

Présentation d'un workflow de mise à jour permanente de modèles Géologiques 3D

Presentation of a continuous 3D geological models updating workflow Implementation

Jean-François RAINAUD ¹, Valentin GAUTHIER ¹, Yann DANTAL ², Nicolas CLAUSOLLES ², François PROGNON ², Jean-Marie LEONARD ³

1 GEOSIRIS, ST Germain en Laye, France

2 BRGM, Orléans, France

3 EGIS, Seyssins, France

** jean-francois.rainaud@geosiris.com*

RESUME : Le PEPR Digital Earth (ANR-22-EXSS-0005) dans son volet « Sous-sol – Bien Commun », vise à mettre en œuvre une approche innovante du traitement des workflows de modélisation du sous-sol. L'objectif est de créer une plateforme numérique de géomodélisation cohérente, qui offre aux chercheurs et ingénieurs du domaine, la possibilité d'orchestrer par eux-mêmes des chaînes de traitement complexes.

Le projet vise à mettre en place des workflow sémantiques interopérables. Il exploite pour cela, des méthodes et standards des consortia OSDU Forum (<https://osduforum.org>) et Energistics (<https://energistics.org>) et notamment le standard RESQML. Ces méthodes sont opérables si les données de forages sont communiquées sous forme de fichier csv ou texte afin de s'adapter aux format AGS.

Des processus métier de référence sont définis sémantiquement comme des « Activity Template » (Nom de l'action, Description, Entrées, Paramètres, Sorties) et associés à des outils Web d'interaction (« Human Tasks ») et de calcul (« Service Tasks »). Cette présentation décrit comment ces processus métier peuvent être associés pour constituer et mettre à jour un modèle 3D sur la base de données de forage nouvelles, en interopérant sur des serveurs cloud. On conserve une « image » (Activity Instance) de chaque opération effectuée, afin de pouvoir rejouer, modifier ou enrichir les actions précédemment effectuées de manière interactive ou automatique

Les étapes du Workflow démontrées lors d'une vidéo sont:

- 1/ Prise en compte de données de forages expérimentales (cf. Présentations EGIS aux JNGG 2020 et AGS 4), puis Ingestion de ces éléments dans une plateforme OSDU, transcription en RESQML V2.2. et alimentation d'un lac de données sur le cloud
- 2/ Constitution des couches stratigraphiques puis de leurs interfaces sous forme de surfaces 3D,
- 3/ Mise à jour du lac de données avec de nouvelles données de forage.

Ce travail sera suivi d'autres enrichissements en vue d'accroître l'interopérabilité avec d'autres données

ABSTRACT: The PEPR Digital Earth Project (ANR-22-EXSS-0005) aims to implement an innovative approach to processing subsurface modeling workflows. The goal is to create a consistent digital geomodeling platform that provides researchers and engineers with the ability to independently orchestrate complex processing chains.

The project aims to implement interoperable semantic workflows. To achieve this, it uses methods and standards from the OSDU Forum (<https://osduforum.org>) and Energistics (<https://energistics.org>) consortia, notably the RESQML standard. These methods are operable if drilling data is provided in CSV or text file format to adapt to AGS formats.

Reference business processes are defined semantically as 'Activity Templates' (Action Name, Description, Inputs, Parameters, Outputs) and linked to web interaction tools ('Human Tasks') and computing tools ('Service Tasks') This presentation describes how these business processes can be combined to create and update a 3D model based on new drilling data, by interoperating on cloud servers. An "image" (Activity Instance) of each operation performed is kept, so that previously performed actions can be replayed, modified, or enhanced interactively or automatically.

The steps of the Workflow demonstrated in a video are:

- 1/ Taking in account experimental drilling data (see EGIS presentations at JNGG 2020 and AGS 4), ingesting these information into an OSDU platform, transcription into RESQML V2.2, and feeding a cloud data lake,
- 2/ Generating interfaces between stratigraphic layers as 3D surfaces,
- 3/ Updating the data lake when new drilling data are available.

This work will be followed by further enhancements to increase interoperability involving other data types.

Mots clés : Interopérabilité ; Standard ; Workflow ; RESQML ; Jumeau numérique.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Le PEPR Digital Earth (ANR-22-EXSS-0005) dans son volet « Sous-sol – Bien Commun », vise à mettre en œuvre une approche innovante du traitement des workflows de modélisation du sous-sol.

