

Extension du standard RESQML v2.2 aux essais géotechniques : vers un dictionnaire de propriétés commun avec le format AGS 4.1

Extending the RESQML v2.2 Standard to Geotechnical Tests: towards a common property dictionary with AGS 4.1

Jean-Marie LÉONARD¹ , Jean-François RAINAUD²

1 EGIS, Seyssins, France

2 GEOSIRIS, ST Germain en Laye, France

** jean-marie.Léonard@egis-group.com*

RESUME : La communauté géotechnique utilise aujourd'hui plusieurs standards pour la description et l'échange de données. Le format AGS 4.1, largement adopté dans la sphère anglo-saxonne, structure efficacement les données issues des forages, des essais in situ (SPT, CPT, gamma-ray) et des essais d'identification et mécaniques en laboratoire. Toutefois, certains essais essentiels n'y figurent pas en standard, comme le pressiomètre Ménard, couramment utilisé en France.

Le standard RESQML v2.2, développé par le consortium Energistics pour l'industrie pétrolière, maintenant intégré nativement dans l'environnement cloud OSDU (Open Subsurface Data Universe), offre un cadre robuste pour la modélisation et l'échange de données 3D comme nous l'avons montré (JNGG 2020). Cependant ces développements utilisaient un ensemble de propriétés génériques pour transférer les données des essais géotechniques. Ces propriétés géotechniques ne peuvent pas être automatiquement reconnus et donc échangeables par d'autres logiciels que nos prototypes.

Le standard RESQML permet d'ajouter de nouvelles propriétés au dictionnaire de propriétés officiel (PropertyKindDictionary_v2.3.xml) à condition de faire valider ces nouvelles propriétés par le consortium Energistics. Pour chaque essai et chaque propriété, il suffit de définir son nom, associé à un identifiant unique, sa description, et son type, voir d'un type parent. Nous avons donc repris le format AGS pour constituer une première liste de propriétés en vue d'étendre le format RESQML à la géotechnique. Notre liste intègre aussi les données et résultats des essais pressiométriques. Cependant nous nous sommes limités aux essais géotechniques les plus courants pour valider cette approche.

Cette avancée est essentielle pour la création de convertisseurs entre AGS, RESQML et formats tabulaires (Excel), de concilier le stockage sur serveur et la vision tabulaire des données et de permettre le transfert standardisé des modèles 3D et des données géotechniques entre logiciels, y compris avec des logiciels du commerce qui implémenteraient le format RESQML v2.2 avec son nouveau dictionnaire.

ABSTRACT: The geotechnical community currently uses several standards for data description and exchange. The AGS 4.1 format, widely adopted in the Anglo-Saxon sphere, efficiently structures data from boreholes, in situ tests (SPT, CPT, gamma-ray), and laboratory identification and mechanical tests. However, some essential tests are not included as standard, such as the Ménard pressuremeter, commonly used in France.

The RESQML v2.2 standard, developed by the Energistics consortium for the oil industry and now natively integrated into the OSDU (Open Subsurface Data Universe) cloud environment, provides a robust framework for 3D data modeling and exchange, as previously demonstrated (JNGG 2020). However, these developments used a set of generic properties to transfer geotechnical test data. These geotechnical properties cannot be automatically recognized and thus exchanged by other software than our prototypes.

The RESQML standard allows the addition of new properties to the official property dictionary (PropertyKindDictionary_v2.3.xml), provided these new properties are validated by the Energistics consortium. For each test and each property, it is sufficient to define its name, associate it with a unique identifier, its description, and its type, or even a parent type. We therefore used the AGS format to establish an initial list of properties to extend the RESQML format to geotechnics. Our list also includes data and results from pressuremeter tests. However, we limited ourselves to the most common geotechnical tests to validate this approach.

This progress is essential for creating converters between AGS, RESQML, and tabular formats (Excel), reconciling server storage and the tabular view of data, and enabling the standardized transfer of 3D models and geotechnical data between software, including commercial software that would implement the RESQML v2.2 format with its new dictionary.

Mots-clés: AGS, RESQML ; Interopérabilité ; Standard ; Jumeau numérique.

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

Depuis plusieurs années, la communauté française de l'ingénierie géotechnique peine à converger vers un standard unique pour le stockage et l'échange des données issues des essais in situ et en laboratoire. Malgré une production croissante de données numériques, aucun format existant ne couvre l'ensemble des besoins opérationnels. Les échanges se font encore majoritairement via des rapports PDF, souvent accompagnés de fichiers Excel ou CSV nécessitant des retraitements manuels.

Ce constat est partagé par les groupes de travail du SYNTEC Ingénierie (depuis 2024), par le club innovation du Pôle AVENIA (2023), ainsi que par les analyses menées dans le cadre du projet MINnD (Beaufils et al., 2019), des travaux du BRGM (Halfon & Beaufils, 2024), et par d'autres organismes tels que le CFMS et l'IFSTTAR.

