

Livrable

Expérimentation : Infrastructure et bruit

Auteurs/Organismes

Christophe Blanchet (Egis)
Charles-Edouard Tolmer (Egis)
Stéphane Pradon (Egis)
Emmanuel Devys (IGN)
Christophe Castaing (Egis)

Denis Le Roux (Setec)
Frédéric Jehan (Egis)
Mickaël Beaufile (BRGM)
Dimitri Sarafinof (IGN)

Expérimentations (Thème 3) Infrastructure et Environnement (UC6)

MINnD-TH03_UC06_06_Experimentation_infrastructure_bruit_02I_2019
Mars 2019

GLOSSAIRE

Abréviation	Définition
ADE	Application Domain Extension. C'est un schéma d'extension du modèle CityGML. Il permet d'ajouter des classes d'attributs qui sont rattachées à d'autres classes du modèle CityGML.
BIM Use	Évolution d'une méthode préexistante ou en créer une nouvelle en utilisant les possibilités de la maquette numérique.
BRGM	Bureau de recherches géologiques et minières.
BuildingSMART	Groupe de standardisation international axé BIM.
CAO	Conception assistée par ordinateur.
CityGML	Standard ouvert soutenu par l'OGC. CityGML est utilisé pour modéliser les villes.
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i> . Il s'agit d'un langage orienté objet utilisé par l'industrie du bâtiment pour échanger et partager des informations entre logiciels. Ce format de fichier est ouvert. Depuis mars 2013, les IFC sont labellisés ISO 16 739. Les IFC ont pour but d'assurer l'interopérabilité des logiciels métiers BIM (Mediaconstruct, 2017).
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière.
InfraGML	Standard soutenu par l'OGC. C'est un schéma d'implantation d'une partie de LandInfra. Ce standard permet d'échanger des données de relevé de terrain et des données des projets d'infrastructures.
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe.
Interopérabilité	« Capacité d'échanger par la présence d'un standard neutre et ouvert des données entre les "modèles" sans dépendre d'un acteur ou d'un outil en particulier. » (Mediaconstruct, 2017)
LandInfra	Modèle conceptuel de données qui visent à remplacer LandXML, il permet d'échanger des données d'infrastructures.
LandXML	Standard ouvert actuellement implanté partiellement dans les outils et qui ne convient pas aux exigences des projets d'infrastructure.
MINnD	Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables.
MOA	Maîtrise d'ouvrage.
MOE	Maîtrise d'œuvre.
OGC	Open Geospatial Consortium, groupe de standardisation international axé sur l'information géospatiale (dont le SIG fait partie).
PostgreSQL	Base de données libre.
Process BIM	Un processus ou processus est un ensemble d'opérations, d'actions ou d'événements mis en œuvre pour atteindre un ou plusieurs objectifs et réaliser un usage BIM (Mediaconstruct, 2017).
SGDB	Système de gestion de base de données.
SIG	Système d'information géographique.
Standard ouvert	« Protocole de communication, d'interconnexion ou d'échange et tout format de données interopérables dont les spécifications techniques sont publiques et sans restriction d'accès ni de mise en œuvre. » (Article 4 de la loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique, s.d.)
STEP	<i>Standard for exchange of product data model</i> - Norme ISO de spécification et d'échange de modèles de produits. STEP propose un cadre méthodologique, un formalisme et des outils EDI (Mediaconstruct, 2017).
XML	<i>Extensible Markup Language</i> , c'est un langage utilisé dans de nombreux standards de données comme le CityGML, InfraGML et le LandXML.
XSD	XML Schema Definition.

Sommaire

GLOSSAIRE.....	1
1. RÉSUMÉ.....	3
2. PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE.....	4
3. CONTEXTE DU BIM POUR LES PROJETS D'INFRASTRUCTURES.....	7
3.1. Rappel du contexte	7
3.2. Formats ouverts dans le domaine des infrastructures.....	9
4. PROBLÉMATIQUES	10
5. ÉTAT DE L'ART.....	11
5.1. Préambule.....	11
5.2. Modèles de données	11
5.3. Définition des exigences de l'étude acoustique	18
6. MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE	25
6.1. Données récupérées pour l'étude.....	25
6.2. Présentation des outils	27
6.3. Analyse des outils métiers et CityGML.....	29
6.4. Analyse de l'interopérabilité	30
6.5. Étude de cas acoustique	34
7. RÉSULTATS.....	41
7.1. Analyse de l'interopérabilité	41
7.2. Étude de cas acoustique	45
8. CONCLUSION	56
9. BIBLIOGRAPHIE.....	58
10. ANNEXES	61
10.1. Annexe n° 1 : Diagramme UML CityGML.....	61
10.2. Annexe n° 2 : BPMN du processus actuel.....	63
10.3. Annexe n° 3 : Traitement et modélisation	64
10.4. Annexe n° 4 : Diagramme UML et perceptory.....	65
10.5. Annexe n° 5 : Traitement et modélisation de l'environnement avec CityGML et InfraGML	66
10.6. Annexe n° 6 : BPMN processus BIM de l'étude initial utilisant CityGML et InfraGML	67
10.7. Annexe n° 7 : BPMN processus BIM de l'étude projet utilisant CityGML et InfraGML.....	68
10.8. Annexe n° 8 : Proposition d'amélioration de CityGML et InfraGML	69

I. RESUME

Contexte et délimitation de la présente l'étude	Cette étude fait partie du projet national MINnD et plus précisément du thème 2 : expérimentations.
Groupe de travail MINnD	Le groupe de travail MINnD est composé : <ul style="list-style-type: none"> • d'Egis, • de l'IGN, • de Setec, • du BRGM.
Standards de référence	L'expérimentation se concentre sur les standards CityGML et InfraGML de l'organisme de standardisation : l'Open Geospatial Consortium (OGC) . Ces standards permettent d'échanger la géométrie, et la sémantique des données 3D.
CityGML	CityGML est utilisé pour échanger des modèles urbains.
InfraGML	InfraGML est en cours de développement. Il est conçu pour échanger des données sur les infrastructures et sur les mesures terrain.
Étude des standards	Nous étudions ces standards lors d'un BIM Use (cas d'usage BIM) d'une étude d'impact acoustique.
Partie 1 : standards et processus d'une étude acoustique	Dans une première partie, nous étudions les différents standards actuels et en développement. Puis nous étudions le processus actuel d'une étude acoustique pour identifier l'apport des standards CityGML et InfraGML.
Partie 2 : méthodologie de l'expérimentation	La seconde partie porte sur la méthodologie de l'expérimentation. Nous effectuons un état de l'art de l'interopérabilité entre certains outils métiers en relation avec le standard CityGML. La méthodologie présente l'analyse de l'interopérabilité sur les outils et la méthodologie pour l'étude acoustique.
Partie 3 : résultats	La dernière partie se concentre sur les résultats.
Mots clés	Les mots-clés sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> • BIM. • CityGML. • Étude acoustique. • SIG. • InfraGML. • BIM Use.

2. PRESENTATION DE L'ETUDE

Projet national MINnD

La présente étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de fin d'études d'ingénieur, au sein d'Egis, dans le cadre plus large du projet national MINnD¹.

Objectif

Le projet national MINnD vise à **identifier les bonnes pratiques et les limitations actuelles du BIM pour les infrastructures**.

Acteurs concernés

MINnD s'adresse aux instances de standardisation, aux éditeurs, et aux utilisateurs. Il regroupe de nombreux acteurs (65 partenaires en août 2017) dans ces domaines :

- recherche,
- ingénierie,
- construction,
- éditeurs,
- maîtrise d'ouvrage.

Ces acteurs sont impliqués dans divers *Use Case*². Ils vous sont présentés ci-dessous.



65 PARTENAIRES



Partenaires du projet MINnD (août 2017)

Source : <http://www.minnd.fr/le-projet-minnd/partenaires>

Building Information Modeling (BIM)

Mediaconstruct définit le *Building Information Modeling* (BIM) de la façon suivante :

Définition du BIM selon Mediaconstruct

Méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique (BIM information Model). Chaque acteur de la construction crée, renseigne et utilise cette maquette. Il en tire les informations dont il a besoin pour son métier. En retour, il alimente la maquette de nouvelles informations pour aboutir au final à un objet virtuel renseigné. Cet objet est représentatif de la construction, de ses caractéristiques géométriques et des propriétés de comportement. BIM pour processus et maquette numérique pour le « model ».

¹ MINnD : Modélisation des Informations Interopérables pour les Infrastructures Durables.

² Use Case (UC) : Dans le projet MINnD les Uses Cases ou cas d'usages sont des expérimentations théoriques, appliquées à des projets réels ou réalistes. Ils permettent de focaliser la recherche sur des problématiques concrètes, identifiées dans des déroulements de projets réels d'infrastructures et qui englobent plusieurs processus.

Groupe MINnD d'encadrement du présent travail

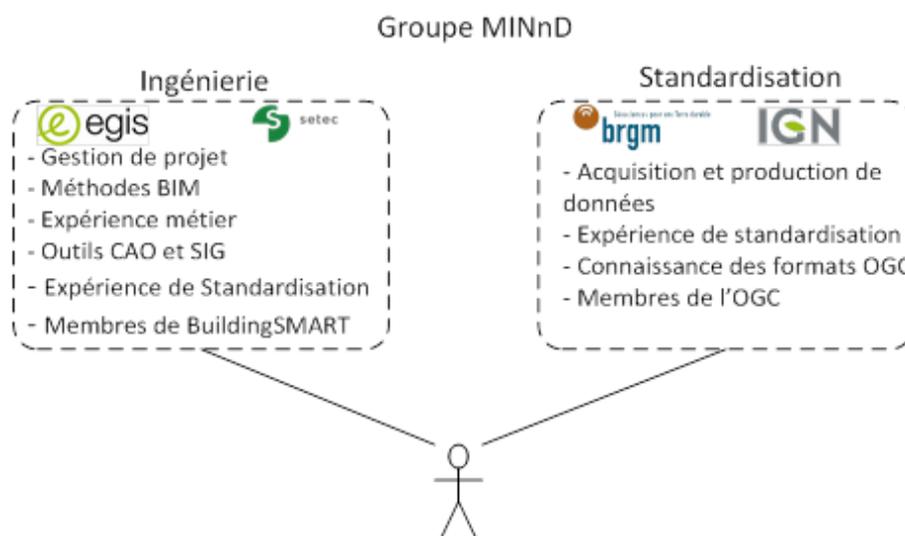
Contribution

Le présent travail est encadré par un groupe MINnD composé :

- d'une partie ingénierie avec EGIS et SETEC,
- d'une partie standardisation avec l'IGN et le BRGM.

Ce groupe apporte :

- des connaissances complémentaires sur les infrastructures et leurs environnements,
- un regard différent sur les méthodes, les outils et les formats de données.



Composition du groupe MINnD avec une partie ingénierie (EGIS et SETEC) et une partie standardisation (BRGM et IGN) en précisant les apports des intervenants de l'étude.

Objet d'étude

L'étude vise à **expérimenter certains standards OGC³** en les appliquant à un *BIM Use* d'une étude acoustique.

Définition de *BIM Use* selon Penn State University (2013)

Méthode ou stratégie d'application du BIM d'un ouvrage pour répondre à un ou plusieurs objectifs. Un *BIM Use* vise à :

- faire évoluer une méthode préexistante,
- ou à en créer une nouvelle en utilisant les possibilités de la maquette numérique.

³ OGC : Open Geospatial Consortium, groupe de standardisation international axé sur l'information géospatiale (dont le SIG fait partie).

Un focus fort sur les études acoustiques...