L'objectif métier est de réaliser un jumeau numérique du sous-sol de villes visant des problématiques bien ciblées :

- Retrait gonflement,
- Cavité,
- Sites et sous-sol pollués,
- Préservation de la nappe Phréatique,
- Préservation du patrimoine de données

L'objectif technique est de créer une plateforme numérique de géo-modélisation cohérente, qui offre aux chercheurs et ingénieurs du domaine, la possibilité d'orchestrer par eux-mêmes des chaînes de traitement complexes qui pourront être définies en exploitant un standard permettant de décrire les workflows de manière formelle pour ensuite les exploiter à l'aide d'une plateforme informatique.

Nous avons choisi le standard BPMN (Business Process Model and Notation) pour figurer les travaux à réaliser lors d'une étude. La norme BPMN a été créée en 2004. La version actuelle est une norme internationale ISO/CEI 195103 depuis juillet 2013. Le standard BPMN est géré par un consortium international, l'OMG (Object Management Group) dont le but est la standardisation et la promotion du modèle objet. L'OMG, est à l'origine de la norme UML.

Les figures 1 et 2 présentent un exemple de représentation d'un processus métier par un géologue et sa transposition en BPMN. Elles ont été présentées lors de la réunion de lancement du projet PEPR Digital Earth en Avril 2024 par le BRGM.

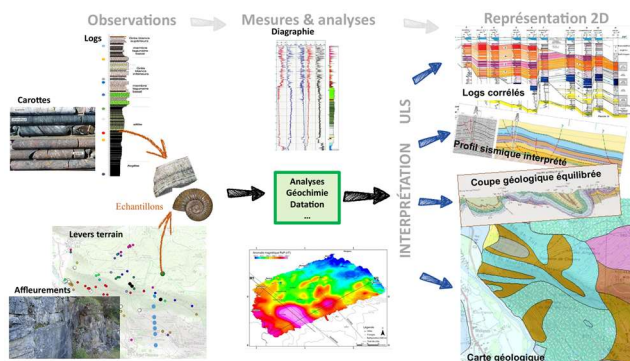


Figure 1. Processus métier décrit par un géologue

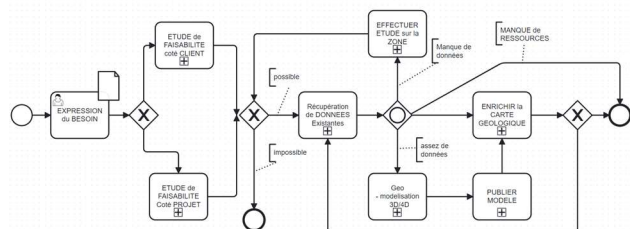


Figure 2. Transcription en BPMN d'un processus global associant plusieurs Workflows.

Sur la base de ce type de transcription, l'objectif du travail a été de réaliser un cas d'utilisation sur le bassin de Paris et de mettre en place un workflow global (composé de workflows élémentaires) qui permette une mise à jour automatique du modèle géologique en fonction de l'arrivée de nouvelles données. Pour cela nous utilisons des modèles de données et des outils Open source fournis par les consortiums OSDU (www.OSDU.org) et Energistics (www.Energistic.org) dont le modèle RESQML V2.2.

2 CAS D'UTILISATION

Les données d'entrée sont des forages réalisés dans le nord de la région parisienne. Ces forages (120 environ) collectés par le BRGM ont été réalisés par des contracteurs différents. Ils ont été harmonisés selon la méthodologie utilisée par EGIS préalable à l'obtention d'un modèle 3D avec GDM-MultiLayer. Cela nous a permis de disposer de données de sondages aux formats Excel et CSV correctement interprétés.

Pour notre cas d'étude, nous avons traité au départ une collection de 60 forages en exécutant toutes les opérations de manière séquentielle, puis nous avons réintroduit une vingtaine de nouveaux forages qui ont été exploités grâce aux processus de mise à jour. Des interactions avec les utilisateurs ont été introduites au cours du déroulement des opérations afin de contrôler la qualité des résultats obtenus et rejouer certaines opérations si nécessaire.

Trois workflows élémentaires constituant un premier workflow global de constitution de données permettent de transcrire l'information présente dans les fichiers **csv** fournis par EGIS au sein de modèles de données OSDU et RESQML et de constituer une surface triangulée correspondant à un contact entre deux unités géologiques. La qualité de la surface est ensuite contrôlée et transmise à un lac de données considéré comme l'ombre numérique de l'espace physique.

Un quatrième workflow permet de réutiliser les résultats précédents pour compléter la modélisation de la surface en fonction du nouvel apport de données. L'objectif est d'appliquer ces méthodes pour réaliser un jumeau numérique du Bassin de Paris.