Plusieurs standards sont aujourd'hui cités comme candidats :

- GeoSciML
- IFC 4x3 ADD2 et IFC 5 (consortium Building Smart International et projet MINnD en France)
- DIGGS 2.6
- AGS 4.1.1 et AGSi
- RESQML v2.2 faisant partie des formats EnergyML du consortium Energistics.

Cependant, chacun présente des limites structurelles pour couvrir l'intégralité des essais géotechniques.

1.1 Limites des standards existants

GeoSciML (Geosciences Markup Language) est le standard OGC dédié à la représentation et à l'échange des données des cartes géologiques. Il ne gère pas la 3D et n'a pas vocation à traiter les données issues des essais géotechniques.

IFC (Industry Foundation Classes), largement utilisé en BIM, reste peu adapté aux essais géotechniques. Le schéma IFC ne propose pas de modèle sémantique dédié aux résultats d'essais, et son écosystème demeure fortement lié aux éditeurs propriétaires, limitant l'ouverture et l'interopérabilité. Son format STEP, textuel et monolithique, impose de charger l'intégralité du fichier pour extraire des données, ce qui devient problématique avec les gros modèles 3D. IFC 4x3 ne gère pas efficacement les modèles haute résolution en raison de la volumétrie excessive. IFC 5 introduira des changements structurels (dont IFCJSON), mais sans atteindre la modularité et la capacité volumétrique des formats EnergyML. La gestion des essais géotechniques repose sur des IfcPropertySets, mais les schémas du

package Geotechnics restent à ce jour instables.

DIGGS (Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists) 2.6, est une initiative américaine qui s'appuie sur l'architecture de WITSML 2.0, standard Energistics également à l'origine de RESQML et PRODML. Ce format propose une structuration XML orientée objets et inclut des procédures pour de nombreux essais géotechniques, en s'inspirant des tables AGS. Les noms de propriétés définis par DIGGS méritent d'être pris en compte pour assurer la cohérence avec le dictionnaire EnergyML

AGS 4.1.1, largement utilisé dans le monde anglo-saxon, couvre la majorité des essais géotechniques et définit pour chacun un ensemble détaillé de propriétés permettant de décrire les conditions de réalisation. Toutefois, il ne prend pas en charge certains essais courants en France, comme la valeur au bleu de méthylène (VBS) ou le pressiomètre Ménard (PMT). Ses détracteurs lui reprochent son format texte, structuré mais jugé archaïque. Quant à son extension AGSi, dédiée aux modèles 3D et aux données interprétées, elle reste peu utilisée et complexe à intégrer dans les workflows industriels, car elle nécessite la combinaison de formats hétérogènes souvent redondants..

1.2 RESQML v2.2 : un standard viable

Parmi les standards considérés, RESQML v2.2 apparaît comme le candidat le plus viable, notamment au regard des travaux déjà publiés entre 2019 et 2024. Plusieurs études ont démontré sa capacité à assurer un transfert interopérable des données de sondages, des géométries 3D et des interprétations vers des environnements BIM, SIG et géomodélisation (Léonard & Le Hello, 2019 ; Léonard, 2020). D'autres travaux ont confirmé son utilisation opérationnelle pour la transmission de données de forage et de descriptions lithologiques (Léonard & Labourg, 2021), son intégration dans des cas d'usage d'infrastructures (Gauthier et al., 2021 ; Léonard, Gauthier & Rainaud, 2022) ainsi que sa pertinence dans des workflows avancés de modélisation 3D (Labourg & Léonard, 2021 ; Léonard et al., 2023). Enfin, RESQML a été positionné dans le cadre des principes F.A.I.R. et de son intégration native dans la plateforme OSDU (Léonard, 2024).

1.2.1 Une limite : des propriétés non standardisées

Une analyse rétrospective montre une limite structurelle : dans les démonstrations réalisées, les propriétés géotechniques échangées via RESQML

étaient encodées avec des noms en français, propres aux prototypes et outils utilisés, sans recours au dictionnaire PropertyKindDictionary_v2.3.xml.

Les conversions vers RESQML 2.2 ont été faites à partir de fichiers Excel normalisés pour EGIS, et non à partir de fichiers standardisés comme AGS 4.1.1.

Conséquence : aucun logiciel implémentant RESQML v2.2 tels que les logiciels majeurs de géomodélisation (SKUA-GOCAD, EarthVision, Petrel) ne pourraient pas interpréter automatiquement la signification et les unités des données transmises.

Autrement dit, même si la structure RESQML est conforme aux principes FAIR, les données échangées ne le sont pas en pratique, car elles ne sont ni réutilisables automatiquement ni sémantiquement interprétables par un logiciel tiers.

