

# Optimisation du flux d'information dans les projets de rénovation : Une approche par les données liées

Haya Naanaa<sup>1\*</sup>, William Derigent<sup>1</sup>, Hind Bril El Haouzi<sup>1</sup> and Mario Lezoche<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire Cran, Université de Lorraine

**Résumé.** L'architecture, l'ingénierie et la construction impliquent intrinsèquement des processus complexes, de multiples parties prenantes et des scénarios de prise de décision dynamiques. Le succès de tels projets repose en grande partie sur la circulation efficace d'informations précises et pertinentes auprès des diverses personnes impliquées. Cet article explore l'importance cruciale de fournir la bonne information à la bonne personne au bon moment. Dans ces projets, l'interopérabilité joue un rôle central pour garantir l'échange de données fluide à travers des plateformes et des canaux de communication divers. De plus, l'article examine la contribution des données liées à la personnalisation de la diffusion de l'information en fonction des besoins distincts des différentes parties prenantes, en tenant compte de facteurs tels que leurs rôles, leur expertise et leur autorité décisionnelle. Il aborde également les défis posés par la diversité des canaux de communication et suggère des moyens de les intégrer de manière harmonieuse dans un cadre cohérent. Les résultats initiaux montrent des améliorations prometteuses du flux d'information et de l'efficacité des projets, soulignant les applications pratiques et les avantages de la mise en œuvre de données liées et d'ontologies dans les projets de rénovation.

**Mots-clés.** interopérabilité, flux d'information, données liées, ontologie, échange de l'information

**Abstract.** The Architecture, Engineering, and Construction (AEC) industry inherently involve complex processes, multiple stakeholders, and dynamic decision-making scenarios. The success of such projects largely relies on the efficient flow of accurate and relevant information to the various involved parties. This paper explores the crucial importance of providing the right information to the right person at the right time. In these projects, interoperability plays a central role in ensuring smooth data exchange across diverse platforms and communication channels. Furthermore, the paper examines the contribution of linked data to the customization of information dissemination according to the distinct needs

---

\* Corresponding author: [haya.naanaa@univ-lorraine.fr](mailto:haya.naanaa@univ-lorraine.fr)

of different stakeholders, considering factors such as their roles, expertise, and decision-making authority. It also addresses the challenges posed by the diversity of communication channels and suggests ways to integrate them harmoniously into a coherent framework. Initial results show promising improvements in information flow and project efficiency, highlighting the practical applications and benefits of implementing linked data and ontologies in renovation projects.

**Keywords.** AEC Industry, Interoperability, Information Flow, Linked Data, Ontology, Information Exchange

## 1 Introduction

Le cycle de vie de la construction de bâtiments est souvent complexe, impliquant de nombreux intervenants, des processus diversifiés et une vaste gamme de sources de données. Cette complexité conduit souvent à un défi significatif connu sous le nom d'hétérogénéité des données, où les informations sont générées et stockées dans divers formats, normes et systèmes. Galina Paskaleva (2021) déclare que cette diversité dans la représentation des données entrave une communication fluide, la collaboration et l'interopérabilité des données à travers les différentes phases des projets de construction. Contrairement à plusieurs autres industries, le secteur de la construction a du mal à améliorer la productivité du travail au cours des quatre dernières décennies, caractérisé par une chaîne d'approvisionnement stagnante et une réputation de mauvaise planification Espen Eivindson (2017). Malgré des efforts de recherche considérables visant à améliorer les processus et les technologies, des inefficacités persistent dans le domaine de la construction.

Lynch (2022) [3] présente les différents facteurs qui contribuent à l'inefficacité de l'utilisation des données dans la construction :

- **Industrie fragmentée** : la participation de diverses parties, y compris les propriétaires, les concepteurs, les entrepreneurs, les sous-traitants, les fournisseurs et les autorités réglementaires, entraîne une mauvaise communication et coordination, ce qui entraîne des inefficacités.
- **Manque de standardisation** : la construction manque de standardisation dans les processus, les matériaux et les composants, ce qui pose des défis en matière de contrôle de la qualité et de gestion de projet.
- **Projets complexes et uniques** : l'unicité de chaque projet de construction présente des défis dans l'application d'approches standardisées, impactant l'efficacité de la planification et de l'exécution. Et enfin,
- **Mauvaise gestion de projet** : une gestion de projet inadéquate contribue à la mauvaise communication, aux retards et aux dépassements de budget, soulignant la nécessité d'une planification efficace, d'une allocation des ressources et d'une gestion des risques.

Ces dernières années, des progrès significatifs ont été réalisés dans le processus de construction, en particulier en termes d'interopérabilité. L'interopérabilité désigne la capacité de différents systèmes et outils logiciels à communiquer, échanger des données et travailler ensemble de manière fluide. Bien que l'adoption de technologies interopérables

dans la construction ne soit pas encore avancée, des améliorations notables ont été réalisées grâce à la recherche et à l'innovation.

