



UNIVERSITÉ DE LA RÉUNION

UFR SCIENCES ET TECHNOLOGIES

RAPPORT DE STAGE DE MASTER M2 INFORMATIQUE

CENTRE DE COOPÉRATION INTERNATIONALE EN RECHERCHE  
AGRONOMIQUE POUR LE DÉVELOPPEMENT (CIRAD)

---

Augmentation de la standardisation de variables  
par alignement sémantique entre une base de  
données et des ontologies de référence en agronomie

---

*Auteur :*

Alexandre TAM-HUI

*n° étudiant : 40000266*

*Encadrant :*

Sandrine AUZOUX

*Responsable de stage UFR Sciences et Technologies :*

Rémy COURDIER

Période du stage : Du 20 janvier 2025 au 18 juillet 2025



*The Semantic Web is not a separate Web but an extension of the current one, in which information is given well-defined meaning, better enabling computers and people to work in cooperation.*

~

Tim Berners-Lee - 2001

© L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X original style made by David LAÏ-YOCK (2016)  
© L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X modified by Sébastien MACÉ (2017)

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Madame Sandrine Auzoux pour avoir accepté ma candidature et de m'avoir fait confiance pour mener ce projet à bien. Je remercie les chercheurs qui ont pris le temps de répondre à mes questions, Monsieur Samuel Legros, Madame Marion Collinet, Monsieur Charles Detaille, et Monsieur Géraud Moussard.

Je remercie Frederick Fabre Ferber qui m'a donné des conseils pour la rédaction de ce mémoire. Je remercie aussi Monsieur Jean-Christophe Soulié qui m'a accordé du temps pour le bon déroulement de mon stage. Je remercie mes collègues du Cirad pour leur accueil et leur bienveillance. Je souhaite aussi remercier Monsieur Remy Courdier, responsable des stages de Master 2 Informatique pour la gestion efficace de cette unité d'enseignement et pour la communication fluide avec les étudiants.

**A.T-H**



## Résumé

Le CIRAD mène des recherches pour concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités des écosystèmes. Pour élaborer des agro-écosystèmes performants, les chercheurs-agronomes réalisent des essais agronomiques sur des parcelles expérimentales. Ils mesurent les propriétés environnementales, mais ils analysent aussi les propriétés expérimentales en lien avec la culture. Ces mesures sont décrites par des variables agronomiques. Cependant, ces données ne sont généralement pas centralisées et restent souvent stockées localement sur les ordinateurs des chercheurs ou ingénieurs responsables des essais. Par ailleurs, les variables définies ne suivent pas de normes communes, ce qui limite leur standardisation. Pour apporter une solution à cette problématique, le CIRAD a développé le système d'information AEGIS pour stocker, exploiter, centraliser et diffuser ces variables agronomiques. Le système possède un dictionnaire de variables composé d'une liste de variables communes pour faciliter la comparaison et l'analyse des données, ainsi que les liens avec les modèles de culture. Les variables communes d'AEGIS sont encore peu standardisées, elles permettent de faire le lien entre des variables synonymes utilisées par différents chercheurs, mais le système ne permet pas encore une réelle interopérabilité.

L'objectif est d'augmenter la standardisation des variables communes du dictionnaire d'AEGIS à partir de concepts d'ontologie en agriculture et d'autres objets sémantiques existants sur le web.

Pour atteindre cet objectif, il a fallu dans un premier temps comprendre le domaine métier, harmoniser les données existantes, puis essayer autant que possible d'automatiser la recherche de correspondance entre les ontologies de référence et les éléments de la base de données.

## Mots-clés

Agroécologie, Standardisation de variable, Ontologie, AEGIS, Base de données, Web Sémantique.

## Abstract

The CIRAD leads researchs to design production systems that harness the functions of ecosystems. To develop high-performing agroecosystems, agricultural researchers conduct agronomic trials on experimental plots. They measure environmental properties, but also analyze experimental properties related to the crop. These measurements are expressed through agronomic variables. However, these data are generally not centralized and are often stored locally on the computers of the researchers or engineers in charge of the trials. To provide a solution to this issue, CIRAD has developed the AEGIS information system for the storage, analysis, centralization, and dissemination of agronomic variables. The system includes a variable dictionary composed of a list of common variables to facilitate data comparison and analysis, as well as links to crop models. The common variables in AEGIS are still poorly standardized, they allow linking synonymous variables used by different researchers, but the system does not yet enable true interoperability.

The goal is to increase the standardization of the common variables in the AEGIS dictionary based on agricultural ontology concepts and other existing semantic web resources.

To achieve this goal, it was first necessary to understand the domain, harmonize the existing data, and then, as much as possible, automate the matching between the reference ontologies and the database elements.

## Keywords

Agroecology, Variable Standardization, Ontology, AEGIS, Database, Semantic Web.



# Table des matières

Glossaire	XI
<b>1 Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 Environnement du stage</b>	<b>3</b>
2.1 Architecture fonctionnelle d'AEGIS . . . . .	3
2.2 Forge logicielle . . . . .	4
2.3 Appropriation du domaine métier . . . . .	4
2.4 Compréhension des données d'AEGIS . . . . .	5
2.5 Gestion de projet . . . . .	6
<b>3 Travail effectué</b>	<b>8</b>
3.1 Standardisation des variables . . . . .	8
3.1.1 Contexte . . . . .	8
3.1.2 Harmonisation des données existantes . . . . .	9
3.1.2.1 Correction dans la table des traits . . . . .	9
3.1.2.2 Correction dans la table taxonomie . . . . .	10
3.1.2.3 Correction dans la table des méthodes . . . . .	11
3.1.3 Alignement sémantique entre la base de données et les ontologies . . . . .	11
3.1.3.1 AgroPortal . . . . .	11
3.1.3.2 Méthodologie de la recherche de correspondances . . . . .	12
3.1.3.3 Standardisation des traits . . . . .	14
3.1.3.4 Standardisation des unités de mesure . . . . .	14
3.1.3.5 Standardisation des méthodes . . . . .	15
3.2 Développement web . . . . .	16
3.3 Intégration et standardisation des variables sol . . . . .	17
3.3.1 Intégration des variables sol . . . . .	17
3.3.2 Standardisation des variables sol . . . . .	18
<b>4 Perspectives</b>	<b>19</b>
4.1 Standardisation de variable . . . . .	19
4.2 Développement web . . . . .	19
<b>Bibliographie</b>	<b>22</b>

<b>Annexes</b>	<b>24</b>
A Organigramme du Cirad . . . . .	24
B Diagramme Entité-Relation de la BDD . . . . .	25

# Table des figures

1.1	Page d'accueil d'AEGIS . . . . .	2
2.1	Schéma de l'architecture MVC . . . . .	3
2.2	Visualisation de données sur AEGIS . . . . .	4
2.3	Schéma relationnel de la structure d'un projet . . . . .	6
2.4	Planification du projet . . . . .	7
3.1	schéma relationnel de la variable . . . . .	9
3.2	Variable GDMYld_C_gPlot dans l'ontologie Sorghum . . . . .	10
3.3	l'API de EPPO Global DB . . . . .	11
3.4	Schéma relationnel des tables d'alignements . . . . .	13
3.5	résultats d'une requête de L'API AgroPortal . . . . .	14
3.6	Endpoint SPARQL de l'API de QUDT . . . . .	15
3.7	exemple d'erreur PHP . . . . .	16
3.8	fonction pour gérer les caractères spécifiques dans l'URL . . . . .	17
3.9	Liste non exhaustive des variables sol et PRO . . . . .	17
4.1	Schéma relationnel : jointure des projets avec les variables . . . . .	20

# Glossaire

## A

**AIDA** : Agroécologie et intensification durable des cultures annuelles. Unité de recherche du CIRAD dédiée à l'intensification et à la durabilité de la production des cultures annuelles en milieu tropical contraint. 1

**API** : Application Programming Interface. Un ensemble normalisé de classes, de méthodes, de fonctions et de constantes qui sert de façade par laquelle un logiciel offre des services à d'autres logiciels. 10, 12–14

## D

**DOI** : Digital Object Identifier. Identifiant unique, permanent et standardisé utilisé pour désigner un document numérique. 12

## H

**HTML** : HyperText Markup Language. Le langage standard utilisé pour créer et structurer des pages web. 3, 4

## J

**JSON** : JavaScript Object Notation. Un format léger de données, facile à lire et à écrire, utilisé pour l'échange d'informations entre applications. 13

## O

**OAI-PMH** : Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting. Un protocole standard permettant la collecte et l'échange de métadonnées entre archives numériques. 12

## P

**PRO** : Produit résiduaire organique. Résidu organique issu de l'activité humaine, souvent valorisé en agriculture (ex. : compost, lisier, boues d'épuration). 17