Ce constat rejoint les conclusions des travaux OGC : l'interopérabilité du sous-sol repose à la fois sur une structure d'échange et sur des vocabulaires contrôlés, des identifiants uniques et une gouvernance sémantique partagée (Grellet et al., 2020). Ce rapport a aussi démontré que RESQML v2.2 est le meilleur candidat pour répondre aux exigences OGC (Fig. 20, page 91).

1.2.2 Comment lever ces limites

Pour que RESQML v2.2 devienne pleinement FAIR et utilisable par la communauté géotechnique, il est nécessaire de :

- produire une nouvelle version du fichier PropertyKindDictionary_v2.3.xml,
- s'aligner sur AGS 4.1.1 pour garantir la cohérence métier et faciliter les conversions,
- intégrer les propriétés manquantes pour l'ingénierie française (PMT, VBS, classification GTR),
- harmoniser les unités, QuantityClass et hiérarchies sémantiques.

Pour générer une nouvelle version du dictionnaire des propriétés, le consortium Energistics a adopté un processus qui décrit les propriétés selon le standard PWLS v3.0 (Practical Well Log Standard version 3).

1.3 Objectifs du travail

Nous décrivons le contenu du fichier PWLS v3.0 et le travail nécessaire pour ajouter de nouvelles propriétés et générer une version officielle du dictionnaire reconnue par Energistics. Nous montrerons aussi que PWLS permet d'ajouter de façon standardisée des listes d'outils ou de noms d'entreprises et donc de normaliser la liste des essais géotechniques

Ensuite, nous présenterons les formats RESQML 2.2 et AGS 4.1.1 afin d'expliquer comment un sondage et ses principales caractéristiques (nom,

type, localisation, trajectoire) sont pris en compte dans chacun, et comment les données des essais in situ et des essais en laboratoire peuvent être retranscrites dans un fichier RESQML v2.2 enrichi.

Nous décrivons ensuite comment les informations lithologiques contenues dans un fichier AGS peuvent être transférées au format RESQML avant de nous intéresser aux essais in situ comme les paramètres d'avancement de forage ou les essais pressiométriques Menard.

Nous expliquerons comment transférer les informations lithologiques d'un fichier AGS vers RESQML, avant d'aborder les essais in situ (paramètres d'avancement, essais pressiométriques Menard, etc.) et l'intégration des échantillons. Enfin, nous donnerons des exemples pour intégrer des essais standards utiles à la classification GTR.

Nous concluons par une discussion sur les conséquences et les opportunités offertes par l'extension du dictionnaire des propriétés RESQML.

2 PRÉSENTATION DE PWLS

PWLS v3.0 comprend un guide PDF :

- **PWLS Usage Guide v3.0.pdf**

et deux fichiers Excel :

- **PWLS v3.0 Properties.xlsx**
- **PWLS v3.0 Logs.xlsx**

2.1 PWLS Usage Guide

Ce guide décrit le standard utilisé pour harmoniser et classer toutes les mesures de diagraphies dans l'industrie. Il explique la structure des propriétés, des mnemonics et des outils de logging afin de permettre un échange cohérent des données dans WITSML, RESQML et PRODML.

Il montre comment ce dictionnaire unifié facilite la recherche, l'interopérabilité et l'intégration des données log, quel que soit le fournisseur.

2.2 PWLS v3.0 Properties.xlsx

Ce fichier liste les propriétés validées, définies sur 11 colonnes, dont :

- **Hierarchy Sort Order (HSO)** : index hiérarchique (entier).
- **PWLS Property** : nom de la propriété.
- **Property Description** : description textuelle détaillée.
- **Abstract** : booléen indiquant si la propriété est abstraite.
- **Parent PWLS 3 Property** : nom de la propriété parente (plus générique).

- **Primary QuantityClass** : type de grandeur (ex. volume, mass, pressure, unitless ou dimensionless).
- **Property GUID** : identifiant unique (UUID).
- **Parent Property GUID** : UUID de la propriété parente.

Les 3 autres colonnes permettent de faire des correspondances avec les versions antérieures. Les noms et descriptions des propriétés sont en Anglais.

Pour ajouter une nouvelle propriété, il faut :

- Vérifier qu'elle n'existe pas déjà.
- Définir un nom, une description, la bonne **QuantityClass** et une propriété parente.
- Générer son UUID (par exemple via la classe UUID en Java ou un script Python).

2.3 PWLS v3.0 Logs.xlsx

Ce fichier contient plusieurs onglets dont :

- **Company codes** : codes entiers par société (ex. 35 = BP, 440 = Schlumberger).
- **Curves** : liste de 42917 type de courbes de logs
- **Tools** : liste de codes pour des outils
- **Well Log Tool Class** : liste des méthodes de diagraphie.

