

Transformation Numérique de l'Industrie : Élicitation des Connaissances Métier et Recevabilité

Digital Transformation of the Industry: Business Knowledge Elicitation and Acceptability

Ouassila Labbani Narsis and Christophe Nicolle

Université Bourgogne Europe, CIAD UR 7533, 21000 Dijon, France, {ouassila.narsis, cnicolle}@u-bourgogne.fr

RÉSUMÉ. La digitalisation des processus métier constitue un enjeu crucial pour les entreprises, offrant la possibilité d'améliorer leur efficacité, leur qualité et leur rapidité d'exécution. Cette transformation ne peut être pleinement réalisée sans une maîtrise approfondie des connaissances individuelles des experts métier, de leur gestion collaborative et de leur formalisation, ainsi que d'une adhésion complète aux nouvelles technologies.

Cet article propose une approche méthodologique basée sur l'élicitation des connaissances pour la conception d'ontologies formelles, consensuelles et partagées. Cette démarche est complétée par une analyse binomiale de la recevabilité des technologies numériques pour comprendre les attentes et les préoccupations des experts afin de proposer des solutions adaptées. L'approche proposée est testée expérimentalement sur des projets de collaborations industrielles dans le domaine de la manufacture (associant des sources de connaissances d'entreprises multinationales) et dans le domaine de la viticulture (associant des connaissances explicites et des savoirs implicites acquis par l'observation).

ABSTRACT. Business processes digitalization is a crucial challenge for companies, providing the opportunity to enhance their efficiency, quality, and execution speed. This transformation cannot be fully achieved without a thorough mastery of individual expert knowledge, collaborative management, and knowledge formalization, as well as a complete adoption of new technologies.

This paper proposes a methodological approach based on knowledge elicitation for the design of formal, consensual, and shared ontologies. A binomial analysis of the acceptability of digital technologies complements this process to better understand the requirements and concerns of experts and to propose appropriate solutions. The proposed approach is experimentally tested on industrial collaboration projects in the field of manufacturing (associating knowledge sources from multinational companies) and in the field of viticulture (associating explicit knowledge and implicit knowledge acquired through observation).

MOTS-CLÉS. Transformation numérique, ingénierie des connaissances, élicitation des connaissances, conception d'ontologie, analyse de contenu, analyse binomiale, recevabilité.

KEYWORDS. Digital transformation, knowledge engineering, knowledge elicitation, ontology design, content analysis, binomial analysis, acceptability.

Introduction et motivation

La transformation numérique représente un défi technologique majeur pour les entreprises. Elle se traduit par l'introduction de nouveaux outils et technologies trop souvent en rupture avec les usages. Cette transformation s'accompagne souvent d'une modification de l'organisation, des processus, mais aussi du rapport du salarié avec sa fonction. Ce dernier point peut sérieusement affecter la préservation et la transmission des savoir-faire acquis par expérience depuis plusieurs années. Le savoir-faire d'une entreprise est sa principale richesse et la captation numérique de cette richesse devient un enjeu stratégique. Cette captation est un processus articulé en plusieurs étapes : il faut identifier les savoir-faire, les recueillir, les homogénéiser, les combiner puis les formaliser. Cette dernière étape permet d'obtenir une description numérique compréhensible par l'humain et sans ambiguïté pour la machine. Dans ce processus, l'utilisation de la modélisation sémantique joue un rôle très important, d'où l'usage de formalismes et de langages basés sur la logique tels que les *ontologies*. En informatique, une ontologie désigne une description formelle et explicite des concepts et de leurs relations. Décrite en logique de description, son rôle

est de capturer les connaissances du domaine de manière générique et d'en fournir une compréhension partagée et communément acceptée (MAEDCHE, SCHNURR, STAAB et al. 2000). La construction d'ontologies permet d'une part d'atteindre un consensus dans la compréhension commune des connaissances, et d'autre part, de faciliter la mise en place d'un modèle formel représentatif et flexible, indispensable à la description numérique du savoir-faire d'une entreprise. Néanmoins, créer une ontologie est un processus complexe. Au-delà d'une compréhension du domaine concerné et des aspects techniques de l'ingénierie ontologique, il requiert une volonté de collaboration qui dépasse les frontières disciplinaires (KANZA, STOLZ, HEPP et al. 2018). Malgré les efforts pour le développement de méthodologies et outils d'aide à la construction d'ontologies (GRUBER 1995, JONES, BENCH-CAPON et VISSER 1998, MISSIKOFF et SCHIAPPELLI 2005), la démarche reste empirique sans méthode normalisée. Les approches existantes ne prennent pas en compte les enjeux humains, comme la gestion des savoirs implicites, la collaboration et la gestion des désaccords entre experts, ou encore l'adhésion des experts métier aux évolutions technologiques. Avant d'être un problème de formalisation, construire une ontologie est tout d'abord un problème de conception et de modélisation qui doit s'effectuer à partir de la description linguistique et informelle des savoir-faire des experts et des connaissances du domaine.

Pour répondre à cet enjeu, cet article reprend notre démarche collaborative d'élicitation des connaissances pour la construction d'ontologies formelles basées sur les savoir-faire (LABBANI NARSIS et NICOLLE 2023). Nous discutons l'apport de l'élicitation de connaissances dans cette démarche, ainsi que la manière de structurer et de formaliser les connaissances afin d'uniformiser l'hétérogénéité sémantique pour construire un espace numérique d'expression et de partage des connaissances. Notre démarche est complétée par une phase d'analyse de la recevabilité de la transformation numérique. La formalisation des connaissances, basée sur les savoir-faire des experts, constitue un élément clé pour la transformation numérique. Cependant, la réussite de la transformation numérique repose de manière cruciale sur l'adhésion pleine et entière de l'ensemble des acteurs impliqués. En effet, l'intégration réussie des technologies numériques dans une organisation nécessite un changement profond, une compréhension commune des objectifs et des avantages de la transformation, ainsi qu'une volonté collective d'adopter de nouvelles méthodes de travail et de pensée.

Pour assurer une adhésion optimale aux nouvelles technologies, il est impératif d'adopter une approche holistique qui intègre non seulement la formalisation des connaissances techniques, mais également une analyse approfondie de l'adhésion au projet. Cela vise à élaborer des stratégies de communication efficaces, des programmes de formation personnalisés, et un accompagnement adapté tout au long du processus de numérisation. Pour atteindre cet objectif, nous proposons de renforcer notre démarche d'élicitation de connaissances en ajoutant une phase spécifique d'analyse de la recevabilité du projet. Fondée sur l'étude de la distribution binomiale (BERNOULLI 1713, SAPORTA 2006), cette analyse vise à élaborer des stratégies adaptées, offrant ainsi une approche globale qui tient compte des aspects humains afin de favoriser la collaboration active et l'adhésion des experts tout au long du processus de changement.

Le plan de cet article se décline en quatre parties principales. La première partie offre une vue d'ensemble des techniques d'élicitation des connaissances, en abordant les enjeux liés à la collecte et à la formalisation des savoirs, et détaille notre démarche d'élicitation des connaissances basée sur la didactique professionnelle (section 1). La deuxième partie discute les défis associés à la formalisation des connaissances et présente notre approche de construction d'ontologies formelles, centrée sur l'intégration des savoir-faire (section 2). Dans la troisième partie, nous enrichissons notre démarche en y intégrant

une phase d'analyse de contenu et d'évaluation de la recevabilité de la transformation numérique, visant à maximiser le succès du projet (section 3). L'article se poursuit par une quatrième partie consacrée à une étude expérimentale, illustrant la mise en œuvre de notre méthode dans le cadre de projets de collaboration industrielle (section 4). Enfin, nous concluons en récapitulant notre démarche, en présentant les principaux résultats obtenus, et en discutant des perspectives futures.

1. Élicitation des connaissances pour le recueil des savoir-faire

Les problématiques d'acquisition et de formalisation des connaissances sont au centre des recherches menées dans le domaine de l'*ingénierie de connaissances* (STUDER, BENJAMINS et FENSEL 1998). Cette discipline tire ses origines de l'intelligence artificielle et de la psychologie cognitive. Elle propose des concepts, méthodes et techniques permettant d'acquérir, de modéliser, et de formaliser les connaissances d'un domaine dans l'objectif d'opérationnalisation, de structuration et de communication. En ingénierie de connaissances, l'*élicitation de connaissances* correspond au processus permettant d'aider un expert métier à exprimer et formaliser ses connaissances dans un objectif de les conserver, les utiliser et les transmettre. C'est un long processus qui doit être adapté selon la nature des connaissances à acquérir, le domaine d'application, et les raisonnements à mettre en œuvre. C'est la phase la plus coûteuse et la plus délicate dans un processus de construction d'un système à base de connaissances.

En milieu industriel, recueillir les savoir-faire est une étape importante dans la construction de solutions numériques, et nécessite un accès direct aux connaissances et à l'expertise humaine. De nombreuses techniques d'élicitation de connaissances ont été proposées dans la littérature (GAVRILOVA et ANDREEVA 2012, IQBAL et SUAIB 2014, KHAN, DULLOO et VERMA 2014). La Figure 1 représente une taxonomie des techniques les plus utilisées (CHEN 2012). La classification proposée est basée sur la nature des techniques selon les types de communication utilisés par l'analyste pour obtenir les connaissances des experts. Ces techniques d'extraction de connaissances sont pour la plupart issues du domaine de la psychologie du travail. Certaines sont dites *directes*, et consistent à interroger l'expert et à le faire s'exprimer oralement, comme les interviews. Tandis que les autres, dites *indirectes*, sont fondées sur l'interprétation des éléments recueillis, capturés indirectement à partir d'autres sources, comme pour l'analyse documentaire.

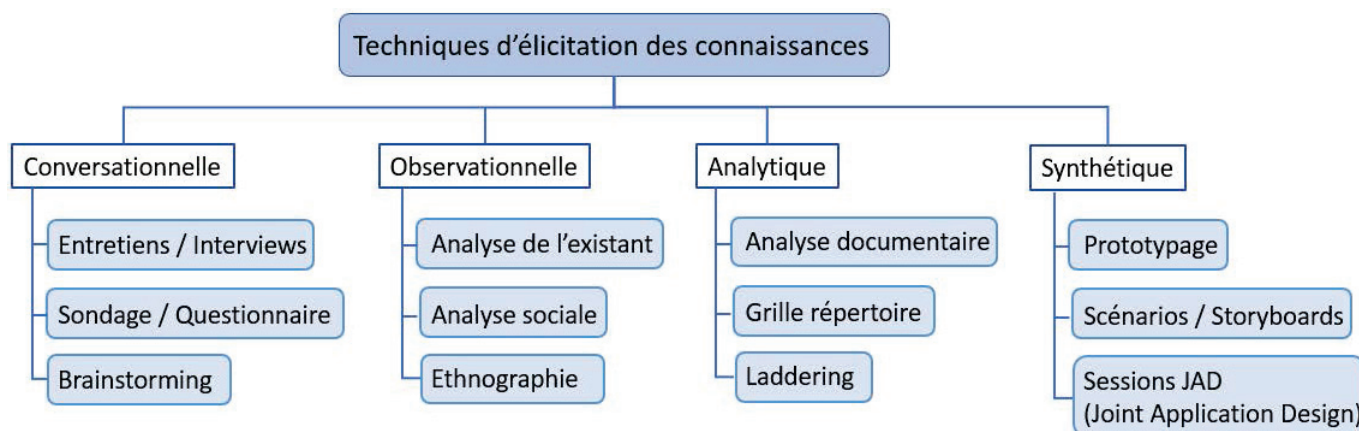


FIGURE 1. Taxonomie des techniques d'élicitation des connaissances.

1.1. Enjeux des techniques d'élicitation des connaissances

L'élicitation des connaissances est une étape critique dans le processus de développement des systèmes à base de connaissances. Il est donc impératif d'appliquer les techniques appropriées pour mener à bien ce processus selon la nature des connaissances et du raisonnement à mettre en œuvre. Il existe évidemment des combinaisons de ces techniques où différentes approches sont utilisées à différentes étapes du processus d'acquisition des connaissances. Néanmoins, le manque de méthodologies précises pour le choix et l'adaptation de ces techniques, ainsi que le grand écart entre le domaine de l'expert et celui de l'analyste rendent cette tâche difficile et source de plusieurs erreurs.

La conversation est l'une des formes d'interaction sociale les plus répandues. Les techniques conversationnelles sont donc très utiles pour l'acquisition des connaissances. Elles permettent également de découvrir les opinions, les sentiments et les objectifs des différents individus. Cependant, ces techniques demandent beaucoup de travail, comme pour l'organisation des réunions ou la production et l'analyse des transcriptions à partir des enregistrements (CHRISTEL et KANG 1992, SHARMA et PANDEY 2014). De plus, leur efficacité dépend fortement du comportement et de l'attitude des experts et de l'analyste où le contexte de la conversation joue un rôle très important (BYRD, COSSICK et ZMUD 1992).

Les techniques observationnelles sont très pratiques lorsque l'analyste manque d'expérience dans le domaine, et peuvent être utilisées pour la collecte de connaissances tacites liées à la pratique. Néanmoins, tout comme les techniques conversationnelles, les techniques d'observation sont également difficiles à maîtriser et nécessitent beaucoup de temps et d'organisation (HUDLICKA 1996).

La réutilisation de connaissances déjà disponibles permet de gagner du temps et de réduire les coûts. Les techniques analytiques sont alors utilisées pour la collecte des connaissances existantes qui ne sont pas directement exprimées, et provenant de sources différentes. Cependant, ces techniques sont principalement basées sur des données empiriques et de la documentation. Elles font appel à des connaissances antérieures et peuvent restreindre la vision globale du système. La possibilité de reproduire des erreurs est donc une menace constante pour ce type de techniques. Il ne faut les utiliser que dans des situations particulières et bien maîtrisées.

Il est important de souligner que les techniques présentées sont basées sur l'hypothèse implicite que les experts et l'analyste sont coopératifs et sincères, que les experts sont disposés à partager leurs connaissances, et que l'analyste possède l'expérience et les compétences nécessaires pour mener à bien une session d'élicitation. Cependant, dans la réalité, l'élicitation de connaissances est un processus d'interaction sociale complexe qui doit faire face à plusieurs difficultés :

- **Réticence de l'expert.** Le processus d'acquisition de connaissances met l'expert dans des conditions différentes auxquelles il est habitué. Il peut être donc réticent à ce processus, ou agir différemment, perturbé par la présence de l'analyste.
- **Explicitation des connaissances implicites.** Certaines connaissances ne sont pas directement verbalisables par les experts, et sont difficilement accessibles et communicables.
- **Sélection et accès aux connaissances génériques.** Ces connaissances correspondent à un domaine particulier et sont évidentes pour les experts du même domaine. Elles sont indispensables au raisonnement, peuvent être rendues explicites, mais sont rarement exprimées.
- **Distorsions des connaissances expertes.** L'analyste est souvent étranger au domaine de l'expert. Un décalage peut alors se créer entre les connaissances de l'expert et celles transcrites du fait d'une

mauvaise compréhension des propos de l'expert.

- **Hétérogénéité sémantique.** Plusieurs experts du même domaine sont concernés par le processus d'élicitation. Il n'est donc pas exclu de se retrouver dans des situations où les experts ne sont pas d'accord. L'expert peut aussi manquer de précision dans l'expression de ses connaissances ou se tromper, ce qui peut engendrer des incohérences ou des ambiguïtés sémantiques.

À ces difficultés s'ajoute le fait que la plupart des techniques d'élicitation des connaissances sont coûteuses, très complexes, et doivent faire face à une réticence générale, particulièrement dans l'industrie. De plus, il n'existe pas de méthodologies claires pour l'application de ces techniques qui sont souvent effectuées d'une manière ad-hoc, sans un processus prédéfini.

1.2. *Élicitation des connaissances basée sur la didactique professionnelle*

Un des principaux défis en élicitation de connaissances consiste à recueillir de manière aussi exhaustive que possible les connaissances métier et les exigences de la solution cible. Pour y parvenir, il est essentiel de combiner plusieurs techniques afin de bien appréhender le domaine, de structurer et d'adapter les entretiens, de gérer les éventuelles ambiguïtés et divergences entre experts, et d'assurer leur adhésion aux représentations numériques qui en résultent. La réussite d'un processus d'élicitation de connaissances repose largement sur la méthodologie employée et sur les solutions mises en œuvre pour surmonter les difficultés potentielles.

Comme discuté précédemment, les techniques d'élicitation reposent essentiellement sur la participation des experts métier. De ce fait, la volonté de ces derniers à partager leurs connaissances et leur adhésion au projet joue un rôle principal dans la réussite de l'opération. De plus, la nature des interactions humaines et sociales que les experts du domaine peuvent avoir avec leur interlocuteur peut fortement affecter leur comportement et l'expression de leur savoir-faire.

Pour répondre à ces défis, nous avons développé, en collaboration avec des chercheurs dans le domaine des Sciences Humaines et Sociales, une approche d'élicitation de connaissances inspirée de la *didactique professionnelle*, et basée sur les apports de la psychologie du travail et du développement (PASTRÉ 2004). Notre approche est une combinaison des techniques conversationnelles, observationnelles et analytiques, et peut être adaptée selon le domaine d'application, la nature des connaissances à collecter, et les besoins du système à développer.

Notre démarche vise à capter et intégrer à la fois les connaissances implicites et explicites. Elle prend en compte leur état psychologique lors des entretiens pour assurer la clarté, la complétude et la cohérence des échanges, et de résoudre tout conflit apparent. En combinant des méthodes conversationnelles, observationnelles et analytiques, notre approche répond de manière efficace aux limitations des techniques traditionnelles d'élicitation des connaissances, en particulier l'explicitation des savoirs implicites, l'adhésion des experts métier et la résolution d'éventuels conflits liés à l'hétérogénéité sémantique des connaissances. Pour ce faire, nous intégrons des mécanismes issus d'autres disciplines pour gérer et atténuer les réticences potentielles des experts. En collaborant étroitement avec des spécialistes en sciences humaines et sociales, et en utilisant des techniques de psychologie du travail, nous élaborons des guides d'entretien plus ciblés et adaptés. Cela nous permet de traiter les sujets critiques de manière pertinente et d'instaurer un climat de confiance entre l'analyste et les experts métier. Par ailleurs, l'observation directe du travail des experts nous permet de capturer les connaissances tacites et de mettre en lumière

les sujets essentiels à traiter pour enrichir le processus d’éllicitation et ajuster continuellement les guides d’entretien. La dimension analytique de notre approche joue également un rôle crucial : elle permet de mieux appréhender le domaine concerné, de préparer et d’orienter les entretiens avec plus de précision, et d’intégrer les connaissances générales du domaine, telles que les théories scientifiques et les réglementations. Cela nous aide également à identifier en amont les experts pertinents et à planifier efficacement les sessions d’entretien, optimisant ainsi les efforts des analystes, le temps de participation des experts, et maximisant l’efficacité du processus. Les principales phases de notre approche sont présentées dans la Figure 2.

