



HAL
open science

Fournir des outils ou des composants informatiques supplémentaires pour améliorer le niveau d'interopérabilité des données (Projet ANR Bridge, WP3) (version 1)

Pascal Aventurier, Luc Decker, Jean-François Desconnets

► To cite this version:

Pascal Aventurier, Luc Decker, Jean-François Desconnets. Fournir des outils ou des composants informatiques supplémentaires pour améliorer le niveau d'interopérabilité des données (Projet ANR Bridge, WP3) (version 1). [Rapport de recherche] IRD - Institut de recherche pour le développement. 2023, 10 p. multigr. hal-04144573

HAL Id: hal-04144573

<https://hal.science/hal-04144573>

Submitted on 30 Jul 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



Principes communs de FAIRisation et gouvernance
des données entre institutions de recherche

Fournir des outils ou des composants informatiques supplémentaires pour améliorer le niveau d'interopérabilité des données » (WP3)

DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7474743>

Auteurs : Pascal Aventurier (1), Luc Decker (1) , Jean-Christophe Desconnets (2)

(1) Service Information Scientifique et Technique, Mission Culture Scientifique et Technologique, IRD.

(2) Mission Science Ouverte, IRD.

Référentiels scientifiques : Marine Brignon (Université Paul Valéry, Montpellier) ; Marie-Claude Deboin (Dgdrs-Dist, Cirad)

Développement et conception des outils : Jean-Christophe Desconnets et François Sabot (Mission Science Ouverte, IRD) ; Stéphane Banon et Sylvain Dienst (Direction pour le Développement des Usages Numériques Innovants, IRD)

Table des matières

1.	Introduction	2
1.1.	Le web sémantique	2
1.2.	Enjeux autour de l'interopérabilité	3
2.	Échanges de métadonnées entre entrepôts des partenaires du projet BRIDGE	3
3.	Livrables.....	3
3.1.	Alignement des classifications disciplinaires.....	5
3.2.	Recommandations techniques dédiées à la communauté Dataverse (livrable D3.2).....	5
3.3.	<i>Widget</i> d'autocomplétion terminologique : preuve de concept (livrable D3.3)	6
3.4.	Mise en place d'un service terminologique FAIR	7
4.	Proxy pour l'harmonisation sémantique des métadonnées entre entrepôts Dataverse (livrable D3.4) 9	
5.	Conclusion	9
6.	Références.....	10



1. Introduction

Préambule

En France, la structuration actuelle de la recherche publique en unités mixtes (UMR) nous amène tous les jours à produire des contenus numériques de manière conjointe. Pour cela, la coordination des politiques de partage et de libre accès entre instituts devient primordiale si l'on souhaite une mise en œuvre cohérente et efficace de la science ouverte à l'échelle nationale mais également internationale.

En tirant parti du contexte de partenariat favorable entre l'IRD, l'INRAE et le CIRAD, le projet BRIDGE a pour ambition de démontrer comment, en activant trois leviers (politique, communautaire et technique), nous pouvons promouvoir la mise en œuvre des principes FAIR. Dans cet objectif, le projet BRIDGE a réuni des personnes ayant des expertises en matière de gouvernance des données, technique et scientifique dans différents champs disciplinaires.

Sur la base de travaux préalables, le projet a analysé la situation actuelle dans les trois entrepôts institutionnels de données et proposé des recommandations pour la mise en œuvre concrète des principes de FAIR pour chacun des instituts. Dans ce cadre le projet BRIDGE a souhaité atteindre les objectifs suivants : au niveau politique, analyser, comparer et proposer une harmonisation des stratégies institutionnelles de politique de gouvernance des données ; au niveau intercommunautaire : développer des principes de pratiques de gestion et de partage à destination des chercheurs et les gestionnaires de données ; au niveau technique par la mise en œuvre de composants pour une meilleure interopérabilité des entrepôts.

Dans ce contexte, le *Work Package 3* du projet a permis de développer des outils et méthodes pour tester les recommandations des deux autres composantes du projet ainsi que pour fournir des outils informatiques supplémentaires destinés à améliorer le niveau d'interopérabilité et de FAIRisation des entrepôts de données. Il a également conduit à développer des outils utilisant des correspondances sémantiques pour permettre une meilleure qualité des transferts de métadonnées entre entrepôts de données.

