

Transformer les savoirs tacites des geosciences en patrimoine collectif : stratégies et perspectives

Transforming Tacit Knowledge in Geosciences into Collective Heritage: Strategies and Perspective

Guillaume Dechambenoit¹, Fatma Chamekh¹, Imadeddine Laouici¹, Christelle Loiselet¹, Yann Dantal¹

¹ Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM), France, g.dechambenoit@brgm.fr

RÉSUMÉ. Cette étude explore la capture et la valorisation des savoirs tacites au sein d'organisations scientifiques, en prenant le BRGM comme cas d'étude. Face à l'enjeu stratégique de la gestion des connaissances, nous examinons la transformation des savoirs individuels en patrimoine collectif via une approche méthodologique en trois volets : cadre théorique, utilisation d'outils d'IA pour recenser et transcrire ces savoirs, et proposition d'une architecture CBR avec un agent IA ("beregem") pour résoudre des problématiques en géosciences. Cette recherche contribue à la gestion des savoirs tacites scientifiques par des solutions basées sur l'IA.

ABSTRACT. This study explores the capture and valorization of tacit knowledge within scientific organizations, using BRGM as a case study. Facing the strategic challenge of knowledge management, we examine the transformation of individual knowledge into a collective asset via a three-pronged methodological approach: theoretical framework, use of AI tools to identify and transcribe this knowledge, and proposal of a CBR architecture with an AI agent ("beregem") to solve problems in geosciences. This research contributes to the management of scientific tacit knowledge through AI-based solutions.

MOTS-CLÉS. Connaissances Tacites, Gestion des connaissances, Intelligence Artificielle, Geosciences, Raisonnement par cas, Theorie des process, théorie de l'activité et des pratiques.

KEYWORDS. Tacit knowledge, knowledge Management, Artificial Intelligence, Geosciences, Case Based Reasoning, Process Theory, Activity and practice theory.

1. Introduction

Cette communication propose une réflexion sur la capture et la valorisation des savoirs tacites au sein des organisations scientifiques, en prenant comme cas d'étude le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Dans un contexte où la gestion des connaissances devient un enjeu stratégique majeur, nous explorons les mécanismes permettant de transformer les savoirs individuels, souvent implicites et non formalisés, en un patrimoine collectif structuré et exploitable.

Notre étude suit une approche méthodologique en trois volets (fig.1). **En premier lieu**, nous établirons un état de l'art et un cadre théorique qui examine la représentation et la place des connaissances tacites dans le processus de production des connaissances scientifiques (fig. 1). Ce cadre intègre différents courants de pensée autour de la notion de connaissance. Cette base théorique nous permettra d'aborder les systèmes d'information et de connaissances dont la fonction est d'optimiser la chaîne de production des connaissances, qu'elles soient tacites ou explicites. **Dans un second temps**, nous explorerons l'utilisation d'outils d'intelligence artificielle pour recenser et retranscrire ces connaissances, en nous concentrant sur l'extraction des pratiques tacites sous forme procédurale au sein d'une plateforme prototype : Cursus. Enfin, dans un spectre prospectif, nous étudierons **la potentialité** de l'utilisation d'un entrepôt de processus métier au sein d'une architecture de type Case Based Reasoning (CBR), permettant leur utilisation par un agent artificiel nommé « beregem ». L'originalité de cet agent réside dans sa construction fondée sur des connaissances tacites plutôt qu'explicites. Sa fonction sera d'explorer,

d'imaginer et de générer de nouveaux cas pour résoudre diverses problématiques d'analyse, de traitement et de modélisation des ressources du sous- sol.

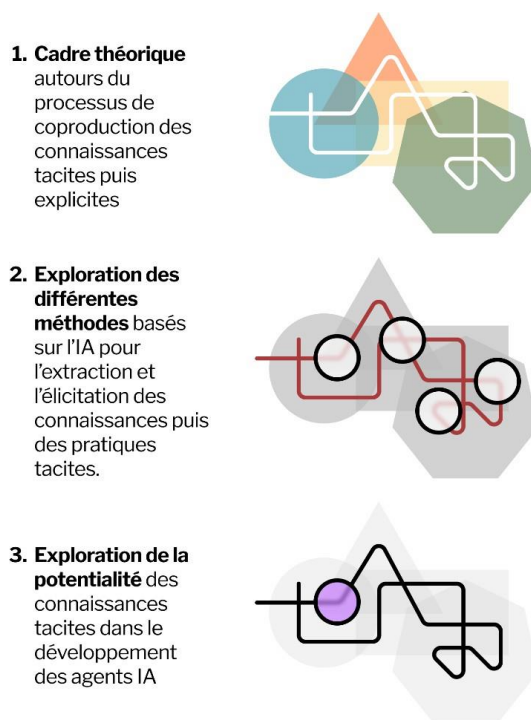


Figure 1. *Méthodologies et approche*

2. Architecture des connaissances et organisations scientifiques

2.1. La particularité des connaissances et des organisations scientifiques

Dans la plupart des organisations, les nouvelles connaissances sont généralement un sous-produit de la chaîne de valeur principale : lorsqu'une équipe résout un problème ou développe un nouveau produit, elle mobilise des connaissances existantes tout en générant de nouvelles. Ces nouvelles connaissances, bien qu'importantes, ne sont pas forcément l'objectif premier, elles ne deviennent qu'une externalité positive du processus principal et se retrouvent perdues ou incarnées dans une montée, parfois non valorisée, en compétences des collaborateurs [NON 95].

Cependant, les organisations scientifiques se distinguent par le fait que la connaissance n'est pas un sous-produit, mais bien **l'objectif principal de leur activité**. La production, la validation et la diffusion des connaissances constituent leur raison d'être et leur mission première [GIB 94].

Néanmoins, la connaissance *scientifique* possède plusieurs facteurs la différenciant d'une connaissance dite *générale*.

- Elle est souvent organisée dans des modèles théoriques qui non seulement tentent d'expliquer des phénomènes, mais tentent de prédire également les occurrences futures. Ces cadres, introduits sous la notion de paradigme chez Kuhn, sont continuellement testés et affinés par le renouvellement continu des membres des communautés scientifiques (15). [KUH 62].

- Elle repose sur une méthodologie systématique articulée autour de trois piliers – observation, expérimentation et analyse – qui garantissent la reproductibilité et la vérifiabilité des résultats ; appliquée à des données empiriques, cette démarche teste les hypothèses sur la base d'indicateurs mesurables et s'appuie sur des procédures standardisées afin de minimiser biais personnels et influences subjectives, assurant ainsi la fiabilité et la validité des connaissances produites [POP 59 ; CHA 99].

- Enfin, elle est soumise à des règles de publication spécifiques. Les résultats de recherche doivent être présentés selon des formats standardisés. Ces publications sont soumises à un processus d'évaluation

par les pairs (« *peer review* ») avant d'être acceptées dans des périodiques scientifiques reconnus, valorisés et valorisants, qui mesureront l'impact et l'importance d'un résultat ou d'une idée. Ce processus assure la qualité, la rigueur et la crédibilité des connaissances diffusées au sein des collectifs (29). [WAR 08].

Ces particularités soulèvent deux questions autour d'une industrialisation possible de cette production de connaissance.

Par industrialisation, nous entendons l'automatisation ou la semi-automatisation des chaînes de production d'un produit à valeur ajoutée, qu'il s'agisse d'un bien matériel ou immatériel. Afin d'expliquer ce point, nous prenons comme exemple l'industrie automobile qui traduit cette logique par l'assemblage en ligne : découpage fin des opérations, synchronisation homme-machine, indicateurs de performance (temps cycle, taux de défauts), contrôle qualité en continu et amélioration incrémentale des procédés. Ces principes – standardisation, traçabilité, boucle d'amélioration fondée sur la mesure – ont permis de passer d'une fabrication artisanale à une production de masse tout en garantissant un niveau de qualité reproductible.

Transposée à la production de connaissances, l'analogie invite à imaginer :

- **Chaînes de création** : depuis l'observation jusqu'à la diffusion, chaque étape (collecte, formalisation, validation, capitalisation) pourrait être documentée, orchestrée et, pour partie, automatisée ;
- **Interactions homme-machine** : outils numériques et algorithmes exécutent les tâches répétitives (recherche documentaire, mise en forme, vérification formelle), tandis que les chercheurs se concentrent sur l'interprétation et la créativité ;
- **Indicateurs de performance** : temps de cycle d'une hypothèse à une publication, taux de réutilisation d'un protocole, couverture des sources, fiabilité mesurée par les pairs ;
- **Chaîne de valeur cognitive** : chaque opération apporte une transformation mesurable à une « matière première » informationnelle jusqu'à un produit final – article, modèle, norme, décision.

Mais cette transposition comporte des **risques** qui obligent à poser la question :

jusqu'à quel niveau d'industrialisation souhaitons-nous aller et pourquoi ?

- **Rationalisation du “chaud” cognitif** : en segmentant et en instrumentant à l'excès, on peut réduire la connaissance à un flux de tâches formelles, au détriment de l'intuition, du tâtonnement et de la sérénité qui nourrissent les découvertes.
- **Biais d'indicateurs** : ce qui est mesuré tend à devenir l'objectif ; des métriques inadaptées peuvent favoriser la quantité (nombre de livrables) plutôt que la qualité ou l'originalité.
- **Rigidification des processus** : des chaînes trop normées peuvent freiner l'exploration hors cadre, essentielle dans les sciences.
- **Dépendance technologique** : l'automatisation crée un système sociotechnique dont la robustesse et la mise à jour deviennent critiques.
- **Équilibre humain-machine** : l'industrialisation ne doit pas déléguer la responsabilité épistémique aux machines ; elle doit au contraire libérer l'esprit humain pour les phases à forte valeur heuristique.

Ainsi, il ne s'agit pas de reproduire à l'identique la logique des usines ; l'enjeu est de **déterminer le seuil d'automatisation optimal** : suffisamment élevé pour fiabiliser, accélérer et capitaliser la production scientifique, mais suffisamment bas pour préserver la **chaleur** du raisonnement, l'autonomie de jugement et la capacité d'innovation des chercheurs [VAN 07].

Cette réflexion continue sur l'industrialisation potentielle de la production de connaissances nous pousse à étudier plus en détail les processus actuels, voire organiques, de création, validation et diffusion des connaissances scientifiques, ainsi que leurs possibles optimisations.

2.3. Une distinction potentielle entre connaissance individuelle et connaissances collectives

Pour pouvoir envisager cette hypothétique industrialisation, il est d'abord essentiel de tenter de comprendre en profondeur ce que pourrait être une connaissance et comment elle émergerait à travers une sociodynamique. Cette compréhension nous permettra d'identifier les processus clés et les contraintes à respecter.

Comme dans tout procédé de créations, qu'elles soient physiques ou métaphysiques, la connaissance répondrait à une même règle : elle serait le résultat d'un échange continu et dynamique entre un système et son environnement. Il est donc important de distinguer ces deux espaces : l'individu et sa communauté, et plus particulièrement d'identifier les contributions de chacun. [COO 99a].

Pour renforcer cette distinction, nous définirons une nuance dans le terme très, voir trop général de "connaissance". **Les connaissances dites assimilées** constitueraient la dimension individuelle et personnelle de la connaissance, ancrés dans l'expérience directe et la pratique d'un individu. Fondamentalement probabilistes, ils représenteraient l'ensemble des hypothèses sur les relations de cause à effet observées dans l'environnement. Cette dimension de la connaissance, souvent tacites et intuitifs, réponds à plusieurs formes de formalisation, mais constituent la base de notre capacité à prédire et à interagir avec le monde [POL 66]. Notons ici que cette analyse ne traitera pas la question des croyances qui reste très fortement lié à nos questions, mais relève d'une autre discussion. En revanche, **les connaissances conventionnelles** représenteraient une construction collective, une forme de bien commun [HES 07]. Validée et reconnue par une communauté [WEN 98], elles émergeraient d'un processus social de partage, de critique et de validation de ce qui a été compris par un individu. La partie conventionnelle des connaissances étant construite sur leurs dimensions subjectives, elles en héritent de cette dimension probabiliste. Bien que validé au sein d'un réseau, une connaissance scientifique intégrerait donc toujours, de façon inconditionnelle, un niveau d'incertitude.