... car elles ont fait l'objet d'un précédent rapport,

... elles correspondent au champ de recouvrement des standards OGC,

... elles permettent d'étudier le workflow entre les acteurs,

... et, car il est compliqué d'étudier l'ensemble des échanges et des processus métiers

La présente étude se concentre sur une étude acoustique d'une infrastructure linéaire pour plusieurs raisons.

Les études acoustiques ont été étudiées dans un précédent rapport de MINnD, l'UC 6.1 Infrastructure et bruit (MINnD, 2015).

Les études acoustiques demandent la modélisation de nombreuses données de l'environnement existant :

- bâti,
- routes,
- voies ferrées,
- relief,
- plan d'eau,
- etc.

Cela correspond au champ de recouvrement des standards OGC.

Les études acoustiques demandent aussi des données du projet d'infrastructure. Il est alors intéressant d'étudier le workflow entre les acteurs.

Il peut paraître étonnant de cibler seulement les études acoustiques. Le fait est qu'il est complexe d'étudier l'ensemble des échanges et des processus métiers pendant la phase de conception d'une infrastructure linéaire. Il devient alors intéressant de se focaliser sur des BIM Uses spécifiques qui se complètent.

Le présent rapport fait partie du thème 2 de MINnD

Le thème 2 de MINnD est basé sur l'expérimentation. Ce rapport fait partie du thème 2. Il traite de **l'expérimentation des standards OGC : CityGML et InfraGML dans le contexte BIM Infrastructure.**

3. CONTEXTE DU BIM POUR LES PROJETS D'INFRASTRUCTURES

3.1. Rappel du contexte

Extrait de MINnD, UCI Approche holistique, 2015

Le BIM est largement utilisé dans le domaine du bâtiment. Il est plus compliqué à mettre en place pour les infrastructures, car les exigences sont différentes.

Une infrastructure s'intègre dans un environnement large qui nécessite d'étudier de nombreuses composantes. Ces diverses composantes sont :

- Les autres infrastructures qu'elle croise ou complète.
- Les habitants et les activités qui la bordent.
- Le territoire dans lequel elle est localisée (géo référencement).
- Les sols qu'elle occupe.
- Le sous-sol avec lequel elle interagit et dont elle utilise les matériaux.
- Les faunes et les flores qu'elle impacte.
- Les acteurs indirects et/ou influents qu'elle concerne.

État de l'art du déploiement du BIM Infrastructure

Contenu de l'état de l'art

Un état de l'art du déploiement du BIM Infrastructure a été fait par MINnD (MINnD, Synthèse de la tranche 1,2016).

L'état de l'art du déploiement du BIM Infrastructure évoque les éléments suivants :

- Le fait que les bases de données, les outils et les méthodes utilisées dans le domaine des infrastructures limitent la mise en place du BIM pour les Infrastructures.
- Le manque de cohérence et de complémentarité entre les modèles de données, en particulier entre les données 3D du BIM et les données SIG.
- Les limites techniques liées à l'interopérabilité⁴ des différents formats.

Malgré ces limites, des projets BIM Infrastructures voient le jour. Par exemple : la rocade L2 à Marseille, que nous étudions dans l'expérimentation.

Forte demande du BIM pour les infrastructures

La demande du BIM pour les infrastructures est forte et attendue par les différents acteurs de la construction, par exemple :

- La MOA veut pouvoir étendre le BIM à tous les ouvrages et pas uniquement au domaine du bâtiment. Et ce afin de mieux contrôler la conception et la réalisation.
- La MOE doit réaliser des études de plus en plus complexes, ce qui incite à :
 - l'utilisation de la maquette numérique polyvalente,
 - l'industrialisation des procédures de travail.

⁴ Interopérabilité : Capacité d'échanger par la présence d'un standard neutre et ouvert des données entre les différents « modèles » sans dépendre d'un acteur ou d'un outil en particulier. (Mediaconstruct, 2017)

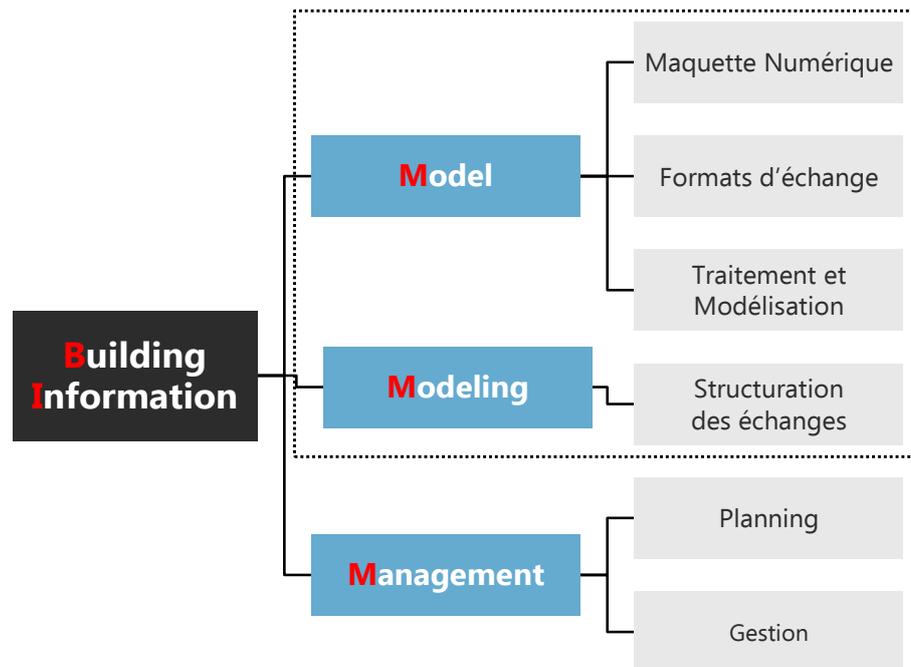
3.1 Rappel du contexte | État de l'art du déploiement du BIM Infrastructure

Trois axes du développement du BIM

Le développement du BIM comprend trois axes qui sont interconnectés :

- Le **Model** qui est la maquette numérique, des formats et du traitement des données. C'est un aspect technique sur les données et les outils.
- Le **Modeling** qui est la structuration des échanges des données par l'élaboration de processus BIM⁵ autour de la maquette numérique.
- Le **Management** qui permet de planifier, d'organiser les acteurs.

Ces trois axes sont représentés dans le schéma ci-dessous :



Les trois axes du BIM : Model, Modeling et Management. Le rectangle en pointillés renvoie au champ de recouvrement de ce rapport. Ce schéma n'est pas exhaustif il sert juste à clarifier l'étude. Inspiré de (OPIEC, 2016)

Formats utilisés pour l'échange des données pour les infrastructures linéaires

Actuellement, les formats utilisés pour l'échange des données pour les infrastructures linéaires sont principalement propriétaires et multiples. Ils rendent difficile le développement de processus BIM basé sur les objets.

Il existe un format ouvert : le LandXML. Cependant :

- il ne répond pas à toutes les exigences (au niveau sémantique),
- son implémentation dans les outils est limitée.

C'est pourquoi des standards ouverts sont en développement, par exemple :

- les IFC (road, rail et alignment),
- l'InfraGML.

⁵ Process ou processus BIM : Un processus est un ensemble d'opérations, d'actions ou d'événements mis en œuvre pour atteindre un ou plusieurs objectifs et réaliser un usage BIM. (Mediaconstruct, 2017)

3.2. Formats ouverts dans le domaine des infrastructures

Définition d'un standard ouvert ou libre

Les acteurs de la standardisation comme BuildingSMART⁶ et l'OGC développent des standards ouverts. Un standard ouvert ou libre est défini comme suit :

Définition de standard ouvert ou libre selon l'article 4 de la loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique

Tout protocole de communication, d'interconnexion ou d'échange et tout format de données interopérable et dont les spécifications techniques sont publiques et sans restriction d'accès ni de mise en œuvre.

Caractéristiques et avantages d'un standard ouvert

Un standard ouvert :

- Favorise la pérennité de l'information au cours du temps.
- Permet de connaître les limites et le cadre du standard afin de l'exploiter au mieux.
- Est utilisable par tous les acteurs.

Développement des IFC et d'InfraGML...

... en collaboration...

... et qui se traduit par l'utilisation du même MCD

BuildingSMART développe les IFC et l'OGC développe InfraGML basé sur le langage GML (langage géographique XML développé par l'OGC).

Les développements de ces deux standards sont conduits en collaboration **afin de favoriser le *workflow* entre les standards.**

Cela se traduit par l'utilisation du même modèle conceptuel de données (MCD) pour le schéma des alignements (axes de référence). Ce dernier est un des éléments essentiels pour la conception d'infrastructures linéaires (BuildingSMART, 2016).

Coopération étroite entre le SIG et la CAO

Le SIG et la CAO communiquent souvent ensemble pendant les phases d'un projet. Bien que cela implique de la perte de données géométriques et sémantiques, les bénéfices de cette coopération sont nombreux. En effet, le SIG offre un contexte géographique et environnemental. Cela est intéressant pour le bâtiment, mais surtout pour les infrastructures. En effet, elles sont par définition connectées avec une multitude d'éléments (Tobiáš, 2015).

⁶ BuildingSMART ou Bsl, groupe de standardisation international axé BIM.

4. PROBLEMATIQUES

Étude des standards supportés par l'OGC...

Standard CityGML

Standard InfraGML

Ce rapport se concentre sur des standards supportés par l'OGC. Il se concentre plus précisément sur CityGML et InfraGML et leurs rôles dans le processus de conception d'infrastructures.

Le standard CityGML et son implantation dans les outils sont étudiés dans ce rapport.

Le standard InfraGML est en cours de développement. Il est donc trop tôt pour l'expérimenter. Il est cependant possible d'étudier son MCD afin de déterminer s'il répond aux exigences d'une étude acoustique.

... illustrés par une étude d'impact acoustique d'une infrastructure linéaire...

Continuité de l'UC 6 de MINnD

Étude du traitement des données et formats utilisés

Élaboration d'une maquette numérique avec des concepts BIM

Il est apparu important d'aller au-delà d'une étude sur les standards de données afin de l'appliquer à un cas concret. Par exemple, une étude d'impact acoustique d'une infrastructure linéaire.

Cette étude s'inscrit dans la continuité de l'UC 6 de MINnD (MINnD, 2015). L'UC 6 a permis de mettre en évidence les sortants et entrants de l'étude acoustique.

Ce BIM Use permet d'aller plus loin en s'intéressant au traitement des données et aux formats utilisés. Cette étude a pour objectif :

- d'identifier le processus actuel de cette étude,
- de proposer un processus en utilisant les formats CityGML et InfraGML.

Ce nouveau processus BIM utilise une maquette numérique CityGML. Il est élaboré avec des concepts BIM. Ces concepts permettent d'identifier :

- les besoins de données,
- les échanges entre les acteurs.

Ils sont définis dans le rapport.

... afin d'examiner la possibilité d'utilisation opérationnelle de tels standards

La présente étude vise à examiner la possibilité d'utilisation des standards OGC InfraGML et CityGML dans le cadre d'une étude acoustique d'une infrastructure linéaire. Elle souhaite ainsi répondre aux problématiques suivantes :

1. Quels sont les besoins et problématiques actuels et futurs liés à l'échange des données dans le cadre d'une étude d'impact acoustique ? Est-ce que les formats CityGML et InfraGML répondent aux exigences d'une étude acoustique ?
2. Est-ce que les outils actuels permettent d'utiliser CityGML et quels sont les apports des outils ouverts conçus pour le standard CityGML dans le cadre d'une étude acoustique ?
3. Au vu des formats d'échange actuels pour les infrastructures et les formats futurs basés sur le modèle conceptuel de donnée (MCD) de LandInfra, quel peut être l'apport de l'InfraGML ?

5. ÉTAT DE L'ART

5.1. Préambule

Présentation des standards...