- BIM (Building Information Modeling) : le BIM a révolutionné l'industrie de la construction en permettant la création et la gestion de représentations numériques des caractéristiques physiques et fonctionnelles des bâtiments et des infrastructures. Le BIM facilite l'interopérabilité en fournissant une plateforme commune pour les architectes, les ingénieurs, les entrepreneurs et les autres parties prenantes pour collaborer tout au long du cycle de vie du projet.
- Normes et formats de données ouverts : le développement et l'adoption de normes et de formats de données ouverts ont joué un rôle crucial dans l'amélioration de l'interopérabilité. Des normes comme les Industry Foundation Classes (IFC) facilitent l'échange de données entre différentes applications logicielles utilisées dans la conception, la construction et la gestion des installations.
- Efforts de standardisation : diverses organisations et consortiums travaillent à la standardisation des processus et des formats de données pour promouvoir l'interopérabilité dans la construction. Des initiatives telles que la Construction Progress Coalition (CPC) et l'Open Geospatial Consortium (OGC) favorisent la collaboration et l'interopérabilité dans l'industrie.

Bien que ces avancées représentent des progrès significatifs vers l'amélioration de l'interopérabilité dans la construction, des recherches et des innovations supplémentaires sont encore nécessaires pour relever les défis restants et tirer pleinement parti des technologies interopérables. La collaboration entre les parties prenantes de l'industrie, l'investissement continu dans la recherche et le développement, et l'adoption de normes ouvertes seront essentiels pour faire avancer l'interopérabilité dans le secteur de la construction.

L'enquête menée par Lynch (2022) [3] met en lumière les défis de la consommation et de l'utilisation des données dans les projets de construction. Elle révèle une répartition équilibrée des difficultés, l'incapacité de combiner facilement les données de différentes sources arrivant pour près de 50 % des répondants.

L'inefficacité des processus de construction actuels contribue à la faible productivité du secteur. Pour relever ce défi et améliorer l'efficacité de l'industrie de la construction, un intérêt croissant se manifeste pour l'adoption des principes et des technologies des données liées.

Les données liées impliquent la connexion, l'intégration et l'exposition des données structurées sur le web en utilisant des technologies et des protocoles standardisés, offrant ainsi une norme commune pour l'industrie et aidant à résoudre les problèmes liés aux silos de données et à la fragmentation des données. De plus, la nature basée sur des projets de la construction, où les parties prenantes collaborent temporairement et passent à d'autres projets, entraîne une perte de capitalisation des connaissances. Un projet de construction se caractérise par ses collaborations dynamiques et temporaires entre diverses parties, offrant ainsi flexibilité et spécialisation pour chaque projet, mais présente également des défis en matière de capture et de conservation des connaissances précieuses au sein de l'industrie. Lorsque les professionnels se réunissent pour un projet de construction spécifique, ils apportent leur expertise, leurs expériences et leurs idées uniques. Cependant, une fois le projet terminé, ces équipes se dissolvent souvent et les individus passent à de nouvelles activités. Les leçons apprises, les solutions innovantes et les meilleures pratiques

développées pendant un projet peuvent ne pas être correctement documentées ou communiquées à l'ensemble de l'industrie. Ce manque de continuité entrave la capacité du secteur de la construction à bénéficier de l'apprentissage cumulatif et de l'amélioration continue Hui Deng (2022).

Par conséquent, la disponibilité des données à la fin des projets est limitée, dispersée et très variée, si elles sont disponibles du tout. Les efforts pour aborder ces questions nécessitent une approche holistique pour transformer l'industrie de la construction et améliorer son efficacité globale. Pour combler cette lacune, des initiatives telles que le projet IsoBIM ont émergé dans le but de transformer le processus de rénovation en intégrant des technologies et des méthodologies de pointe. Le projet IsoBIM capitalise sur les principes de la construction Lean et le Building Information Modeling (BIM) pour s'attaquer aux inefficacités et aux limitations qui ont longtemps freiné les progrès dans le secteur de la construction. Le projet ANR ISOBIM est conçu pour accélérer le processus de rénovation en fournissant des outils numériques entièrement intégrés et rentables à l'industrie de la rénovation. Basée sur les fondations du Lean et du BIM, la plateforme IsoBIM est conçue pour couvrir l'ensemble du cycle de vie de la rénovation des bâtiments, englobant des tâches telles que l'identification de solutions de construction adaptées, le développement de modèles de configuration et d'agencement, et l'avancement des modèles pour la planification et le suivi des projets de construction. Ce travail fait partie du système de gestion des données du projet IsoBIM, par conséquent, dans ce qui suit, cet article abordera un cas spécifique de projets de construction souvent négligé : la rénovation.

Étant donné la prévalence de la construction dans la littérature, il devient intrigant d'explorer les disparités potentielles entre la rénovation et la construction. Cet examen vise à discerner si les technologies et les avancées dans la construction peuvent être facilement adaptées aux projets de rénovation.