## Q

**QUDT** : C'est un vocabulaire et un ontologie largement utilisés pour standardiser la description des grandeurs, unités, dimensions et types de données, notamment dans les domaines scientifiques et techniques. 14, 15

## R

**RDF** : Resource Description Framework. Un modèle standard pour décrire les ressources du web et leurs relations. 12

## **S**

**SPARQL** : Protocol and RDF Query Language. C'est un langage de requête utilisé pour interroger et manipuler des données stockées dans des formats RDF. 14

**SQL** : Structured Query Language. Un langage standardisé utilisé pour gérer et manipuler des bases de données relationnelles. 4

## **T**

**triplestore** : Base de données spécialisée pour le stockage et la requête de triplets RDF. Elle est utilisée dans les applications liées au Web sémantique. 12

## **U**

**URI** : Uniform Resource Identifier. Une chaîne de caractères utilisée pour identifier de manière unique une ressource sur Internet. 12

**URL** : Uniform Resource Locator. Une adresse utilisée pour accéder à des ressources sur Internet. 12, 16

# Chapitre 1

## Introduction

Le Cirad est un organisme français de recherche agronomique et de coopération internationale pour le développement durable des régions tropicales et méditerranéennes. Le Cirad construit, avec ses partenaires, des connaissances et des solutions pour inventer des agricultures résilientes dans un monde plus durable et solidaire. L'unité de recherche AIDA se positionne sur l'intensification et la durabilité de la production des cultures annuelles en milieu tropical. Le Cirad joue un rôle clé dans le développement et la promotion de l'agroécologie. Il mène des recherches pour concevoir des systèmes de production qui s'appuient sur les fonctionnalités des écosystèmes. L'agroécologie vise à donner une perspective ambitieuse à notre agriculture en engageant la transition vers de nouveaux systèmes de production performants dans toutes leurs dimensions : économique, environnementale et sociale. Pour concevoir des agro-écosystèmes performants, les chercheurs-agronomes réalisent des essais agronomiques sur des parcelles expérimentales. Ils mesurent les propriétés environnementales comme la composition du sol, l'humidité, l'intensité de lumière, la pluviométrie, mais ils analysent aussi les propriétés expérimentales en lien avec la culture, comme par exemple les traits de morphologie, les traits agronomiques, les traits de qualité de biomasse etc . Ces mesures sont décrites par des variables agronomiques qui peuvent être utilisées pour construire un modèle de culture, ou peuvent être comparées avec des prédictions d'autres modèles.

Les variables agronomiques sont définies lors de la saisie des données, par les chercheurs, techniciens ou ingénieurs, en fonction du type de données concerné. Lorsqu'il s'agit de données issues d'analyses, elles sont produites par les techniciens de laboratoire responsables de ces analyses. Pour les données nécessitant un traitement spécifique, comme l'humidité du sol mesurée par des sondes automatiques ou le rendement des cultures, ce sont généralement les chercheurs ou ingénieurs spécialisés dans ces domaines, ou leurs étudiants, qui en assurent la création. Cependant, ces données ne sont généralement pas centralisées et restent souvent stockées localement sur les ordinateurs des chercheurs ou ingénieurs responsables des essais. Par ailleurs, les variables définies ne suivent pas de normes communes, ce qui limite leur standardisation.

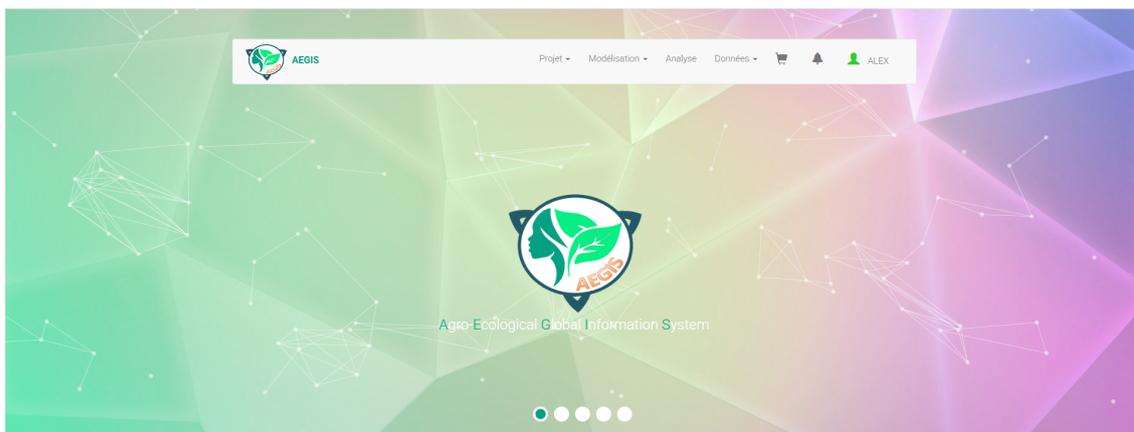


FIGURE 1.1 – Page d'accueil d'AEGIS

Pour apporter une solution à cette problématique, Le CIRAD a développé le système d'information Agro-Ecological Global Information System (AEGIS) [1] destiné aux chercheurs, ingénieurs et techniciens pour stocker, exploiter, centraliser et diffuser ces variables agronomiques. Il intègre une chaîne harmonisée d'acquisition et de traitement des données utilisant un dictionnaire de variables pour décrire et assurer la qualité et l'interopérabilité des données. Une variable est constituée de termes sémantiques issus de connaissances d'experts et d'ontologies de référence. Les retours des chercheurs, techniciens agricoles et ingénieurs sur leurs données ont permis de faire évoluer le dictionnaire de variables et d'établir une liste de variables communes pour faciliter la comparaison et l'analyse des données, ainsi que les liens avec les modèles de culture. Les variables communes d'AEGIS sont encore peu standardisées, elles permettent de faire le lien entre des variables synonymes utilisées par différents chercheurs, mais le système ne permet pas encore une réelle interopérabilité.

L'objectif du stage est d'augmenter la standardisation des variables communes du dictionnaire d'AEGIS à partir de concepts d'ontologie en agriculture tels que Crop Ontology [2], Trait Ontology [3], Agro Ontology [4], et d'autres objets sémantiques existants sur le web. La standardisation d'une variable consiste à définir celle-ci conformément à un référentiel établi. Dans notre cas, ce référentiel est constitué des différents objets sémantiques mentionnés précédemment. Ce travail de standardisation est important pour rendre notre système interopérable avec d'autres systèmes qui suivent les mêmes standards, mais également pour pouvoir réutiliser nos données dans de futurs projets de recherche et développement.

Ce stage s'inscrit dans le projet Slam-B du PEPR exploratoire FairCarboN et a bénéficié d'une aide de l'État gérée par l'Agence Nationale de la Recherche au titre de France 2030 portant la référence ANR-22-PEXF-0003.

Il intervient en appui à une thèse en cours, qui mobilise des approches de fouille de texte pour mettre en relation automatiquement des variables agroécologiques. Ce stage s'oriente plus sur les aspects sémantiques et nécessitera du développement web pour représenter les variables du dictionnaire, ainsi que l'annotation des données d'AEGIS.

## Chapitre 2

# Environnement du stage

### 2.1 Architecture fonctionnelle d'AEGIS

Le système d'information AEGIS est développé avec CodeIgniter [5], un framework libre écrit en PHP. CodeIgniter s'appuie sur le motif d'architecture modèle-vue-contrôleur. Pour rappel le modèle MVC est composé de trois modules ayant trois responsabilités différentes :

- **Modèle** : Représente les données de l'application ainsi que la logique métier ;
- **Vue** : Gère tout ce que l'utilisateur voit à l'écran, l'interface graphique, les pages HTML ;
- **Contrôleur** : gère les actions effectués par l'utilisateur, le contrôleur est également la passerelle entre la vue et le modèle.

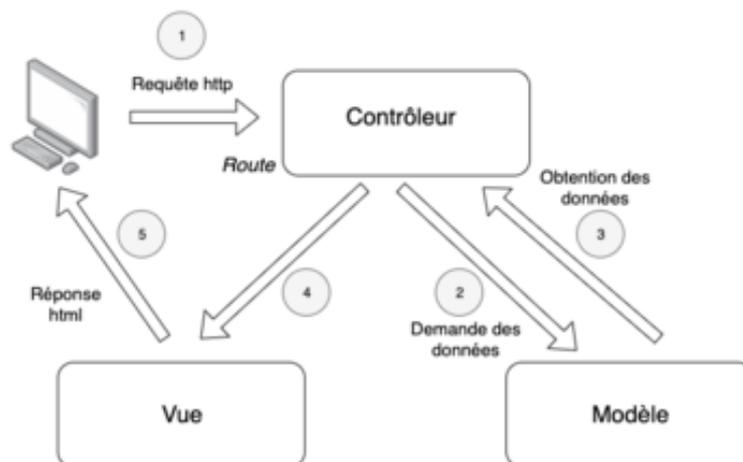


FIGURE 2.1 – Schéma de l'architecture MVC

AEGIS repose sur une architecture robuste et intègre un ensemble de fonctionnalités avancées :

- Une interface WEB complète et stylisée ;

- Un système d’authentification d’utilisateurs ;
- Diverses fonctionnalités concernant les projets, les essais et les jeux de données ;
- Une base de données PostgreSQL complexe modélisée en collaboration avec différents chercheurs en agronomie ;
- Un dictionnaire de variables permettant de standardiser le vocabulaire agronomique ;
- Des fonctionnalités de visualisation de données.