Cette partie a pour objectif de présenter les standards évoqués dans le rapport :

- CityGML,
- InfraGML,
- LandXML,
- IFC.

... et des études acoustiques

Elle présente aussi les études acoustiques afin de pouvoir proposer :

- Une méthodologie d'expérimentation du standard CityGML en adéquation avec les exigences de l'étude acoustique.
- Un processus utilisant les standards CityGML et InfraGML pour une étude acoustique.

5.2. Modèles de données

Comparaison des différents standards étudiés

L'interopérabilité renvoie à la capacité d'un standard à permettre l'échange des données d'un outil à un autre. Pour bien comprendre les problèmes d'interopérabilité qui vont être soulevés, il est important de faire un point sur les différents standards utilisés dans ce rapport.

Les standards qui sont évoqués dans ce rapport sont principalement CityGML et InfraGML (LandInfra), mais il est intéressant de les comparer aux IFC et à LandXML.

Il est important de comprendre la différence entre un format, un schéma et un modèle conceptuel de données (MCD). Le tableau suivant montre ces différences et propose une comparaison entre les standards. Nous expliquons ces différences dans les parties suivantes.

	CityGML	InfraGML	IFC	LandXML
Format	GML basé sur le XML		STEP ⁷ , XML	XML
Schéma	CityGML	InfraGML	Pas connu pour les infrastructures	LandXML
Norme de référence	GML ISO 19136 Conceptual Schema Language : ISO 19103		IFC ISO 16739	--
Organisme de standardisation	OGC	OGC	BuildingSMART	--
Date de la première version du MCD	2008 ⁸	2016 ²	1997	2000
Périmètre	Modélisation des villes	Mesures, phase post-conception	Projet, GMAO	Mesures, phase post-conception
Échelle	Ville, région, quartier	Projet et environnement projet	Projet	Projet et environnement projet

⁷ STEP : *Standard for exchange of product data model* - Norme ISO de spécification et d'échange de modèles de produits. STEP propose un cadre méthodologique, un formalisme et des outils EDI. ([Mediaconstruct, 2017](#))

⁸ Date de l'approbation du MCD par l'OGC et de la publication de ce MCD.

5.2 Modèles de données

Présentation de l'OGC	<p>L'OGC est un organisme international de standardisation qui développe de nombreux standards ouverts dans le domaine de la géomatique. Il est composé de plus de 525 membres. Nous retrouvons parmi ces membres :</p> <ul style="list-style-type: none"> • des entreprises, • des organismes de recherche, • des agences gouvernementales, • des universités. <p>L'OGC a développé des protocoles afin que toutes les remarques/requêtes soient traitées avec la même importance, dans les mêmes délais.</p>
Des standards qui se complètent	<p>Les standards CityGML, InfraGML et les IFC ne répondent pas aux mêmes exigences. Ils ne sont pas développés pour se concurrencer, mais pour se compléter :</p> <ul style="list-style-type: none"> • CityGML est un standard pour échanger des informations sur la géométrie et la sémantique d'une ville. • InfraGML est un standard pour : <ul style="list-style-type: none"> – Échanger des données sur une infrastructure routière ou ferroviaire après la phase de conception de cette infrastructure. – Échanger des données sur les mesures du terrain. • Les IFC (développé par BuildingSMART) sont développés pour échanger des informations principalement sur le projet d'infrastructure. Les IFC pour les infrastructures (Road et Rail) utilisent le même schéma pour l'Alignement⁹ que InfraGML. Cela favorise l'interopérabilité des infrastructures linéaires entre les deux standards. <p>Nous allons nous intéresser aux modèles de données CityGML et InfraGML.</p>
<p>CityGML Un standard qui se développe en France... ...et qui est utilisable dans des domaines très variés Source d'inspiration d'une directive européenne Référéncé par l'OGC</p>	<p>Depuis quelques années, les villes françaises investissent pour construire leurs maquettes 3D. Parmi ces villes, nous retrouvons Rennes, Nantes, Bordeaux, Lyon, pour les plus importantes.</p> <p>Dans ces villes, les données CityGML sont en open data, afin de les utiliser dans des domaines très variés comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la planification urbaine, • la navigation piétonne et automobile, • la gestion des catastrophes, • les télécommunications mobiles, • la simulation environnementale, • la robotique, • la sécurité du territoire, • etc. <p>Le standard CityGML s'est imposé pour sauvegarder des données. En effet, il permet de lier la géométrie et la sémantique d'une ville.</p> <p>La directive européenne INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) définit des normes à l'échelle européenne pour les données géospatiales. Plusieurs de ses spécifications sont inspirées du standard CityGML, notamment en ce qui concerne les bâtiments (INSPIRE, 2013).</p> <p>De plus en plus de villes sont modélisées avec le standard CityGML, c'est un standard ouvert et certifié par un organisme de référence : l'OGC. Ainsi cela favorise le stockage des données et assure la réutilisabilité dans le temps.</p>

⁹ Alignement : concept fondamental qui est modélisé en premier pour la conception d'une infrastructure.

5.2 Modèles de données | CityGML

Les LOD,
un avantage clé
du standard CityGML

Les LOD (level of detail) permettent de **représenter une ville selon plusieurs échelles et différents niveaux de détails**. Un des avantages du standard CityGML réside dans les LOD. Dans ce standard, les LOD sont implantés pour toutes les classes¹⁰ et non limités aux bâtiments, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalised objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2

...to be continued for the other feature themes

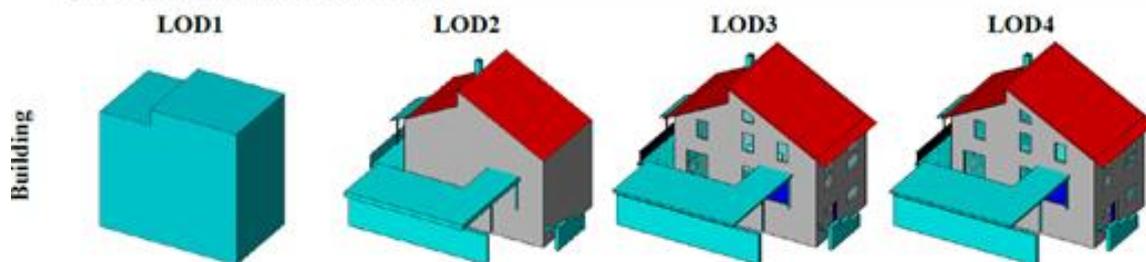


Tableau des LOD et exemple des différents LOD sur un bâtiment.
Source : (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

Décomposition
du schéma CityGML

Un standard
au fort potentiel...

Les LOD du bâtiment sont bien décrits à l'inverse des autres modules.

Il n'y a pas de normes pour les LOD CityGML. Ces LOD sont différents des *Level of Development* (LODt) de BuildingSMART, ce qui provoque des confusions (Tolmer, 2016).

Le schéma CityGML est décomposé **en plusieurs classes** :

- *Appearance.*
- *Bridge.*
- *Building.*
- *CityFurniture.*
- *CityObjectGroup.*
- *Generics.*
- *LandUse.*
- *Relief.*
- *Transportation.*
- *Tunnel.*
- *Vegetation.*
- *WaterBody.*

L'industrie de la construction, plus particulièrement des infrastructures, **a intérêt à s'intéresser au standard CityGML**. En effet, de nombreuses villes l'utilisent. De plus, plusieurs organismes publics et privés s'intéressent à la production de données dans ce standard.

Dans le futur, les villes et collectivités pourraient demander une mise à jour de la maquette numérique urbaine (MNU) en CityGML après un projet d'infrastructure. De plus, pour certaines maquettes de synthèse¹¹ il est intéressant d'avoir l'environnement du projet.

¹⁰ Sauf *Appearance*, mais la texture peut être différente selon le LOD d'une même entité

¹¹ Maquette de synthèse : maquette 3D qui vise à assurer la cohérence spatiale des éléments du projet vis-à-vis des autres éléments du projet et de son environnement.

5.2 Modèles de données | CityGML

Les limites de CityGML, la sémantique et les attributs...

... que peuvent compenser les ADE (Application Domain Extension)

Limite : la sémantique et les attributs

Une des limites de ce standard est la sémantique et les attributs. Ils sont trop pauvres pour décrire les entités, car ils sont non standardisés. Les attributs sont limités et donc l'utilisation du standard CityGML devient aussi limitée. Nous vous proposons ci-dessous deux exemples :

Exemples

Attributs de la classe *Transportation*

Les attributs de la classe *Transportation* sont les mêmes pour les routes et le ferroviaire. Ils décrivent de façon générale, via une liste associée à des codes :

- l'utilisation,
- la classe,
- la fonction,
- le type de surface.

Attributs de la classe *Building*

Même cas pour la classe *Building* (Figure c de l'Annexe n° 1 : Diagramme UML CityGML).

Pour y remédier, nous pouvons ajouter des **extensions au modèle CityGML** : les *Application Domain Extension (ADE)*, présentés ci-après. En effet, il est précisé dans la documentation CityGML que des extensions peuvent enrichir le modèle. Ces extensions ne font pas partie du standard CityGML. Elles doivent être définies dans un fichier à part (un XSD¹²).

Les ADE sont le mécanisme d'extension spécifié par CityGML. Elles permettent d'ajouter des classes rattachées à d'autres classes du modèle. Il est possible d'ajouter des attributs selon les besoins et utilisations du standard CityGML.

Exemples d'ADE existants

De nombreux ADE ont vu le jour. Le tableau suivant en présente plusieurs.

ADE	Utilisation
ADE Noise...	... pour l'acoustique. Il s'agit de l'ADE utilisé dans la présente étude de cas.
ADE utility network...	... pour les réseaux.
ADE GeoBIM...	... pour la conversion IFC CityGML (CityGML ADEs, 2016).

Pour évoquer l'ADE *Noise* plus en détail, son diagramme UML est dans l'annexe 1 (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012). Il permet d'ajouter des classes supplémentaires aux bâtiments, routes, voies ferrées, mobiliers urbains (pour les écrans acoustiques).



Certains ADE ont été implémentés dans le corps du standard, par exemple les ADE Tunnel et Bridge. Ces derniers font donc partie de CityGML 2.0.

Plus récemment, l'ADE Dynamizer a été développée. Cette ADE permet d'ajouter des données dynamiques à la maquette numérique CityGML. Cette ADE est dans la version 3.0 de CityGML qui devrait être publiée en 2018 par l'OGC.

Les ADE permettent de compléter le modèle CityGML qui ne comporte que peu d'attributs. Ainsi, il est concevable de créer des ADE spécifiques pour le domaine des infrastructures. Cependant, les ADE ne font pas partie de CityGML. **De ce fait, l'interopérabilité entre les outils n'est pas assurée.**

¹² XSD : XML Schema Definition, fichier qui définit un schéma XML. Dans ce cas-là il définit le schéma de l'extension.

5.2 Modèles de données | CityGML

**CityGML et
l'interopérabilité BIM**

Le BIM bâtiment peut apporter des informations très précises sur l'ouvrage. Cependant, pour ce faire, **les IFC et CityGML doivent être interopérables.**

▼ Développement d'un ADE CityGML GeoBIM

Ainsi, un ADE CityGML GeoBIM a été développé. Il permet d'étendre l'interopérabilité entre le standard IFC et le CityGML en rajoutant certaines classes IFC au standard CityGML (*Van Berlo & De Laat, 2011*).

▼ Conversion IFC CityGML

La conversion IFC CityGML a été étudiée dans **Future Cities Pilot 1** (FCP1), encadré par l'IGN, et réalisé par l'université de Melbourne et l'université de Munich (*Kalan-tari, 2017*). Cette étude montre la possibilité :

- de convertir des données IFC vers CityGML,
- de réaliser des requêtes spatiales sur le bâtiment converti,

afin de s'assurer qu'il respecte bien certaines règles d'urbanismes.

