

## Livrable

# Standardisation des données géotechniques pour la conception d'infrastructures souterraines

## Auteurs/Organismes

Mickaël Beaufile (coordinateur) (BRGM)

Yves Barthélémy (BRGM)

Thierry Baudin (BRGM)

Maxime Beaudouin (Systra)

Emilie Bernard (Andra)

Robin Canac (Geos / Ingerop)

Juan Castro-Moreno (Setec / Terrasol)

Gilles Chapron (Setec / Terrasol)

Vincent Cousin (Processus & Innovation)

Nicolas Delrieu (Andra)

Sunseare Gabalda (BRGM)

Sylvain Grellet (BRGM)

Nolwenn Lancien (Vinci Concessions)

Bastien Le Hello (Egis)

Jean-Marie Léonard (Egis)

Elsa Limasset (BRGM)

Yan Liu (Dassault Systems 3DS)

Christelle Loiselet (BRGM)

Julien Lorentz (Geolithe)

Antoine Rallu (CETU)

Florent Robert (CETU)

François Robida (BRGM)

Bertrand Thidet (Dodin Campenon Bernard)

Vincent Toriello (Socotec)

Elodie Vautherin (Colas)

Eric Vermoote (Geos / Ingerop)

Jean-François Vernoux (BRGM)

## IFC infrastructures souterraines (UC8)

MINnD\_UC08\_01\_Standardisation\_donnees\_geotechniques\_027A\_2019  
Août 2019

Site internet : [www.minnd.fr](http://www.minnd.fr) / Plateforme collaborative : [www.omnispace.fr/pnminnd](http://www.omnispace.fr/pnminnd)

Président : Louis DEMILECAMPS –Chefs de Projet : Pierre BENNING / Christophe CASTAING

Gestion administrative et financière : IREX ([www.irex.asso.fr](http://www.irex.asso.fr)), 9 rue de Berri 75008 PARIS, [contact@irex.asso.fr](mailto:contact@irex.asso.fr)

# Sommaire

<b>1. RÉSUMÉ/ABSTRACT</b> .....	<b>2</b>
<b>2. INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
<b>3. COMPOSITION DU GROUPE UC8 (GROUPE TUNNEL)</b> .....	<b>5</b>
<b>4. CONTEXTE</b> .....	<b>6</b>
4.1. Le BIM et son ambition .....	6
4.2. Standardisation au sein du BIM .....	7
4.3. MINnD et le sujet environnement.....	8
4.4. Initiatives en cours et solutions existantes notables pour la standardisation des données géo-scientifiques	8
<b>5. MÉTHODOLOGIE</b> .....	<b>10</b>
5.1. Continuité .....	10
5.2. Innovations et originalités.....	10
<b>6. CADRE NORMATIF ET MÉTHODOLOGIQUE</b> .....	<b>11</b>
6.1. Normes encadrant la géotechnique.....	11
6.2. Guides existants en appui aux missions géotechniques .....	12
6.3. Autres normes et guide méthodologiques utilisées dans le cadre de l'UC8 .....	12
6.4. Périmètre de l'étude UC8 .....	13
6.5. Pratiques réelles.....	15
<b>7. ACTEURS, PROCESSUS DE CONSTRUCTION DU SAVOIR GÉOTECHNIQUE ET MOYENS D'EXPRESSION DE CE SAVOIR</b> .....	<b>16</b>
7.1. Information Delivery Manual (IDM).....	16
7.2. Principaux acteurs et compétences impliqués.....	17
7.3. Principaux objets manipulés .....	21
7.4. Observations et mesures .....	24
7.5. Interprétation, estimations et modèles.....	25
7.6. Étude des solutions.....	29
<b>8. MODÈLE CONCEPTUEL</b> .....	<b>32</b>
8.1. Principe.....	32
8.2. Objets.....	34
8.3. Observations et mesures .....	37
8.4. Modèles et interprétations .....	39
<b>9. DÉFINITION DES MÉTHODES D'ACCÈS AUX DONNÉES ET INFORMATIONS</b> .....	<b>42</b>
9.1. Architecture orientée service.....	42
9.2. Détail des services Web et outils conseillés.....	44
<b>10. STANDARDISATION À L'INTERNATIONAL ET SUITES DU PROJET</b> .....	<b>47</b>
<b>11. COMMUNICATIONS ASSOCIÉES AU PROJET</b> .....	<b>49</b>
<b>12. BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>50</b>
<b>13. ANNEXE : LISTE NON EXHAUSTIVE D'INITIATIVES ASSOCIÉES À LA STANDARDISATION DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES</b> .....	<b>51</b>

# I. RÉSUMÉ/ABSTRACT

## Résumé

### Évolution de l'utilisation du BIM

### Missions géotechniques pour construire des infrastructures durables

### Pertinence des formats de standardisation des produits manufacturés

### Mission du groupe MINnD UC8-GT

#### ▼ De la collaboration et gestion durable des données...

Dans un premier temps, le BIM (Building Information Modelling) est assimilé comme une extension de la CAO/DAO associée à de :

- La collaboration.
- La gestion durable des données.

#### ▼ ... pour s'étendre à la description d'infrastructures

Il connaît ensuite un important essor pour la description des bâtiments dans les années 2010, pour s'étendre à la description d'infrastructures :

- Ponts.
- Routes.
- Voies ferrées.
- Tunnels.

Pour construire des infrastructures durables, la compréhension de l'environnement dans lequel s'insère l'ouvrage est primordiale.

Ce travail est l'objet des missions géotechniques qui visent à :

1. Collecter des données.
2. Proposer une compréhension de la structure du sous-sol et de son comportement.
3. Suggérer des dispositions constructives appropriées.

Appliquer la philosophie du BIM à la géotechnique nécessite de décrire, rendre accessible et maintenir des données qui ne sont pas nativement issues d'outils de CAO/DAO.

Il se pose alors la question de la pertinence des formats de standardisation des produits manufacturés tels que STEP et IFC pour décrire ces données géo-scientifiques plutôt rattachées au monde du SIG.

#### ▼ Proposition de solutions et méthodes de description et fourniture des données géotechniques...

Basé sur l'expérience de ses membres tant en géotechnique qu'en gestion de données interopérables, le groupe MINnD UC8-GT propose des solutions et méthodes de description et fourniture des données géotechniques dans le cadre de la conception d'une infrastructure souterraine.

#### ▼ ... qui suggèrent de réutiliser des standards existants

Ces solutions suggèrent de réutiliser et étendre des standards existants tels que :

- L'ISO.
- L'OGC.
- La Directive européenne INSPIRE.

Ces standards sont soutenus par la communauté géo-scientifique en proposant également des connexions avec le monde de la CAO/DAO.

**Abstract****Evolution of the BIM use**

▼ **From an extension of CAD...**

BIM (Building Information Modelling) is initially foreseen as an extension of CAD with:

- Collaboration enhanced capabilities.
- Sustainable data management.

▼ **... to the description of infrastructure**

BIM experienced a major boom for the description of buildings in the years 2010, and then spread to the description of infrastructure:

- Bridges.
- Roads.
- Railways.
- Tunnels.

To build sustainable infrastructure, understanding the environment in which the structure is built is crucial.

This work is the subject of the geotechnical missions that aim to:

- Collect data.
- Provide an understanding of the subsoil structure and behavior.
- Suggest appropriate constructive strategy.

**Geotechnical missions to build sustainable infrastructure****Relevance of standardization formats for manufactured products**

Applying the BIM philosophy to geotechnics requires describing, providing and maintaining data that are noted natively built or handled with CAD tools.

Then it raises the question of the relevance of standardization formats for manufactured products like STEP and IFC to describe these geoscientific data that are more likely related to the world of GIS.

**Role of the MINnD UC8-GT group**

▼ **Offering solutions and methods for the description and supply of geotechnical data...**

Based on the experience of its members in both geotechnics and interoperable data management, the MINnD UC8-GT group offers solutions and methods for the description and supply of geotechnical data for the design of underground infrastructure.

▼ **... that suggest to reuse and extend existing standards**

These solutions suggest to reuse and extend existing standards, especially from:

- ISO.
- OGC.
- INSPIRE European Directive.

Those standards are supported by the geoscience community, as well as offering connections to the CAD world.

## 2. INTRODUCTION

**Objet du projet  
MINnD UC8**

Démarré en juin 2017 à l'initiative de l'ANDRA, le projet MINnD UC8 s'est intéressé à la **description des infrastructures souterraines et de leur environnement**.

**Traitement séparé des  
volets « GC » et « GT »**

Les deux volets « GC », description de l'ouvrage et de ses équipements et « GT », description de l'environnement ont été traités séparément. La connexion et la convergence des deux sujets ont néanmoins fait l'objet d'échanges.

**Objet du présent rapport**

Le présent rapport traite de la **partie géotechnique et donc des travaux du groupe baptisé MINnD UC8-GT**.

### 3. COMPOSITION DU GROUPE UC8 (GROUPE TUNNEL)

#### Un consortium d'une trentaine de personnes

Ce travail a été réalisé par un consortium d'une trentaine de personnes composé de membres d'organisations différentes.

#### Organisations et membres ayant le plus participé

Les organisations et leurs membres ayant plus particulièrement participé au projet sont listés ci-dessous :

Organisation	Membres ayant le plus participé	
 ANDRA	Nicolas Delrieu Émilie Bernard	
 BRGM	Mickaël Beaufilets (coordinateur) Sylvain Grellet Sunseare Gabalda Thierry Baudin	Christelle Loiselet Jean-François Vernoux Yves Barthélemy Elsa Limasset François Robida
 CETU	Florent Robert Antoine Rallu	
 COLAS WE OPEN THE WAY	Élodie Vautherin	
 Dassault Systems 3DS	Yan Liu	
 DODIN CAMPENON BERNARD	Bertrand Thidet	
 DUMOULIN Conseil	Claude Dumoulin	
 egis	Bastien Le Hello Jean-Marie Léonard	
 GÉOLITHE	Julien Lorentz	
 INGÉROP Innovations demain	Robin Canac Éric Vermoote	
 Processus & Innovation	Vincent Cousin	
 setec	Gilles Chapron Juan Castro-Moreno	
 SOCOTEC	Vincent Toriello	
 SYSTRA	Maxime Beaudouin	
 VINCI CONCESSIONS	Nolwenn Lancien	

## 4. CONTEXTE

### 4.1. Le BIM et son ambition

#### Introduction du principe de « jumeau numérique »

Apparu dans les années 2010, le terme BIM (Building Information Modelling) a introduit le principe de « jumeau numérique/digital twin » appliqué à un ouvrage de BTP.

#### Philosophie du BIM

La philosophie du BIM vise avant tout à **disposer d'un système proxy apte à renseigner de l'état de l'objet cloné, et ce pendant toute sa durée de vie.**

##### Similitudes avec des cas courants

Elle est très proche de celle :

- Du dossier patient en médecine.
- Du carnet d'entretien en construction aéronautique et automobile.

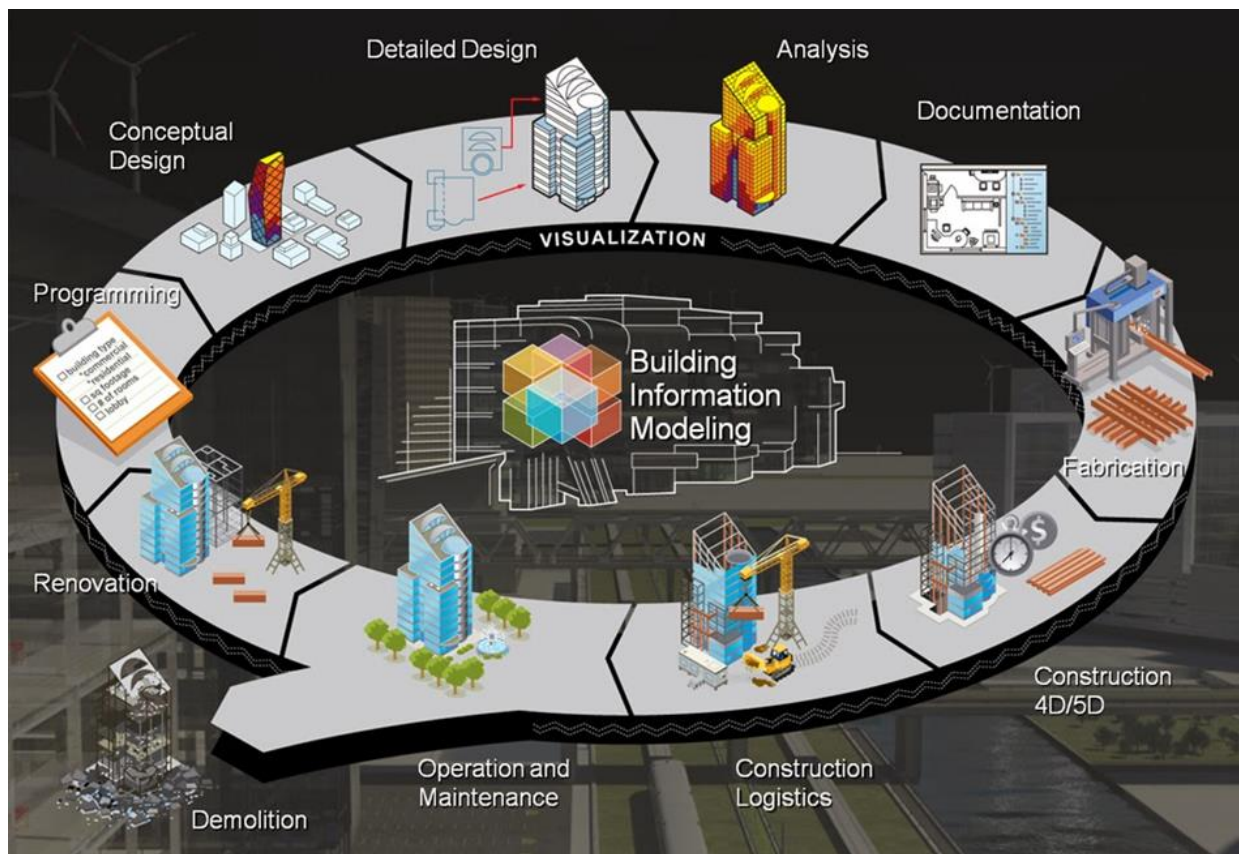


Figure 1 : représentation du cycle de vie d'un ouvrage et des données associées [Copyright : Autodesk]

#### Un triple enjeu...

Il y a là un triple enjeu :

1. Décrire de manière adéquate les données échangées.
2. Faire que cette description puisse être comprise par les acteurs et systèmes consommateurs de ces données.
3. Faire en sorte que cette description puisse être mise à jour.

#### 4.1 Le BIM et son ambition | Philosophie du BIM

... qui nécessite  
de standardiser  
les informations

La standardisation des informations est ainsi un point de passage obligé pour penser et mettre en place un système performant qui aurait des chances :

- D'être adopté.
- De durer dans le temps.

Les informations doivent être exprimées dans des formats neutres, lisibles par plusieurs logiciels. Cela permet :

- De garantir leur accès dans le futur.
- De se prémunir des évolutions incontournables des outils informatiques.

## 4.2. Standardisation au sein du BIM

Inscription de l'UC8  
dans le projet de  
développement  
des IFC Tunnel

Particularités  
d'un tunnel

Problèmes à résoudre

L'UC8 s'inscrit dans le projet de développement des IFC Tunnel du fait de son focus sur les infrastructures souterraines.

Ce projet est **projeté par building Smart International (bSI) pour IFC5**.

Le tunnel est une infrastructure unique qui se distingue des ponts, routes et voies ferrées par :

- Son rapport particulier avec l'environnement.
- Son caractère enterré ou semi-enterré.

Les problèmes à résoudre portent sur :

- La proposition de solutions permettant d'assurer le bon fonctionnement de l'infrastructure.
- L'intégration de manière durable dans l'environnement de cette infrastructure.

Prépondérance  
des systèmes SIG...

Aujourd'hui, les données environnementales sont plus communément véhiculées par des systèmes SIG que CAD.

Ainsi, il n'est pas étonnant de constater d'un point de vue conceptuel que les travaux de standardisation des données environnementales sont plus avancés côté OpenGIS que côté open BIM. Cela est notamment lié à la collaboration de l'OpenGIS avec les travaux :

- De l'OGC.
- Du CGI-IUGS.
- De la Communauté INSPIRE).

... qu'il faut accorder  
avec le BIM

Références des propositions  
de MINnD UC8-GTs

Besoin d'accès  
aux informations  
environnementales  
depuis l'outil CAD/BIM

Les propositions de MINnD UC8-GT s'appuient sur les standards et initiatives poussées par la communauté des géosciences au sein de l'OGC.

Elles proposent de réutiliser ou étendre des standards existants soutenus, voire produits par cette même communauté.

Il est toutefois entendu que côté utilisateur, notamment ingénieur génie civil, il peut être souhaité de pouvoir accéder aux informations environnementales depuis son outil CAD/BIM, voire de co-visualiser les données liées à la construction avec celles liées à l'environnement.



#### 4.2 Standardisation au sein du BIM | ... qu'il faut accorder avec le BIM

##### Approche considérée

Nous vous présentons ci-dessous l'approche considérée afin que tous les acteurs accèdent aux données de « l'autre monde » depuis leur propre environnement de travail.

Étape	Action
1.	Travailler sur un modèle conceptuel commun
2.	S'accorder sur la sémantique
3.	Travailler sur la mise en place de services/fonctionnalités d'accès aux données

Cette approche vise à :

- Faciliter la maintenance et la mise à jour des données.
- Répondre aux ambitions du BIM de définir un jumeau numérique de l'ouvrage (ou ici de son environnement) qui l'accompagnerait tout au long de sa vie.

### 4.3. MINnD et le sujet environnement

#### Un sujet abordé par l'UC6...

Le sujet de l'intégration d'une infrastructure dans son environnement a été abordé par l'UC6.