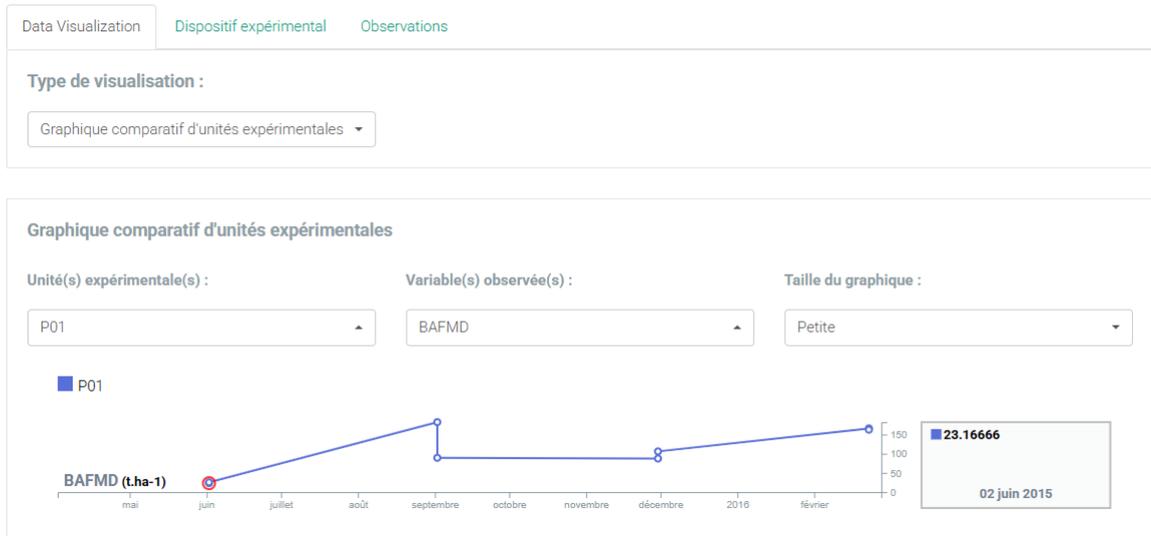


FIGURE 2.2 – Visualisation de données sur AEGIS

Le style du site s’appuie principalement sur la version 3 de Bootstrap [6], un framework qui permet de styliser des objets HTML comme des boutons, des sélecteurs, des icônes et qui ajoute des effets graphiques. La base de données du site est gérée par PostgreSQL [7], un système de gestion de base de données relationnelle et orientée objets.

## 2.2 Forge logicielle

Le code source du projet AEGIS a été récupéré via GitLab. Une fois le code disponible localement, XAMPP [8] a été utilisé pour apporter des modifications au projet en environnement local. La mise à jour de la branche distante est effectuée à l’aide de SourceTree [9]. Pour les opérations sur la base de données, PgAdmin [10] permet d’exécuter des requêtes SQL, tandis que DBeaver [11] est utilisé pour visualiser le schéma de la base. L’édition du code se fait à l’aide de Visual Studio Code [12].

## 2.3 Appropriation du domaine métier

Les échanges avec les chercheurs et ingénieurs ont été essentiels pour appréhender la logique métier associée aux données. Cette compréhension est indispensable pour atteindre les objectifs du stage.

Mon interlocutrice principale durant le stage a été Sandrine Auzoux, ma tutrice. Elle a répondu à mes questions concernant la définition des termes et les relations entre les entités de la base de données. Pour les aspects plus spécifiquement agronomiques, elle m'a orienté vers des chercheurs et ingénieurs spécialistes. J'ai accompagné Monsieur Charles Detaille, responsable du dispositif expérimental Soere Pro[13], sur le terrain afin de mieux comprendre quelles sont les données récoltées, comment elles sont prélevées et ce qu'elles représentent concrètement. Ensuite, j'ai pu discuter avec Madame Marion Collinet, responsable de la plateforme analytique, des méthodes de mesure que je devais implémenter dans la base de données concernant l'analyse des sols. Monsieur Samuel Legros, chercheur en biogéochimie du sol, a revu en détail un fichier excel décrivant des variables de sol et pour s'assurer de la cohérence des données avant de les rentrer dans le dictionnaire de variables, il m'a expliqué la signification des variables décrites dans ce fichier et les nuances auxquelles je devais faire attention lors de l'implémentation de celles-ci. Enfin, Monsieur Géraud Moussard, ingénieur en spectroscopie proche infrarouge, m'a fait part des problèmes de doublons liés à l'absence de standardisation.

## 2.4 Compréhension des données d'AEGIS

Parallèlement à cela, il a été nécessaire de se familiariser avec la base de données complexe d'AEGIS, en commençant par la définition précise des termes clés, avant de pouvoir saisir les relations entre les entités. Ci-dessous une liste des concepts agronomiques les plus importants, car ils permettent de comprendre la structure organisationnelle et expérimentale sur laquelle repose le système de données.

- **Essai agronomique** : une experimentation scientifique menée sur un terrain avec des conditions controlées. Le but est d'étudier les effets d'un ou plusieurs facteurs sur une culture ou un écosystème agricole. Un projet possède un ou plusieurs essais.
- **Facteurs étudiés** : Dans un essai agronomique, on souhaite en général tester des éléments qu'on va faire varier pour en constater les effets. Ces éléments sont appelés des facteurs. Cela peut être, par exemple, la variété pour les plantes, le type d'engrais utilisé ou encore le type d'irrigation.
- **Traitement** : Un traitement est tout simplement une combinaison de valeurs choisie pour chaque facteur. Dans l'exemple d'un essai ayant 3 facteurs étudiés, un traitement consiste en 3 modalités choisies, une pour chaque facteur. Dans le cas où nous aurions 4 modalités pour chacun des 3 facteurs, il y aurait 12 traitements possibles au total.
- **Unité expérimentale** : l'élément sur lequel est appliqué un et un seul traitement. Pour les essais impliquant des plantes, en général l'unité expérimentale est la parcelle. Sur une parcelle nous choisissons et appliquons un seul traitement. L'essai nécessitera donc plusieurs parcelles pour comparer plusieurs traitements entre eux.
- **Observation** : ce sont les résultats recueilli sur les différentes unités expérimentales. Une observation est liée à une unité expérimentale.