Nous proposons d'ajouter des entreprises à la liste Company codes et de créer un nouvel onglet **Geotechnical Tests** pour lister les essais géotechniques avec :

- **Test code** : code court (4 lettres) inspiré des Groups AGS (ex. ISPT),
- **Test Name** : nom complet de l'essai (ex. *Standard Penetration Test*),
- **Description** : brève description (ex. Dynamic penetration test for soil resistance estimation),
- **Test Type** : *InSitu* ou *Laboratory*
- **Standard** : référence normative (ex. *NF P94-110, ASTM D1586, ISO 22476-1*).

Une fois les fichiers enrichis, un rapport de modification doit être soumis pour validation par le consortium Energistics.

3 FAIRE CONVERGER AGS ET RESQML

3.1 La hiérarchie des éléments RESQML

Le standard RESQML repose sur une organisation sémantique appelée FIRP (Feature / Interpretation / Representation / Property), qui structure les données échangées dans les workflows géomodélisation et forage :

- **Feature** : représente un concept physique ou technique. Par exemple, un puits ou un sondage est modélisé par l'élément Wellbore. Les Features peuvent être géologiques (formation, horizon) ou techniques (puits, équipements).

- **Interpretation** : une Feature peut avoir plusieurs interprétations, selon le géologue, le géotechnicien ou le sondeur. Chaque interprétation est décrite par un objet tel que **WellboreInterpretation**. Elle traduit une vision intellectuelle ou hypothétique de la Feature.

- **Representation** : une WellboreInterpretation peut être matérialisée par une ou plusieurs représentations numériques. Un WellboreTrajectoryRepresentation définit la trajectoire du sondage, tandis que le WellboreFrameRepresentation décrit des repères le long du forage. Une représentation encapsule la géométrie et sert de support aux propriétés.

- **Property** : les propriétés (pression, porosité, etc.) sont attachées aux éléments indexables d'une représentation. Elles sont typées par des **PropertyKind**, qui définissent le nom, la classe de quantité (QuantityClass) et l'unité de mesure.

Tous ces objets sont des TopLevelElements : ils disposent d'un UUID garantissant leur unicité et d'un élément **Citation** pour la traçabilité (titre, version, date, description, mots-clés).

3.2 Les objets communs d'Energistics (EML)

En complément des quatre catégories FIRP, RESQML s'appuie sur des objets définis dans Energistics Common, socle partagé par les standards EnergyML. Ces objets facilitent l'intégration des données AGS :

- **DataObjectCollection** : permet de regrouper des objets hétérogènes ou homogènes dans un conteneur logique, enrichi par des métadonnées (paires clé/valeur). Utile pour organiser des ensembles de Features ou de Representations.
- **ColumnBasedTable** : TopLevelElement tabulaire où les colonnes sont associées à des PropertyKind et les lignes à des intervalles ou profondeurs. Il sert à structurer des séries de mesures (ex. paramètres d'avancement, SPT, échantillons, granulométrie).
- **NestedColumnBasedTable** : structure imbriquée dans une ligne d'une ColumnBasedTable contenant des sous-séries de valeurs organisées en colonnes, avec possibilité de définir un nom, une unité et des contraintes (min/max), même si les colonnes ne sont pas liées à des PropertyKind.

Cette architecture garantit une interopérabilité robuste où chaque objet est lié par des **DataObjectReference (DOR)**, assurant la cohérence entre Feature, Interpretation, Representation et Property. Elle offre une granularité fine pour échanger des données complexes tout en maintenant la traçabilité et la compatibilité entre logiciels.

3.3 Structure des données dans le format AGS

Le format AGS 4.1.1 organise les données en tables appelées Groups. Chaque Group correspond à un domaine d'information (projet, localisation, sondage, essais, etc.) et est identifié par un code à quatre lettres (ex. PROJ, LOCA, GEOL, HDPH, SAMP, GRAG).

Chaque Group contient une liste de propriétés. Le Heading est le code de la propriété (ex. LOCA_ID) qui est décrite par plusieurs attributs normalisés :

- **Status** : indique si la propriété est obligatoire (marquée par *) ou facultative (vide).
- **Description** : libellé explicite de la propriété.
- **Type et Unité** : suggèrent la nature des données et l'unité de mesure.

La structure d'un groupe dans un fichier AGS commence par quatre lignes d'en-tête (GROUP, HEADING, UNIT, TYPE), suivies des données organisées en lignes.

Pour l'extension des Propriétés PWLS dans RESQML, nous nous baserons sur les listes officielles de Headings de chaque group, en les complétant par de nouveaux Headings adaptés aux besoins spécifiques de l'ingénierie française, tout en respectant les règles AGS pour garantir compatibilité et traçabilité.

