

Usages d'AgroPortal dans des systèmes d'information à INRAE

Clément Jonquet,^{1,2} Guillaume Alviset,⁷ Syphax Bouazzouni,² Llorenç Cabrera-Bosquet,⁵ Arnaud Charleroy,¹ Carmen Corre,³ Philippe Clastre,⁶ Daniel Jacob,⁸ Pascal Neveu,¹ Christian Pichot,⁶ Christelle Pierkot,⁷ Anne Tireau,¹ Dimitri Szabo,⁴ Sophie Aubin³

¹ MISTEA, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

² LIRMM, Univ. Montpellier, CNRS, Montpellier, France

³ DipSO, INRAE, Beaucouzé, France

⁴ DipSO, INRAE, Avignon, France

⁵ LEPSE, Univ. Montpellier, INRAE, Institut Agro, Montpellier, France

⁶ URFM, INRAE, Avignon, France

⁷ CNRS, Data Terra

⁸ BIA, INRAE, Nantes, France

Contact : clement.jonquet@inrae.fr

Résumé

AgroPortal est un portail d'ontologies et d'artefacts sémantiques spécialisé dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement. Lancé en 2015, AgroPortal est devenu un composant clé pour les infrastructures numériques pour favoriser l'interopérabilité sémantique des données et leur conformité aux principes FAIR. Cet article présente les usages d'AgroPortal à INRAE pour sa mission principale d'héberger et servir les artefacts sémantiques. Des exemples d'intégrations de ces ontologies dans différents systèmes d'informations à INRAE mettent en avant les bénéfices apportés par leur exploitation dans les outils de gestion, d'annotation ou de recherche de données.

Mots-clés

Ontologies, portail d'ontologies, catalogue d'artefacts sémantiques, données FAIR, Web sémantique, système d'information, interopérabilité sémantique

Abstract

AgroPortal is an ontology repository or a semantic artefact catalogue specialized in agriculture, food, and the environment. Launched in 2015, AgroPortal has become a key component of digital infrastructures to leverage semantic interoperability of data and their compliance with the FAIR principles. This article presents the uses of AgroPortal at INRAE –for its primary mission of hosting and serving semantic artefacts. Examples of integrations of these artefacts in different INRAE information systems–highlight the benefits of their use in scientific data management, annotation, & research tools.

Keywords

Ontologies, ontology repositories, semantic artefact catalogue, FAIR data, Semantic Web, information system, semantic interoperability

1 Introduction

Dans un contexte de production, de gestion et de partage croissants de données de recherche, l'utilisation d'artefacts sémantiques est devenue une pratique clé pour assurer la qualité, la cohérence et la réutilisabilité des données. Leur utilisation est essentielle pour satisfaire les principes FAIR, et notamment le principe I2 : *(Meta)data use vocabularies that follow the FAIR principles*. Lorsque l'on décrit des données ou des métadonnées, il est courant de recourir à des vocabulaires contrôlés qui offrent les concepts ou termes appropriés pour en représenter, annoter ou indexer le contenu.

En effet, les bases de données et plateformes de gestion des (méta)données de recherche permettent la description, le stockage et la recherche de ces données. Cependant, la qualité de cette description repose largement sur les métadonnées associées : mots-clés, méthodes, institutions productrices, variables mesurées, etc. Souvent, ces métadonnées sont saisies de façon libre, ce qui peut entraîner des incohérences (variations de libellés, ambiguïtés, synonymes, etc.), cela nuit à la trouvabilité et à la qualité des données. L'utilisation d'artefacts sémantiques dans les champs de métadonnées permet de remédier à ces problèmes. En liant les valeurs des champs à des concepts issus de d'artefacts sémantiques standardisés, on améliore :

- La standardisation des valeurs, en évitant les redondances et erreurs d'interprétation ;
- L'indexation sémantique et la recherche/découverte de données similaires ou compatibles dans un même entrepôt ou entre différents systèmes ;
- L'interopérabilité sémantique entre jeux de données, en partageant une même représentation des concepts ;
- La réutilisation des données, facilitée par la clarté et la cohérence des annotations.