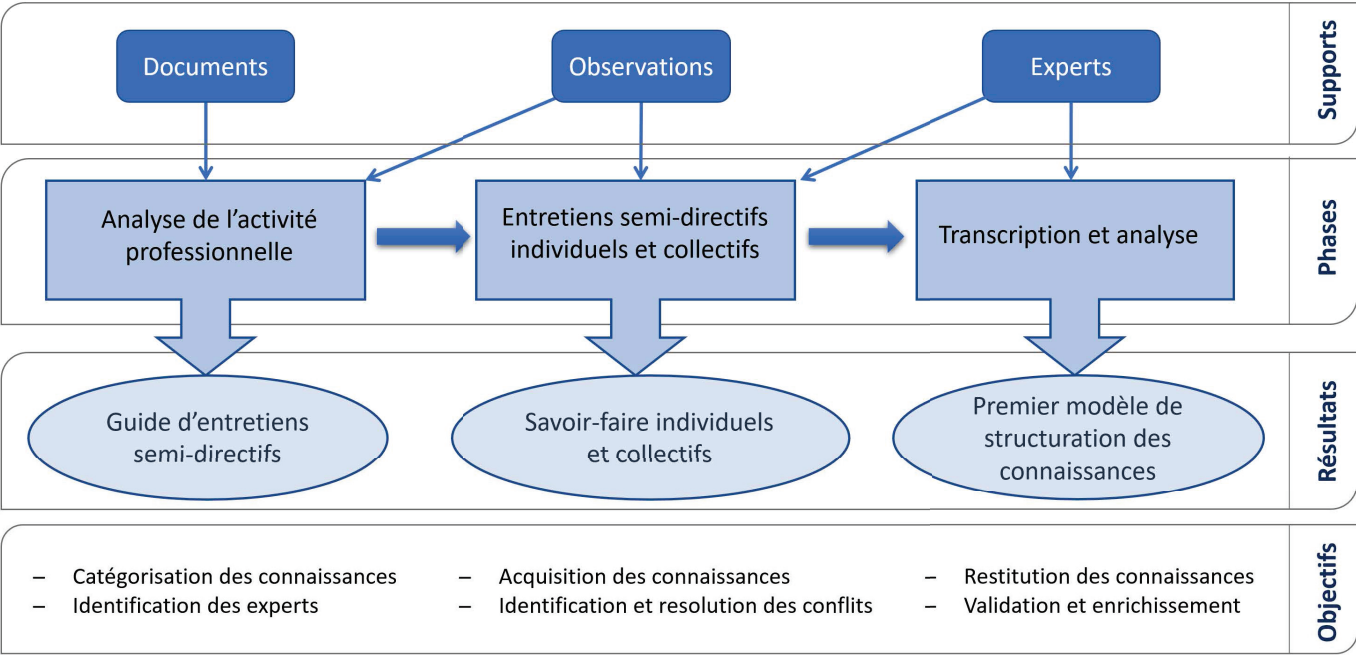


FIGURE 2. Approche d’éllicitation de connaissances pour le recueil des savoir-faire.

Analyse de l’activité professionnelle

Inspirée des approches analytiques, cette phase consiste à étudier les documents internes de l’entreprise et, dans certains cas, réaliser un état de l’art sur le domaine afin de collecter les connaissances génériques (réglementation, normes, processus, etc.). Ces connaissances sont indispensables au raisonnement, et ne sont toujours pas évidentes pour l’analyste. Il faut donc prendre conscience de leur existence et leur importance afin de les collecter et de les intégrer dans le système à développer.

Combinée à cette méthode analytique, nous proposons de réaliser une phase d’observation pré-entretien afin d’acquérir une meilleure compréhension du domaine d’application et des processus existants. L’objectif est de faire émerger un référentiel des connaissances et des modalités nécessaires pour accomplir une tâche précise. La finalité de cette phase est de construire, à partir de sources d’information hétérogènes (documents internes, état de l’art, observation), le dictionnaire des données de l’entreprise permettant de maîtriser une partie du vocabulaire métier du domaine indispensable pour préparer la phase des entretiens et faciliter la communication.

À l’issue de cette phase, le dictionnaire de données, le glossaire métier, ainsi que la liste des processus et des experts concernés par la collecte des savoir-faire, sont présentés aux experts métier pour validation.

Pour cela, nous utilisons généralement des plateformes de collaboration de type Wiki¹ afin de faciliter l'échange avec les experts. Cette phase permet d'assurer une compréhension commune et partagée du vocabulaire et des besoins du système à développer. Elle est indispensable dans un processus d'élicitation pour mieux préparer et définir les guides d'entretien, d'anticiper les temps nécessaires pour la réalisation de ces entretiens, et de définir en amont le planning selon la disponibilité des experts afin de gagner en temps et en efficacité. Notre expérience dans ce domaine a montré une bonne recevabilité de la démarche et une forte motivation et collaboration par les experts métier.

Entretien semi-directif

Cette phase consiste à extraire les connaissances en conduisant des entretiens adaptés, basés sur les guides élaborés lors de la phase précédente d'analyse. Ces entretiens sont menés pour explorer en profondeur les thématiques clés, en tenant compte des objectifs du projet et des spécificités des experts interviewés. Ils permettent d'orienter les discussions de manière structurée tout en offrant suffisamment de liberté d'expression à l'expert, garantissant ainsi que toutes les dimensions pertinentes sont explorées et que les connaissances recueillies couvrent l'ensemble des savoirs essentiels pour la construction de modèles numériques.

Dans les techniques conversationnelles, la conduite d'entretien est l'une des pratiques de collecte de connaissances les plus utilisées. Elle peut être directive, non-directive, ou semi-directive (CHEVALIER et MEYER 2018). Dans notre approche, nous utilisons les entretiens semi-directifs basés sur un dialogue continu. Pour cela, un guide d'entretien est réalisé au préalable avec des questions directives afin de lister les points à aborder. Il se poursuit, selon la réponse de l'expert, par un ensemble de questions libres laissant la liberté à l'expert de s'exprimer. Dans notre approche, les guides d'entretien sont définis en partenariat avec des experts en psychologie de travail et en Sciences Humaines et Sociales afin de bien prendre en compte l'état psychologique des experts lors des entretiens, les aider à mieux exprimer leurs pensées, et faire face aux éventuels soucis de réticence.

Dans notre approche, une première étape d'entretiens individuels est réalisée. Elle permet de recueillir l'information générale concernant l'exercice des savoir-faire de manière individualisée. Dans cette phase d'entretien, les techniques d'observation entrent également en jeu lorsque la communication verbale devient insuffisante pour la collecte des connaissances tacites. Elles permettent également la vérification et la validation des connaissances recueillies.

Des entretiens collectifs pourraient être réalisés si l'équipe le juge pertinent. Ceux-ci seront effectués après analyse des entretiens individuels, et permettent de traiter des thèmes spécifiques, souvent relatifs à des sujets de confusion ou de désaccord entre experts. L'objectif de ce travail collaboratif est de lever l'ambiguïté et d'uniformiser les connaissances collectées. Dans notre approche, ce processus est réalisé par des analystes, dotés de compétences en psychologie du travail et en relations interpersonnelles, afin de faciliter l'établissement d'un consensus entre des groupes hétérogènes d'experts. Ces compétences sociales sont aussi importantes que les techniques utilisées dans le processus d'élicitation.

1. Un wiki est une application web qui permet la création, la modification et l'illustration collaboratives de pages à l'intérieur d'un site web. Nous utilisons dans notre approche Semantic MediaWiki : https://www.semantic-mediawiki.org/wiki/Semantic_MediaWiki

La transcription des entretiens est la restitution des propos de l'expert en vue d'une analyse (RIOUFREY 2016). Elle doit être fidèle, compréhensible et complète. Ainsi, pour garantir la clarté et l'uniformité des transcriptions, nous proposons la construction d'un modèle général et structuré (*template*) regroupant l'ensemble des métadonnées à associer pour chacun des entretiens transcrits. La mise en place d'un template commun pour la restitution aide également à la structuration et l'organisation des connaissances collectées.

Après la transcription sous forme textuelle des entretiens (enregistrés en audio), un volume important de propos des experts est collecté. Pour traiter le résultat, nous procédons à une *analyse thématique catégorielle* (DANY 2016), une technique en sciences humaines et sociales permettant de décrire et de tirer des conclusions sur les caractéristiques d'une communication. Elle met l'accent sur l'identification, l'analyse, et l'interprétation des patterns de sujets ou thèmes au sein des textes examinés, en répondant aux questions basiques de type *Qui, Quoi, Quand, Comment*, etc.

L'analyse des entretiens permet également la collecte de règles logiques en lien avec le savoir-faire afin de les coder et les intégrer dans le modèle formel. Ces règles sont directement extraites du corpus d'entretiens, et correspondent à des phrases de type conditionnel comme : "*Si...alors*", "*Quand...*", "*Il faut...*". Les connaissances collectées et le résultat de l'analyse sont restitués et présentés aux experts pour validation avant formalisation et transformation numérique de ces connaissances. Par souci de déontologie, la restitution est anonyme, et aucun entretien n'a été intégralement transmis hormis à l'équipe de recherche.

2. Modélisation formelle des connaissances

Une ontologie est une représentation formelle de la connaissance. Elle est définie comme une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée d'un domaine d'intérêt (STUDER, BENJAMINS et FENSEL 1998). Elle fournit une structure commune et partagée des concepts, leurs propriétés et leurs relations, et permet la représentation des connaissances d'un domaine sous une forme interprétable par la machine. Par conséquent, une ontologie est destinée à être utilisée comme un composant logiciel dans des systèmes informatiques répondant à des objectifs opérationnels différents. Au cours des dernières années, il y a eu un réel intérêt pour l'application des ontologies dans plusieurs domaines afin de résoudre des problèmes de modélisation liés à la gestion de connaissances, tels que l'intelligence artificielle, la linguistique, le web sémantique, l'intégration de bases de données hétérogènes, etc.

De nombreuses méthodologies de construction d'ontologies ont été proposées dans la littérature. Elles se distinguent selon le type d'ontologie à développer (générique ou du domaine) et des données en entrée (corpus de textes, bases de connaissances, schémas de base de données, etc.). La plupart des méthodologies existantes proposent des recommandations et directives générales sous forme de guides à respecter dans le processus de développement (GRUBER 1995, GÓMEZ-PÉREZ, JURISTO et PAZOS 1995, NOY et MCGUINNESS 2004). Certaines méthodologies proposent de suivre des phases de construction inspirées des processus de développement en entreprise (GRUNINGER et FOX 1996), tandis que d'autres méthodologies plus complètes tentent de combiner plusieurs approches pour construire une démarche unifiée (USCHOLD 1996, DE NICOLA, MISSIKOFF et NAVIGLI 2005).

Il est généralement admis que, pour être efficace et économiquement faisable, les ontologies doivent être développées de manière collaborative. Une première méthodologie de développement collaboratif d'ontologies a été proposée par Holsapple *et al.* (HOLSAPPLE et JOSHI 2002). Depuis, Construire des ontologies de manière collaborative est devenu un paradigme central définissant l'*ingénierie d'ontologie collaborative*, et plusieurs méthodologies ont été proposées dans le domaine (SIMPERL et LUCZAK-RÖSCH 2014, HAYES, ESKRIDGE, SAAVEDRA et al. 2005). Cette catégorie se base sur le fait qu'une ontologie doit faire l'objet d'un consensus et être acceptée par la communauté du même domaine. Elle fait intervenir plusieurs personnes qui doivent travailler ensemble afin de créer une compréhension commune et partagée de la structure et du sens des concepts de l'ontologie.

2.1. *Enjeux des méthodologies de construction d'ontologies*

Malgré les efforts et le nombre croissant de travaux sur la construction d'ontologies (FERNÁNDEZ-LÓPEZ 1999, PINTO et MARTINS 2004, GÓMEZ-PÉREZ, FERNÁNDEZ-LÓPEZ et CORCHO 2004), nous constatons que les méthodologies proposées sont souvent limitées à des recommandations et ne constituent pas une méthodologie complète. Elles sont développées de manière indépendante et se limitent souvent à des études de cas pour le développement d'une seule ontologie liée à un projet particulier. Le principal obstacle à l'application de ces méthodologies est qu'il n'y a pas d'indication claire sur le degré de généralité de ces techniques et méthodes individuelles. Par conséquent, il est difficile de décider quelles méthodologies sont susceptibles de s'appliquer pour un domaine particulier.

Impliquer différents acteurs et experts du domaine dans le processus de construction d'ontologie est l'ambition de l'ingénierie d'ontologie collaborative. Elle vise à construire une ontologie riche et complète en impliquant plusieurs acteurs ou groupes. Néanmoins, elle est principalement basée sur l'hypothèse qu'un compromis est toujours possible en cas de divergence d'opinions et de connaissances, ce qui ne reflète toujours pas la réalité. Les groupes de participants dans le processus sont généralement géographiquement décentralisés et ayant des domaines de compétences variés, rendant ainsi difficile la définition d'un consensus qui doit se faire de manière progressive et asynchrone. Euzanat (EUZENAT 1995, EUZENAT 1996) a identifié un certain nombre de problèmes liés à la construction d'ontologies dans un contexte distribué, comme la gestion des interactions et la communication entre les différentes personnes, le contrôle de l'accès aux données, et la détection et la correction d'erreurs. D'autres limites de la construction d'ontologie collaborative sont également discutées dans (SIMPERL et LUCZAK-RÖSCH 2014). Les méthodologies existantes sont souvent spécifiques à des projets particuliers, et sont difficiles à généraliser.

De manière générale, les approches existantes de construction d'ontologies restent empiriques, sans méthode normalisée. Elles ne prennent pas en compte certains aspects humains, ne proposent pas de solutions pour assister et orienter les experts dans l'expression de leur savoir-faire, et ne font pas face aux réticences et appréhensions potentielles face à cette transformation technologique. Pour résoudre ce problème, nous proposons dans la section suivante une méthodologie collaborative pour le développement d'ontologies centrée sur l'expert et basée sur la technique d'élicitation des connaissances que nous avons proposée dans la section 1.2.

2.2. Du savoir-faire à l'ontologie formelle

Une fois que les savoir-faire sont clairement identifiés, il est nécessaire de les exprimer dans un langage compréhensible par la machine. Le passage d'une description informelle à une modélisation formelle des connaissances est un processus complexe et risqué. Afin de répondre à cette problématique, nous proposons une démarche pour structurer, modéliser et formaliser les connaissances. La Figure 3 en représente les principales étapes. Après l'élicitation des connaissances pour le recueil du savoir-faire, une structuration et une modélisation semi-formelle sont réalisées, suivies d'une formalisation sémantique de ces savoirs avec intégration des ontologies existantes du domaine. La phase de raisonnement repose sur l'intégration des savoirs formalisés dans des systèmes d'intelligence artificielle, avec un retour de cohérence pour vérifier que le modèle fonctionne correctement en contexte réel. Tout ajustement apporté à la formalisation doit être qualifié et validé par les experts métier pour garantir son exactitude et sa pertinence. Cette rétroaction est essentielle pour affiner continuellement les modèles, assurant ainsi une adéquation entre la théorie et la pratique, et garantissant une implémentation robuste et adaptée aux besoins réels des utilisateurs. Notre proposition est une hybridation des deux principales approches utilisées en ingénierie des connaissances pour la construction de modèles. La première correspond à une démarche ascendante basée sur les techniques d'extraction et d'identification des connaissances, tandis que la deuxième est une démarche descendante qui privilégie la réutilisation et l'adaptation de modèles existants (AUSSENAC-GILLES, CHARLET et REYNAUD 2012).

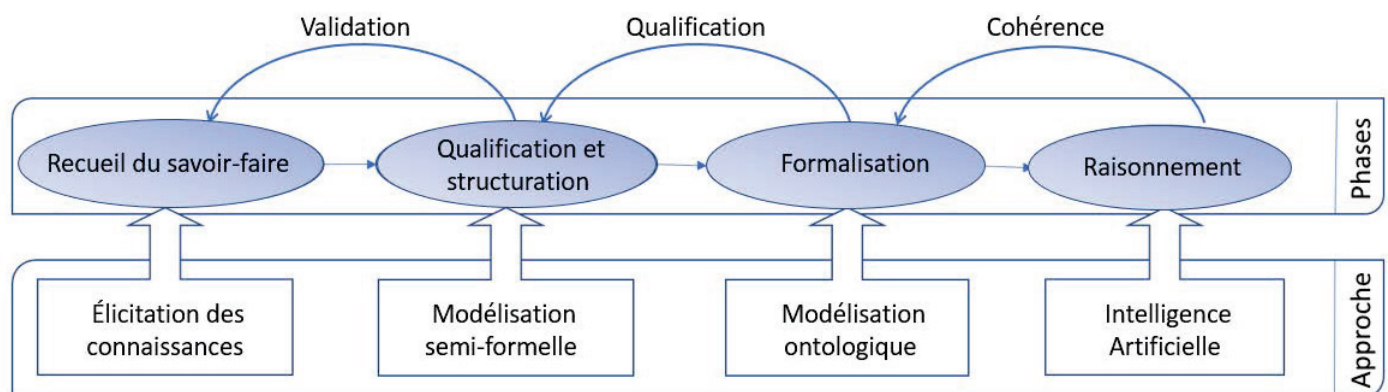


FIGURE 3. Approche de formalisation des savoir-faire.

Structuration et modélisation semi-formelle

L'objectif de cette phase est de passer d'une représentation informelle des savoir-faire, exprimés en langage naturel, à une structuration cohérente et une modélisation semi-formelle sous forme de cartes mentales et de diagrammes UML (Unified Modeling Language) (OMG© 2017). Ce standard de modélisation d'un domaine, selon le paradigme objets, propose un ensemble de diagrammes permettant l'expression des différentes facettes d'un savoir-faire : la définition des éléments statiques, la modélisation des comportements dynamiques associés (les usages), ainsi que la représentation des contraintes associée à ces usages.

Dans le cadre de notre démarche, l'utilisation d'une modélisation semi-formelle avant la formalisation ontologique des connaissances est cruciale, notamment dans le contexte de la transformation numérique en milieu industriel. Actuellement, les ontologies sont principalement développées par des ingénieurs

spécialisés, et les méthodes de validation de ces ontologies manquent souvent de support technique adéquat. Cette complexité freine l'adoption des technologies sémantiques dans l'industrie, où la compréhension et l'intégration des ontologies nécessitent des compétences spécialisées (TUDORACHE 2020). Ce défi constitue un obstacle majeur à leur adoption industrielle (LUPP, HODKIEWICZ et al. 2020).