3.4 La hiérarchie des Groups dans AGS

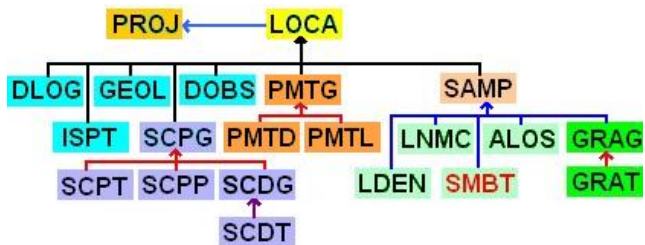


Figure 1: Aperçu de la hiérarchie des tables (Groups) dans AGS contenant des essais in situ et des essais en laboratoire

Au sommet de la hiérarchie se trouve le Group PROJ contenant les informations du projet géotechnique (nom, entreprise, etc) et immédiatement en-dessous le Group LOCA qui contient les informations générales d'un sondage (nom, type, coordonnée, etc.) .

LOCA est le parent de tous les essais in situ. Ceux-ci peuvent être contenus que dans une seule table (DLOG, ISPT, GEOL, DOBS) ou nécessitent deux tables (SCPG + SCPT ou PMTG + PMTD), trois tables (PMTG + PMTD + PMTL ou SCPG + SCPT + SCPP) ou les cinq tables violettes pour reporter complètement des essais CPTU avec données continues, paramètres interprétées et essais de dissipation.

SAMP est le Group qui décrit les échantillons, il a pour parent LOCA et il est le parent de tous les Groups qui stockent les données des essais labo.

Certains essais n'ont besoin que d'une seule table (LNMC, LDEN, ALOS, SMBT) alors que d'autres en nécessitent deux comme les essais granulométriques qui utilisent les Groups GRAG et GRAT. SMBT n'est pas un Group standard AGS 4.1.1 mais un Group ajouté (écrit en rouge) pour stocker les essais au bleu de méthylène.

3.5 La conversion AGS <=> RESQML

Nous ne pouvons pas traiter de façon exhaustive et détaillée la conversion de tous les groupes mais grâce aux exemples choisis le lecteur aura les clés de cette conversion et nous pourrons révéler une partie des nouvelles propriétés qui seront proposées pour la mise à jour du fichier PropertyKindDictionary_v2.3.xml.

3.5.1 Group PROJ : informations de projet

C'est un élément **DataObjectCollection** qui doit recueillir ces informations car il va regrouper tous les sondages du projet. La règle métier n° 13 implique qu'il n'y a qu'un seul projet par fichier AGS, décrit à minima par son identifiant PROJ_ID. Les valeurs de PROJ_NAME et PROJ_MEMO vont dans les champs **Title** et **Description** de l'objet Citation et les autres propriétés sont stockables dans des paires clé/valeur formées par des objets de type **ExtensionNameValue**. Les propriétés AGS de PROJ existent déjà dans PWLS 3 sauf pour les noms de société car l'usage est d'utiliser les **Company codes**.

3.5.2 Group LOCA : emplacement des sondages

Le format RESQML utilise les éléments WellboreFeature, WellboreInterpretation, WellboreFrameRepresentation, WellboreTrajectoryRepresentation, Mddatum, SinglePointGeometry et d'autres éléments qui exploitent une partie des informations de LOCA pour la représentation en 3D que nous avons déjà décrite (Léonard et al, 2022). Cependant certaines propriétés décrites par AGS et qui sont rarement valorisées doivent être ajoutées au fichier des propriétés PWLS et il apparaît qu'il faudra utiliser des objets ExtensionNameValue pour ajouter des paires clé/valeur sur les éléments RESQML appropriés. On peut souligner cependant que le géoréférencement des sondages est obligatoire en RESQML alors que seul l'identifiant LOCA_ID est obligatoire en AGS 4.1.1.

3.5.3 Etude de quelques cas d'essais in-situ

3.5.3.1 Groups DLOG, GEOL, GEO1 et GEO2 : interprétations lithologiques et géologiques
DLOG contient normalement les descriptions initiales du sondeur alors que les descriptions faites

par les ingénieurs doivent être contenues dans GEOL. DLOG se contente de décrire la lithologie des passes de sondages grâce à DLOG_DESC sans permettre d'interprétation géologique.

Le groupe GEOL permet au géologue de redéfinir entièrement le log lithologique via GEOL_DESC à des profondeurs distinctes de DLOG, de caractériser les passes de sondages selon diverses classifications lithologiques avec des codes stockés dans GEOL_LEG, GEOL_GEO1 ou GEOL_GEO2 et d'attribuer le nom d'une formation géologique dans GEOL_FORM et se référer si nécessaire, à la stratigraphie du Royaume-Uni (GEOL_BGS).