Pour renforcer cette distinction, nous définirons une nuance dans le terme très, voir trop général de "connaissance". **Les connaissances dites assimilées** constitueraient la dimension individuelle et personnelle de la connaissance, ancrés dans l'expérience directe et la pratique d'un individu. Fondamentalement probabilistes, ils représenteraient l'ensemble des hypothèses sur les relations de cause à effet observées dans l'environnement. Cette dimension de la connaissance, souvent tacites et intuitifs, réponds à plusieurs formes de formalisation, mais constituent la base de notre capacité à prédire et à interagir avec le monde [POL 66]. Notons ici que cette analyse ne traitera pas la question des croyances qui reste très fortement lié à nos questions, mais relève d'une autre discussion. En revanche, **les connaissances conventionnelles** représenteraient une construction collective, une forme de bien commun [HES 07]. Validée et reconnue par une communauté [WEN 98], elles émergeraient d'un processus social de partage, de critique et de validation de ce qui a été compris par un individu. La partie conventionnelle des connaissances étant construite sur leurs dimensions subjectives, elles en héritent de cette dimension probabiliste. Bien que validé au sein d'un réseau, une connaissance scientifique intégrerait donc toujours, de façon inconditionnelle, un niveau d'incertitude.

2.3. Vers un proto-processus de coproduction de la connaissance

Scinder la production de connaissance en deux univers distincts est une chose, comprendre la mécanique et les règles d'interaction entre les deux en est une autre. Cependant, notre objectif est d'imaginer des applications de l'intelligence Artificielle (IA) dans la culture des savoirs tacites au sein des organisations scientifiques. Dès lors, nous nous focaliserons principalement sur la production des connaissances assimilées afin d'identifier les espaces potentielles pour les extraire.

2.3.1. Activités et pratiques tacites

Produire une connaissance serait le résultat d'un processus cognitif, et tout processus cognitif résulte d'un système dynamique entre un corps et un environnement. Le savoir s'ancrerait donc dans un rapport

à l'action, voire, pour reprendre les mots de Francisco Varela, dans un rapport à "l'enaction" [VAR 91]. Nous pourrions, de façon généraliste, établir que "tout savoir s'ancrerait dans une expérience", et nous n'aurions peut-être pas tort. Néanmoins, nous devons diviser cette notion d'expérience en deux dimensions distinctes : les activités et la pratique. Que ce soit à travers le pragmatisme, l'empirisme, la phénoménologie ou d'autres formes philosophiques, la notion d'expérience porte un fort nuancier [CLA 97]. Conscient qu'une division en deux soit trop réductrice, elle nous donnera un niveau de granularité plus juste pour aborder la thématique de la culture des savoirs tacites.

L'intégralité de nos actions, interactions et transactions, qu'elles soient directes ou indirectes, physiques ou métaphysiques, sont générées par les contraintes de l'environnement qui se manifestent à travers une somme de problèmes à résoudre par notre système. Pour cela, l'individu génère une série d'actions, intentionnelles ou non, générant des causes qui produiront des effets dans ce même environnement. Nous associerons cette notion d'actions cumulées avec le terme « d'activité » pour désigner un rapport itératif d'échecs et de succès dans la résolution d'un problème défini. Nous qualifierons donc d'activités *tacites*, l'ensemble des actions réflexes, intuitive et instinctive produite par un individu et non formalisé.

Prenons comme exemple les activités tacites que nous réalisons quotidiennement : pour faire du vélo, le cycliste effectue une multitude de micro-ajustements inconscients pour maintenir son équilibre, adapter sa trajectoire et sa vitesse en fonction des obstacles. De même, la marche sur différents types de surfaces demande un ajustement automatique de notre posture, de notre équilibre et de notre force. Que ce soit sûr le verglas, du sable ou un terrain accidenté, notre corps réagit de manière réflexe et intuitive sans que nous ayons besoin d'y réfléchir consciemment. Ces actions, bien qu'essentielles à notre navigation quotidienne dans l'environnement, sont rarement formalisées, car elles relèvent d'un apprentissage corporel et instinctif.

La somme de ces activités se rationalise et s'organise en ce que nous définirons comme une pratique — un modèle d'actions interconnectées, applicables et réutilisables pour résoudre un type de problèmes dans un environnement donné. On pourrait parler des schémas moteurs au cœur de l'apprentissage en référence à Piaget [PIA 36]. La pratique permet de maîtriser ce rapport de cause à effet et, sous d'habitudes acquises, constituent le cœur de l'expertise. Par définition donc, un expert est un agent qui, grâce à l'accumulation de ces pratiques, est en capacité intellectuelle et moteur de résoudre, dans un contexte spécifique, des problèmes plus efficacement et rapidement qu'une personne non-experte [SCH 83]. Nous qualifierons ici de pratiques tacites, l'ensemble des habitudes et savoir-faire ancrés dans le comportement des individus et, encore une fois, non formalisés.

Prenons l'exemple d'un pâtissier chevronné face à la confection d'une pâte feuilletée : ses gestes précis, son évaluation tactile de la consistance, son ajustement instinctif de la pression lors du laminage et sa capacité à déterminer le moment optimal des pliages, constituent un ensemble de pratiques tacites acquises au fil des années. Ces compétences demeurent largement implicites et se retrouvent difficiles à formaliser dans un simple manuel de recettes.

Il serait encore légitime ici de se poser la question d'un rapprochement conceptuel entre une pratique et une connaissance. Une distinction s'imposerait donc : la connaissance serait une représentation mentale, singulière et encodée par et pour l'individu qui le porte. Elle relèverait ainsi d'une dimension métaphysique plutôt que physique, représentant un haut niveau d'abstraction. Par sa nature, la connaissance est intrinsèquement tacite. Une activité et une pratique quant à elles, à travers les comportements, seraient le résultat observable d'une connaissance sans en être une en lui-même [AND 20].

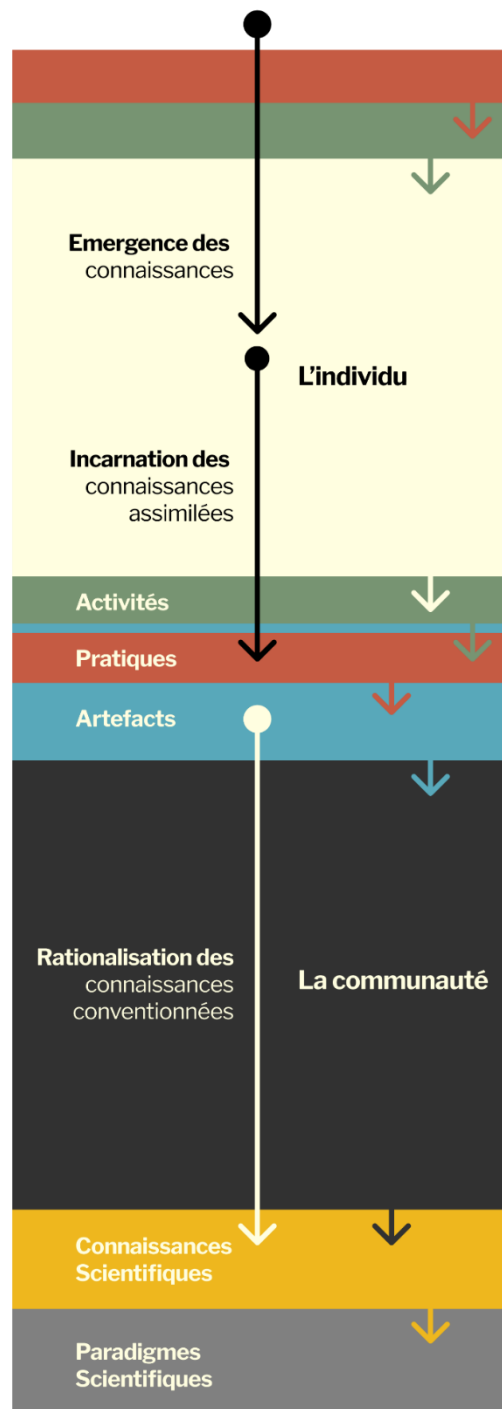


Figure 2. *Processus d'émergence et de rationalisation des connaissances assimilées et conventionnées*

Mais l'apprentissage est récursif, nous nous basons sur nos expériences pour en produire de nouvelles. La somme d'activités donnerait naissance à des pratiques et, en retour, le choc des pratiques et des environnements transformés guiderait de nouvelles activités. Prolongeons notre exemple du pâtissier qui doit s'adapter à un pic de chaleur dans sa cuisine. Bien qu'il maîtrise parfaitement sa technique habituelle de pâte feuilletée, il doit ajuster ses pratiques établies en fonction de ce nouvel environnement. À travers une série d'activités d'observation et d'adaptation (ajustement du temps de cuisson, modification de la température, adaptation de la composition de la pâte), il développe de nouvelles pratiques spécifiques à ces nouvelles conditions. Ces nouvelles activités viennent alors enrichir son expertise globale.

Bordé par ces notions d'activités et de pratique, nous obtenons deux processus : **l'émergence ou l'acquisition des connaissances**, qui se rapproche des processus "bottom-up" en sciences cognitives, où la pensée émerge de la perception et **l'incarnation des connaissances**, assimilable aux processus cognitifs dits "top- down" où les pensées stimulent l'action [LIN 77] (fig. 2). Nous nous focaliserons ici

sur l’incarnation des connaissances, car elles regroupent les aspects observables et donc extractibles d’une connaissance.

2.3.2. Projection des connaissances dans le monde

Chacune de nos activités laisse des traces dans l’environnement. Ces traces peuvent être conceptualisées comme des marques localisées et perceptibles. Elles sont le résultat d’une action mécanique qui marque, de façon éphémère ou permanente, un environnement naturel ou artificiel. Elles répondent aux lois d’une physique et leurs formes s’ancrent à travers les variations des propriétés des environnements : une trace pourrait-être une fréquence, une marque dans du bois ou une tache de couleur sur un mur blanc. En d’autres termes, les traces pourraient être considérées comme des formes d’enregistrement d’une action passée et, par extension, d’une activité passée [SUC 87].

2.3.3. Des traces aux objets

Si nous généralisons ce concept de trace comme un élément perceptible, une conséquence physique d’un ou plusieurs gestes sur un environnement, alors nous pourrions considérer les objets comme des catégories de traces. Leur processus de production est d’ailleurs source de traces indirectes, comme les marques des outils sur les établis des menuisiers, et directes comme le meuble conçu par ce même menuisier. Issu d’une orchestration de gestes et d’une technique volontaire, un objet aura la spécificité d’être toujours le support d’une inscription : une valeur intentionnelle qui guidera une interprétation et, éventuellement, une ou plusieurs actions potentielles derrière une déduction.

Prenons l’exemple d’une simple tasse à café. Cette tasse est une trace complexe qui porte plusieurs inscriptions intentionnelles. Sa forme cylindrique creuse et sa hauteur sont conçues pour contenir un liquide. Son anse est spécifiquement pensée pour permettre une préhension confortable tout en isolant la main de la chaleur du contenu. La légère courbure au niveau du rebord est intentionnellement dessinée pour faciliter l’action de boire. Chacun de ces éléments de design communique tacitement à l’utilisateur comment interagir avec l’objet : où placer ses doigts, comment la soulever, et comment boire son contenu en toute sécurité. Même quelqu’un qui n’aurait jamais vu de tasse auparavant pourrait, grâce à ces inscriptions physiques, déduire intuitivement son usage principal. On retrouve largement ces principes dans le design et plus généralement dans l’ergonomie, quand on parle de “la fonction par la forme” [KRI 06].