En milieu industriel, les outils de génie logiciel jouent un rôle essentiel à chaque étape de la réalisation des projets. La modélisation orientée objet, en particulier, offre de nombreux avantages pour la représentation et la conceptualisation des connaissances, car elle s'aligne bien avec les modèles intuitifs du monde réel (ENGELS, GROENEWEGEN 2000). Dans ce contexte, le langage UML est utilisé pour la modélisation et la visualisation des systèmes. Il se distingue par la clarté de ses diagrammes, qui sont facilement compréhensibles par les utilisateurs. De plus, la modélisation UML est largement adoptée dans le milieu industriel, car elle permet de structurer de manière précise les savoirs métier et les processus organisationnels, en faisant un outil idéal pour la représentation des connaissances avant leur formalisation ontologique. La modélisation UML a été choisie non seulement pour sa capacité à concilier rigueur informatique et clarté conceptuelle, mais aussi pour sa standardisation, rendant les modèles accessibles et compréhensibles à tous les participants du projet. Ce double avantage en fait un outil privilégié pour assurer une transition efficace entre la collecte des connaissances et leur formalisation ultérieure.

Dans le cadre de notre approche, cette étape de modélisation est basée sur les résultats de la phase d'analyse et de restitution des connaissances, présentée dans la section 1.2.3. Elle est réalisée en collaboration avec les experts métier, qui sont les seuls à pouvoir valider les modèles proposés. La modélisation UML est principalement utilisée pour assurer la bonne compréhension des savoir-faire et les attentes des experts métier. Elle réduit considérablement le gap entre la description informelle des savoirs, fournie par les experts, et leur formalisation numérique qui doit être compréhensible par la machine. De plus, UML est basé sur une représentation graphique facilement compréhensible par les participants, et largement utilisé en milieu industriel. Dans notre approche, le modèle UML proposé doit être suffisamment expressif pour être compris par les experts du domaine, non-informaticiens et suffisamment contraint pour correspondre à une logique informatique. Il permettra ainsi de mener des échanges entre les différents intervenants pour obtenir une modélisation validée par tous.

Nous utilisons dans notre approche les diagrammes de classes UML permettant de mettre en avant les concepts du domaine (classes), leurs propriétés (attributs) et leurs relations (associations). Les diagrammes construits doivent être validés par les experts du domaine et révisés si nécessaire afin de représenter de manière cohérente et complète les connaissances recueillies lors de la phase d'élicitation des connaissances. Le langage UML est aussi maîtrisé par les personnels informatiques des entreprises, cela nous permet de les intégrer dans la démarche de transition numérique à partir de cette étape. Ils auront la charge, si ce n'est d'implémenter les modèles finaux présentés, au moins d'interconnecter la solution au système d'information numérique et de développer des services d'exploitation de ces connaissances.

Formalisation et modélisation ontologique

La modélisation UML répond aux besoins de structuration et de modélisation des connaissances, mais pas au besoin d'une compréhension machine. En effet, le langage UML ne permet qu'une représentation semi-formelle de la connaissance et ne prend pas en compte la mise en place des mécanismes de raisonnement associés aux savoir-faire et aux relations sémantiques entre concepts. Pour répondre à cette

limitation, nous proposons de traduire cette représentation UML en une équivalence sémantique formelle, sous la forme d'une ontologie, rendant les concepts et leurs relations plus compréhensibles pour des systèmes intelligents et facilitant leur exploitation dans des environnements de traitement automatique (MKHININI, LABBANI et NICOLLE 2019).

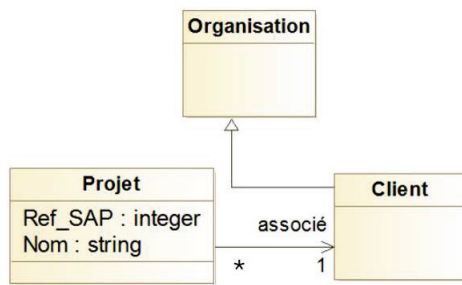
Plusieurs travaux scientifiques se sont intéressés à l'étude de la relation entre les modèles UML et les langages d'ontologie. Pour comprendre et positionner notre approche par rapport à ces travaux, nous avons réalisé une revue de littérature systématique (SLR : Systematic Literature Review) sur le sujet (MKHININI, LABBANI et NICOLLE 2020). Les résultats de cette étude ont révélé une grande diversité d'approches et d'application dans divers domaines, certaines bénéficiant d'outils spécifiques pour en faciliter la mise en œuvre, tels que OLED (OntoUML Lightweight EDitor) (GUERSON, SALES et al. 2015), UML2OWL2 (EL HAJJAMY, ALAOUI et al. 2016) et GenerateOWL (GHERABI, BAHAJ 2012). Toutefois, ces approches se limitent souvent à un sous-ensemble restreint de concepts des diagrammes de classes UML ou nécessitent des extensions du langage par l'ajout de stéréotypes spécifiques pour représenter des constructeurs ontologiques. OntoUML² (GUIZZARDI, WAGNER et al. 2015), par exemple, repose sur une extension d'UML qui réinterprète le méta-modèle en intégrant des éléments de modélisation conceptuelle pour l'ingénierie ontologique. Bien que cette méthode enrichisse la sémantique, elle peut restreindre son application dans certains contextes et complexifier le processus de modélisation pour les utilisateurs. La création et la gestion d'un modèle OntoUML nécessitent une expertise avancée en ontologies et en modélisation conceptuelle, ce qui peut représenter un obstacle à son adoption.

Notre étude a également révélé que la plupart des travaux existants se concentrent principalement sur une transformation syntaxique des diagrammes de classes UML en ontologies, sans tenir compte de la sémantique ni de l'intégration d'ontologies préexistantes, validées et reconnues par des experts du même domaine d'application. De notre expérience, la transformation des modèles UML en ontologie doit se baser, au-delà de la syntaxe, sur le contexte et le sens de chaque élément. Pour répondre à ce besoin et compléter les connaissances apportées par les experts métier, nous sélectionnons et réutilisons, dans notre approche, tout ou partie d'ontologies existantes issues de bases comme LOV³ (Linked Open Vocabularies). Pour ce faire, nous avons développé une approche basée sur la correspondance sémantique entre les modèles de connaissances permettant la réutilisation des ontologies existantes dans le domaine (MKHININI, LABBANI et NICOLLE 2019). Après validation par les experts métier des modèles UML générés à l'étape précédente, nous utilisons des règles de transformation inspirées des travaux existants pour passer des modèles UML représentants les savoir-faire à une représentation ontologique formelle. Nous proposons par la suite d'intégrer des ontologies existantes en identifiant les similarités sémantiques entre ces ontologies et les diagrammes de classes UML.

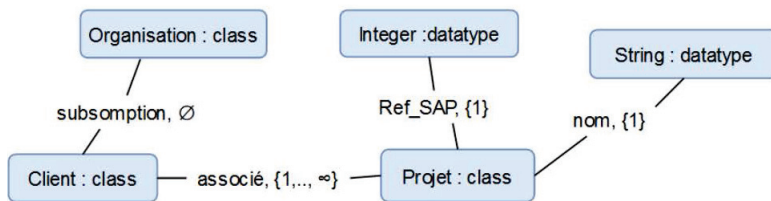
La Figure 4 illustre un exemple simplifié du processus de transformation, qui se décompose en trois étapes principales. Tout d'abord, les concepts clés du diagramme de classes UML (Figure 4a) sont identifiés, notamment les classes, les attributs et les relations entre les entités. Ensuite, ces concepts sont organisés dans un modèle intermédiaire sous forme de graphe (Figure 4b), ce qui permet de faciliter l'analyse de similarité avec des ontologies existantes dans le domaine et d'assurer la cohérence conceptuelle avant la formalisation finale. Enfin, chaque concept est transformé en axiomes OWL (Figure 4c), ce qui permet de construire une ontologie formelle. Cette ontologie peut être intégrée dans des systèmes

2. <https://ontouml.org/>

3. <https://lov.linkeddata.es/dataset/lov/>



(a) Diagramme de classes UML



(b) Représentation intermédiaire

```

Declaration(Class(:Client))
Declaration(Class(:Organisation))
Declaration(Class(:Projet))
Declaration(ObjectProperty(:associé))
Declaration(DataProperty(:Nom))
Declaration(DataProperty(:Ref_SAP))
SubClassOf(:Client :Organisation)
SubClassOf(
  :Projet DataExactCardinality(1 :Nom xsd:string)
)
SubClassOf(
  :Projet
  DataExactCardinality(1 :Ref_SAP xsd:integer)
)
SubClassOf(
  :Projet
  ObjectExactCardinality(1 :associé :Client)
)
ObjectPropertyDomain(:associé :Client)
ObjectPropertyRange(:associé :Projet)
DataPropertyDomain(:Nom :Projet)
DataPropertyDomain(:Ref_SAP :Projet)
DataPropertyRange(:Nom xsd:string)
DataPropertyRange(:Ref_SAP xsd:integer)
  
```

(c) Formalisation ontologique en OWL

FIGURE 4. Exemple simple de transformation d'un diagramme UML en ontologie OWL :
 (a) Diagramme de classes UML initial. (b) : représentation intermédiaire sous forme de graphe.
 (c) Ontologie résultat après transformation.

sémantiques, offrant ainsi une représentation précise et exploitable des connaissances métier. Cette méthodologie de transformation progressive, partant d'une modélisation semi-formelle en UML jusqu'à la formalisation en OWL, permet de s'assurer que les connaissances métier sont correctement capturées, structurées et prêtes pour l'intégration dans des systèmes sémantiques plus larges. Elle facilite également la réutilisation et l'adaptation des connaissances dans différents contextes, grâce à l'utilisation de standards, et améliore l'interopérabilité avec d'autres systèmes ontologiques existants.

Une étape d'alignement des concepts identifiés dans des sources externes (connaissance du domaine) et ceux définis en local (savoir-faire des experts de l'entreprise) est également nécessaire pour mettre en correspondance les connaissances du domaine et les savoir-faire des experts métier. Ainsi, l'ontologie finale définit le vocabulaire logique qui permet d'exprimer des faits et des connaissances du domaine et les connaissances métier sur lesquelles nous pouvons raisonner. Cette approche permet l'identification des ensembles sémantiques correspondant à la description de chaque élément du savoir-faire en relation avec les connaissances du domaine. L'objectif est également de proposer une standardisation des savoirs et des connaissances métier, réduisant ainsi les risques de malentendus et de pertes d'information lors des échanges entre services. Cela assure une communication cohérente et une compréhension partagée à tous les niveaux de l'organisation. Par ailleurs, cet alignement garantit que l'ontologie reste suffisamment flexible pour évoluer avec le temps, en intégrant de nouvelles connaissances ou en s'adaptant aux évolutions du domaine ou des pratiques métier. Cette approche favorise une collaboration accrue entre les experts métier et les spécialistes du domaine en créant un langage commun qui facilite les échanges et la co-crédation de solutions innovantes. De plus, elle veille à ce que les outils développés soient non seulement pertinents, mais aussi directement applicables dans le contexte opérationnel de l'entreprise.

L'ontologie résultante servira donc de base pour construire des cas d'usages métier et des outils numériques adaptés sur lesquels des règles de raisonnement logique pourront être ajoutées.

Raisonnement logique

Dans l'optique de développer des outils numériques fondés sur les savoir-faire et les connaissances métier, l'ontologie développée sert non seulement d'outil de formalisation des connaissances et d'analyse sémantique, mais également de cadre structurant regroupant un ensemble de règles logiques qui permettent de construire des systèmes de raisonnement capables d'inférer de nouvelles connaissances et de fournir des explications des résultats obtenus. L'ontologie devient alors un véritable médiateur des savoirs, au sens des Sciences de l'Information et de la Communication, ouvrant ainsi la voie à des usages technologiques avancés (DAVALLON 2003).

Dans notre approche, l'ontologie a un double objectif : d'une part, elle sert à capitaliser, standardiser et structurer les connaissances complexes et les règles métier de manière cohérente et interopérable, et d'autre part, elle permet de développer des outils de raisonnement automatique capables de créer des solutions innovantes en intelligence artificielle. Ces solutions sont conçues pour prendre des décisions éclairées, automatiser des processus complexes et fournir des réponses précises dans des domaines variés. En définissant clairement les concepts, leurs relations et les règles qui les régissent, les ontologies permettent aux systèmes informatiques de raisonner, d'interpréter et de manipuler les informations de manière logique, réduisant ainsi les risques d'incohérence. Elles ouvrent également la voie à la création de services innovants pour les utilisateurs, tels que la recherche d'événements, l'identification des causes sous-jacentes, et la recommandation personnalisée. Ces outils améliorent non seulement la productivité, mais créent également de nouvelles opportunités d'innovation en exploitant les connaissances organisationnelles de manière intelligente et automatisée. De plus, ce processus assure l'évolution continue des systèmes, en facilitant l'intégration de nouvelles connaissances et l'adaptation aux changements stratégiques de l'entreprise, garantissant ainsi une réactivité et une pertinence accrues face aux évolutions technologiques.

3. Analyse de contenu pour évaluer la recevabilité de la transformation numérique

Souvent enracinées dans des méthodes traditionnelles, les entreprises peuvent être confrontées à une résistance au changement et à la transformation numérique en raison de la peur de l'inconnu, d'une culture d'entreprise figée ou d'habitudes de travail solidement établies. Cette réticence peut entraver l'adaptation aux évolutions et compromettre la capacité à exploiter pleinement les opportunités offertes par les avancées technologiques. Dans (GREENAN 1996, WAN, ONG et LEE 2005), les auteurs parlent de la "rigidité organisationnelle" au sein de l'entreprise qui est un des principaux facteurs atténuant la capacité d'une entreprise à réaliser des innovations, et insistent sur le rôle de la communication afin de créer un environnement favorable à la production et à la propagation de nouvelles idées dans l'entreprise.

Afin d'anticiper toute potentielle rigidité organisationnelle, il est essentiel de mener une analyse approfondie de la recevabilité des experts métier de tout projet de transformation numérique. Pour ce faire, nous proposons d'intégrer dans notre démarche d'élicitation des connaissances une phase d'**analyse de contenu et évaluation de la recevabilité**. Cette analyse permettra de mieux cerner les attitudes, les résis-

tances potentielles, et les attentes des différents acteurs impliqués, afin d'ajuster les stratégies de conduite du changement en conséquence. En identifiant en amont les facteurs susceptibles de freiner l'adhésion au projet, nous pourrions mettre en place des actions ciblées pour favoriser une adoption harmonieuse et durable des nouvelles technologies. De plus, cette analyse contribuera à identifier les sujets les plus pertinents et prioritaires, permettant ainsi d'affiner et d'orienter avec plus de précision la stratégie de transformation numérique.

3.1. Principes de base de l'analyse de contenu

Selon Bardin, *l'analyse de contenu apparaît comme un ensemble de techniques d'analyse des communications utilisant des procédures systématiques et objectives de description du contenu des messages* (BARDIN 2003). Cette méthode permet d'interpréter de manière rigoureuse et impartiale le contenu des communications, qu'elles soient verbales ou écrites. Lorsqu'il s'agit d'évaluer la recevabilité d'un projet, l'analyse de contenu offre une compréhension approfondie des perceptions, des attitudes, et des sentiments des parties prenantes, permettant ainsi de prévoir les réactions et d'ajuster les stratégies en conséquence, contribuant ainsi à une gestion plus efficace du changement en tenant compte des dynamiques humaines et organisationnelles.

L'analyse de contenu est une méthodologie couramment employée en sciences sociales (DANY 2016). Elle peut prendre différentes formes en fonction du contenu à examiner et des objectifs de l'analyse. Cette méthode s'adapte à diverses approches, qu'elles soient qualitatives ou quantitatives, offrant ainsi une flexibilité pour répondre à une large gamme de questions de recherche. Utilisée de façon méthodique, l'analyse de contenu devient un outil puissant pour identifier les thèmes sous-jacents et interpréter les messages véhiculés dans les communications. Les principales étapes de l'analyse de contenu se décomposent généralement en quatre phases :

1. **Définition des objectifs et questions de recherche** : cette phase consiste à déterminer ce que l'on cherche à comprendre ou à découvrir à travers l'analyse. Il s'agit de clarifier les buts de l'étude et de formuler des questions précises qui orienteront l'ensemble du processus d'analyse de contenu.
2. **Collecte et préparation des données** : après avoir défini les objectifs, il est nécessaire de sélectionner les sources de données pertinentes, comme des documents écrits ou des transcriptions d'entretiens. Ces données doivent ensuite être préparées pour l'analyse, ce qui peut inclure la transcription de contenus audio ou vidéo, ainsi que le nettoyage des données pour retirer les éléments non pertinents.
3. **Analyse des données et interprétation des résultats** : cette phase implique l'analyse et le codage des données. Elle comprend la classification des éléments de contenu, l'application des techniques d'analyse pour identifier les motifs récurrents et les relations entre les thèmes, ainsi que l'extraction des significations profondes. L'interprétation des résultats permet de répondre aux questions de recherche posées initialement.
4. **Présentation des conclusions** : au cours de cette dernière phase, les résultats de l'analyse sont synthétisés et présentés sous forme de rapport ou d'étude. Cette phase comprend la mise en évidence des principaux enseignements tirés de l'analyse, ainsi que la formulation de recommandations ou d'actions basées sur les résultats obtenus.

Ces phases principales de l'analyse de contenu sont étroitement liées, formant un processus cohérent qui permet d'explorer en profondeur les données recueillies. Ce processus rigoureux permet de révéler

des éléments clés exploitables pour répondre aux questions de recherche. En synthétisant les résultats et en formulant des recommandations, l'analyse de contenu devient un outil indispensable pour éclairer la prise de décision et orienter les actions futures de manière informée et stratégique.

3.2. Application dans le contexte de la transformation numérique

Dans le cadre de notre étude visant à garantir le succès de la transformation numérique et à anticiper toute rigidité organisationnelle potentielle, nous utilisons l'analyse de contenu pour examiner en profondeur les perceptions, attitudes et préoccupations des parties prenantes. Cette méthode joue un rôle crucial dans l'évaluation de la réceptivité au projet, en permettant d'identifier les obstacles potentiels et de déterminer les priorités essentielles pour faciliter l'adoption du changement. Ainsi, nos objectifs et questions de recherche doivent être formulés de manière à capturer les aspects critiques du projet. Ils doivent se concentrer sur la perception des experts interviewés vis-à-vis de la transformation numérique, l'identification des freins potentiels à son adoption, ainsi que la détermination des attentes spécifiques à prendre en compte pour assurer une transition réussie.