Les Australiens ont créé une version AGS-4.1.1-AU-1.2 dans laquelle ils ont fait exploser le nombre de Headings du Group GEOL en le passant de 12 à 93 ! Afin de décrire très finement la lithologie, ils ont multiplié les champs pour y accueillir des qualificatifs, des descripteurs, des conjonctions de coordination pour former diverses descriptions (granulométrie, couleur, etc) très précises et permettant des analyses par IA. Ils ont aussi créé deux Groups additionnels GEO1 et GEO2 permettant deux interprétations géologiques ou stratigraphiques supplémentaires.

La possibilité d'avoir diverses interprétations de la lithologie et de la géologie est un atout majeur du format RESQML que nous avons exploité dans nos travaux (Léonard et al, 2022) et qui permet de construire différents modèles selon les interprétations géologiques, géotechniques ou hydrogéologiques. En effet grâce au fait qu'un Wellbore peut être interprété par plusieurs WellboreInterpretations et que chacune de celles-ci sera représenté par au moins un WellboreFrameRepresentation, un fichier RESQML peut sans problème agréger les données des différents Groups et même ajouter pourquoi pas les données d'un champs DLOG_FORM contenant les interprétations géologiques faites par le prestataire de sondage.

Chacun des Groups DLOG, GEOL, GEO1 et GEO2 a donc un ensemble de propriétés qui peuvent être représentés par des PropertyKinds constituant les têtes des colonnes d'un ColumnBasedTable correspondant à l'un de ces Groups et chaque ligne d'une ColumnBasedTable sera indexé sur les intervalles TOP/BASE du WellboreFrameRepresentation liés aux différentes WellboreInterpretations selon les infos du sondeur, du géologue ou du géotechnicien.

Sur ces champs, le standard AGS utilise fréquemment des codes clés dont la signification est stockée dans le Group ABBR. Pour transférer à la fois le code et sa signification vers RESQML, il est nécessaire de définir et d'utiliser de nouvelles

propriétés PWLS, intégrées dans des PropertyKinds capables de stocker simultanément le code et sa signification. Toutefois, grâce au mécanisme **StringTableLookup**, il n'y aura pas de répétition des chaînes de caractères.

Côté PWLS v3.0, la propriété **litho description** correspond aussi bien à DLOG_DESC que GEOL_DESC. De même **formation name** correspond à GEOL_FORM, pour les Headings GEOL_GEO1, GEOL_GEO2 (remplacés par GEO1_GEO et GEO2_GEO en Australie), il est donc nécessaire d'ajouter de nouvelles propriétés à la fois pour les codes et les noms associés. Il existe cependant la propriété **litho type** pour transcrire le libellé correspondant au code de GEOL_GEO2 (ou GEO2_GEO)

3.5.3.2 Group DOBS : Paramètres d'avancement

Ce groupe contient 24 Headings dont les données sont transférables en RESQML grâce à l'utilisation d'une ColumnBasedTable qui sera indexé soit sur des intervalles de profondeur si les valeurs DOBS_TOP et DOBS_BASE sont différentes ou sur des nœuds d'un WellboreFrameRepresentation spécifique (différent de ceux de la lithologie) mais qui sera rattaché au même WellboreInterpretation que celui utilisé pour transférer les données du Group DLOG (données du sondeur).

En ce qui concerne, les 21 autres Headings AGS, en général la profession n'en utilise que 5 ou 6 de façon courante. Afin de prendre en compte le paramètre de **Vibration Réfléchie** des enregistrements utilisant du matériel Jean LUTZ SA, nous proposons la création du Heading additionnel **DOBS_RVIB** qui est sans unité.

Pour le transfert de l'ensemble des propriétés, il est nécessaire de créer 8 nouvelles Properties dans PWLS dont celles pour la PO (Pression sur l'outil) et le CR (couple de rotation).

3.5.3.3 Groups PMTG, PMTD et PMTL : essais pressiométriques Menard

Ces trois Groups sont utilisés pour tous les différents essais pressiométriques selon AGS mais pour les essais Menard, la société LIM SA a proposé sur son site Web d'ajouter de nouveaux Headings aux Groups PMTG et PMTD et nous a aimablement communiqué un fichier .ags de données que nous avons analysé. Il s'avère que le module Ménard, la pression limite et la pression de fluage ne sont pas transmis par ce fichier. De plus, si on veut avoir l'historique des calculs avec les points retenus sur les courbes, il est absolument nécessaire de stocker ces infos dans la table PMTL et de nouveaux Headings supplémentaires sont

nécessaires. Il en résulte aussi que l'ensemble des Headings prévus par AGS 4.1.1 et ceux à ajouter entraînent l'ajout de nouvelles propriétés dans le dictionnaire d'Energistics.