Figure 3. Gradient des typologies des artefacts médiateurs en fonction de leur niveau de maturation dans un projet de recherche.

Nous qualifierons ici le concept d’artefact comme la somme d’une trace et de l’inscription qu’il porte et nous pourrions considérer tout type d’artefact comme **un élément de formalisation d’un savoir**.

C’est pourquoi le cœur d’un système d’information centrée sur la connaissance s’étend naturellement à une gestion des artefacts et se focalisent souvent sur une gestion documentaire, ces objets qui incarnent des connaissances produites au sein d’un système partagé. On pourrait dès lors parler de l’ingénierie de la connaissance comme une « *ingénierie des supports et une critique de la connaissance* » [BAC 04].

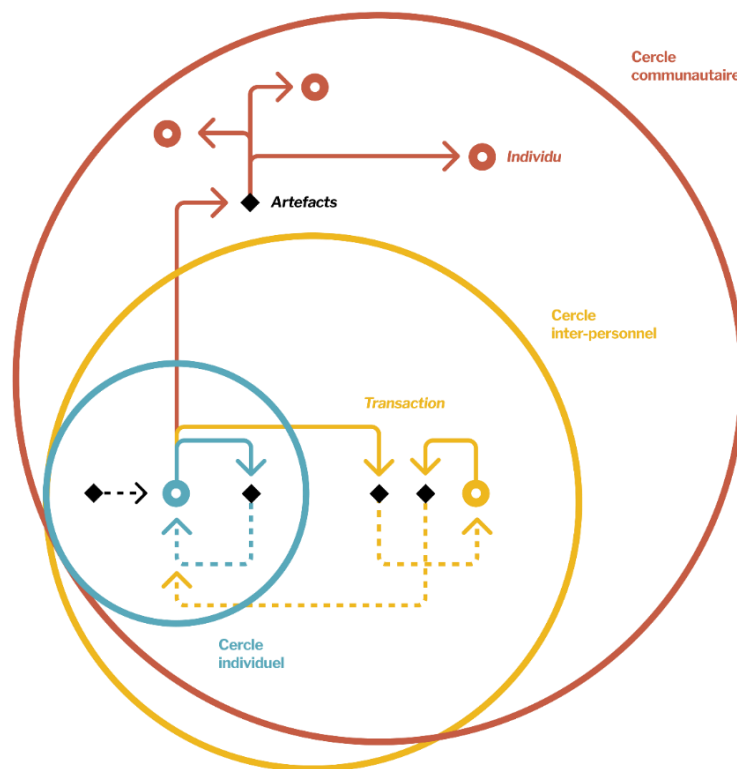


Figure 4. Les 3 cercles transactionnels dans une dynamique de maturation des artefacts.

Mais, comme nous l’avons fait pour les activités et les pratiques, nous ne pouvons cependant pas ajouter une mention “tacite” aux artefacts. Ils résulteraient systématiquement d’un processus de formalisation et représentent, à différents niveaux, toujours un savoir explicité. Il serait plus juste ici de mettre en cohérence les types d’artefacts avec un niveau de maturité dans le développement d’une connaissance. Nous parlerons d’*artefact précoce* pour ceux produits très tôt dans ce processus et qui serait le plus proche de l’intangibilité du “tacite” (fig 3). Par extension et croisé avec cette nécessité d’externalisation des pensées pour faire murir une intuition, une recherche ou une étude, une connaissance évoluera à travers les transactions des artefacts sur lesquelles elle s’inscrira. Nous identifierons principalement trois espaces, trois formes de territoires, matériels ou immatériels, dans lesquelles ces transactions auront lieu et qui délimitera principalement un certain niveau de formalisation des connaissances (fig 4).

- **Le cercle individuel** (notes personnelles), qui englobe toutes les réflexions et artefacts destinés à soi-même. Ce sont des phrases dites à voix haute ou des notes personnelles, parfois imparfaites tant dans le fond que dans la forme. Sous une personnalisation extrême, ils peuvent devenir difficilement déchiffrables par d’autres personnes.

- **Le cercle inter-personnel** rassemble les productions destinées à des entités spécifiques. Elle intègre les échanges d’informations en temps différé ou réel entre différentes entités spécifiques et a donc la particularité d’attendre une réponse du ou des destinataires d’un message qui permettront à chacun d’enrichir des savoirs. On retrouve ces situations lorsqu’un étudiant présente ses idées à ses pairs ou lors d’une conversation dans un café [WEN 02].

- **Un cercle communautaire** qui engloberait toute forme de communication formelle destinée à la communauté dans son ensemble. Centrée sur les connaissances conventionnées, cette sphère regroupe l’ensemble des documentations formalisées comme les rapports techniques, les communications et les articles scientifiques, où l’information est structurée selon des normes rigoureuses pour une diffusion large.

La maturation d'un savoir à travers les transactions dans ces territoires n'est pas nécessairement linéaire et le processus de production des connaissances s'avère fortement influencé par le contexte et l'intention. Par exemple, un chercheur pourrait initier ses travaux dans le cercle individuel en développant ses premières réflexions à travers des artefacts précoces (notes, croquis, ébauches), puis basculer vers le cercle interpersonnel pour enrichir sa pensée au contact de ses pairs. Ce processus est souvent itératif, le chercheur revenant régulièrement au cercle individuel pour consolider et affiner ses idées, avant de finalement produire une formalisation destinée à sa communauté dans le cercle communautaire. Dans d'autres cas, un savoir peut émerger du cercle interpersonnel et s'y maintenir, avec très peu de temps consacré à la réflexion personnelle, avant d'être proposé à la communauté. Certains savoirs, enfin, peuvent ne jamais quitter les cercles individuels ou interpersonnels. [AND 07].

Prenons à titre d'exemple une géologue qui étudie une formation rocheuse inhabituelle. Dans son activité immédiate sur le terrain, elle effectue une série de gestes intuitifs : elle touche la roche pour en évaluer la texture, observe les motifs à différentes distances, et prend des photos sous divers angles. Ces actions tacites sont guidées par ses pratiques acquises au fil des années d'expérience. Dans le cercle individuel, elle commence par griffonner rapidement dans son carnet de terrain quelques observations brutes et des croquis approximatifs : c'est son premier artefact, informel et personnel. Le soir, entrant dans **le cercle interpersonnel**, elle retravaille ses notes dans un document numérique plus structuré qu'elle partage avec ses collègues directs, ajoutant des analyses préliminaires et des références à des cas similaires. S'ensuivent plusieurs échanges et discussions avec l'équipe. Enfin, après plusieurs semaines d'étude collaborative, ces observations initiales évoluent vers **le cercle communautaire** sous la forme d'une publication scientifique complète : l'artefact final, entièrement formalisé et destiné à la communauté scientifique dans son ensemble. Optimisée par un système d'information et de connaissances scientifiques, chaque étape de cette progression à travers les trois cercles représente des étapes identifiables dans la maturation du savoir, passant du tacite à l'explicite, du personnel au collectif.

2.4.5. La communauté comme catalyseur de connaissances.

Illustré par l'exemple précédent, une fois qu'un artefact, porteur d'un stade de développement d'une connaissance, est projeté par son créateur, il est, d'une façon ou d'une autre, potentiellement mise à disposition d'autre intellect. Ce simple phénomène enclenche la dynamique sociale autour des connaissances dites conventionnelles.

Par leurs échanges, les chercheurs projettent des artefacts (notes, schémas, modèles) qui deviennent des relais transactionnels : chacun contient l'intention de son auteur, mais toute interprétation ultérieure y ajoute une inflexion subjective, créant ainsi un écart inévitable entre la connaissance d'origine et sa lecture par autrui [ECO 92 ; ZAC 20]. Dans ce réseau pair-à-pair, chaque individu joue simultanément le rôle de nœud critique et validateur : il reproduit l'expérience ou le raisonnement, y injecte son propre savoir tacite, puis confirme ou réfute le résultat [MER 73]. Ce va-et-vient produit un **versioning organique** de la connaissance : à chaque tour de boucle, une nouvelle mouture plus robuste ou plus nuancée voit le jour. Certaines versions se renforcent, acquièrent un « poids » qui exerce une sorte de gravité intellectuelle ; elles attirent et structurent les savoirs connexes jusqu'à former de grands paradigmes scientifiques, tandis que d'autres s'affaiblissent et disparaissent dans le flux continu de la recherche (fig 5) [LON 90].

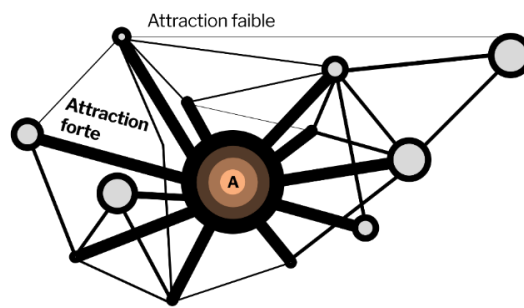


Figure 5. Le poids et l'attraction d'un paradigme scientifique (A) sur les champs des connaissances annexes.

Ce **jeu dynamique de poids et d'attraction révèle une dimension bayésienne** : chaque artefact agit comme une **nouvelle preuve** qui vient actualiser le « a priori » collectif de la communauté savante. Plus un résultat résiste aux critiques, plus sa **probabilité a posteriori** s'élève ; à l'inverse, les résultats contredits voient leur crédibilité décroître jusqu'à devenir négligeables. Comme dans l'inférence bayésienne, la connaissance scientifique avance par **révisions successives de croyances** : les paradigmes dominants correspondent aux modes les plus probables d'une distribution qui reste ouverte à l'apparition de nouvelles preuves susceptibles de reconfigurer entièrement le paysage. Ainsi, la communauté agit comme un catalyseur qui transforme la créativité individuelle en patrimoine collectif tout en maintenant la dynamique critique indispensable au progrès.

Cette dynamique de transformation et de circulation des savoirs entre les cercles individuels, interpersonnels et communautaires s'aligne sur le modèle SECI de Nonaka et Takeuchi, tout en y intégrant la dimension transactionnelle des artefacts [NON 96]. Le cercle individuel correspond à la **socialisation**, où les savoirs tacites individuels prennent forme à travers des artefacts précoces et personnels, marqués par l'intention initiale de leur créateur. La transition vers le cercle interpersonnel reflète **l'externalisation**, où ces savoirs tacites sont progressivement articulés et partagés, subissant une première transformation à travers l'interprétation subjective des pairs. Le cercle communautaire représente **la combinaison**, où les savoirs formalisés et validés sont systématisés et diffusés plus largement. L'internalisation se produit à plusieurs niveaux lorsque les connaissances sont réappropriées par les individus à travers leur propre subjectivité, enrichissant leurs savoirs tacites et alimentant un nouveau cycle de création de connaissances (fig 6).