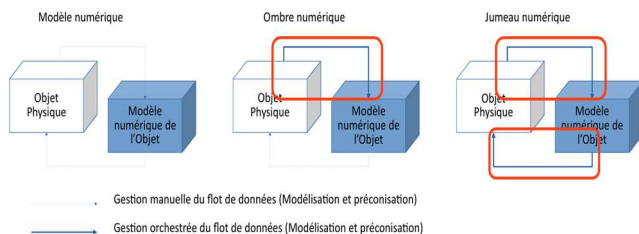


Figure 3. Le jumeau numérique qu'est ce que c'est ? (schéma de Grieves)

3 COMPOSANTS PRINCIPAUX DE LA PLATEFORME

Le projet s'appuie sur les méthodes outils et modèles de données fournis par les consortiums OSDU Forum (<https://osduforum.org>) et Energistics (<https://energistics.org>) et notamment le standard RESQML V2.2 d'une part et d'autre part sur l'exploitation du standard BPMN Business Process Model and Notation platform. En exploitant les dernières publications de ces standards et en ayant tiré

bénéfice d'expériences réalisées précédemment dans le domaine de la géo-modélisation (Untereiner & al. 2022, Rainaud & al., 2024), nous avons fait évoluer une plateforme conçue précédemment afin qu'elle puisse tirer bénéfice de l'ensemble des fonctionnalités apportées par la coopération entre les services de calculs et les interactions utilisateurs lors de l'exécution de workflows cycliques (permettant d'interrompre, rejouer, et diriger les workflows par des commandes des utilisateurs). Ainsi, les workflows qui se déroulaient précédemment en séquence, peuvent maintenant s'accommoder de boucles permettant les remises à jour nécessaires pour la constitution d'ombres et de jumeaux numériques.

3.1 Préparation

Après analyse des besoins métiers, nous utilisons un outil « no code » : **Workflow Modeler** dont un exemple est accessible librement sur BPMN.io (<https://bpmn.io>) ou Signavio (<https://signavio.com>), pour constituer les workflows. Nous assemblons des services numériques d'une part et constituons les contenus des formulaires qui nous permettent de dialoguer avec les utilisateurs d'autre part. Des exemples de réalisation de modèle de workflow sont présentés sur les figures 6, 9 et 10.

Pour effectuer les calculs, nous utilisons des services numériques conditionnés sous la forme de « **Dockers** » qui contiennent le système, les procédures d'accès aux commandes de traitement et les codes nécessaires au traitement des données. Nous pouvons ainsi réutiliser des codes existants écrits en Python, Java ou C++. Les commandes de ces services numériques sont, au départ, décrits au sein d'objets Energistics / OSDU de type « **ACTIVITY TEMPLATE** ».

Au sein des « **ACTIVITY TEMPLATE** » nous pouvons trouver le NOM du processus dont la sémantique a été définie précédemment, sa description et des mots clés qui permettront d'effectuer des recherches ultérieurement. Au sein de ces « **ACTIVITY TEMPLATES** », les entrées sont caractérisées soit par des Objets RESQML/OSDU soit par des paramètres et les sorties peuvent être des Objets RESQML et/ou l'expression de paramètres qui seront des résultats des calculs. Un exemple d'ACTIVITY TEMPLATE est présentés en figure 8.