1.1. Le web sémantique

L'introduction sur le Web sémantique est une citation de la fiche EPRIST (EPRIST : Le web sémantique, (2020)¹ : « En 2001, Tim Berners-Lee annonce qu'une « nouvelle révolution va profondément affecter la diffusion de l'information scientifique ». Cette révolution s'appelle le « web sémantique » ou « web des données liées » (linked data) : de nouvelles infrastructures et de nouveaux langages informatiques permettent d'identifier les données contenues dans les textes.

Les technologies du web sémantique sont utiles pour la recherche, l'extraction d'informations, l'organisation des données, le raisonnement sur les données, l'intégration de données de tiers, l'exploitation des ressources terminologiques.

L'émergence de communautés d'échange de données a été rendu possible par l'élaboration de standards communément partagés au sein d'une ou de plusieurs disciplines. Ce travail de codification est également très avancé dans les sciences biologiques avec plusieurs standards couvrant les besoins précis de certains champs de recherche ».

Dans le projet BRIDGE, les technologies du web sémantique sont utilisées pour aligner des termes entre des vocabulaires thématiques ou des listes de valeurs implémentées dans les trois différentes

¹ <https://www.eprist.fr/le-web-semantique/>

instances de Dataverse de l'INRAE, du CIRAD et de l'IRD. A noter que la mise en production de *Research Data Gouv*, l'entrepôt national pour les données de recherche de l'ESR français ne change pas les principes d'échanges étudiés, il en renforce même l'utilité. Les vocabulaires dans le web sémantique suivent eux-mêmes les principes FAIR.

1.2. Enjeux autour de l'interopérabilité

“L'**interopérabilité des données** correspond à leur capacité à être intégrées avec d'autres données et à être utilisées et interprétées par des applications et des processus d'analyse et ce de manière automatique”²

L'**interopérabilité sémantique** participe ainsi aux quatre principes FAIR³, pour des données Faciles à trouver, Accessibles, Interopérables et Réutilisables

Les **vocabulaires** sont des ensembles de termes définis souvent dans un même domaine. Ils peuvent être thématiques, disciplinaires, géographiques, etc ou définir une typologie comme les types de données. Ils sont des éléments clés de l'interopérabilité sémantique. Relier les vocabulaires permet de mieux décrire les objets numériques avec un vocabulaire commun, dans notre cas les données, mais aussi de les relier avec d'autres objets numériques en utilisant les technologies des données liées (linked data), même si ils sont dans des entrepôts différents. Ainsi, relier les vocabulaires eux-mêmes permet une meilleure exploitation sémantique et permet d'améliorer les systèmes d'informations. Ces vocabulaires doivent être accessibles dans des formats standards pour être traités et interprétés automatiquement.

Enfin l'interopérabilité est très importante quand on veut échanger des informations entre entrepôts par le **moissonnage des métadonnées**. Dans ce contexte, les métadonnées doivent pouvoir être réutilisées et mises en relation avec d'autres données externes.

Dans le cadre des *Recommandations sur les entrepôts et les bonnes pratiques pour la FAIRisation des jeux de données (WP2)*⁴, si un jeu de données est commun à plusieurs instituts, il doit être déposé dans un seul entrepôt. Les métadonnées décrivant ces données peuvent ensuite être transférées et référencées par d'autres entrepôts par l'intermédiaire du moissonnage.

2. Échanges de métadonnées entre entrepôts des partenaires du projet BRIDGE

3. Livrables

Le logiciel Dataverse sur lequel sont basés les référentiels de données de l'INRAE, du CIRAD et de l'IRD est conforme à plusieurs aspects des principes FAIR, en particulier les principes qui rendent les données « Faciles à trouver » (Findable) et « Accessibles ». Cependant, certaines améliorations fonctionnelles sont nécessaires pour favoriser la conformité avec les principes d'interopérabilité et de réutilisation.