Nos questions de recherche s'articulent principalement autour de plusieurs axes essentiels. Tout d'abord, nous visons à comprendre les perceptions des experts à l'égard du projet : considèrent-ils cette transformation numérique comme bénéfique et pertinente, ou, au contraire, la jugent-ils inutile ? Nous cherchons également à déterminer si les experts métier ressentent un besoin réel pour cette transformation et, si c'est le cas, comment cette nouvelle technologie pourrait améliorer leur travail quotidien. De plus, il est crucial d'explorer leurs attentes spécifiques et d'identifier les améliorations qu'ils jugent nécessaires, notamment en ce qui concerne les fonctionnalités supplémentaires qui pourraient faciliter leur travail ou rendre les processus plus efficaces. Cette analyse constitue la première étape de notre démarche d'analyse de contenu : **Définition des objectifs et questions de recherche**.

Une fois l'objectif de l'analyse de contenu défini et les questions de recherche clairement établies, la prochaine étape, **Collecte et préparation des données**, consiste à recueillir et sélectionner les données pertinentes à analyser. Dans notre cas, ces données proviennent des entretiens réalisés dans le cadre de la méthodologie d'élicitation des connaissances décrite dans la section 1.2. Ces entretiens offrent une source précieuse d'informations directes sur les opinions, préoccupations et attentes des différentes parties prenantes. Pour approfondir ces aspects, nous avons intégré dans le guide d'entretien un thème spécifique axé sur les attentes et l'évaluation de la recevabilité du projet. Ce thème comprend des questions ciblées telles que : *"Si l'on mettait à votre disposition un outil numérique permettant de [décrire les fonctionnalités de l'outil], en quoi cela pourrait-il vous être utile dans votre travail ?"*, *"Parmi les valeurs ajoutées du projet, pourriez-vous identifier celles que vous estimez pertinentes pour votre fonction et les classer par ordre d'importance ?"*, et *"Selon vous, quelles autres fonctionnalités aimeriez-vous intégrer à un tel outil pour améliorer le processus ?"*. Des questions plus spécifiques peuvent également être ajoutées pour cibler des fonctionnalités précises en fonction des services et des processus de l'entreprise. Les réponses à ces questions visent à évaluer l'utilité perçue du projet par chaque individu et à recueillir les besoins et attentes spécifiques à intégrer ou à prioriser dans le processus de numérisation. Comme pour les autres questions du guide d'entretien semi-directif, ce panel de questions a été élaboré en collaboration avec des experts en sciences humaines et sociales ainsi qu'en psychologie du travail. Cette collaboration a pour but de mieux accompagner les experts dans l'expression de leurs besoins et ressentis vis-à-vis du projet,

en s'assurant que les interrogations sont formulées de manière à encourager une communication ouverte et constructive.

Après la restitution et le nettoyage des informations collectées lors des entretiens, la phase suivante, **Analyse des données et interprétation des résultats**, correspond à l'analyse proprement dite. Il existe différentes méthodes d'analyse de contenu, chacune étant adaptée à des objectifs de recherche spécifiques. Le choix et l'orientation de l'analyse dépendent étroitement des questions de recherche formulées, ainsi que de la nature du matériel à analyser (L'ÉCUYER 2011). Dans le cadre de notre étude, l'analyse de contenu se concentre sur l'identification des besoins prioritaires des experts métier et sur l'évaluation de la recevabilité de la transformation numérique, en se basant sur l'examen des termes spécifiques employés lors des entretiens. Pour ce type d'analyse, la méthode la plus appropriée est souvent l'**analyse catégorielle thématique** (HSIEH et SHANNON 2005, DANY 2016). Cette méthode, couramment utilisée en analyse de contenu, permet de regrouper les énoncés en différents thèmes d'analyse (NÉGURA 2006). Moliner recommande particulièrement cette approche pour les recherches où les entretiens constituent la principale source de données (MOLINER 1995), et Bardin définit cette technique comme "*le comptage d'un ou de plusieurs thèmes ou items de signification dans une unité de codage préalablement déterminée*" (BARDIN 2003).

Après la transcription des entretiens, un volume conséquent de données provenant des experts a été collecté. Dans un premier temps, nous avons appliqué une analyse thématique catégorielle, qui consiste à organiser les informations recueillies en les regroupant par thème. Cette méthode implique de segmenter les textes en unités de sens, alignées sur les thématiques abordées dans le guide d'entretien, telles que : métiers et fonctions, savoir-faire et expérience, attentes et réceptivité, etc. Pour chaque entretien, nous isolons les thèmes pertinents correspondant aux connaissances exprimées par l'expert, et, en fonction des objectifs de l'étude, nous procédons à un examen approfondi et à l'interprétation de ces thèmes.

Dans le cas de l'étude de la recevabilité, nous concentrons notre analyse sur la catégorie "attentes et recevabilité" afin d'examiner comment une innovation technologique peut s'intégrer dans le processus de travail, en particulier dans un contexte industriel. Cette approche nous permet de saisir les nuances des opinions exprimées par les experts et de détecter les signaux d'adhésion ou de résistance à l'innovation. Elle offre également une compréhension approfondie des motivations sous-jacentes, des craintes spécifiques, et des attentes des experts métier.

Pour modéliser la probabilité d'adhésion des experts au projet de transformation numérique, nous proposons d'appliquer des mesures statistiques basées sur l'étude de la distribution binomiale (BARDIN 2003). Lors de la prise de décision sur la recevabilité d'un projet, l'analyse binomiale peut aider à déterminer la probabilité que le nombre de succès (par exemple, l'approbation du projet) dépasse un seuil critique. Cette analyse peut être également utilisée pour identifier les scénarios à risque élevé et de mettre en œuvre des stratégies de gestion des risques plus efficaces. Ainsi, l'utilisation de l'analyse binomiale dans l'étude de la recevabilité de projets s'avère particulièrement utile lorsqu'il s'agit d'évaluer des scénarios binaires, tels que l'acceptation ou le rejet d'un projet. Pour ce faire, nous calculons un **seuil de significativité** en appliquant la formule suivante, dite "**Binomiale de Bernoulli**" (théorème de Bernoulli, 1713) (DROESBEKE, FINE et SAPORTA 2002) :

$$P(X = k) = \binom{n}{k} p^k (1 - p)^{n-k}$$

Cette formule peut être utilisée pour identifier les thèmes significatifs selon la fréquence de leur apparition dans un discours par rapport à un seuil attendu. En d'autres termes, elle permet d'évaluer si l'occurrence d'un thème donné est suffisamment élevée pour être considérée comme statistiquement significative. Les paramètres de la formule dans ce contexte sont les suivants :

- n représente le nombre total de discours ou segments de discours analysés (par exemple, le nombre d'entretiens).
- k représente le nombre de fois où un thème spécifique apparaît dans ces discours.
- p représente la probabilité théorique d'apparition de ce thème.
- $P(X = k)$ représente la probabilité que le thème apparaisse exactement k fois parmi les n discours ou segments analysés.

En comparant la probabilité calculée $P(X = k)$ à un seuil de significativité prédéfini, nous pouvons déterminer si la fréquence d'apparition d'un thème est statistiquement significative. Cette approche permet de cibler les thèmes qui méritent une attention particulière, car leur fréquence élevée suggère probablement des préoccupations, des intérêts ou des perceptions centrales partagées par les participants.

L'intégration d'une analyse thématique dans notre démarche enrichit le processus global en mettant en lumière les thèmes significatifs qui apparaissent de manière récurrente dans les discours. Pour approfondir cette étude, nous proposons également d'appliquer d'autres tests statistiques, tels que le calcul de la **prolixité moyenne**, qui mesure la durée moyenne du temps de parole lors des entretiens. Une prolixité plus élevée chez les experts métier interviewés, par rapport à celle de l'analyste, est souvent interprétée comme un indicateur d'intérêt pour le projet.

D'autres analyses statistiques complémentaires peuvent être envisagées, telles que l'analyse du **chi-carré** sur des données paramétriques et qualitatives (DACUNHA-CASTELLE et DUFLO 1982). L'analyse du chi-carré est une méthode statistique couramment utilisée pour explorer les relations entre des variables catégorielles. Elle permet de déterminer si les différences observées entre des distributions de fréquences sont significatives ou si elles peuvent être attribuées au hasard. Dans le cadre des entretiens, et compte tenu de l'indépendance des réponses des participants, cette analyse est particulièrement utile pour mettre en évidence des corrélations et évaluer l'indépendance entre deux variables catégorielles, offrant ainsi une analyse plus approfondie. De plus, cette méthode permet de vérifier si certains thèmes apparaissent de manière significativement différente de ce qui serait attendu, ce qui pourrait indiquer leur importance ou leur pertinence pour un groupe spécifique dans le cadre du projet.

Pour calculer la valeur du chi-carré, nous commençons par formuler les hypothèses suivantes : l'hypothèse nulle (H_0) stipule que les deux variables sont indépendantes, tandis que l'hypothèse alternative (H_1) suggère une association significative entre ces variables. Ensuite, nous construisons un tableau de contingence qui présente les fréquences observées. Pour chaque cellule de ce tableau, nous calculons la fréquence attendue (E) en supposant que les variables soient indépendantes, selon la formule suivante :

$$E = \frac{(\text{Total de la ligne}) \times (\text{Total de la colonne})}{\text{Total général}}$$

La statistique du chi-carré (χ^2) est ensuite calculée en comparant les fréquences observées (O) aux fréquences attendues (E) selon la formule :

$$\chi^2 = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

où la somme est effectuée sur toutes les cellules du tableau. Les degrés de liberté sont déterminés par la formule suivante : $df = (\text{nombre de lignes} - 1) \times (\text{nombre de colonnes} - 1)$. Enfin, la valeur calculée du chi-carré est comparée à une valeur critique en fonction des degrés de liberté et du niveau de signification choisi. Si la valeur calculée du chi-carré est supérieure à la valeur critique, nous rejetons l'hypothèse nulle, ce qui indique l'existence d'une association significative entre les variables étudiées.

En utilisant ces analyses, nous pouvons établir des critères pour prioriser les éléments à intégrer dans le projet, en nous basant sur une analyse décroissante de leur fréquence d'apparition et de leur signification statistique. Cette approche permet non seulement d'identifier les éléments les plus pertinents, mais aussi de repérer ceux qui n'apportent pas de valeur ajoutée significative. Ainsi, ces analyses contribuent à une prise de décision plus éclairée, orientant le développement des projets futurs vers les aspects les plus critiques et pertinents.

Une analyse de la représentation sociale du métier (VERGÈS 1992) peut également être appliquée dans ce contexte, où une phase d'association verbale donne lieu à l'émergence de mots plus ou moins présents dans l'esprit des experts métier. La fréquence d'un mot est un indicateur de la représentation partagée. En effet, plus un mot est fréquemment cité, plus il reflète une vision partagée du métier. Parallèlement, une analyse axée sur les valeurs ajoutées a permis de cerner celles qui sont pertinentes et représentatives du travail effectué. Il s'agit ici de comparer la représentation du travail prescrit à celle du travail effectué. Si les deux représentations sont similaires, cela indique que le service s'aligne étroitement sur les tâches inscrites sur ses fiches de poste. En revanche, une divergence entre ces deux aspects pourrait signaler une polyvalence et une complexité des tâches effectuées. Cette divergence peut directement impacter le savoir-faire, suggérant que les experts métier sont capables d'accomplir davantage que ce qui leur est demandé, accumulant ainsi des compétences propres à d'autres postes. Cette analyse comparative entre le travail prescrit et le travail effectué offre une vision approfondie de la dynamique interne du service, mettant en lumière les possibilités d'optimisation des compétences et des savoir-faire des experts métier. Le résultat de cette analyse est ensuite utilisé pour orienter les décisions organisationnelles, en favorisant une utilisation plus efficace des ressources humaines et en identifiant des opportunités de développement des compétences au sein de l'équipe.

À l'issue de ces analyses statistiques, la phase finale de l'analyse de contenu, **Présentation des conclusions**, vise à exposer les résultats de manière claire et structurée, généralement sous la forme d'un rapport synthétique. Ce document permet d'évaluer la réceptivité aux innovations technologiques, de repérer les éléments prioritaires à intégrer au projet, et de mieux cerner les attentes des experts métier. Des recommandations stratégiques, des suggestions concrètes et des actions spécifiques y sont formulées, garantissant ainsi une interprétation rigoureuse et fiable des données analysées. Il est essentiel et recommandé de partager ce rapport avec les experts participants pour favoriser la transparence et l'engagement, tout en veillant au respect de l'anonymat et à la confidentialité des informations recueillies. Ainsi, ces résultats d'analyse de contenu constituent une base solide pour élaborer une stratégie globale qui adapte le projet aux besoins spécifiques des experts et répond aux éventuelles réticences. Ils permettent également de mettre en œuvre des actions concrètes, telles qu'une communication plus ciblée, une formation personnalisée, un soutien accru pour certaines équipes, ou un ajustement des solutions technologiques proposées. Ce travail collaboratif est réalisé en étroite association avec des chercheurs en psychologie du travail, les représentants des services concernés par le projet d'innovation, ainsi que le service des ressources humaines. Cette approche intégrée s'inscrit dans une vision proactive de gestion du changement. Son objectif est de maximiser le succès de l'initiative de

transformation numérique en anticipant les besoins, en comprenant les dynamiques humaines impliquées et en mettant en œuvre des actions adaptées.

Notre démarche repose sur une approche interdisciplinaire qui allie les compétences d'experts en analyse statistique et en sciences sociales pour offrir une méthodologie fiable, adaptative et non linéaire. Cette approche holistique prend en compte les dimensions psychologiques, organisationnelles et humaines, essentielles pour favoriser l'engagement des experts métier et assurer le succès de la transition vers la transformation numérique. L'implication des différentes parties prenantes et la collaboration interdisciplinaire contribuent à renforcer la pertinence et l'efficacité des mesures mises en place, soutenant ainsi la réalisation réussie du projet d'innovation. La complexité de la mise en œuvre de notre démarche dépend naturellement du nombre d'experts impliqués, de la diversité et de la quantité des connaissances mobilisées, ainsi que des besoins spécifiques du projet. Cependant, le caractère interdisciplinaire de notre approche, associé à une préparation minutieuse des entretiens en amont, permet de rationaliser et de structurer les échanges de façon efficace. Cette organisation rigoureuse réduit considérablement le temps et l'énergie investis dans la collecte et l'analyse des données, garantissant ainsi une progression fluide et cohérente du projet.

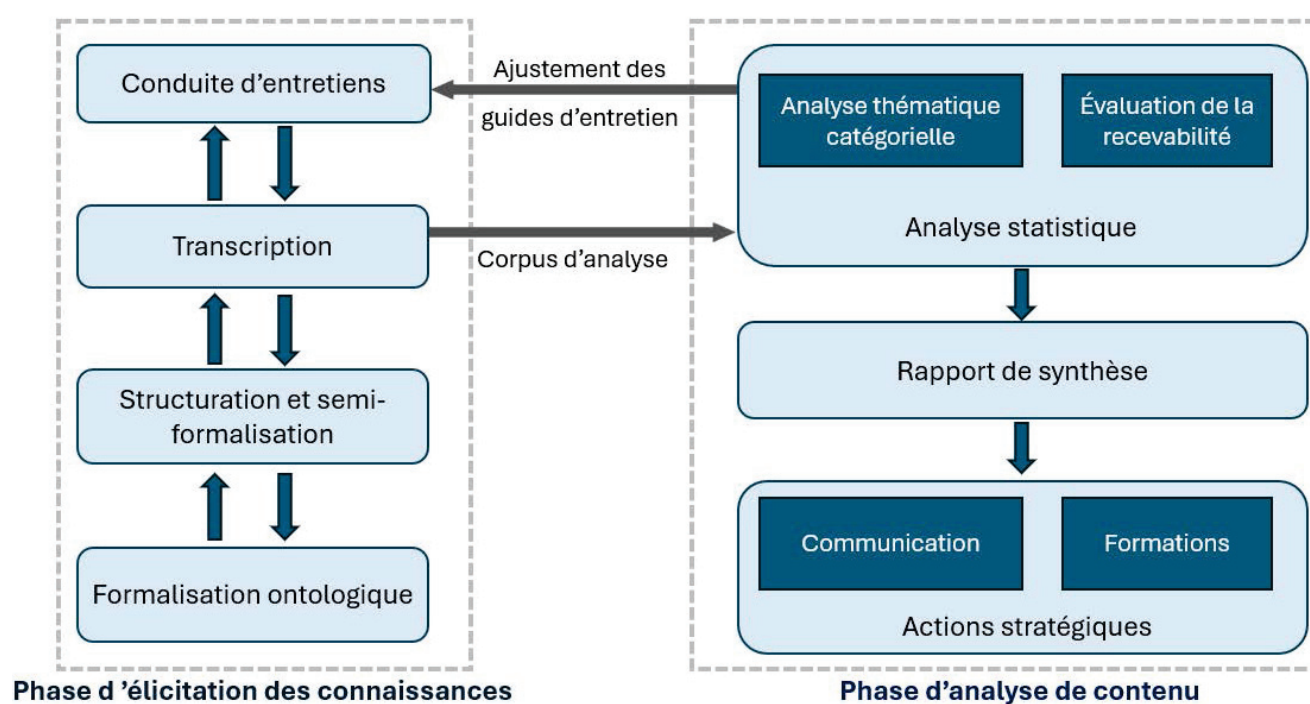


FIGURE 5. Approche globale avec intégration de la phase d'analyse de contenu.

Une vue globale de notre démarche étendue est représentée par la Figure 5. Cette figure illustre notre processus d'éllicitation et d'analyse des connaissances, structuré en deux phases principales. La première phase, dédiée à l'éllicitation des connaissances, couvre les étapes allant de la conduite des entretiens à la formalisation ontologique des savoirs métier. La seconde phase se concentre sur l'analyse de contenu, où le corpus, issu de la transcription des entretiens, est soumis à une analyse thématique catégorielle et à des analyses statistiques pour identifier les thèmes récurrents et évaluer la recevabilité du projet. Les résultats de cette analyse sont ensuite exploités à deux niveaux : d'une part, ils permettent d'ajuster les guides d'entretien pour les aligner plus étroitement avec les attentes des experts, et d'autre part, ils servent à la rédaction d'un rapport de synthèse. Ce rapport oriente les actions stratégiques de l'entreprise, telles

que la communication ciblée et les formations adaptées pour maximiser l'efficacité du projet de transformation. Ce processus itératif garantit que les connaissances collectées sont continuellement affinées et appliquées de manière stratégique au sein de l'organisation, favorisant ainsi une adoption harmonieuse des innovations technologiques.