#### ... mais développé différemment par l'UC8

Le regard était toutefois différent et s'intéressait à la définition d'une forme optimale d'ouvrage de passage d'animaux basée sur des informations comportementales.

L'UC6 introduisait toutefois la nécessité d'interface entre SIG et BIM. Ce besoin est également très présent dans l'UC8.

L'UC8-GT se focalise lui sur la géotechnique, c'est-à-dire un ensemble de méthodes et informations utilisées et produites pour proposer une compréhension nécessaire et suffisante du sous-sol pour pouvoir construire une infrastructure souterraine dans des conditions de risques acceptées.

### 4.4. Initiatives en cours et solutions existantes notables pour la standardisation des données géo-scientifiques

#### De nombreuses initiatives et solutions telles que...

Le sujet de la standardisation des données des géosciences ne date pas d'hier. Des projets et groupes de travail existent, travaillent ou ont travaillé sur le sujet.

#### ... le format AGS,

Parmi les réponses opérationnelles à un besoin d'uniformisation des données géotechniques, on peut citer le format AGS. Lancé en 1999, AGS **défini des trames permettant de décrire les résultats d'essais et analyses, *in situ* ou effectuées en laboratoire.**

Le format d'échange AGS s'apparente au format CSV. Il est donc :

- Lisible par un humain.
- Modifiable avec un éditeur de texte, même si ce n'est pas l'utilisation conseillée.

Sa force est aussi sa faiblesse, car c'est un format peu contraint (pas de vérification de contenu). Il faut donc lui associer de fortes règles de gestion partagées par les utilisateurs pour envisager un usage professionnel et durable.

#### 4.4 Initiatives en cours et solutions existantes notables pour la standardisation des données géo-scientifiques

##### ... le projet DIGGS,

Le projet DIGGS (Data Interchange for Geotechnical and Geoenvironmental Specialists) s'est intéressé à adapter le format AGS au Web. Il propose **ainsi une retranscription XML des éléments**.

Un effort a également été fait pour s'appuyer sur GML pour l'expression des coordonnées géographiques. Le format qui en découle n'a toutefois pas été officiellement adopté par AGS qui a gardé son format de type CSV.

##### ... le projet GeoValML,

Le projet GeoValML en Allemagne propose de :

- Standardiser les descriptions des essais géotechniques et analyses.
- Proposer des services Web pour mettre ces descriptions à disposition.

Il s'appuie sur l'utilisation du format ISO 19156/OGC : Observations & Measurements.

##### ... le projet IFC Géotechnique,

Une initiative de standardisation de données géotechniques pour le BIM a également été démarrée mi-2018 au sein d'un petit groupe de building Smart International.

Le projet IFC Géotechnique vise à décrire les modèles géotechniques comme un ensemble de strates en 3D auxquelles sont associées des propriétés.

L'existence même de ce projet démontre un intérêt côté BSI pour la géotechnique. Des efforts de rapprochement ont alors été menés afin de connecter l'initiative MINnD UC8-GT à ce projet.

##### ... et la directive européenne INSPIRE

La directive européenne INSPIRE vise à organiser le partage des données environnementales à l'échelle européenne. Plusieurs modèles de données ont ainsi été définis pour cette directive. Parmi ceux d'intérêt pour les géosciences, nous pouvons citer :

<b>GE</b>	Géologie
<b>HY</b>	Hydrologie
<b>SO</b>	Sol
<b>MR</b>	Minéralogie
<b>EF</b>	Suivi environnemental
<b>NZ</b>	Zones de risques naturels

Les modèles conçus pour la Directive INSPIRE s'appuient pour la plupart sur les travaux réalisés par l'Open GeoSpatial Consortium (OGC).

Les standards GeoSciML et GroundWaterML2 nés au sein du CGI IUGS sont aujourd'hui des standards officiels OGC qui sont communément utilisés dans les services géologiques et autres organisations gouvernementales pour l'environnement pour la description et l'échange de données sur les géosciences.

## 5. MÉTHODOLOGIE

### 5.1. Continuité

#### Une méthodologie préconisée par BSI...

L'UC8 suit la méthodologie préconisée par BSI pour la définition de standards pour le BIM. Il propose ainsi de :

- Expliciter les besoins d'échanges d'informations (ER) en s'appuyant sur une cartographie des processus de construction du savoir, matérialisés par des manuels de livraisons de l'information (IDM)
- Proposer un modèle conceptuel de données adapté (MCD), basé sur une sémantique standardisée (DD).

#### ... et suivie par les groupes GC et GT

Cette méthodologie est suivie aussi bien par le groupe GC que le groupe GT, avec de légères adaptations pour s'accommoder aux particularismes de ces sujets.

### 5.2. Innovations et originalités

#### Des points novateurs...

Les solutions proposées ainsi que leur méthode d'obtention constituent une première dans la standardisation BIM sur plusieurs points :

<b>Au niveau des IDM</b>	Le format proposé n'est plus centré sur les échanges entre utilisateurs/producteurs de données, mais sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La construction de l'information.</li> <li>• Sa mise à disposition sur une plateforme de partage.</li> </ul>
<b>Au niveau du modèle de données</b>	Une solution neutre est proposée. Elle est basée sur les concepts (MCD), plutôt que les implémentations (MLD - MCD).
<b>Au niveau des Model View Definitions (MVD)</b>	Des fonctions de filtrage sont proposées sur les modèles conceptuels pour satisfaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les échanges de données.</li> <li>• Des services Web ou API permettant d'interroger ces données.</li> </ul>
<b>D'une manière générale</b>	Des connexions avec des standards existants ou en cours de définition non issus de bSI sont aussi proposées

#### ... inspirés des pratiques de standardisation OGC

Ces méthodes sont largement inspirées des pratiques de standardisation menées au sein de l'Open Geospatial Consortium (OGC).

## 6. CADRE NORMATIF ET MÉTHODOLOGIQUE

### 6.1. Normes encadrant la géotechnique

<p><b>NFP 94 500</b></p> <p>Présentation</p> <p>Révision en 2013</p>	<p>En France, la norme NF P 94 500 vise à <b>spécifier l'enchaînement des diverses missions d'ingénierie géotechnique</b>. Elle s'inscrit dans le cadre de l'étude :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des propriétés géotechniques des formations géologiques contenues dans le sous-sol.</li> <li>• De leur impact :             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Sur les aménagements de sites.</li> <li>– Sur les constructions existantes ou à bâtir.</li> </ul> </li> </ul> <p>Mise en place dès 2006, la norme a cependant été revue et corrigée le 3 novembre 2013. La révision de la norme NF P 94-500 s'inscrit dans un <b>objectif de réduction du risque de sinistre, par la réalisation de missions d'ingénierie géotechnique</b>.</p>
<p><b>Eurocode 7 : calcul géotechnique</b></p> <p>Exigences abordées</p> <p>Valeurs numériques à prendre en compte</p> <p>Conformité réglementaire...</p>	<p>La norme EN 1997 traite des <b>exigences de résistance, de stabilité, d'aptitude au service et de durabilité des ouvrages</b>. Les autres exigences, par exemple celles qui concernent l'isolation thermique ou sonore, ne sont pas abordées.</p> <p>Les valeurs numériques des actions sur les bâtiments et les ouvrages de génie civil à prendre en compte dans le calcul sont <b>fournies par la norme EN 1991</b>. Elles sont fournies en fonction des types de construction.</p> <p>▼ ... concernant les actions imposées par le terrain</p> <p>Les actions imposées par le terrain, comme les pressions des terres, doivent être calculées conformément aux règles de l'Eurocode 7.</p> <p>▼ ... concernant les questions d'exécution et de main d'œuvre</p> <p>Des normes européennes séparées doivent être utilisées pour traiter les questions d'exécution et de main d'œuvre. Elles sont notées dans les sections concernées.</p> <p>Dans la norme EN 1997, l'exécution est traitée dans la mesure où cela est nécessaire pour assurer sa conformité avec les hypothèses des règles de calcul.</p> <p>▼ ... concernant les exigences particulières du calcul sismique</p> <p>La norme EN 1997 ne traite pas des exigences particulières du calcul sismique. La norme EN 1998 donne des règles complémentaires pour le calcul sismique, qui complètent ou adaptent les règles de la présente norme.</p>
<p><b>Eurocode 8 : conception et dimensionnement des structures pour leur résistance aux séismes</b></p>	<p>La norme EN 1998 s'applique au dimensionnement et à la construction de bâtiments et d'ouvrages de génie civil en zone sismique. Son but est d'assurer qu'en cas de séisme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les vies humaines sont protégées.</li> <li>• Les dommages sont limités.</li> <li>• Les structures importantes pour la protection civile restent opérationnelles.</li> </ul>

## 6.2. Guides existants en appui aux missions géotechniques

**L'AFTES propose un ensemble de guides...**

**L'association française pour les tunnels et espaces souterrains (AFTES)** propose un ensemble de guides et recommandations pour la réalisation des missions géotechniques. On citera notamment les guides suivants :

<b>GT4R3F&amp;A (2013)</b>	Nomenclature simplifiée tunneliers
<b>GT7R4FI (1994)</b>	Choix des paramètres et essais géotechniques utiles aux projets
<b>GT32R2FI (2012)</b>	Caractérisation des incertitudes et des risques géologiques – hydrogéologiques - géotechniques
<b>GT32R3FI (2017)</b>	Risques techniques en vue consultation entreprise
<b>GT35RIFI (2007)</b>	La gestion et la valorisation des matériaux d'excavation
<b>GT43RIFI (2015)</b>	Guide application norme NF P 94500 missions ingénierie géotechnique

**... à la fois reconnus et pertinents**

Ces bonnes pratiques :

- Sont reconnues par toute la profession en France.
- Constituent ainsi une base de travail pertinente pour tout travail d'harmonisation.

## 6.3. Autres normes et guide méthodologiques utilisées dans le cadre de l'UC8

**Politique nationale de gestion des sites et sols pollués**

La politique nationale de gestion des sites et sols pollués est une politique de gestion des risques suivant l'usage des milieux. Elle est spécifiée dans la « Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués » 2017.

**Normes relatives aux sites et sols pollués**

Les normes suivantes concernent « *la qualité du sol – prestations de services relatives aux sites et sols pollués* » :

- NF X 31-620-1. • NF X 31-620-2. • NF X 31-620-3. • NF X 31-620-4.

Elles fixent les exigences générales concernant les travaux de réhabilitation auxquelles un prestataire doit satisfaire pour exercer des activités :

- D'études. • D'assistance. • De contrôle. • D'ingénierie. • D'exécution.

Elles s'appliquent également pour la gestion des terres excavées ou à excaver issues d'un site pollué.

**Guides méthodologiques**

Il y a plusieurs guides méthodologiques récemment publiés ou en cours de développement concernant :

- La gestion des terres excavées selon si elles sont issues des sites et sols potentiellement pollués.
- Leur exutoire en termes d'usage.

## 6.3 Autres normes et guide méthodologiques utilisées dans le cadre de l'UC8 | Guides méthodologiques

<b>Guide utilisé...</b>	Le « <i>guide de valorisation hors site des terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués dans des projets d'aménagement</i> » 2017 a été utilisé dans cette étude.
<b>... et contenu</b>	<p>Il expose les <b>règles de l'art et les modalités selon lesquelles les terres excavées issues de sites et sols potentiellement pollués peuvent être valorisées</b> hors site dans le cadre de projets d'aménagement.</p> <p>À noter que le guide propose une démarche de valorisation uniquement <b>sous l'angle environnemental et sanitaire</b>.</p> <p>Il ne traite pas :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des aspects géotechniques.</li> <li>• Des aspects de construction de sols fertiles.</li> <li>• Des risques d'altération des matériaux au contact de certains composés chimiques.</li> </ul>

## 6.4. Périmètre de l'étude UC8

<b>Cadre</b>	Dans le groupe de travail de l'UC8 GT, le cadre de l'étude est <b>l'identification des processus à la phase de conception du tunnel</b> .
<b>Intervenants</b>	<p>Les acteurs qui interviennent sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La maîtrise d'ouvrage (MOA) qui exprime et qualifie le besoin.</li> <li>• Éventuellement l'assistant MOA agissant en qualité de conseil auprès du MOA.</li> </ul> <p>Le maître d'œuvre (MOE), dont la prérogative principale est la conduite opérationnelle des travaux en conformité avec le contrat et le cahier des charges. Il est garant des coûts, délais et choix techniques.</p> <p>En revanche, l'entreprise qui réalise les travaux n'intervient dans ce cadre qu'ultérieurement et son implication n'est pas explicitée dans ce cas d'usage. La mission des entrepreneurs se concrétise dans la phase suivante de construction.</p>
<b>Normes, standards et bonnes pratiques</b>	<p>Fort des normes, standards et bonnes pratiques, le groupe a choisi de s'appuyer sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La norme NF P 94500.</li> <li>• Les recommandations du GT32 de l'AFTES.</li> </ul> <p>Les normes et guides relatifs aux sites et sols pollués et à la valorisation des terres excavées ont été également utilisés pour une partie de l'étude (voir le paragraphe « Normes relatives aux sites et sols pollués » en page précédente).</p>

## 6.4 Périmètre de l'étude UC8

## Sujets traités

La lecture de ce livrable permet de distinguer neuf sujets principaux, qui permettent ensemble d'assurer la « *Mission géotechnique* ». Ces derniers sont représentés sur le schéma ci-après.

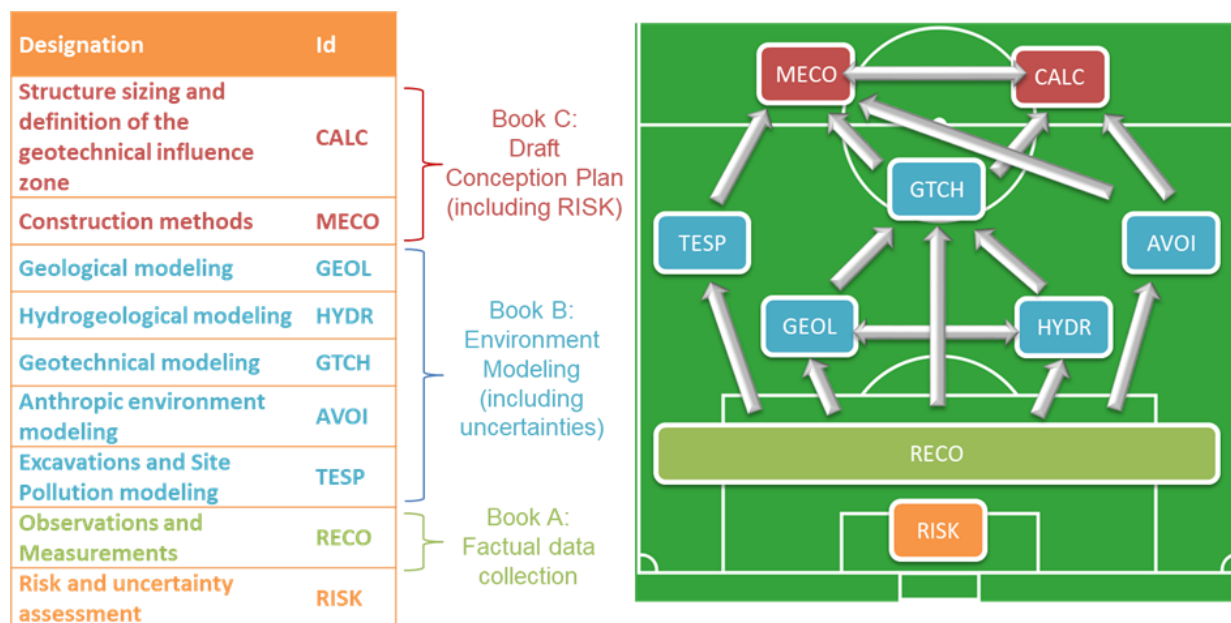


Figure 2 : sujets traités par les missions géotechniques

## Sujet RECO pour le cahier A

Le sujet RECO traite des **observations et mesures faites sur le terrain ou effectuées à partir d'échantillons provenant du terrain**. Ces données factuelles viennent renseigner le cahier A défini par le GT32 de l'AFTES.

## Sujets GEOL, HYDR, GTCH, TESP et AVOI pour le cahier B

Les sujets GEOL, HYDR, GTCH, TESP et AVOI traitent tous les cinq de la **modélisation de l'environnement du projet**. Les aspects traités pour chacun de ces sujets sont indiqués dans le tableau ci-dessous.

Sujet	Aspect
GEOL	Géologie
HYDR	Hydrogéologie
GTCH	Mécanique des sols
TESP	Gestion des terres excavées ou à excaver/de la gestion de pollution hors zones à excaver
AVOI	Gestion des impacts sur les avoisinants

Pour chacun de ces sujets, un modèle est proposé et caractérisé en fonction de leurs incertitudes. Les données produites viennent renseigner le cahier B défini par le GT32 de l'AFTES.

Il est à noter que dans le cadre de l'étude UC8-GT, le modèle proposé pour la gestion des terres excavées ou à excaver ne traite que de terres excavées issues de sites et sols pollués valorisés pour des opérations d'aménagement.

## 6.4 Périmètre de l'étude UC8 | Sujets traités

## Sujets MECO et CALC pour le cahier C

Les aspects traités pour les sujets MECO et CALC sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

Sujet	Aspect
CALC	Calcul du dimensionnement des parties de l'ouvrage
MECO	Méthodes de construction à adopter

Ils sont alimentés par le sujet sur la modélisation de l'environnement du projet. Pour ces deux sujets, des préconisations sont produites. Ces mêmes préconisations sont associées à des risques qu'il convient d'identifier et quantifier (RISK). Ces données viennent renseigner le Cahier C défini par le GT32 de l'AFTES.

## En résumé...

Les travaux de MINnD UC8-GT s'intéressent ainsi aux données échangées dans ces domaines lors des phases d'avant-projet, respectivement nommées G1 et G2 dans la norme NF P 94500.

## 6.5. Pratiques réelles

## Une diversité des pratiques...

Même si la géotechnique est une activité très encadrée, de nombreuses interprétations des objectifs du métier existent.