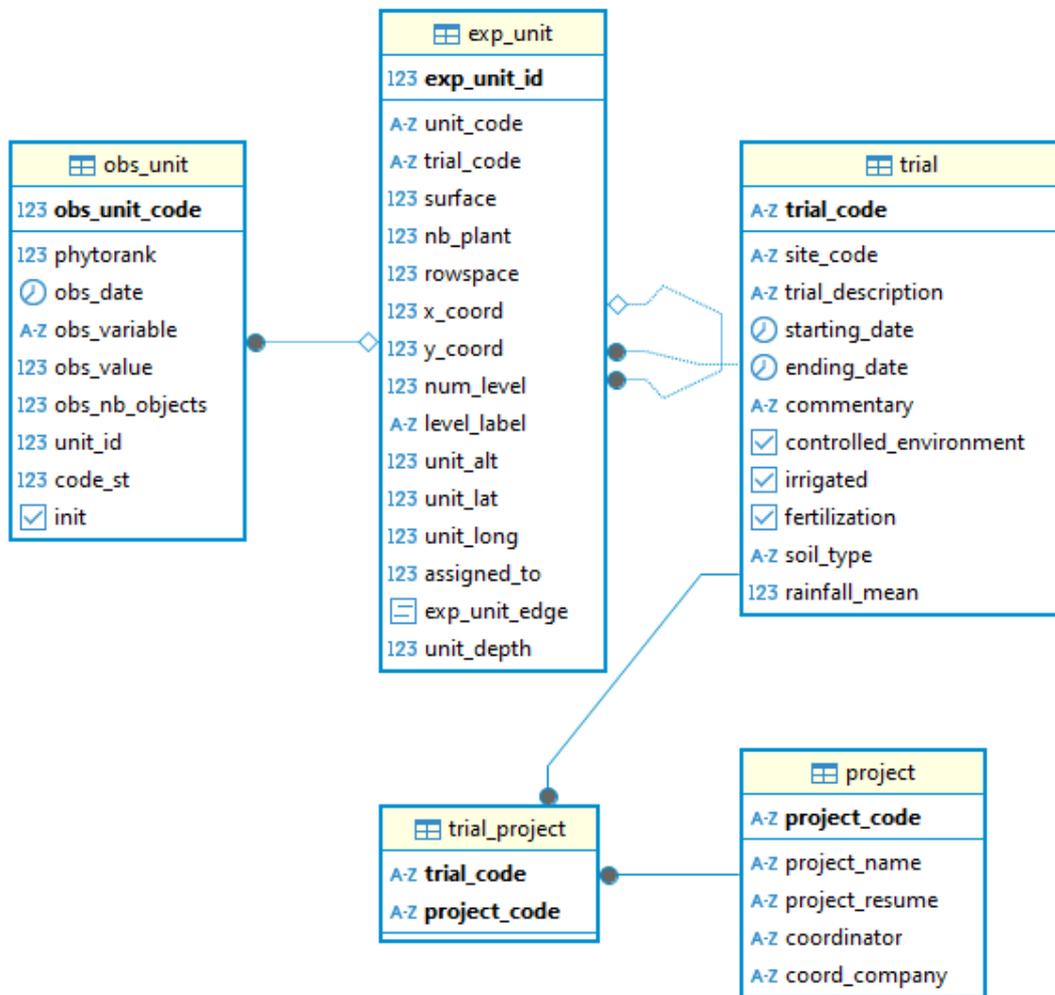


FIGURE 2.3 – Schéma relationnel de la structure d'un projet

## 2.5 Gestion de projet

Le projet se décompose en trois missions :

- La correction d'erreurs de l'application web ;
- La standardisation des variables ;
- L'intégration de nouvelles variables liées à des données de sol.

Voici la répartition du temps pour chaque missions.

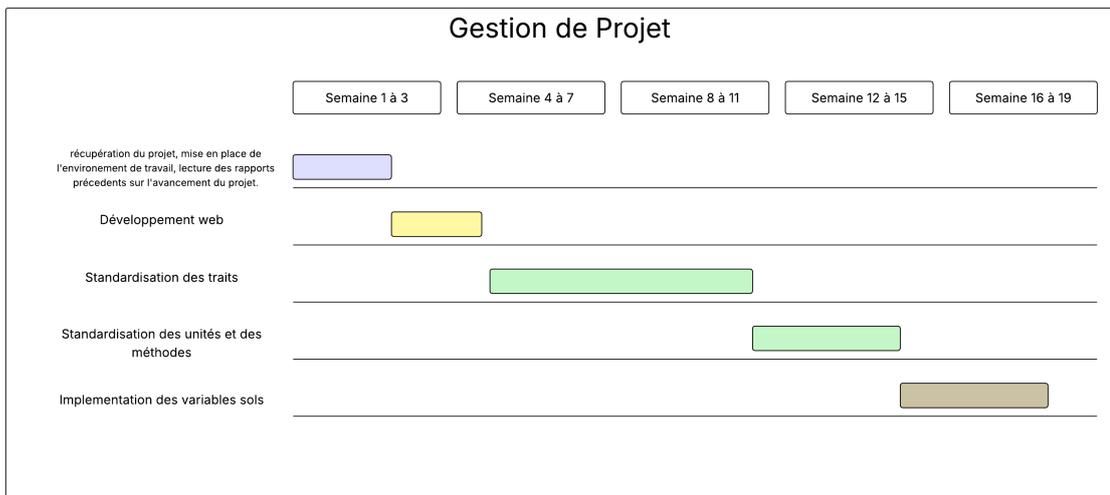


FIGURE 2.4 – Planification du projet

## Chapitre 3

# Travail effectué

### 3.1 Standardisation des variables

#### 3.1.1 Contexte

Pour comprendre quelles ont été mes différentes missions, il faut comprendre la structure du schéma de la base de données. Le travail est essentiellement effectué sur la table `variable` qui regroupe l'ensemble des variables collectées dans les systèmes agroécologiques.

Une variable est composée d'un trait, d'une méthode et d'une unité de mesure. Un trait est la combinaison d'une caractéristique mesurable ou une qualité et d'une entité, par exemple dans le cas du trait *poids sec de la tige*, la caractéristique mesurée est le poids sec, et l'entité est la tige. La méthode définit comment le trait est mesuré, cela peut-être une simple mesure à la règle ou alors une méthode bien spécifique comme la méthode Dumas qui permet de mesurer le carbone total dans le sol. Ainsi, dans la table `variable`, on trouve les clés étrangères des tables `trait`, `method` et `scale`.

La standardisation des variables commune s'opère par l'alignement sémantique de ces composantes, avec des concepts issus d'ontologies de référence standardisées. Pour augmenter la standardisation des variables communes, il faut donc que chaque composante soit associée, lorsque cela est possible, à un identifiant ontologique correspondant au concept sémantique approprié.

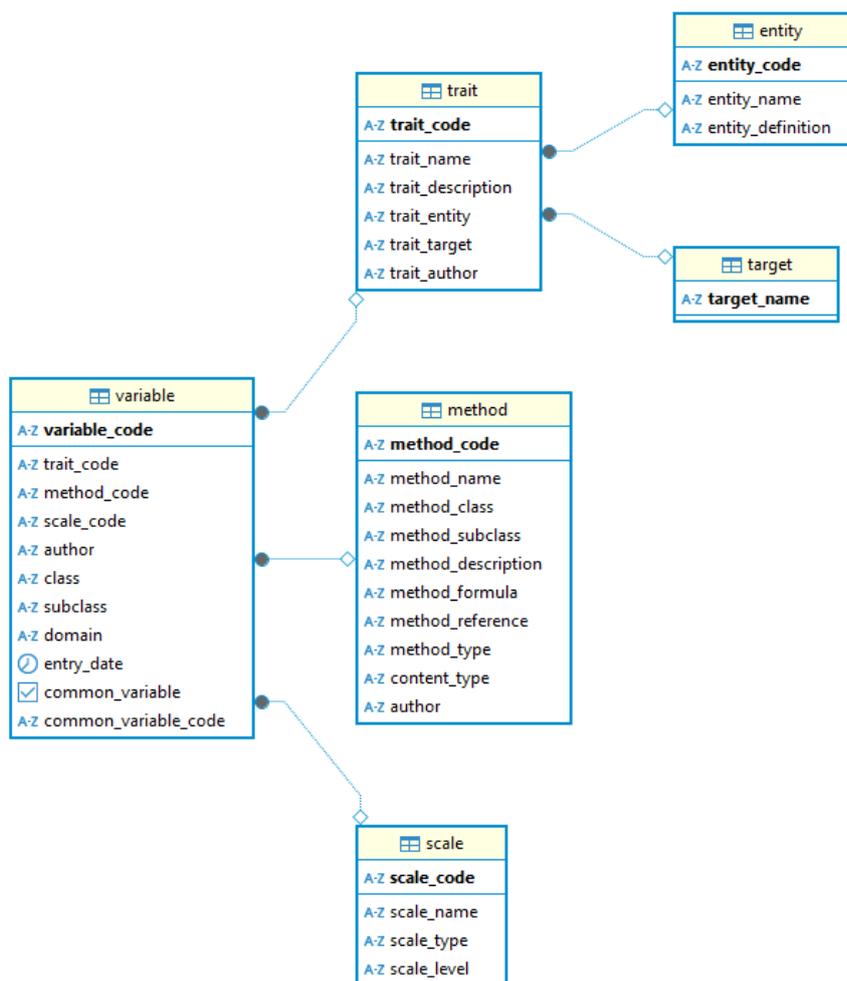


FIGURE 3.1 – schéma relationnel de la variable

## 3.1.2 Harmonisation des données existantes

### 3.1.2.1 Correction dans la table des traits

Certains traits présents dans la base sont directement issus de l'ontologie Sorghum [14], mais n'ont pas le même nom. Par exemple un trait peut être désigné dans la base par le nom *moisture content of the grain* alors qu'il est nommé *grain moisture content* dans l'ontologie. Les noms de ces traits présents dans la base de données ont été modifiés à l'aide de scripts Python pour les faire correspondre à ceux utilisés dans l'ontologie. Cela permettra d'aligner automatiquement le trait avec son concept ontologique. Ces scripts, sont essentiellement des requêtes SQL automatisées, le fonctionnement général est le suivant : Les données à modifier sont récupérées à l'aide d'une requête **SELECT** puis insérées dans un DataFrame Pandas. Les modifications sont ensuite appliquées directement sur le DataFrame, avant de mettre à jour la base de données à l'aide d'une requête **UPDATE**.