4. Expérimentation

Notre approche de formalisation des savoir-faire et d'analyse de contenu a été mise en œuvre dans le cadre de projets de collaboration industrielle. Le premier projet, dans le secteur manufacturier, a été réalisé en partenariat avec une entreprise multinationale dans le but de structurer et valoriser efficacement les savoir-faire internes. Cette première expérimentation met l'accent sur l'analyse de contenu pour assurer la recevabilité des connaissances, un aspect crucial pour une entreprise multinationale aux services variés et interdépendants. Le second projet s'est déroulé dans le secteur viticole, avec pour objectif de combiner les pratiques traditionnelles, souvent acquises par l'observation et l'expérience, avec des innovations technologiques, garantissant ainsi la transmission et l'évolution des pratiques au sein de la filière viticole. Dans cette seconde expérimentation, l'accent est mis sur la modélisation et la formalisation des savoir-faire métier, essentielles pour la construction de systèmes de raisonnement intelligents.

4.1. Application au secteur manufacturier

Le développement et la première expérimentation de notre approche d'élicitation des connaissances et d'analyse de contenu ont été menés dans le cadre d'un projet de collaboration avec une multinationale spécialisée dans le packaging de luxe⁴. Ce partenariat a offert un cadre idéal pour tester et affiner notre méthodologie, notamment dans un secteur dans lequel l'expertise et le savoir-faire sont cruciaux pour garantir la qualité des produits et favoriser l'innovation. La diversité des domaines et des spécialités des experts métier impliqués dans le projet a été un atout majeur, de même que la richesse des perspectives et des opinions exprimées face aux nouvelles technologies. Cette diversité a permis d'appliquer notre méthodologie à une large gamme de situations réelles, ce qui a grandement contribué à la validation et à l'amélioration de notre approche. Les principales étapes d'application de notre méthodologie dans ce cas d'étude sont illustrées dans la Figure 6. Ces étapes visent à répondre aux besoins spécifiques identifiés dans le projet, permettant ainsi de développer des applications innovantes en intelligence artificielle, spécialement adaptées aux exigences du secteur étudié.

Le projet de collaboration avait pour principal objectif la capitalisation et la formalisation des savoir-faire internes de l'entreprise. Il englobait des processus métier réalisés dans quatre pays (France, États-Unis, Brésil, Chine), chacun avec ses langues et usages spécifiques. Le projet visait, d'une part, à développer une approche permettant de structurer, préserver et partager les savoir-faire et compétences entre les différents services tout en uniformisant les pratiques. D'autre part, il avait pour but de concevoir de nouvelles solutions numériques basées sur l'intelligence artificielle pour accélérer et améliorer continuellement les processus de production, renforçant ainsi la compétitivité de l'entreprise.

4. Un accord de confidentialité nous empêche de révéler le nom de cette entreprise.

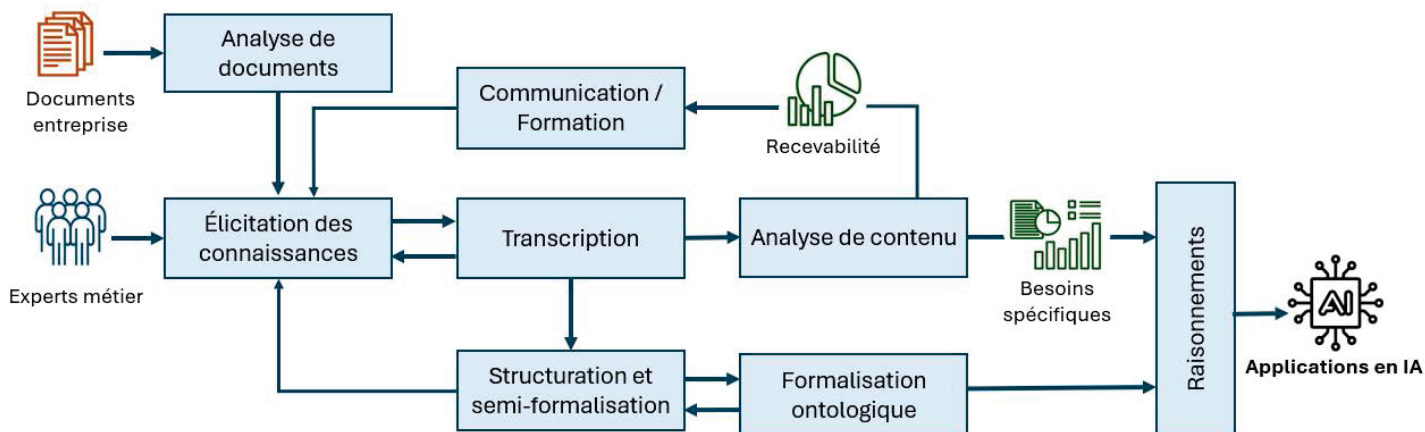


FIGURE 6. *Étapes clés de la méthodologie d'élucidation des connaissances et d'analyse de contenu appliquées au secteur manufacturier.*

Élicitation des connaissances

Pour répondre aux exigences de ce projet, il était essentiel de collecter et de comprendre en profondeur les savoir-faire ainsi que les besoins spécifiques des experts métier. Nous avons donc appliqué notre approche d'élucidation des connaissances afin d'identifier et de formaliser ces savoir-faire. Cette démarche a impliqué l'interview de 55 experts métier représentant divers services de l'entreprise, répartis sur plusieurs sites dans les quatre pays concernés. Cette expérience nous a confrontés aux problèmes d'expression du savoir-faire, souvent basée sur une terminologie diversifiée et complexe. De plus, nous avons été confrontés aux difficultés inhérentes à la réticence aux changements, un aspect souvent rencontré lors de la mise en place de nouvelles approches ou technologies au sein d'une équipe ou d'une organisation.

Grâce à notre méthodologie d'élucidation des connaissances, rigoureusement élaborées en collaboration avec des experts en sciences humaines et sociales, nous avons pu structurer et conduire les entretiens de manière à surmonter les obstacles rencontrés. Cette approche méthodique nous a permis de recueillir une large gamme d'expertises et de gérer efficacement les éventuels conflits, tout en tenant compte des besoins spécifiques de chaque expert, en fonction de leur domaine et de leur métier. Ainsi, nous avons pu nous assurer que les savoir-faire capturés étaient non seulement pertinents, mais également représentatifs de la diversité des pratiques et des attentes au sein de l'entreprise.

Structuration et semi-formalisation

Après la transcription et l'analyse des connaissances collectées, nous avons procédé à l'identification du vocabulaire spécifique au domaine, à l'élaboration d'une vision globale de l'organisation des différents services de l'entreprise, et à la proposition d'une modélisation semi-formelle en UML pour structurer et unifier la terminologie et les usages. Le modèle UML développé, sous la forme d'un diagramme de classes, a été conçu pour être à la fois suffisamment expressif pour être compris par des experts non-informaticiens et suffisamment rigoureux pour répondre aux exigences de la logique informatique. Cette double approche permet à l'ensemble des parties prenantes (experts métier et ingénieurs en informatique) de comprendre et de valider les modèles, réduisant ainsi les risques de malentendus ou d'erreurs. En structurant les savoir-faire et les processus à l'aide de diagrammes UML, nous avons pu créer des représentations claires et cohérentes des activités et des relations au sein de l'entreprise, tout

en rendant explicites les interactions complexes entre les différents services. Cette modélisation UML a également permis d'identifier d'éventuels conflits ou lacunes dans les connaissances initialement collectées et de les résoudre en instaurant un dialogue continu entre l'équipe informatique et les experts métier. Ce processus collaboratif a abouti à l'élaboration d'un modèle validé par toutes les parties prenantes, à la fois représentatif des réalités métier et techniquement solide. De plus, le modèle UML a été conçu avec une structure modulaire et extensible, facilitant ainsi son enrichissement et son évolution future. Les éléments du modèle sont définis de manière à être indépendants, tout en restant interconnectés, ce qui permet d'ajouter ou de modifier des composants sans perturber l'ensemble. Grâce à cette flexibilité, le modèle peut facilement intégrer de nouvelles connaissances ou ajuster les processus pour refléter les évolutions et les changements au sein de l'entreprise.

Formalisation ontologique

Une fois le modèle UML validé par les experts métier, nous procédons à l'étape de formalisation, qui consiste à convertir les diagrammes de classes UML en une représentation ontologique formelle. Une ontologie offre une structure formelle et explicite des concepts et des relations au sein d'un domaine spécifique, permettant ainsi de standardiser le vocabulaire et de clarifier les significations. Cela revêt une importance particulière dans un environnement industriel, où différents services utilisent souvent des terminologies variées pour désigner des concepts similaires, comme c'est le cas dans l'entreprise multinationale partenaire de ce projet. De plus, une ontologie facilite le raisonnement automatisé et constitue une base solide pour le développement d'outils numériques avancés et de solutions d'intelligence artificielle, tels que des moteurs de recherche sémantique et des systèmes de recommandation.

Dans le cadre de notre projet de collaboration, l'ontologie développée a servi de fondation pour la création d'un espace numérique collaboratif dédié à l'expression et au partage des savoir-faire au sein de l'entreprise. À partir de cet environnement numérique, nous avons conçu une application de raisonnement artificiel qui permet, d'une part, de guider les experts dans la recherche d'informations en exploitant les compétences disponibles au sein de l'entreprise ainsi que les retours d'expérience sur des situations similaires, et, d'autre part, d'extraire des informations pertinentes relatives aux projets, expériences, risques, coûts, ressources matérielles, matières premières, et ressources humaines, en lien avec les éléments décrits dans un nouveau cahier des charges client. Grâce à cette application, il devient possible d'anticiper avec précision les risques associés à la prise en charge d'une demande client, tout en optimisant la gestion des processus. Cette approche permet non seulement d'accélérer la production, mais aussi de garantir une réalisation de type "bon du premier coup", minimisant ainsi les erreurs et les retours en arrière. Cette expérience a démontré la faisabilité industrielle de notre approche, soulignant son potentiel pour accompagner et soutenir les objectifs d'innovation technologique de l'entreprise.

En plus du défi de la formalisation des connaissances et de la construction d'outils numériques, la résistance des experts métier aux changements a émergé comme un obstacle majeur dans ce projet. Les individus expriment souvent des réticences naturelles face à l'adoption de nouvelles pratiques ou technologies, ce qui peut compliquer la mise en œuvre d'initiatives de transformation. Comprendre en profondeur ces résistances, leurs causes et leurs manifestations s'est donc révélé essentiel pour élaborer des stratégies efficaces d'accompagnement du changement.

Dans le cadre de ce projet, et afin d'assurer une transition réussie vers la digitalisation des processus métier de l'entreprise, nous avons intégré une phase d'analyse de contenu visant à identifier et à comprendre les attentes et les préoccupations des experts pour assurer une adhésion et une utilisation optimale des nouvelles technologies numériques. Cette démarche a été guidée par une question de recherche centrale, qui a structuré l'ensemble de notre analyse de contenu : *Comment identifier et comprendre les attentes et préoccupations des experts, et évaluer la recevabilité du projet pour favoriser leur adhésion aux nouvelles technologies ?* Pour y répondre, nous avons intégré dans notre guide d'entretien des questions spécifiquement orientées vers les attentes des experts et l'évaluation de la recevabilité du projet. Par la suite, nous avons mené une série d'analyses statistiques approfondies sur les réponses recueillies, afin de mieux comprendre les perceptions et les attitudes des experts à l'égard du projet⁵. Tout d'abord, nous avons mesuré la proximité des experts dans leurs réponses aux questions posées par l'analyste, afin d'évaluer leur niveau d'intérêt pour le thème abordé. En moyenne, les interventions des experts représentent **78 %** du discours total de l'entretien, contre **22 %** pour l'analyste. Ce pourcentage élevé de prise de parole par les experts témoigne de leur grand intérêt pour un outil numérique fondé sur les connaissances métier.

L'application d'une distribution binomiale sur le corpus nous a ensuite permis d'évaluer la recevabilité du projet de transformation numérique par les experts interviewés. Cette analyse a mis en évidence les thèmes et sous-thèmes qui émergent de manière récurrente et significative dans leurs discours, offrant ainsi une évaluation approfondie de leurs perceptions et ressentis. La Figure 7 illustre un exemple des résultats obtenus à partir de cette analyse, réalisée sur des verbatims transcrits en réponse à des questions spécifiques concernant la perception, par les experts, des besoins et des fonctionnalités proposées dans le cadre de l'innovation numérique. Des questions ouvertes ont également été intégrées pour permettre aux experts de s'exprimer librement sur leurs attentes et leurs ressentis. Les résultats montrent que la majorité des experts perçoivent le projet comme utile et acceptable, le voyant comme une opportunité d'améliorer leurs conditions de travail. Toutefois, certains ont exprimé des réserves et des préoccupations, tandis que d'autres n'ont pas perçu l'intérêt de cette innovation technologique. Cette analyse a mis en évidence les craintes et les limites soulevées, tout en identifiant les réticences de certains experts métier, soulignant ainsi une adhésion partielle au projet au sein de l'équipe.

L'analyse binomiale de l'ensemble du corpus a également permis d'identifier des thèmes significatifs à prioriser selon la perspective des experts, tout en facilitant la catégorisation des sujets les plus pertinents en fonction de leurs attentes. Par exemple, pour répondre au besoin de capitalisation et de digitalisation des savoir-faire en vue de créer un outil numérique partagé, l'analyse a permis d'identifier les éléments prioritaires à intégrer dans l'outil. Parmi les thèmes récurrents figurent le processus de fabrication, où les experts souhaitent documenter chaque étape pour assurer la cohérence et la qualité de la production, ainsi que les retours d'expérience sur des défauts de fabrication, un point crucial pour améliorer la détection et la correction des anomalies. D'autres thèmes importants incluent les procédures de contrôle qualité, la gestion des connaissances issues de l'expérience terrain, et les méthodes de résolution de problèmes fréquents. Ces thèmes sont jugés essentiels pour la création d'un outil numérique efficace, capable de

5. Un accord de confidentialité nous empêche de divulguer les résultats détaillés de cette analyse.

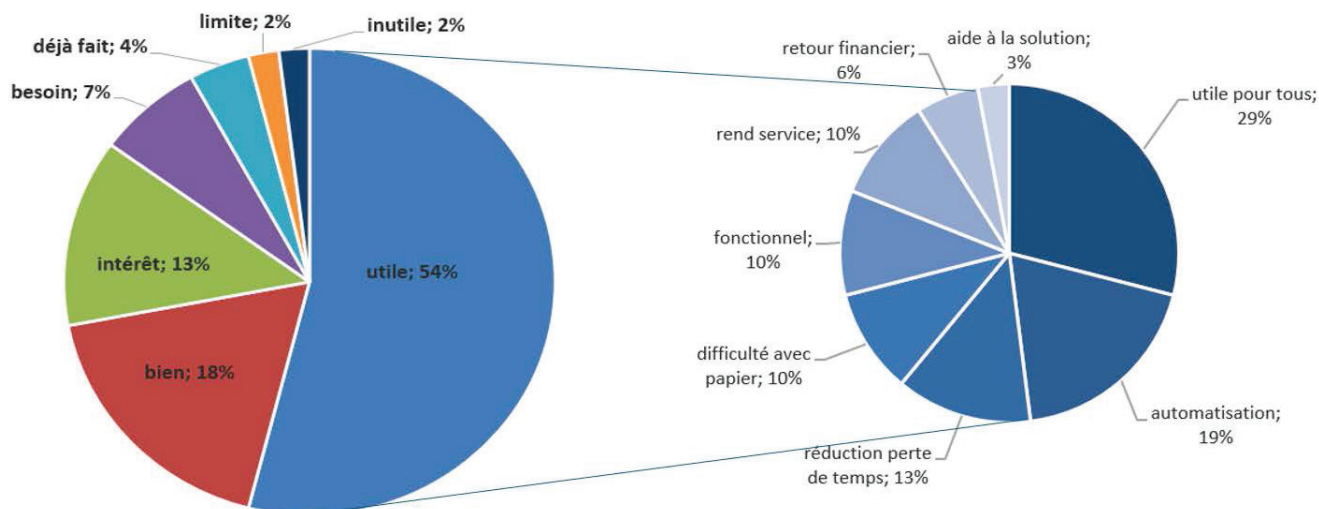


FIGURE 7. Analyse de la recevabilité d'un outil numérique.

centraliser et structurer les savoir-faire de manière accessible et opérationnelle. À l'issue de cette analyse, les savoir-faire à numériser ont été classés en thèmes et sous-thèmes clés, permettant de cibler précisément les acteurs concernés, les connaissances à transmettre, ainsi que les méthodes et actions à mettre en œuvre. Cette structuration assure une transition numérique efficace et cohérente, parfaitement alignée avec les besoins et attentes des experts interviewés.

Il est également essentiel de mesurer la significativité des attentes des experts par rapport à l'ensemble des salariés de l'entreprise et d'évaluer la corrélation entre les thèmes identifiés. Pour ce faire, nous avons effectué des tests statistiques rigoureux afin de comparer les distributions observées avec celles qui seraient attendues en l'absence de toute association. Ces analyses permettent de vérifier que les résultats obtenus ne sont pas le fruit du hasard, mais qu'ils révèlent des tendances significatives au sein de l'entreprise. Un exemple⁶ de ces résultats est présenté dans la Figure 8. Dans cet exemple, les variables 'Var5' et 'Var6' représentent des catégories spécifiques associées aux processus de fabrication. L'analyse du chi-carré révèle une association hautement significative entre ces catégories, avec une p-value extrêmement faible, indiquant qu'il est peu probable que la distribution observée soit due au hasard. Les résultats suggèrent que certaines catégories de 'Var5' (par exemple, des types de questions comme "COMMENT" ou "QUOI") sont fortement corrélées avec certaines catégories de 'Var6' (telles que des ressources ou types de problématiques techniques). Ainsi, plutôt que d'évaluer chaque catégorie de manière isolée, cette analyse fournit une vue d'ensemble des interrelations entre différentes catégories de savoir-faire, essentielle pour comprendre les interactions complexes dans les processus de fabrication. Cela renforce la pertinence des thèmes identifiés et justifie pleinement leur intégration prioritaire dans l'outil numérique.