² https://inso2019.sciencesconf.org/data/pages/Interoperabilite_Jessie_GALASSO_CARBONNEL.pdf

³ ANR BRIDGE (2023) Principaux concepts techniques. 8 p. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7474725>

⁴WP 2 : Szabo, Dimitri; Aventurier, Pascal; Decker, Luc; Fortuno, Sophie & Blanchard Antoine. (2023). Recommandation sur les entrepôts et les bonnes pratiques pour la FAIRisation des jeux de données (WP2).ANR Bridge, ANR-19-DATA-0013. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7457745>

À cette fin, le groupe de travail a étudié dans quelle mesure les référentiels existants basés sur Dataverse sont conformes aux principes FAIR, et ce qui reste à compléter pour améliorer ce point. Le groupe de travail a aussi identifié et décrit des développements supplémentaires nécessaires qui pourraient être proposés à la communauté Dataverse, et a mis en œuvre une sélection de ces développements en fonction de leur faisabilité dans le cadre du projet.

Outil d'auto-évaluation FAIR dédié aux référentiels (livrable D 3.1)

Le logiciel Dataverse sur lequel s'appuie les référentiels de données de l'INRAE, du CIRAD et de l'IRD est conforme à plusieurs aspects des principes FAIR, en particulier les principes « Trouvable » et « Accessible ».

Pour permettre les échanges d'informations, c'est-à-dire les échanges de métadonnées entre serveurs Dataverse, il était nécessaire de réunir les différentes listes de termes ou de valeurs utilisées dans les formulaires de création d'un jeu de données puis d'étudier si une correspondance (un alignement des termes) était possible entre les choix faits par nos trois instituts.

Les trois listes de valeurs contrôlées suivantes ont donc été étudiées :

- **Kind of Data** : liste paramétrable des types de données : une liste par défaut est fournie par *Dataverse*
- **Subject** : liste des domaines scientifiques, différentes pour les trois instances Dataverses
- **Topic** : liste des thématiques scientifiques

Le tableau ci-dessous présente la table de correspondance (**alignement** des termes) dans le cas du champ « Kind of data », qui est rempli à l'aide d'une liste contrôlée propre à chacun des instituts.

IRD controlled Other	CIRAD controlled	INRAE controlled
Analysis data		
Experimental data	Experimental data	
Observational data	Biological data	
Observational data	Observational data	
Observational data	Taxonomic data	
Other	Other	Other
Other	Dataset	Dataset
Other	GIS	
Other	Raw data	
Other	Text corpus	Text
Other		Audiovisual
Other		Collection
Other		Event
Other		Image
Other		Interactive resource
Other		Physical object
Other		Service
Other		Software
Other		Sound
Other		Workflow
Process-produced data		Model
Survey data	Survey data	

Pour le classement des jeux de données par thématiques scientifiques, des correspondances ont également été établies avec les listes contrôlées des instances Dataverse, ainsi qu'avec celles des référentiels internationaux.

3.1. Alignement des classifications disciplinaires

Cette partie concerne la mise en correspondance des classifications disciplinaires (institutionnelles, nationales, internationales) selon les standards du web pour faciliter leur utilisation par des entrepôts de données et par d'autres plateformes telles que des archives ouvertes. Basés sur la méthode développée par CODATA (*Committee on Data for Science and Technology*) dans le cadre de son programme *FAIR Vocabularies*, les résultats des différentes étapes de « FAIRisation » de vocabulaires appliqués à sept classifications disciplinaires (Dataverse, Clarivate, OCDE, OST, Re3data, ERC, Cirad) sont présentés et des perspectives esquissées. Celles-ci concernent : i) A court terme, la publication sur un site internet dédié des vocabulaires alignés ; ii) A moyen terme, la soumission pour diffusion de ces vocabulaires à des plateformes nationales (LOTERRÉ, *Linked open terminology resources*) et/ou internationales (LOV, *Linked Open Vocabularies*) ; iii) A plus long terme, l'ajout de nouvelles classifications (ARWU, U_Multirank, Scopus...) ainsi que l'alignement de classifications disciplinaires et thématiques, institutionnelles, nationales et internationales.