Ces artefacts sémantiques, terminologies de références,

vocabulaires contrôlés ou ontologies,¹ représentent les connaissances d'un domaine de manière structurée, souvent basée sur un consensus communautaire, et généralement formalisées à l'aide des langages du Web sémantique comme RDF-S, OWL et SKOS. Chaque terme peut être enrichi d'une définition, de synonymes, de traductions, de relations hiérarchiques, etc., et être utilisé pour annoter les données de manière fine. Les artefacts sémantiques permettent de structurer, annoter ou simplement décrire les données, ce qui facilite leur indexation, leur découverte et leur intégration, et participent ainsi à rendre ces données FAIR (*Findable, Accessible, Interoperable, and Reusable*) [1]. Toutefois, l'usage de vocabulaires seuls ne suffit pas : encore faut-il que ces derniers soient eux-mêmes FAIR, c'est-à-dire trouvables, accessibles, interopérables et réutilisables, tant par des humains que par des machines. Cela implique notamment que chaque artefact sémantique soit standardisé, partagé, clairement identifié et archivé (accessible sur du long terme) sur des portails ou catalogues d'artefacts sémantiques [2]. Pour permettre leur utilisation effective et cohérente, en particulier dans des applications tierces, ces artefacts sémantiques doivent être hébergés et exposés via des catalogues appropriés comme AgroPortal – ou ceux développés avec la technologie OntoPortal [3], ou autres (LOV, OLS, SKOSMOS, etc.), qui offrent une interface unifiée d'accès aux ressources et une API de web services pour leur intégration dans les systèmes d'information.

Cet article présente les usages d'AgroPortal à INRAE autour de sa mission principale d'héberger et servir les artefacts sémantiques de l'institut (une cinquantaine). Il présente également des intégrations d'AgroPortal dans différents systèmes d'information INRAE, issus notamment de projets structurants comme D2KAB (<http://www.d2kab.org>) ou FAIR-IMPACT (<https://fair-impact.eu>).² Ces projets ont permis de démontrer la faisabilité de la connexion technique entre ces catalogues d'artefacts sémantiques et des entrepôts de (méta)données, à travers divers cas d'usage : données écologiques et des écosystèmes (AnaEE), phénotypages des plantes (PHIS), données environnementales (Data Terra), ou données agricoles, sur l'alimentation et l'environnement (Data INRAE). Ces cas montrent comment les artefacts sémantiques, lorsqu'ils sont bien intégrés dans les systèmes, permettent de faire un saut qualitatif dans la structuration et l'ouverture des données scientifiques. Dans la suite de l'article, nous présentons AgroPortal en plus de détail puis illustrons certains de ces cas d'usages à INRAE.

2 AgroPortal : un catalogue d'artefacts sémantiques pour

¹ Dans la suite, nous utiliserons soit l'expression "artefact sémantique" soit "ontologie" pour identifier ces artefacts.

² FAIR-IMPACT (<https://fair-impact.eu>) est un projet Européen de 2022 à 2025 qui a contribué à la mise en place de l'EOSC (*European Open Science Cloud*). Son objectif était de faciliter l'adoption des principes FAIR pour différents objets de recherche, auprès de plusieurs communautés scientifiques.

l'agriculture, l'alimentation et l'environnement

AgroPortal (<https://agroportal.lirmm.fr>), en tant que portail d'artefacts sémantiques ouvert, propose une solution centralisée pour référencer, explorer, aligner et utiliser des vocabulaires, terminologies, ontologies, taxonomies et des thésaurus [4].³ Lancé en 2015 [5], [6],⁴ et développé initialement au LIRMM (Université de Montpellier & CNRS) en collaboration avec BMIR (Université de Stanford), AgroPortal repose sur la technologie générique et ouverte OntoPortal [3] à laquelle il est devenu le plus important contributeur. AgroPortal permet d'héberger et d'exposer des ontologies, vocabulaires et autres artefacts sémantiques dans un environnement interopérable, offrant des services d'annotation, de recherche, de visualisation, et d'alignement automatique. Il constitue une plateforme de référence pour la sémantique dans le domaine de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, et s'inscrit dans une logique de science ouverte et d'archivage des artefacts sémantiques du domaine.

Il est utilisé par plusieurs infrastructures de données telles que PHENOME-EMPHASIS (<https://www.phenome-emphasis.fr>), AnaEE (<https://www.anaee-france.fr>), ou Data Terra (<https://www.data-terra.org>). AgroPortal bénéficie d'un écosystème en croissance, avec une communauté active et des collaborations nationales et internationales.⁵ Il héberge aujourd'hui plus de 250 artefacts sémantiques (dont 30 privés, car il peut être utilisé pour héberger des ressources non publiques ou en cours de construction), dont la plupart des vocabulaires de référence du domaine e.g., AGROVOC, NAL Thesaurus, INRAE Thesaurus, Agronomy Ontology, Plant Ontology, Food Ontology, Crop Ontology.⁶ Certains vocabulaires sont consultés de manière unique plus de cent fois par mois et la plateforme cumule plusieurs milliers d'appels API mensuels. AgroPortal a aussi l'ambition de jouer le rôle d'archive pérenne pour les ontologies.