▼ L'interopérabilité entre les outils de modélisation 3D et le standard CityGML n'est pas complètement assurée

L'interopérabilité entre les outils de modélisation 3D et le standard CityGML n'est pas complètement assurée. En effet, l'exportation vers le standard CityGML peut causer plusieurs problèmes de géométrie, mais aussi de sémantique sur la maquette numérique (*Biljecki, et al., 2016*).

Ainsi, dans ces cas-là, il paraît compliqué d'utiliser la maquette pour des simulations ou comme entrant dans un projet.

▼ L'échange des données pour les infrastructures n'est pas effectué par CityGML

Concernant les infrastructures, l'échange des données n'est pas effectué avec le standard CityGML. Pourtant, il peut comporter de nombreuses informations nécessaires, notamment pour les études environnementales. C'est ce que nous allons étudier en prenant le cas des études acoustiques.

InfraGML
**Choix de développer
plusieurs schémas
modulaires**

Le standard InfraGML est le **schéma d'implémentation d'une partie du modèle conceptuel de données LandInfra.**

Nous choisissons de développer plusieurs schémas modulaires pour couvrir le LandInfra. Cela permet de **faciliter l'implantation dans les outils métiers.** En effet, il n'est plus nécessaire d'importer tout le modèle LandInfra : il est possible d'en importer juste une partie.

**Origine d'InfraGML :
volonté d'accroître
l'interopérabilité
avec le domaine des
infrastructures par le
format de données
LandXML**

Nous avons vu préalablement que le schéma implanté du CityGML représente tout le modèle conceptuel de données. À l'inverse, InfraGML est né d'une volonté de l'OGC d'accroître l'interopérabilité avec le domaine des infrastructures. Cela concerne plus précisément l'opérabilité avec le LandXML qui est un format de données très répandu, et utilisé par de nombreux acteurs.

Ainsi, nous avons créé un groupe destiné à étudier le format de données LandXML : le **LandInfra DWG**. Ce groupe de travail a relevé certains problèmes du format de données LandXML (*OGC & Scarponcini, 2013*). De plus le format de données LandXML n'est pas maintenu par un groupe de standardisation. Cela peut poser des problèmes pour la pérennité du format de données.

5.2 Modèles de données | InfraGML

Un standard qui implante les schémas Road et Rail de LandInfra...

... qui est différent des IFC infrastructures...

... qui ne propose pas les LOD

... et qui est divisé en plusieurs parties

Positionnement d'InfraGML par rapport à LandXML

InfraGML est axé infrastructure. Il implante les schémas Road et Rail de LandInfra. Ainsi, il permet d'échanger des données détaillées sur :

- l'alignement d'un projet,
- les coupes,
- les TIN,
- les différentes mesures du terrain.

Il est différent des IFC infrastructures, car il n'est pas développé pour échanger des informations d'un projet routier (ou ferroviaire) pendant la phase de design. En effet, il s'inscrit dans l'échange des données après cette phase.

Exemple d'utilisation

On peut penser à son utilisation dans les études hydrologiques ou hydrogéologiques. Elles requièrent en effet un design précis du projet et de son environnement.

InfraGML ne propose pas les LOD comme CityGML. Un attribut dans le schéma *project* permet de préciser la phase du projet. Une autre différence par rapport au CityGML est que l'InfraGML autorise toutes les géométries du GML 3.3 de 2012 (Portele, 2012). Cela permet d'avoir des géométries plus complexes que le standard CityGML, où la géométrie est imposée en fonction des entités et des LOD.

InfraGML est divisé en plusieurs parties. L'avantage de ce standard est d'avoir une partie « projet » qui permet de créer et modifier l'environnement actuel, et stocker des informations sur le projet.

Ainsi, il y a une distinction entre l'environnement existant et le projet d'infrastructure.

Le tableau suivant met InfraGML en perspective avec LandXML.

LandXML
Informations générales
Implanté dans 72 outils. Comprend 762 membres.
Utilisé principalement dans les BE pour exporter des surfaces, des axes (alignement), des coupes.
Modulable avec une implantation qui change en fonction des outils. Par exemple sur Civil 3D (Autodesk, 2017) tout le modèle conceptuel n'est pas implanté.
Pourquoi il est compliqué d'imaginer LandXML dans un processus BIM
Pauvreté en sémantique : LandXML est le seul standard ouvert, pour le moment, permettant d'exporter la géométrie d'un projet d'infrastructure. Cependant, ce format est trop pauvre en sémantique afin de développer un processus BIM. En étudiant les échantillons disponibles (voir le site internet), on s'aperçoit : <ul style="list-style-type: none"> • qu'il est principalement utilisé pour exporter la géométrie, • qu'il y a très peu d'attributs et de sémantique.
Difficulté à le comprendre : LandXML est complexe à assimiler, car il n'y a pas de spécification. Il y a juste le schéma qui représente 5000 lignes de code et une hiérarchie des éléments. Il n'y a pas non plus de normes pour sa conception. Cela implique des erreurs dans son développement, point soulevé par <i>OGC & Scarponcini</i> .
Absence de soutien d'un organisme de référence : LandXML n'est pas soutenu par un organisme de référence. Cela se traduit par : <ul style="list-style-type: none"> • un manque de mise à jour (la mise à jour 2.0 apporte peu de changement), • un site internet qui conduit à de nombreuses pages qui ne sont plus référencées.
Intervention de LandInfra
LandInfra recouvre le périmètre du LandXML, et ajoute de la sémantique et des attributs.
Le développement modulaire de schémas basés sur le LandInfra permet aux outils de ne pas devoir importer tous le MCD, mais juste certaines parties.

5.2 Modèles de données | InfraGML

Positionnement d'InfraGML par rapport aux IFC infrastructures

Les IFC pour les infrastructures sont en développement. Il est possible de trouver les premières versions (les SPEC) des IFC Rail et Road sur le site de BuildingSMART. Mais elles restent des propositions pour le moment.

Cependant, nous pouvons déjà les analyser et remarquer que les **standards InfraGML et IFC sont différents** sur les points suivants :

- Les IFC sont très détaillés sur le projet, mais ne prennent pas en compte toutes les données de l'environnement du projet.
- InfraGML est développé pour pouvoir échanger des données sur les mesures du terrain ce qui n'est pas possible avec les IFC.

InfraGML et les IFC ont quand même un champ de recouvrement. Ils ont :

- le même schéma pour l'alignement,
- des données communes sur le projet d'infrastructure.

5.3. Définition des exigences de l'étude acoustique

<p>Rappel du contexte</p> <p>Une précédente étude d'impact acoustique... ... a permis d'identifier plusieurs éléments</p> <p>Objectif de l'étude acoustique</p> <p>Apports de la modélisation acoustique...</p> <p>... dans le présent rapport</p>	<p>Le BIM Use est effectué sur une étude d'impact acoustique (EIE). Cette EIE a déjà fait l'objet d'une étude lors de l'UC 6 du projet MINnD :</p> <p style="text-align: center;">MINnD, UC 6.1 : Infrastructures et bruit Tranche 1,2015.</p> <p>Ce cas d'étude a permis d'identifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les entrants et les sortants des études acoustiques, • les différents problèmes liés au workflow entre les acteurs d'un projet et les problèmes liés au traitement des données, • les impacts du bruit sur la faune. <p>L'étude acoustique a pour objectif d'identifier les besoins de protection sonore sur les zones d'études.</p> <p>La modélisation 3D de l'environnement permet d'obtenir différents sortants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Isophones. • Récepteurs acoustiques. • Localisation des mesures de réduction du bruit ou autres préconisations acoustiques. <p>Dans le présent rapport, nous évoquons l'outil CadnaA développé par Datakustik (<i>Datakustik, CadnaA reference manual, 2017</i>).</p> <p>Il s'agit de l'outil utilisé par Egis et Setec pour les calculs acoustiques. Dans un processus BIM, les outils utilisés ont une place importante afin de savoir quelles sont les possibilités et les limites liées à son utilisation.</p>
<p>Définition des exigences</p> <p>Exigence projet de l'étude acoustique</p> <p>Exigences métier de l'étude acoustique</p>	<p>Les exigences sont diverses. Il existe notamment les exigences du projet, pour les différents systèmes et sous-systèmes.</p> <p>Pour l'étude acoustique, l'exigence projet est de proposer des protections sonores pour ne pas dépasser les seuils.</p> <p>Il est question dans cette étude, des exigences métiers de l'étude acoustique. Cela désigne les exigences pour que l'étude acoustique puisse être réalisée. Ces exigences portent sur :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les données d'entrées, • leurs sémantiques, • leurs géométries, • les outils utilisés.
<p>Périmètre du BIM Use</p>	<p>Un BIM Use est très spécifique. Il permet d'identifier :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les entrants, • les sortants, • les exigences métiers pour pouvoir exploiter les données. <p>Le présent BIM Use est appliqué au projet de la L2 Nord, une rocade à Marseille.</p>

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique

**Chronologie
d'une étude
d'impact acoustique**

L'étude d'impact acoustique se déroule en deux grandes étapes :

Première étape

La première étape consiste à :

- Caler l'outil de modélisation CadnaA en fonction des mesures sonométriques sur le terrain.
- Définir les seuils à respecter pour les différents types d'infrastructures (en vert sur le schéma ci-dessous).

Cette étape est effectuée dans le cas où le projet d'infrastructure se connecte à d'autres infrastructures déjà existantes. Cela est souvent le cas pour des routes, mais pas toujours pour un projet ferroviaire.

C'est cette phase qui va demander un traitement très lourd des données.

Seconde étape

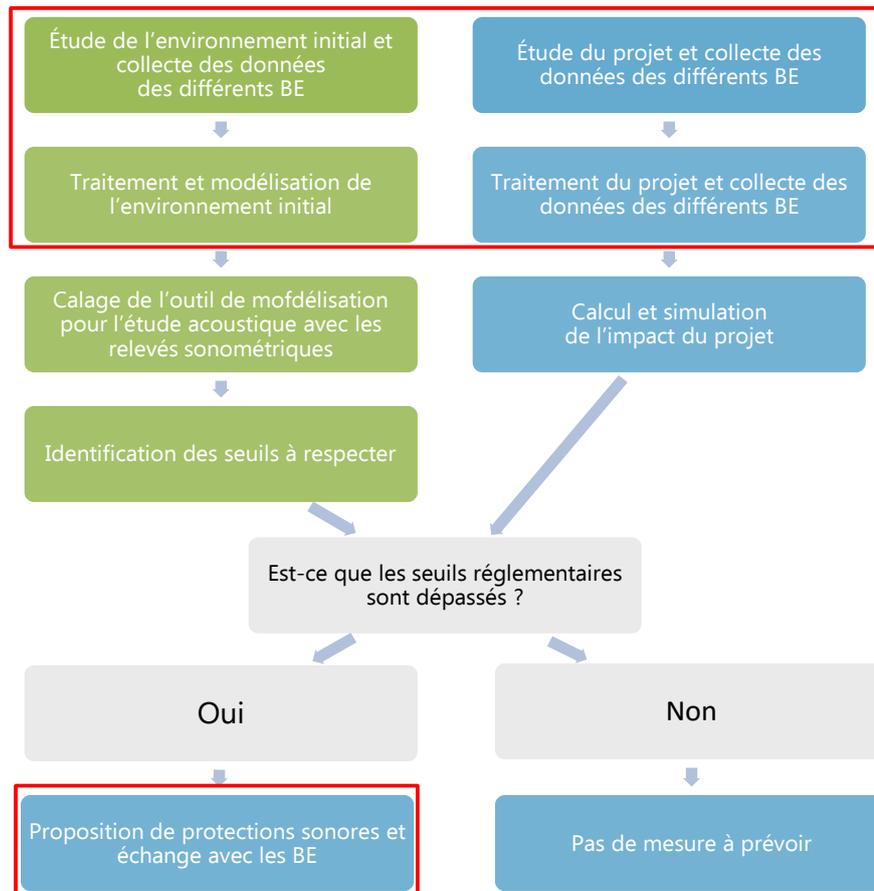
Dans un second temps, une analyse de la situation future (en bleu sur le schéma ci-dessous) avec le projet d'infrastructure est effectuée.