Les noms des variables respectent un format standardisé : ils sont constitués de l'abréviation du trait mesuré, de l'initiale correspondant à la classe de la méthode utilisée, et du symbole de l'unité de mesure. Prenons, l'exemple de la variable *GDMYld\_C\_gPlot*, on a l'abréviation du trait *Grain dry matter basis yield* suivi de l'initiale de la classe de

méthode, *C* pour Computation, et *gPlot* l'unité de mesure gram per plot. Ainsi, une colonne dédiée aux abréviations des traits a été ajoutée à la base de données, Elle a été remplie automatiquement à l'aide de scripts Python et sera utilisée pour générer les noms des variables associées à chaque trait.

The screenshot shows a web application interface with three main panels:

- Navigation:** A tree view of the ontology. The selected node is "Grain dry matter basis yield (g/plot) - Computation". A legend indicates: Term (blue circle), Trait (green circle), Method (yellow circle), and Scale (blue circle).
- Variables:** A list of variables, with "GDMYld\_C\_gPlot" selected.
- Concept details:** A table showing metadata for the selected variable.

Key	Value
variable_id	CO_324:0000399
variable_name	GDMYld_C_gPlot
ontology_id	CO_324
ontology_name	sorghum
variable_xref	BMS_20553
institution	CIRAD
scientist	JF Rami
crop	sorghum
language	EN
created_at	2024-01-04-16:23:39

FIGURE 3.2 – Variable GDMYld\_C\_gPlot dans l'ontologie Sorghum

### 3.1.2.2 Correction dans la table taxonomie

Parallèlement à cela, des informations erronées ont été corrigées dans une table appelée **taxonomie**, qui reprend la classification des espèces. Cette table contient un attribut qui reprend les codes European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO)[15] des organismes enregistrés dans la base. Un code EPPO est un système de codage harmonisé créé pour faciliter la gestion des noms de végétaux et d'organismes nuisibles dans les bases de données, et se résume en une abréviation en 5 lettres du nom de l'espèce.

Certains de ces codes ne correspondaient pas à leur espèce associé. Pour trouver les codes erronés, il a fallu trouver une base de données avec tous les codes EPPO correct, puis les comparer avec les codes EPPO de ma base.

L'API de la web application EPPO Global Database a permis de vérifier la vraisemblance des codes. La liste des noms des espèces a été fournie à l'API pour une recherche des code EPPO correspondants, pour chaque espèce de la liste, si elle est recenser dans l'EPPO Global DB alors l'API nous fourni le code sinon elle marque NOT FOUND a coté du nom de l'espèce recherché. Une fois qu'on a récupéré la liste des codes EPPO corrects on peut mettre a jour la base.

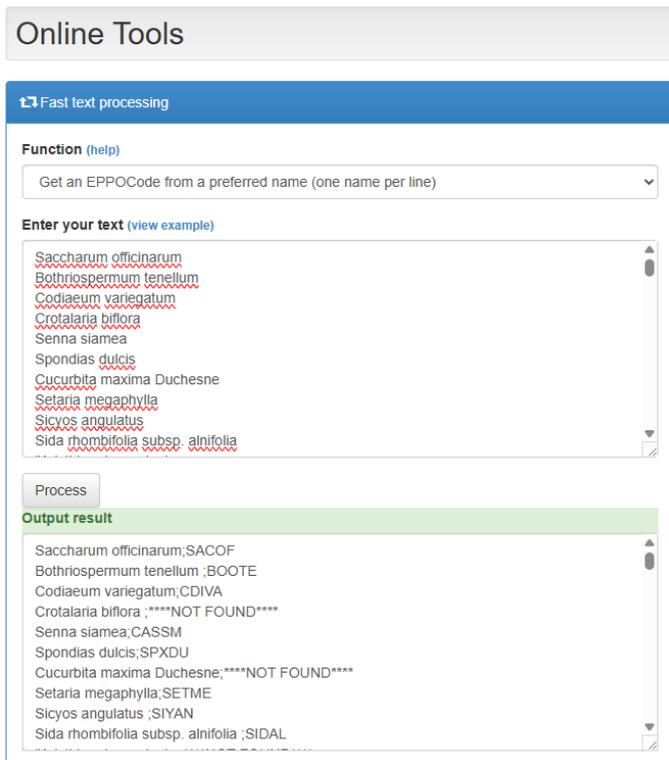


FIGURE 3.3 – l’API de EPPO Global DB

### 3.1.2.3 Correction dans la table des méthodes

Enfin, après avoir apporté les corrections dans la table `trait`, il a fallu faire de même dans la table `method`. Ce qui nous intéresse dans cette classe est l’attribut `method_class` qui va nous aider à construire le nom des variables usuelles. Cette attribut nous informe sur le type de la méthode et peut prendre les valeurs *measurement*, *prediction*, *estimation*, *computation* etc. Comme les traits, Certaines méthodes sont présentes dans l’ontologie, mais ne possèdent pas de valeur pour l’attribut `method_class`, cet attribut a été complété avec la valeur correspondante trouvée dans l’ontologie.

## 3.1.3 Alignement sémantique entre la base de données et les ontologies

### 3.1.3.1 AgroPortal

La standardisation des variables s’est faite principalement grâce à AgroPortal[16], une plateforme regroupant les ontologies et artefacts sémantiques dans l’agroalimentaire et les domaines connexes.

Cette application s’inscrit dans un projet porté par l’OntoPortal Alliance, un consortium d’équipes de recherche et d’infrastructure dédiées à promouvoir le développement de portails d’ontologies et de catalogues d’artefacts sémantiques basés sur le logiciel OntoPortal, ouvert et collaboratif. Il existe des portails dans plusieurs domaines, notamment dans la biomédecine, l’écologie, l’environnement ou encore les matériaux.

Ces portails suivent tous les principes FAIR[17] pour améliorer la gestion, le partage et la réutilisation des ressources numériques, comme les ontologies ou plus généralement, des données disponibles en accès ouvert relatives à une activité scientifique. Ces principes

sont les suivant :

- **Facile à Trouver** : Les données et leurs métadonnées doivent être identifiables de façon unique et pérenne (DOI, URI). Elles doivent être décrites de manière riche et indexées dans des catalogues ou moteurs de recherche ;
- **Accessible** : Les données doivent être accessibles via des protocoles standards, ouverts et fiables (API, RDF, triplestore, OAI-PMH). Même si les données sont restreintes, les métadonnées doivent rester disponibles ;
- **Interopérable** : Les données doivent utiliser des formats et vocabulaires normalisés, largement reconnus. Elles doivent pouvoir être combinées avec d'autres données ou systèmes sans ambiguïté ;
- **Réutilisable** : Les données doivent être bien documentées, avec une licence claire et des informations sur leur provenance. Elles doivent respecter les standards de qualité et de description de leur domaine disciplinaire.

Ces principes permettent aux ressources numériques de se conformer pleinement aux principes directeurs de la science ouverte.

### 3.1.3.2 Méthodologie de la recherche de correspondances

Tout d'abord les éléments à aligner avec les différents objets sémantiques proviennent des tables `trait`, `method`, `scale`, et `entity`. L'alignement sémantique consiste à associer chaque entrées de ces tables à un concept sémantique approprié. Ces correspondances sont enregistrées dans des tables d'alignements nommées `nom_de_table_ontology`, on a donc `trait_ontology`, `method_ontology`, etc. Ces tables ont les mêmes attributs : le code de l'élément dans la base, le code de l'ontologie utilisée et l'identifiant du concept correspondant.

La recherche de correspondance s'appuie sur l'API d'Agroportal. Les requêtes sont effectuées via une URL paramétrée, permettant de configurer trois éléments principaux :

- **Le terme recherché (q)** : il s'agit du mot-clé ou de la chaîne de caractères à aligner avec un concept ontologique ;
- **L'ontologie cible (ontology)** : on peut restreindre la recherche à une ou plusieurs ontologies spécifiques ;
- **Le type de correspondance (exact\_match)** : ce paramètre permet de spécifier si la recherche doit retourner uniquement des correspondances exactes (exact match). Dans ce cas le paramètre prend la valeur `true`, sinon c'est une recherche par mots-clés.