Ces résultats sont présentés dans les publications suivantes :

- Brignon, Marine, & Deboin, Marie-Claude. (2022). Interopérabilité d'entrepôts de données de recherche par alignement de leurs classifications disciplinaires. Application au Dataverse et à sa Subject List. <https://doi.org/10.18167/agritrop/00585>
- Brignon, Marine, 2022, "Alignement de classifications disciplinaires", <https://doi.org/10.18167/DVN1/SSMFAT>, CIRAD Dataverse, V1 [données d'alignement].

3.2. Recommandations techniques dédiées à la communauté Dataverse (livrable D3.2)

Les tests que nous avons menés sur les échanges de métadonnées via le protocole OAI PMH ont permis de relever un dysfonctionnement sur l'affichage des dates de publication des jeux de données moissonnés. Plus précisément, la date de publication des jeux de données est remplacée par la date du transfert des métadonnées. Ce problème a donné lieu à des échanges avec la communauté des développeurs de Dataverse (supervisée par l'équipe de l'IQSS à l'Université d'Harvard) Il sera bientôt corrigé dans la version 5.12.1 du logiciel.

Les *widgets* développés pour l'auto-complétion des champs seront diffusés sur une forge IRD (<https://forge.ird.fr/explore>) et éventuellement auprès de la communauté Dataverse.

Le module de proxy sémantique décrit au paragraphe D.3.4 sera également mis à disposition des partenaires du projet BRIDGE et en accès ouvert soit dans la forge logicielle officielle de Dataverse ou sur la forge logicielle de l'IRD .

Les échanges au sein du projet BRIDGE ont enfin aidé à développer un outil (nommé DOI2PMH⁵) qui permet d'exposer tout jeu de données externes disposant d'un DOI via le protocole OAI-PMH, le rendant, en théorie, moissonnable par un entrepôt Dataverse , une fonction dont le logiciel Dataverse ne dispose pas. Un tel outil peut aider un laboratoire à constituer un annuaire ou un catalogue de ses jeux de données.

⁵ <https://github.com/IQSS/doi2pmh-server> (prototype, une version plus récente sera diffusée)