On constate ainsi des pratiques diverses au sein des pratiquants, en fonction de la structure à laquelle ils appartiennent.

## ... portant sur plusieurs sujets

Les hétérogénéités rencontrées portent ainsi sur les sujets suivants :

<b>Vocabulaire et sémantique</b>	Deux mêmes termes couramment utilisés par les membres comportent des sens distincts. De plus, deux termes distincts peuvent avoir la même signification. Des hétérogénéités de sémantiques sont notées dans les sujets abordés tels que les notions de « reconnaissances » géotechniques, ou notions « d'investigations » sur un site potentiellement pollué ou la caractérisation géochimiques des terres à excaver.
<b>Interaction avec les ingénieurs structure</b>	La frontière entre les périmètres d'intervention géotechnicien/ingénieur structure n'est pas forcément placée au même endroit d'une structure à l'autre.
<b>Outils utilisés</b>	Il existe là encore des différences de pratiques entre les membres : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Qui utilisent un logiciel de modélisation géologique (GDM, Geomodeller, etc.).</li> <li>• Qui font directement le modèle dans un logiciel de CAO/DAO (Autodesk, Bentley) pouvant parfois être associé à un plug-in métier (Keynetix).</li> </ul>
<b>Donnée brute vs donnée interprétée</b>	Il peut également être question de « donnée vs information ». En effet, chaque manipulation d'une donnée extraite de sondages ou d'auscultations porte l'empreinte du référentiel choisi pour travailler et de l'expérience de son utilisateur.



# 7. ACTEURS, PROCESSUS DE CONSTRUCTION DU SAVOIR GÉOTECHNIQUE ET MOYENS D'EXPRESSION DE CE SAVOIR

## 7.1. Information Delivery Manual (IDM)

### Présentation des IDM

#### Objectifs

Des Information Delivery Manuals (IDM) sont produits pour :

- **Expliciter le contenu des missions géotechniques.**
- **Identifier les données.**

#### Définition

L'IDM est défini par la *norme ISO 29481-1:2010*. Il étudie les échanges de données entre les acteurs pour produire le travail attendu.

La norme n'impose aucun format pour le rendu. Cette dernière suggère cependant :

- De recourir à des diagrammes de processus baptisés **process maps**.
- D'utiliser le langage BPMN (Business Protocol Model and Notation).

Pour l'UC8-GT, des IDM ont été produits pour les neuf sujets identifiés :

- RECO.      • HYDR.      • TESTP.      • MECO.      • RISK.
- GEOL.      • GTCH.      • AVOI.      • CALC.

#### Contenu de process map et exemple

**Chaque IDM se compose d'une process map.** Cette dernière comporte, en annexe, un glossaire décrivant précisément le contenu :

- Des actions.    • Des données.    • Des livrables produits.

La figure suivante montre un extrait de process map :

<b>Au milieu en colonnes</b>	Les acteurs du projet.
<b>De haut en bas</b>	L'enchaînement chronologique des actions.
<b>À gauche</b>	Les données utilisées pour réaliser l'action.
<b>À droite</b>	Les résultats de ces actions.

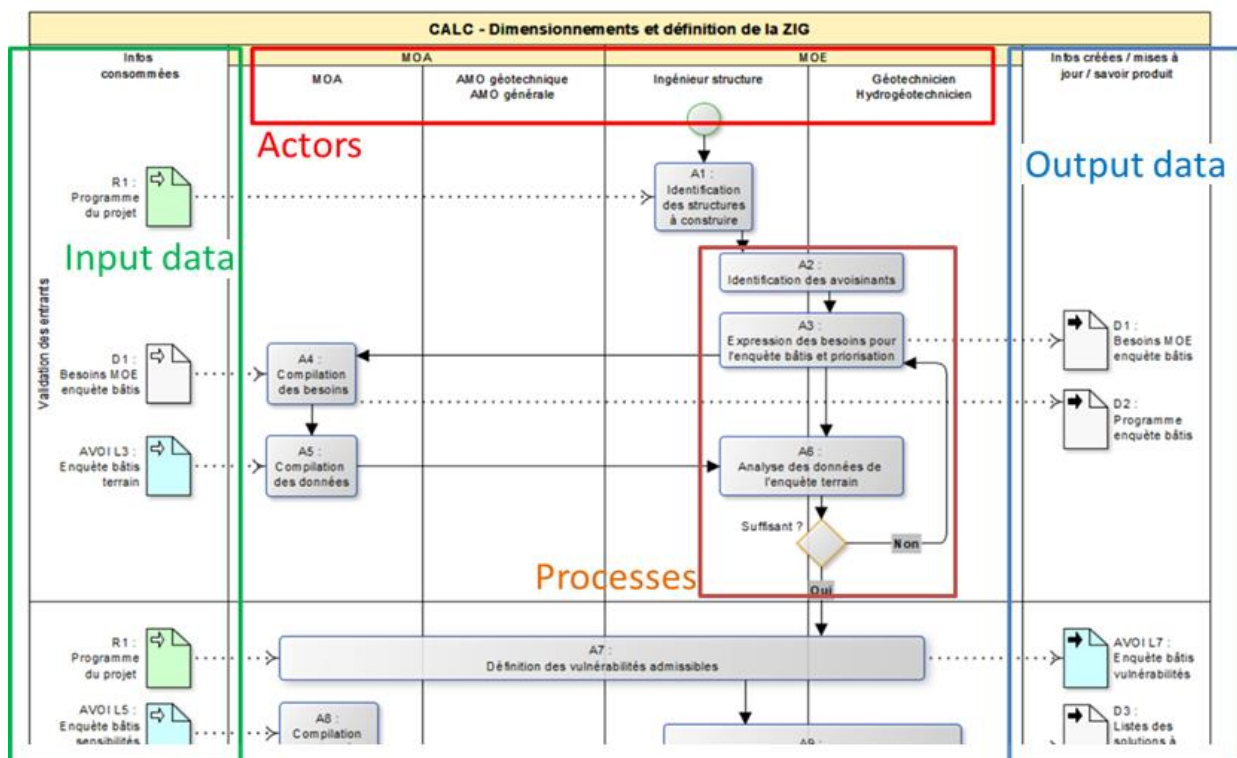


Figure 3 : extrait d'IDM

## 7.2. Principaux acteurs et compétences impliqués

<b>Cadre général</b>	Le cadre de ce cas d'usage a été posé du début d'opération à la phase de conception. Durant cette phase on retrouve : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les maîtres d'ouvrage, avec une assistance externe (AMO).</li> <li>• Les maîtres d'œuvre.</li> </ul>
<b>Intervention ultérieure de l'entreprise de travaux</b>	En revanche, l'entreprise réalisant les travaux intervient ultérieurement dans ce cadre et son implication n'est pas explicitée dans ce cas d'usage. La mission des entrepreneurs se concrétise dans la phase suivante la phase de construction.
<b>Rôle du maître d'ouvrage</b>	Au démarrage d'une opération, le maître d'ouvrage définit : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ses attentes.</li> <li>• Ses objectifs métiers.</li> <li>• Ses usages.</li> </ul>
<b>Objet</b>	À terme l'objet est d'assurer la bonne gestion des particularités de l'opération et des besoins de l'exploitant de l'ouvrage. Ces besoins sont exprimés : <ul style="list-style-type: none"> <li>• En direct par ses propres équipes.</li> <li>• En contractant un assistant à maître d'ouvrage.</li> </ul>
<b>Rôle du maître d'œuvre</b>	Compte tenu de ses compétences techniques, le maître d'œuvre propose : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une conception en adéquation avec la commande de son donneur d'ordre.</li> <li>• Une liste d'entrepreneurs pouvant intervenir sur l'ouvrage.</li> </ul>
<b>Rôle du maître d'ouvrage</b>	Le maître d'ouvrage : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Décide ainsi la meilleure option pour la réussite du projet.</li> <li>• Vise et approuve la réception des propositions de design.</li> </ul>

<b>Compétences et métiers clés</b>	Les métiers impliqués dans le processus ont une sensibilité différente si l'intervenant agit pour le compte : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Du maître d'ouvrage.</li> <li>• Du maître d'œuvre.</li> </ul>
<b>Approche métier différente</b>	

	Cahier A	Cahier B					Cahier C		
	RECO	GEOL	HYDR	GTCH	AVOI	TESP	CALC	MECO	RISK
<b>MOA</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>MOE</b>	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>AMO bâti</b>					X			X	
<b>Ingénieur-chef de projet SSP</b>						X			
<b>Géomaticien</b>	X	X			X				
<b>Géotechnicien</b>	X	X			X		X	X	
<b>Direction de projet</b>					X				
<b>Géologue</b>	X	X	X	X				X	
<b>Hydrogéologue</b>			X	X			X		
<b>Intégrateur risque</b>									X
<b>Ingénieur structure</b>							X	X	
<b>Expert en travaux souterrains</b>								X	
<b>Sondeur</b>	X								
<b>Laborantin</b>	X								
<b>Expert instrumentation</b>	X								
<b>Géologue modélisateur</b>		X							

Les métiers clés sont décrits plus précisément page suivante.

Métiers clefs	Description
<b>Sondeur</b>	Le sondeur réalise un sondage, la carotte et l'échantillonnage qui permettent ensuite de le caractériser.
<b>Laborantin ou technicien</b>	Le laborantin réalise les essais pour obtenir des données géologiques, géotechniques et géophysiques de sols, sous-sols, gisements et analyse leurs caractéristiques (compositions, natures, risques géologiques, etc.). Le laborantin peut réaliser les essais pour la caractérisation : <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'une pollution hors zone à excaver.</li> <li>• Des terres à excaver relevant des sites et sols pollués.</li> </ul>
	Le laborantin suit les travaux en réalisant les prélèvements sur chantier.
	Le laborantin assure la réalisation des essais géotechniques : <ul style="list-style-type: none"> <li>• En laboratoire (GTR).</li> <li>• In situ (contrôle des performances).</li> </ul>
	Le technicien est rattaché au : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Chef de laboratoire.</li> <li>• Responsable de production si la structure ne nécessite pas de responsable de laboratoire.</li> </ul>
	Les domaines de compétences du laborantin sont : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Maîtrise des normes et essais de laboratoire.</li> <li>• Méthode, analyse, rigueur, synthèse, autonomie, aptitude à communiquer, esprit critique.</li> <li>• Connaissances générales dans le domaine des terrassements (essais, matériaux, techniques, assainissement, etc.).</li> <li>• Connaissance des procédures qualité.</li> <li>• Maîtrise des outils informatiques (Excel, outils de saisies et d'archivages de données géotechniques).</li> <li>• Veille à la propreté, à la sécurité et au bon fonctionnement du matériel de laboratoire.</li> </ul>
<b>Expert instrumentation</b>	L'expert en instrumentation propose une solution optimale en appréhendant les enjeux : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Du projet.</li> <li>• De l'instrumentation.</li> <li>• De l'auscultation.</li> <li>• De la mesure.</li> </ul>
	L'objectif de l'instrumentation est d'observer et de documenter la réaction du sol et des nappes phréatiques : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans leurs conditions naturelles.</li> <li>• Pendant la construction.</li> </ul>
	La conception du projet est ensuite soumise à l'épreuve de ces données pour prévenir les problèmes potentiels.
	Pour déployer les mesures correctives avant que des dommages surviennent. Les programmes d'instrumentation surveillent : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les déplacements de sols et de structures.</li> <li>• Les niveaux de nappes d'eau souterraine.</li> <li>• Les niveaux de vibration des sols.</li> <li>• Les stress subis par les structures temporaires et permanentes, pendant et après la construction.</li> </ul>
<b>Géologue</b>	Le géologue réalise : <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'interprétation géologique des reconnaissances effectuées sur le terrain.</li> <li>• L'analyse des éléments de pétrographie acquis lors des relevés.</li> </ul>
<b>Géologue modélisateur</b>	Le géologue modélisateur est spécialiste des géosciences. Il étudie la composition, la structure, la physique, l'histoire et l'évolution de notre planète et de son sol. Il est en charge de la construction du modèle géologique à l'aide de logiciels informatiques.
<b>Géomaticien</b>	Le géomaticien collecte, analyse et diffuse des données géographiques. Il exploite ces données pour modéliser le territoire.
	L'objectif final de la géomatique est la représentation spatiale des données récoltées pour identifier, représenter et démontrer les résultats d'analyses statistiques.

Métiers clefs	Description
Hydrogéologue	L'hydrogéologue étudie les interactions entre les structures géologiques et : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les eaux souterraines.</li> <li>• Les eaux de surface.</li> </ul>
	L'objectif est de modéliser les structures géologiques du sol et du sous-sol tout en décrivant les impacts sur les caractéristiques physico-chimiques de l'eau, son approvisionnement, sa distribution, son écoulement, sa résurgence et réciproquement.
	Ce volet est interdisciplinaire : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Géologie.</li> <li>• Pédologie.</li> <li>• Chimie.</li> <li>• Hydraulique.</li> <li>• Etc.</li> </ul>
	L'hydrogéologie a des implications : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dans le processus de modélisation d'un environnement géotechnique.</li> <li>• Sur les orientations à donner aux travaux.</li> </ul>
	L'hydrogéologue modélise donc l'écoulement des eaux souterraines et les structures géologiques. Ces modèles sont utilisés pour évaluer : <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'impact des travaux de construction.</li> <li>• Les aménagements nécessaires tout en assurant la bonne gestion des ressources en eaux souterraines.</li> </ul>
Géotechnicien	On distingue le géotechnicien intervenant lors des études et celui intervenant en chantier.
	<p>Les attributions du géotechnicien d'études en cohérence avec les travaux focalisés sur la phase de conception sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Définir la résistance et les propriétés de déformation du sol. Il travaille sur les domaines de la mécanique des sols et des roches, la géophysique, l'hydrogéologie et des disciplines connexes comme la géologie. Son rôle consiste à utiliser des méthodes scientifiques et des principes d'ingénierie et les normes pour interpréter les propriétés physiques du sol en vue d'une utilisation dans la construction.</li> <li>• Constituer des modèles en agrégeant géologie, hydrogéologie et avoisinants. Ces modèles sont utilisés pour concevoir et construire les fondations, les structures en terre et les sous-couches de chaussées.</li> <li>• Itérer le modèle géotechnique à chaque information complémentaire pour assurer la cohérence des éléments et ajuster les interfaces.</li> </ul> <p>Les compétences et tâches du géotechnicien sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identification des risques généraux/particuliers à chaque étape.</li> <li>• Contrôle externe du dossier de reconnaissance complémentaire produit par le laboratoire sur les aspects réutilisations des sols.</li> <li>• Participation aux choix des méthodes constructives (adéquation des moyens d'extraction, réemploi, compactage, etc.).</li> <li>• Définition/adaptation des dispositions constructives.</li> <li>• Évaluation de la réutilisation des sols.</li> <li>• Étude des sols compressibles (Tassement, consolidation, amélioration des sols).</li> <li>• Vérification de la stabilité des ouvrages.</li> <li>• Dimensionnement des chaussées.</li> <li>• Pré dimensionnement/dimensionnement des fondations superficielles ou profondes.</li> <li>• Estimation de la méthode géophysique à employer en fonction de la problématique du chantier.</li> <li>• Cavité : prospection et solution de comblement.</li> <li>• Maîtrise de l'Eurocode 8.</li> </ul>
Ingénieur structure	L'ingénieur structure est le responsable de la performance mécanique de l'ouvrage à réaliser en interaction avec le sol. Il effectue les calculs de structures et les calculs mixtes structure et géotechnique.