Les requêtes sont effectuées sur cinq ontologies :

- Agronomy Ontology AGRO ;
- Plant Trait Ontology TO ;
- Environment Ontology ENVO [18] ;
- Rice Ontology issue de la crop ontology CO\_320 [19] ;

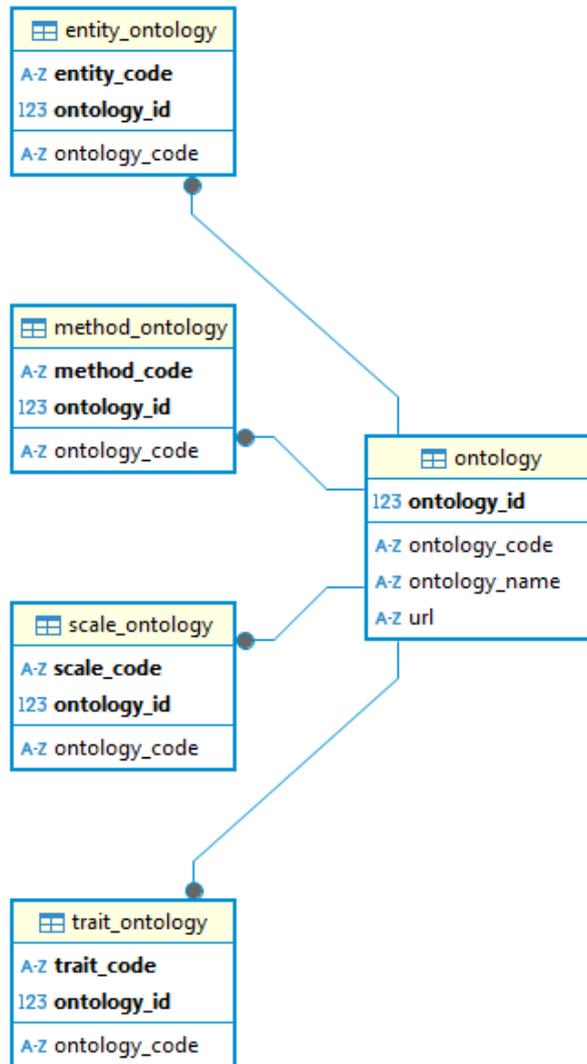


FIGURE 3.4 – Schéma relationnel des tables d'alignements

— Sorghum Ontology CO\_324.

L'API renvoie des données au format JSON, un format facilitant le traitement et l'exploitation des données.

Dans un premier temps, les requêtes sont automatisées en utilisant une recherche par correspondance exacte. Les termes recherchés sont les valeurs de l'attribut `nom_de_la_table_name` pour chacune des tables citées ci-dessus. Cela permet de remplir les tables d'alignement automatiquement pour les entrées dont le nom correspond exactement à celui d'un concept ontologique. Toutefois, ces entrées sont peu fréquentes dans la base de données. Alors, la deuxième étape consiste à effectuer une recherche par correspondance partielle. C'est une recherche par mot clés. Cette méthode permet d'identifier des concepts ontologiques similaires lorsque le nom de l'entrée ne correspond pas exactement à un libellé standardisé. Seulement, elle nécessite une validation manuelle pour chaque entrée, afin de déterminer si un concept pertinent existe et peut être associé de manière fiable.



méthodes, la seule modification à apporter avant la recherche est la manière de représenter une division. Dans la base, une division est écrite par un point et une puissance négative - *g.kg-1*, *m.s-1*, etc. - ce choix est pertinent car c'est la manière scientifique de représenter une division et n'est pas ambiguë, contrairement au slash qui peut porter à confusion et peut nécessiter l'usage de parenthèse. Néanmoins, la division dans QUDT est faite avec un slash donc pour trouver le concept ontologique il faut transformer les points en slash et retirer les puissances négatives.

La recherche a été réalisée par correspondance de symbole dans un premier temps, et ensuite par le nom de l'unité de mesure. Cela a permis de trouver plus de correspondance qu'avec une recherche uniquement basée sur les symboles des unités car certains symboles ont des caractères spécifiques, comme l'ångström (Å).

SPARQL Endpoint  Content Type (SELECT)  Content Type (GF)

```

1 PREFIX qudt: <http://qudt.org/schema/qudt/>
2 PREFIX unit: <http://qudt.org/vocab/unit/>
3 PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
4
5 SELECT ?unit ?label ?sym
6 WHERE {{
7   ?unit a qudt:Unit .
8   ?unit rdfs:label ?label .
9   OPTIONAL {{ ?unit qudt:ucumCode ?sym . }}
10  FILTER (BOUND(?sym) && LCASE(STR(?sym)) = "m2")
11 }}
12 LIMIT 10

```

Table Response 10 results in 0.32 seconds Simple view  E1

unit	label	sym
1 <http://qudt.org/vocab/unit/M2>	"Quadratmeter"@de	"m2"^^<http://qudt.org/schema/qudt/UCUMcs>
2 <http://qudt.org/vocab/unit/M2>	"Square Meter"@en-US	"m2"^^<http://qudt.org/schema/qudt/UCUMcs>

FIGURE 3.6 – Endpoint SPARQL de l'API de QUDT

Cette ontologie permet également de convertir une unité vers une unité de référence, par exemple les mètres en centimètres. Au final sur près de 700 unités, 300 ont une correspondance dans l'ontologie.

### 3.1.3.5 Standardisation des méthodes

la standardisation des méthodes est la plus complexe. En effet il n'y a pas beaucoup d'objets sémantiques qui explicitent les méthodes de mesure. Seules les ontologies issues de la Crop Ontology en définissent. Ainsi, quasiment toutes les méthodes standardisées sont des méthodes définies par la Crop Ontology. Seulement 11 méthodes ont une correspondance dans les ontologies.

la méthode est l'information qui manque le plus dans les variables chercheur. Ce manque de données empêche la compréhension et l'exploitation de la variable défini par le chercheur. En effet deux variables qui mesurent le même trait, avec la même unité de mesure, mais avec deux méthodes différentes ne peuvent pas être regroupées dans une variable. Parfois, la méthode utilisée influence tellement les résultats que les mesures obtenues par l'une ne sont pas comparables à celles obtenues par l'autre, même si elles mesurent le même trait et utilisent la même unité. Lorsqu'une variable chercheur ne précise pas la

méthode de mesure utilisée, il devient difficile de l'associer à une variable usuelle. En effet, si le trait à mesurer peut être évalué par plusieurs méthodes, alors plusieurs variables usuelles correspondantes existent dans la base de données, chacune liée à une méthode spécifique. Sans indication claire sur la méthode employée pour la variable chercheur, on ne peut pas déterminer de manière fiable à laquelle de ces variables usuelles elle correspond.

## 3.2 Développement web

Après avoir récupéré le projet sur GitLab, plusieurs erreurs PHP apparaissent sur l'application. Il s'agit majoritairement d'erreurs d'affichage, et il y a aussi un module devenu obsolète nommé PHPExcel. Ce module gère l'importation de fichier Excel, et a été remplacé par PHPspreadsheet. Ces erreurs d'affichage sont causées par des modifications dans la base de données. Comme on peut le voir sur la figure 3.7, les erreurs sont provoquées par des appels de variables non reconnus. Pour résoudre les erreurs d'affichage, il a été nécessaire d'inspecter les fichiers associés à la vue, au modèle et au contrôleur de la page concernée, afin de corriger l'origine du problème. L'accès à certaines pages ne fonctionne pas car les caractères spécifiques ne sont pas pris en charge dans l'URL. Une fonction a été implementée pour gérer les caractères spécifiques donnés en paramètre dans l'URL. Ces modifications ont été faites en local et n'ont pas encore été testées sur le serveur distant qui héberge l'application.

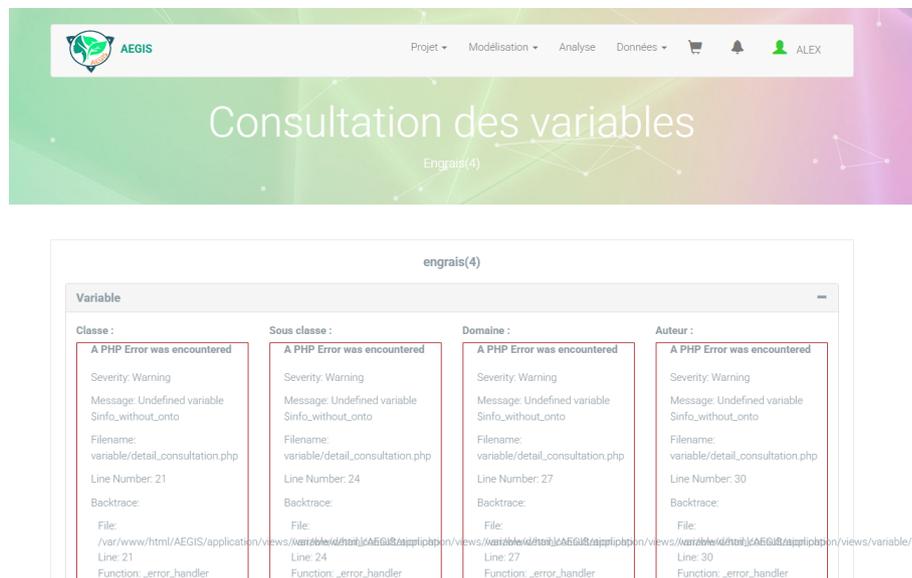


FIGURE 3.7 – exemple d'erreur PHP

```

//decodage du code variable passé en param problème avec les signes %, /'
$uri_seg = $this->uri->uri_to_assoc(5);
$real_accession_code = urldecode($accession_code);
foreach ($uri_seg as $key => $para) {
    $real_accession_code .= "/" . urldecode($key);
    if ($para != null && $para != '') {
        $real_accession_code .= "/" . urldecode($para);
    }
}

```

FIGURE 3.8 – fonction pour gérer les caractères spécifiques dans l'URL

### 3.3 Intégration et standardisation des variables sol

#### 3.3.1 Intégration des variables sol

De nouvelles variables ont été implémentées afin d'accueillir des données relatives à l'analyse des sols. Un fichier Excel, fourni au préalable, contient l'ensemble des informations nécessaires à la construction de ces variables. Trois feuilles nous intéressent dans ce fichier : une liste des méthodes, une liste des traits, et une liste des variables.