En utilisant AgroPortal, on coche plusieurs critères FAIR, sur chacun des 4 principes [2], [7]. AgroPortal rend les artefacts sémantiques consultables via des interfaces conviviales, et l'ensemble des fonctionnalités du portail sont accessibles directement via une interface programmatique (API) de service Web et un SPARQL endpoint, ce qui permet de mobiliser les ontologies dans des applications tierces de manière automatique.

3 Usages d'AgroPortal à INRAE

Une cinquantaine de ressources sémantiques directement développées par des scientifiques INRAE ou créés en collaboration sont hébergées et maintenues sur AgroPortal par des équipes de l'institut, dont le "Thésaurus INRAE"

³ Dans la suite, nous utiliserons soit l'expression "artefact sémantique" soit "ontologie" pour identifier ces artefacts.

⁴ La première communication sur AgroPortal à eu lieu peu après son lancement, il y a exactement 10 ans, lors de l'atelier IN-OVIVE.

⁵ Voir <https://agroportal.lirmm.fr/statistics>

⁶ Voir : <https://agroportal.lirmm.fr/ontologies> pour ces artefacts.

supervisé par la Direction pour la Science Ouverte d'INRAE (DipSO). AgroPortal⁷ héberge également des ontologies de référence comme TRANSFORMON (et PO2) sur la transformation et la caractérisation des aliments et des bioproduits, PPDO pour la représentation des stades phénologiques, CO pour la description des traits des plantes et de leur mesure, ou des ontologies d'application liées à des systèmes d'information comme OESO (utilisée dans le noyau d'OpenSILEX). Ces artefacts sémantiques sont utilisés pour l'indexation de données et de publications (ONTOBIOTOPE, INRAETHES, ANAEETHES), l'intégration de données (AFEO), la description de données (CO), la classification automatique de documents (CROPUSAGE), ou l'aide à la décision (PO2, IRRIG). En 2024, nous avons recensé plus de 15 projets/outils de recherche INRAE qui utilisent directement AgroPortal pour accéder de manière régulière, parfois automatique à des artefacts sémantiques. Au premier trimestre 2025, AgroPortal compte 63 comptes utilisateurs associés à l'institut (12% de l'ensemble des comptes utilisateurs sur AgroPortal) et 6 systèmes d'information utilisent les ressources sémantiques via l'API. Parmi les services d'AgroPortal les plus utilisés à INRAE, nous pouvons noter : l'hébergement simple, la description complète des artefacts, la navigation du contenu, l'identification/recherche et la sélection de concepts.

Un soutien institutionnel est mis en place depuis 2024 pour garantir la pérennité de la plateforme et son exploitation dans l'écosystème technique INRAE, ceci pour faire d'AgroPortal un entrepôt de référence, légitime, et accessible sur du long terme pour l'institut et au-delà pour la communauté scientifique agriculture, alimentation et environnement. Le fonctionnement et la gouvernance reposent sur une collaboration entre trois entités INRAE : (i) DipSO (pilotage institutionnel et appui aux utilisateurs) ; UMR MISTEA (développement, innovation, recherche) (iii) DSI (hébergement et maintenance opérationnelle). AgroPortal est également intégré depuis plusieurs années au support du cycle de vie des ressources sémantiques de l'institut effectué par le service Vocabulaires Ouverts⁸ de la DipSO pour accompagner les agents de l'institut dans le choix, l'usage, la construction et la publication des artefacts sémantiques.

4 Intégration d'AgroPortal dans des systèmes d'information INRAE

4.1 Annotation et échange des données de phénotypage dans PHIS

Le système d'information PHIS (www.phis.inrae.fr/) [8], est une plateforme de gestion de données dédiée au phénotypage haut-débit des plantes, basée sur le logiciel OpenSILEX (<http://opensilex.org>). Il intègre des artefacts sémantiques d'AgroPortal pour enrichir l'annotation et la

structuration de ses données. Un connecteur a été développé pour faciliter la réutilisation des classes d'ontologies issues d'AgroPortal, permettant ainsi aux scientifiques de décrire précisément leurs données, en particulier leurs variables scientifiques (objets composés d'un trait (entité et caractéristique), d'une méthode, et d'une unité/échelle). Cela renforce l'interopérabilité des données tout en favorisant la réutilisation des termes standards [9]. A terme, les connaissances créées au sein de PHIS pourront être reversées dans les ontologies hébergées sur AgroPortal, favorisant un enrichissement mutuel des ressources et la valorisation des modèles/objets de connaissances proposés par les scientifiques via l'exploitation de leurs données.