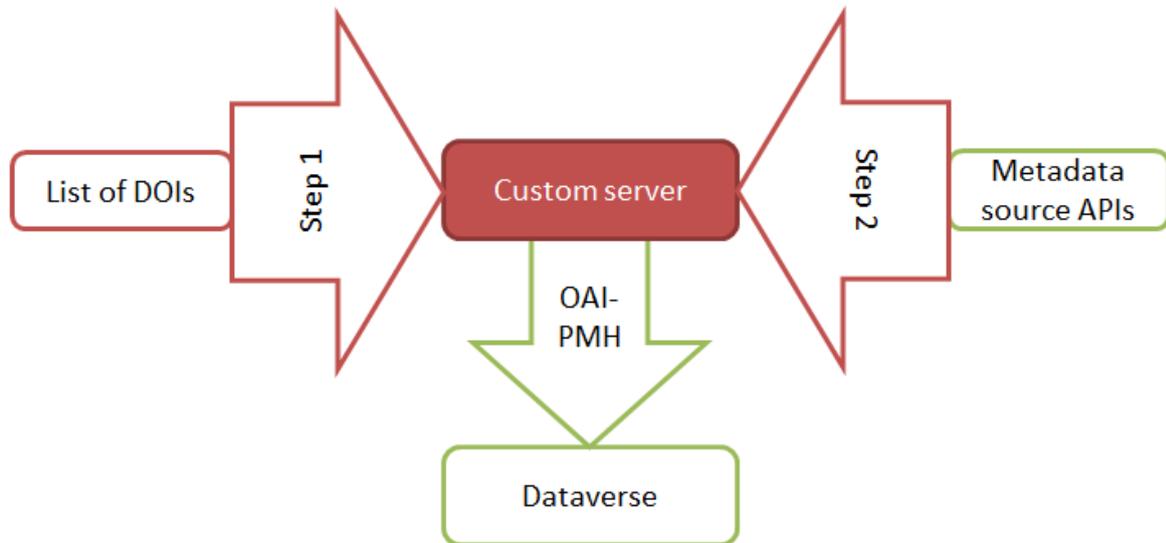


Figure 1 : schéma de fonctionnement de l'outil DOI2PMH

3.3. Widget d'autocomplétion terminologique : preuve de concept (livrable D3.3)

L'entrepôt de données peut guider les utilisateurs à déposer leurs données ; notamment en contrôlant les valeurs permises dans un champ via une liste fermée la plus normalisée possible ou en appelant un référentiel externe lui-même normalisé. Cependant, l'utilisation de listes fermées dans Dataverse peut représenter un obstacle au moissonnage dans le cas où deux entrepôts n'adopteraient pas tous ou pas la même liste, comme discuté en D3.4.

L'objectif était de permettre, lors de la saisie, l'auto-complétion sur certains champs de saisie des métadonnées avec des listes contrôlées ou des appels à des vocabulaires existants sans modifier le code de Dataverse. En effet, le code de Dataverse est maintenu par une communauté : si le code est modifié, il devient difficile de suivre les mises à jour. Il a donc été décidé d'implémenter des widgets en langage JavaScript, appelés par les pages HTML du logiciel Dataverse notamment dans le formulaire de saisie des métadonnées d'un jeu de données.

L'implémentation dans DataSuds, l'entrepôt de données de l'IRD, appelle les valeurs du référentiel terminologique décrit ci-dessous. L'implémentation porte sur deux champs :

- Le champ « Keywords » (mots-clés) → tous les référentiels scientifiques IRD
- Le champ « Topics » (thématique scientifique) → le référentiel thématique NumeriSud, qui permet de classer les publications.

Un exemple d'utilisation (appel au *widget*) est illustré dans la figure ci-dessous :

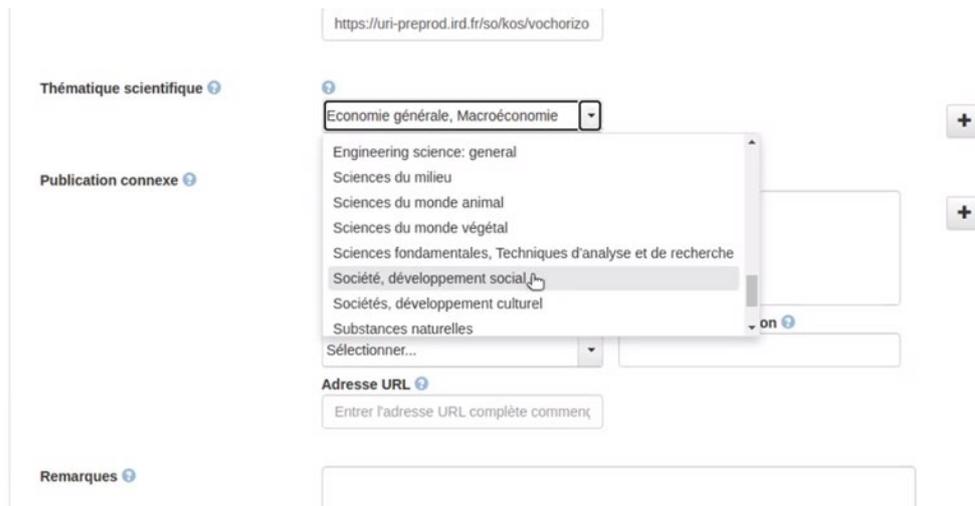


Figure 2 : Illustration du fonctionnement du widget

Dans un deuxième temps, il est envisagé d'utiliser un service terminologique, décrit ci-dessous, en s'appuyant sur les technologies du web sémantique pour constituer des listes de valeurs dynamiques en utilisant des API disponibles dans les différents composants, ici RDF4J⁶.