Dans la figure 3.9, on peut voir comment une variable est défini dans le fichier, le `Nom du type de donnees` renseigne l'entité du trait, le code de la variable fait référence à la liste des variables dans le fichier, qui est notre liste de trait, et enfin la colonne `Code Methode` fait référence à la liste de méthode du fichier. La colonne `Code Humidite Expression Valeur` nous renseigne sur l'humidité de l'entité lors de la mesure. Par exemple `MS_105°C` signifie "Matière Sèche chauffé à 105°C" donc l'entité a été séché à 105°C. La base de données n'a pas d'attribut pour stocker cette information, alors elle sera stockée dans le nom de la variable.

1	Nom du type de donnees	Code variable	Code unite	Code Methode	Code Humidite Expression Valeur
353	sols_physico-chimie donnees elementaires	Sables_grossiers_200-2000_µm	g.kg-1	Granulometrie_5_fractions_sans_decarbonation	MS_40 °C
354	sols_physico-chimie donnees elementaires	Fraction_fine < 50 µm	g.kg-1	Tamissage_eau	MS_105 °C
355	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_totale_50 µm_2mm	g.kg-1	Tamissage_eau	MS_105 °C
356	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_legere_50 µm_2mm	g.kg-1	Flottation_decantation	MS_105 °C
357	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_lourde_50 µm_2mm	g.kg-1	Flottation_decantation	MS_105 °C
358	sols_physico-chimie donnees elementaires	Fraction_fine < 50 µm	g.kg-1	Tamissage_eau	MS_40 °C
359	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_totale_50 µm_2mm	g.kg-1	Tamissage_eau	MS_40 °C
360	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_legere_50 µm_2mm	g.kg-1	Flottation_decantation	MS_40 °C
361	sols_physico-chimie donnees elementaires	MO_particulaire_lourde_50 µm_2mm	g.kg-1	Flottation_decantation	MS_40 °C
362	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Humidite_residuelle	g.kg-1	Sechage_103 °C +/- 5 °C	MS_40 °C
363	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Matiere_seche	% MB	Sechage_103 °C +/- 5 °C	lib
364	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Carbonates_Calcaire_total	g.kg-1	Acidification_et_mesure_CO2	MS_105 °C
365	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Carbonates_Calcaire_total	g.kg-1	Acidification_et_mesure_CO2	MS_40 °C
366	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	pH	sans unite	pH_CaCl2	sans
367	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	pH	sans unite	pH_Eau	sans
368	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	pH	sans unite	pH_KCl	sans
369	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Valeur_neutralisante	VN	Valeur_neutralisante	sans
370	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Conductivite_electrique	mS.cm-1	1/5	sans
371	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	Conductivite_electrique	mS.cm-1	1/25	sans
372	PRO_Physico-chimie donnees elementaires	pF3_Humidite_equivalente	g.kg-1	Centrifugation_1000g (pF3)	MS_105 °C

FIGURE 3.9 – Liste non exhaustive des variables sol et PRO

Les traits y sont définis à partir de deux entités : le *sol* et les *PRO*. Afin de mieux comprendre les données à intégrer et de s'assurer de la cohérence des informations contenues dans le fichier, une discussion a été menée avec un chercheur du CIRAD. À la suite de cette réunion, des corrections ont été apportées au fichier.

L'objectif est de remplir automatiquement la base de données à partir de ce fichier. Toutefois, plusieurs problèmes ont été identifiés. D'abord, certaines informations du fichier étaient déjà présentes dans la base. Pour éviter les doublons, un travail d'identification a été effectué : l'ensemble des éléments déjà présents dans la base a été listé, puis chacun de ces éléments, dans le fichier, a été associé à son code correspondant dans la base.

Ensuite, les informations du fichier ont été traduites en anglais, et un code unique a été attribué aux nouvelles méthodes et aux nouveaux traits à implementer. L'intégration a commencé par les méthodes, car elles ne présentent pas de doublons avec la base existante. Une fois les méthodes créées, les traits ont été ajoutés. Si un trait existe déjà dans la base, il est ignoré pour éviter toute redondance. Les abréviations de traits ont ensuite été renseignées, car elles sont utilisées dans la construction des noms des variables.

Enfin, une fois que toutes les méthodes et tous les traits ont été définis, les variables ont pu être construites et intégrées à la base de données.

### 3.3.2 Standardisation des variables sol

bien que la recherche d'ontologies liés au sol soit plus complexes que dans d'autres domaines, 2 ontologies ont été trouvées. l'une s'appelle GLOSiS [20], Global Soil Information System, C'est une infrastructure mondiale de gestion et de diffusion de données sur les sols, et la deuxième s'appelle OSP[21], Ontology of Soil Properties and Processes, qui modélise de manière formelle les propriétés et processus des sols, ainsi que leurs interactions avec l'environnement et les activités humaines.

Aucune interface web de recherche ou de navigation n'a été identifiée pour interroger directement les ontologies GLOSiS et OSP en ligne. Ainsi, pour rechercher des correspondances entre ces ontologies et nos variables, une solution pertinente consiste à utiliser un éditeur d'ontologie comme Protégé. Cet outil permet d'importer localement les fichiers OWL des ontologies, de visualiser leur structure et d'exécuter des requêtes SPARQL afin d'identifier des concepts ou d'établir des liens sémantiques.

## Chapitre 4

# Perspectives

### 4.1 Standardisation de variable

Comme dit précédemment, plusieurs traits, méthodes et unités de mesure ne figurent dans aucune des ontologies utilisées. En ce qui concerne les traits, ceux qui n'ont pas de correspondance sont souvent trop spécifiques et nécessiteraient une ontologie dédiée. C'est notamment le cas des traits liés à la canne à sucre. Une façon d'augmenter la standardisation de ces traits serait de créer une ontologie spécifique à la canne à sucre, puis de la proposer à la Crop Ontology pour qu'elle puisse être publiée. De plus la Crop Ontology propose déjà un guide et un fichier à remplir pour proposer une ontologie. Ce fichier s'appelle the Trait Dictionary Template version 5.2 (TDv.5.2)[22]. Il s'agit d'un fichier CSV reprenant la structure des ontologies de la Crop Ontology (Trait ID, Trait Name, Method, Scale, etc.). Ce modèle permet ainsi de définir nos propres variables de manière standardisée. Une fois que le TDv5 est rempli correctement, Il est nécessaire de contacter le service de curation afin d'obtenir un code pour notre future ontologie (par exemple CO\_398). Après une dernière vérification avec le responsable des données de la Crop Ontology, nous pourrions téléverser notre ontologie sur la canne à sucre.

Cela est d'autant plus intéressant que la Crop Ontology procède ensuite à un mappage des différentes ontologies vers une ontologie plus générale : la Plant Trait Ontology (TO). Cette ontologie permet de centraliser les traits des plantes en fournissant un référentiel standardisé et commun. Ainsi, notre ontologie sur la culture de la canne à sucre pourra être alignée avec des standards internationaux, tels que ceux de l'OBO Foundry, ce qui permettra à d'autres chercheurs à travers le monde de parler le même langage que nous.

### 4.2 Développement web

Dans la page « simulation », nous allons créer dans un premier temps, une interface qui sélectionnera les essais à l'aide des filtres. Les essais seront triés selon le projet, la date et les facteurs. Ensuite, la sélection de l'essai devra charger l'ensemble des variables usuelles qui y sont associées. En dernier, les variables usuelles de l'essai devront être associées à leur valeur.