Les projets de construction et les projets de rénovation présentent des caractéristiques et des méthodes d'exécution distinctes. Typiquement, les projets de construction se déroulent sur des terrains vierges, facilitant une définition claire du cahier de charge concernant les plans architecturaux et les conceptions techniques. En revanche, les projets de rénovation doivent composer avec des structures existantes, introduisant des complexités telles que les contraintes du site, les conditions préexistantes et les considérations historiques. Alors que les projets de construction tournent autour de la réalisation de nouvelles structures à partir de zéro, les projets de rénovation exigent des efforts de réutilisation adaptative et de préservation, souvent impliquant la personnalisation et l'intégration d'éléments anciens et nouveaux. De plus, les projets de rénovation comportent des risques uniques liés au travail avec des structures existantes, tels que des conditions cachées et des déficiences structurelles. Malgré des différences subtiles, la représentation formelle des projets de rénovation partage des similitudes avec celle des projets de construction, englobant des plans architecturaux, des dessins techniques et des calendriers de projet pour documenter les objectifs, les spécifications de conception et les activités de construction. Cependant, dans les projets de rénovation, des considérations supplémentaires sont nécessaires pour tenir compte des conditions existantes du bâtiment, telles que l'intégrité structurelle, les caractéristiques architecturales et les systèmes mécaniques. Malgré ces différences, les cadres et pratiques existants des projets de construction peuvent être adaptés aux projets de rénovation avec une attention particulière aux défis uniques posés par les conditions existantes des bâtiments et les risques associés. En somme, bien que la représentation formelle puisse nécessiter des ajustements, les principes fondamentaux restent cohérents entre les deux types de projets.

Cet article est organisé comme suit : dans la section 2, un aperçu de l'état de l'art est présenté, la section 3 est dédiée à la présentation de l'approche des données liées, et enfin une preuve de concept est détaillée dans la section 4.

## **2 État de l'art des approches actuelles données liées**

L'interopérabilité est définie comme la capacité de différents systèmes, applications ou composants à échanger et à utiliser des informations de manière fluide, garantissant une communication et une fonctionnalité efficaces dans des environnements divers. Elle permet l'intégration et l'interaction des technologies disparates pour fonctionner ensemble harmonieusement. L'interopérabilité joue un rôle crucial dans la collaboration de projet en facilitant l'accès efficace aux informations et aux connaissances pertinentes au sein d'une équipe. Une brève revue de la littérature a été réalisée pour rassembler diverses méthodes actuellement employées pour assurer l'interopérabilité des projets et faciliter la gestion des données.

Philipp Hagedorn *et al.* (2023) [1] explorent l'utilisation des règles sémantiques pour vérifier les données de construction provenant de différents domaines. Cette approche utilise le Shapes Constraint Language (SHACL) pour garantir que les données contenues dans les conteneurs d'informations sont conformes aux exigences prédéfinies, facilitant ainsi une livraison cohérente des documents liés. Bien que cette méthode améliore la vérification des données et l'interopérabilité, elle est limitée par la complexité de la définition des règles et la nécessité de connaissances spécialisées en ontologie.

Alexander Schlachter *et al.* (2022) [5] mettent en lumière l'application des données liées pour la gestion des éléments de construction temporaires. Cette approche permet une gestion précise et en temps réel des ressources temporaires sur les chantiers, en intégrant des données de diverses sources dans un modèle cohérent. Les avantages incluent une meilleure traçabilité et une optimisation des ressources. Cependant, l'adoption de cette méthode peut être entravée par des défis liés à la qualité des données et à la résistance au changement des pratiques établies.

Justine Flore Tchouanguem Djuedja (2021) [7] propose un système intégré de données de construction liées, spécifiquement conçu pour le secteur de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC). Ce système permet une meilleure coordination et une plus grande transparence des projets en rassemblant des données provenant de différentes phases du cycle de vie du bâtiment. Néanmoins, les limitations incluent la complexité de l'intégration des données et la nécessité de standards unifiés pour une adoption généralisée.

L'étude d'Anna Wagner (2022) [8] présente une ontologie des produits de construction, servant de base pour les données liées des produits de construction. Cette ontologie vise à standardiser la terminologie et les relations entre les produits, facilitant ainsi l'intégration des données entre différents systèmes. Cependant, la création et la maintenance de cette ontologie nécessitent des efforts significatifs en termes de temps et de ressources, et son efficacité dépend de l'adoption par les acteurs de l'industrie.

Yun-Yi Zhang *et al.* (2021) [10] explorent l'automatisation du calcul des indicateurs de performance clés (KPI) pour le benchmarking des performances des bâtiments. Leur approche intègre des modèles de données et des formules, permettant une évaluation plus rapide et plus précise des performances énergétiques. Les limites incluent la complexité de

l'intégration des données et des formules, ainsi que la variabilité des standards de performance.