3.2 Fonctionnement de la plateforme

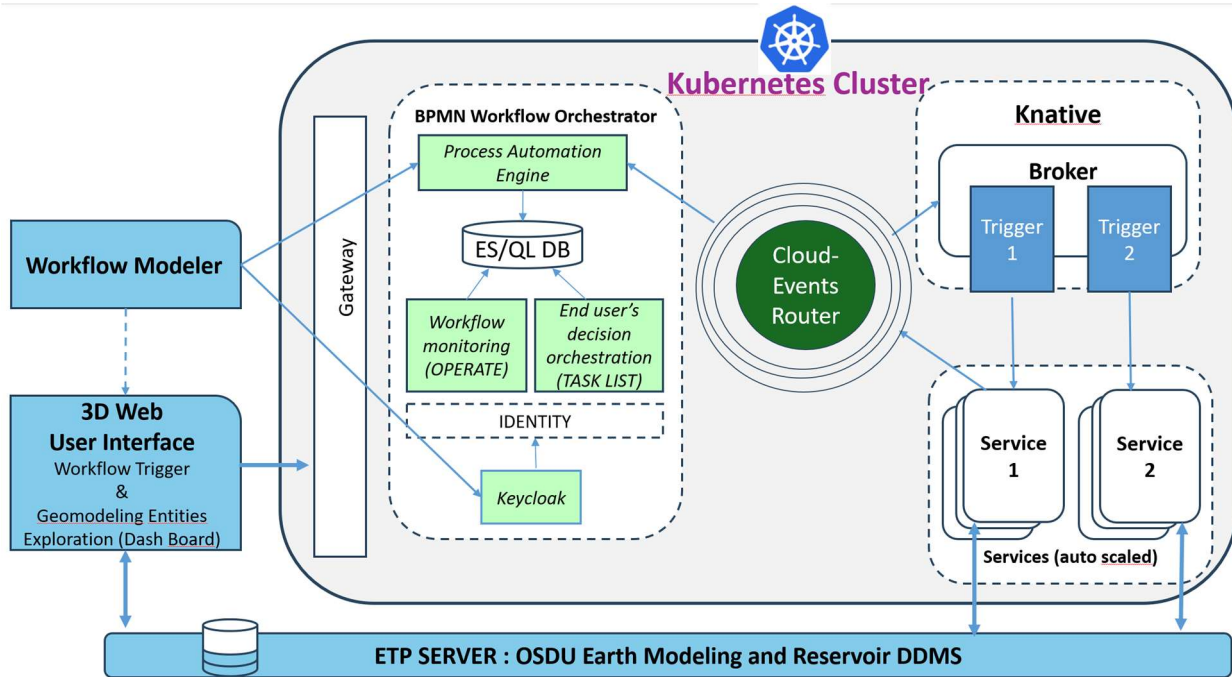


Figure 4. Schéma général de l'architecture gérant des événements.

Après qu'un diagramme BPMN et que les « ACTIVITY TEMPLATES » et formulaires d'interaction avec les utilisateurs aient été composés en utilisant le « **WorkFlow Modeler** », une interface utilisateur sur le Web (**3D WEB User Interface**) prend le relais. Il permet de lancer les workflows, de présenter les interfaces utilisateurs et d'accéder aux objets RESQML sur un serveur Cloud, de les présenter sous forme hiérarchique, sous forme de graphe et de visualiser en 3D leurs représentations géométriques (trajectoires de forage, jeux de points, surfaces 3D) pour pouvoir choisir les objets à traiter et effectuer les contrôles qualité.

Par ailleurs, nous employons un serveur de données métier le « **ETP SERVER : OSDU Earth Modeling and Reservoir DDMS** ». Celui-ci contient des espaces de données « **Dataspaces RESQML** » dédiés aux traitements. Ce serveur est conçu pour permettre aux applications d'interagir en enregistrant des objets RESQML (des fichier XML ou JSON) et les tables de valeurs numériques qui leur sont associés. Il permet de gérer l'échange des objets métiers RESQML entre les différents services numériques.

L'interface Utilisateur et les « **Services** » peuvent ainsi accéder à ces informations en utilisant un protocole ETP (« **Energistics Transfer Protocol** »), qui permet le dialogue puis l'échange de données entre applications. Pour favoriser l'échange de données en

temps réel on utilise un protocole "Web Socket" qui permet une communication bidirectionnelle qui permet un échange en temps réel de type « communication téléphonique » entre un client et le serveur. L'espace de données est ainsi actif tout au long du processus et en fin de traitement les informations nouvellement générées et validées par les utilisateurs peuvent être placées dans ce serveur

Tout le reste du traitement est effectué au sein d'une zone confidentielle sécurisée, le « **Kubernettes Cluster** » qui est un ensemble de « **Dockers** » (conteneurs disposant de leur système d'exploitation et des codes compilés prêts à être exécutés). Cet espace est isolé du mode extérieur et peut donc opérer en sécurité. Seule une passerelle spécifique : « **Gateway** » permet d'échanger avec l'Interface Utilisateur WEB. Les opérations commandées depuis cette Interface Utilisateur donnent lieu à des évènements gérés par un « **Cloud Events Router** ». Celui-ci permet d'assurer le dialogue entre l'ensemble des composants de cette plateforme en distribuant les messages.

Un « **BPMN Workflow Orchestrator** » (représenté sur la figure 4, dans la partie gauche du « **Cluster Kubernettes** ») permet de disposer d'un « **Process Automation Engine** » dédié à la gestion de processus de deux types : les services numériques (« **OPERATE** ») et les interactions utilisateur (« **TASK LIST** »).

Une base de données (« **ES/QL DB** ») exploitée par un moteur de recherche : Elastic Search (<https://www.elastic.co>) permet de capturer les opérations effectuées et d'exploiter cette connaissance. Cette mémoire pourra servir a posteriori comme support d'expérience et de proposition d'actions. A cela est adjoint un système de protection par déclaration d'identité et mots clefs (« **Keycloak** ») permettant l'accès des Utilisateurs.