Le connecteur développé entre AgroPortal et PHIS a été conçu de manière générique afin de pouvoir être réutilisé avec toute instance d'OpenSILEX indépendamment du domaine d'application ou du jeu de données concerné. Le connecteur a été déployé sur l'ensemble des instances OpenSILEX de l'infrastructure PHENOME-EMPHASIS dont l'ISC M3P de Montpellier.⁹

4.2 Description de métadonnées et découverte de données dans Data INRAE

Dans Data INRAE (espace institutionnel de Recherche Data Gouv – <https://recherche.data.gouv.fr>), la plateforme de partage des données, basée sur la technologie Dataverse, l'API d'AgroPortal est exploitée pour renseigner le champ de métadonnées "mots-clés". La fonctionnalité développée dans le cadre du projet EOSC FAIR-IMPACT permet aux utilisateurs de sélectionner, par auto-complétion, des termes issus de 5 vocabulaires contrôlés correspondant aux domaines de recherche d'INRAE et hébergés dans AgroPortal [10]. Elle permet également d'exploiter la plus-value inhérente à ces vocabulaires pour l'indexation et la description des données. En effet, du fait de la richesse des informations associées aux termes dans les vocabulaire contrôlés : synonymes, traductions, hiérarchie, définition, etc; leur utilisation dans la métadonnée "mots-clés" permet de proposer une "recherche sémantique" (i.e., univoque, multilingue, via les synonymes) et favorise l'utilisation de ses vocabulaires par les communautés scientifiques. Dans l'ensemble, ce connecteur vise à améliorer la FAIRness des données de l'entrepôt. In fine, le connecteur développé est généralisable à d'autres installations d'OntoPortal et Dataverse, y compris à d'autres espaces de Recherche Data Gouv.

4.3 Description de métadonnées et annotation dans Maggot et ODAM

AgroPortal est utilisé par Maggot (<https://inrae.github.io/pgd-mmdt>, [11]), une application développée par le département BAP d'INRAE pour la gestion de données expérimentales et leurs métadonnées dans des domaines comme la métabolomique, le

⁷ Voir <https://agroportal.lirmm.fr/ontologies?groups=INRAE> pour le détail des artefacts sémantiques cités en exemple.

⁸ Service Vocabulaires Ouverts INRAE : <https://vocabulaires-ouverts.inrae.fr/>

⁹ <https://doi.org/10.15454/1.557234584161431E12>

phénotypage enzymatique, la génomique fonctionnelle et l'écophysiologie. L'application permet la sélection par auto-complétion d'un terme au sein d'une liste récupérée par l'API d'AgroPortal. Une autre plateforme du département BAP, ODAM (Open Data for Access and Mining - <https://inrae.github.io/ODAM>, [12]), système de gestion de tables de données expérimentales utilise le module d'annotation d'AgroPortal pour trouver les bons termes d'ontologies à associer aux variables d'un tableau de données expérimentales; en particulier les facteurs, les espèces taxonomiques, les traits phénotypiques et les composés chimiques, et ce, pour une meilleure réutilisation des données sans ambiguïtés par les machines via les API.

4.4 Interopérabilité sémantique dans les études des écosystèmes dans SemData

L'infrastructure de recherche AnaEE (*Analysis and Experimentation on Ecosystems*) a développé un pipeline sémantique en trois étapes pour générer des jeux de données interopérables avec des métadonnées associées. Ce processus comprend la modélisation des variables observées et de leur contexte d'acquisition à l'aide d'une ontologie, l'annotation sémantique des données et la génération des jeux de données (NetCDF et CVS) et des métadonnées standardisées (e.g., GeoDCAT, ISO). Les ressources sémantiques du thésaurus ANAETHES, hébergé sur AgroPortal, sont utilisées dans l'application SemData pour enrichir les mots-clés, améliorant ainsi la qualité descriptive et la compatibilité des métadonnées et l'expérience utilisateur [13].