Enfin, Yehong Li *et al.* (2021) [2] proposent une stratégie de partage d'informations basée sur les données liées pour les bâtiments et clusters à énergie nette zéro. Cette stratégie vise à améliorer l'efficacité énergétique en facilitant le partage et l'analyse des données énergétiques. Toutefois, les défis incluent la gestion de la confidentialité des données et la nécessité de standards de données communs pour une mise en œuvre réussie.

Dans la revue de la littérature sur l'utilisation des approches basées sur les données liées dans le domaine de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction (AEC), plusieurs lacunes spécifiques ont été identifiées. Premièrement, bien que l'utilisation de langages comme le SHACL pour la vérification des données soit prometteuse Hagedorn *et al.* (2023) [1], il existe un besoin urgent de simplifier et de standardiser la création de règles sémantiques pour les utilisateurs finaux non spécialisés, car la complexité actuelle des ontologies et des contraintes limite leur adoption à grande échelle.

Deuxièmement, dans la gestion des éléments de construction temporaires Schlachter *et al.* (2022), l'intégration des données en temps réel demeure insuffisamment explorée, notamment en ce qui concerne l'interopérabilité des capteurs IoT avec les systèmes de données liées, ce qui pourrait améliorer la traçabilité et la gestion des ressources sur les chantiers.

Troisièmement, malgré les avantages d'un système intégré de données de construction liées – Tchouanguem Djuedja *et al.* (2021) [7] –, il manque des recherches approfondies sur l'alignement des différents standards de données internationaux, ce qui pose des défis significatifs pour la collaboration transfrontalière dans les projets AEC. De plus, bien que des ontologies pour les produits de construction existent (Wagner *et al.*, 2022 [8]), il manque un cadre unifié pour la gestion des versions et des mises à jour des ontologies, ce qui peut entraîner des incohérences dans l'intégration des données de produits.

Enfin, l'automatisation du calcul des KPI pour le benchmarking des performances des bâtiments – Zhang *et al.* (2021) [10] – est encore à ses débuts, avec un besoin de développer des modèles de données qui intègrent non seulement des données énergétiques, mais aussi des paramètres de confort et de durabilité, pour fournir une évaluation plus holistique des performances des bâtiments. L'absence de ces éléments critiques constitue des obstacles majeurs à l'adoption généralisée des approches basées sur les données liées dans l'industrie AEC.

Ces lacunes mettent en lumière la nécessité d'une approche plus intégrée et standardisée pour exploiter pleinement le potentiel des données liées dans l'industrie AEC. Pour cette raison, une approche basée sur les données liées avec une ontologie au cœur a été développée. L'ontologie a été conçue pour être aussi complète que possible et pour représenter l'ensemble du cycle de vie du projet, couvrant non seulement une phase spécifique ou servant une application particulière, mais englobant l'ensemble des processus et des acteurs impliqués. Cette approche vise à fournir une base commune pour l'intégration et l'interopérabilité des données, facilitant ainsi une collaboration plus efficace et une meilleure gestion des informations tout au long de la durée de vie du projet.

### **3 Présentation de l'approche**

L'approche des données liées est une stratégie globale visant à améliorer l'interopérabilité et à simplifier l'échange de données, notamment dans les projets de rénovation. Elle implique la création d'une ontologie – un cadre structuré qui formalise les connaissances – définissant les concepts clés et leurs relations. Cette ontologie agit comme un plan pour normaliser la représentation des informations. En utilisant des graphes RDF, ces connaissances structurées deviennent lisibles par les machines, formant l'épine dorsale de l'écosystème des données liées. L'objectif principal est de surmonter les silos de données, en favorisant l'interconnexion où différents acteurs peuvent échanger dynamiquement des informations. Ce réseau interconnecté optimise la collaboration, réduit les retards et améliore l'efficacité.