L'utilitaire **Knative** (représenté sur la droite du diagramme de la figure 4) réceptionne les événements (cloud - events) et les messages, puis les gère à l'aide d'un « **Broker** » chargé de les distribuer aux **services** destinataires en utilisant des « **triggers** » (lanceurs).

Dans l'expérimentation présentée, ces services sont conditionnés au sein de « **Dockers** », ils reçoivent leurs instructions par l'intermédiaire des événements et peuvent alors se connecter au serveur ETP de données métier, obtenir les commandes (**Activity In**), réaliser les travaux et stocker les résultats dans le serveur ainsi qu'une « **ACTIVITY INSTANCE** » log qui stocke le bilan de l'opération réalisée. Ces services n'opèrent pas en continu, ils sont lancés en fonction des demandes. La plateforme ajuste dynamiquement les ressources informatiques nécessaires à leur fonctionnement en fonction des besoins des charges de travail par « **autoscaling** »

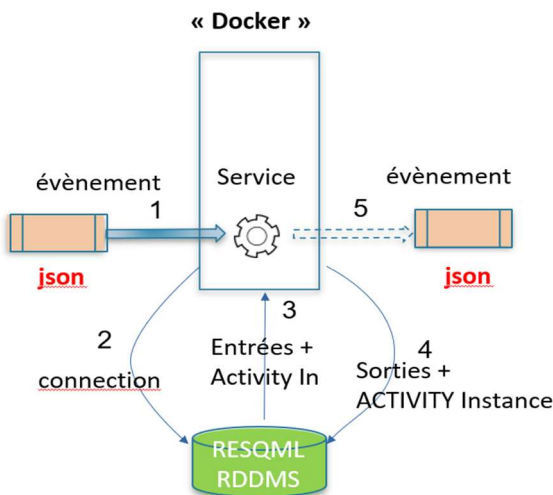


Figure 5. Détail du fonctionnement des services numériques

4 DESCRIPTION DES PROCESSUS METIERS

Deux workflows principaux sont exécutés. Le premier organise les opérations réalisées. Il comprend trois sous-workflows qui se chargent de transcrire les données de forage en RESQML (A), d'exploiter les marqueurs aux puits (B) et de constituer une surface de contacts entre unités (C). Le second workflow est en charge de mettre à jour le modèle lors de l'arrivée de nouvelles données.

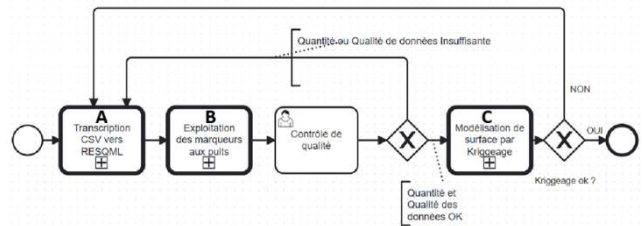


Figure 6 : diagramme BPMN du premier workflow.

4.1 Transcription des données de forages en RESQML (A) et exploitation des marqueurs aux puits (B)

Nous avons utilisé une méthode générique d'ingestion des données fournie par le consortium OSDU. Sur la base du Fichier CSV et de la documentation produite par EGIS, nous avons constitué un document standardisé par OSDU, la « **COLUMN BASED TABLE TEMPLATE** » qui décrit comment les colonnes sont organisées dans le fichier CSV et qui affecte à chacune de ces colonnes un lien vers la définition d'une propriété officiellement répertoriée au sein des Catalogues OSDU et Energistics ainsi que son unité de mesure.

WELLBORE FRAME APPROACH

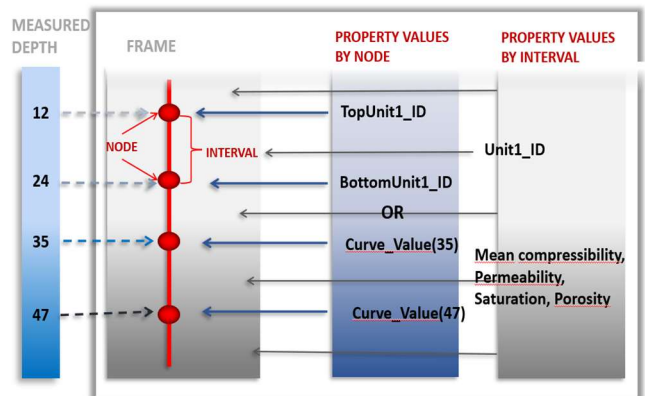


figure 7. Structure de stockage d'informations forage

Les Forages sont alors assemblés en collections. Ils sont analysés et peuvent être ingérés automatiquement soit dans un environnement OSDU, soit dans un

« Dataspace » RESQML en exploitant la structure décrite sur la figure 7.