Le modèle est mis à jour en fonction :

- de l'évolution du bâti,
- de la topographie,
- du projet d'infrastructure,
- des différents trafics futurs selon les périodes.

Cette phase demande un traitement particulier à cause des données trafics qui décrivent les prédictions d'évolution du trafic au cours des années.

Ces étapes sont représentées dans le schéma ci-dessous.



Diagrammes récapitulants les grandes étapes d'une étude acoustique en phase PRO.
Les rectangles rouges indiquent les actions où les standards CityGML et InfraGML ont un intérêt.

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique

Annexes

Annexe 2

L'annexe 2 permet de détailler les différentes phases de l'étude acoustique présentes sur le schéma ci-dessus.

Le point bloquant du processus actuel est le traitement des données dans l'outil qui ne permet pas de les réutiliser.

Annexe 3

Le traitement est explicité dans l'annexe n° 3. Ce qu'il faut retenir de cette annexe est toute la partie de modélisation dans l'outil CadnaA.

Flux de données (Workflow)

Afin de simuler de la propagation du bruit, il faut de nombreuses données hétérogènes provenant de sources diverses. De plus, ces données sont en constante évolution pendant les différentes phases. Par exemple, le tracé peut évoluer et des données topographiques peuvent arriver en cours d'étude.

Données nécessaires à une étude acoustique : données entrantes

Récapitulatif des données entrantes

Comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessous, les entrants sont divers, et proviennent d'acteurs qui opèrent dans des domaines très différents.

Ce tableau est valable pour un projet routier ou ferroviaire. Une donnée dynamique signifie qu'elle risque d'évoluer dans le temps. Une donnée statique est fixe dans le temps.

Données	Type	Facultatif	Commentaire
Projet d'infrastructure	Dynamique	non	Le projet d'infrastructure est redécoupé en fonction du type de tronçon et de la limitation de vitesse.
Topographie	Dynamique	Non	Il peut y avoir des compléments de la topographie qui arrivent durant le projet.
Tranchée couverte	Dynamique	Non	Les tranchées couvertes sont traitées au cas par cas.
Bâti	Dynamique	Non	Une fois le bâti traité pour la phase initiale, il suffit de le mettre à jour pour la phase projet.
Réseau existant (voirie, ferroviaire) Hors raccordement projet	Dynamique	Non	Le réseau existant ne va pas évoluer à part s'il fait partie du projet.
Trafics	Statique	Non	Les trafics sont différents entre les deux phases.
Zones d'études	Dynamique	Oui	La zone d'étude reste la même il peut y avoir.
Plan d'eau	Statique	Oui	--
Éléments verticaux linéaires	Statique	--	--
Condition météorologique	Statique	Non	Les conditions sont enregistrées dans l'outil acoustique.
Végétation	Statique	Oui	Cette donnée est rarement utilisée.
Réglementation	Statique	Non	--

Caractérisation du projet d'infrastructure

Le projet d'infrastructure linéaire peut être **routier ou ferroviaire**.

Le tracé peut être amené à évoluer pour diverses raisons. Ainsi, au cours de l'étude acoustique, il est possible :

- que des portions de tracé évoluent,
- que le tracé soit revu dans sa totalité, car les impacts acoustiques calculés lors de l'étude acoustique seraient trop importants.

Pour coïncider avec les données trafic, les réseaux routiers et ferroviaires sont redécoupés en **fonction du type de route** (autoroute, sortie d'autoroute, route de ville, etc.), **de la vitesse**. Pour avoir la meilleure précision possible, **chaque voie circulée est représentée par un axe**.

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique | Données nécessaires à une étude acoustique : données entrantes

Topographie

La topographie est **essentielle pour la simulation de la propagation acoustique**. Par exemple, si le terrain forme un écran naturel, il est possible qu'il n'y ait pas besoin de protection sonore.

La topographie est aussi **l'un des entrants les plus complexes à traiter** :

Traitement de la topographie	
1.	L'acousticien reçoit plusieurs parties de MNT avec des précisions différentes en fonction du besoin et de l'évolution du projet. Ces MNT doivent être assemblés pour avoir une topographie continue. Cette étape se fait manuellement et prend beaucoup de temps.
2.	L'acousticien doit s'assurer de la bonne cohérence du terrain, et notamment qu'il n'y ait pas de trou ou autre.

La topographie est une donnée très dynamique qui évolue en fonction des besoins. Il arrive souvent que de nouveaux relevés de géomètres arrivent pour avoir plus de précision sur certaines zones.

Cas particulier de la tranchée couverte

Les tranchées couvertes sont des **tronçons de route ou de réseau ferroviaire**. Elles ont des caractéristiques acoustiques particulières, une sortie de tunnel par exemple.

Ces tronçons doivent alors être renseignés dans l'outil de modélisation acoustique.

Les caractéristiques de la propagation sont :

- calculées à part,
- importées dans l'outil CadnaA pour le calcul.

Les acousticiens reçoivent les plans avec les coupes et positions des tranchées couvertes. Ils peuvent alors modéliser une source ponctuelle de bruit représentant l'impact de la tranchée couverte. La tranchée couverte n'est pas représentée, la topographie est fermée.

Caractérisation du bâti

Les données sur le bâti permettent de **mesurer l'impact acoustique d'un projet d'infrastructure sur les habitations**. Pour l'étude acoustique, le bâti est catégorisé par 5 classes :

- habitation,
- bureaux,
- bâti à vocation d'enseignement,
- autre.
- bâti de santé,

Ces catégories sont différentes de celles utilisées par l'IGN dans sa base de données BDTopo®. L'acousticien doit ainsi renseigner manuellement la classe de chaque bâti.

Le niveau de détail des données du bâti dépend de la zone du projet.

Niveau de détail des données du bâti	
Pour une zone rurale...	... la donnée de l'emprise du bâti avec la hauteur est suffisante pour l'extrusion. Dans certains cas, une extrusion avec une hauteur générique peut être suffisante. Ainsi il n'y a même pas besoin de caractéristique z.
Pour une zone urbanisée...	... il y a besoin d'avoir une plus grande précision sur le bâti. Dans ce cas, il est intéressant d'avoir une géométrie plus précise avec la toiture. Cela correspond au LOD2 de CityGML.

Voirie et réseau ferroviaire existant

Le réseau existant permet de faire la simulation de l'état initial pour le calage de l'outil CadnaA. Les données proviennent généralement des relevés terrain. Il peut y avoir des modifications du réseau existant en fonction du projet. Dans ce cas, ces modifications font partie du projet d'infrastructure.

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique | Données nécessaires à une étude acoustique : données entrantes

Caractérisation du trafic pour la prise en compte des émissions sonores

Les données trafic à renseigner sont les suivantes :

Données trafic	
Pour l'étude acoustique...	... il faut beaucoup de données sur le trafic, notamment pour les routes.
Pour l'étude initiale...	... il faut des données de l'état actuel qui peuvent être obtenues par comptage.
Pour l'étude projet...	... il faut des données à plusieurs périodes : <ul style="list-style-type: none"> à l'étude, à la mise en service, à la mise en service + 20 ans, parfois aussi à une période intermédiaire pour de grands projets (comme la L2 à Marseille).

Les types de données sont :

- le trafic sur les périodes : 6 h-22 h, 22 h-6 h, parfois 18 h -22 h (soirée)
- le pourcentage de PL (poids lourds).
- la vitesse normale d'évolution des VL (véhicule léger) et des PÉTROLE.

Les données doivent être moyennées. Leurs provenances sont décrites ci-dessous.

Les données peuvent provenir...	
... de comptage	Des capteurs sont placés sur la zone d'étude pendant chacune des heures d'une journée entière. Alors, les données sont traitées pour faire : <ul style="list-style-type: none"> une moyenne jour (6 h-22 h), une moyenne nuit (22 h-6 h).
... ou de données TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel)	Dans ce cas-là, le BE acoustique applique son propre traitement en fonction d'une note SETRA (une note de l'État pour calculer le trafic).

Cas particulier du trafic ferroviaire

Le trafic pour le ferroviaire prend en compte :

- Le type de rame, dont les caractéristiques sont renseignées dans la bibliothèque CadnaA.
- Le nombre de passages des trains selon les périodes et leurs vitesses.

Zones d'études

Les zones d'études sont **définies par la MOA**. Elles précisent les zones où il y a **besoin d'une étude acoustique**. Ces aires d'études peuvent évoluer, car des riverains ou des élus peuvent demander des études complémentaires. Ces données sont rarement importées dans CadnaA.

Plan d'eau

Le plan d'eau représente les surfaces d'eau. Elles ont un **impact sur la réflexion acoustique**. Si le plan d'eau n'est pas pris en compte, il est alors assimilé au terrain. Cela peut fausser le calcul de propagation du son.¹³

Éléments verticaux linéaires

Les éléments verticaux linéaires sont tous les éléments qui peuvent avoir un impact sur la propagation du bruit. Ainsi on peut retrouver des éléments comme des :

- écrans acoustiques,
- murs de clôture/séparation,
- GBA,
- Etc.

C'est à l'acousticien de choisir les éléments pertinents à importer ou à modéliser lui-même dans CadnaA.

¹³ Cependant, il n'est pas toujours pris en compte, car dans certains cas il est négligeable pour les calculs.

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique | Données nécessaires à une étude acoustique : données entrantes

Conditions météorologiques	<p>Les conditions météorologiques ont un impact à moyenne et à longue distance sur la propagation du bruit.</p> <p>Les données sont enregistrées dans la base de données de l'outil acoustique. Ces données probabilistes représentent la direction du vent selon les différentes tranches horaires. CadnaA possède dans sa base de données les données météorologiques de différentes villes.</p>
Végétation	<p>La végétation n'est pas une caractéristique prise en compte pour les études acoustiques. En effet, elle joue un rôle minime sur la propagation du bruit.</p> <p>Cependant, il est intéressant de la prendre en compte pour les futures études d'impact écologique sur la faune. Ce point est évoqué dans <i>MINnD, UC 6.1 : Infrastructures et bruit Tranche 1, 2015</i>. En effet, le bruit a un impact sur la faune. Il est ainsi intéressant de savoir si le bruit de l'infrastructure a une conséquence sur l'utilisation de l'écopont par la faune. Et ce, en fonction du type de faune.</p>
Réglementation	<p>La réglementation qui s'impose est le <i>Code de l'environnement</i> et plus précisément le <i>titre VII du livre 5, « Prévention des nuisances sonores »</i> (Légifrance, 2005).</p> <p>D'autres réglementations s'imposent comme :</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>L'arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières</i> (Légifrance, 1995). • <i>La circulaire du 12 décembre 1997 pour la création de voies nouvelles ou la modification de routes existantes</i> (ministère de l'Équipement, 1997). <p>La réglementation n'est pas comme les autres données entrantes. C'est à l'acousticien de la connaître pour pouvoir interpréter les résultats de l'outil et proposer des solutions.</p>