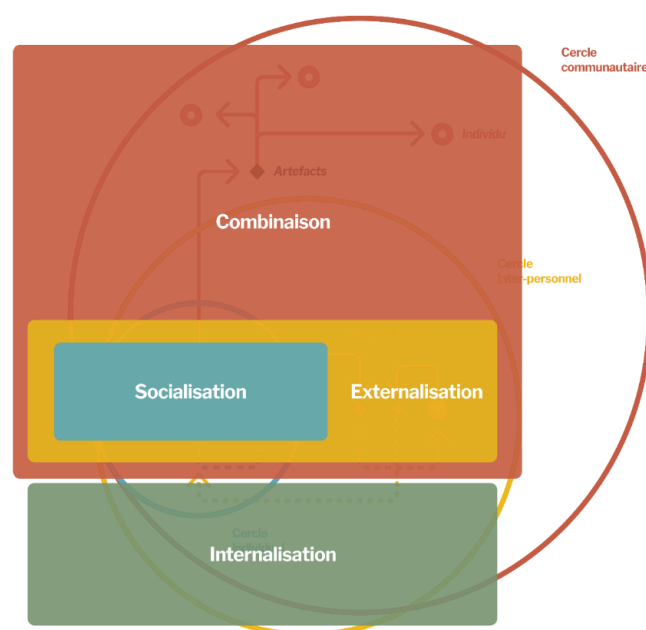


Figure 6. Mise en relation des cercles transactionnels avec les dimensions du SECI de Nonaka & Takeuchi

Nous avons pris le temps d’approfondir cette partie théorique parce qu’un système d’information chargé de gérer de nombreuses connaissances doit soutenir chaque étape du dialogue continu entre un chercheur et sa communauté. La façon dont un savoir passe du tacite à l’explicite et prend plus ou moins d’importance doit donc orienter la conception de ce système.

Cette approche va donc bien au-delà d’une simple “gestion de la connaissance par la donnée scientifique” car elle se doit d’intégrer une dimension **sociale**, **bayésienne** et **coopérative** dans la traçabilité des différents espaces de productions que sont l’émergence, la transformation et la publication des connaissances scientifiques.

L’objectif de cette étude n’est pas de transcrire l’intégralité de ces composantes théoriques dans un cas pratique, mais plutôt de se focaliser sur les premières étapes de ce process : l’extraction des connaissances tacites. La seule approche éthique possible pour extraire le tacite d’un esprit et le transférer dans un système d’information, serait de le prélever à travers des fenêtres d’extraction proposés par **une « matrice du tacite » (fig 7)**. Cette matrice croiserait les activités tacites, les pratiques tacites et les différents artefacts produits dans les premières étapes du processus de maturation des savoirs au sein des cercles individuels et interpersonnels.

Dans un premier temps, notre attention se portera plus particulièrement sur les différentes approches de l’intelligence artificielle pour permettre ces élicitations [COO 99b]. Dans un second temps, nous détaillerons une expérimentation autour de l’extraction des pratiques tacites. Enfin, dans un dernier temps, nous aborderons le potentiel d’une culture de ces pratiques tacites au sein des organisations scientifiques comme composant fondateur de nouvelles architectures pour animer une famille d’agents artificiels scientifiques.

3. L’Intelligence artificielle dans la capture et la structuration des savoirs tacites en Géosciences.

Le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), service géologique national français, est l’établissement public de référence dans le domaine des sciences de la Terre. Il a pour mission de comprendre, documenter et accompagner différents acteurs à une meilleure gestion des ressources du sous-sol, tout en anticipant et prévenant les risques liés. L’activité du BRGM s’organise autour d’une dynamique de recherche qui a pour priorité de relever les grands enjeux scientifiques et sociétaux liés au sous-sol, ses ressources et sa gestion durable. En plaçant la recherche scientifique et l’innovation au cœur de ses actions, le BRGM, porteur d’une organisation scientifique, doit être en capacité de gérer cette élasticité des connaissances qu’elle produit et met à disposition des sociétés et de leurs économies. Il est important de noter que cette étude s’inscrit dans le contexte des géosciences, avec un intérêt particulier sur l’usage de l’intelligence artificielle pour extraire et valoriser les savoirs tacites dans ce domaine. Les géosciences, par leur nature, impliquent une combinaison d’observations de terrain, d’analyses en laboratoire et de modélisations complexes, créant ainsi un écosystème d’artefacts complet. D’autres domaines scientifiques, comme la physique quantique, la biologie moléculaire ou l’astrophysique pour ne citer que celles-ci pourraient nécessiter des approches différentes pour la capture et la valorisation de ces savoirs. Les choix présentés ici sont donc à considérer comme une réponse spécifique aux enjeux des géosciences, plutôt que comme un modèle universel applicable à toutes les disciplines scientifiques.

3.1. Matrice et usages de l’IA dans l’extraction des savoirs tacites.

La matrice du tacite, présentée précédemment, compose un cadre conceptuel pour l’extraction des savoirs tacites. Cette structuration nous permet d’identifier les espaces potentiels de capture de ces savoirs dont la formalisation est complexe, car ancrés dans une activité quotidienne, et de les mettre en relation avec les différentes technologies possibles.

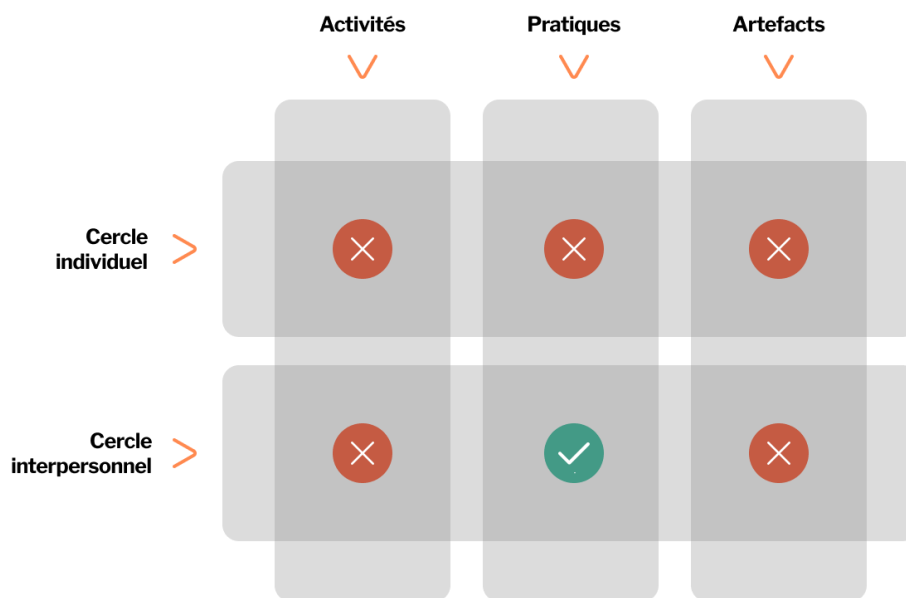


Figure 7. Matrice du tacite et Espace d'extraction sélectionné dans le cadre de l'étude.

3.1.1. L'Ontologie comme un exercice imposé.

Quel que soit le type d'information, son exploitation par l'intelligence artificielle exige au préalable une **structuration formelle des connaissances métier** à l'aide d'une **ontologie** : modèle de donnée qui spécifie les *classes* de concepts d'un domaine, leurs *propriétés* et leurs *relations*, ainsi que les *contraintes logiques* qui les lient (hiérarchie « est-une », relations « partie-de », cardinalités, etc.) [GRUB 93]. Cette modélisation des connaissances est subjective et se base principalement sur un consensus entre experts métiers.

À partir de ce schéma, on construit un **graphe de connaissances** : un **graphe orienté et étiqueté** dont les **nœuds** représentent des *instances* concrètes (personnes, lieux, échantillons, articles...) et les **arêtes** des *relations* typées. Ce graphe permet de connecter différentes ontologies de domaines afin d'agréger différents aspects des connaissances des experts. Autrement dit, **l'ontologie joue le rôle de "moule" conceptuel, tandis que le graphe de connaissances en est le "tirage" peuplé de faits**. Contrairement à une base de données relationnelle, qui impose des tables rigides et des jointures coûteuses, le graphe de connaissances utilise l'expressivité proposée par l'ontologie : il permet de parcourir, d'inférer et d'enrichir dynamiquement les liens, même lorsqu'ils sont très hétérogènes ou évolutifs.

Aujourd'hui, cette articulation ontologie + graphe est un socle incontournable pour entraîner des agents d'IA orientés métier : elle offre une expressivité sémantique partagé qui garantit l'interprétation correcte des données, la découverte de connexions pertinentes et la formulation de recommandations cohérentes avec les pratiques du domaine [GOM 04]. À l'inverse, des outils dépourvus de fondation ontologique risquent de produire des analyses hors-sols ou d'ignorer des dépendances critiques entre concepts. La qualité et la portée de l'ontologie, puis la complétude du graphe qui en dérive, constituent donc un levier déterminant pour l'efficacité des solutions d'IA au service des processus métier.

Dans une logique d'apprentissage évolutif (détaillée ultérieurement), nous adoptons une ontologie en deux temps. Dans la phase de démarrage, l'ontologie socle joue un rôle **prescriptif** : elle fournit aux experts un cadre commun pour décrire leurs pratiques. Dès que ces descriptions entrent dans le système, un flux **inductif** s'active : le graphe repère les concepts/relations qui n'existent pas encore, les propose à validation, puis les réinjecte dans l'ontologie. Cette boucle itérative garantit simultanément la stabilité et l'extensibilité, les deux dimensions nécessaires à un système apprenant.

3.1.2. La mise de côté du suivi des activités tacites.

Au sein de ce cercle individuel, Les activités, définies comme l'ensemble des actions réalisées en temps réel par un individu, présentent des défis particuliers d'extraction dans le contexte des géosciences. Dans un cadre bureautique traditionnel, les algorithmes derrière le "process mining" permettent de capturer automatiquement les actions des utilisateurs : navigation dans les documents, utilisation des logiciels, échanges d'emails, etc. [VAA 16]. Ces outils analysent les traces numériques laissées par les utilisateurs pour reconstituer leurs processus de travail [MIL 06]. Cependant, cette approche se révèle insuffisante pour les géologues où une grande partie du travail implique des observations de terrain, des analyses en laboratoire, et des interprétations basées sur l'expertise visuelle et tactile.

La discussion peut être différente dans le cercle interpersonnel et plus particulièrement dans le cadre des conversations orales où les technologies construites autour de modèles d'apprentissages offrent de nouvelles perspectives pour l'analyse et la reconstruction des activités autour des transactions conversationnelles. L'utilisation combinée d'outils de reconnaissance vocale avancés et d'algorithmes d'analyse sémantique pourrait permettre de capturer et d'analyser les échanges informels entre experts, tout en préservant leur spontanéité. Les systèmes de transcription automatique (speech-to-text) peuvent retranscrire avec un haut niveau de fidélité les discussions techniques complexes, tandis que les algorithmes d'analyse de sentiment et de contexte permettent d'identifier les informations cruciales et les idées émergentes [JUR 23]. Cette approche technologique, même agrémentée d'anonymisation, resterait délicate à mettre en œuvre en raison des enjeux de confidentialité et d'acceptabilité. Elle pourrait néanmoins stimuler la manière dont nous capturons et valorisons les savoirs tacites échangés lors des interactions quotidiennes. L'IA agirait ainsi comme un observateur silencieux, capable de transformer ces moments d'échange informels en une ressource structurée de connaissances exploitables.

3.1.3. *La complexité de l'analyse des artefacts.*

Dans un cadre de production personnel, l'analyse des différents artefacts s'appuie sur les capacités avancées du traitement du langage naturel (NLP). Dans le contexte spécifique des géosciences, les artefacts précoces se manifestent principalement sous forme de carnets de terrain contenant des notes manuscrites et des symboles spécialisés. Ces documents constituent une source précieuse d'informations tacites, capturant les observations, interprétations et déductions initiales des géologues sur le terrain.

Outre la question de classification de ces éléments dans une base de données, leur potentielle extraction demanderait un traitement à travers trois systèmes :

- La reconnaissance de texte manuscrit (HTR) : Des algorithmes spécialisés convertiraient les notes manuscrites en texte numérique exploitable, tout en préservant la structure et la disposition spatiale des informations.
- L'analyse d'entités nommées contextualisée : Des modèles entraînés spécifiquement pour les géosciences identifieraient et catégoriseraient les termes techniques, les localisations, les formations géologiques et autres éléments pertinents.
- L'intégration avec des modèles de langage avancés : Les grands modèles de langage (LLMs) et les *Retrieval Augmented Generation* (RAGs) permettraient d'interpréter le contexte plus large et de relier les informations extraites à une base de connaissances existante.