En s'appuyant sur cette information structurée relative aux forages, on peut constituer des interprétations concernant les unités stratigraphiques et les horizons qui les séparent, transcrire ces interprétations dans le format RESQML, constituer les liens permettent d'exploiter les marqueurs au puits et attacher ces liens aux représentations des horizons. Pour chaque contact entre unité nous obtenons un ensemble (semis) de points appartenant au contact entre deux unités et donc à un horizon.

4.2. Construction d'une surface entre unités

Le sous workflow (C) est plus complexe car il inclut des interactions utilisateur permettant de revenir en arrière sur les choix des paramètres d'entrée.

Les paramètres d'entrée et de sorties sont définis au départ, au sein d'une « ACTIVITY TEMPLATE » qui permet de déclarer les commandes que devront exécuter les tâches, qui, sont de deux types :



interactions avec les utilisateurs



services numériques lancés automatiquement.

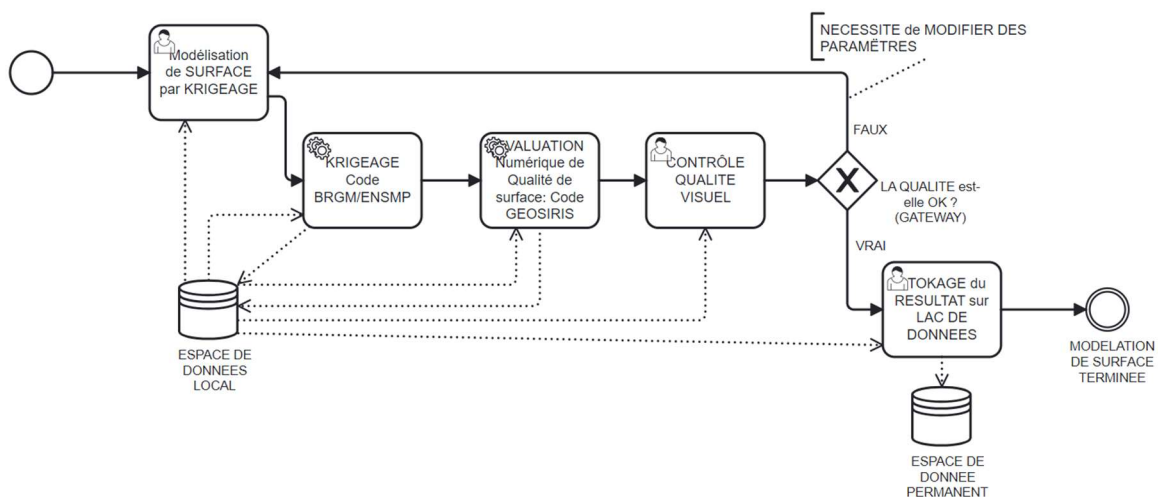


Figure 9. Schéma BPMN de ce sous workflow : Constitution d'une surface entre unités.

A l'issue du traitement représenté sur la figure 9, le workflow produit, (outre une représentation en surface triangulée), qui s'ajoute à la représentation en semis de points pour constituer l'interprétation de l'horizon), deux « ACTIVITY INSTANCE » constituées sur le modèle des « ACTIVITY TEMPLATE »: une pour le krigeage et une autre pour l'évaluation numérique de

Lorsqu'on veut préciser les entrées (objets et paramètres), l'ACTIVITY TEMPLATE est interprétée et affichée par le 3D WEB UI que l'utilisateur complète. Lorsqu'on décide de réaliser une tâche suite à un choix de l'utilisateur, la réponse est analysée et traitée par l'orchestrateur de workflow lui-même.

Exemple d'ACTIVITY TEMPLATE

- NOM: MODELISATION DE SURFACE PAR KRIGEAGE
- Description : Exploitation d'un algorithme de Krigeage permettant de constituer une surface triangulée à partir de semis de points répartis uniformément. Des linéaments de failles peuvent être pris en compte optionnellement.
- Entrées:
 - HORIZON INTERPRETATION et sa Représentation en semis de points 3D
 - FAULTS INTERPRETATION et leur Représentation en Poly-lignes (optionnel)
 - PARAMETRE : nombre de cellules du maillages Représentatif (Nu,Nv)
- Sortie(s) :
 - HORIZON INTERPRETATION / sa Représentation en surface Triangulée.