Métiers clefs	Description
Expert en travaux souterrains	<p>L'expert en travaux souterrains détermine les méthodes de creusement à mettre en œuvre pour mener le projet à bien à partir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des conditions de terrain.</li> <li>• Des objectifs du projet.</li> <li>• De son expérience.</li> </ul>
Intégrateur risque	<p>L'intégrateur risque identifie les aléas et les risques liés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Au site (la géologie, l'hydrogéologie, la géotechnique).</li> <li>• À l'environnement immédiat du projet.</li> <li>• Aux activités humaines.</li> <li>• À l'interaction avec le projet (cohabitation, co-gestion, etc.).</li> <li>• Aux données d'entrée.</li> <li>• À la réalisation des travaux (apparition d'aléas non identifiés lors des études principalement à niveau topographique, géotechniques, contraintes extérieures, et travaux eux-mêmes).</li> </ul> <p>L'intégrateur de risques évalue la probabilité d'apparition ou d'occurrence pour chaque aléa/risque identifié par rapport à des indicateurs à définir avec le maître d'ouvrage tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le coût.</li> <li>• Les délais (analyse du chemin critique).</li> <li>• La faisabilité technique.</li> <li>• L'environnement.</li> <li>• Etc.</li> </ul>
Ingénieur chef de projet SSP	<p>Selon la norme NF X 31 620, le chef de projet site et sols pollués gère le projet demandé par le donneur d'ordre. Il est l'interlocuteur principal du donneur d'ordre dans les domaines techniques, administratifs et financiers en lien avec le projet.</p> <p>Les prestations de gestion des sites et sols pollués sont réparties en quatre domaines. Dans le cadre de l'étude UC8, seul le domaine A est pertinent. Ce dernier domaine traite des études, assistance et contrôle. Ces derniers sont présentés dans les normes NF X 31-620-1 et NF X 31-620-2.</p> <p>Le chef de projet possède un Bac+5 ou diplôme équivalent, de préférence en :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hydrogéologie.</li> <li>• Chimie.</li> <li>• Génie de l'environnement.</li> <li>• Géochimie.</li> <li>• Génie civil.</li> <li>• Géologie.</li> <li>• Géotechnique.</li> <li>• Génie des procédés.</li> </ul> <p>Le chef de projet site et sols pollués reporte à son superviseur et peut être assisté d'ingénieur d'études SSP. Dans le cadre de l'étude UC8-GT, seul le chef de projet a été représenté pour des raisons de simplification.</p> <p>Les connaissances nécessaires du domaine A sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Principaux textes législatifs et réglementaires relatifs aux installations classées, à l'eau, à la gestion des déchets et en général aux sites et sols pollués.</li> <li>• Méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués.</li> <li>• Bases de géologie et d'hydrogéologie.</li> <li>• Caractéristiques physico-chimiques des substances et leur comportement dans les milieux (sols, eaux et air).</li> <li>• Risques professionnels et environnementaux liés aux interventions sur des sites pollués.</li> <li>• Principales méthodes analytiques.</li> <li>• Principales méthodes d'analyses statistiques pour l'interprétation des données.</li> <li>• Principes généraux des différentes techniques de traitement des sols et des eaux souterraines.</li> <li>• Principales mesures constructives et restrictions d'usage pouvant être mises en œuvre.</li> </ul>

## 7.3. Principaux objets manipulés

<b>Préambule</b>	Il s'agit ici de lister les entités physiques proposant une modélisation de la zone d'étude.
<p><b>Sondage (RECO)</b></p> <p>Deux types de sondages</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Le concept de sondage :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Est un élément majeur du vocabulaire du géo-scientifique.</li> <li>• Constitue un composant majeur d'acquisition d'informations sur le sous-sol.</li> </ul> <p>Il s'agit d'une investigation du sous-sol réalisée avec ou sans forage d'un trou. Ce dernier permet d'aller collecter de l'information, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractéristiques mécaniques.</li> <li>• Physiques et éventuellement chimiques de ses constituants.</li> </ul> <p>On distingue deux types principaux de sondages :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les <b>sondages destructifs</b>. Ils sont le plus souvent rebouchés après usage.</li> <li>• Les <b>sondages pérennes</b>. Ils continuent d'exister après leur réalisation. Ils deviennent une construction particulière et peuvent porter des équipements. Il s'agit par exemple d'une station de mesure (inclinomètres, niveau de la nappe phréatique, etc.).</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement du sondage.</li> <li>• La description des conditions de réalisation du sondage.</li> <li>• L'indication des objets (échantillons, équipements).</li> <li>• Les observations associées (essais, analyses).</li> </ul>
<p><b>Échantillon (RECO)</b></p> <p>Collecte</p> <p>Forme</p> <p>Tests, analyses et sous-échantillonnage</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Un échantillon est un extrait de sol.</p> <p>La collecte d'un échantillon peut être faite de plusieurs manières :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ramassé sur le terrain.</li> <li>• Prélevé après creusement d'un trou de faible dimension ou un puits.</li> <li>• Extrait par forage. L'échantillon est alors communément appelé carotte.</li> </ul> <p>Il peut être selon les conditions de collecte, remanié ou non.</p> <p>Un échantillon peut avoir une forme :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Plus ou moins solide. Il s'agit du cas d'un prélèvement de roche.</li> <li>• Liquide. Il s'agit du cas d'un prélèvement en eau.</li> </ul> <p>Ces échantillons peuvent ensuite être testés et analysés pour en déduire une caractérisation locale du sous-sol. Un sous-échantillonnage est alors généralement réalisé. Un sous-échantillonnage est une action de prélever un échantillon sur un échantillon.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de l'échantillon.</li> <li>• La description des conditions d'échantillonnage/sous-échantillonnage.</li> <li>• La description de l'échantillon.</li> </ul>

## 7.3 Principaux objets manipulés

<p><b>Unité géologique (GEOL)</b></p> <p><b>Objet</b></p> <p><b>Éléments produits</b></p>	<p>Le concept d'unité géologique naît d'une volonté de discrétisation du sous-sol en blocs volumiques. Il est fait une hypothèse d'homogénéité au niveau d'une propriété géologique (lithologie, chronostratigraphie, etc.).</p> <p>Le découpage du sous-sol en blocs est l'objet de la modélisation géologique. La granularité du découpage à proposer :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Est à la discrétion du géologue.</li> <li>• Dépend des objectifs de modélisation attendus.</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de l'unité géologique.</li> <li>• Les caractéristiques.</li> </ul>
<p><b>Aquifère ou unité hydrogéologique (HYDR)</b></p> <p><b>Rôle de l'hydrogéologue</b></p> <p><b>Éléments produits</b></p>	<p>Le concept d'aquifère ou d'unité hydrogéologique désigne une unité géologique qui par ses propriétés hydrauliques à une influence notable dans :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le stockage.</li> <li>• Le mouvement des eaux souterraines.</li> </ul> <p>L'hydrogéologue décide de la finesse de modélisation à proposer en fonction des objectifs de modélisations fixés.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de l'unité hydrogéologique.</li> <li>• Les caractéristiques.</li> </ul>
<p><b>Unité géotechnique (GTCH)</b></p> <p><b>Rôle du géotechnicien</b></p> <p><b>Éléments produits</b></p>	<p>L'unité géotechnique est identique à unité géologique, mais avec des critères d'unification et de distinction basés sur des propriétés géotechniques.</p> <p>Le géotechnicien décide de la finesse de modélisation à proposer en fonction des objectifs de modélisations fixés.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de l'unité géotechnique.</li> <li>• Les caractéristiques.</li> </ul>
<p><b>Structure géologique (GEOL)</b></p> <p><b>Cartographie des structures géologiques</b></p> <p><b>Éléments produits</b></p>	<p>Une structure géologique est une rupture remarquable de continuité et monotonie du sous-sol.</p> <p>La cartographie des structures géologiques est particulièrement importante en géotechnique. En effet, si elle est traversée par un ouvrage, elle nécessite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une adaptation du processus du creusement.</li> <li>• L'utilisation de mesures de compensation particulière des manques du sous-sol.</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de l'unité géotechnique.</li> <li>• Les caractéristiques.</li> </ul>
<p><b>Cavité (HYDR ou GEOL)</b></p> <p><b>Cartographie des cavités</b></p> <p><b>Éléments produits</b></p>	<p>Une cavité est un espace évidé dans le sous-sol. Il peut être rempli d'air ou de liquide.</p> <p>Tout comme les structures géologiques, la cartographie des cavités est cruciale en géotechnique. En effet, leur présence influe sur la stabilité du sous-sol et peut générer des effondrements au passage des engins de creusement.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement de la cavité.</li> <li>• Les caractéristiques.</li> <li>• L'indication des objets (échantillons) et observations (essais, analyses) associées.</li> </ul>

## 7.3 Principaux objets manipulés

<p><b>Avoisinant (AVOI)</b></p> <p>Éléments anthropiques</p> <p>Présence et impact</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Le terme d'avoisinant regroupe les entités d'origine anthropique rencontrées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sur le sol.</li> <li>• Dans le sous-sol</li> <li>• À proximité du lieu du projet.</li> </ul> <p>Les éléments anthropiques intégrés dans le terme avoisinant sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les bâtiments et ouvrages divers (y compris archéologiques).</li> <li>• Les réseaux divers, généralement linéaires enterrés : eau potable, eaux usées, gaz, électricité, télécommunications, etc.</li> </ul> <p>Pour le projet, les avoisinants constituent des contraintes, voire des obstacles. Connaître leur présence et leur exacte emprise permet d'adapter le projet en termes de méthode de construction et de dimensionnement.</p> <p>La présence d'avoisinants peut avoir un impact sur le projet :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Détecté en amont du projet, un avoisinant peut influencer le tracé.</li> <li>• Découvert lors des travaux, il engendre des retards et des surcoûts.</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'identification unitaire des avoisinants.</li> <li>• La fourniture d'informations factuelles sur ces avoisinants.</li> <li>• La géométrie de l'objet.</li> </ul>
<p><b>Terres excavées ou à excaver (TESP)</b></p> <p>Terres concernées</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Le terme « terres à excaver » ou « déblais » regroupe les terres issues de l'excavation de l'infrastructure souterraine. En application de la note <i>nomenclature sur les déchets du 25 avril 2017</i>, les terres excavées, polluées ou non, évacuées du site dont elles sont extraites ont un statut de déchet. La gestion des terres excavées en dehors de leur site d'origine est réalisée conformément à la législation applicable aux déchets. Notamment concernant les modalités de traçabilité et de responsabilités.</p> <p>Dans le cadre de cette étude, les terres excavées provenant de sites et sols potentiellement pollués sont concernées.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le référencement du volume à excaver.</li> <li>• La quantité (volume) et origine exacte des terres à excaver.</li> <li>• La caractérisation des terres à excaver : nature, géochimie, présence d'amiante, engins pyrotechniques, etc.</li> </ul>
<p><b>Milieus de transfert (TESP)</b></p> <p>Évaluation des milieux</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Le terme « milieux de transfert » concerne les milieux susceptibles de transférer une pollution présente dans l'environnement, c'est-à-dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La zone non saturée.</li> <li>• La zone saturée.</li> <li>• Les eaux de surface.</li> <li>• L'air.</li> </ul> <p>Dans le cadre de la gestion du sol et sous-sol pollués ou potentiellement pollués en contexte de construction d'infrastructure souterraine, on évalue :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si ces milieux sont présents et vulnérables.</li> <li>• Si des enjeux sont liés à la présence de ces milieux.</li> <li>• Si ces milieux sont impactés ou ont un risque d'être impactés.</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'inventaire des milieux concernés.</li> <li>• La vulnérabilité de chaque milieu.</li> <li>• L'inventaire des enjeux liés aux milieux. Il s'agit par exemple de la présence d'un captage d'alimentation en eau potable.</li> </ul>



## 7.4. Observations et mesures

<p><b>Objectif</b></p>	<p>Les observations et mesures ont pour objectif de traduire un état :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Appuyé par des <b>preuves scientifiques</b> obtenues sur le terrain.</li> <li>• S'appuyant sur des <b>méthodes éprouvées, voire normalisées</b>.</li> </ul> <p>Des essais, tests, analyses peuvent être réalisés avec pour objectif de qualifier ou quantifier une propriété observée du sol.</p> <p>La compilation de ces données constitue le Cahier A.</p>
<p><b>Essais <i>in situ</i> (RECO)</b></p> <p>Méthode</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Les essais <i>in situ</i> sont des tests du sol effectués sur le terrain en place. Ils visent à caractériser certaines propriétés géo-mécaniques du sol. Ils sont réalisés à des endroits localisés :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mesure ponctuelle.</li> <li>• Instant défini</li> </ul> <p>Ils peuvent toutefois être répétés en des lieux ou instants différents pour déduire un comportement dans l'espace et dans le temps.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les conditions de réalisation des essais.</li> <li>• La ou les propriété(s) observée(s).</li> <li>• L'identification du support d'observation incluant sa localisation.</li> <li>• Les résultats des essais.</li> </ul>
<p><b>Analyses <i>in situ</i> (RECO)</b></p> <p>Méthode</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Les analyses <i>in situ</i> se font directement sur le terrain, par exemple le long du sondage.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les conditions de réalisation des analyses.</li> <li>• La ou les propriété(s) observée(s).</li> <li>• L'identification du support d'observation incluant sa localisation.</li> <li>• Les résultats des analyses.</li> </ul>
<p><b>Analyses en laboratoire (RECO)</b></p> <p>Éléments produits</p>	<p>Les analyses en laboratoire portent sur l'étude d'échantillons prélevés sur le terrain.</p> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les informations sur l'échantillon et la méthode d'échantillonnage.</li> <li>• Les conditions de réalisation des analyses.</li> <li>• Les résultats des analyses.</li> </ul>
<p><b>Données géophysiques (RECO)</b></p> <p>Cartographie haute résolution et résultats</p> <p>Éléments produits</p>	<p>Les données géophysiques construisent une cartographie haute résolution du sous-sol basée sur des critères et propriétés physiques précis. À la différence des essais et analyses, les résultats obtenus :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Portent sur une zone ou un alignement.</li> <li>• Ne donnent pas directement des caractéristiques mécaniques ou hydrauliques.</li> </ul> <p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La description de la méthode de mesure.</li> <li>• Les conditions de mesure.</li> <li>• Les résultats des mesures.</li> </ul>

## 7.4 Observations et mesures

<b>Enquêtes de terrain (AVOI)</b>	Les avoisinants sont identifiés et recensés puis l'enquête est lancée. Les enquêtes de terrain visent à obtenir des informations sur les avoisinants identifiés dans le périmètre du projet.
<b>Méthode</b>	
<b>Objets de préoccupations</b>	Les préoccupations se portent sur : <ul style="list-style-type: none"> <li>• La nature des matériaux utilisés.</li> <li>• L'état de vétusté de l'ouvrage.</li> <li>• Sa position par rapport au projet.</li> </ul>
<b>Rôle de l'expert</b>	L'expert dresse un état des lieux de l'avoisinant : <ul style="list-style-type: none"> <li>• À l'instant de sa visite.</li> <li>• Au regard des conditions dans lesquelles il a effectué son travail, par exemple : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Accès ou non au lieu d'étude.</li> <li>– Possibilité de se rendre dans les sous-sols.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Éléments produits</b>	Les éléments produits sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'inventaire des avoisinants identifiés et les informations administratives.</li> <li>• Les observations et mesures faites sur l'ouvrage permettant sa caractérisation.</li> </ul>

## 7.5. Interprétation, estimations et modèles

<b>Contexte</b>	Sur la base des connaissances disponibles, il s'agit de proposer une compréhension de l'environnement dans lequel s'inscrit le projet selon les composantes : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Géologique (GEOL).</li> <li>• Hydrogéologique (HYDR).</li> <li>• Géotechnique (GTCH).</li> <li>• Gestion des terres excavées et des pollutions en place (TESP).</li> <li>• Gestion des avoisinants (AVOI).</li> </ul>
<b>Définition de l'environnement du projet</b>	
<b>Évolution des modèles</b>	Ces modèles se précisent et à s'enrichissent au fur et à mesure du développement des reconnaissances.
<b>Cahier B</b>	La compilation de ces données constitue le Cahier B.

<b>Modèle géologique (GEOL)</b>	Le modèle géologique décrit la structure du sous-sol. Il propose : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Un découpage du sous-sol en couches et structures géologiques.</li> <li>• Une compréhension des relations entre ces couches et structures.</li> </ul>
<b>Description</b>	Les données de forages et sondages positionnent dans l'espace les interfaces envisagées de ces couches.
<b>Éléments produits</b>	Les éléments produits sont : <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'inventaire des couches géologiques présentes et fourniture de leurs caractéristiques.</li> <li>• L'inventaire des structures géologiques présentes et fourniture de leurs caractéristiques.</li> <li>• La pile géologique (ou topologie/relation entre les couches présentes).</li> <li>• Les notes d'hypothèses d'interprétation.</li> <li>• La cartographie 2D ou 3D de ces couches.</li> <li>• Les incertitudes associées au modèle. Voir le paragraphe Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK).</li> </ul>

## 7.5 Interprétation, estimations et modèles

<b>Modèles hydrogéologiques (HYDR)</b>	D'un point de vue cartographique, la modélisation hydrogéologique identifie :
Éléments identifiés	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les couches poreuses susceptibles d'accueillir de l'eau de manière permanente ou temporaire.</li> <li>Les horizons imperméables.</li> <li>Les sources et exutoires.</li> </ul>
Réponses apportées	D'un point de vue opérationnel, le ou les modèles hydrogéologiques répondent à plusieurs questions telles que : <ul style="list-style-type: none"> <li>L'estimation du débit d'écoulement dans un tunnel.</li> <li>L'estimation de la pression hydrostatique.</li> <li>La perturbation de la nappe.</li> </ul>
Modélisation analytique ou numérique	En fonction du contexte du projet, l'hydrogéologue peut recourir à une modélisation analytique ou numérique. Ces dernières sont définies dans le tableau ci-dessous.
Modélisation analytique	Calcule les valeurs attendues à partir d'équations/lois bien connues du monde de l'hydrogéologie, après s'être assuré de l'applicabilité de ces lois au cas d'étude.
Modélisation numérique	Utilisée dans le cas de systèmes complexes pour lesquels les méthodes de modélisation analytique ne peuvent être appliquées, ou donnent des résultats insuffisants. Elle peut par exemple s'appuyer sur un calcul par éléments finis.
<b>Rôle de l'hydrogéologue</b>	Les résultats de modélisation mènent à la proposition de solutions compensatoires comme la mise en place d'un rabattement de nappe. Auquel cas, l'hydrogéologue positionne et dimensionne les solutions de pompage nécessaires à cette manœuvre.
Éléments produits	<p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>L'inventaire des couches hydrogéologiques présentes et la fourniture de leurs caractéristiques.</li> <li>La matrice de corrélation entre couches géologiques et couches hydrogéologiques.</li> <li>La cartographie 2D ou 3D de ces couches.</li> <li>L'estimation du débit d'écoulement dans un tunnel.</li> <li>L'estimation de la pression hydrostatique.</li> <li>L'estimation de la perturbation de la nappe.</li> <li>Le dimensionnement de rabattement de nappe.</li> <li>Les incertitudes associées au modèle. Voir le paragraphe Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK).</li> </ul>
<b>Modèles géotechniques (GTCH)</b>	D'un point de vue cartographique, le modèle géotechnique montre les couches de sol ayant des propriétés géo-mécaniques communes. Les unités géotechniques sont dérivées des unités géologiques et hydrogéologiques.
Éléments identifiés	
Éléments étudiés	D'un point de vue opérationnel, la modélisation géotechnique qualifie les sols et anticipe leur comportement face à diverses sollicitations telles que la traction et la compression. On s'intéresse également à la perméabilité des roches, et à leur cohésion.
Éléments produits	<p>Les éléments produits sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>L'inventaire des couches géotechniques présentes et fourniture de leurs caractéristiques.</li> <li>La matrice de corrélation entre couches géotechniques et couches géologiques et hydrogéologiques.</li> <li>La cartographie 2D ou 3D de ces couches.</li> <li>Les incertitudes associées au modèle. Voir le paragraphe Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK).</li> </ul>