Cette approche multi-niveau permettrait non seulement de numériser les notes de terrain, mais aussi de comprendre leur signification dans un contexte spécifique, créant ainsi un pont entre les observations sur le terrain et leur exploitations potentielles dans un cadre de gestion digitalisée des connaissances.

L'analyse des artefacts dans un rapport interpersonnel présente des défis plus abordables que dans une dimension personnelle, car essentiellement dactylographiés. Au-delà des échanges vocaux, elle s'appuierait principalement sur la reconnaissance optique de caractères (OCR) qui appartient à une famille de technologies mature.

Cette famille d'algorithmes excelle dans la numérisation et l'interprétation de documents variés, qu'il s'agisse de rapports techniques, de présentations ou de notes de réunion.

Cette combinaison permettrait non seulement de capturer fidèlement le contenu des documents, mais aussi de les contextualiser et de les intégrer dans une éventuelle base de connaissances de l'organisation. Les informations extraites peuvent alors être classées, reliées à des concepts existants et rendues facilement accessibles pour une exploitation future.

3.1.4. Le potentiel des pratiques tacites.

La problématique de l'extraction des pratiques tacites dans ce rapport à soi constituerait une évolution naturelle de la captation des activités et du process mining [VAA 16]. Les algorithmes de machine learning et de deep learning offrent des perspectives prometteuses dans ce domaine. Ces technologies permettent d'analyser de vastes ensembles de données comportementales pour identifier des comportements récurrents et des schémas d'action cohérents.

Ces traitements pourraient exceller dans la détection et la synthèse de pratiques non formalisées par un modèle de linéarisation. En observant et analysant de multiples séquences d'actions répétées en relation avec des objectifs spécifiques et récurrentes, ils pourraient faire émerger des modèles de comportement et des méthodologies implicites. Par exemple, ils pourraient identifier comment un expert géologue organise systématiquement ses observations sur le terrain, même si ce dernier n'a jamais explicitement documenté sa méthode.

L'avantage majeur de cette approche résiderait dans sa capacité à capturer des pratiques qui échappent souvent à la documentation traditionnelle. Les algorithmes pourraient détecter des schémas redondants, des routines subtiles et des séquences d'actions optimisées que les experts eux-mêmes ne réalisent pas toujours consciemment mettre en œuvre. Cette formalisation automatique des pratiques tacites ouvrirait la voie à une meilleure compréhension et transmission des savoir-faire au sein des organisations.

Si nous mettons une approche technologique de côté, l'extraction des pratiques par un échange interpersonnel s'inscrirait dans une approche traditionnelle d'extraction des connaissances, reposant sur des entretiens et des ateliers structurés entre un expert en gestion des connaissances et un expert métier. Ces méthodologies, bien documentées et éprouvées, pourraient aujourd'hui être enrichies par l'intelligence artificielle.

L'optimisation majeure résiderait dans le développement d'un agent conversationnel basé sur un LLM, qui viendrait se substituer à l'expert en gestion des connaissances. Spécifiquement entraîné pour cette mission, cet agent disposerait de capacités avancées : compréhension fine du contexte métier, analyse et compréhension de document, formulation de questions pertinentes et adaptatives, et structuration méthodique des pratiques selon un cadre prédéfini.

Cette approche présenterait plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, la disponibilité permanente de l'agent permettrait une flexibilité totale dans le processus d'extraction des connaissances. Les experts métier pourraient initier des "séances connaissances" à leur convenance, sans contraintes de planning. De plus, l'agent pourrait accompagner différents types de transferts de connaissances : départs à la retraite, transitions de projets, passations temporaires pour congés. Sa capacité à maintenir une conversation cohérente et à approfondir progressivement les sujets permettrait une extraction plus complète, systématique et systémique des savoirs tacites.

3.1.5. Au-delà de l'extraction des savoirs tacites.

Mais l'idée d'un agent système autonome infusé par les pratiques et les savoirs tacites des géoscientifiques permet de l'imaginer au-delà de cette fonction primaire qu'est l'extraction des connaissances tacites. L'agent pourrait également adapter son approche selon le contexte : questions ouvertes pour explorer de nouveaux domaines, questions de clarification pour approfondir des points

spécifiques, ou validation pour confirmer la bonne compréhension des pratiques décrites. Cette adaptabilité, couplée à sa capacité de structuration immédiate des informations recueillies, en ferait un outil particulièrement efficace pour la préservation, la combinaison et la transmission des connaissances au sein de l'organisation.

Comme toute science de l'invisible, parce que le géologue est un scientifique qui doit “déduire” ce qu'il ne voit pas, peu ou partiellement, il doit s'armer de méthodes qui lui permettront de modéliser ce à quoi le sous-sol pourrait ressembler sous ses pieds. Un modèle peut être défini comme une représentation statistique chargée d'une incertitude. Comme tout objet de sciences, les méthodes pour générer ses modèles sont le résultat de la synthèse, du partage et de la combinaison des géologues, géomaticiens et autres géophysiciens qui les ont travaillés. Et aujourd'hui, la génération automatique des modèles du sous-sol, se base sur l'automatisation de ces pratiques.

Dès lors, un tel agent IA pourrait, par exemple, assister les géologues dans la construction et l'optimisation de leurs modèles en :

- Identifiant les patterns méthodologiques récurrents dans différents projets de modélisation
- Suggérant des approches de modélisation basées sur des cas similaires passés
- Capitalisant sur les retours d'expérience pour améliorer les futurs modèles

Cette vision permettrait non seulement d'améliorer l'efficacité des processus de modélisation, mais aussi de préserver et de transmettre les meilleures pratiques développées au fil des années. L'agent servirait ainsi de pont entre les connaissances tacites accumulées et leur application concrète dans de nouveaux projets scientifiques. Par l'imagination de nouveaux modèles et leur automatisation, bien qu'imaginé comme extracteur de connaissance, cet agent se développerait comme un producteur à part entière de connaissances.

Cette approche, privilégiée dans cette étude, appelle d'abord une réflexion de fond : comment conjuguer l'extraction des pratiques tacites avec l'automatisation des modèles scientifiques ? Pour répondre à cette question, nous écartons — dans un premier temps — les pistes d'extraction fondées sur des artefacts précoces, tels que les carnets de terrain numérisés par HTR, et concentrons notre effort sur la capture des pratiques tacites au fil des entretiens, puis sur leur formalisation dans le système d'information ; ce corpus procédural constitue la seule matière première retenue pour nourrir et entraîner l'agent.

3.2. Vers une forme procédurale des pratiques.

Avant de penser à la production d'un agent IA basé sur les pratiques des géoscientifiques, il existe un univers de problématiques scientifiques et techniques autour de la description et le stockage de ces pratiques dans un système d'information. Nous aimerions en adresser quelques-unes.

Si nous définissons une pratique comme une suite d'actions de cause à effet, orchestrée à travers un cadre spatio-temporel et motivée par un objectif défini, qu'il soit formalisé ou non, alors une pratique pourrait être assimilée à un processus dans son sens étymologique, *procedere*, c'est-à-dire une suite d'action qui se développe avec le temps. Cette analogie nous permet de bénéficier de tous les fruits des travaux en sociologie et sciences de gestions autour d'abord de la théorie des process, de la gestion des process et plus particulièrement du système de notation utilisé pour transcrire ces process au sein des organisations [HER 07].

Le projet nommé *Cursus* s'inscrit dans cette volonté de transcrire, formaliser, documenter et stocker les pratiques en géosciences au sein du BRGM. Cette plateforme d'architecture de processus vise à transcrire les savoir-faire métiers, les méthodes et les protocoles expérimentaux sous la forme de process. En permettant aux experts de documenter leurs actions et leurs méthodologies de manière structurée,

L'objectif de cette plateforme est de créer un pont entre les dimensions tacites et explicites des savoirs en géosciences [HER 07].

Il est important de noter que *Cursus* est d'abord développé dans un cadre de structuration de la connaissance en recherche scientifique. Dès lors, l'approche processus mise en place diffère d'une approche de type pilotage de la qualité que l'on retrouve en science de gestion. La recherche scientifique est une itération continue, qui progresse de cas d'expérience en cas d'expérience, avec des ajustements permanents, des tests, des échecs et des succès. *Cursus* doit permettre aux chercheurs de documenter cette amélioration continue. Le processus n'est donc pas abordé comme un dogme à suivre et à respecter, mais plutôt comme un réceptacle d'expérimentations réalisées et appuyées par la communauté. Une fois ces méthodes stabilisées et industrialisées, elles pourront évoluer vers un processus qualité.

Dès lors, afin de garder une phylogénie des processus, *Cursus* incorpore des concepts hérités du PLM (Product Lifecycle Management) et de la question plus générale de « la mémoire du projet » [BEK 03]. Ancré dans le monde industriel, Le PLM est une approche stratégique de gestion du cycle de vie des produits, qui permet de suivre et de documenter l'évolution d'un produit depuis sa conception jusqu'à son retrait des chaînes de production. Nous adaptons spécifiquement deux concepts clés dans *Cursus* :

- **Les itérations** : qui représentent des cycles successifs d'amélioration d'un processus, permettant d'affiner et d'optimiser progressivement les méthodes de travail.
- **Les révisions** : qui constituent des variantes distinctes d'un même processus, chacune pouvant représenter une approche différente ou une adaptation à un contexte spécifique.

Ces mécanismes permettent de tracer l'évolution des processus tout en préservant l'historique des différentes approches expérimentées.

Les motivations pour créer une version d'un processus peuvent être multiples : la poursuite d'une intuition pour réaliser une tâche différemment, l'intégration d'un nouvel outil qui fait évoluer la pratique, une tentative d'optimisation du processus existant, ou encore l'adaptation à un contexte spécifique. Ces versions, complémentaires ou non, produites par différents experts, représentent une variabilité d'approches pour atteindre un même objectif, chacune enrichissant le corpus des pratiques possibles. Dès lors, similaire à ce que l'on retrouve dans des répertoires de codes informatiques, la gestion des versions incarne une partie de cette sociodynamique des connaissances conventionnelles.

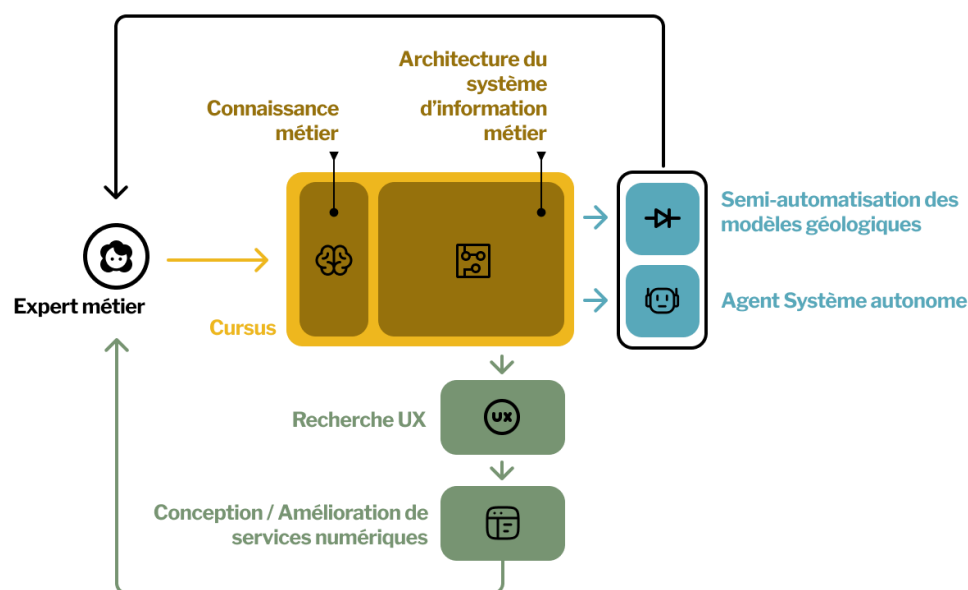


Figure 8. Interaction de *Cursus* avec différents composants et fonctions portés par un système d'information.