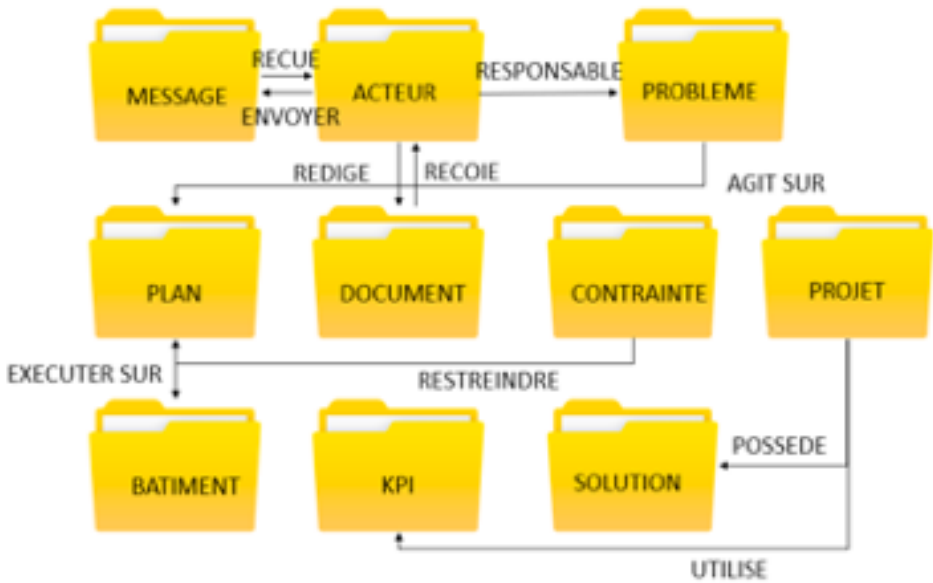
Les données liées basées sur l'ontologie impliquent l'interconnexion systématique des données. Elle commence par le développement d'ontologies qui définissent les concepts et les relations au sein d'un domaine en utilisant des normes telles que RDF et OWL. Des identifiants uniques (URIs) sont attribués aux ressources, et les données sont structurées en triplets RDF. En tirant parti des principes des données liées, tels que la fourniture de données HTTP, la représentation RDF et le lien de ressources, les données sont exposées sur le web. La mise en œuvre utilise des points d'accès SPARQL pour le stockage, la récupération et l'interrogation efficaces des données liées (David Wood, 2014)

### **3.1 Développement de l'ontologie**

La méthodologie NeOn développée par Mari Carmen Suarez-Figueroa and Fernandez-Lopez (2015) est une approche globale conçue pour le développement et la gestion des ontologies. Dans le domaine des projets de rénovation, l'adoption de la méthodologie NeOn s'avère bénéfique pour élaborer une ontologie robuste qui encapsule les complexités du domaine. Un point fort clé de cette méthodologie réside dans son accent mis sur la réutilisation des ressources ontologiques et non ontologiques. Dans ce contexte, les ressources provenant de projets européens similaires (tels que BIMERR, BIM4REN, BIM4EEB) ont été réutilisées non seulement pour accélérer le développement de l'ontologie, mais aussi pour garantir son alignement avec les normes et les meilleures pratiques établies. L'ontologie résultante a été validée en menant des entretiens structurés avec des experts du domaine. Ce processus de validation a solidifié son applicabilité dans le contexte spécifique des projets de rénovation.

L'ontologie développée (figure 1) est un cadre conceptuel conçu pour organiser systématiquement et représenter les éléments clés du domaine de la rénovation.

Au cœur de cette ontologie se trouvent les acteurs, englobant toutes les parties prenantes impliquées dans la rénovation, telles que les ingénieurs, les architectes, les chefs de projet et les entrepreneurs. Ces acteurs jouent un rôle crucial dans la progression du projet. Ils sont engagés dans une communication constante, envoyant et recevant des messages qui garantissent que toutes les parties sont informées et alignées sur l'avancement et les défis du projet. Cette communication est facilitée par la création et l'échange de documentation, allant des contrats et des plans architecturaux aux documents de conformité et aux mises à jour du projet, ce qui garantit que chaque décision et changement est enregistré et actionnable.



**Figure 1.** La décomposition des concepts les plus importants de l'ontologie

Les acteurs interviennent également directement dans divers problèmes qui pourraient survenir pendant la rénovation. Ces problèmes pourraient concerner des problèmes structurels imprévus, des retards ou des dépassements de budget. Le rôle des acteurs s'étend à la gestion de ces problèmes, souvent à travers des protocoles prédéfinis comprenant l'identification du problème, l'analyse et les stratégies de résolution, garantissant que le projet reste sur la bonne voie malgré les contretemps.

Le plan est un autre élément fondamental, servant de plan directeur pour l'exécution de la rénovation. Il détaille la portée, le calendrier et les activités spécifiques à réaliser sur les éléments du bâtiment tels que les portes, les fenêtres, les murs et les toits. Chaque élément du bâtiment est défini non seulement par ses caractéristiques physiques telles que les dimensions et les matériaux, mais aussi par les tâches spécifiques à exécuter à son égard, conformément au plan. Le plan est soumis à diverses contraintes – légales, environnementales et basées sur les ressources – qui peuvent affecter son exécution et doivent donc être gérées avec soin.

Le processus de rénovation lui-même est conçu pour être complet, englobant une série de phases allant de l'évaluation initiale et de la planification à l'exécution et à l'examen final. Chaque phase est guidée par des objectifs stratégiques et surveillée à l'aide d'indicateurs clés de performance spécifiques tels que le respect du budget, la ponctualité et la satisfaction du client. Ces indicateurs aident à évaluer l'efficacité et l'efficacité du processus de rénovation, fournissant des boucles de rétroaction qui améliorent la prise de décision et les résultats du projet.

Au fur et à mesure que le processus de rénovation se déroule, il conduit à la réalisation d'une solution de rénovation – le produit final qui comprend des éléments conçus pour répondre aux besoins et spécifications du client. Ces solutions visent non seulement à restaurer ou à améliorer les aspects fonctionnels du bâtiment, mais aussi à garantir la conformité avec toutes les normes et réglementations en vigueur.