Les calculs et analyses effectués sur le corpus ont abouti à la création d'un document synthétique que nous avons remis à l'entreprise. Cette analyse s'est révélée indispensable pour mettre en lumière les compétences métier et identifier les besoins clés, afin d'optimiser l'adhésion au projet. En réponse, l'entreprise a mis en place une stratégie de communication, accompagnée de formations ciblées sur certains concepts, afin de faciliter la compréhension et l'adoption du projet. Cette expérience a souligné l'importance de gérer ces aspects de manière proactive, tant sur le plan de la communication que de

6. Cet exemple représente un échantillon sélectionné des résultats de l'analyse, adapté pour respecter le contrat de confidentialité.

	Var5	Var6 technique	Var6 ressources	Var6 problème	Totaux Ligne
Effectif	COMMENT	25	0	0	25
%age Colonne		67,57%	0,00%	0,00%	
%age Ligne		100,00%	0,00%	0,00%	
%age Total		28,41%	0,00%	0,00%	28,41%
Effectif	QUOI	5	36	10	51
%age Colonne		13,51%	90,00%	90,91%	
%age Ligne		9,80%	70,59%	19,61%	
%age Total		5,68%	40,91%	11,36%	57,95%
Effectif	COMBIEN	7	4	1	12
%age Colonne		18,92%	10,00%	9,09%	
%age Ligne		58,33%	33,33%	8,33%	
%age Total		7,95%	4,55%	1,14%	13,64%
Effectif	Ts Grpes	37	40	11	88
%age Total		42,05%	45,45%	12,50%	

(a) Tableau de contingence indiquant les effectifs observés et les pourcentages dans différentes catégories et sous-catégories. Dans cet exemple, Var5 et Var6 représentent des aspects spécifiques liés aux processus de fabrication.

Stats : Var5(3) x Var6(3) (Feuille de données18)			
Statistique	Chi²	dl	p
Chi² de Pearson	57,52920	dl=4	p=,00000
Chi² Max-Vr.	70,74787	dl=4	p=,00000
Phi	,8085424		
Coef. de contingence	,6287371		
V Cramér	,5717258		

(b) Résultats d'une analyse du chi-carré. La p-value associée à ce test est très faible, indiquant que l'hypothèse nulle d'indépendance entre Var5 et Var6 peut être rejetée avec une forte confiance. Cela signifie qu'il y a une association significative entre les variables.

FIGURE 8. Exemple d'analyse des associations entre les catégories dans le cadre de la numérisation des savoir-faire.

la formation. L'élaboration de stratégies spécifiques, visant à unifier l'expression des savoir-faire et à atténuer la résistance au changement, est donc cruciale pour le succès des projets futurs. Cette démarche a permis de développer des actions ciblées, favorisant l'adhésion aux nouvelles technologies numériques, assurant ainsi une adoption optimale, une dynamique de groupe positive, et un alignement des équipes avec les objectifs de transformation de l'entreprise. Les enseignements tirés de cette expérience seront sans doute précieux pour orienter les futures initiatives de l'entreprise vers une gestion du changement plus efficace et une meilleure adhésion aux innovations proposées.

Par souci de déontologie, aucun entretien n'a été intégralement communiqué en dehors de l'équipe de recherche. L'objectif n'était pas de réaliser un audit salarial personnalisé en vue d'une restructuration des ressources humaines, mais plutôt de mettre en lumière les besoins à combler grâce au projet, afin de correspondre au mieux à la volonté de transformation numérique de l'entreprise.

4.2. Application au secteur viticole

La deuxième expérimentation concerne le projet FUI⁷ WineCloud⁸, un projet de collaboration dans le domaine de la viticulture. L'objectif de ce projet était de fournir une plateforme de traçabilité complète du cycle de vie de la vigne en se basant sur les connaissances des experts métier et des données de remontées de capteurs. Les étapes de mise en œuvre de notre méthodologie pour ce projet sont illustrées dans la Figure 9.

Élicitation des connaissances

Notre approche d'élicitation des connaissances a permis de recueillir les savoir-faire métier des professionnels de la viticulture, couvrant des aspects tels que la mise en culture de la vigne, la lutte contre

7. Fonds Unique Interministériel

8. <https://www.europe-bfc.eu/beneficiaire/fui-23-wine-cloud/>

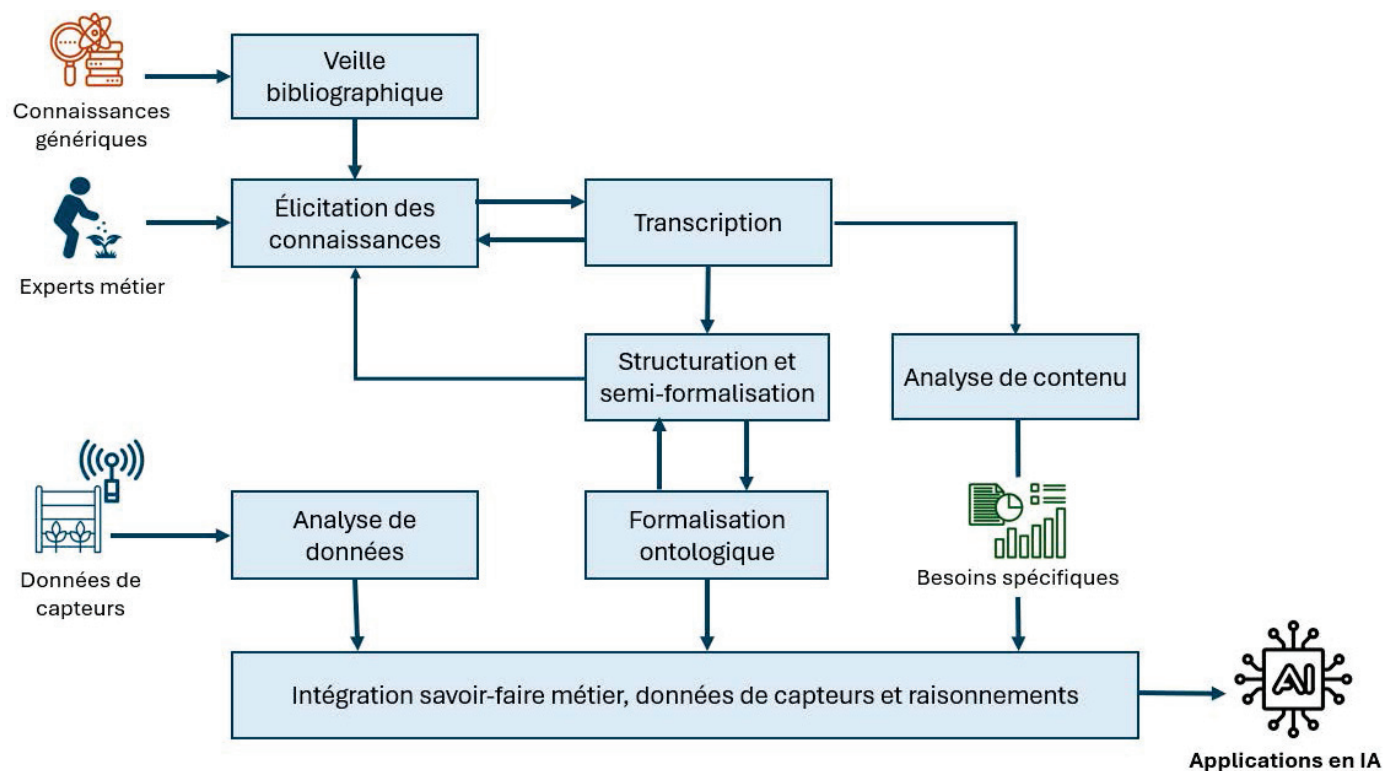


FIGURE 9. *Étapes clés de la méthodologie d'élaboration des connaissances et d'analyse de contenu appliquées au secteur viticole.*

les maladies, et les techniques de vinification, afin de mieux comprendre le cycle de vie de la vigne et du vin, ainsi que les raisonnements et pratiques spécifiques de cette profession. Ainsi, pour comprendre le vocabulaire du domaine et construire les guides d'entretiens semi-directifs, un travail de veille bibliographique a été réalisé pour en savoir plus sur la filière vitivinicole et les risques qui y sont associés. Dans ce domaine, les viticulteurs se réfèrent beaucoup à l'expérience de leurs pairs, et l'observation de la nature et de ses phénomènes. Les aspects scientifiques et législatifs sont aussi très présents et doivent être pris en compte dans la prise de décision. Du fait de la complexité du sujet exploré, il a été nécessaire de développer plusieurs grilles d'entretien permettant de prendre en considération les différents paramètres venant impacter le cycle de la vigne et la vinification. Ainsi, six grilles d'entretiens semi-directifs explorant différentes thématiques ont été développées, à savoir sur le cycle de la vigne, les maladies, les ravageurs, les risques climatiques, les risques physiologiques et la vinification. Un panel de 20 viticulteurs et de 5 professionnels du vin a été sélectionné pour passer les entretiens.

Structuration et semi-formalisation

Après avoir restitué et analysé les connaissances recueillies, nous avons proposé une structuration et une modélisation semi-formelle sous forme de cartes mentales et de diagrammes UML. La Figure 10 présente une version simplifiée du modèle UML développé à partir des connaissances collectées lors de notre veille documentaire et des entretiens menés avec des experts du domaine. Ce modèle met en évidence les éléments clés identifiés au cours de cette recherche. Bien que des normes agronomiques formelles régissent la viticulture et qu'un savoir scientifique théorique soit disponible, les connaissances pratiques des professionnels, ancrées dans les réalités du terrain, sont indispensables. Ces savoirs pratiques reposent largement sur l'expérience, la pratique, l'observation, ainsi que sur une approche par essais et erreurs (RICHARDSON 2005, SYLVESTRE 1997). Ces connaissances empiriques, souvent

tacites, sont cruciales pour comprendre et maîtriser les subtilités de la viticulture, allant parfois au-delà des prescriptions théoriques pour mieux s'adapter aux spécificités locales et contextuelles.

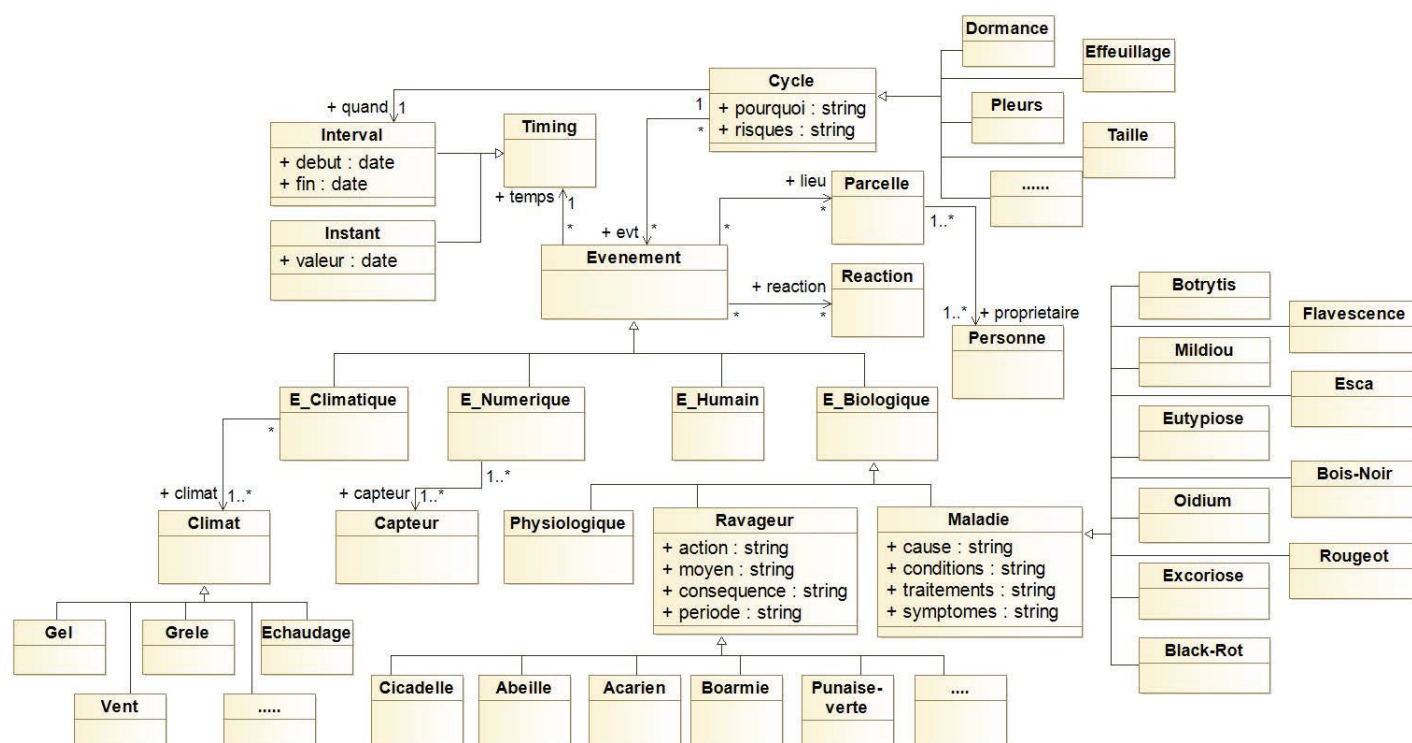


FIGURE 10. Vue simplifiée du modèle UML pour le projet WineCloud.

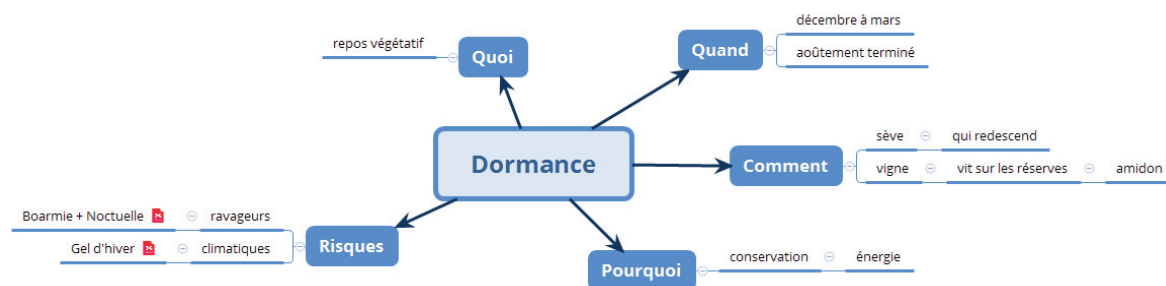
Le modèle UML développé a non seulement permis d'organiser et de structurer ces connaissances explicites et tacites provenant de sources hétérogènes, mais il a également servi de base pour comprendre le domaine et faciliter la communication avec les viticulteurs. En mettant en lumière les principales catégories et thèmes issus de l'analyse du corpus après restitution des entretiens, ainsi que de l'examen de plusieurs ouvrages de référence et de sites internet largement utilisés par les professionnels, tels que celui de BASF⁹ pour les maladies de la vigne, ou encore le site de l'Institut de la Vigne et du Vin¹⁰, ce modèle a permis de dégager les éléments clés et d'organiser les connaissances recueillies de manière cohérente. L'objectif n'est pas d'opposer les savoirs théoriques et scientifiques aux savoirs d'expérience, mais de montrer, grâce au travail d'explicitation, comment ces savoirs cohabitent, s'enrichissent et se complètent (BONNIEL 1983, DESBOIS-THIBAUT 2003). Ce modèle facilite ainsi une meilleure compréhension mutuelle entre les différents acteurs du domaine, en intégrant et valorisant les diverses formes de connaissances pour une pratique viticole plus informée et efficace.

Le modèle UML développé a été complété par plusieurs cartes conceptuelles pour capturer toute la complexité des savoirs métier du domaine. Chacune de ces cartes a été élaborée en fonction des différentes thématiques identifiées lors de la veille sur les savoirs théoriques et scientifiques. La Figure 11 présente quelques exemples de ces cartes, qui ont permis de regrouper et de clarifier les thèmes et sous-thèmes essentiels, tels que le cycle de vie de la vigne et les événements biologiques, notamment les maladies et les ravageurs. Ces cartes conceptuelles ont joué un rôle crucial dans l'organisation et la

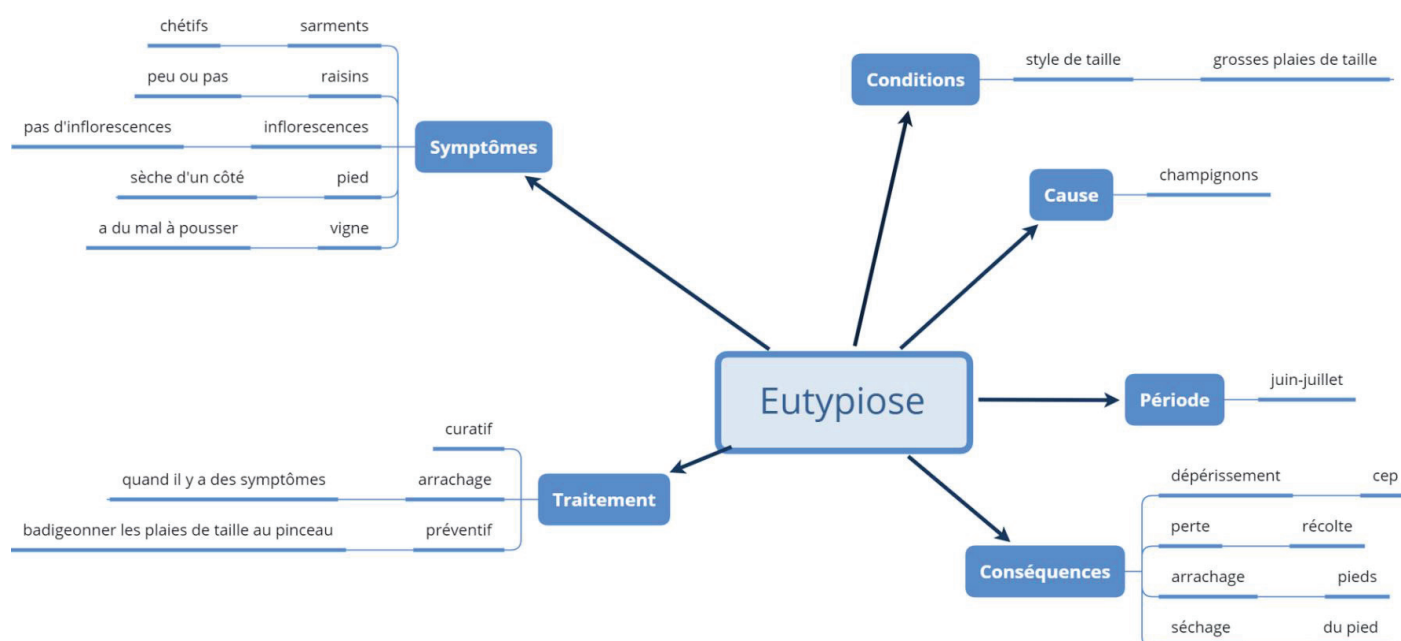
9. <https://www.agro.basf.fr>

10. <http://www.vignevin.com>

synthèse des connaissances, facilitant l'intégration des savoirs théoriques avec les pratiques de terrain, et permettant d'adapter les stratégies de gestion viticole aux réalités locales et contextuelles.