Données sortantes d'une étude acoustique	<p>Les sortants de l'étude vont être les entrants d'autres BE. Les principales données sortantes sont les suivantes :</p>												
Export des données	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr style="background-color: #333; color: white;"> <th colspan="2">Données sortantes de l'étude acoustique</th> </tr> <tr style="background-color: #0070c0; color: white;"> <th>Nature de la donnée</th> <th>Type</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mesures protectrices (murs, merlons, etc.)</td> <td>Dynamique</td> </tr> <tr> <td>Mesures prévisionnelles du bruit</td> <td>Dynamique</td> </tr> <tr> <td>Emplacement des récepteurs acoustiques</td> <td>Dynamique</td> </tr> <tr> <td>Liste des bâtiments qui nécessitent une isolation de façade</td> <td>Dynamique</td> </tr> </tbody> </table> <p>CadnaA ne permet pas l'export du modèle. Il est possible d'exporter des tableaux avec les identifiants des entités (trafics, etc.). En revanche, il n'est pas possible d'exporter :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le bâti, • le relief, • le ferroviaire, • les routes. <p>Tout le traitement géométrique des données dans l'outil CadnaA ne peut pas être exporté. Cela empêche de réutiliser ces données traitées par d'autres BE, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le BE qualité de l'air, • le BE chargé d'une maquette numérique de synthèse. 	Données sortantes de l'étude acoustique		Nature de la donnée	Type	Mesures protectrices (murs, merlons, etc.)	Dynamique	Mesures prévisionnelles du bruit	Dynamique	Emplacement des récepteurs acoustiques	Dynamique	Liste des bâtiments qui nécessitent une isolation de façade	Dynamique
Données sortantes de l'étude acoustique													
Nature de la donnée	Type												
Mesures protectrices (murs, merlons, etc.)	Dynamique												
Mesures prévisionnelles du bruit	Dynamique												
Emplacement des récepteurs acoustiques	Dynamique												
Liste des bâtiments qui nécessitent une isolation de façade	Dynamique												
Des données dynamiques	<p>Toutes les données sont dynamiques, car les protections sonores peuvent être amenées à évoluer en fonction :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Du retour des autres BE, par exemple avec le GC s'il y a un problème de clash avec des réseaux. • Du client si les protections sonores demandent une emprise trop importante, ou encore si le prix est trop élevé. 												

5.3 Définition des exigences de l'étude acoustique | Données sortantes d'une étude acoustique

**Modalités de
présentation des
données sortantes...**

Les sortants de l'étude sont **principalement des cartes**. Elles permettent de **visualiser** les bâtiments à isoler et les mesures prévisionnelles du bruit. Des cartes sont créées pour chaque cas :

- état initial jour et nuit,
- état futur sans protection jour et nuit,
- état futur avec protection jour et nuit.

La maquette 3D permet de visualiser tous ces différents impacts en choisissant les couches à afficher. De plus la visualisation est plus facile. Cela permet de simplifier la prise de décision. Il est toujours possible d'utiliser la maquette pour extraire des cartes.

**Historisation
des données**
Une donnée complexe...

Le besoin d'historisation est fort. Il s'inscrit dans la démarche BIM de capitalisation des données engendrées pendant l'étude.

**... qui possède
plusieurs avantages**

L'historisation des données est assez complexe et **demande une étude à part**. Ainsi, la présente partie a pour objectif de montrer l'intérêt et d'identifier certains sortants intéressants pour l'historisation.

L'historisation des données a plusieurs avantages identifiés par *Ruas* (2007) :

- Assurer la pérennité des données.
- Analyser les éventuels changements.
- Faire évoluer les données.
- Utiliser ces données pour d'autres projets.

**Données intéressantes
à historiser**

Ainsi parmi les données intéressantes à historiser pour pouvoir comprendre les choix qui ont été faits, il y a pour les différents scénarios :

Données intéressantes à historiser

Les hypothèses de l'étude	Trafic Conditions météorologiques
Les résultats (avant et après les protections)	Récepteurs et leurs mesures sur les bâtiments ou encore les isophones
Les mesures protectrices	Protections sonores (murs et merlons)

**Cas particulier
des données
de trafic**

Les données du trafic illustrent la complexité de l'historisation. En effet, les données prévisionnelles du trafic sont calculées par un bureau d'étude avec certaines hypothèses. Ainsi, ces données qui sont un entrant de l'étude acoustique ont aussi des hypothèses pour leurs calculs. L'historisation devient compliquée, car les données sont liées les unes avec les autres. Il faut alors pouvoir identifier le scope de l'historisation.

**Les perspectives
d'amélioration :
objectif du BIM Use**

Il est important d'identifier quelles sont les perspectives d'amélioration que le BIM pourrait apporter à une étude acoustique telle qu'on la conduit actuellement. Les points qui ont été relevés sont les suivants :

Perspectives d'amélioration du BIM Use

Permettre de mutualiser le traitement des données entre les différents BE et limiter les traitements manuels des données par l'acousticien.
Utiliser des formats ouverts pour permettre une meilleure interopérabilité avec les outils et la pérennité des données.
Permettre le suivi de l'information pendant tout le projet.
Faciliter la visualisation des sortants de l'étude acoustique pour permettre une meilleure prise de décision.

6. METHODOLOGIE DE L'ETUDE

Préambule : déroulement de l'expérimentation

L'expérimentation se fait sur le standard **CityGML**, car l'InfraGML n'est pas encore implanté. Elle se décompose en deux parties :

1. Une première partie traitant de l'interopérabilité entre les différents outils.
2. Une seconde sur le traitement d'un cas d'usage d'une étude acoustique.

6.1. Données récupérées pour l'étude

Des données différentes selon la phase de l'expérimentation

Les données utilisées dépendent de la phase de l'expérimentation :

Phase de l'expérimentation	Données utilisées
Analyse des logiciels	Données CityGML de la Ville de Bruz.
Étude de cas acoustique	Données du projet de la L2 à Marseille. Ces données sont aussi utilisées pour la base de données CityGML afin de visualiser les sortants de l'étude acoustique.

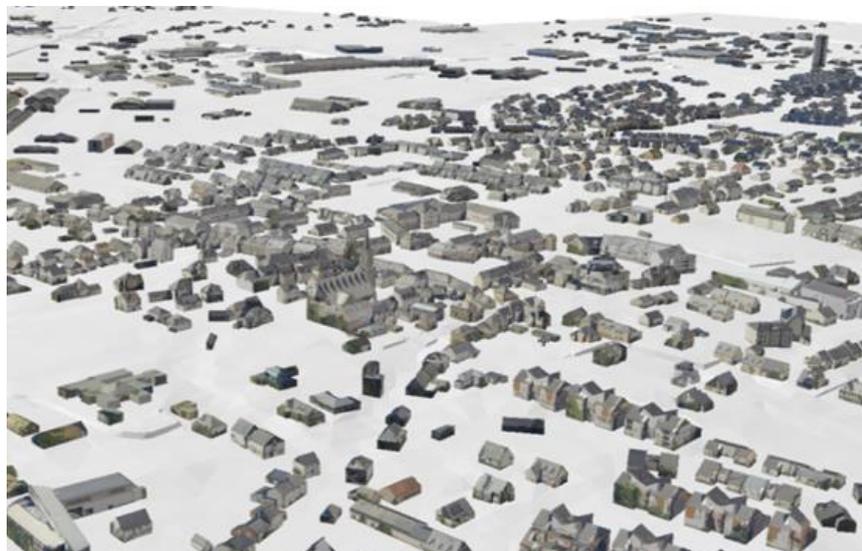
Données CityGML de la Ville de Bruz

Maquette numérique de la ville de Bruz

La première donnée recueillie est une maquette numérique de la ville de Bruz, située dans la métropole de Rennes (voir illustration ci-dessous).

Cette maquette a été réalisée conjointement avec la ville de Rennes et l'IGN. Elle est utilisée dans le projet Future Cities phase 1 (FCP1) pour tester l'interopérabilité entre l'IFC et le CityGML avec l'extension GeoBIM. Elle est composée de 2 couches :

- Le terrain naturel représenté par un TIN¹⁴.
- Le bâti en LOD 2.



Représentation du sol non texturé et bâti texturé de la Ville de Bruz en CityGML

Autres données utilisées

En plus de ces données CityGML, l'IGN a fourni la BDTopo®, la BDParcellaire®, le MNT de la Ville de Bruz. Cela permet d'examiner l'export d'un MNT en CityGML.

¹⁴ TIN : Triangulated Irregular Network, surface triangulée permettant de représenter diverses entités. Elle est souvent utilisée pour représenter le relief du terrain.

6.1 Données récupérées pour l'étude

Données de la L2 Nord

Le projet de la L2 à Marseille vise à connecter les autoroutes A7 et A50, comme nous pouvons le voir ci-dessous :



Tracé du projet de la L2. Source : (L2-Marseille)

Rôle d'EGIS dans ce projet

EGIS avait plusieurs rôles sur ce projet. Il avait notamment le rôle de **maître d'œuvre intégrée** auprès du groupement de constructeurs de la L2. Ce groupement était chargé de la conception et de la construction.

Maquette numérique de synthèse de la L2 Nord

En 2015, **Egis remporte le BIM d'argent dans la catégorie infrastructure pour l'utilisation de la maquette numérique**. Nous vous présentons cette maquette ci-dessous :



Maquette numérique de synthèse de la L2 Nord. Cette maquette a été utilisée pour un audit de sécurité routière

Caractérisation de la MN :

Constructeurs	Vianova (éditeur de solutions logicielles 3D), associé à EGIS
Contenu	Géométrie et sémantique
Limites de cette maquette	Elle est modélisée via un outil. Elle est uniquement visualisable par un viewer particulier. Les informations sont difficilement exploitables.

6.1 Données récupérées pour l'étude | Données de la L2 Nord

Autres données utilisées

Parmi les nombreuses données du projet, nous utilisons les **données déjà traitées pour l'acoustique**. Cela permet de faciliter la construction de notre maquette numérique.

Les **données utilisées pour la maquette numérique** sont les suivantes :

Sortants utilisés	Commentaires
MAINTENANCE	Plusieurs types de modélisation du terrain : TIN, ligne de rupture, etc.
Bâtiments et pans de toitures	
Projet routier	Le projet routier représente le tracé de la route, les échangeurs, les raccordements.
Réseau existant, routier et ferroviaire	

Nous utilisons aussi certains sortants de l'étude :

Sortants utilisés	Commentaires
Mur acoustique	Il est composé de la géométrie en DWG et des spécifications qui sont au format texte.
Isophones (carte du bruit)	Ils sont en format <i>shapefiles</i> et représentent les niveaux de bruit sur la zone d'étude.

6.2. Présentation des outils

Introduction

Les outils SIG et Génie civil choisis par le groupe MINnD sont des outils actuellement utilisés dans le domaine des infrastructures. Des logiciels libres conçus pour le standard CityGML sont aussi utilisés.

Outils métiers retenus

Nous vous présentons ci-dessous les outils métiers de l'expérimentation.

Infraworks

Infraworks est un logiciel propriétaire d'Autodesk. Axé infrastructure, il permet l'import de nombreux formats. Bien qu'il ne soit pas couramment utilisé, Infraworks permet de faire le lien entre les autres outils Autodesk comme Navisworks et Civil 3D.

Civil 3D

Civil 3D est aussi un logiciel Autodesk utilisé dans la conception et permettant le design des infrastructures en 3D. Il permet de :

- Gérer l'alignement des infrastructures.
- Traiter les données du terrain.
- Faire des rendus 3D des infrastructures.
- Créer les surfaces TIN.

ArcGIS

ArcGIS est un logiciel propriétaire développé par ESRI. Il s'agit de l'un des outils SIG les plus connus. En effet, ses formats propriétaires sont largement utilisés dans le domaine de la conception d'infrastructure.

Nous utilisons ArcGIS **avec l'extension *Data Interoperability* de FME** afin :

- d'importer et exporter du CityGML,
- de créer des transformations via l'ETL (*Extract Transform & Load*) Tool.

De plus, avec FME Data Inspector, nous pouvons visualiser de nombreuses données après et avant transformation.