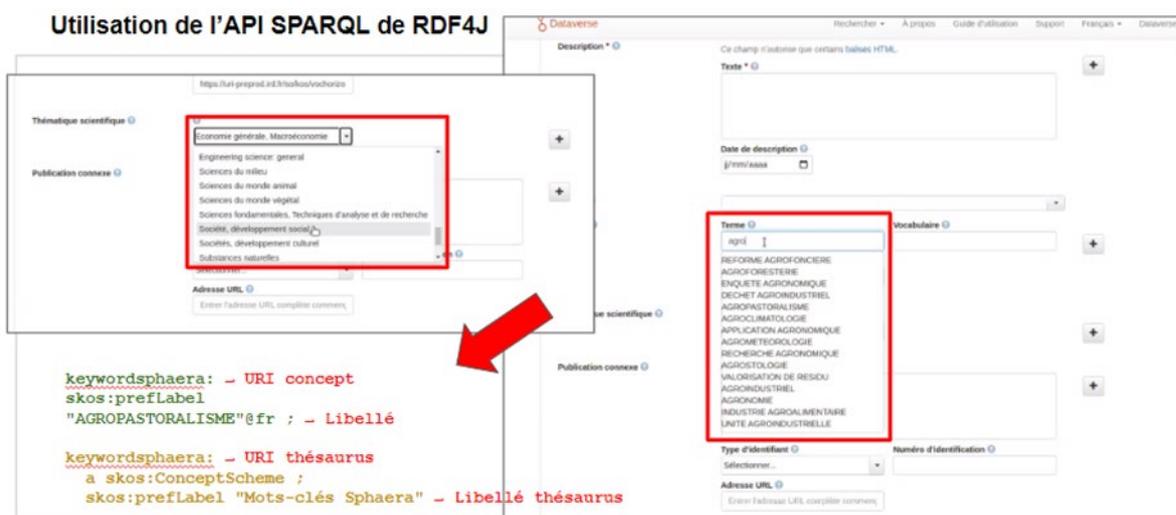


Figure 3: Utilisation de l'API SPARQL de RDF4J

3.4. Mise en place d'un service terminologique FAIR

Ce service terminologique permet de stocker et d'exploiter des vocabulaires de type mots-clés, référentiels, ou encore une liste fermée de valeurs. Le format utilisé est issu du web sémantique ; il produit des triplets et décrit les relations avec un modèle et un langage SKOS⁷ (*Simple Knowledge Organization System*). Ce langage permet de représenter des thésaurus documentaires, classifications, d'autres types de vocabulaires contrôlés ou de langages documentaires. Son principal objectif est de

⁶ <https://rdf4j.org/>

⁷ <https://www.w3.org/2004/02/skos/intro>

faciliter la publication de vocabulaires structurés pour leur utilisation dans le cadre du Web sémantique [source : Wikipedia].

Le choix du langage SKOS permet d’être le plus compatible possible avec les standards de vocabulaires tels ceux des thésaurus, monolingues ou multilingues. Entre vocabulaires, les différents objets sont reliés entre eux par des relations de type « *équivalent* » quand cette relation a été détectée. L’utilisateur, que ce soit une machine ou un humain peut ainsi identifier les valeurs reliées quelque soit le vocabulaire utilisé.