Notamment, l'ontologie établit des liens significatifs entre les acteurs, la documentation et les activités associées. Dans ce processus dynamique, chaque acteur se voit attribuer un rôle spécifique dans le cycle de vie du projet, il reçoit un document pour lancer une activité particulière ou émet un document à la conclusion de son activité. L'échange structuré agit comme un élément clé pour une communication efficace, la responsabilité et la cohérence du projet. Au fur et à mesure que les acteurs progressent dans leurs activités désignées, les documents qu'ils émettent deviennent des repères tangibles du travail accompli, offrant un enregistrement transparent des jalons du projet. De plus, le projet de rénovation est segmenté de manière complexe en phases distinctes, une caractéristique détaillée au sein de la classe Processus de rénovation, fournissant un aperçu plus détaillé du flux de travail global de la rénovation.

En résumé, cette ontologie encapsule les interrelations complexes et les cadres opérationnels nécessaires à la gestion efficace des projets de rénovation. En comprenant et en appliquant ces connaissances structurées, les acteurs peuvent mieux naviguer dans les complexités des activités de rénovation, de la planification à l'exécution, garantissant l'achèvement réussi du projet et la satisfaction du client.

### **3.2 Approche données liées**

Les Dans les projets de rénovation, une collaboration transparente et un échange de données sont essentiels. Les données liées contribuent à combler les silos de données, où les données sont dispersées à travers des bases de données ou des logiciels, créant des silos isolés et des obstacles à la communication. Traditionnellement, l'extraction de données brutes de ces silos implique un effort manuel, évaluant les relations entre les ensembles de données manuellement.

L'ontologie est au cœur de l'approche des données liées, fournissant un cadre structuré pour représenter les connaissances et les relations. Elle définit les termes, concepts et connexions dans le domaine de la rénovation, favorisant l'interopérabilité et l'intégration des données provenant de différentes sources.

Cette recherche intègre la création de données liées avec la sémantique, reliant les données de différentes sources à travers l'ontologie développée. Le système crée une base de connaissances contextuelle en utilisant :

- l'ontologie OWL,
- les instances RDF et
- les règles d'inférence, permettant une inférence automatique et une compréhension globale des relations.

Le système établit un « modèle de liaison de données » connectant des sous-modèles générés par différents acteurs du processus de rénovation, garantissant la cohérence des données et des sémantiques standardisées. Cette application améliore la prise de décision, la transparence du projet et les performances globales.

La figure 2 donne un aperçu de l'approche, où les données du projet sont collectées et publiées sur le web, permettant des liens entre différents ensembles de données. Les utilisateurs peuvent interroger leur sujet d'intérêt, rationalisant la récupération d'informations et favorisant une collaboration efficace dans les projets de rénovation.

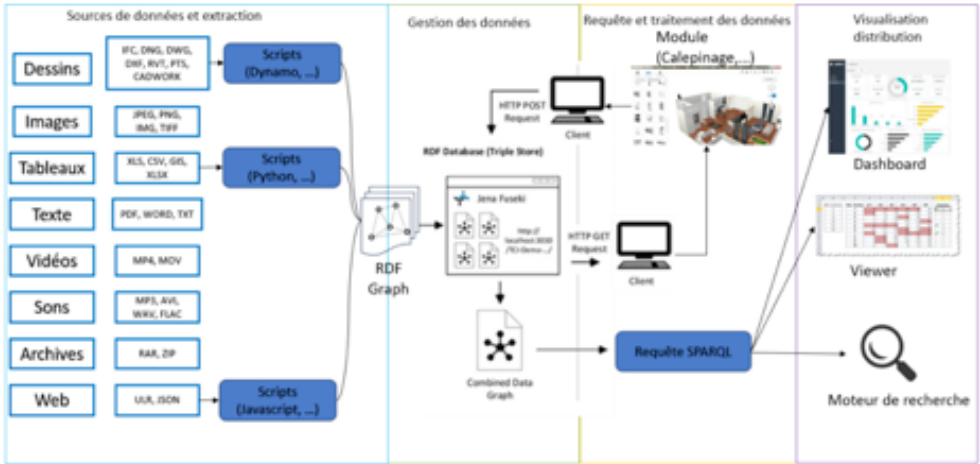


Figure 2. Aperçu de l'approche des données liées

## 4 Cas d'étude

Pour démontrer l'applicabilité de l'approche, le bâtiment Jarville à Nancy, en France, a été choisi comme preuve de concept. Le bâtiment Jarville est un petit bâtiment à Nancy, composé de 3 étages, avec une géométrie très basique. Le projet de rénovation sur ce bâtiment vise à améliorer la performance énergétique du bâtiment par une isolation extérieure, comme le montre la figure 3.