## 7.5 Interprétation, estimations et modèles

<b>Modèles d'avoisnants (AVOI)</b>	Les modèles d'avoisnants correspondent à une cartographie des avoisnants :
Définition	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifiés dans la zone d'influence géotechnique.</li> <li>• Auxquels sont associés des constats d'inspection, des rapports de sensibilité intrinsèque et des analyses de vulnérabilité au projet.</li> </ul>
Types de représentations	<p>La granularité des représentations des avoisnants se fait en fonction de la nature des données disponibles. Il peut s'agir :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• D'une maquette 3D de la ville.</li> <li>• Du plan harmonisé du cadastre.</li> <li>• Des plans et maquettes des ouvrages et bâtiments et de leurs fondations.</li> </ul>
Cas des maquettes 3D des villes	Pour les maquettes 3D des villes, les bâtiments ne sont pas nécessairement séparés au niveau des limites parcellaires.
Cas des plans des réseaux enterrés	Les plans des réseaux enterrés sont à demander aux gestionnaires, en particulier lors des demandes de travaux (DT).
Production des modèles des ouvrages	Les modèles des ouvrages et de leur sensibilité sont produits par assemblage des enquêtes de terrain.
Étude de sensibilité	<p>Pour les avoisnants identifiés et à partir des indices obtenus via les enquêtes de terrain, l'expert réalise une étude de sensibilité des ouvrages. La sensibilité traduit l'aptitude des ouvrages à pouvoir encaisser sans se détériorer des vibrations, et autres sollicitations liées aux travaux. Un ouvrage résistant à de fortes sollicitations est déclaré peu sensible. Au contraire, un ouvrage ne pouvant tolérer de faibles sollicitations sans se détériorer est considéré comme sensible.</p> <p>Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour l'étude de sensibilité d'un avoisnant :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'état et la hauteur de la structure.</li> <li>• L'existence, le nombre et l'état des niveaux de sous-sol.</li> <li>• Le type de population l'utilisant.</li> <li>• La nature de l'activité dans les bâtiments.</li> </ul>
Étude de vulnérabilité / modèle de vulnérabilité	<p>Des modèles de vulnérabilité peuvent être obtenus par croisement des modèles de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensibilité.</li> <li>• Topographie.</li> <li>• Lithologie.</li> <li>• La position de l'avoisnant par rapport au projet et d'informations sur les enjeux, c'est-à-dire l'activité et le nombre de personnes concernées par l'ouvrage :             <ul style="list-style-type: none"> <li>– Nombre d'habitants dans l'immeuble.</li> <li>– Nombre de personnes alimentées par cette canalisation, ce réseau, etc.</li> </ul> </li> </ul> <p>Si les impacts sont jugés hors tolérances :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Des modifications dans l'exécution des travaux peuvent avoir lieu.</li> <li>• Des mesures compensatoires peuvent être proposées auprès des propriétaires impactés.</li> </ul>
Éléments produits	<p>Les éléments produits sont:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• L'inventaire et la typologie des avoisnants : bâtiments, galeries, cavités souterraines, réseaux, infrastructures (ouvrage d'art, mur de soutènement...) et équipements plus largement.</li> <li>• La cartographie 2D ou 3D de ces couches, par nature / sensibilité / vulnérabilité.</li> <li>• Incertitudes associées au modèle. Voir le paragraphe Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK).</li> </ul>

## 7.5 Interprétation, estimations et modèles

**Modèles pour terres excavées et sites pollués (TESP)**

Deux modèles ont été réalisés. Le « modèle TEX » traite de la gestion des terres excavées (déblais) relevant de la méthodologie SSP, qui sont amenées à être valorisées hors site pour des opérations d'aménagement.

Le « modèle SSP » traite de la gestion des sols potentiellement pollués dans le périmètre du site, qui ne sont pas amenés à être excavés.

**Modèle TEX**
**Description**

Le « modèle TEX » décrit l'acceptabilité des terres excavées (déblais) relevant de la méthodologie SSP vis-à-vis du site receveur. C'est-à-dire le site pour lequel les terres sont valorisées dans une opération d'aménagement hors périmètre du projet. Pour évaluer cette acceptabilité, les éléments utilisés sont :

- Les données issues des reconnaissances permettant de caractériser les terres excavées ou à excaver (nature, présence de substances polluantes, etc.).
- Les données sur les caractéristiques géochimiques du site receveur (différents niveaux considérés, national, régional et local).

**Éléments produits**

Les éléments produits sont :

- La caractérisation des terres excavées ou à excaver (déblais).
- La liste des filières possibles en aménagement.
- L'inventaire des sites receveurs potentiels en recherche de terres pour de l'aménagement.
- La délimitation du volume des terres excavées ou à excaver (déblais) du « site producteur » vis-à-vis du site receveur choisi.

**Modèle SSP**
**Description**

Le « modèle SSP » décrit vis-à-vis d'une pollution identifiée hors zone à excaver dans le périmètre du projet :

- Des recommandations de gestion pour maîtriser voire supprimer les pollutions ou leurs impacts.
- L'estimation des risques que pose cette pollution sur les milieux environnementaux :
  - Zone non saturée.      - Eaux de surface.
  - Zone saturée.         - Air.

**Éléments produits**

Les éléments produits sont :

- L'inventaire des milieux concernés et évaluation de leur vulnérabilité.
- Le schéma conceptuel décrivant les sources de pollution, les voies de transferts dans les milieux concernés et les cibles.
- La carte des iso-concentrations et bilans massiques.
- L'analyse des enjeux sanitaires.
- La sélection de scénarios de gestion de la pollution avec bilan coût-avantage pour chacun.
- L'inventaire des restrictions d'usage et servitude pour usage retenu.

Les incertitudes associées au modèle. Voir le paragraphe Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK).

### 7.5 Interprétation, estimations et modèles

#### Définition de la ZIG (AVOI, CALC)

##### Proposition d'un périmètre

##### Éléments produits

Un périmètre de la zone d'influence géotechnique (ZIG) est proposé au vu :

- Des connaissances a priori du projet.
- De l'environnement dans lequel il doit s'insérer.

Les éléments produits sont :

- Le périmètre d'influence géotechnique du projet.
- La cartographie 2D ou 3D de ces couches.

#### Registre des incertitudes associées à la modélisation (RISK)

##### Liste des incertitudes

##### Limite du registre des incertitudes

##### Éléments produits

Les incertitudes décelées lors des phases de modélisation sont récapitulées dans le registre des incertitudes.

La recommandation AFTES n°GT32.R1.F1 propose une liste non exhaustive des incertitudes pouvant y figurer les incertitudes liées :

- Liées aux lacunes de connaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques engendrant un défaut de fiabilité locale des modèles.
- Liées à la localisation d'événements certains (ex. : position d'une faille).
- Liées aux conditions géotechniques associées à des événements certains (nature et caractéristiques des matériaux constitutifs), mais aussi leur emprise spatiale.
- Sur l'occurrence d'événements incertains (possibles ou probables) bien identifiés, par exemple : zone de failles multiples, zones karstiques, zones à fortes irrptions d'eau, etc.
- Résultant de la variabilité naturelle des propriétés du terrain.

Le registre des incertitudes se limite à un recensement de ces incertitudes sans en analyser les conséquences. Ces conséquences sont présentées dans le registre des risques.

Les éléments produits sont :

- L'inventaire des incertitudes associées aux modèles, incluant leur nature, leur localisation.
- La cartographie des zones de risques.

## 7.6. Étude des solutions

#### Calcul des interactions Sol Structure (CALC)

##### Objectifs

Les calculs d'interactions sol-structure et structure-sol-structure visent principalement à **justifier un dimensionnement préétabli à l'aide de méthodes plus classiques**, vis-à-vis :

- D'états limites de service.
- D'états limites ultimes.

Selon le cas, la vérification porte sur des quantités différentes :

- Déplacements maximaux admissibles.
- Efforts dans les structures.
- Etc.

Ces calculs sont aussi utilisés pour :

- Appuyer une proposition de variante de construction.
- Comprendre ou interpréter le comportement observé d'un ouvrage (on parle de rétro-analyse du comportement d'un ouvrage), le calcul visant en général à reproduire un ensemble de mesures, ou un comportement global.

### 7.6 Étude des solutions | Calcul des interactions Sol Structure (CALC)

#### Possibilités de modélisation des ouvrages géotechniques

Théoriquement, ces mécanismes peuvent être abordés de façon directe en construisant un modèle numérique d'ensemble. Ce modèle intègre explicitement la structure et le sol qui la supporte.

Toutefois, en pratique, le modèle numérique « géotechnique » se limite bien souvent à représenter des ouvrages dits « géotechniques » :

- Fondations superficielles ou profondes.
- Structure d'un tunnel.
- Parois de soutènement.
- Etc.

Ces ouvrages sont distincts du modèle de l'ouvrage complet.

Tout l'art consiste alors à déterminer comment ces éléments peuvent être modélisés. En pratique, il existe deux possibilités :

<b>Option 1</b>	Utilisation d'un maillage « volumique », l'emprise géométrique de l'élément de structure est explicitement représentée et celui-ci est modélisé comme un milieu continu tridimensionnel, caractérisé à l'aide de propriétés mécaniques pour chaque maille.
<b>Option 2</b>	Utilisation d'un maillage « surfacique » ou « linéique » par recours à des éléments de poutre et de plaques, qui relèvent d'une modélisation mécanique spécifique, et dont le comportement est caractérisé à l'aide de paramètres semi-locaux. En construction de tunnel, dans un environnement clairement en trois dimensions c'est l'option 1 qui doit être privilégiée.

#### Éléments produits

Les éléments produits sont

- Les hypothèses de calculs.
- Les modèles numériques simplifiés de la superstructure.
- Le modèle géotechnique simplifié.
- Les résultats de calcul.

#### Proposition de méthodes de construction (MECO)

##### Description

Les méthodes constructives portent sur le choix entre méthodes mécaniques au tunnelier et méthodes d'excavation traditionnelles avec engins mécaniques et usage ou non d'explosifs. Celles-ci sont choisies en fonction des déformations résiduelles au sous-sol et de leurs transmissions en surface. Elles portent sur le choix des dispositifs matériels de confortement du front de taille et du tunnel lui-même (le soutènement) que ce soit à titre temporaire ou à titre définitif.

##### Éléments produits

Les éléments produits sont :

- Les méthodes envisagées.
- La matrice d'évaluation des méthodes envisagées.
- L'évaluation attribuée à chaque méthode.
- Les dispositifs de soutènement, provisoire et définitif.
- La méthode retenue.

## 7.6 Étude des solutions

**Registre des risques (RISK)**

## Description

## Phases de l'appréciation du risque

L'application de dispositions constructives dans un environnement incertain engendre des risques divers sur le projet. Le « Registre des risques » propose une synthèse :

- Des risques identifiés.
- De leurs impacts possibles sur le projet.
- Des méthodes proposées pour les réduire en maîtriser les coûts du projet.

L'appréciation du risque au sens de l'ISO comporte trois phases distinctes :

Étape	Action
1.	Identification du risque, qui consiste « à partir des incertitudes recensées d'identifier celles qui sont susceptibles de conduire à l'occurrence d'événements dont les conséquences constitueraient des changements de circonstances notables par rapport à la modélisation »
2.	Analyse du risque incluant la quantification des conséquences, la quantification de la vraisemblance, la détermination du niveau de risque par combinaison de la vraisemblance et des conséquences
3.	Évaluation du risque qui consiste à : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Évaluer les risques nécessitant la prise de mesures d'adaptation.</li> <li>• Prioriser la mise en œuvre de ces traitements au regard de seuils et tolérances acceptés par le maître d'ouvrage.</li> </ul>

## Éléments produits

Les éléments produits sont :

- La dénomination du risque, incluant la source du risque et une possible localisation.
- L'estimation de la vraisemblance du risque.
- L'estimation des conséquences du risque.
- L'estimation du niveau de risque, résultant de la combinaison de la vraisemblance et des conséquences.
- La proposition de traitement préventif et estimation du risque résiduel en cas d'application du traitement préventif.
- La proposition de traitement curatif en cas de survenance de l'événement redouté afin de réduire la gravité des conséquences.

L'ensemble des informations est très souvent synthétisé dans un tableau à plusieurs entrées.



## 8. MODÈLE CONCEPTUEL

### 8.1. Principe

<b>Concepts à standardiser</b>	<p>Parmi les concepts à standardiser pour exprimer le « savoir géotechnique » on distingue deux grandes familles :</p>
<p>« Objets »</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les objets.</li> <li>• Les observations et mesures.</li> </ul> <p>Les « objets » (de l'anglais Feature) <b>font référence à des entités physiques réelles</b>, plus ou moins bien connues tant au niveau de leur géométrie que de leurs attributs. Ils peuvent être :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faits de la main de l'homme (ou de la machine qu'il guide) comme :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sondage.</li> <li>- Un bâtiment.</li> </ul> </li> <li>• D'origine naturelle comme :             <ul style="list-style-type: none"> <li>- Un fleuve.</li> <li>- Une couche de terrain.</li> <li>- Une cavité.</li> <li>- Une faille.</li> </ul> </li> </ul>
<p>« Observations et mesures »</p>	<p>Dans le cas où l'objet est d'origine naturelle, la fourniture d'une géométrie de l'objet peut être difficile :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Soit parce que celle-ci est variable (ex. : emprise d'un fleuve qui varie au gré des saisons).</li> <li>• Soit parce qu'elle n'est appréciée que partiellement, par un certain angle de vue ou échantillonnage (ex. : unité géologique).</li> </ul>
<p>« Modèles »</p>	<p>Les « observations et mesures » (de l'anglais Observations and Measurements) constituent des <b>actes qui permettent d'exprimer un constat dans un contexte donné</b>. Ces constats sont pour la plupart ponctuels :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tant au niveau spatial (constat valable à un endroit précis).</li> <li>• Qu'au niveau temporel (constat valable à un moment précis).</li> </ul>
<p>« Topologie »</p>	<p>L'accumulation de constats ou de preuves permet par combinaison de déduire d'autres informations. On parle alors d'interprétation ou de modèle.</p> <p>Les « modèles » constituent généralement <b>des assemblages ou des combinaisons d'objets auxquels des caractéristiques provenant des observations et mesures sont associées</b>.</p> <p>Certains modèles vont viser à cartographier les objets ayant les mêmes propriétés, pour voir leur répartition spatiale. D'autres modèles vont chercher à combiner des informations de différentes natures portant sur de mêmes objets pour en déduire de nouvelles informations.</p>
<p>« Topologie »</p>	<p>La « topologie » <b>permet de caractériser les relations qui peuvent exister entre les objets</b>. Elle représente une information importante pour la construction de modèle. Il n'y a actuellement pas de standard de facto pour décrire ces relations.</p> <p>Toutefois, il est utile de remarquer que la topologie pourrait être assimilée à une observation. Les standards pour ce type de données pourraient alors servir de base.</p>

## 8.1 Principe

Concepts  
et représentationsDissociation du concept  
de sa représentation...

... proposée par  
le standard GeoSciML...

En ingénierie où l'assemblage de composants est à la base de toute construction, les objets d'un point de vue conceptuel sont systématiquement associés à une forme et des dimensions que l'on appelle communément **géométrie**. Les logiciels de dessin servent d'alors d'interface pour visualiser et positionner ces objets.

En gestion des connaissances, notamment sur l'environnement, il est souvent judicieux de dissocier le concept de sa représentation. Plusieurs cas de figure le justifient :

- La géométrie est a priori inconnue avec exactitude, car elle est seulement observée que depuis un point de vue (ex. : unité géologique observée au niveau des affleurements ou par prélèvements/forages).
- La géométrie peut être variable dans le temps (ex. : largeur d'un cours d'eau, dimensions d'un pays qui varient respectivement au gré des crues et des marées).
- Différentes représentations sont admises en fonction des usages. Une route peut par exemple être vue comme une surface 3D, une surface 2D ou encore une ligne. De même, une couche géologique peut apparaître comme un volume dans un environnement 3D, mais aussi un (multi) polygone en projection 2D, voire une ligne le long d'un forage.

Toutefois ces représentations sont associées au même objet au sens conceptuel et héritent donc de ses propriétés.

Un autre avantage est que pour des simulations informatiques, de traitement de géométries notamment en 3D, il peut être également judicieux de pouvoir « décrocher » la sémantique associée aux objets et se contenter de leur géométrie.

La possibilité de faire le distinguo concept/représentation est notamment proposée par le standard GeoSciML de l'OGC. Il permet d'associer à un objet géologique (GeologicFeature) aucune ou plusieurs représentations (MappedFeature).

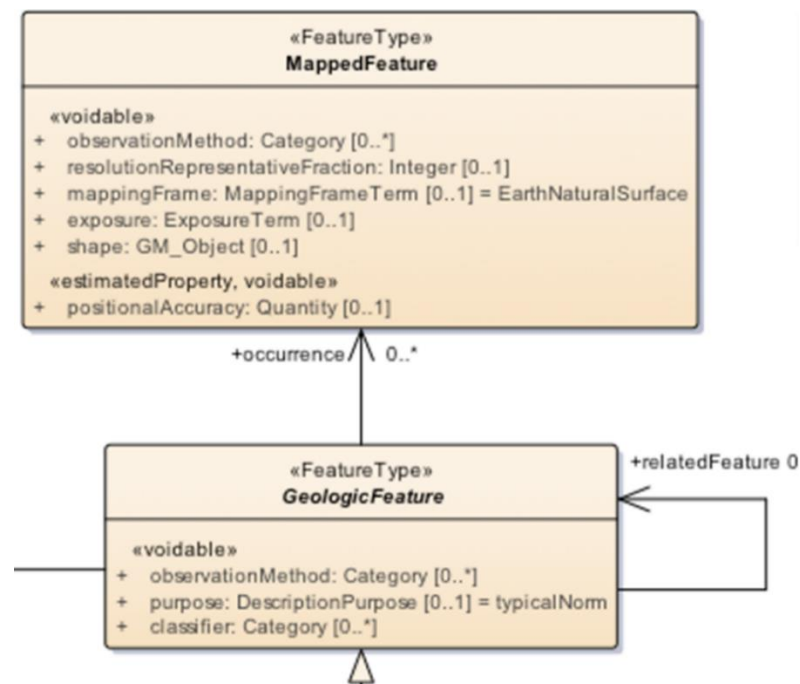


Figure 4 : séparation du « Concept » et de ses « Représentations ». Extrait du modèle logique du standard OGC : GeoSciML v4.1

... mais aussi par  
d'autres standards !

