



HAL
open science

Contribution de l'intelligence artificielle à l'interopérabilité fédérée des organisations et son adaptation au transport en zone peu dense

Leonardo Daou, Eva Petitdemange, Grégory Zacharewicz, Séverine Durieux,
Nicolas Daclin

► To cite this version:

Leonardo Daou, Eva Petitdemange, Grégory Zacharewicz, Séverine Durieux, Nicolas Daclin. Contribution de l'intelligence artificielle à l'interopérabilité fédérée des organisations et son adaptation au transport en zone peu dense. SAGIP - Société d'Automatique de Génie Industriel & de Productique, May 2025, Mulhouse (FR), France. <hal-05350983>

HAL Id: hal-05350983

<https://hal.science/hal-05350983v1>

Submitted on 6 Nov 2025

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.



HAL Authorization



Société d'Automatique,
de Génie Industriel & de Productique

Contribution de l'intelligence artificielle à l'interopérabilité fédérée des organisations et son adaptation au transport en zone peu dense

Leonardo Daou^{1,2}, Eva Petitdemange², Gregory Zacharewicz¹, Séverine Durieux²,
Nicolas Dalin¹

¹ Laboratoire des Sciences des Risques, IMT Mines Alès, Alès, France

{leonardo.daou, gregory.zacharewicz, nicolas.daclin}@mines-ales.fr

² Centre Génie Industriel, IMT Mines Albi, Université de Toulouse, Albi, France

{eva.petitdemange, severine.durieux}@mines-albi.fr

Mots-clés : *Interopérabilité fédérée, Grands modèles de langage, Système multi-agents, Intelligence artificielle agentique, Intelligence artificielle générative, Mobilité rurale, Modèle de contextualisation, Système distribué, Apprentissage fédéré.*

1 Introduction

De nos jours, les organisations cherchent à améliorer leur réactivité et adaptabilité en recourant à la collaboration pour mieux répondre aux besoins des clients [4]. L'interopérabilité est au cœur de cette démarche, avec trois approches proposées par la norme ISO 14258 : l'intégration — standardisation des formats de système — l'unification — utilisation d'une structure globale pour la traduction des modèles — et la fédération — dépendance minimale aux connaissances des formats des systèmes des partenaires sans les modifier [6]. L'approche fédérée est particulièrement adaptée, car elle permet une collaboration rapide et efficace sans perturber les systèmes ou processus existants, tout en respectant le principe du "plug and play" [7]. En réduisant les ressources nécessaires à la gestion du cycle de vie de la collaboration, elle garantit également l'autonomie des partenaires, qui peuvent se retirer sans nuire à leurs intérêts ou à leur monopole local. Cependant, malgré ses avantages, l'interopérabilité fédérée reste encore peu mature, principalement en raison du manque de technologies permettant une interprétation instantanée et une connexion rapide entre systèmes. Grâce aux récentes avancées en intelligence artificielle (IA), notamment l'intelligence artificielle générative (IAG) – surtout les grands modèles de langage (LLMs) – et l'intelligence artificielle agentique (IAA), il est désormais possible de réaliser cette interprétation [2]. La mobilité rurale, souvent confrontée à des services de transport fragmentés, sous-utilisés et mal connectés, pourrait grandement bénéficier de cette approche, notamment pour réduire les temps de trajet, l'isolement social et les émissions polluantes [5]. En favorisant la collaboration grâce à l'interopérabilité fédérée, nous proposons de développer un système multi-agents alimenté par l'IA, permettant une coopération fluide et dynamique entre les organisations rurales, pour améliorer l'efficacité, la durabilité et la rentabilité du transport tout en préservant l'autonomie de chaque acteur.

2 Questions de recherche

La définition de l'interopérabilité fédérée manque de clarté, car, contrairement aux approches intégrées et unifiées, des cadres standard comme l'ISO 14258 [6] et l'ISO 11354 [7] n'en précisent pas explicitement les exigences. Les chercheurs ont développé des modèles de maturité pour aborder les obstacles dans les aspects conceptuels, techniques et organisationnels, y compris l'interopérabilité des données, des services, des processus et des affaires. Cependant, l'interopérabilité fédérée reste indéfinie, ce qui met en évidence la nécessité d'un modèle structuré.

Malgré ses avantages, les solutions fédérées rencontrent des défis, tels que la transformation manuelle des données lorsque de nouvelles organisations rejoignent la collaboration et le risque de perte d'informations lors des conversions automatiques. De plus, certaines solutions sont gourmandes en ressources, et l'absence de mise en œuvre standardisée complique l'évaluation de la fiabilité. Les techniques IAG, comme celles utilisées dans les solutions basées sur les hypergraphes [3], montrent un potentiel pour améliorer l'automatisation, la confidentialité des données et l'efficacité computationnelle. Une autre avenue prometteuse est l'IAA [1], qui peut améliorer l'interopérabilité des services et des processus. Les systèmes multi-agents pourraient aider à synchroniser ces aspects [8], soulevant la question de savoir comment l'IAA peut faire progresser l'interopérabilité fédérée dans ces domaines.

En intégrant l'IAG et l'IAA, nous visons à améliorer la mobilité rurale, qui souffre d'inefficacités dues à des services fragmentés, une infrastructure limitée et des contraintes de partage de données. Ce projet abordera trois questions clés de recherche :

- **RQ1** : Quels sont les niveaux de maturité de l'interopérabilité fédérée et quelles sont les exigences pour chacun ?
- **RQ2** : Comment les outils d'IA peuvent-ils aider à surmonter les défis de l'interopérabilité fédérée ?
- **RQ3** : Quels avantages l'interopérabilité fédérée alimentée par l'IA peut-elle apporter aux solutions de mobilité rurale ?