Figure 3. Le bâtiment Jarville et le processus de rénovation

Ce projet implique un effort collaboratif parmi divers intervenants. Voici quelques-uns des principaux intervenants couramment impliqués dans les projets de rénovation :

- **Entrepreneurs généraux et sous-traitants** : Les entrepreneurs généraux supervisent l'ensemble du projet de rénovation et coordonnent tous les aspects du travail, tandis que les sous-traitants réalisent des tâches spécifiques.
- **Architectes et designers** : Les architectes et les designers d'intérieur sont impliqués dans la phase de planification et de conception de la rénovation.

- **Clients/propriétaires** : ils prennent des décisions importantes en ce qui concerne un projet de construction. Ils engagent l'entrepreneur, le designer, l'architecte et l'ingénieur.
- **Gestionnaires de projet** : ils aident à gérer et à coordonner le projet, en veillant à ce qu'il reste sur la bonne voie et dans les limites du budget.
- **Ouvriers qualifiés** : il s'agit notamment des travailleurs qui effectuent des tâches telles que la démolition, l'ossature, l'installation de cloisons sèches, la peinture et le revêtement de sol.
- **Gestionnaires de projet** : ils aident à gérer et à coordonner le projet, en veillant à ce qu'il reste sur la bonne voie et dans les limites du budget.

Le processus de rénovation peut être visualisé dans la figure 4 comme un flux de travail cohérent avec des acteurs distincts assignés à chaque activité cruciale, assurant une transition fluide de la conception à l'achèvement. La première étape consiste à réaliser un scan 3D du bâtiment, une tâche confiée à des techniciens qualifiés ou des ingénieurs. Ces experts capturent les détails complexes du bâtiment, fournissant une représentation numérique complète. Ensuite, la phase de conception est orchestrée par des architectes et des designers qui utilisent les données scannées pour planifier et conceptualiser le projet de rénovation. Ensuite, pour un projet de rénovation par isolation extérieure, la fabrication des panneaux est un élément clé. Cette tâche est exécutée par des fabricants spécialisés, en tenant compte des résultats de la conception développée. Cette étape est cruciale, car elle implique la création de panneaux personnalisés conçus pour s'intégrer parfaitement dans la structure existante. Enfin, le processus d'installation est réalisé par des professionnels de la construction qui donnent vie à la conception virtuelle, en incorporant les panneaux fabriqués avec précision.

Étant donné la complexité des projets de rénovation, toutes les phases de rénovation ne sont pas prises en compte dans cette preuve de concept. Seules les deux premières phases sont prises en compte.

Pour l'initialisation du projet, plusieurs visites sur site ont été organisées et l'historique de performance énergétique du bâtiment a été collecté, et un scan 3D du bâtiment a été effectué. À partir du scan 3D, un modèle BIM du bâtiment a été créé. Au cœur de cette approche se trouve l'ontologie qui organise et relie systématiquement les données disponibles. Pour l'instant, l'ontologie est peuplée manuellement. Le modèle BIM fourni contient des informations vitales liées à la géométrie du bâtiment. Le graphe RDF initial est créé, et son exploitation peut être réalisée via une requête SPARQL. Par exemple, le concepteur de la disposition peut collecter les données pertinentes et créer la conception de la disposition. La conception de la disposition est ensuite publiée et les informations sont utilisées pour enrichir davantage l'ontologie. Enfin, la planification du projet est créée et le graphe RDF final est généré (figure 4).



**Figure 4.** Graphique RDF de l'ensemble du référentiel de données actuellement disponible

Pour des raisons de simplicité, et pour illustrer la puissance de l'approche des données liées, au lieu de travailler avec l'ensemble des graphes, un nouveau graphe plus petit a été généré en tenant compte d'une tâche simple et de toutes ses données liées.

Dans le cadre de l'approche basée sur les données liées, l'exemple présenté dans la figure 5 donne une idée comment le référentiel d'informations de projet est collecté et formalisé en suivant une ontologie développée spécifiquement pour ce projet. Chaque élément du projet est décomposé selon cette ontologie, ce qui permet d'établir des liens entre différents fichiers, offrant ainsi une vue d'ensemble complète d'un même élément sous différents angles, selon les perspectives variées des acteurs impliqués. Par exemple, un acteur comme un architecte peut visualiser des informations spécifiques à la conception, tandis qu'un ingénieur en structure accède à des détails techniques relatifs à la solidité du bâtiment. De plus, le fichier original reste accessible, permettant aux acteurs de consulter les données brutes si nécessaire, assurant ainsi transparence et précision dans la gestion de l'information. Cette méthode permet non seulement une meilleure intégration des données mais aussi une collaboration plus efficace entre les différents participants du projet.



**Figure 5.** Représentation de l'approche données liées

Pour illustrer la complexité et la flexibilité de cette approche, considérons un exemple simple de requête SPARQL concernant l’installation du panneau de tâches.