S'agissant ici d'un modèle logique, la géométrie de l'objet est nécessairement typée OGC. Toutefois, rien n'empêche que les représentations soient aussi fournies dans des formats non-OGC, tels que l'IFC, STEP ou bien des grilles 3D.

## 8.2. Objets

### Zone d'étude

Au cours du projet, plusieurs zonages sont définis afin de permettre aux acteurs de définir des localisations plus précises ou des secteurs dans la zone de projet.

Deux types de localisations sont possibles :

Type de localisation	Description
Positionnement absolu	La zone est géoréférencée et connue en coordonnées absolues.
Référencement linéaire	Un secteur ou une zone peut alors être défini comme ce qui se trouve le long de l'alignement entre deux points kilométriques définis. Ce type de localisation est très couramment utilisé pour les ouvrages linéaires : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Routes.</li> <li>• Ponts.</li> <li>• Tunnels.</li> <li>• Voies ferrées.</li> </ul>

### Sondage (RECO)

Le concept de sondage est présent dans plusieurs standards, notamment :

- OGC:GeoSciML.
- INSPIRE Geology.
- BoreholeML.

#### Borehole...

Le terme le plus communément employé pour désigner la notion de sondage est « Borehole ». Il est utilisé de manière indifférenciée pour les sondages et les forages.

Le Borehole IE mené au sein de l'OGC a pour vocation d'harmoniser les multiples définitions du concept de « Borehole ». Il y est proposé de s'appuyer sur la définition donnée par **EPOS WP15**.

#### ... et concept de « Segment »

La principale originalité de cette définition par rapport aux autres est l'introduction du concept de « Segment », particulièrement adapté dans le cadre de forages commencé par un intervenant et continué par un autre.

#### Cas de la géotechnique

Dans le cas de la géotechnique, les sondages sont généralement :

- Peu profonds.
- Faits du début à la fin par un même sondeur.

Il n'y a donc qu'**un seul « Segment » par sondage**. Toutefois, dans le but d'assurer une cohérence avec le projet EPOS, il est proposé de reprendre le modèle proposé par le WP15. À ce sondage peuvent être associés :

- Des échantillons.
- Des observations et mesures.

### Échantillon (RECO)

#### Objet « Specimen »

L'objet « Specimen » apparaît dans OGC:GeoSciML comme définissant un échantillon physique, prélevé pour observation(s) et transporté ex-situ, parfois en laboratoire.

Une carotte de forage entre dans cette définition, aussi bien que des échantillons « ramassés » sur le terrain. Les attributs qu'il contient sont :

- Les conditions d'obtention (ex. : lieu, date méthode).
- Une description visuelle (ex. : taille, forme) accessible à un non spécialiste.

#### Association à un sondage et un niveau de sondage

Les échantillons peuvent être associés à un sondage et à un niveau du sondage. Ils font l'objet d'observations et mesures associées.

## 8.2 Objets

**Unité géologique/  
hydrogéologique/  
géotechnique  
(GEOL, HYDR, GTCH)**

Association  
à des « MappedFeature »

Concept d'aquifère

Concept de GeologicUnit  
de GeoSciML

Le concept d'unité géologique (GeologicUnit) inclue le fait que les critères d'homogénéités (propriétés géologiques, hydrogéologiques, géomécaniques, etc.) peuvent être divers. Ce concept est présent dans :

- OGC:GeoSciML.
- Le thème Géologie d'INSPIRE.

Dans les deux cas, les unités géologiques ne possèdent pas directement d'attributs géométrie, mais peuvent être associés à un ou plusieurs « MappedFeature », lesquels correspondent à des propositions de représentations de ces unités géo.

OGC:GroundWaterML2 introduit également le concept d'aquifère (HydrogeoUnit) qui vient spécialiser le concept d'Unité géologique.

Il n'y a pas spécifiquement de concept pour les unités géotechniques, mais le concept de GeologicUnit de GeoSciML peut être employé sur d'autres critères d'unicité que des propriétés géologiques.

**Structures  
géologiques (GEOL)**

Le concept de structure géologique (GeologicStructure) est également présent dans OGC:GeoSciML. La définition associée est « une inhomogénéité caractéristique ou fracture dans le sous-sol ».

GeoSciML propose plusieurs types de structures géologiques :

<b>Contact</b>	gsml:Contact
<b>Pli</b>	gsml:Fold
<b>Faïlle</b>	gsml:ShearDisplacementStructure
<b>Foliation</b>	gsml:Foliation

**Cavité (HYDR ou GEOL)**

Le concept de cavité (HydrogeoVoid) est présent dans OGC:GroundWaterML2. Ces mêmes cavités peuvent être remplies (partiellement ou complètement) par un fluide.

**Construction existante  
(AVOI, CALC, MECO)**

Utilisation du modèle  
des IFC pour décrire les  
constructions  
existantes...

... ou alors du format  
OGC:CityGML...

... ou du cadastre/  
de la BD TOPO de l'IGN

Qu'il s'agisse de bâtiments, de réseaux ou d'infrastructures, plusieurs modèles de données s'intéressent à ces éléments.

Les IFC proposent un modèle complet pour décrire ce genre d'objets. Il s'agit toutefois d'un modèle à très forte granularité, qui ne peut exister que s'il a été élaboré lors de la phase de conception du projet et mis à jour depuis. En d'autres termes, ce modèle est **uniquement utilisé pour des constructions récentes**.

Dans le cas de modèles obtenus post-construction, c'est-à-dire des modèles de l'existant, le format OGC:CityGML peut-être disponible **si une campagne de modélisation de la ville a été entreprise**. C'est notamment le cas de :

- Lyon.
- Rennes.
- Toulouse.

Malheureusement, **dans la plupart des cas**, les géotechniciens sont limités à l'utilisation du cadastre ou de la BD TOPO de l'IGN pour identifier les bâtiments. Des attributs, propriétés ou observations sont alors associés à ces mêmes objets.

## 8.2 Objets | Construction existante (AVOI, CALC, MECO)

**Identification  
des réseaux**

L'identification des réseaux dépend également de la disponibilité des données. Ces **données sont détenues par les gestionnaires de réseaux**. Dans la plupart des cas, elles se résument à des données en plan (2D), mais sont peu précises sur la profondeur à laquelle se trouve le réseau.

À titre informatif, le site « Construire sans détruire » est opéré par l'INERIS. Il vise à offrir une plateforme de déclaration des intentions de travaux dans une zone donnée pour être mise en contact des opérateurs des réseaux et canalisations présentes.

**Lien du site**

<https://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/gu-presentacion/construire-sans-de-truire/teleservice-reseaux-et-canalisation.html>

**Milieus de transferts  
(TESP)**

Les polluants peuvent se diffuser par différents canaux : terre, eau et air. Ces canaux constituent ainsi les milieux de transfert.

Ces trois éléments étant fréquemment qualifiés et décrits pour les préoccupations environnementales. On retrouve ainsi divers concepts réutilisables dans les modèles OGC et de la Directive INSPIRE.

**Transferts terrestres**

Concernant les milieux de transferts terrestres, une proposition est d'utiliser les concepts d'unités géologiques, hydrogéologiques et géotechniques identifiées par OGC:GeoSciML et OGC:GroundWaterML2. Ces concepts peuvent être utilisés à condition que la granulométrie de ces unités soit appropriée.

Autrement, l'utilisation d'une grille (autrement appelée coverage) pour « découper » le sous-sol pourrait être proposée.

**Transferts aquatiques**

Concernant les milieux de transferts aquatiques, il peut s'agir :

- Soit des eaux de surface. Elles sont décrites dans le modèle OGC:WaterML2 : Part 3 - HY\_Features.
- Soit des eaux souterraines. Elles sont décrites dans OGC:WaterML2 : Part 4 – GroundWaterML2.

**Transferts dans l'air**

Concernant l'air, il n'y a pas pour ainsi dire de concept de « masse d'air » introduit par les travaux joints de l'OGC ou de l'Organisation mondiale de la météorologie (WMO). La bonne pratique est d'utiliser des grilles pour localiser les lieux où la pollution est constatée et éventuellement suivre sa propagation. Ce sont alors les cellules qui seront ponctuellement porteuses d'informations sur la pollution constatée.

**Volume de terre excavée  
ou à excaver (TESP)**

Le volume de terre excavée ou à excaver est une information qualitative et quantitative rattachée à une zone d'étude.

La proposition est de considérer ce volume comme une propriété estimée ayant une zone d'intérêt. En d'autres termes, il s'agit de **s'appuyer sur le standard ISO 19156** décrit ci-après.

### 8.3. Observations et mesures

#### ISO 19156 : la référence internationale

Un standard qui définit un schéma conceptuel...

... et une série commune de types d'entités d'échantillonnage...

... et qui ne concerne que les interfaces visibles de l'extérieur

Classes ISO 19156

Le standard ISO 19156:2011 correspond au standard OGC Observations & Measurements v2.0. Il définit un schéma conceptuel **pour l'observation et les activités relatives à l'échantillonnage des données concernant les observations.**

Ces schémas fournissent des modèles destinés à l'échange d'information décrivant les faits observés et leurs résultats, aussi bien entre les différentes communautés scientifiques et techniques qu'en leur sein.

En général, les observations impliquent l'échantillonnage par une entité concernée finale. L'ISO 19156:2011 définit une série commune de types d'entités d'échantillonnage classées principalement par dimension topologique, ainsi que des échantillons pour les observations ex-situ. Ce schéma comprend les relations entre les entités d'échantillonnage (sous-échantillonnage, échantillons dérivés).

L'ISO 19156:2011 ne concerne que les interfaces visibles de l'extérieur. Il ne place aucune restriction quant aux implémentations sous-jacentes, autres que celles nécessaires pour satisfaire aux spécifications relatives aux interfaces dans le contexte actuel.

Le schéma ci-après indique les classes d'ISO 19156.

La notion d'observation constitue une déclaration d'un constat : observation ou mesure faite à un instant et un lieu donné. Des informations supplémentaires telles que le phénomène observé (Observed\_Property), l'objet d'intérêt (FeatureOfInterest) et la méthode d'observation (Procedure). À cette action d'observation peuvent être associés un ou plusieurs résultats. De même, les observations peuvent être liées entre elles (relatedObservation).

class Figure 2: Observation Core

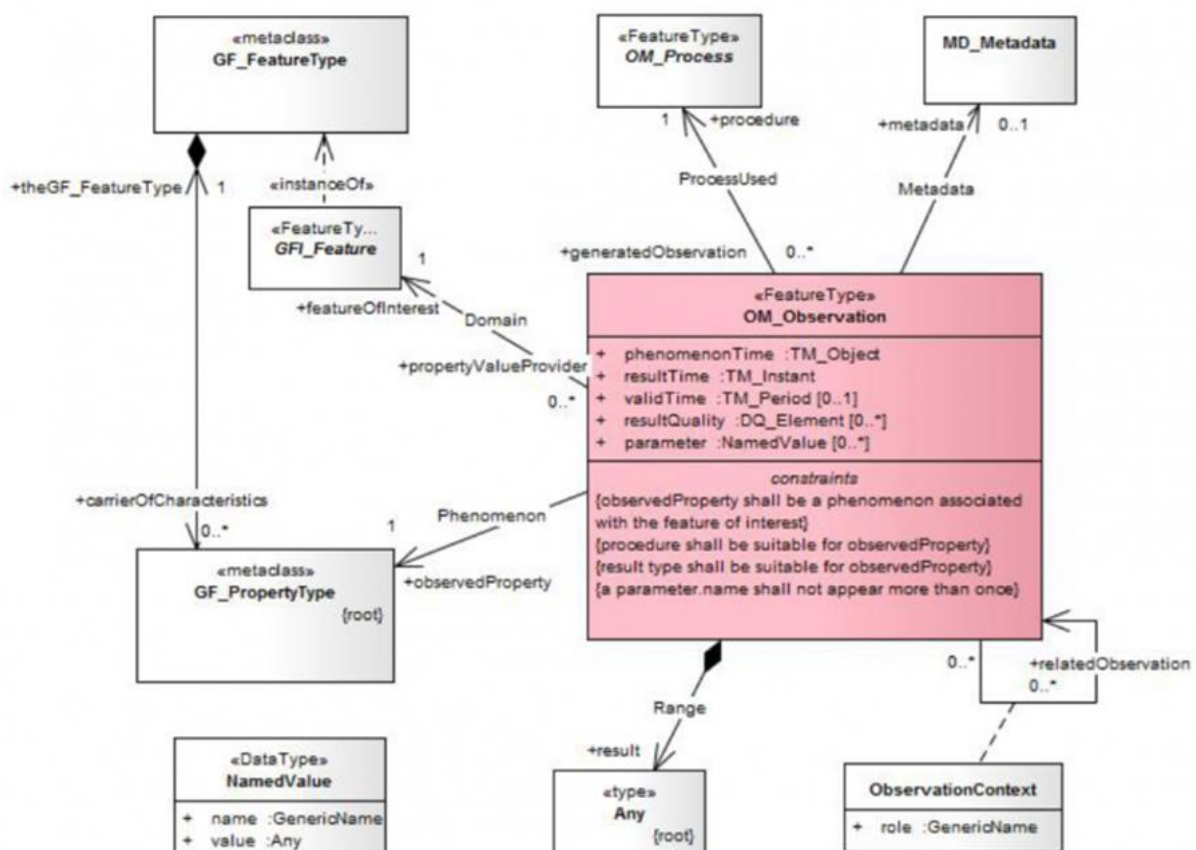


Figure 5 : extrait du modèle logique du standard ISO 19156 : Observations & Measurements

## 8.3 Observations et mesures

**Typologie  
des observations**

Nous vous présentons dans le tableau ci-dessous la typologie des observations.

<b>Observation ponctuelle</b>	Il s'agit d'une observation réalisée à un temps et à un lieu précis. Le lieu peut être un point ou une zone. De même, le moment peut être un instant ou une période.
<b>Observation à différents instants</b>	Il s'agit d'une observation réalisée à un endroit unique, mais à différents instants. Elle est généralement réalisée par un appareil de mesure, automatisé ou non. Les cas d'usage incluent le suivi de niveau piézométrique, de température, etc.
<b>Observation le long d'une trajectoire</b>	Il s'agit d'une observation en continu faite le long d'un objet, ou suivant une trajectoire particulière. C'est notamment le cas des diagraphies qui constituent des mesures en continu le long d'un forage.

**Le format AGS**
**Sujet RECO**

Plébiscité au Royaume-Uni et par extension dans les pays du Commonwealth, le format AGS est très **utilisé pour décrire les tests, analyses et essais géotechniques**.

Le sujet RECO a permis de construire une liste des tests et essais géotechniques les plus courants. Il a été constaté :

- Que ces derniers étaient pour la plupart décrits.
- Que les données géophysiques n'étaient à ce jour pas couvertes par AGS.

**Articulation autour  
de plusieurs tables**

Le fonctionnement d'AGS s'articule autour de plusieurs tables reliées entre elles par le biais d'identifiants.

**Correspondances avec  
le standard ISO 19156**

Le tableau ci-dessous montre les correspondances entre ISO 19156 et AGS pour un test triaxial.

ISO 19156 concept	Information container in AGS
Observation : declaration of the observation/test/analysis (What? When? Where?)	LOCA (location associated to the test) TREG (information about the test)
FeatureOfInterest : analysed object	SAMP (information on samples)
Result: data obtained from the observation/test/analysis	TRET (raw data)
Procedure: Method used to get the results	TREG (information about the test)

**Pertinence et limites de  
la version 4 et des  
précédentes**

Le format AGS (version 4 et précédentes) à proprement parler s'appuie sur du CSV et est de ce fait inadapté à une gestion durable des données.

En revanche la sémantique introduite et notamment l'inventaire des essais et tests propres à la géotechnique et la façon d'en décrire les résultats est quant à elle toujours d'actualité. Il est ainsi proposé de s'appuyer dessus et de la compléter pour les quelques essais et tests absents.

**Pistes d'évolution  
avec la version 5**

La version 5 d'AGS vise à faire évoluer le modèle en dissociant la partie sémantique et conceptuelle des schémas d'implémentation, lesquels pourraient être en CSV, XML ou JSON.



## 8.4. Modèles et interprétations

### Approche générale

#### Objectifs

Importance de prendre en compte la nature du destinataire...

... et de distinguer le modèle conceptuel et les représentations

Le modèle conceptuel vise à décrire de manière simplifiée un phénomène. Il a comme objectifs principaux de :

- Pouvoir communiquer à un tiers une compréhension.
- Servir de postulat, donnée intermédiaire afin de pouvoir construire de nouvelles informations.

Dans le premier cas, l'information est à transmettre à un humain tandis que dans le second, il s'agit d'une interaction vers une machine. La prise en compte de la nature du destinataire a son importance, **car elle ajoute des contraintes sur les formats acceptables.**

Selon cette même logique, il est important de distinguer deux notions :

- Le modèle conceptuel qui va par exemple chercher à lister les entités présentes et indiquer éventuellement les relations entre elles. Ce type de modèle peut alors prendre différentes formes, notamment une forme textuelle où l'expert va décrire le phénomène dans un rapport.
- Les représentations qui correspondent à l'assemblage des objets décrits dans le modèle conceptuel. Ces représentations sont exposées dans un format unique. Cela permet d'associer chaque « pixel » de la zone à une couche particulière.

Les représentations sont plus proches d'un résultat final prêt à l'emploi, que ce soit pour la communication ou l'insertion dans un logiciel. Toutefois, il est à remarquer que pour être construites ces représentations s'appuient sur des hypothèses d'interpolation/extrapolation, et donc des sources d'incertitudes supplémentaires.