Cette plateforme offre donc un espace où les experts peuvent transcrire et partager leurs intuitions, leurs méthodes personnelles et leurs observations contextuelles **dans un format visuel mais surtout structuré en base de données**. Là où des outils « à plat » (Visio, Miro, Lucidchart etc.) stockent un logigramme comme une simple image enrichie, **Cursus instancie chaque brique du processus** : un *pas d'action* reçoit un identifiant unique, un *profil métier* responsable, l'*outil* mobilisé (capteur de terrain, script Python, logiciel SIG, etc.) et un *temps moyen de réalisation*. Cette granularité ouvre plusieurs niveaux d'exploitation (fig 8) :

- **Analyse organisationnelle** : en filtrant les métadonnées, on identifie le profil qui intervient le plus, la catégorie d'outils la plus sollicitée ou la durée moyenne d'un type de procédure.
- **Encyclopédie centralisée des outils** : toutes les ressources (physiques, numériques ou instrumentales) du BRGM — jusque-là dispersées — sont référencées au même endroit, facilitant leur maintenance et leur capitalisation.
- **Soutien RH** : la même base sert de point d'appui pour définir les *profils métier* et, à terme, les *référentiels de compétences* qui y seront attachés.
- **Réutilisation sans duplicata** : parce que chaque action est un objet adressable, elle peut être *recyclée* dans un nouveau workflow plutôt que copié-collé, ce qui garantit la cohérence et simplifie la mise à jour.

L'impact potentiel de Cursus est donc triple :

- Il **préserve** et transmet des savoirs qui resteraient autrement tacites ;
- Il **trace** finement la production et l'usage des données, améliorant la reproductibilité scientifique ;
- Il fournit un **langage processuel commun** qui, enrichi de ces métadonnées, aligne les disciplines et fait émerger une plateforme de gestion des connaissances aux fonctionnalités profondément intégrées.

En documentant systématiquement les processus et méthodologies, Cursus établit un "point d'origine" clair dans la vie d'un savoir au sein du système d'information, permettant de suivre son évolution depuis une forme tacite précoce jusqu'à sa formalisation explicite. De plus, il contribue à la création d'une mémoire collective dite procédurale, enrichissant ainsi le patrimoine de connaissances de l'organisation [SEN 06].

Cette formalisation et ce réceptacle des pratiques métiers par les experts, loin d'être une simple documentation technique, devient un véritable catalyseur pour l'innovation et l'apprentissage organisationnel au sein du BRGM.

3.2.1. Des usages et des impacts à mesurer

Cependant, pour que cette approche fonctionne, elle nécessite un certain niveau d'appropriation de Cursus par les métiers. Bien que largement théorisée en sociologie des organisations, une structuration par les processus n'a que très rarement été généralisée, principalement en raison de trois obstacles majeurs.

- Le premier est la perception du processus comme une logique rigide et contraignante, ce qui provoque un rejet des équipes.
- Le second concerne la forme même des processus, souvent représentés par des logigrammes dont la manipulation et l'interaction exigent une expertise particulière et peu intuitive pour leur cartographie.
- Le troisième obstacle réside dans la complexification des systèmes de notation et leur développement au sein des systèmes d'information et d'automatisation, cantonnant ainsi les processus à l'univers des ingénieurs ou des développeurs.

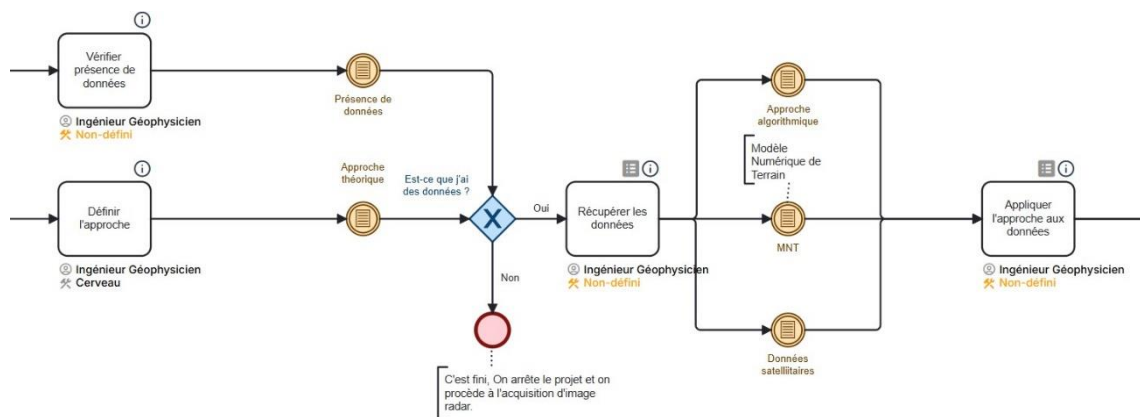


Figure 9. Exemple de description d'un processus métier dans Coursus

Le développement de Coursus est donc accompagné de quatre études complémentaires en termes d'usages et d'impacts.

- La première vise à simplifier le système de notation des processus. Cette étude prendra comme point de départ le BPMN (Business Process Model and Notation) (fig 9) [OMG 11], un système de notation standardisé pour les processus machines. L'objectif sera d'adapter et de simplifier cette notation pour décrire les aspects "froids" du comportement humain - c'est-à-dire les actions dénuées des aspects "chauds" comme les rapports intentionnels, interprétationnels et émotionnels. Cette revue analysera leur ancrage dans les comportements coopératifs pour établir un système de notation commun applicable tant aux comportements humains que machines.

- La seconde étude se concentrera sur l'usage de Coursus comme outil de co-design d'un système d'information centré sur le métier. Coursus sera alors analysé et prit sous le prisme d'une représentation intermédiaire partagée du système et de l'organisation afin de fournir le substrat nécessaire à son optimisation.

- La troisième étude portera sur l'expérience utilisateur et les interfaces. Elle visera à surmonter la barrière de la cartographie des processus en proposant des initiatives interactives accessibles aux non-experts, et surtout en développant une version mobile de Coursus permettant aux géologues de l'utiliser sur le terrain.

- La quatrième étude prendra comme sujet la conduite du changement. Elle visera à concevoir et déployer une stratégie d'acculturation pour intégrer Coursus dans les pratiques quotidiennes de l'ensemble des collaborateurs de l'organisation.

La cinquième étude s'articule désormais en deux temps : (i) alimenter l'entrepôt CURSUS en référençant le plus grand nombre possible de processus et de profils métier du BRGM ; (ii) une fois ce socle constitué, exploiter CURSUS comme véritable interface homme-machine pour la conception et l'entraînement de l'agent autonome « Beregem », destiné à la fois à l'accompagnement de la gestion des connaissances et à la production de modèles scientifiques en géosciences.

3.2.1. *Projet Pilote : retours et perspectives.*

Lancé en février 2025 au BRGM, le pilote CURSUS est piloté par l'équipe de recherche UX afin de croiser design de services numériques et gestion des connaissances.

Le projet pilote visait à référencer 70 méthodes d'acquisition de données géophysiques pour spécifier les formulaires du futur système d'information et d'orchestration des modèles géophysiques. Cette finalité concrète a donné aux experts une raison claire d'investir la démarche, favorisant leur adhésion.

Deux vagues de cartographie ont eu lieu.

- **Ateliers collectifs** (12 séances) – animés par des **chercheurs UX** et des **stagiaires** aux niveaux d'aisance variés ; ils ont produit une **première version des processus** sous forme de workflows. Les 70 processus géophysiques ont été référencés
- **Entretiens individuels** – menés ensuite pour **valider** ces workflows et les **publier dans CURSUS**, générant le graphe initial de bonnes pratiques. À la rédaction de cet article, 20% des process ont été validés puis publiés dans le système.

Nous en avons extrait les enseignements suivants.

- **Acculturation des animateurs** : le **taux d'acceptation faible** (< 40 %) montre qu'une formation plus poussée à la modélisation est nécessaire.
- **Temps investi** : la captation détaillée est **chronophage** (3h environs par process) pour les animateurs comme pour les experts, ralentissant le recensement complet.
- **Perception des experts** : accueil largement positif, bien qu'ils ne soient pas encore autonomes pour saisir leurs propres processus.
- **Collaboration** : CURSUS s'est révélé un **support visuel efficace** pour harmoniser la terminologie, comparer les variantes et consolider les pratiques tacites.

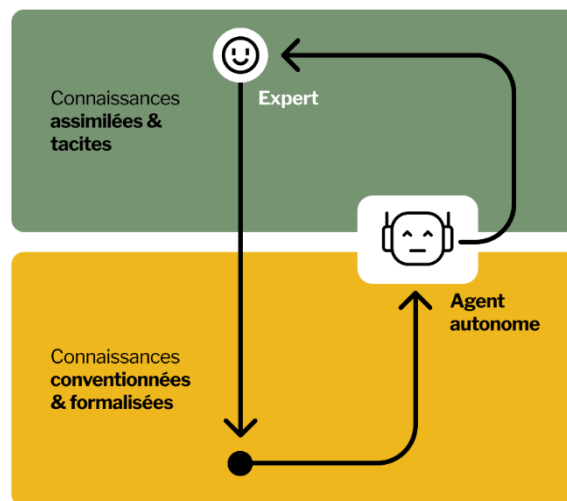


Figure 11a. Approche classique d'entraînements des agents sur des bases de données connaissances conventionnelles et formalisé.

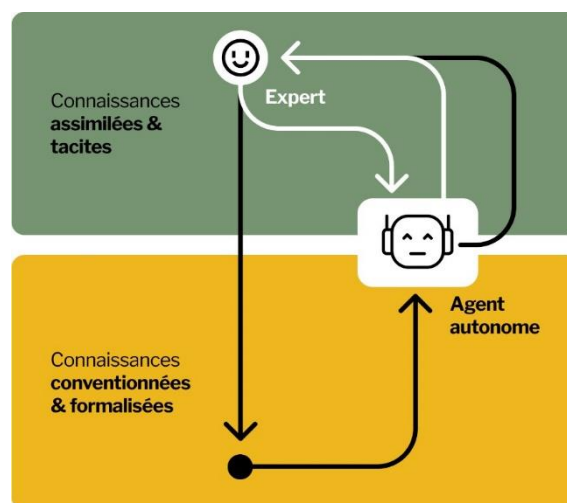


Figure 11b. Approche proposée d'entraînement des agents sur des bases de données de connaissances assimilées et tacites.

Malgré les freins d'appropriation et le temps requis, ce premier pilote démontre la pertinence du modèle procédural et ouvre deux cycles d'expérimentation supplémentaires :

- **Phase 2 « transcription augmentée »** : les prochains ateliers seront **enregistrés en audio**, puis transcrits automatiquement. Un LLM (testé avec *Notion AI*) convertira ces verbatims en un **diagramme au format Mermaid** – un langage texte léger pour décrire des organigrammes (« graph LR ; A-->B ; ») – avant de le traduire en **XPDL (XML Process Definition Language)**, format que CURSUS importe nativement. L'objectif est de **court-circuiter l'expertise de modélisation manuelle**, afin de réduire le délai entre extraction, transcription et publication.