La requête SPARQL suivante permet d’extraire des informations spécifiques sur l’installation du panneau de tâches depuis le référentiel de données liées. Elle illustre comment l’ontologie permet de lier différents aspects du projet pour fournir des vues détaillées :

```

PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>

SELECT DISTINCT ?element ?property
WHERE {
    {
        ?element ?property <http://www.semanticweb.org/hayanaanaa/ontologies/2023/10/http://www.semanticweb.org/hayanaanaa/ontologies/2023/10/panel.installation> .
    }
    UNION
    {
        <http://www.semanticweb.org/hayanaanaa/ontologies/2023/10/http://www.semanticweb.org/hayanaanaa/ontologies/2023/10/panel.installation> ?property ?element .
    }
}
    
```

Les résultats, présentés dans la figure 6, révèlent non seulement les éléments associés à "Panel installation", mais mettent également en évidence l’intégration de différents types de données au sein de l’ensemble de données.

element	property
plan1	has_planned_activity
apply_base_coat	posterior
"2024-02-06T15:30:00" <u>&lt;http://www.w3.org/2001/XMLSchema#dateTime&gt;</u>	has_actual_finish_date
owl:NamedIndividual	rdf:type
panel1	installing
panel2	installing
surface_preparation	antecedent
"2024-01-23T15:30:00" <u>&lt;http://www.w3.org/2001/XMLSchema#dateTime&gt;</u>	has_actual_start_date
installation_of_insulation_panels	rdf:type
L	accomplished_by
figure_application	posterior
wall1	excuted_on

**Figure 6.** Résultats de la requête SPARQL de l'activité « Panel installation »

L'approche des données liées a facilité la collaboration transparente entre les différents acteurs. Cette structure de données interconnectée a non seulement rationalisé la communication et la coordination entre les parties prenantes, mais a également amélioré l'efficacité globale du projet de rénovation en fournissant une plateforme unifiée pour l'échange d'informations et la prise de décision.

## 5 Conclusion

Un nouveau cadre de données liées avec une ontologie centrale aborde les défis d'interopérabilité et l'hétérogénéité des données dans les projets de rénovation. Cette ontologie relie des concepts et des propriétés essentiels, favorisant l'interopérabilité entre des sources de données disparates et surmontant les silos de données. À l'avenir, des cadres de test et de mise en œuvre complets seront nécessaires pour garantir la fiabilité et l'efficacité. La rationalisation du peuplement de l'ontologie et l'automatisation du processus seront prioritaires. Permettre l'interrogation des données liées implique le développement d'un outil de moteur de recherche pour traduire les requêtes des utilisateurs en requêtes SPARQL.

Ce travail de recherche a été réalisé dans le cadre du projet IsoBIM. Les auteurs remercient le soutien financier de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) française dans le cadre du projet IsoBIM (ANR-20-CE10-0011).

## Références

- [1] P. Hagedorn, P. Pauwels & M. König (2023), Semantic rule checking of cross-domain building data in information containers for linked document delivery using the shapes constraint language. *Automation in Construction*, **156**, (105106)
- [2] Y. Li, S. Hu, C. Hoare, J. O'Donnell, R. García-Castro, S. Vega-Sánchez & X. Jiang (2021), An information sharing strategy based on linked data for net zero energy buildings and clusters. *Automation in Construction*, **124**, (103592)
- [3] J. Lynch (2022), *Harnessing The Data Advantages In Construction*. Autodesk Construction Solutions
- [4] G. Paskaleva, A. Mazak-Huemer, M. Wimmer & T. Bednar (2021), Leveraging integration facades for model-based tool interoperability. *Automation in Construction*, **128**
- [5] A. Schlachter, M. H. Rasmussen & J. Karlshøj (2022), Using Linked Building Data for managing temporary construction items. *Automation in Construction*, **139**, (104258)
- [6] M. C. Suárez-Figueroa, A. Gómez-Pérez & M. Fernández-López (2015), The NeOn Methodology framework: A scenario-based methodology for ontology development. *Applied Ontology*, **10**, pp. 107–145
- [7] J. F. Tchouanguem Djuedja, F. H. Abanda, B. Kamsu-Foguem, P. Pauwels, C. Magniont & M. H. Karray (2021), An integrated Linked Building Data system: AEC industry case. *Advances in Engineering Software*, **152**, (102930)

- [8] A. Wagner, W. Sprenger, C. Maurer, T. E. Kuhn & U. Rüppel (2022), Building product ontology: Core ontology for Linked Building Product Data. *Automation in Construction*, **133**, (103927)
- [9] D. Wood, L. Ruth, M. Zaidman & M. Hausenblas (2014), *Linked Data, Structured data on the web*. Manning Publications Co. (Shelter Island, NY)
- [10] Y.-Y. Zhang, Z.-Z. Hu, J.-R. Lin & J.-P. Zhang (2021), Linking data model and formula to automate KPI calculation for building performance benchmarking. *Energy Reports*, **7**, pp. 1326–1337