A contrario, avec les modèles conceptuels cette dernière notion est absente. Toutefois la transmission des informations est plus complexe.



## 8.4 Modèles et interprétations

## Modèles cartographiques

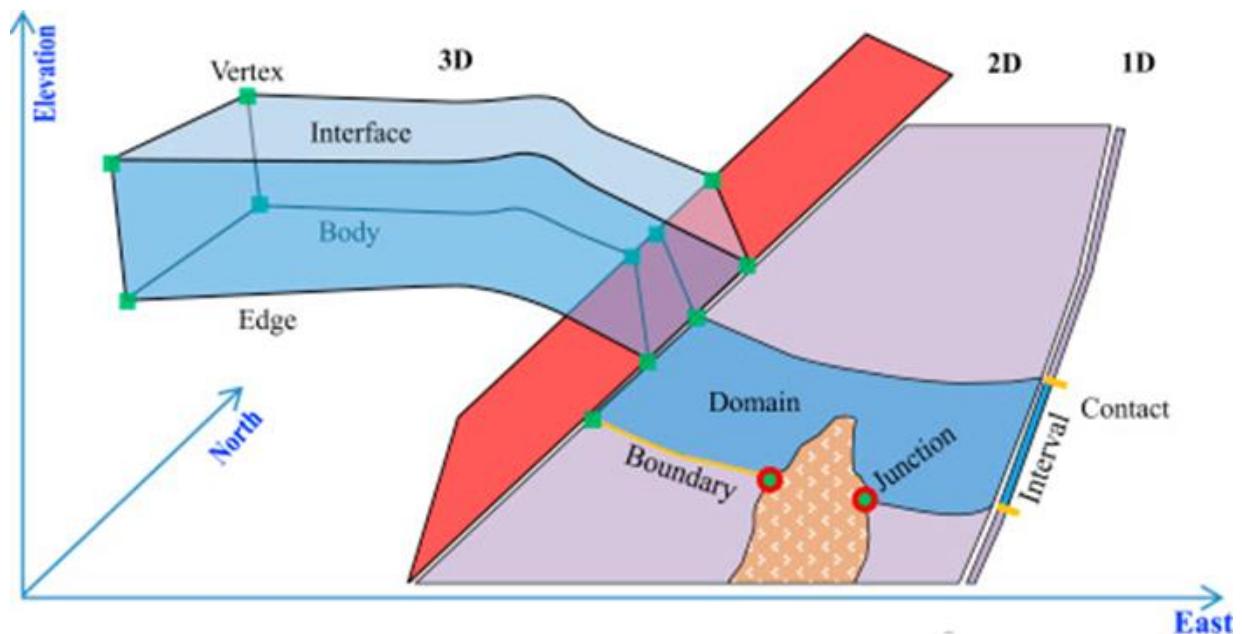
## Objectif

## Représentation en plusieurs dimensions

Les modèles cartographiques visent à **proposer une cartographie simplifiée de l'espace** (en surface ou en souterrain). Il s'agit alors d'un assemblage de représentations d'objets du chapitre 0.

Tout comme les objets qui le composent, les modèles peuvent être représentés en plusieurs dimensions :

En 1D, le long d'un axe (Intersection d'un modèle 3D avec une ligne)	On parle alors de log.
En 2D vue de dessus	On parle alors de carte (intersection d'un modèle 3D ou projection avec un plan horizontal).
En 2D vue de côté	On parle alors de coupe ou section (intersection d'un modèle 3D ou projection avec une surface ou un plan vertical).
En 3D	On parle alors de maquette.



Dimension of GeoModel	Dimension of Geometric elements			
	3	2	1	0
3 (3D model)	Body	Interface	Edge	Vertex
2 (map, section)		Domain	Boundary	Junction
1 (drill, traverse)			Interval	Contact

The '→' arrow means the 'equivalent' representation of elements

Figure 6 : représentations des objets géologiques en 1D, 2D et 3D [Z.Wang, 2019]

## Avantage

La valeur de ces modèles réside dans leur **capacité à positionner les bons éléments aux bons endroits**.

## Production des modèles 2D et 3D

Les modèles 2D et 3D sont produits par assemblage de logs et interprétation de ce qu'il y a aux lieux n'ayant pas fait l'objet de mesures et d'observations géoscientifiques.

## 8.4 Modèles et interprétations

**Modèles  
comportementaux****Objectif**

Il s'agit de modèles pour lequel l'objectif visé n'est pas de proposer une représentation graphique précise du système, mais d'en **décrire le fonctionnement**.

**Exemples**

Écoulement des eaux d'un bassin versant
---

Interaction sol-structure
---------------------------

**Importance  
de l'échelle spatiale  
du modèle**

L'échelle spatiale du modèle est alors prépondérante puisque le modèle comportemental vise à fournir une information fiable à cette échelle en globalisant ou résumant les actions internes.

Le modèle est alors assimilable à un programme ou un algorithme apte à être exécuté pour des besoins de simulation. Les résultats obtenus sont assimilables à des mesures classiques, à la différence :

- Que la procédure suivie pour leur obtention est l'utilisation d'un algorithme d'une simulation.
- Qu'elles ne sont donc qu'une représentation vraisemblable de la réalité avec un niveau de confiance relatif.

**Formats des données  
acceptés en entrée**

Pour ces modèles comportementaux, les formats de données acceptés en entrée sont souvent limités (peu de formats et des formats simples « allégés »).

Ne conserver les données que dans ces formats constituerait une perte d'information. Une solution pour répondre au besoin d'obtention de ces formats serait de proposer des fonctionnalités de conversion à la demande.

**Exemple**

Pour un bâtiment, passer d'un objet en IFC à un objet en CityGML LOD1.
--

**Méta description  
de modèles**

Au-delà du résultat même de ces modèles, on peut retenir des points communs à l'ensemble des modèles, à savoir le fait qu'ils :

- Ont été produits :
  - Selon un but identifiable.
  - En suivant une méthode.
- Portent sur des propriétés observées.
- Ont été construits à partir de différentes données/hypothèses.
- Ont menés à la production de résultats, dans un ou plusieurs formats.

On retrouve alors les propriétés données aux observations et mesures décrites par le standard ISO 19159. La proposition est donc de s'appuyer sur ce standard pour décrire les modèles.

## 9. DÉFINITION DES MÉTHODES D'ACCÈS AUX DONNÉES ET INFORMATIONS

### Introduction

Le concept de Model View Definition (MVD), tel que défini par BSI, s'apparente à des **filtres**, qui une fois appliqués aux IFC, permettent de construire les échanges de données nécessaires.

Pour accéder aux données, **l'OGC a défini des protocoles d'échanges standards** qui formalisent la syntaxe des requêtes pouvant être passées à des serveurs de données pour obtenir l'information souhaitée. Toutes les données décrites par les modèles cités précédemment peuvent être exposées par le biais de tels protocoles : Web feature service (WFS), sensor observation service (SOS) ou sensor things API.

### 9.1. Architecture orientée service

#### Exposition des données via des services Web et BIM Level 3

Un changement de modalité d'accès aux données géographiques, au niveau le plus fin

Architecture sous-jacente « 3 tiers »

Les services Web de téléchargement tels que les WFS et SOS de l'OGC représentent un changement vis-à-vis de la manière dont les informations géographiques sont créées, modifiées et échangées sur Internet. **Plutôt que de partager des informations géographiques** au niveau du fichier en utilisant le protocole FTP, par exemple, **les services WFS offrent un accès direct, « fin », aux données géographiques** au niveau de l'entité et au niveau des propriétés de l'entité.

Les services d'accès aux entités géographiques par le Web permettent donc aux clients de récupérer ou modifier uniquement les données qu'ils cherchent, plutôt que de récupérer un fichier qui contient les données qu'ils cherchent et éventuellement beaucoup plus. Ces données peuvent alors être utilisées pour des buts très divers, y compris des buts autres que ceux prévus par leurs producteurs.

D'un point de vue d'architecture, la mise en œuvre des services Web viennent rajouter un élément entre les données et les outils permettant de les consulter. Cet élément supplémentaire est un serveur capable d'aller chercher les données là où elles se trouvent, dans leur format, et de mettre à disposition tout ou partie de ces données.

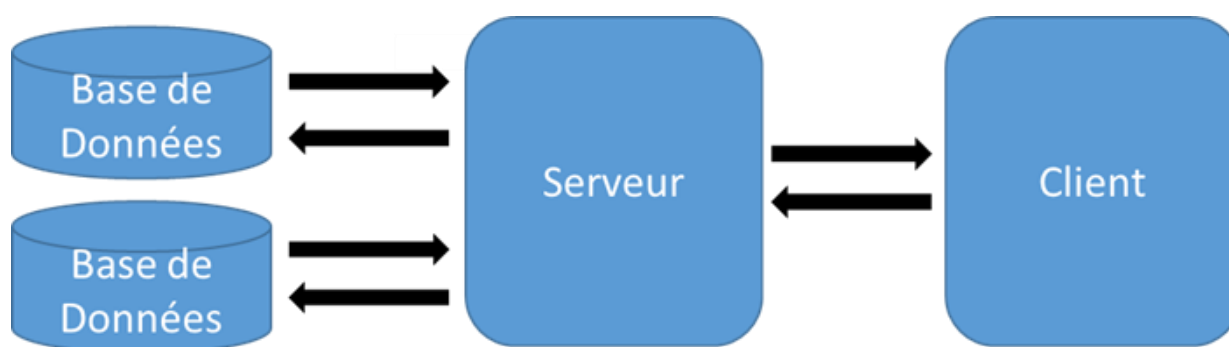


Figure 7 : représentation schématique d'une architecture trois tiers

Un tel montage est appelé une architecture trois-tiers. Elle a notamment pour but de gérer les accès concurrents, c'est-à-dire l'accès à une même ressource par plusieurs personnes en même temps. Cela facilite le travail collaboratif, tel que dépeint par le BIM Level 3.

Le fait de disposer de plusieurs composants aux fonctionnalités bien spécifiques et utilisant des interfaces/protocoles d'échanges standards facilite par ailleurs la maintenance et l'évolution des composants.

9.1 Architecture orientée service

**Granularité des données et Linked Data**

Beaucoup d'informations peuvent être acquises ou constituées au cours des projets et il faut pouvoir conserver cette richesse. Cela ne veut pas dire, toutefois, que toutes les données doivent être transmises tout le temps. Il est juste important de pouvoir accéder facilement à ces informations en cas de besoin.

**Preview**

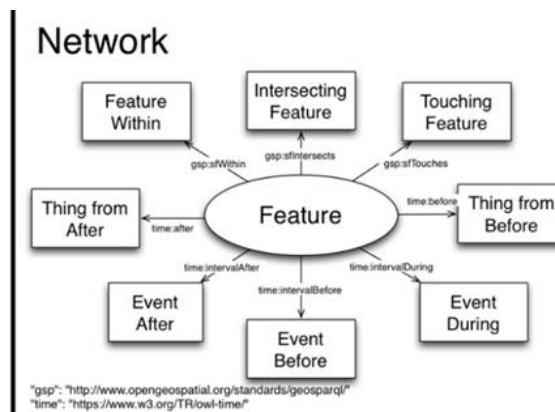
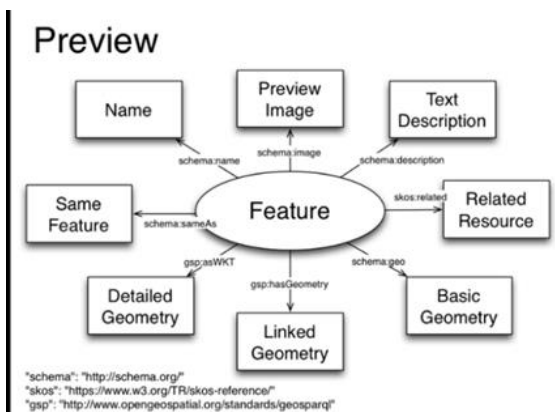
Le cas aperçu ou Preview s'appuie sur une logique d'index où :

- une description minimale de l'objet est fournie
- des liens vers des propriétés (souvent plus complexes) sont proposés.

Ce principe pourrait être appliqué, par exemple, aux données de sondages. Une description minimale de cet objet pourrait être proposée avec en plus la possibilité d'aller chercher des informations relatives à sa construction, sa géométrie, les observations et tests qui lui sont associés.

**Network**

Le cas réseau ou Network permet d'indiquer l'existence de relations entre des objets ou des observations. Ces relations peuvent par exemple être fondées sur des critères de proximité géographique, de proximité temporelle, voire d'inclusion ou d'héritage. Ce principe pourrait par exemple être appliqué pour l'expression des relations entre données brutes et données interprétées.



**Utilisation d'URI pour le nommage unique des entités**

Les identifiants permettent de désigner des objets de manière non équivoque. Toutefois bien souvent les identifiants sont uniques dans un contexte défini et des confusions sont possibles. Exemple : dans un projet, un seul forage avec l'identifiant 1, mais en combinant les données de plusieurs projets, on obtient plusieurs forages ayant le même identifiant.

L'utilisation d'URI vise à résoudre ce problème en **garantissant l'unicité des identifiants tous contextes confondus**.

À cela s'ajoute la possibilité de faire en sorte que ces URI, une fois insérées dans un navigateur Web, « résolvent » ou aboutissent à une **autodescription**. Cette autodescription peut être obtenue par appel de services Web dédiés. La solution consiste alors à :

- Organiser le nommage des entités que l'on souhaite exposer en leur attribuant des URI.
- Mettre en place des systèmes de transformation de ces URI en requêtes d'interrogation de serveurs de données.

## 9.2. Détail des services Web et outils conseillés

### Préambule : intérêt d'exploiter les standards OGC

Des solutions pour exploiter les standards OGC, issues du Rex consortium

En plus de définir des standards thématiques, l'OGC est également reconnu pour ses standards techniques et plus particulièrement ses services Web de diffusion d'information géographique. Le plus connu est certainement le **Web Map Service (WMS)** qui est aujourd'hui utilisé largement pour l'exposition de cartes.

**Le fait de s'appuyer sur des modèles de données OGC facilite leur exposition via des protocoles du même consortium**, même si les services Web de l'OGC peuvent aussi s'appuyer sur d'autres formats.

Plusieurs solutions propriétaires ou openSource existent pour exploiter ces standards et ainsi faciliter leur usage. Pour chacun des services Web ou API identifiés comme pertinents pour le projet, des solutions openSource sont proposées. Ces choix ne s'appuient pas sur un benchmark, mais sur des retours d'expérience d'implémentations, notamment au BRGM et dans d'autres services géologiques. Nous les abordons ci-après.

### Web Feature Service (WFS)

Le Web Feature Service, ou WFS, est un protocole décrit dans des spécifications maintenues par l'Open Geospatial Consortium. Il est aussi **reconnu comme norme ISO depuis 2010** : ISO19142:2010 pour sa version 2.0.

Dans la taxinomie des services définie dans l'ISO 19119, le WFS est principalement un service d'accès aux entités géographiques. Cela dit, il a aussi certaines caractéristiques d'un service :

- de type d'entités géographiques,
- de conversion/transformation de coordonnées
- de conversion de format géographique.

#### Utilisation conseillée

identification d'objets géographiques répondant à des critères précis (attributs, localisation, géométrie), récupération d'informations sur un objet identifié

#### Utilisation déconseillée

téléchargement de l'ensemble des données disponibles



Outil conseillé : solution OpenSource GeoServer (<http://geoserver.org/>), principalement développée par GeoSolutions.

### Sensor Observation Service (SOS)

Le service d'observation des capteurs (Sensors Observation Service - SOS) est un service Web pour interroger les données instantanées et temporelles des capteurs et fait partie du projet Sensor Web. Les données du capteur proposées comprennent les descriptions des capteurs eux-mêmes, codées au format SensorML et les valeurs mesurées dans le format O&M (Observations et Mesures). Le service Web ainsi que les deux formats de fichiers sont des standards ouverts et des spécifications du même nom défini par l'Open Geospatial Consortium (OGC).

#### Utilisation conseillée

identification des observations et mesures répondant à des critères particuliers, accès individuel aux résultats de ces O&M.

#### Utilisation déconseillée

récupération de toutes les O&M disponibles en un coup.



Outil conseillé : solution OpenSource 52° North SOS (<https://52north.org/software/software-projects/sos/>), principalement développée par la société allemande 52° North.

9.2 Détail des services Web et outils conseillés

**Sensor Things API (STA)**

L'API SensorThings est une **norme** de l'Open Geospatial Consortium.

Elle fournit un cadre ouvert et unifié pour interconnecter des dispositifs de détection, des données et des applications IoT sur le Web. Elle propose un modèle de données très proche d'ISO 19156. Le tableau ci-dessous montre de manière simplifiée la correspondance entre les deux :

SensorThings API Entities	O&M 2.0 Concepts
Thing (and Locations, HistoricalLocations)	-
Datastream	-
Sensor	Procedure
Observation	Observation
ObservedProperty	Observed Property
FeatureOfInterest	Feature-Of-Interest

**Comparaison avec le service SOS**

D'un point de vue opérationnel, une API SensorThings répond à des demandes très proches d'un serveur SOS. Elle est ainsi conçue pour mettre à dispositions des résultats d'observations et mesures contextualisées.

La principale différence est que SensorThings API a été pensé comme application orientée REST livrant nativement des données en format GeoJSON, un format moins verbeux que XML/GML.