QGIS

QGIS est un logiciel libre développé par la communauté OSGeo. Il s'agit d'un logiciel SIG avec de nombreuses extensions. Il peut être **l'alternative à ArcGIS dans certains cas**. Il est utilisé chez EGIS Environnement par les non-cartographes pour réaliser des actions comme la visualisation.

QGIS ne permet pas de visualiser les données en 3D. Il existe un plug-in qui permet d'ajouter une composante z et visualiser l'extrusion dans une nouvelle fenêtre. Cependant, cela n'est pas suffisant.

6.2 Présentation des outils

Outils open source conçus pour le CityGML**FZKViewer**

Nous vous présentons succinctement ci-dessous les outils open source conçus pour le CityGML.

FZKViewer est un logiciel libre développé par *Karlsruhe Institute of Technology* (KIT). Il permet de **visualiser les formats IFC, CityGML, gbXML**. C'est un des rares outils qui offrent la possibilité d'afficher les différents LOD de CityGML. Ce logiciel est très fiable. Il est ainsi utilisé comme garant de l'intégrité des modèles CityGML.

3DCityDataBase

3DCityDB est un logiciel libre développé par l'université de Bonn avec :

- Virtualcity SYSTEMS,
- M.O.S.S. Computer Grafik System GmbH,
- l'université technique de Munich.

Cet outil permet :

- d'importer un modèle CityGML dans un système de gestion de base de données spatiales (SGBD : PostGIS/PostgreSQL ou Oracle),
- de manipuler facilement le CityGML,
- de l'extraire,
- de l'exporter en KML/Collada/gltf.

CityGML4j

CityGML4j est une bibliothèque Java développée par l'université technique de Berlin.

Elle permet de faciliter la lecture et l'écriture du code XML de CityGML. Cet outil est utilisé pour :

- S'assurer de la bonne conversion.
- La construction de certains éléments qui ne peuvent pas être convertis par les logiciels standards.

Il est utilisé avec un *XML reader*, un outil qui permet d'ouvrir un fichier XML pour consulter le code.

6.3. Analyse des outils métiers et CityGML

Récapitulatif des possibilités des différents outils

La première étape est d'examiner parmi les outils sélectionnés lesquels peuvent importer, visualiser, et exporter du CityGML. Ainsi nous nous proposons ci-dessous le récapitulatif des possibilités des différents outils sur le marché.

Il est à noter que ce n'est pas une comparaison des outils. Ils sont tous différents et ne sont pas utilisés dans les mêmes domaines.

Action	Import CityGML		Export CityGML	Commentaire
	Natif	Conversion		
Outils métiers				
Infraworks	Non	IMX	Non	L'import est possible via le Cloud, mais : <ul style="list-style-type: none"> les données sont converties avant l'import, il faut spécifier les correspondances entre le modèle utilisé par Infra-works et CityGML. Il est possible de télécharger un logiciel gratuit pour cette conversion.
ArcGIS	Non	Multipatch, gdb	Oui via l'ETL de Data Interoperability	Via Data Interoperability. L'import peut se faire via Quick Import, mais l'export doit passer par un workbench FME qui doit être créé par l'utilisateur.
QGIS	Non	Non	Non	L'outil importe et exporte le GML, mais ne supporte pas la 3D. Il est alors impossible d'utiliser le modèle CityGML.
Civil3D	Non	Non	Non	L'import et l'export CityGML ne sont pas possibles, mais Civil3D permet d'importer le format GML.
Outils CityGML				
FZKViewer	Oui	Non	Non	Outil qui sert juste à la visualisation des données. Il permet d'afficher les attributs des bâtiments.
3DCityDB	Oui	Non	Oui	Outil qui permet d'importer le modèle CityGML dans une BDD Postgresql et de l'exporter ou de le convertir pour l'afficher sur une <i>Web map</i> .

Limites des outils conçus pour éditer les données

Cette première analyse permet d'identifier les outils qui peuvent être utilisés dans les expérimentations.

On remarque que les outils conçus pour éditer les données et qui importent le CityGML (ArcGIS et Infraworks) demandent de convertir les données. Alors :

- il n'est pas possible de travailler en natif dans le standard CityGML,
- il faut passer par des conversions de données.

Exemple

Pour éditer la donnée CityGML, il faut convertir en géodatabase (gdb), éditer la donnée puis la reconverter en CityGML. Les outils limitent le workflow.

6.4. Analyse de l'interopérabilité

Identification de caractéristiques intéressantes...

Cette première expérimentation vise à préparer le BIM Use acoustique, pour vérifier l'interopérabilité des outils avec le standard CityGML. Ainsi, nous avons identifié certaines caractéristiques (non exhaustives) intéressantes pour une étude acoustique. Ces caractéristiques sont à étudier pendant l'analyse de l'interopérabilité. Elles portent sur la conservation :

- des *Terrain Intersection Curve* (TIC, ligne de rupture qui délimite l'intersection entre le relief et le bâtiment),
- de la sémantique et des attributs,
- de la texture,
- de l'intégrité des MNT.

... à partir des données CityGML de Bruz

Cette étude se fait avec les données CityGML de la Ville de Bruz, fournies par l'IGN. Cela permet d'utiliser des données réalisées avec des procédés qui peuvent être appliqués aux projets d'infrastructure.

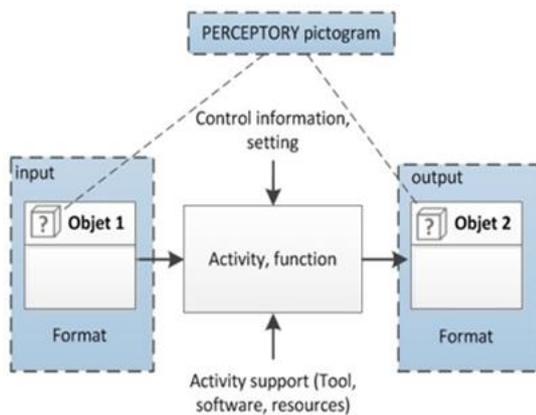
Nous aurions pu utiliser les exemples de modèle CityGML que l'on peut trouver sur le site CityGML (CityGML.org). Mais il est préférable d'utiliser des données dont le procédé d'acquisition est connu et renouvelable.

... en utilisant le formalisme de Tolmer

Afin de faciliter la compréhension, nous utilisons le formalisme proposé par Tolmer (2016) qui est composé de trois autres formalismes :

- l'UML pour formaliser les interactions,
- le SADT pour schématiser les opérations,
- PERCEPTORY composé de pictogrammes permettant de représenter la dimension de l'objet.

Le schéma ci-dessous montre l'utilisation de ces formats. L'annexe n° 4 décrit un exemple.



Formalisme proposé par Tolmer (2016)

Objects in a 2D universe	become in a 3D universe:	
	flat objects or objects draped on a DTM	objects with height or thickness
		
		
		

Pictogrammes PERCEPTORY

... qui sont décrites dans les prochaines parties

Nous détaillons les différents éléments de l'étude dans les prochaines parties.

6.4 Analyse de l'interopérabilité

Conservation des Terrain Intersection Curve

Représentation sous la forme d'une ligne de rupture

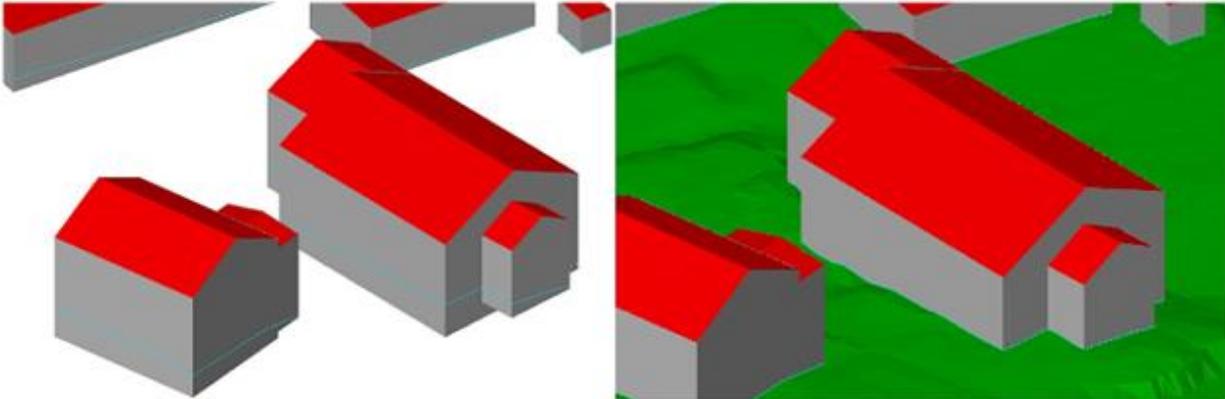
La conservation des *Terrain Intersection Curve* (TIC) permet de garder la cohérence des objets 3D en changeant la topographie du terrain.

La TIC d'un bâtiment est une ligne de rupture (voir représentation ci-dessous) qui représente **l'intersection entre le sol (le MNT) et le bâtiment**.

Cela permet :

- d'éviter que le bâti soit au-dessus ou en dessous du MNT,
- de modéliser un sous-sol qui serait bien en dessous du MNT.

Bien qu'elle ait un impact sur le terrain, elle est rattachée aux bâtiments.



Exemple des TIC : la ligne de rupture turquoise sépare le terrain et le bâtiment. Source : (Jokela, 2016)

Une valeur ajoutée pour le domaine des infrastructures

Évaluation de la conservation des TIC

Aspects étudiés

Déroulement de l'expérimentation

Les TIC sont très intéressantes pour le domaine des infrastructures. En effet, les MNT changent souvent et il ne faut pas que ce changement invalide le modèle.

De plus, l'outil acoustique peut importer les TIC. Ainsi, cela favorise la modélisation de l'environnement.

Afin d'évaluer la conversion des TIC, nous renseignons manuellement les *TerrainIntersection* (en LOD 2) sur certains bâtiments.

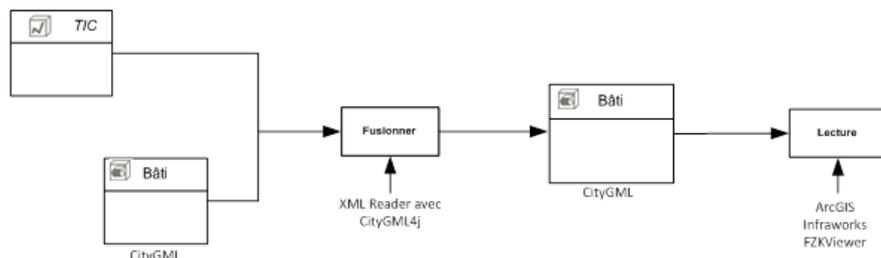
Plusieurs aspects sont étudiés :

- Est-ce qu'il y a une prise en compte des *TerrainIntersection* par les logiciels ?
- Que se passe-t-il en cas de changement de MNT ?

L'expérimentation se découpe en trois parties :

1. La première partie permet d'ajouter à l'échantillon de données les *TerrainIntersection* qui délimitent l'intersection du bâtiment et du MNT.
2. La deuxième partie permet de voir si les logiciels (Arcgis et Infracore) peuvent lire ces *TerrainIntersection*.
3. La dernière partie vise à importer le MNT afin de voir s'il est possible de recalculer le MNT en fonction de ces *TerrainIntersection* sur Civil3D et ArcGIS.

Seule l'étude de l'import est faite.