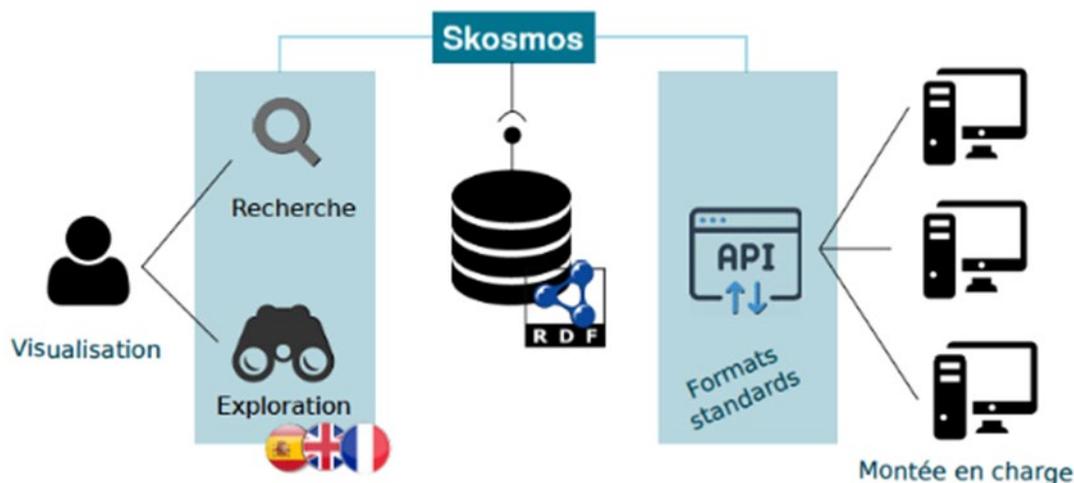


Figure 4 : L’architecture du service. Le composant en open source SKOSMOS est un navigateur et outil de publication des vocabulaires SKOS basé sur le web. Il est au centre du service, s’appuie sur une base de triplets en RDF (RDF4J) et propose des API REST et des interfaces utilisateurs.

Référentiels scientifiques de l'IRD Vocabularies About Feedback Help | en Français

Vocabulaire de la base documentaire (Horizon) Content language French Search

Alphabetical Hierarchy

A B C D E F G H I J K L M N O
P Q R S T U V W Y Z

ACACIA ALBIDA
ACACIA SENEGAL
ACHAT
ACIDITE
ACROISSEMENT
ACTIVITE
ACTIVITE AGRICOLE
ACTIVITE SPORTIVE
ACTIVITES
ADAPTATION
ADMINISTRATION PUBLIQUE
ADMINISTRATION RELIGIEUSE
ADOUMA
AEROPORT
AFFLEUREMENT
AFFLEUREMENT DE CUIRASSE SUR PENTE
AFFLEUREMENT GEOLOGIQUE
AFRO ASIATIQUE
AGGLOMERATION
AGGLOMERATION URBAINE
AGRICULTEUR
AGRICULTURE
AGROCLIMATOLOGIE
AGROPASTORALISME
AIRE CULTIVEE
AIRE DE NOMADISATION
AIRE FORESTIERE
AIRE LINGUISTIQUE
AIRE PATURABLE
AKOU, ETHNIE
ALCALIS
ALGUE
ALIMENTATION EN EAU
ALIMENTS ...

Vocabulary information

TITLE Vocabulaire de la base documentaire (Horizon)
Mots-clés utilisés dans la base des cartes Sphaera

DESCRIPTION Ensemble des mots-clés (sans les thématiques) utilisés pour indexer les cartes de la base Sphaera.

CREATOR Institut de Recherche pour le Développement

LANGUAGE fr

LAST MODIFIED mercredi 20 octobre 2021 14:23:25

TYPE <http://www.w3.org/2004/02/skos/core#ConceptScheme>

URI <https://uri-preprod.ird.fr/so/kos/keywordsphaera/>

Resource counts by type

Type	Count
Concept	1521
• Deprecated concept	0

Term counts by language

Language	Preferred terms	Alternate terms	Hidden terms
French	1521	0	0

Figure 5 : l'interface de SKOSMOS. L'exemple ici montre les référentiels scientifiques de l'IRD

4. Proxy pour l'harmonisation sémantique des métadonnées entre entrepôts Dataverse (livrable D3.4)

Le protocole OAI-PMH (*Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting*) est un protocole informatique développé par l'*Open Archives Initiative* afin d'échanger des métadonnées. Il permet de constituer et de mettre à jour automatiquement des entrepôts centralisés où les métadonnées de sources diverses peuvent être interrogées simultanément. Il est utilisé notamment par les Archives Ouvertes et les entrepôts institutionnels, mais aussi par les entrepôts de données [source : Wikipedia⁸]. Pour plus de détails au sujet du moissonnage, voir le document : ANR BRIDGE (2023) Principaux concepts techniques. 8 p. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7474725>.

Cependant, pour échanger des métadonnées entre entrepôts, il faut que les valeurs transmises pour un même champ d'un entrepôt A soient permises dans l'entrepôt B. Si ce n'est pas le cas, soit la liste des valeurs d'un champ de l'entrepôt B sont « polluées » par les valeurs différentes provenant de l'entrepôt A, soit tout simplement l'entrepôt B refuse d'intégrer les métadonnées, cette dernière option étant le fonctionnement par défaut du logiciel Dataverse.