4.5 Fonctionnalités sémantiques de l'entrepôt de données EasyData

Dans ce cas d'usage, c'est EarthPortal (<https://earthportal.eu>) qui est utilisé. EarthPortal est un catalogue d'artefacts sémantiques dédié aux sciences de la terre et de l'environnement [14]. Il a été développé en collaboration proche avec AgroPortal (dont le code est directement réutilisé), dans le cadre du projet FAIR-IMPACT. Il est porté par l'IR Data Terra qui développe également EaSy Data (<https://www.easydata.earth>), l'entrepôt de données national dédié aux données de recherche liées aux sciences de la Terre et de l'environnement.

Les vocabulaires initialement utilisés dans Easy Data étaient incomplets et ne reflétaient pas entièrement la diversité des données déposées dans l'entrepôt. En connectant EaSy Data avec EarthPortal, les chercheurs disposent maintenant de vocabulaires supplémentaires pour décrire leur données et d'outils pour faciliter le processus de dépôt, (e.g., l'outil d'annotation textuelle d'EarthPortal). Cette intégration permet de standardiser les métadonnées, améliorant ainsi les capacités sémantiques d'EaSy Data [15].

5 Conclusion et perspectives

AgroPortal s'impose comme un composant clé des plateformes et infrastructures de données à INRAE. Les cas d'usage présentés illustrent la manière dont AgroPortal (ou

sa technologie) est intégré dans divers systèmes d'information pour améliorer l'interopérabilité sémantique, la qualité des métadonnées et la découverte des données, contribuant ainsi à la mise en œuvre des principes FAIR au sein de l'institut. INRAE s'est engagé dans une démarche progressive d'adoption de cette plateforme afin d'en assurer la solidité et la pérennité sur du long terme et continuer de permettre de sémantiser les données de l'institut (et au-delà) et faciliter leur réutilisation.

L'impact d'AgroPortal va au-delà de son utilisation directe dans les domaines de l'agriculture et de l'alimentation, grâce à l'adoption de sa technologie (son code source) dans d'autres domaines scientifiques tels que l'écologie (EcoPortal), la biodiversité (BiodivPortal), les sciences de la terre (EarthPortal), l'astronomie (OntoPortal-Astro), et d'autres. AgroPortal contribue ainsi à une intégration multidisciplinaire et une meilleure gestion des données dans des domaines variés, favorisant une approche plus cohérente et standardisée de la description des connaissances.

Pour les différents cas d'usages présentés précédemment, les perspectives portent sur le renforcement du support aux utilisateurs pour exploiter au mieux les connecteurs créés. Également, nous envisageons d'étendre les connecteurs à d'autres plateformes, cas d'usages, étant donné qu'ils se basent le plus souvent sur une technologie sous-jacente générique et agnostique aussi bien côté catalogue d'artefact sémantique (AgroPortal / OntoPortal) que côté entrepôt de données/métadonnées). Du côté OntoPortal la mise en place de fonctionnalités supplémentaires est en cours, notamment en lien avec la fédération des portails pour accéder aux ressources sémantiques d'un portail à l'autre. Une autre perspective à long terme est de permettre une exploitation avancée de la sémantique apportée par les artefacts sémantiques du côté des entrepôts de données, par exemple pour enrichir des modèles de langues ou d'apprentissage pour faire de l'annotation sémantique automatique, de la recherche sémantique d'information ou des analyses d'enrichissement sémantiques.

Crédits et remerciements

Le développement et la maintenance d'AgroPortal (CJ) est le fruit d'un travail supervisé par MISTEA (INRAE) et impliquant historiquement les Universités de Montpellier (LIRMM), de Stanford (BMIR) et les collaborateurs de l'Alliance OntoPortal. Les cas d'usage PHIS (AT, AC, LCB, PN), Data INRAE (SA, CC, DS), SemData (CP, PC) et EarthPortal (GA, CP) ont été développés en partie dans le cadre du projet européen FAIR-IMPACT financé par le programme de recherche et d'innovation Horizon Europe de l'Union européenne dans le cadre de la convention de subvention n°101057344.

Références

- [1] M. D. Wilkinson *et al.*, "The FAIR Guiding Principles for scientific data management and stewardship," *Sci Data*, vol. 3, 2016, doi: 10.1038/sdata.2016.18.