Figure 8. Exemple d'ACTIVITY TEMPLATE pour ce sous Workflow

la qualité de surface. L'activité d'évaluation de la qualité ("Human Task" Contrôle qualité) est exploitée par l'utilisateur qui décide si la qualité du résultat est acceptable ou non. La réponse permet de décider s'il convient de continuer ou s'il faut recommencer le traitement avec d'autres paramètres.

L'ACTIVITY INSTANCE générée lors de l'application de l'algorithme de krigeage, décrit comment cet algorithme a été appliqué. On conserve ainsi une trace de la réalisation de cette opération, qui est insérée dans l'espace de données permanent (Lac de Données). Ceci permet de garder la mémoire des données d'entrées et de la date à laquelle l'opération a été réalisée et de conserver les liens avec les objets métier.

Pour la démonstration, nous supposons que nous avons précédemment travaillé sur une première collection de 60 forages et obtenu une première surface triangulée représentant un contact entre deux unités.

4. 3. Mise à jour du modèle lors de l'arrivée de nouvelles données.

Le workflow suivant interagit avec celui qui permet la modélisation de surface. Il peut être lancé et commandé par un utilisateur coté civil Engineering qui désire disposer d'un Modèle de Terrain (Earth Model Interpretation) validé et mis à jour pour en importer des éléments au sein d'un outil BIM comme Autodesk Civil 3D. Ayant sélectionné au sein du Lac de Données, la « Earth Model Interpretation » qui l'intéresse l'utilisateur veut contrôler si la représentation des surfaces triangulées existantes exploite la totalité des informations de forage disponibles.

Dans notre cas, l'utilisateur dispose de deux représentations de surface triangulées d'une même Horizon Interprétation. En examinant les « ACTIVITY INSTANCES » qui ont été générées lors du traitement, il constate que les représentations en semis de point qui ont été utilisées pour la constitution des surfaces triangulées ne sont pas les mêmes (l'une contient 60 points et l'autre 20 points). Il va donc décider de mettre à jour le modèle en constituant une nouvelle représentation de surface triangulée qui exploite ensemble les deux représentations en semis de points, qui ont été utilisées indépendamment auparavant.

Le workflow présenté ci-dessus est encore incomplet aujourd'hui. Prochainement nous pourrions contrôler quels jeux de forages ont été utilisés pour composer les représentations en semis de point. Nous pourrions ainsi composer un semis de points avec la totalité des forages (en exploitant également pour la mise à jour les trois sous workflows (A), (B), (C) du premier workflow opéré).

Le processus implémenté actuellement permet de demander le « re-lancement » du workflow de composition de surface en y intégrant les deux représentations d'horizon en semis de point. Relancer ce workflow mettra à jour le Lac de Données (Dataspace RESQML) et rendra possible son exploitation par un logiciel de type BIM comme Autodesk/Civil 3D.