Le mapping des données des trois Groups AGS vers RESQML nécessitera de créer un ColumnBasedTable contenant les données de PMTG dont les lignes seront portées par les nœuds d'un WellboreFrame-Representation correspondants aux profondeurs des essais. Les données des 2 tables PMTD et PMTL seront quant à elles stockées par 2 NestedColumn-BasedTable incluses dans chaque ligne de la ColumnBasedTable générale.

3.5.4 Etude de quelques cas d'essais en laboratoire

3.5.4.1 Group SAMP : descriptions d'échantillons

Le Group SAMP relie les essais in situ, les prélèvements et les essais de laboratoire. Chaque enregistrement SAMP, identifié par SAMP_ID et associé à un sondage via LOCA_ID, correspond à un échantillon prélevé sur un intervalle (SAMP_TOP, SAMP_BASE). Ces identifiants servent de référence pour les essais en laboratoire.

Dans RESQML, chaque échantillon est représenté par une ligne d'une ColumnBasedTable attachée à un WellboreFrameRepresentation, indexée par intervalle ou point médian. Les Headings AGS sont traduits en PropertyKinds, décrivant type, méthode de prélèvement, qualité, état et date. PWLS 3.0 propose la propriété **sample number** pour SAMP_ID.

Chaque échantillon peut être lié à plusieurs essais de laboratoire (relation 1→N) via des références explicites, garantissant la cohérence des données tout en respectant la philosophie FIRP.

3.5.4.2 Group LDEN : essai de masse volumique

Dans RESQML, chaque essai est représenté par une ligne d'une ColumnBasedTable attachée au même WellboreFrameRepresentation que les échantillons. La liaison à l'échantillon est assurée à la fois par la profondeur et la propriété **sample number**.

Tableau 1: correspondance entre AGS et RESQML

| Heading | Property name | QuantityClass |
|-----------|--------------------|-----------------|
| SAMP_ID | sample number | unitless |
| SPEC_DPTH | specimen top | length |
| SPEC_BASE | specimen base | length |
| LDEN_BDEN | bulk density | mass per volume |
| LDEN_DDEN | dry density | mass per volume |
| LDEN_REM | remarks | unitless |
| FILE_FSET | documentation file | unitless |

3.5.4.3 Groups GRAG et GRAT : granulométrie

Les essais granulométriques constituent un cas

particulier en raison de leur structuration sur deux tables AGS : GRAG pour la description générale de l'essai et GRAT pour la distribution granulométrique proprement dite (pourcentage passant par tamis ou par diamètre équivalent).

Dans RESQML, le Group GRAG est transféré dans une ColumnBasedTable principale, indexée sur le WellboreFrameRepresentation des échantillons. Cette table contient les propriétés globales de l'essai (méthode, norme, masse initiale, préparation de l'échantillon).

Le Group GRAT est quant à lui représenté par une NestedColumnBasedTable incluse dans chaque ligne GRAG. Cette structure imbriquée permet de stocker la série des couples diamètre / pourcentage passant, avec leurs unités respectives, sans multiplier les PropertyKinds. Les colonnes de la NestedColumn-BasedTable sont typées (par exemple **sieve size** et **percent passing**) et peuvent être contraintes (0–100 %), ce qui garantit la cohérence des données.

Cette approche est particulièrement adaptée aux essais granulométriques car elle conserve l'intégralité de la courbe, facilite les recalculs (D10, D30, D60, Cu, Cc) et permet une réutilisation directe dans des outils d'analyse ou de classification (USCS, GTR).

4 CONCLUSION ET TRAVAUX FUTURS

Ce travail démontre qu'il est techniquement possible et méthodologiquement cohérent d'étendre le standard RESQML v2.2 à la géotechnique en s'appuyant sur le dictionnaire de propriétés PWLS v3.0 et sur l'alignement avec AGS 4.1.1. La définition de PropertyKinds normalisés, validés par Energistics, constitue une condition indispensable pour rendre les données géotechniques réellement interoperables, réutilisables et conformes aux principes FAIR.

L'intégration des essais in situ et de laboratoire, y compris des essais spécifiques à l'ingénierie française comme le pressiomètre Ménard ou la valeur au bleu de méthylène, montre que RESQML peut couvrir un spectre fonctionnel plus large que celui pour lequel il a été initialement conçu. La capacité à gérer des interprétations multiples, des séries de mesures complexes et des métadonnées riches constitue un avantage déterminant par rapport aux formats concurrents.