(a) Exemple de carte mentale de cycle de vie : Dormance



(b) Exemple de carte mentale de maladie : Eutypiose

FIGURE 11. Exemples de cartes conceptuelles réalisées dans le cadre du projet WineCloud.

Formalisation ontologique

Après validation par les experts métier, le modèle UML et les cartes conceptuelles ont été utilisés pour la construction de l'ontologie formelle. Cette ontologie a permis de développer des solutions numériques capables de prédire l'état des vignes et de fournir aux viticulteurs des recommandations optimisées pour leur production (BELKAROUI, BERTAUX, LABBANI et al. 2018). La Figure 12 présente une vue simplifiée de l'ontologie développée. Une version complète de cette ontologie est disponible en ligne¹¹. L'ontologie créée repose sur une approche orientée événements, permettant une interprétation métier des données remontées par les capteurs ainsi que des processus et événements biologiques. Son objectif est de corréler les données issues du processus agricole afin de développer un système de traçabilité et des outils prédictifs, notamment pour anticiper l'apparition de maladies, de ravageurs et pour gérer les

11. <https://ontology.winecloud.checksem.fr/>

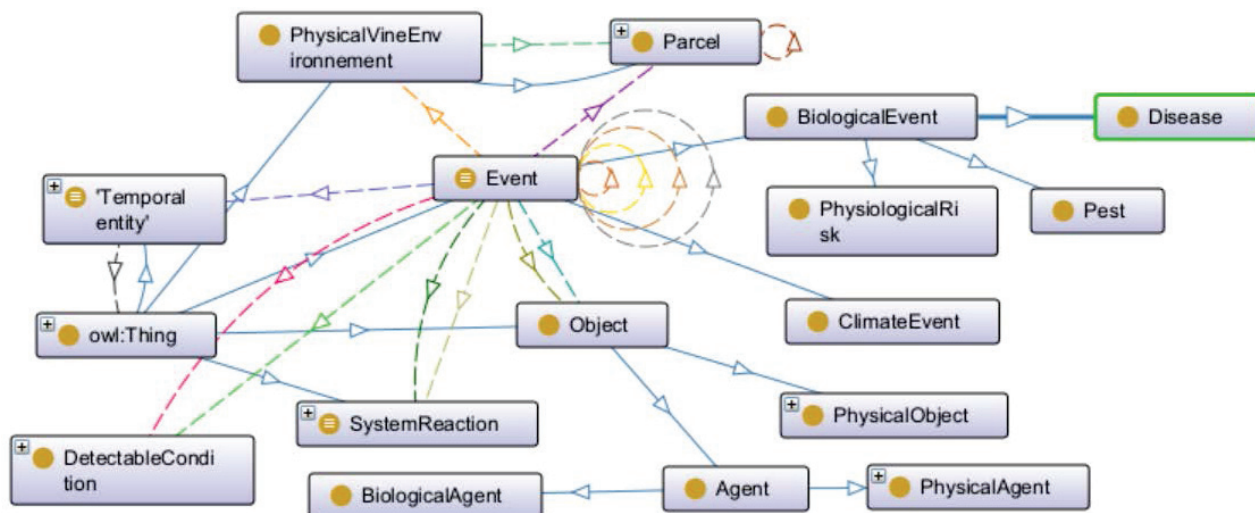


FIGURE 12. Vue simplifiée de l'ontologie WineCloud.

risques climatiques. Cette ontologie intègre également un système de raisonnement logique permettant d'aider les viticulteurs à optimiser les processus de travail dans les vignobles, tels que les traitements phytosanitaires et l'utilisation des insecticides. Ce système vise à mieux contrôler la production tout en minimisant les impacts environnementaux.

De plus, la formalisation de l'ontologie a permis de développer des règles de raisonnement logique appliquées aux données issues des capteurs et aux informations environnementales, reproduisant ainsi le raisonnement des experts du domaine. Ces règles facilitent la construction de relations sémantiques, offrant aux viticulteurs une compréhension approfondie des interactions complexes entre les différents facteurs influençant la vigne. Grâce à ce système, il devient possible de détecter plus rapidement les conditions propices aux maladies, aux ravageurs ou aux anomalies climatiques, permettant ainsi de prendre des décisions éclairées et d'optimiser les pratiques viticoles. Ce système de raisonnement a servi de base au développement d'une plateforme numérique innovante, conçue pour intégrer les données issues des capteurs avec les connaissances métier, offrant ainsi des services avancés et personnalisés à la filière vitivinicole. Les Figures 13, 14 et 15 illustrent certaines des fonctionnalités clés de cette plateforme. Dotée d'outils de raisonnement logique, elle se révèle particulièrement utile pour les viticulteurs en leur fournissant des prédictions précises sur l'état des vignes et des recommandations optimisées pour les actions à entreprendre. Ces fonctionnalités permettent non seulement d'améliorer la qualité et la rentabilité de la production, mais aussi de promouvoir une approche plus durable en réduisant l'impact environnemental. Grâce à cette innovation, les viticulteurs peuvent prendre des décisions plus éclairées, en tenant compte de l'expérience et du savoir-faire métier, des conditions climatiques, et des besoins spécifiques des vignes à chaque étape de leur cycle de vie. Ce système est conçu pour permettre aux experts du domaine d'anticiper les risques liés aux ravageurs et aux maladies, de réduire l'utilisation de traitements chimiques dangereux pour l'environnement, et de maîtriser l'impact du changement climatique sur les caractéristiques organoleptiques de leurs vins, conformément aux objectifs initiaux du projet.

Analyse de contenu

Nous avons également effectué une phase d'analyse de contenu dans le cadre de ce projet. À la différence de la première expérimentation, où l'initiative technologique provenait de la direction de

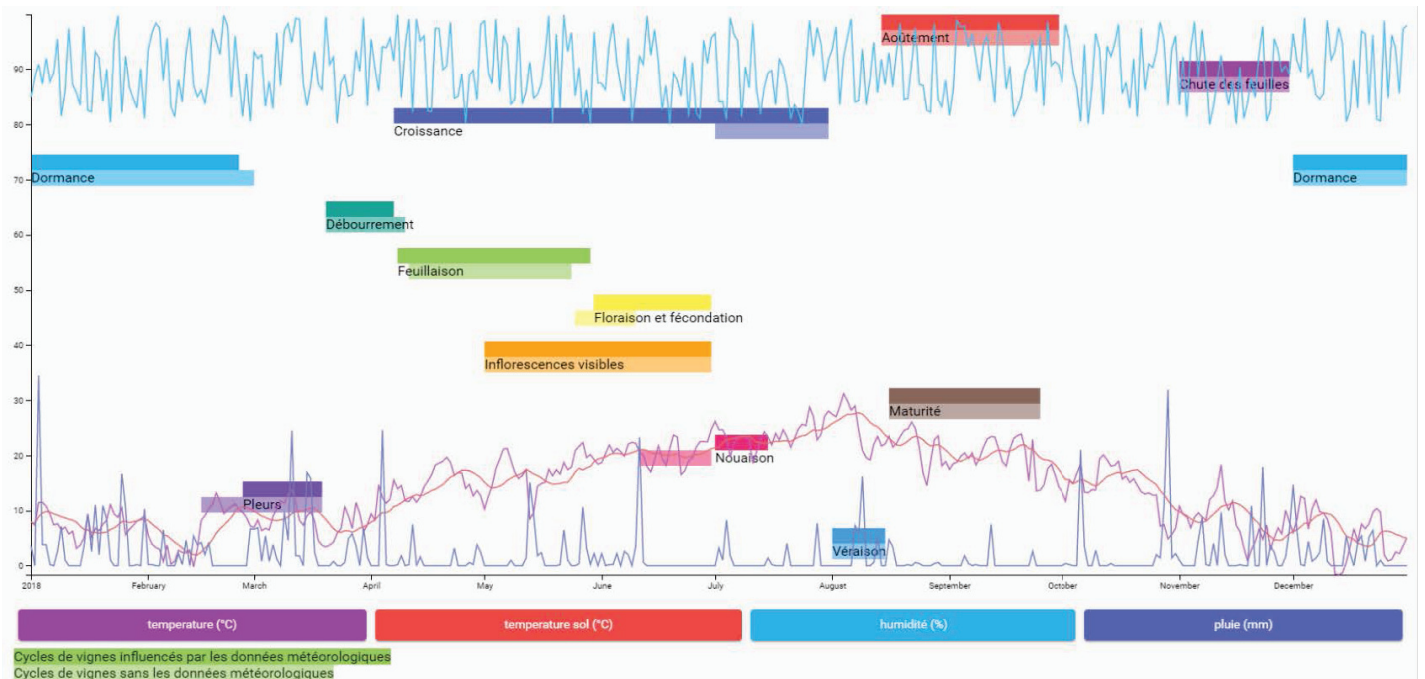


FIGURE 13. Influence des conditions météorologiques sur la durée des phases du cycle de vie et les dates de début et de fin de chaque phase.

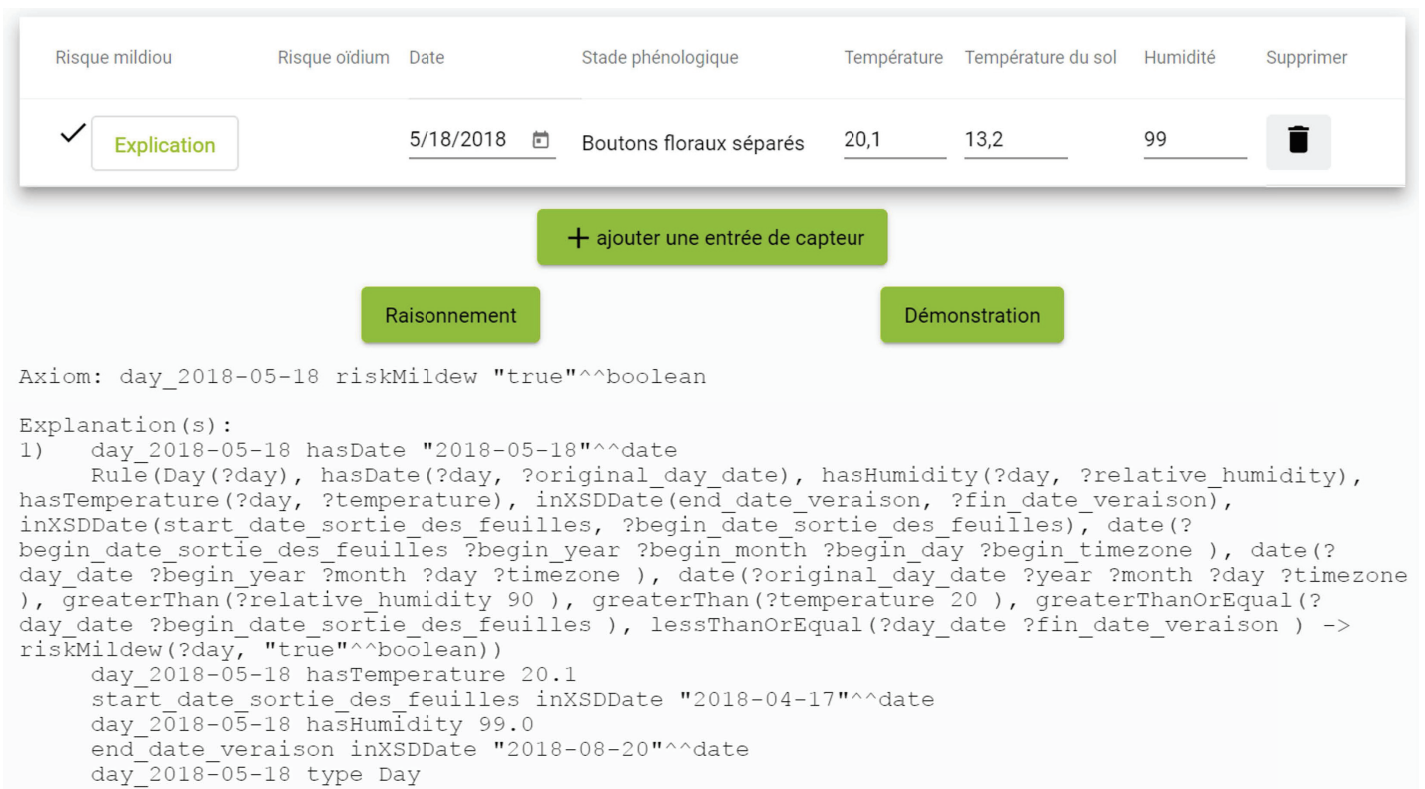


FIGURE 14. Visualisation et explication du raisonnement sémantique avec affichage des phases et des règles SWRL en fonction de la date sélectionnée.

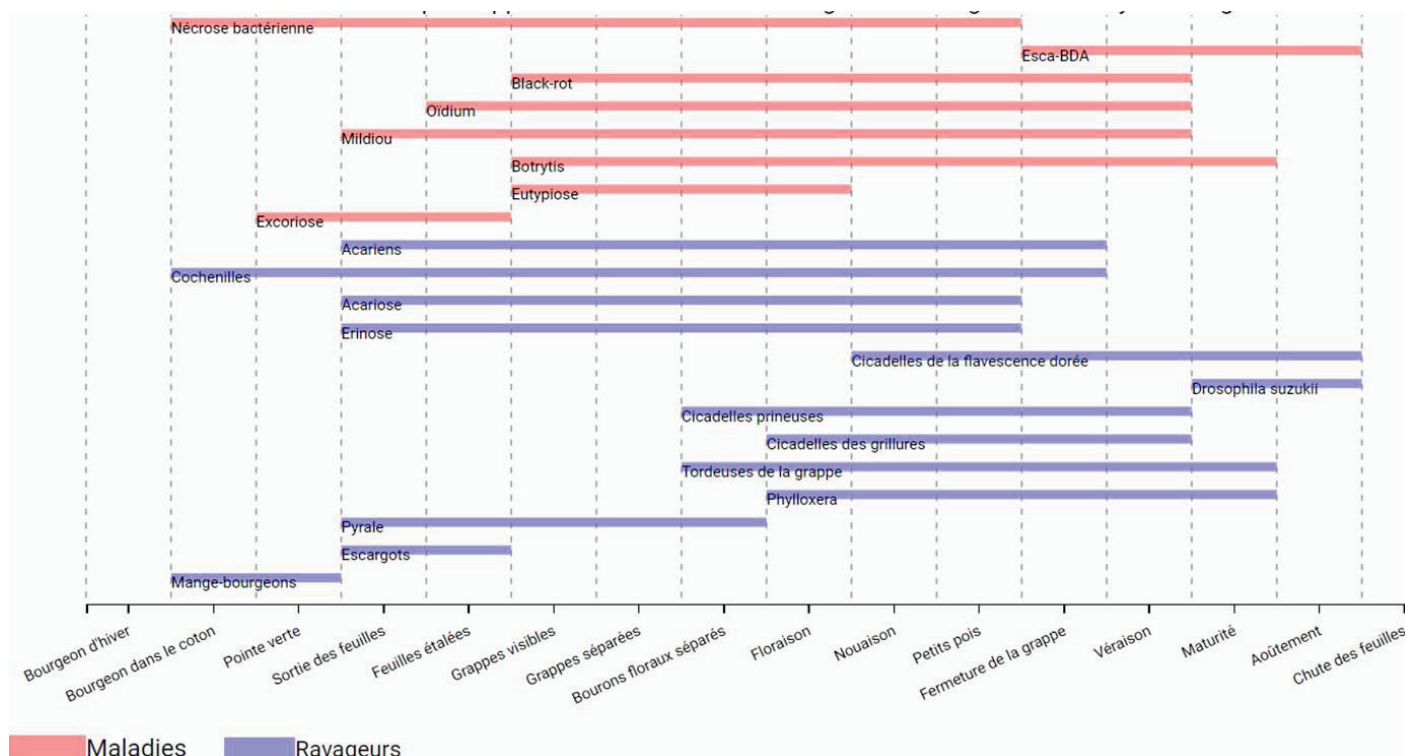


FIGURE 15. Maladies et ravageurs de la vigne selon le cycle de vie.

l'entreprise, cette fois-ci, le besoin d'innovation a émergé en réponse à une demande formulée par les utilisateurs. L'adhésion au projet était donc motivée par une nécessité ressentie au sein de la communauté des viticulteurs. Néanmoins, l'analyse de contenu a joué un rôle essentiel pour mettre en lumière des fonctionnalités spécifiques à prioriser ou à intégrer afin d'enrichir le développement du projet. Parmi ces fonctionnalités, nous pouvons citer le développement d'un modèle d'affichage ergonomique, offrant une visualisation claire et précise des données pertinentes. Cette analyse a également permis d'identifier la nécessité de mettre en place un outil collaboratif de partage des connaissances, soulignant ainsi l'importance de favoriser la collaboration et la communication au sein de la communauté des viticulteurs. En plus de la formalisation des savoir-faire pour le développement de solutions intelligentes, la phase d'analyse de contenu a optimisé le projet en répondant de manière ciblée aux exigences spécifiques du domaine vitivinicole.

L'analyse de contenu a également confirmé les thématiques clés identifiées lors des entretiens, renforçant ainsi la pertinence de la conceptualisation adoptée. Cette convergence démontre que les viticulteurs partagent des besoins et des préoccupations communes, tels que le suivi du cycle annuel de la vigne, la prédiction des maladies, et la gestion des risques environnementaux. Les résultats obtenus montrent que ces préoccupations ne sont pas le fruit du hasard, mais reflètent les défis réels auxquels les professionnels du secteur sont confrontés. Cette cohérence valide les orientations stratégiques prises dans le cadre de ce projet, en soulignant l'importance de répondre aux besoins concrets des viticulteurs pour améliorer leurs pratiques.

Pour approfondir cette analyse, des études statistiques supplémentaires ont été menées pour examiner la relation entre le cycle de vie de la vigne, les conditions climatiques et l'apparition de maladies ou d'infestations de ravageurs. Les résultats obtenus révèlent une corrélation significative entre ces variables, soulignant l'importance cruciale d'une surveillance continue de ces facteurs pour anticiper les risques et ajuster les pratiques viticoles en conséquence. La Figure 16 présente quelques exemples des résultats

issus de ces analyses.