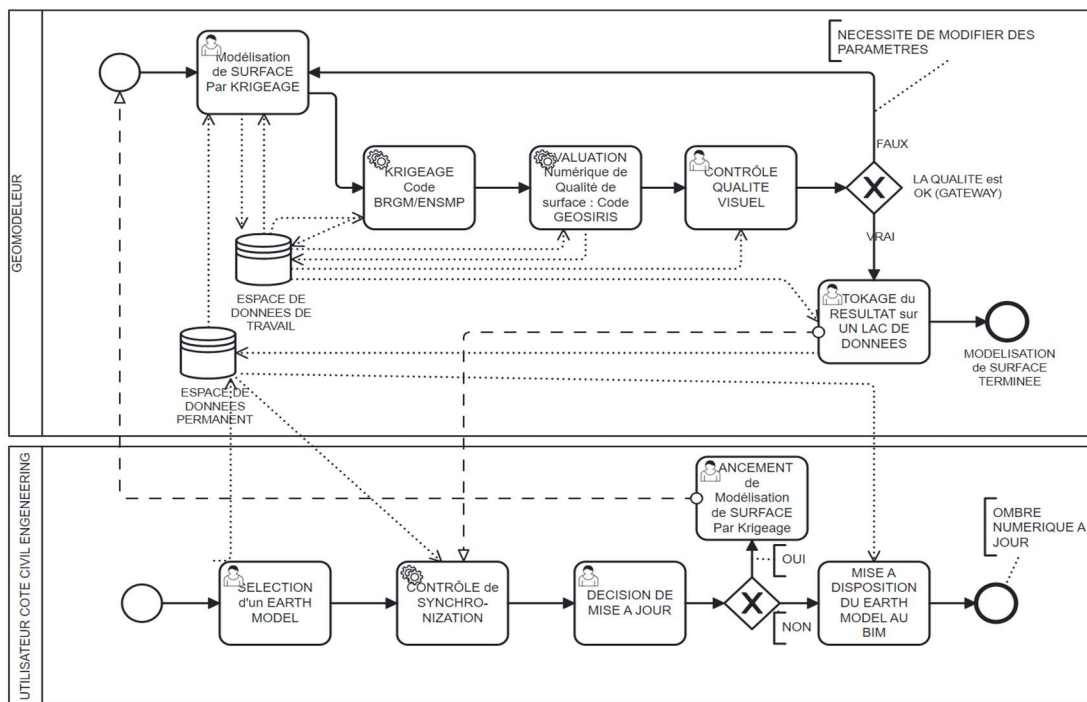


Figure 10. Schéma BPMN présentant la mise à jour du modèle impliquant une communication entre deux workflows.

5 CONCLUSIONS

Grâce à une mise au point progressive (2021-2025) de l'architecture présentée ci-dessus et aux outils que nous avons intégrés dans cette plateforme, nous avons pu réaliser et opérer un cas d'étude représentatif des besoins des utilisateurs dans le cadre du projet PEPR Digital Earth (ANR-22-EXSS-0005) dans son volet « Sous-sol – Bien Commun ».

Pour cette implémentation, nous avons appliqué les dernières versions des standards définis par l'Open Group au domaine de la Géologie et de la Géotechnique avec pour objectif de constituer une ombre numérique du sous-sol dans des zones qui seront exploitées par des études de terrain dans les domaines couverts par le BRGM (exemple sous-sol des villes). Le jumeau numérique ainsi constitué pourra être mis à jour en fonction de l'arrivée de nouvelles données.

L'usage de ces standards va nous permettre d'étendre ce cas d'utilisation en prenant en compte d'autres types de données (essais géotechniques par exemple) et en mettant à disposition de nouveaux services exploitant les données définies par les standards.

Nous pourrions ainsi nous intéresser non seulement à la représentation surfacique des contacts entre unités mais également à la constitution des volumes de roches et sédiments. Nous pourrions également constituer des maillages de ces volumes et les renseigner avec des propriétés 3D, qui permettront de réaliser des simulations de tout type.

Les travaux prévus aujourd'hui consistent à intégrer les acquis réalisés dans l'architecture mise en place au BRGM (P.N.I : Plateforme Numérique Intégrative), qui sera ensuite à disposition du public, à dialoguer avec le standard GeoSciML de l'OGC et à enrichir les workflows présentés pour prendre en compte les données des cartes géologiques.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient l'ANR qui soutient les projets PEPR. Le projet présenté dans cet article est soutenu par le BRGM.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Leonard, J-M., Le Hello, B., (2020); Transfert par interopérabilité des modèles 3D depuis GDM-Multilayer vers Autodesk Civil-3D grâce au format RESQML v2.2. *Journées Nationales de Géotechnique et Géologie de l'Ingénieur, Lyon, France.*
- Gauthier, V., Labourg, P., Leonard, J-M, Rainaud, J-F, (2021); Operational Use Cases Using RESQML Standard to communicate Geotechnics and Subsurface Information to BIM. *Near Surface Geosciences EAGE conference and Exhibition Bordeaux, France.*
- Untereiner, L., Rainaud, J-F, Perrin, M., Gauthier, V. (2022), A Cloud-Native Standard-based Geoscientific Workflow Architecture for improving geomodelers' collaboration; *83rd EAGE annual conference and exhibition, Madrid.*
- Perrin, M, Rainaud, J-F (2024), Converting the geology knowledge model embedded in RESQML into a well-conformed domain Ontology. *Fourth EAGE Digitalization Conference and Exhibition Paris, France*
- Rainaud, J-F, Gauthier, V., Untereiner, L., Perrin, M., Arnould, A., Belhaouari, H., Lepaire, C. (2023); Driving collaboration between OSDU/Energistics Business Activity services by a cloud-native Geoscientific Workflow platform. ; *85th EAGE annual conference and exhibition, Oslo, Norway.*
- Rainaud, J-F, Gauthier, V., Loiselet, C., Clausolles, N., Dantal, Y., Perrin, M. (2025) , Orchestrating OSDU/Energistics Geomodelling Activity services and user's interactive decisions within a Geoscientific Workflow platform, *86th EAGE annual conference and exhibition, June 2025, Toulouse, France*
<https://hal.science/hal-05124395>