Le développement d'un outil appelé Proxy OAI-PMH a donc été nécessaire pour être en mesure de ré-écrire des valeurs de métadonnées sur la base des alignements de valeurs sur un élément (champ de métadonnées). Ce proxy OAI-PMH est utilisé sur le champ « Sujet » (*Subject*) et sur le champ « Type de données » (*Kind of data*). Dans sa première version, le proxy utilise une table de correspondance. Dans une deuxième version encore en développement, il communiquera directement avec un composant SKOSMOS qui intégrera les correspondances entre vocabulaires au moyen de relations sémantiques.

Ce Proxy OAI a été développé à l'IRD dans le cadre du projet BRIDGE par la Direction pour le Développement des Usages Numériques Innovant (DDUNI), notamment par Sylvain Dienst et Stéphane Banon, initialement sous la forme d'une preuve de concept, à tester entre les différents serveurs Dataverse des partenaires du projet. A l'issue du projet, il a été décidé d'en faire un véritable outil dont le code source sera librement disponible sur la forge logicielle de l'IRD.

5. Conclusion

Les travaux de la composante « Fournir des outils ou des composants informatiques supplémentaires pour améliorer le niveau d'interopérabilité des données » (WP3) ont été l'occasion de beaucoup d'échanges et d'essais entre les trois partenaires du projet, afin de réaliser les transferts de métadonnées.

Au niveau des interfaces de saisie, l'implémentation de listes dynamiques utilisant des services terminologiques contribue également à améliorer la cohérence des métadonnées. Les *widgets* développés vont ainsi pouvoir être implémentés dans l'entrepôt DataSuds de l'IRD et ils seront également mis à disposition de la communauté d'utilisateurs et de développeurs de Dataverse.

⁸ https://fr.wikipedia.org/wiki/Open_Archives_Initiative_Protocol_for_Metadata_Harvesting

Les échanges de métadonnées par moissonnage OAI-PMH entre entrepôts ne sont pas très étudiés dans la littérature. On trouve plutôt des exemples d'utilisation de moissonnage d'entrepôts à destination des agrégateurs ou des portails. Le projet BRIDGE a donc été un cadre privilégié pour des expérimentations et pour proposer des solutions.

Les composants sémantiques développés dans une première version, s'appuient donc sur une vision opérationnelle plutôt que théorique, en partant de l'analyse de nos propres vocabulaires respectifs et des vocabulaires de références nationaux ou internationaux. Les outils développés permettent d'aligner des vocabulaires, qui étaient jusque-là propres à chaque organisme. Ils ouvrent des perspectives pour un meilleur transfert des métadonnées entre les entrepôts de données et une meilleure « FAIRisation » des métadonnées. L'ensemble des développements et des tableaux d'harmonisation de vocabulaires sera rendu disponible suivant les modalités définies par le Plan de gestion de données élaboré pour le projet.

6. Références

Aubin Sophie ; Caracciolo, Caterina ; Zervas, Panagiotis et al. (2017). Landscaping the use of semantics to enhance the interoperability of agricultural data: First deliverable of the RDA Agrisemantics Working Group. [Research Report] Research Data Alliance. pp.59. [\(hal-02607815\)](#)

Brignon, Marine, & Deboin, Marie-Claude. (2022). Interopérabilité d'entrepôts de données de recherche par alignement de leurs classifications disciplinaires. Application au Dataverse et à sa Subject List. <https://doi.org/10.18167/agritrop/00585>

Cox, Simon J. D., Alejandra N. Gonzalez-Beltran, Barbara Magagna, et Maria-Cristina Marinescu. « Ten Simple Rules for Making a Vocabulary FAIR ». *PLOS Computational Biology* 17, n° 6 (16 juin 2021) : e1009041. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1009041>.

Sabot, François, Desconnets, Jean-Christophe, Banon, Stéphane, & Dienst, Stéphane. (2022, June 16). Interopérabilité et harmonisation sémantiques : exploitation des services terminologies. Séminaire ANR Bridge, 17 mai 2022, Paris, France. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6653333>