] P. No, O. F. Cotton, and C. In, "ONTOLOGY BASED EXPERT SYSTEM FOR PESTS AND DISEASE MANAGEMENT," vol. 6, no. 10, pp. 6387–6393, 2017, doi: DOI: <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2017>. <http://dx.doi.org/10.24327/ijcar.2017.6393.0932>.
- [30] S. Narayana, "Ontology-based Advisory System for Cotton Crop Farmers," vol. 167, no. 7, pp. 1–7, 2017.
- [31] Q. H. Ngo and T. Kechadi, "OAK : Ontology-based Knowledge Map".
- [32] A. J. H. A. R. Linnemann and P. C. S. J. S. C. Wiskerke, *On Processing Potato : 1 . Survey of the Ontology , History and Participating Actors*, no. 0123456789. Springer Netherlands, 2022. doi: 10.1007/s11540-022-09562-z.
- [33] B. Oppert, L. C. Perkin, M. Lorenzen, and A. T. Dossey, "Transcriptome analysis of life stages of the house cricket , *Acheta domesticus* , to improve insect crop production," pp. 1–14, 2020, doi: 10.1038/s41598-020-59087-z.
- [34] A. Goldstein, L. Fink, and G. Ravid, "A Framework for Evaluating Agricultural Ontologies," no. May 2019.
- [35] N. L. Sarda, P. S. Acharya, and S. Sen, *Geospatial infrastructure, applications and technologies: India case studies*. Springer Singapore, 2018. doi: 10.1007/978-981-13-2330-0.
- [36] R. K. Kodali and J. John, "IoT Monitoring System for Grain Storage," pp. 1–6, 2020.
- [37] M. Compton *et al.*, "The SSN ontology of the W3C semantic sensor network incubator group," *J. Web Semant.*, vol. 17, pp. 25–32, 2012, doi: 10.1016/j.websem.2012.05.003.
- [38] C. Taruvinga, D. Mejia, and J. Sanz Alvarez, *Systèmes appropriés de stockage des semences et des grains pour les agriculteurs à petite échelle: pratiques clés pour les praticiens de la RRC*. 2014.
- [39] "دراسة المشاكل التي تواجه نبات القمح في الحقل والتخزين.pdf."
- [40] L. T. Palomero, "To cite this version :," *Rev. Teledetect.*, vol. 8, no. 1, pp. 17–34, 2016.
- [41] Dave Abramson *et al.*, "Protection des céréales , des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes , les acariens et les moisissures Protection des céréales

, des oléagineux et des légumineuses à grain entreposés à la ferme contre les insectes,” pp. 1–60, 1851.

## Webographie

[w1] « **Interopérabilité en informatique** » [En ligne]. Disponible :

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Interop%C3%A9rabilit%C3%A9\\_en\\_informatique#cite\\_note-3](https://fr.wikipedia.org/wiki/Interop%C3%A9rabilit%C3%A9_en_informatique#cite_note-3) [Accès le 03 07 2023].

[w2] « **Java Script** » [En ligne]. Disponible: <https://www.journaldunet.fr/web-tech/dictionnaire-du-webmastering/1203585-javascript/> [Accès le 01 06 2023].

[w3] «python» [En ligne]. Disponible: <https://python.doctor.> [Accès le 01 06 2023].

[w4] «**anaconda** » [En ligne]. Disponible: <https://docs.anaconda.com/anaconda/navigator/>.

[Accès le 01 06 2023].

[w5] «**Jupyter Notebook** » [En ligne]. Disponible:

<https://docs.jupyter.org/en/latest/projects/architecture/content-architecture.html> [Accès le 01 06 2023].

[w6] «**Visual Studio Code**» [En ligne]. Disponible: <https://code.visualstudio.com/docs> [Accès le 01 06 2023].

[w7] «**Visual Studio Code**» [En ligne]. Disponible:

[https://fr.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%A9g%C3%A9\\_\(logiciel\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Prot%C3%A9g%C3%A9_(logiciel)) [Accès le 01 06 2023].

[w8] « **Owlready2** » [En ligne]. Disponible: <https://owlready2.readthedocs.io/en/latest/> [Accès

le 01 06 2023].

[w9] « **Flask** » [En ligne]. Disponible: [https://fr.wikipedia.org/wiki/Flask\\_\(framework\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Flask_(framework))

[Accès le 01 06 2023].

[w10] « **React** » [En ligne]. Disponible: <https://fr.wikipedia.org/wiki/React>. [Accès le 01 06 2023].

[w11] « **axios** » [En ligne]. Disponible: <https://axios-http.com/docs/intro> [Accès le 01 06 2023].

[w12] « **Node.js** » [En ligne]. Disponible: <https://fr.wikipedia.org/wiki/Node.js> [Accès le 01 06 2023].

[w13] «**Material UI**» [En ligne]. Disponible : <https://mui.com/material-ui/getting-started/overview/> [Accès le 01 06 2023].

[w14] Insectes ravageurs lors du stockage des grains : prévention et surveillance [En ligne]. Disponible : <https://ecophytopic.fr/pic/pour-aller-plus-loin/insectes-ravageurs-lors-du-stockage-des-grains-prevention-et-surveillance> [Accès le 01 05 2023].

## Travaux réalisés :

Participation au 1er atelier sur l'agriculture intelligente le 15/12/2022 organisé au niveau du centre de recherche d'agropastoralisme de l'université de Ziane Achour, Djelfa.

Avec une communication affichée intitulé « **A Semantic model to ensure interoperability in Intelligent Agriculture** ».