- **Phase 3 « captation terrain »** : un volet plus technique et d'exploration de nouveaux usages de Cursus visera à **géoréférencer les parcours in situ** (traces GPS), puis à agréger les artefacts acquis sur le terrain : notes manuscrites, mémos vocaux, photos, relevés instrumentaux. Chaque séquence de mission sera automatiquement « mise sous process », offrant — dès le retour au bureau — une cartographie exploitable et un point d'entrée unique pour récupérer les artefacts et, dans un second temps, en extraire leur contenu tacite.

Cette feuille de route consolide le socle méthodologique validé en phase 1 et étend progressivement *Cursus* vers la formalisation des savoir-faire géologiques, tout en abaissant la barrière de temps et de compétence nécessaire à la capitalisation des connaissances.

3.3. Vers une architecture basée sur les cas d'expérience.

Le pilote CURSUS a montré qu'il est possible de capturer, structurer et versionner les pratiques tacites sous forme de processus réutilisables. Il reste maintenant à orchestrer ces briques pour qu'elles deviennent la matière première d'un système d'aide à la décision capable de raisonner comme – et avec – les experts. Cette transition, de la mémoire procédurale vers l'intelligence artificielle, constitue la seconde partie de notre travail : elle conduit à imaginer l'architecture qui fera vivre ces processus dans un agent conversationnel, Beregem.

Aujourd'hui, dans une approche classique d'accompagnement des organisations, les agents utilisés, qu'ils soient généraux ou expert, sont conçus sur une base de connaissances conventionnelles formalisées, qui sert de base de réflexion au modèle (fig 11a). L'approche que nous proposons ici est de concevoir un agent sur une base de connaissances assimilées et tacites afin qu'il se développe au plus proche du temps réel de réflexion et d'exploration des experts et chercheurs (fig 11b)

Le projet Beregem propose une approche particulière dans le domaine de l'intelligence artificielle, en développant un système qui s'enrichirait continuellement des pratiques et des savoirs tacites des scientifiques et non pas de connaissances formalisées comme c'est le cas dans des modèles du grand public. Cette IA dites générative ne se contenterait pas d'être un simple outil autonome, mais incarnerait une intelligence collective, fruit de la collaboration entre les experts du BRGM. Philosophiquement parlant, la particularité de ce projet réside dans sa conception profondément synergique : l'IA dépendrait des contributions humaines pour son apprentissage et son évolution, tandis que les scientifiques bénéficieraient de ses capacités d'analyse et de synthèse pour faire avancer leurs études. Cette interdépendance délibérée créerait un écosystème dans lequel chaque acteur, qu'il soit humain ou machine, occuperait un rôle distinct et complémentaire, garantissant ainsi une évolution constante et maîtrisée du système.

3.3.1. Mémoire procédurale, sémantique & procédurale.

Dans une organisation apprenante, la capacité à retenir et à exploiter les connaissances est fondamentale pour son évolution et sa pérennité. À l'image du cerveau humain qui organise et structure ses souvenirs à travers différents types de mémoire, une organisation doit développer des systèmes analogues pour capturer, stocker et utiliser efficacement les savoirs collectifs produits par ses membres.

Nous proposons ici d'approfondir ce parallèle et de mettre les différents éléments introduits plus haut en perspective de ces univers mnésiques [SQU 04].

3.3.1.1. *Mémoire procédurale & Cursus.*

Comme déjà introduit, la démarche derrière Cursus pourrait facilement être assimilée à la construction d'une mémoire procédurale et épisodique. La mémoire procédurale, aussi appelée mémoire implicite, est un type de mémoire à long terme qui concerne les compétences motrices, les habitudes et les savoir-faire [SQU 95]. Elle permet de stocker et de récupérer automatiquement les procédures et les séquences d'actions nécessaires pour réaliser des tâches, souvent sans avoir besoin d'une réflexion consciente.

La dimension épisodique de cette mémoire se réfère, quant à elle, à la capacité de stocker et de rappeler des expériences spécifiques, contextualisées dans le temps et l'espace. Elle permet aux experts de se remémorer des situations particulières, des problèmes rencontrés et leurs solutions, enrichissant ainsi une expertise et les paramètres nécessaires à une prise de décision.

3.3.1.2. *Mémoire déclarative et entrepôts de données.*

La mémoire déclarative représente la partie consciente et explicite de notre mémoire, stockant les faits, les événements et les connaissances que nous pouvons verbaliser [TUL 72]. Dans le contexte des organisations, les entrepôts de données pourraient se rapprocher d'un équivalent numérique de cette mémoire déclarative : ils conservent les résultats tangibles des expériences, les mesures, les observations et les conclusions des travaux scientifiques sous différents formats. Ces entrepôts constituent un vaste réseau de faits interconnectés, organisés de manière structurée et accessible, permettant leur rappel et leur utilisation dans de nouveaux contextes.

Tout comme la mémoire déclarative humaine qui s'enrichit continuellement de nouvelles informations tout en maintenant leur cohérence avec les connaissances existantes, les entrepôts de données du BRGM évoluent dynamiquement, intégrant de nouvelles données tout en préservant leur intégrité et leurs relations avec le corpus existant.

3.3.1.3. *Mémoire sémantique et ontologie*

Toujours dans une analogie cognitive, la **mémoire sémantique** assure la mise en relation des procédures (*comment faire*) et des déclarations (*quoi faire*) [TUL 72]. Elle contextualise l'action en la rattachant à des concepts et à des connaissances théoriques. De façon similaire, l'**ontologie** de notre système d'information constitue le **pont sémantique** entre les processus opérationnels et les données factuelles ; elle classe, organise et relie logiquement chaque composante pour préserver la cohérence globale du patrimoine de connaissances.

Nous adoptons toutefois une **ontologie à deux temps** :

- **Socle métier « top-down »** – Nous définissons d'abord une *ontologie graine* élaborée avec les experts du domaine : vocabulaire de base, taxonomies de phénomènes, rôles d'acteurs, contraintes essentielles. Ce socle sert de **guide** aux premières interactions de l'agent **Beregem** : il oriente les questions qu'il pose, encadre l'interprétation des réponses et garantit des suggestions alignées sur les normes de la discipline.

- **Enrichissement « bottom-up » via Cursus** – Au fil des projets, les experts enregistrent leurs **pratiques tacites** dans la plateforme **Cursus** (workflows, variantes, heuristiques). Chaque nouvelle instance alimente le graphe de connaissances ; les concepts ou relations manquants sont proposés, validés par la communauté puis réinjectés dans l'ontologie. Ainsi, le schéma sémantique se **plastifie** et Beregem **évo-lue** : il réactualise en continu ses inférences et agrège progressivement des savoirs plus fins.

Cette boucle d'**auto-extensibilité** marie la stabilité requise pour un raisonnement fiable (socle top-down) avec la souplesse nécessaire à la captation du tacite (flux bottom-up). L'ontologie cesse d'être un

référentiel figé ; à l'image des strates géologiques qu'elle modélise, elle se dépose, se compacte et se reconfigure sous l'action conjointe des experts humains et de l'agent artificiel.

3.3.2. *Cursus et le Raisonnement à base de cas (« Case Based Reasoning »).*

Cette triple structuration procédurale, déclarative et sémantique entre entrepôt de processus, entrepôt de données et ontologie nous renseigne sur les principaux composants d'un système, mais très peu sur la dynamique entre ces composants.

Telles que mises en place au sein de Cursus, agrémenter de leurs contextes de succès ou d'échecs, les versions représentent des variations d'un même processus proposé par un auteur. Ainsi, lorsqu'un processus résume une thématique d'objectif, les versions de ce processus inscrites et attachées à ce processus s'apparenteraient aux notions des "cas" définis dans des approches cognitives de l'intelligence artificielle, notamment le raisonnement à base de cas (CBR - Case Based Reasoning) [RIC 95].

Le CBR représenterait une approche dans laquelle les expériences passées, les cas, servent de base pour résoudre les nouveaux défis. Le CBR se distingue d'autres approches par sa capacité à utiliser des connaissances spécifiques issues de situations précédentes, plutôt que de s'appuyer uniquement sur des règles générales [FUC 20]. Sa particularité est une structuration native autour d'une dimension active de l'intelligence, c'est-à-dire que la base de raisonnement du système est basée sur des actions réalisées dans le passé pour prédire des actions futures. Le contraste est intéressant à une époque où les grands modèles de langage se sont développés en dehors de cette notion et voient maintenant son intégration dans, par exemple, des grands modèles d'action (Large Action Model), donnant naissance à des modèles qui ne sont pas seulement capables de réfléchir, mais aussi de réaliser des actions à travers des environnements digitaux et physiques si nous ajoutons une couche de robotique.

Le Case-Based Reasoning (CBR) fonctionne selon un cycle en quatre étapes principales :

- **La récupération (retrieve)** : Cette phase consiste à identifier et extraire des cas similaires déjà existants dans la base de données.
- **La réutilisation (reuse)** : Une fois les cas pertinents identifiés, leurs solutions sont adaptées pour résoudre le nouveau problème.
- **La révision (revise)** : La solution proposée est ajustée et modifiée pour mieux correspondre au contexte spécifique du nouveau cas.
- **La mémorisation (retain)** : Une fois le problème résolu, le nouveau cas et sa solution sont stockés dans la base de connaissances pour une utilisation future.

Ce système s'appuie sur un vocabulaire partagé qui permet de standardiser la communication et la classification des cas.

Cette approche s'avère particulièrement adaptée aux domaines comme les géosciences, qui reposent sur des activités de terrain. Dans ce contexte, bien que les situations soient rarement identiques, elles présentent souvent des similitudes significatives qui peuvent guider la prise de décision. Dans le contexte du BRGM, l'application du CBR peut donc offrir un cadre méthodologique robuste pour la capitalisation et la réutilisation des expériences géologiques, permettant ainsi une meilleure exploitation des connaissances et des pratiques tacites accumulées au fil des années.

3.3.3. *Les pratiques tacites comme plateau de développement d'intelligence artificiel.*

Les entrepôts de données, les ontologies métiers et enfin, l'entrepôt de process porté par Cursus servent de substrat à l'architecture au cœur de *Beregem* et sur lesquelles seraient construits d'autres composants.

- L’univers de données de Cursus devra être restructuré en intégrant dans son organisation les 4 notions portées par le CBR : récupération, réutilisation, révision et mémorisation
- L’ontologie métier, elle s’intégrera comme 5e conteneur porteur du concept de “vocabulaire”.
- Un RAG couplé à un LLM serait déployé sur les entrepôts de données et les bases des documentaires du BRGM

Cette approche structurée autour des cas d'expérience offrira un cadre méthodologique unique pour explorer une architecture d'IA générative qui se distingue par sa capacité à apprendre très précocement, non pas à partir de connaissances explicites, mais directement des pratiques tacites des chercheurs. En se nourrissant de ces savoirs tacites dès leur émergence dans les activités quotidiennes des scientifiques, le système sera potentiellement apte à développer une forme d'apprentissage plus organique et plus proche des processus cognitifs humains.

De l'autre côté, Beregem se distinguera par sa capacité à enrichir et affiner sa propre ontologie au fil des découvertes méthodologiques des scientifiques. Plus qu'un simple agrégateur de connaissances, il se positionnera comme un expert en géosciences capables non seulement de synthétiser les hypothèses et savoirs collectifs en modèles généralisables, mais aussi d'évoluer au plus proche d'un temps réel représentatif des avancées de la communauté scientifique, créant ainsi une symbiose entre l'expertise humaine et l'intelligence artificielle.