- [2] E. Amdouni, S. Bouazzouni, C. Jonquet, and C. J. O'faire, "O'FAIRe makes you an offer: Metadata-based Automatic FAIRness Assessment for Ontologies and Semantic Resources," *Int J Metadata Semant Ontol.*, vol. 16, no. 1, pp. 16–46, Sep. 2022, doi: 10.13039/501100001665.
- [3] C. Jonquet *et al.*, "Ontology Repositories and Semantic Artefact Catalogues with the OntoPortal Technology," in *Semantic Web, ISWC 2023. ISSN : 0302-9743*, in Lecture Notes in Computer Science, vol. 14266. Athens, Greece: Springer, Nov. 2023, pp. 38–58. doi: 10.1007/978-3-031-47243-5_3.
- [4] C. Jonquet *et al.*, "AgroPortal: A vocabulary and ontology repository for agronomy," *Comput Electron Agric.*, vol. 144, pp. 126–143, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2017.10.012.
- [5] C. Jonquet, E. Dzalé-Yeumo, E. Arnaud, and P. Larmande, "AgroPortal: a proposition for ontology-based services in the agronomic domain," in *3ème atelier INTégration de sources/masses de données hétérogènes et Ontologies, dans le domaine des sciences du VIVant et de l'Environnement, IN-OVIVE'15*, Rennes, France, Jun. 2015, p. 5. [Online]. Available: http://www.lirmm.fr/~jonquet/publications/documents/Article_InOvive2015_AgroPortal.pdf
- [6] C. Jonquet, A. Toulet, and V. Emonet, "Two years after: a review of vocabularies and ontologies in AgroPortal," in *International Workshop on sources and data integration in agriculture, food and environment using ontologies, IN-OVIVE'17*, Montpellier, France: EFITA, 2017, p. 13. [Online]. Available: http://www.lirmm.fr/~jonquet/publications/documents/Article_IN-OVIVE-2017_AgroPortal_ontologies_review.pdf
- [7] M. Poveda-Villalón, P. Espinoza-Arias, D. Garijo, and O. Corcho, "Coming to Terms with FAIR Ontologies," in *22nd International Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management, EKAW'20*, M. C. Keet and M. Dumontier, Eds., Bolzano, Italy: Springer, Sep. 2020, pp. 255–270. doi: 10.1007/978-3-030-61244-3_18.
- [8] P. Neveu *et al.*, "Dealing with multi-source and multi-scale information in plant phenomics : the ontology-driven Phenotyping Hybrid Information System," *New Phytologist*, 2018, doi: 10.1111/nph.15385.
- [9] A. Tireau, A. Charleroy, L. Cabrera-Bosquet, and C. Jonquet, "Enabling interoperability between AgroPortal and PHIS information system data repository for enhanced phenomics data annotation and exchange ," Nov. 2024, *Zenodo*. doi: 10.5281/zenodo.14192645.
- [10] B. Kihal, C. Corre, C. Jonquet, D. Szabo, J. Roucou, and S. Aubin, "Leveraging AgroPortal ontologies to ease metadata completion and data discovery in Data INRAE ," Aug. 2024, *Zenodo*. doi: 10.5281/zenodo.14191078.
- [11] D. Jacob, F. Ehrenmann, R. David, J. Tran, C. Mirande-Ney, and P. Chaumeil, "An ecosystem for producing and sharing metadata within the web of FAIR Data," *Gigascience*, vol. 14, Jan. 2025, doi: 10.1093/GIGASCIENCE/GIAE111.
- [12] D. Jacob, R. David, S. Aubin, and Y. Gibon, "Making experimental data tables in the life sciences more FAIR: a pragmatic approach," *Gigascience*, vol. 9, no. 12, pp. 1–6, Nov. 2020, doi: 10.1093/GIGASCIENCE/GIAA144.
- [13] C. Pichot, P. Clastre, and B. Choquet, "AnaEE use case: Semantic interoperability in ecosystem studies ," Jan. 2025, *Zenodo*. doi: 10.5281/zenodo.14673209.
- [14] C. Pierkot, G. Alviset, and M. Vernet, "The EarthPortal, towards an ontology repository for the Earth System semantic artefacts," in *3rd Workshop on Ontologies for FAIR and FAIR Ontologies (Onto4FAIR)*, Leipzig, Germany, Sep. 2023. doi: 10.34894/VQ1DJA.
- [15] C. Pierkot, H. Bressan, and G. Alviset, "Enhancing FAIRness of Spatiotemporal Data through Semantics: A Case Study with EarthPortal and EaSy Data," in *SIMbig 2024 - 11th International Conference on Information Management and Big Data*, Ilo, Peru, Nov. 2024. doi: 10.34894/VQ1DJA.