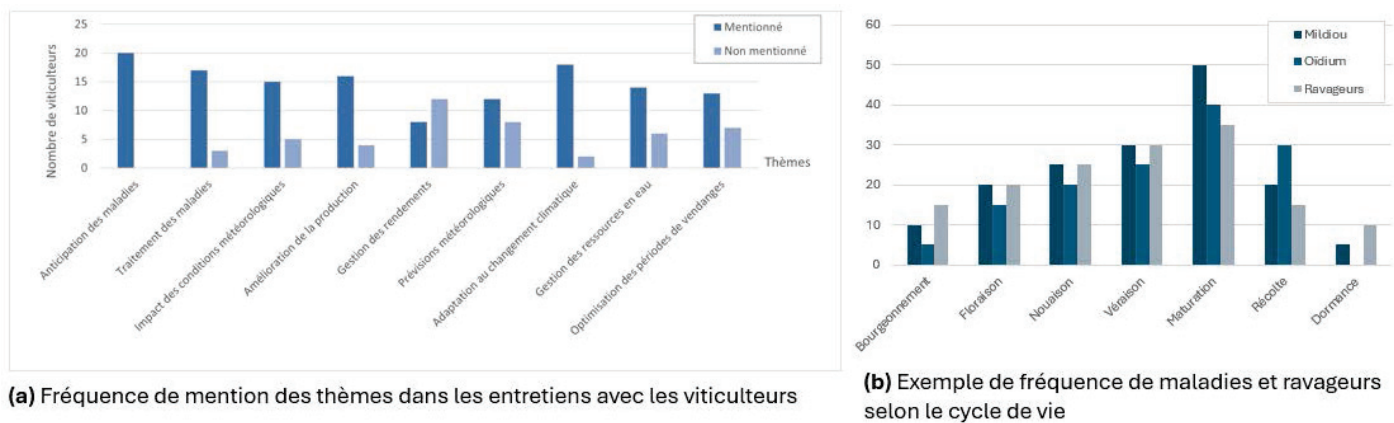


FIGURE 16. Exemples de résultats d'analyses statistiques dans le cadre du projet WineCloud.

Le travail mené dans le cadre de ce projet a révélé que les pratiques viticoles ne sont pas seulement influencées par des connaissances académiques (théoriques, scientifiques et législatives), mais aussi par le savoir-faire et l'expérience, qui permettent d'interpréter les situations et d'ajuster les pratiques en fonction d'un ensemble de données contextuelles. Pour garantir la pertinence et l'efficacité de ce projet, il est donc essentiel d'adopter une approche pragmatique, capable d'intégrer les réalités de terrain (BARBIER, CAUCHARD, JOLY et al. 2013) ainsi que les expériences individuelles et collectives (STREITH, DE GAULTIER 2012, PETIT, BARATAUD 2015). En combinant les connaissances scientifiques avec l'expertise métier, notre plateforme est mieux préparée à proposer des solutions efficaces et adaptées aux défis concrets auxquels sont confrontés les professionnels de la viticulture.

Conclusion et perspectives

Cet article propose une approche méthodologique pour la construction d'une ontologie formelle basée sur le savoir-faire des experts et les connaissances du domaine. Cette approche est complétée par une phase d'analyse de contenu afin de mieux comprendre les attentes des experts métier et d'assurer une adhésion optimale aux nouvelles technologies numériques. En effet, formaliser les connaissances basées sur le savoir-faire des experts ne garantit pas nécessairement une adhésion optimale de ces derniers aux nouvelles technologies numériques. Cette adhésion conditionne le succès de la transition vers la digitalisation des processus métier. Il est donc essentiel de comprendre les attentes et les préoccupations des experts afin de proposer des solutions adaptées, favorisant ainsi la réussite de la transformation numérique.

Pour répondre à cet enjeu, nous avons défini une méthodologie d'acquisition des savoir-faire inspirée de la didactique professionnelle, et basée sur les apports de la psychologie du travail et du développement. Cette méthodologie est une combinaison de techniques analytiques, conversationnelles et observationnelles en élicitation de connaissances. Elle permet de collecter, qualifier et analyser les savoir-faire explicites et tacites, d'intégrer les connaissances génériques du domaine, et de faire face aux problématiques liées aux facteurs humains et à l'hétérogénéité sémantique des connaissances. Son principal objectif est de mettre l'humain qui détient la connaissance au centre des réflexions dans le développement des solutions numériques, et d'accompagner au mieux les analystes dans le processus de préparation, de collecte, d'analyse et de restitution de ces connaissances.

Les connaissances collectées sont par la suite organisées et structurées dans des modèles semi-formels, qui seront validés par les experts métier avant d'être formalisés dans une ontologie du domaine, consensuelle et partagée. Cette démarche permet de se doter d'une base de connaissances digitalisée et d'un ensemble d'outils numériques proches des experts et construits à base de leurs savoir-faire, leurs expériences et leurs attentes.

Notre démarche est complétée par une analyse catégorielle et une étude binomiale de la recevabilité des technologies numériques. Ces analyses permettent d'évaluer non seulement la pertinence technique des solutions proposées, mais aussi la réceptivité et la volonté des experts de les adopter. Une compréhension approfondie des attentes et des préoccupations des experts est en effet cruciale pour concevoir des solutions véritablement adaptées et assurer le succès de la digitalisation des processus métier. Cette approche holistique, intégrant la formalisation des connaissances et l'analyse de la recevabilité des technologies, crée un environnement favorable à une transition numérique efficace et bénéfique pour l'ensemble de l'entreprise. En prenant en compte les dimensions techniques et humaines, nous pouvons mieux aligner les solutions numériques avec les besoins réels de l'organisation, garantissant ainsi une adoption harmonieuse et durable des nouvelles technologies.

Nous avons expérimenté notre approche dans le cadre de deux projets de collaboration industrielle. Le premier pour la digitalisation des savoir-faire d'une multinationale dans le domaine du packaging de luxe et le deuxième dans le domaine de la viticulture pour la prédiction du cycle de vie de la vigne. Ces deux expériences ont montré l'apport et la faisabilité industrielle de notre approche et remporté l'adhésion des experts du domaine comme celui du personnel IT. Les résultats obtenus, validés sur le terrain, démontrent la capacité de notre approche à s'adapter à divers contextes tout en offrant des solutions concrètes et pertinentes. Aujourd'hui, nous appliquons notre méthode d'éllicitation des connaissances et d'analyse de contenu dans plusieurs projets de collaboration, favorisant ainsi la co-construction de solutions innovantes et soutenant une mise en œuvre réfléchie des stratégies de transition numérique.

La prochaine étape dans notre démarche consiste à aller au-delà de la mesure de l'acceptabilité individuelle face à la transformation numérique, en intégrant d'autres dimensions importantes liées aux contraintes juridiques et éthiques. Avec l'entrée en vigueur de la réglementation européenne sur l'intelligence artificielle (EU AI Act¹²), il devient impératif d'élargir le spectre de la recevabilité en adoptant une approche plus globale, qui implique l'intervention d'experts juridiques au cours des entretiens. Ces experts peuvent apporter un éclairage précieux sur les aspects réglementaires et légaux associés à la transformation numérique, contribuant ainsi à une compréhension approfondie des implications juridiques du processus. L'intégration de ces dimensions assure une approche plus complète et responsable, garantissant que les changements technologiques respectent non seulement l'acceptation individuelle, mais aussi les droits fondamentaux et les valeurs éthiques de l'entreprise dans son ensemble.

Références

- AUSSENAC-GILLES N., CHARLET J., REYNAUD C. *Les enjeux de l'Ingénierie des connaissances. Information, Interaction, Intelligence-Le Point Sur Le I* (3). pp. 244-266, 2012.
- BARBIER M., CAUCHARD L., JOLY P., PARADEISE C., VINCK D. *Pour une approche pragmatique, écologique et politique de l'expertise. Revue D'anthropologie Des Connaissances*. 7, 2013.

12. <https://artificialintelligenceact.eu/fr/>

- BARDIN L. *L'analyse de contenu* (10e éd.). Paris : Presses Universitaires De France. 93117, PUF, 2003.
- BELKAROUI R., BERTAUX A., LABBANI O., HUGOL-GENTIAL C., NICOLLE, C. *Towards events ontology based on data sensors network for viticulture domain. Proceedings Of The 8th International Conference On The Internet Of Things*. pp. 1-7, 2018.
- BERNOULLI J. *Ars coniectandi*. Impensis Thurnisiorum, fratrum, 1713.
- BYRD T., COSSICK K., ZMUD R. *A synthesis of research on requirements analysis and knowledge acquisition techniques. MIS Quarterly*. pp. 117-138, 1992.
- CHEN Y. *Requirement Elicitation Techniques*, 2012.
- CHEVALIER F., MEYER V. *CHAPITRE 6. Les entretiens. Les Méthodes De Recherche Du DBA*, 2018.
- CHRISTEL M., KANG K. *Issues in requirements elicitation*. Carnegie-Mellon Univ Pittsburgh Pa Software Engineering Inst, 1992.
- DACUNHA-CASTELLE D., DUFLO M. *Probabilités et statistiques*. Masson, 1982.
- DANY L. *Analyse qualitative du contenu des représentations sociales. Les Représentations Sociales*. pp. 85-102, 2016.
- DAVALLON J. *La médiation : la communication en procès ?*. MEI. Media Et Information., 37-59, 2003.
- DE NICOLA A., MISSIKOFF M., NAVIGLI R. *A proposal for a unified process for ontology building : UPON. Database And Expert Systems Applications : 16th International Conference, DEXA 2005, Copenhagen, Denmark, August 22-26, 2005. Proceedings 16*. pp. 655-664, 2005.
- DESBOIS-THIBAUT A. *L'Extraordinaire aventure du champagne. Moët Et Chandon, Une Affaire De Famille*. **1914**, 1792.
- DROESBEKE J., FINE J., SAPORTA G. *Méthodes bayésiennes en statistique*. Editions Technip, 2002.
- EL HAJJAMY O., ALAOUI K., ALAOUI L., BAHAJ M. *Mapping UML to OWL2 ontology. Journal Of Theoretical And Applied Information Technology*. **90**, pp. 126-143, 2016.
- ENGELS G., GROENEWEGEN L. *Object-oriented modeling : a roadmap. Proceedings Of The Conference On The Future Of Software Engineering*. pp. 103-116, 2000.
- EUZENAT J. *Building consensual knowledge bases : context and architecture*. IOS press, 1995.
- EUZENAT J. *Corporate memory through cooperative creation of knowledge bases and hyper-documents. 10th Workshop On Knowledge Acquisition (KAW)*. pp. 36-1, 1996.
- FERNÁNDEZ-LÓPEZ M. *Overview of methodologies for building ontologies*. (CEUR Publications, 1999).
- GAVRILOVA T., ANDREEVA T. *Knowledge elicitation techniques in a knowledge management context. Journal Of Knowledge Management*, 2012.
- GHERABI N., BAHAJ M. *A new method for mapping UML class into OWL ontology. Software Engineering, Data bases and Expert Systems, SEDEX, Int. J. Comput. Appl., (Special Issue)*. pp. 5-9, 2012.
- GÓMEZ-PÉREZ A., FERNÁNDEZ-LÓPEZ M., CORCHO O. *Methodologies and methods for building ontologies. Ontological Engineering : With Examples From The Áreas Of Knowledge Management, E-Commerce And The Semantic Web*. pp. 107-197, 2004.
- GÓMEZ-PÉREZ A., JURISTO N., PAZOS J. *Evaluation and assessment of knowledge sharing technology. Towards Very Large Knowledge Bases*. pp. 289-296, 1995.
- GREENAN N. *Innovation technologique, changements organisationnels et évolution des compétences. Économie Et Statistique*. 298, 15-33, 1996.
- GRUBER T. *Toward principles for the design of ontologies used for knowledge sharing ?*. *International Journal Of Human-computer Studies*. 43, 907-928, 1995.
- GRUNINGER M., FOX M. *The logic of enterprise modelling. Modelling And Methodologies For Enterprise Integration : Proceedings Of The IFIP TC5 Working Conference On Models And Methodologies For Enterprise Integration, Queensland, Australia, November 1995*. pp. 140-157, 1996.
- GUERSON J., SALES T., GUIZZARDI G., ALMEIDA J. *OntoUML lightweight editor : a model-based environment to build, evaluate and implement reference ontologies. 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop*. pp. 144-147, 2015.
- GUIZZARDI G., WAGNER G., ALMEIDA J., GUIZZARDI R. *Towards ontological foundations for conceptual modeling : The unified foundational ontology (UFO) story. Applied Ontology*. **10**, pp. 259-271, 2015.
- HAYES P., ESKRIDGE T., SAAVEDRA R., REICHERZER T., MEHROTRA M., BOBROVNIKOFF D. *Collaborative knowledge capture in ontologies. Proceedings Of The 3rd International Conference On Knowledge Capture*. pp. 99-106, 2005.
- HOLSAPPLE C., JOSHI K. *A collaborative approach to ontology design. Communications Of The ACM*. 45, 42-47, 2002.
- HSIEH H., SHANNON S. *Three approaches to qualitative content analysis. Qualitative Health Research*. **15**, 1277-1288, 2005.

- HUDLICKA E. *Requirements elicitation with indirect knowledge elicitation techniques : comparison of three methods. Proceedings Of The Second International Conference On Requirements Engineering*. pp. 4-11, 1996.
- IQBAL T., SUAIB M. *Requirement elicitation technique :-a review paper. Int. J. Comput. Math. Sci.* 3, 1-6, 2014.
- JONES D., BENCH-CAPON T., VISSER P. *Methodologies for ontology development*, 1998.
- KANZA S., STOLZ A., HEPP M., SIMPERL E. *What does an ontology engineering community look like ? A systematic analysis of the schema. European Semantic Web Conference*. pp. 335-350, 2018.
- KHAN¹ S., DULLOO A., VERMA M. *Systematic review of requirement elicitation techniques. India*, 2014.
- LABBANI-NARSIS O., NICOLLE C. *Conception d'ontologies formelles : une approche par élicitation de connaissances. Actes Du XLI Congrès INFORSID*. pp. 1-16, 2023.
- L'ÉCUYER R. *Méthodologie de l'analyse développementale de contenu. Presses de l'Université du Québec. PUQ*, 2011.
- LUPP D., HODKIEWICZ M., SKJÆVELAND M. *Template libraries for industrial asset maintenance : A methodology for scalable and maintainable ontologies. CEUR Workshop Proceedings*. **2757** pp. 49-64, 2020.
- MAEDCHE A., SCHNURR H., STAAB S., STUDER R. *Representation language-neutral modeling of ontologies. Proceedings Of The German Workshop Modellierung-2000. Koblenz, Germany*. pp. 129-142, 2000.
- MISSIKOFF M., SCHIAPPELLI F. *A Method for Ontology Modeling in the Business Domain. EMOI-INTEROP*, 2005.
- MKHININI M., LABBANI O., NICOLLE C. *Enterprise Knowledge Modeling, UML vs Ontology : Formal Evaluation. 2019 IEEE 15th International Conference On Intelligent Computer Communication And Processing (ICCP)*. pp. 127-134, 2019.
- MKHININI M., LABBANI-NARSIS O., NICOLLE C. *Combining UML and ontology : An exploratory survey. Computer Science Review*. 35, pp. 100-223, 2020.
- MOLINER P. *Noyau central, principes organisateurs et modèle bi-dimensionnel des représentations sociales. Vers une intégration théorique. Les Cahiers Internationaux De Psychologie Sociale*. **28**, 44-55, 1995.
- NEGURA L. *L'analyse de contenu dans l'étude des représentations sociales. SociologieS*, 2006.
- NOY N., MCGUINNESS D., ... *Ontology development 101 : a guide to creating your first ontology*, 2004.
- OMG OMG© *Unified Modeling Language (OMG UML©). Version 2.5.1, © 2017 Object Management Group, Inc*, 2017.
- PASTRÉ P. *L'analyse du travail en didactique professionnelle. Revue Française De Pédagogie*. pp. 9-17, 2002.
- PETIT S., BARATAUD F. *L'eau, source de savoirs : analyse de situations d'expertise dans des bassins versants agricoles. VertigO*. **15**, 2015.
- PINTO H., MARTINS J. *Ontologies : How can they be built ?. Knowledge And Information Systems*. 6, pp. 441-464, 2004.
- RICHARDSON M. *À la recherche de savoirs perdus ? Expérience, innovation et savoirs incorporés chez des agriculteurs biologiques au Québec. VertigO-la Revue Électronique En Sciences De L'environnement*. **6**, 2005.
- RIOUFREY T. *La transcription d'entretiens en sciences sociales*, 2016.
- SAPORTA G. *Probabilités, analyse des données et statistique. Editions technip*, 2006.
- SHARMA S., PANDEY S. *Requirements elicitation : Issues and challenges. 2014 International Conference On Computing For Sustainable Global Development (indiacom)*. pp. 151-155, 2014.
- SIMPERL E., LUCZAK-RÖSCH, M. *Collaborative ontology engineering : a survey. The Knowledge Engineering Review*. 29, 101-131, 2014.
- KUCE D. *Conventions for reaching agreement on shared ontologies. Proceedings Of The 9th Knowledge Acquisition For Knowledge Based Systems Workshop*, 1995.
- STREITH M., DE GAULTIER, F. *La construction collective des savoirs en agriculture bio : modèle pour l'agroécologie ?. Agroécologie. Entre Pratiques Et Sciences Sociales*. pp. 203-218, 2012.
- STUDER R., BENJAMINS V., FENSEL D. *Knowledge engineering : Principles and methods. Data & Knowledge Engineering*. 25, 161-197, 1998.
- SYLVESTRE J. *Apprentissage et transmission des savoirs et savoir-faire agricoles : ruses, bricolages et braconnages. M. Guillemin (Éd.), Colloque Agriculture Et Patrimoine : Une Dynamique Pour L'agriculture*. pp. 59-74, 1997.
- TUDORACHE T. *Ontology engineering : Current state, challenges, and future directions. Semantic Web*. **11**, 125-138, 2020.
- USCHOLD M. *Building ontologies : Towards a uni ed methodology. Proceedings Of 16th Annual Conference Of The British Computer Society Specialists Group On Expert Systems*, 1996.
- USCHOLD M., GRUNINGER M. *Ontologies : Principles, methods and applications. The Knowledge Engineering Review*. 11, 93-136, 1996.
- USCHOLD M., KING M. *Towards a methodology for building ontologies. Citeseer*, 1995.
- VERGÈS P. *L'évocation de l'argent : une méthode pour la définition du noyau central d'une représentation. Bulletin De Psychologie*. 45, 203-209, 1992.
- WAN D., ONG C., LEE F. *Determinants of firm innovation in Singapore. Technovation*. 25, 261-268, 2005.