Dans un second temps, nous devons créer une interface qui permettra à l'utilisateur

de sélectionner le modèle de cultures puis d'associer les valeurs des variables usuelles aux variables des modèles et de les convertir. Enfin, nous devons créer une fonction qui devra exporter les variables modèles et les valeurs sous le format CSV afin que l'utilisateur puissent lancer une simulation depuis son ordinateur.

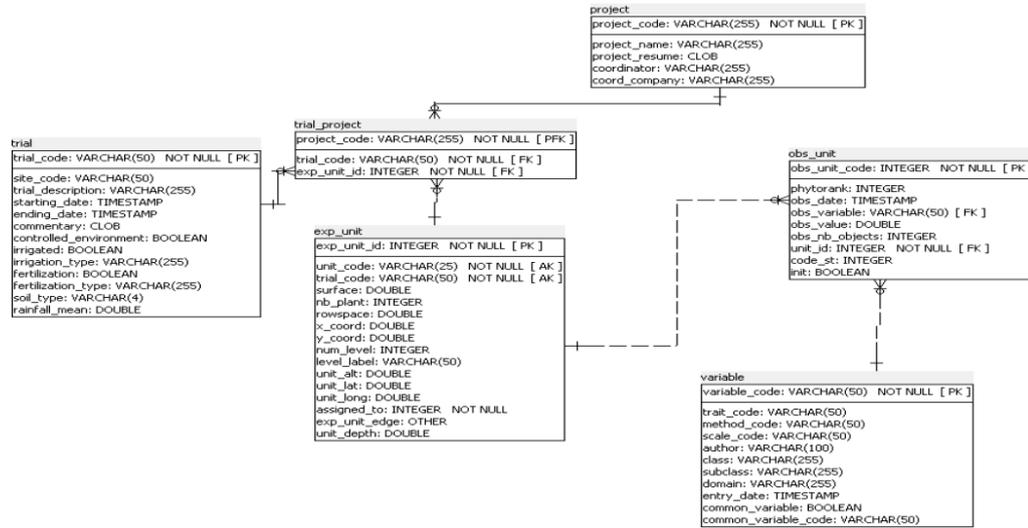


FIGURE 4.1 – Schéma relationnel : jointure des projets avec les variables

# Conclusion

Lors de mon stage de fin d'étude au CIRAD, j'ai eu l'opportunité de contribuer au projet AEGIS, avec un réel enthousiasme. Immérgé dans un environnement de recherche aux enjeux multiples, j'ai découvert une nouvelle manière de mobiliser et de valoriser mes compétences en informatique. La découverte d'un domaine en dehors de l'informatique, ainsi que la collaboration avec des agronomes, ont constitué une expérience enrichissante.

Ce stage m'a permis de mieux comprendre les enjeux liés au travail des expert en web sémantique, ainsi que l'importance de définir des standards clairs et partagés. Cela permet l'interopérabilité entre les systèmes, avoir des données fiable de qualité qui pourront être réutilisées et enfin de réduire, voir supprimer totalement toute ambiguïté dans les données.

J'ai pu renforcer mes compétences en gestion de bases de données en travaillant sur une base riche et complexe. Cela m'a permis de mettre en pratique mes connaissances en développement pour automatiser certains traitements. Par ailleurs, mon expérience en développement web m'a aidé à identifier et corriger rapidement les erreurs rencontrées.

Enfin la méthode de recherche de correspondance peut-être améliorée. En effet j'ai passé beaucoup de temps à chercher manuellement des correspondances entre les éléments de ma base et mes ontologies car je n'ai pas trouvé de moyen efficace pour automatiser le processus.

# Bibliographie

- [1] Sandrine Auzoux et al. Coupling of cropping system models with the aegis platform [s4-o.04]. In *Crop Modelling for Agriculture and Food Security under Global Change : Book of Abstracts*, pages 155–156, Montpellier, France, 2020. CIRAD, INRAE, INRIA. <https://agritrop.cirad.fr/595121/>.
- [2] Crop Ontology. <https://cropontology.org/>. portail d'ontologies des cultures.
- [3] Plant Trait Ontology. <https://agroportal.lirmm.fr/ontologies/T0?p=summary>, 2023. Une ontologie qui décrit les traits phénotypiques des plantes.
- [4] Agronomy Ontology. <https://bigdata.cgiar.org/resources/agronomy-ontology/>. Une ontologie conçue pour représenter les concepts et relations liés à l'agronomie.
- [5] Rick Ellis. Codeigniter. <https://codeigniter.com/>.
- [6] Mark Otto and Jacob Thornton. Bootstrap. <https://getbootstrap.com/>, 2021.
- [7] Michael Stonebreaker. PostgreSQL. <https://www.postgresql.org>, 1986. Système de gestion de base de données objet-relationnelle puissant et open source avec plus de 30 ans de développement actif.
- [8] Kai Oswald Seidler et Kay Vogelgesang. XAMPP. <https://www.apachefriends.org/fr/index.html>, 2002. est un ensemble de logiciels permettant de mettre en place un serveur Web local.
- [9] Atlassian. SourceTree. <https://www.sourcetreeapp.com/>, 2010. un client Git qui fournit une interface graphique pour gérer les dépôts, suivre les modifications et collaborer avec les membres de l'équipe.
- [10] Dave Page et al. pgadmin. <https://www.pgadmin.org/>. pgAdmin est un outil open-source de gestion de bases de données PostgreSQL.
- [11] DBeaver Community. Dbeaver. <https://dbeaver.io/>, 2011. DBeaver est un outil open-source de gestion de bases de données universel compatible avec de nombreuses bases de données.
- [12] Microsoft. Visual studio code. <https://code.visualstudio.com/>, 2015. Visual Studio Code est un éditeur de code open-source, léger et extensible, supportant de nombreux langages de programmation.
- [13] Cirad. Soere pro : Suivi à long terme des flux de matière et du stockage du carbone dans les systèmes de culture tropicale – la réunion. UR Recyclage & Risque, CIRAD, <https://ur-recyclage-risque.cirad.fr/projets/soere-pro-la-reunion>.

- [14] Crop Ontology. Sorghum ontology (co\_324).  
[https://www.cropontology.org/ontology/CO\\_324](https://www.cropontology.org/ontology/CO_324).
- [15] European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO). Eppo global database. <https://gd.eppo.int/>, 2014. EPPO Global Database est une base de données sur les organismes nuisibles aux plantes et aux cultures, gérée par l’OEPP.
- [16] Clément Jonquet. Agroportal : repository of ontologies and semantic artefacts in agri-food domains. LIRMM / INRAE / OntoPortal Alliance,  
<https://agroportal.lirmm.fr>, 2015.
- [17] Centre national de la recherche scientifique CNRS Centre pour la Communication Scientifique Directe (CCSD). les principes fair.  
[https://www.ccsd.cnrs.fr/principes-fair/#:~:text=Les%20principes%20FAIR%20\(Findable%2C%20Accessible,%2C%20comprises%2C%20%3%A9changeables%20et%20r%3%A9utilisables.](https://www.ccsd.cnrs.fr/principes-fair/#:~:text=Les%20principes%20FAIR%20(Findable%2C%20Accessible,%2C%20comprises%2C%20%3%A9changeables%20et%20r%3%A9utilisables.)
- [18] Paula L. Buttigieg, Nicole Morrison, Barry Smith, Christopher J. Mungall, Suzanna E. Lewis, and ENVO Consortium. The environment ontology : contextualising biological and biomedical entities. *Journal of Biomedical Semantics*, 4(1) :43, 2013.
- [19] Crop Ontology. Rice trait ontology (co\_320).  
[https://www.cropontology.org/ontology/CO\\_320](https://www.cropontology.org/ontology/CO_320).
- [20] Fenny van Egmond, Johan Leenaars, Dimitrios Moshou, Abdul Mouazen, Peter Wilson, David Medyckyj-Scott, Alistair Ritchie, Yusuf Yigini, and Ronald Vargas. Glosis : The global soil information system web ontology.
- [21] Heshan Du, Vania Dimitrova, Derek Magee, Ross Stirling, Giulio Curioni, Helen Reeves, Barry Clarke, and Anthony Cohn. An ontology of soil properties and processes. In *The Semantic Web–ISWC 2016 : 15th International Semantic Web Conference, Kobe, Japan, October 17–21, 2016, Proceedings, Part II 15*, pages 30–37. Springer, 2016.
- [22] Crop Ontology Working Group. Template dictionary v5.2 crop ontology.  
<https://cgspace.cgiar.org/bitstreams/335c36a5-9693-499c-8b0f-ac2aa3c5400c/download>, 2021.
- [23] site du CIRAD. <https://www.cirad.fr>. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.

# A Organigramme du Cirad

Organigramme du Cirad - Mars 2025