3.3.4. Une démarche encore exploratoire, mais jalonnée.

L’étude présentée demeure avant tout exploratoire : elle avance une modélisation conceptuelle de la valorisation des savoirs tacites et décrit, à titre prospectif, l’architecture d’un agent fondé sur le raisonnement à partir de cas. Toutefois, cette réflexion se nourrit déjà d’un ancrage opérationnel. Depuis février 2025, une version pilote de CURSUS fonctionne au BRGM ; elle sert de banc d’essai pour observer, in situ, la dynamique tacite-explicite dans les géosciences et pour ajuster la méthodologie de capture des pratiques. Le projet s’inscrit dans la continuité d’initiatives internes : élaboration d’une ontologie métier destinée à normaliser le vocabulaire géoscientifique, prototypes de NLP couplés OCR-HTR, recours aux architectures RAG et transformers pour l’analyse d’images et de grands corpus documentaires. Autant de briques qui préfigurent une intégration cohérente des concepts développés ici.

La **prochaine étape** consiste, d’une part, à **formaliser techniquement** l’architecture CBR de Beregem – en détaillant les mécanismes de récupération, de réutilisation, de révision et de mémorisation des cas – et, d’autre part, à **assembler** ontologie, base de cas, algorithmes de similarité et interfaces au sein d’un **framework robuste et évolutif**. Selon le principe défini au § 3.1, l’ontologie socle guidera le premier mapping, tandis que les nouvelles pratiques injectées par CURSUS enrichiront progressivement le modèle.

Cette trajectoire s’accompagne de **limitations identifiées**. Sur le plan technique, la structuration CURSUS vers le CBR n’existe encore qu’au stade de preuve de concept ; l’architecture globale esquissée à la *figure 12* reste **théorique**. La viabiliser supposera un micro-prototype ciblé et l’appui d’un spécialiste CBR. Les **ontologies** élaborées à des fins de recherche doivent, elles aussi, franchir le cap de la production ; la mise en place d’une gouvernance conjointe entre la recherche et la

direction du numérique évitera un décalage avec les pratiques réelles. Vient ensuite le volet **organisationnel** : l’acculturation au *knowledge management*, puis à la modélisation processuelle, reste faible – le taux d’acceptation des animateurs demeure inférieur à 40 %. Un programme de formation en trois modules, doublé d’un tutorat pair-à-pair sur 6 mois, apparaît indispensable. Ces actions exigent un **engagement durable en ressources** : la saisie fine des workflows et la conduite du changement dépassent le cadre temporel et budgétaire du présent projet et devront trouver leur place dans la feuille de route SI du BRGM. Enfin, la dimension **culturelle** ne saurait être minimisée : formaliser le tacite peut susciter des réserves, perçu comme une dénaturation de l’expertise. Positionner CURSUS comme

support de dialogue, et non d'évaluation, tout en reconnaissant la contribution des experts (crédits, badges, co-auteurisation), contribuera à lever ces résistances.

En intégrant progressivement ces solutions – renforcement des compétences CBR, gouvernance ontologique, formation continue et reconnaissance des experts – l'étude pourra passer du statut de **concept** à celui de **dispositif opérationnel**, et faire de **Beregem** une composante active de l'intelligence collective du BRGM.

4. Conclusion

En définitive, cette étude s'inscrit dans une démarche visant à repenser une forme de matérialité des connaissances tacites en géosciences. Il ne s'agit pas ici d'opposer matériel et immatériel, mais plutôt de concevoir un processus dynamique de transformation et d'incarnation du savoir-faire dans un système d'information. Cette approche ouvre des perspectives pour l'enrichissement des problématiques en sciences de l'information et de la communication appliquées aux géosciences. Elle reste source de challenge et de problématiques dont certaines nous sont encore cachés mais elle invite à une réflexion approfondie sur les modalités de constitution et de transmission des connaissances, tant au sein du BRGM que dans la communauté géoscientifique en général.

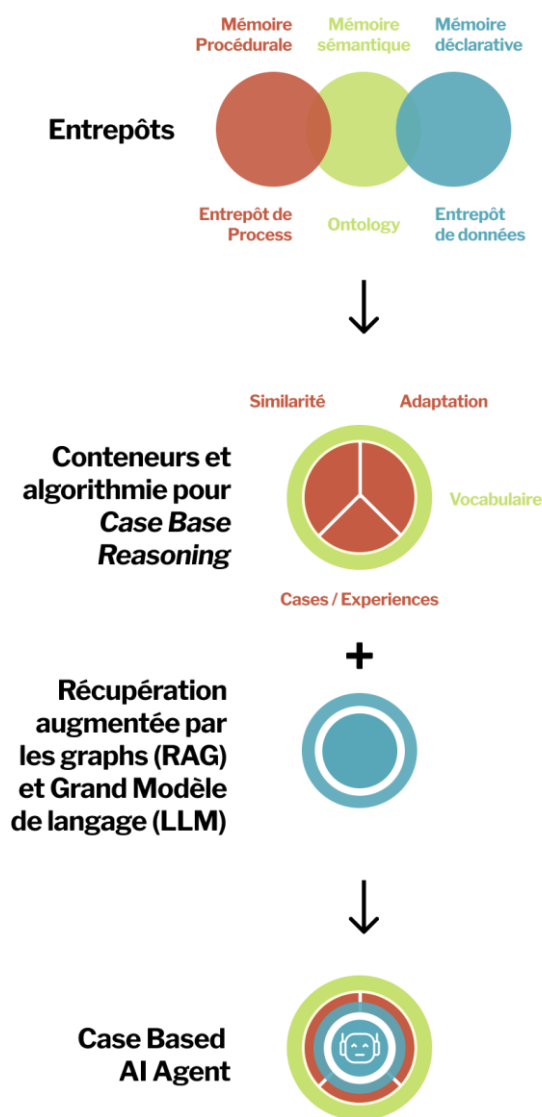


Figure 12. Schéma cible (conceptuel) - Processus de conception et d'entraînement d'un agent à travers une structuration de type Case Based Reasoning (CBR).

Remerciements

Cette recherche est soutenue par le projet ANR PEPR PC4 Digital Earth sous la référence ANR-22-EXSS-0005.

Bibliographie

- [AND 07] Andriessen, D. (2007). Implementing knowledge management. Pearson Education.
- [BAC 04] Bachimont, B. (2004). Arts et sciences du numérique : Ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle (Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches). Université de Technologie de Compiègne.
- [BEK 03] Smain Bekhti, Nada Matta. Project memory: An approach of modelling and reusing the context and the design rationale. IJCAI'03 (International joint of conferences of Artificial Intelligence), 2003, Accapulco, United States. (hal-02939696)
- [BER 66] Berger, P. L., & Luckmann, T. (1966). The social construction of reality: A treatise in the sociology of knowledge. Anchor Books.
- [CHA 99] Chalmers, A. F. (1999). What Is This Thing Called Science? (3rd ed.). Hackett Publishing.
- [CLA 97] Clark, A. (1997). Being there: Putting brain, body, and world together again. MIT press.
- [COO 99a] Cook, S. D. N., & Brown, J. S. (1999). Bridging epistemologies: The generative dance between organizational knowledge and organizational knowing. Published in Organization Science, 10(4), 381-400.
- [COO 99b] Cooke, N. J. (1999). Knowledge elicitation. In F. T. Durso, R. S. Nickerson, R. W. Schvaneveldt, S. T. Dumais, D. S. Lindsay, & M. M. T. Chi (Eds.), Handbook of applied cognition (pp. 479-500). John Wiley & Sons Inc.
- [COR 04] Gomez-Perez, A., Fernandez-Lopez, M., & Corcho, O. (2004). Ontological engineering: With examples from the areas of knowledge management, e-commerce and the semantic web. Springer Science & Business Media.
- [FUC 20] Béatrice Fuchs, Jean Lieber, Laurent Miclet, Alain Mille, Amedeo Napoli, Henri Prade, Gilles Richard: Case-Based Reasoning, Analogy, and Interpolation. A Guided Tour of Artificial Intelligence Research (1) (I) 2020: 307-339
- [GIB 94] Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies. Sage.
- [GRU 93] Gruber, T. R. (1993). A translation approach to portable ontology specifications. Published in Knowledge Acquisition, 5(2), 199-220.
- [HER 07] Hernes, Tor. (2007). Understanding Organization as Process: Theory for a Tangled World. Oxford University Press.
- [HES 07] Hess, C., & Ostrom, E. (2007). Understanding Knowledge as a Commons: From Theory to Practice. MIT Press.
- [JUR 23] Jurafsky, Daniel, & Martin, James H. (2023). Speech and Language Processing (3^e éd., draft public release 7 janvier 2023). Stanford : Stanford University Press / site officiel.
- [KRI 06] Krippendorff, K. (2006). The semantic turn: A new foundation for design. CRC press.
- [KUH 62] Kuhn, T. S. (1962). The Structure of Scientific Revolutions. University of Chicago Press.
- [LAT 79] Latour, B., & Woolgar, S. (1979). Laboratory life: The construction of scientific facts. Princeton university press.
- [LAT 99] Latour, B. (1999). Pandora's hope: Essays on the reality of science studies. Harvard university press.
- [LIN 77] Lindsay, P. H., & Norman, D. A. (1977). Human information processing: An introduction to psychology. Academic press.
- [LON 90] Longino, H. E. (1990). Science as social knowledge: Values and objectivity in scientific inquiry. Princeton university press.
- [MER 73] Merton, R. K. (1973). The sociology of science: Theoretical and empirical investigations. University of Chicago press.
- [MIL 06] Mille, Alain. (2006). From Case-Based Reasoning to Traces-Based Reasoning. Annual Reviews in Control, 30(2), 223-232.

- [NON 95] Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. Oxford university press.
- [NON 96] Nonaka, I., Takeuchi, H., & Umemoto, K. (1996). A theory of organizational knowledge creation. Published in *International Journal of Technology Management*, 11(7-8), 833-845.
- [NON 98] Nonaka, I., & Konno, N. (1998). The concept of “Ba”: Building a foundation for knowledge creation. Published in *California Management Review*, 40(3), 40-54.
- [OMG 11] Object Management Group. (2011). *Business Process Model and Notation (BPMN) Version 2.0*.
- [PIA 36] Piaget, J. (1936). *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*. Delachaux et Niestlé.
- [POL 66] Polanyi, M. (1966). *The tacit dimension*. University of Chicago press.
- [POP 59] Popper, K. R. (1959). *The Logic of Scientific Discovery*. Hutchinson.
- [SCH 83] Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner: How professionals think in action*. Basic books.
- [SEN 06] Senge, P. M. (2006). *The fifth discipline: The art & practice of the learning organization*. Doubleday.
- [SQU 04] Squire, L. R. (2004). Memory systems of the brain: A brief history and current perspective. Published in *Neurobiology of Learning and Memory*, 82(3), 171-177.
- [SUC 87] Suchman, L. A. (1987). *Plans and situated actions: The problem of human-machine communication*. Cambridge university press.
- [TUL 72] Tulving, E. (1972). Episodic and semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory* (pp. 381-403). Academic Press.
- [VAA 16] Van der Aalst, W. M. P. (2016). *Process mining: Data science in action*. Springer. (Process Mining: Data Science in Action - Google Books)
- [VAN 07] Van den Ende, J., & Huffmeijer, R. (2007). Managing innovation journeys: The simultaneous creation and appropriation of knowledge. Published in *R&D Management*, 37(5), 407-414.
- [VAR 91] Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. MIT press.
- [VYG 78] Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard university press.
- [WAR 08] Ware, M. (2008). *Peer review: An introduction and guide*. Publishing Research Consortium.
- [WEN 98] Wenger, E. (1998). *Communities of practice: Learning, meaning, and identity*. Cambridge university press.
- [WEN 02] Wenger, E., McDermott, R. A., & Snyder, W. M. (2002). *Cultivating communities of practice: A guide to managing knowledge*. Harvard Business School Press.
- [ZAC 20] Zacklad, M. (2020). Changements de régimes de conversation dans la transition numérique. Published in *Approches Théoriques en Information-Communication (ATIC)* 1(1), 7-40.