Les travaux futurs porteront sur la soumission officielle des nouvelles propriétés et listes d'essais au consortium Energistics, sur le développement de convertisseurs industriels AGS ↔ RESQML ↔ OSDU, et sur la validation de ces extensions dans des logiciels commerciaux de géomodélisation et de

BIM. À terme, cette convergence ouvre la voie à une plateforme unifiée de données géotechniques 3D, interopérable à l'échelle européenne et compatible avec les infrastructures numériques du sous-sol.

Cependant compte tenu de l'ampleur de ce projet, les auteurs procéderont par étapes et sont ouverts à toute proposition de partenariat et de support financier, le but final étant de rendre public et accessible les résultats et outils qui pourront découler de ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists (2022). *Electronic Transfer of Geotechnical and Geoenvironmental Data*, AGS 4, Edition 4.1.1, Association of Geotechnical and Geoenvironmental Specialists, United Kingdom.
- Beaufils, M., Barthélemy, Y., Baudin, T., Beaudoin, M., Bernard, E., Canac, R., Castro-Moreno, J., Chapron, G., Cousin, V., Delrieu, N., Gabalda, S., Grellet, S., Lancien, N., Le Hello, B., Léonard, J.-M., Limasset, E., Liu, Y., Loiselet, C., Lorentz, J., Rallu, A., Robert, F., Robida, F., Thidet, B., Toriello, V., Vautherin, E., Vermoote, E. & Vernoux, J.-F. (2020). Standardisation des données géotechniques pour la conception d'infrastructures souterraines, *Projet National MINnD*, France.
- Gauthier, V., Labourg, P., Léonard, J.-M. & Rainaud, J.-F. (2021). Operational use cases using RESQML standard to communicate geotechnics and subsurface information to BIM, dans : *EAGE Near Surface Geoscience 2021 – 2nd Conference on Geophysics for Infrastructure Planning, Monitoring and BIM*, Bordeaux, France, 31 août 2021.
<https://doi.org/10.3997/2214-4609.202120060>
- Grellet, S., Liu, Y., Boisvert, E., Simons, B., Rainaud, J.-F., Lorenz, H., Haener, R., Beaufils, M., Hollingsworth, J. & Lieberman, J. (2020). *OGC Borehole Interoperability Experiment Engineering Report*, Open Geospatial Consortium, OGC Meeting, visioconférence, septembre 2020.
- Halfon, I. & Beaufils, M. (2024). Towards an open geotechnical data platform in France, dans : *Proceedings of the XVIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ECSMGE 2024)*, Lisbonne, Portugal, pp. 3497–3502.
<https://doi.org/10.1201/9781003431749-691>
- Labourg, P. & Léonard, J.-M. (2021). Ontologies and data model of the RESQML v2.2 format for operational and interoperable transfers of boreholes data from a 3D geomodeller to GIS and CAD/BIM software, dans : *RING Meeting 2021*, ENSG, Vandœuvre-lès-Nancy, France, 7 septembre 2021.
- Léonard, J.-M. (2020). Transfert par interopérabilité des modèles 3D depuis GDM-Multilayer vers Autodesk Civil 3D grâce au format RESQML v2.2, dans : *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur*, Lyon, France, 3 novembre 2020.
- Léonard, J.-M. (2024). Le format RESQML v2.2 pour les géosciences respectueux des principes FAIR, communication orale, OGC Digital Working Group, Université Gustave Eiffel, Champs-sur-Marne, France, 23 janvier 2024.
- Léonard, J.-M., Gauthier, V. & Rainaud, J.-F. (2022). Geotechnics and subsurface information: ontologies and data model of the RESQML v2.2 format with examples of interoperable transfers between geomodelling, BIM and GIS software, dans : *InfraBIM Open 2021*, Lyon, France, 10–12 janvier 2022.
- Léonard, J.-M. & Labourg, P. (2021). Import interopérable des sondages contenus dans des fichiers au format RESQML v2.2, dans : *Conférence francophone ESRI SIG 2021*, visioconférence, 14 octobre 2021.
- Léonard, J.-M., Labourg, P., Gauthier, V. & Rainaud, J.-F. (2023). Update on the development of tools for transferring boreholes data and 3D models using the RESQML v2.2 format, dans : *6th European Meeting on 3D Geological Modelling*, Copenhagen, Danemark, 23–26 mai 2023.
- Léonard, J.-M. & Le Hello, B. (2019). From BIM to Industry 4.0 – Egis BIM strategy for metro. Part 3: interoperability and BIM, dans : *Autodesk University London*, Londres, Royaume-Uni, 18 juin 2019.
- Léonard, J.-M., Zhu-Colas, B. & Rainaud, J.-F. (2019). Interest of accurate 3D geomodels for geotechnical projects and interoperability between geology and BIM – Part 2: interoperability with RESQML Builder and RESQML-CAD, dans : *5th European Meeting on 3D Geological Modelling*, Berne, Suisse, 21–24 mai 2019