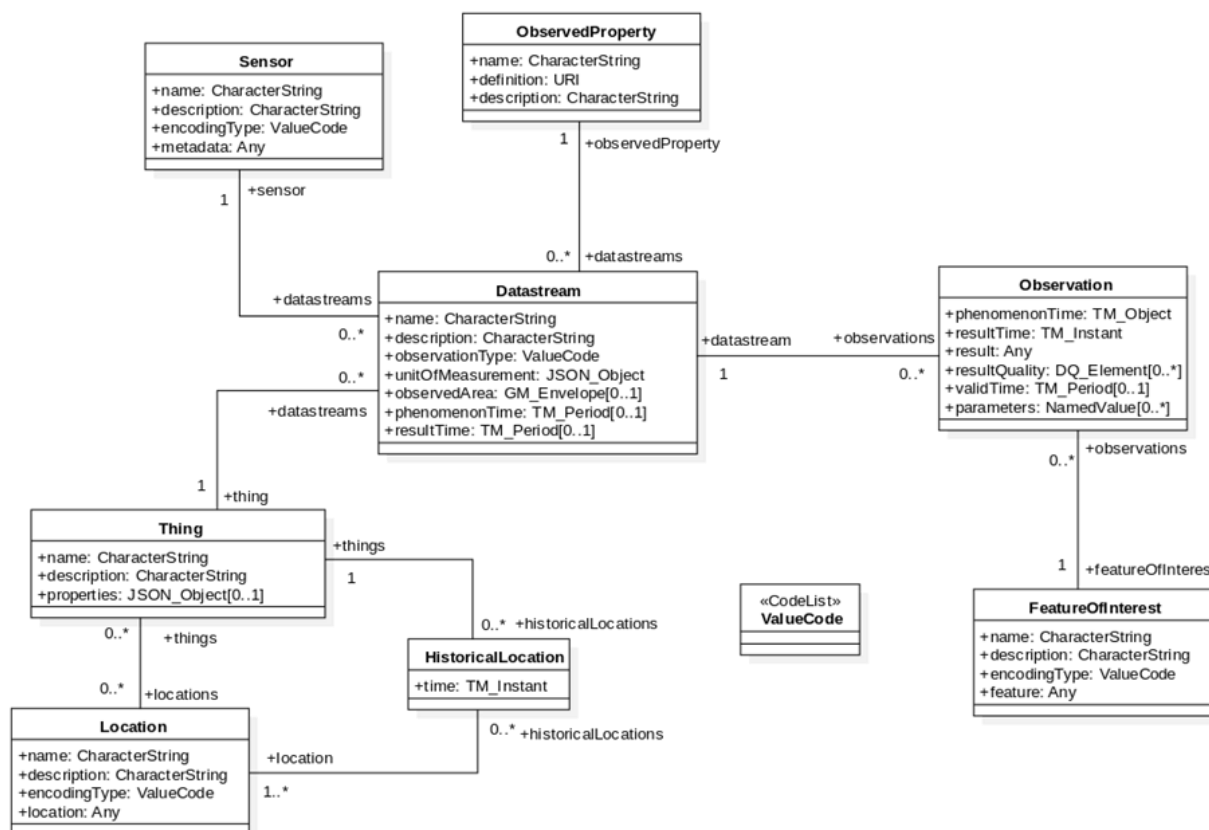


Figure 8 : modèle conceptuel du standard OGC : Sensor Things API



Outil conseillé : La solution Open Source FROST Server principalement développée et maintenue par l'Institut Fraunhofer.

(<https://www.iosb.fraunhofer.de/servlet/is/82077/>).

## 9.2 Détail des services Web et outils conseillés

### API SCUDDD

Développée au BRGM, l'API SCUDDD a pour vocation de fournir à un utilisateur des **capacités de consultation et d'interrogation de modèles 3D**.

La philosophie est la suivante :

- Les modèles sont stockés dans leur format natif, c'est-à-dire le format de base du logiciel qui a permis de le construire.
- L'API implémente des fonctions clés du logiciel qui a permis de les créer qui ont pour but de déterminer pour un point donné s'il se trouve dans une unité ou structure géologique/géotechnique.
- L'appel répété et organisé de ces fonctions de base permet de construire à la volée des représentations de :
  - Logs (ligne verticale).
  - Coupes transversales (plan vertical).
  - Coupes horizontales (plan horizontal).
  - Grille 3D.

À la date de l'écriture de ce rapport, l'API SCUDDD a été implémenté pour les deux outils de modélisation du BRGM : GDM et 3D Geomodeller. Les grilles 3D ASCII sont aussi acceptées en entrée. D'autres formats sont envisagés, notamment GoCAD, leapFrog.

<b>Utilisation conseillée</b>	construction de représentations spécifiques : un log, une section, etc.
<b>Utilisation déconseillée</b>	téléchargement d'un modèle 3D complet



## 10. STANDARDISATION À L'INTERNATIONAL ET SUITES DU PROJET

### Introduction : contributions des travaux MINnD aux activités de l'OGC

Les travaux de MINnD UC8-GT ont servi d'entrants et cas d'usages pour certaines activités de standardisation des données des géosciences menées à l'OGC, en particulier l'activité d'harmonisation de la description des données de forages : *Borehole Interoperability Experiment*.

Les travaux de MINnD UC8-GT ont par ailleurs fait l'objet de plusieurs présentations à l'OGC.

### Geotechnical Data Standardization Workshop et IDBE Geotech (JAN-19)

Suite aux travaux de MINnD et du projet d'IFC Géotechnique, un événement autour du sujet de la standardisation des données géotechniques a été organisé à Paris du 22 au 24 janvier 2019.



### Participants

Le workshop a vu la présence d'environ 60 personnes de différents pays concernés par la pratique de la géotechnique et/ou la gestion de bases de données du sous-sol

### Objectifs

Le workshop a cherché à offrir à la communauté géotechnique internationale une visibilité sur les travaux en cours en matière de standardisation de leurs données. Il a également pour but d'aligner les initiatives existantes



**Geotechnical Data Standardization Workshop et IDBE Geotech (JAN-19)****Résultat significatif :  
décision d'union  
OGC-BSI**

L'un des résultats les plus significatifs du workshop a été la décision de l'OGC et de BSI de s'unir pour **traiter ensemble la question de la standardisation des données géotechniques**.

Cette décision s'est matérialisée par la **création formelle du groupe IDBE Geotech**, lequel s'appuie sur le groupe IDBE (pour Integrated Digital Built Environment) existant. Concrètement, les travaux de l'IDBE Geotech portent sur :

- la définition de vocabulaires métiers, de modèles conceptuels neutres
- l'expérimentation de solutions techniques, de préférence libres et OpenSource, pour exposer ces données interopérables.

Site officiel du groupe : <https://github.com/opengeospatial/IDBE-Geotech>

**MINnD « saison 2 »**

Les activités de standardisation des données géotechniques vont continuer dans le cadre de MINnD « saison 2 ».

Le GT 1.5 – Géotechnique de MINnD Saison 2 est l'héritier du groupe MINnD UC8-GT de la « saison 1 ». Il correspond au chapitre français des activités de l'IDBE Geotech. Il vise à recueillir les besoins français et expérimenter des solutions adaptées à ces besoins en amont de leur soumission au groupe international.

## 1.1. COMMUNICATIONS ASSOCIÉES AU PROJET

### Recensement

Le tableau ci-dessous dresse la liste des principales communications associées au projet.

Date & lieu	Événement	Publication
<b>Papiers dans des congrès internationaux accompagnés de présentations devant un public international</b>		
MAY 3-9, 2019, Naples, Italy	WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC 2019)	Beaufils, S. Grellet, B. Le Hello, J. Lorentz, M. Beaudouin, J. Castro Moreno. <i>Geotechnical data standardization and management to support BIM for underground infrastructure and tunnels</i> . Tunnels and Underground Cities. Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art. 10 pages.
SEP 29- OCT 2, 2019, Guimarães, Portugal.	3 <sup>rd</sup> International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (ICITG 2019)	Beaufils, S. Grellet, B. Le Hello, J. Lorentz, M. Beaudouin, J. Castro Moreno. <i>Proposition of sustainable and long-term geotechnical data management to support Building Information Modelling</i> . 12 pages.
<b>Papiers dans des congrès internationaux accompagnés d'un poster devant un public international</b>		
MAY 3-9, 2019, Naples, Italy	WTC 2019 ITA-AITES World Tunnel Congress (WTC 2019)	F. Robert, A. Rallu, C. Dumoulin, N. Delrieu, M. Rives, M. Beaufils. <i>Building information management for tunneling</i> . Tunnels and Underground Cities. Engineering and Innovation Meet Archaeology, Architecture and Art. 10 pages.
<b>Communications devant un public international</b>		
Orléans, FEV-18	3D European Geomodelling Community meeting	
Orléans, MAR-18	TC OGC	
Stuttgart , SEP-18	TC OGC	
Paris, JAN-19	Geotechnical Data Standardization Workshop	
Berne, MAY-19	3D European Geomodelling Community meeting	
<b>Communications devant un public français</b>		
Lyon, JUN-18	Journée technique AFTES	
Paris, SEP-18	Mardis de l'AFTES	
Paris, DEC-18	BIM days	
Paris, FEB-19	AFTES GT45	
Paris, APR-19	BIM World 2019	
Marseille, JUN-19	SOLSCOPE 2019	

## 12. BIBLIOGRAPHIE

- AFTES, 1994. *GT7R4F1 : Choix des paramètres et essais géotechniques utiles aux projets.*
- AFTES, 2012. *GT32R2F1 : Caractérisation des incertitudes et des risques géologiques – hydrogéologiques – géotechniques.*
- AFTES, 2013. *GT4R3F&A : Nomenclature simplifiée tunneliers.*
- AFTES, 2015. *GT43R1F1 : Guide application norme NF P 94500 missions ingénierie géotechnique.*
- AFTES, 2017. *GT32R3F1 : Risques techniques en vue consultation entreprises.*
- AFTES, 2007. *GT35R1F1 : La gestion et la valorisation des matériaux d'excavation.*
- An, Y. 2017 - *Geological Data Extension for Subway Tunnel BIM models using a Linked Data Approach - Master Thesis.* Eindhoven Technical University. March 2017
- Beaufils, M., Le Hello, B., Lorentz, J., Castro-Moreno, J., Grellet, S., 2019. *Geotechnical data standardization and management to support BIM for Underground Infrastructures and Tunnels.* In: *World Tunnel Congress 2019.* Napoli, 3-9 May 2019.
- BNTRA, 2014 - *Liste des normes françaises du domaine géotechnique - Version du 31 mars 2014.* Bureau de Normalisation des Transports, des Routes et de leurs Aménagements.
- Bourgeois, E., Burlon, S., Cuir, F., 2018. « *Modélisation numérique des ouvrages géotechniques* ». Éditions T.I. [Paris, France], 10 July 2018., c258.
- Brandl, H., 2011. *Importance of geotechnics in today's and future civil engineering - Public image, risks and responsibilities and future aspects of civil/geotechnical engineering.* *Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek.* 10.13167/2011.3.3.
- Braeckel, A. & al. 2013 - *OGC® Publish/Subscribe Interface Standard 1.0 – Core - Open Geospatial Consortium Standard 13-131r1, v1.0, 112p.*
- China Railway BIM Alliance. 2015 - *CRBIM 1002-2015: Railway BIM Data Standard (Version 1.0) - China, December 29, 2015.*
- Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. 2011 - *BIM handbook: a guide to building information modelling for owners, managers, designers, engineers, and contractors - Wiley.*
- EN 1997-1:2004 – *Eurocode 7: Geotechnical design - Part 1: General rules.*
- INSPIRE, 2013a. *D2.8.II.4 INSPIRE data specification on geology. Technical guidelines, D2.8.II.4\_v3.0.* [http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_DataSpecification\\_GE\\_v3.0.pdf](http://inspire.jrc.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_GE_v3.0.pdf). Accessed 8 March 2018
- INSPIRE, 2013b. *D2.8.III.11 INSPIRE data specification area management/restriction/regulation zones and reporting units, D2.8.III.11\_v3.0.* [http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data\\_Specifications/INSPIRE\\_DataSpecification\\_AM\\_v3.0rc2.pdf](http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_AM_v3.0rc2.pdf). Accessed 7 March 2018
- ISO, 2011. *Observations and measurements: XML implementation v2.0.* *Open Geospatial Consortium Standards 10-025r, 77 pp*
- NF P 94 500 - *Geotechnical engineering missions - Classification and specifications.*
- OGC Geoscience Markup Language 4.1 (GeoSciML). OGC 16-008. *GeoSciML Modelling Team.* Wayland, MA, USA, *Open Geospatial Consortium Inc.*
- OGC WaterML 2: Part 4 – *GroundWaterML 2 (GWML2).* OGC 16-032r1. *Boyan Brodaric.* Wayland, MA, USA, *Open Geospatial Consortium Inc.* Wayland, MA, USA, *Open Geospatial Consortium Inc.*
- OGC SensorThings API. OGC 15-078r6. *Open Geospatial Consortium.* Steve Liang, Chih-Yuan Huang, Tania Khalafbeigi. Retrieved 2018-02-20.
- Schumann, G. & al., 2017 - *Future City Pilot 1 - Recommendations on Serving IFC via WFS -OGC Public Engineering Report.* 15p.
- Wang, Z., Qu, H., Wu, Z., Wang, X., 2018. *Geo3DML: A standard-based exchange format for 3D geological models,* *Computers & Geosciences, Volume 110, Pages 54-64, ISSN 0098-3004, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.09.008>.*

### 13. ANNEXE : LISTE NON EXHAUSTIVE D'INITIATIVES ASSOCIÉES À LA STANDARDISATION DES DONNÉES GÉOTECHNIQUES

Source MINnD UC8-GT.

Le tableau ci-dessous dresse une liste non exhaustive d'initiatives associées à la standardisation des données géotechniques. Il a été rédigé en anglais pour informer les initiateurs du sujet IFC Géotechnique de la nécessité de s'appuyer sur les initiatives en cours.

Scale	Group	Action
Global	 International Organization for Standardization	<p>Standard ISO 19156 Observations &amp; Measurements (formally OGC) standard offers a generic template to link observation processes, conditions and results.</p> <p>ISO TC182 formalise several standards for geotechnical tests and analysis.</p>
Global	 Making location count.	<p>The GeoScience Domain Working Group from OGC is fostering the geoscience communities and pushing harmonisation of geoscience data. GeoSciML and GroundWaterML2 are two standards that enable to describe the subsurface, respectively for geology and hydrogeology. In addition, OGC GeoScience DWG launched a Borehole Interoperability Experiment that aims at harmonising existing standards for borehole and associated data description.</p> <p>The Underground Infrastructure Pilot propose a Model for Underground Data Definition and Integration (MUDDI) that aims at describing the city subsurface including constructions, networks and environment.</p> <p><a href="http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/undergroundcds">http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/undergroundcds</a>  <a href="http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ugipilot">http://www.opengeospatial.org/projects/initiatives/ugipilot</a></p>
Global	 RESEARCH DATA ALLIANCE	<p>ESIP/RDA Earth, Space, and Environmental Sciences Interest Group aims to act as an 'umbrella' group trying to bring together parties from the big international research infrastructure such as EPOS or AUSCOPE.</p>
Commonwealth	  DATA INTERCHANGE FOR GEOTECHNICAL AND GEOENVIRONMENTAL SPECIALISTS	<p>AGS is a very used format for geotechnical tests and analysis description. It is particularly used in the UK/Commonwealth, yet not so much in France, for example.</p> <p>Project DIGGS was an attempt to propose AGS data in an XML-compliant format. It also introduced GML for geographical positioning and shape.</p> <p>Such effort could be resumed and extended by connecting AGS format to OGC standards, such as ISO Observations &amp; Measurements.</p>
EU	 INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in Europe	<p>The INSPIRE Directive introduce 34 <u>data models</u> in which public environmental data shall be encoded and provide in the EU. This encompasses geology (GE) with concepts such as boreholes, geologic units and structures and also hydrogeology.</p> <p>Considering that INSPIRE is mandatory, many geoscience data from the EU will be available according to those models.</p> <p>Those data are main sources of information for geotechnical modelling. INSPIRE Building and INSPIRE UtilityNetworks themes can also be useful.</p>

Scale	Group	Action
EU	 EUROPEAN PLATE OBSERVING SYSTEM	<p>EPOS, the European Plate Observing System Research Infrastructure, is a long-term plan to facilitate integrated use of data, data products, and facilities from distributed research infrastructure for solid Earth science in Europe.</p> <p>WP15 (Geology Information and Modelling Working Group) made an important push in enhancing borehole data discoverability. It proposes reuse and extension of extending OGC standards (e.g. GeoSciML).</p>
National (France)	 Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables	<p>In France, the MINnD UC8-GT working group focus on the description of infrastructure environment and relationship with the construction part.</p> <p>Geotechnics is here defined as a complex process including subsurface description, proposition of infrastructure sizing, construction methods associated to risk monitoring.</p>
National (Germany)	 Federal Waterways Engineering and Research Institute  Geotechnical Value Markup Language	<p>In Germany, the Federal Waterways Engineering and Research Institute launched a project for geotechnical data standardization.</p> <p>The data model has been designed from the ISO O&amp;M standard, with a particular intention to integrate geotechnical data described from ISO TC182 standards.</p> <p>Mutualisation of efforts between France and Germany are currently studied by both parties for geotechnical data description.</p>
National (Netherlands)		<p>BRO: the Dutch Key Register of the Subsurface: standardising public information on the subsurface and making it available to both government and public.</p> <p>Perimeter includes explorations, models, infrastructure and rights of use.</p> <p>Operated by TNO, the Dutch Geological Survey.  <a href="https://www.tno.nl/media/3064/010591_r71engelstalige-factsheet-dec-20112.pdf">https://www.tno.nl/media/3064/010591_r71engelstalige-factsheet-dec-20112.pdf</a></p>
National (France)	 Géosciences pour une Terre durable  RÉFÉRENTIEL GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE	<p>This is an ongoing project supported by the French Geological Survey (BRGM) for providing a harmonised description of the subsurface of France.</p> <p>Possibility of extension of the Base du Sous-Sol (National Subsurface Databank) from geology and hydrogeology data to geotechnical data is currently in discussion.</p> <p>In that context, compliance with standards for geology and hydrogeology (i.e. GeoSciML and GroundWaterML2) would be pushed in order to ensure data compatibility. BRGM is also concerned by INSPIRE and involved in EPOS.</p>