3 Contributions et méthodologies de recherche

La contribution principale de cette recherche est le développement d'un cadre d'interopérabilité fédérée basé sur l'IA pour la mobilité rurale. Pour atteindre cet objectif, nous menons une recherche qualitative avec plusieurs enquêtes et analyses en nous appuyant sur la littérature issue de *Scopus* et *Web of Science*. La première contribution consiste à examiner les solutions d'interopérabilité fédérée, à les regrouper selon leurs similitudes, puis à définir des exigences claires structurées en niveaux croissants de conformité. Comme première étape, nous avons développé un modèle de contextualisation comprenant cinq niveaux d'interopérabilité des données fédérées, abordant les barrières techniques et conceptuelles. Ce modèle permet de répondre à **RQ1** et d'offrir une perspective structurée sur notre solution.

La deuxième contribution se concentre sur l'intégration de différentes approches en IA. Nous analysons les solutions d'IAG, notamment en traduction de formats de langage et de données, ainsi que les cadres et applications d'IAA. En parallèle, nous examinons les implémentations de l'apprentissage fédéré dans les systèmes distribués et explorons les architectures multi-agents. En combinant ces éléments, nous concevons un système multi-agent basé sur l'IAA, où les grands modèles de langage (LLM) assurent la conversion des données et sont optimisés via l'apprentissage fédéré afin d'améliorer l'interopérabilité. Cette contribution répond directement à **RQ2**.

Enfin, la troisième contribution porte sur la mobilité rurale. Nous identifions d'abord les principaux défis liés au transport de personnes et de marchandises, puis nous évaluons dans quelle mesure l'interopérabilité fédérée permet d'atténuer ces problématiques. La solution est ensuite mise en œuvre et validée afin d'évaluer son efficacité réelle, répondant ainsi directement à **RQ3**.

4 Conclusions et perspectives

En conclusion, nous visons à construire une plateforme d'interopérabilité fédérée soutenue par l'IA, qui surmonte les limitations des solutions existantes et permet de faire progresser spécifiquement l'état actuel de la mobilité rurale. Nous avons d'abord envisagé de développer un modèle de contextualisation pour structurer et clarifier l'approche fédérée, ce qui nous a permis de contextualiser notre solution proposée. Ensuite, nous avons établi un cadre qui élimine l'ambiguïté de l'approche fédérée concernant son aspect lié aux données.

Après le développement du modèle de contextualisation, nous avons pu commencer à définir les détails de notre solution après avoir mené les enquêtes nécessaires sur l'IA agentique, les LLMs et l'apprentissage fédéré. Nous soulignons que sa mise en place devrait engendrer plusieurs avantages, tels qu'une réduction de l'intervention manuelle dans le processus collaboratif, une meilleure confidentialité et sécurité des données, une réduction du temps de déploiement de la collaboration, ainsi qu'une réduction des coûts computationnels tout au long du cycle de vie de la collaboration. Enfin, une fois la plateforme d'interopérabilité fédérée pilotée par l'IA entièrement développée, nous prévoyons de finaliser la recherche en testant ses effets dans le domaine de la mobilité rurale tout en étudiant les défis de ce domaine qui ont été résolus. Cette application, accompagnée de l'analyse de la résolution des obstacles, fournira aux organisations une plus grande confiance dans le système et une compréhension plus claire de ses capacités.

Références

- [1] Deepak Bhaskar Acharya, Karthigeyan Kuppan, and B. Divya. Agent ai : Autonomous intelligence for complex goals—a comprehensive survey. *IEEE Access*, 13 :18912–18936, 2025.
- [2] Leonardo Daou, Eva Petitdemange, Séverine Durieux, Nicolas Daclin, and Grégory Zacharewicz. Enabling Federated Interoperability in Enterprise Models with Artificial Intelligence and Simulation. In *WAMS2024 - The International Workshop on Applied Modelling & Simulation*, pages 40–47, Shaoxing, China, 2024. Simulation Team, Liophant Simulation, MITIM, DIME Genoa University, MSC-LES.
- [3] Mustapha Labreche. *Implémentation d'une interopérabilité fédérée supportée par la transformation automatisée à la volée de modèles de données hétérogènes : application aux problèmes d'appariement des schémas*. Doctoral dissertation, Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2023.
- [4] Marjorie Lecerf. *Les petites et moyennes entreprises face à la mondialisation*. Doctoral dissertation, Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2006.
- [5] Giulio Mattioli. Transport needs in a climate-constrained world. a novel framework to reconcile social and environmental sustainability in transport. *Energy Research & Social Science*, 18 :118–128, 2016.
- [6] Technical Committee ISO/TC 184/SC 5. Industrial automation systems - Concepts and rules for enterprise models. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2000.
- [7] Technical Committee ISO/TC 184/SC 5. Advanced automation technologies and their applications — Requirements for establishing manufacturing enterprise process interoperability — Part 1 : Framework for enterprise interoperability. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2011.
- [8] Gregory Zacharewicz, Olivier Labarthe, David Chen, and Bruno Vallespir. Hla multi agent/short-lived ontology platform for enterprise interoperability. In Bruno Vallespir and Thècle Alix, editors, *Advances in Production Management Systems. New Challenges, New Approaches*, pages 350–357, Berlin, Heidelberg, 2010. Springer Berlin Heidelberg.