Insertion de la ligne d'intersection sur un bâtiment afin d'étudier si les outils peuvent importer cette donnée

6.4 Analyse de l'interopérabilité

Sémantique et attributs

La sémantique : un des avantages majeurs de CityGML

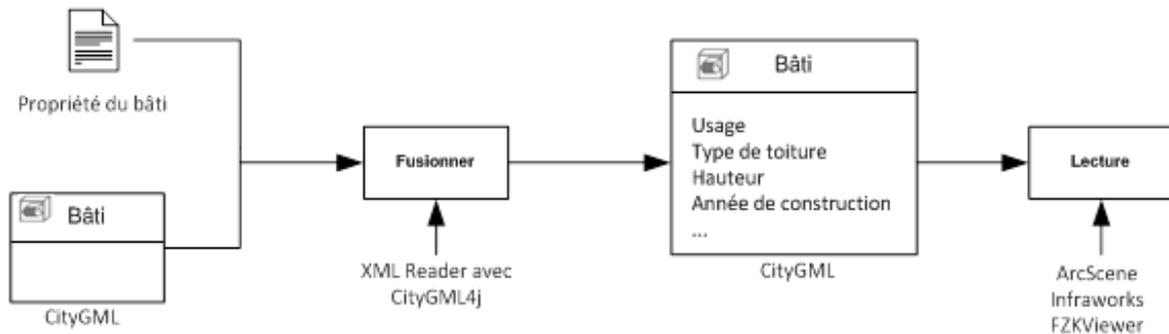
Contrôle pour l'import

Il est essentiel de conserver la sémantique des objets. En effet, il s'agit de l'un des avantages majeurs du standard CityGML d'avoir la géométrie en lien avec la sémantique.

Ainsi, nous voulons contrôler si pendant l'export ou l'import il peut y avoir une perte des données. Nous contrôlons l'intégrité de la sémantique sur le bâti et les routes. Cela nous sert à préparer l'étude de cas acoustique.

Pour l'import (schéma ci-dessous) :

1. Nous utilisons le bâti CityGML en ajoutant des attributs (Année de construction, hauteur, etc.).
2. Nous importons ces données dans ArcGIS et Infraworks afin d'examiner si ces outils peuvent lire les attributs des bâtiments.



Étude de la conservation des attributs du bâti lors de l'import sur FZKViewer, ArcScene et Infraworks

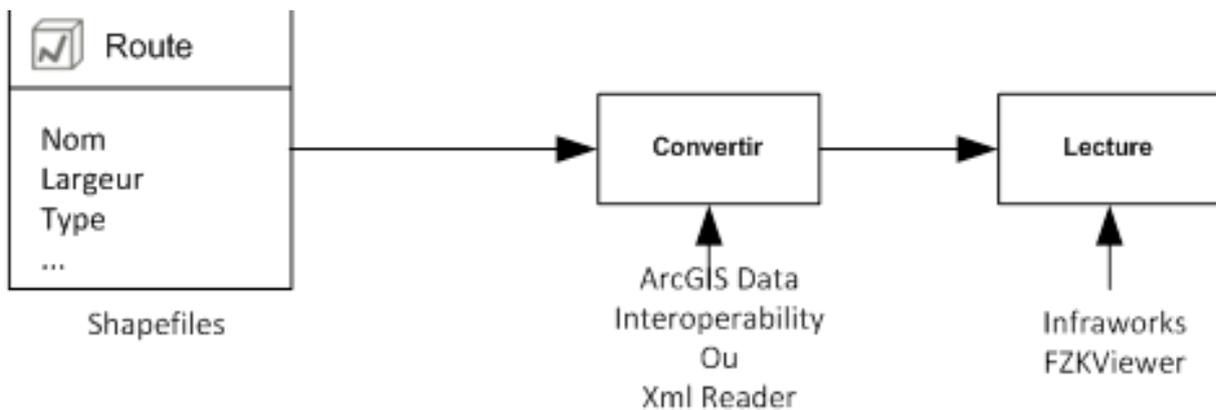
Contrôle pour l'export

Pour l'export (schéma ci-dessous), nous utilisons la couche route de la BDTopo® de l'IGN. Cette couche a déjà de la sémantique (largeur, type de voie, etc.).

L'export vise aussi à étudier les différentes possibilités d'ArcGIS. En effet, nous pouvons :

- soit exporter directement,
- soit utiliser l'ETL Tool pour spécifier ce qu'on veut exporter et comment.

La visualisation sur FZKViewer et Infraworks permet de s'assurer de l'intégrité de la conversion (géométrie et attribut).



Étude de la conservation de la sémantique et des attributs lors de l'export d'une route via ArcGIS et l'extension Data interoperability

6.4 Analyse de l'interopérabilité

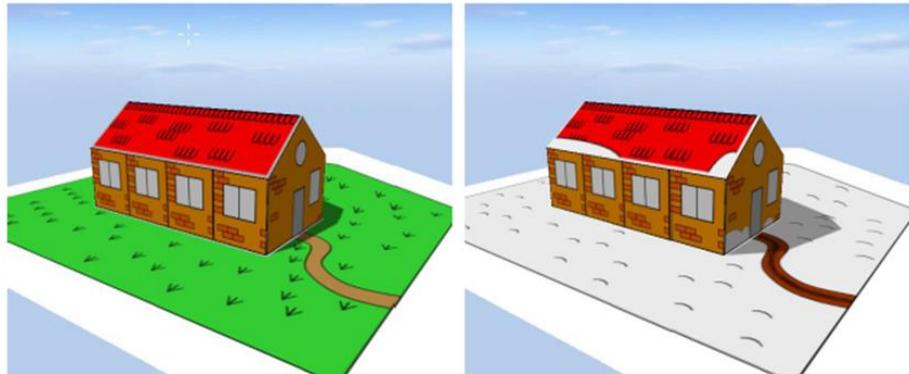
Texture**Avantages**

La texture permet :

- D'avoir un rendu réaliste.
- De faciliter la visualisation et la compréhension de la maquette numérique.
- De mettre en valeur certains aspects. En ce sens, elle ne représente pas juste l'aspect visuel de la maquette.

Possibilité de créer des thèmes

Nous avons même la possibilité de créer des thèmes afin de pouvoir afficher une texture en fonction du besoin. Par exemple, sur la figure ci-dessous, il y a deux thèmes (été et hiver) pour un même bâtiment.



Bâtiment avec une seule géométrie, mais deux thèmes avec des textures différentes
Source : (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

Il est mentionné dans le MCD de CityGML qu'il est possible de créer un thème acoustique afin d'afficher les sortants de cette étude. Il est donc important que la texture soit conservée pendant les différentes phases pour être visualisée.

Module Appearance de CityGML

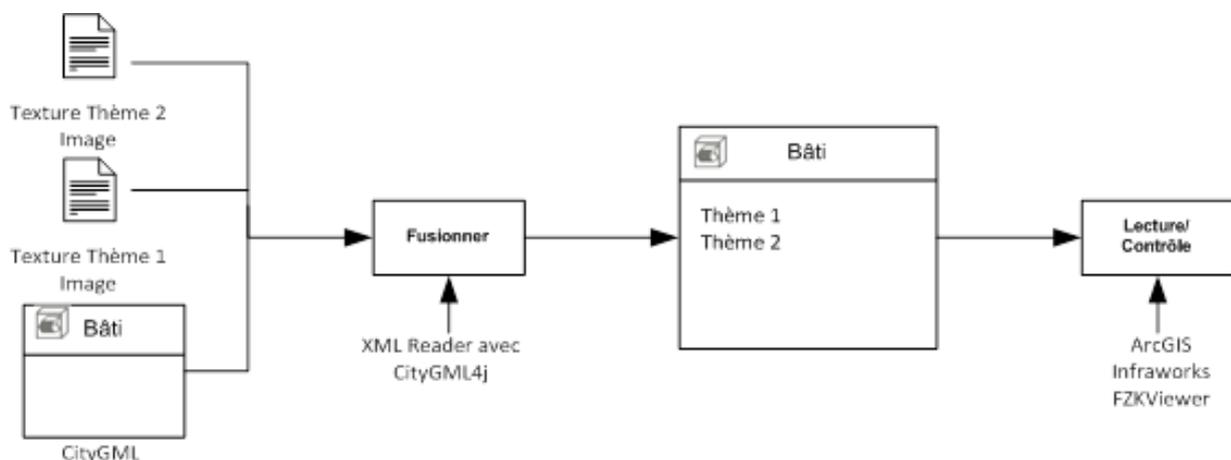
Le module *Appearance* de CityGML est séparé de la géométrie des objets 3D. C'est un module à part. Les images ne sont pas enregistrées dans le standard CityGML, mais dans un dossier.

Contrôle de l'importation et de l'exportation de la texture

Nous allons donc étudier comment les logiciels importent et exportent la texture :

- des bâtiments (structure complexe),
- du sol (structure plus simple).

Pour cela, nous utilisons les données CityGML du sol et du bâti qui sont déjà texturées. Il est aussi intéressant de voir comment se passe le choix de la texture entre deux thèmes dans les logiciels.



Ajout de deux thèmes de texture sur un même bâtiment afin d'examiner si les outils peuvent lire ces deux thèmes

6.4 Analyse de l'interopérabilité

Conservation de l'intégrité des MNT

Des données qui proviennent de plusieurs sources

Le Modèle numérique de terrain (MNT) est la donnée essentielle pour un projet. Elle est sujette à de nombreuses évolutions au cours du projet. En effet, il arrive souvent qu'il y ait besoin d'affiner le relevé du terrain.

Les données MNT proviennent souvent de plusieurs sources formes comme :

- les levés LIDAR,
- la photogrammétrie,
- l'intégration de BD IGN.

Il faut donc un standard avec beaucoup de flexibilité et qui peut s'adapter aux évolutions.

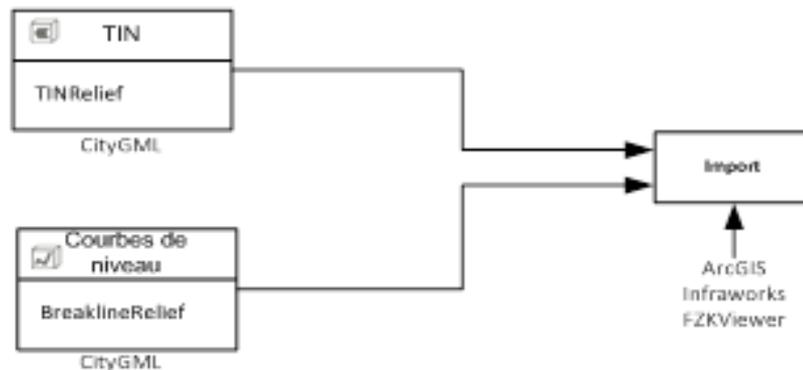
MNT utilisé

Nous utilisons le même MNT, mais sous différentes formes :

- En triangulated irregular network (TIN).
- En lignes de contour, courbes de niveau.

Contrôle de l'import des MNT sur les outils métiers

Il faut utiliser plusieurs types de MNT pour le BIM Use acoustique. Il est donc intéressant d'étudier l'import de ces MNT sur les outils métiers.



Import des différents types de MNT pour vérifier la conservation de l'intégrité des données du MNT

6.5. Étude de cas acoustique

Rappel du contexte

Nous avons étudié les études acoustiques dans la partie 4. L'objectif de cette étude est d'examiner la possibilité d'utiliser le modèle CityGML pour les données entrantes et pour les sortants d'une étude acoustique.

Présentation de l'outil CadnaA

L'outil **utilisé par les BE pour la simulation et modélisation acoustique** est CadnaA. Il s'agit d'un outil allemand développé par Datakustik (Datakustik, CadnaA - *State of the art Noise Prediction Software*, 2017). Il existe d'autres outils, mais c'est celui-là qui est utilisé chez Egis et Setec.

Maquettes numériques

Il y a deux maquettes numériques :

- Une maquette de l'environnement initial dont on détaille le traitement et l'import dans CadnaA.
- Une maquette projet qui reprend la maquette de l'environnement initial avec le projet d'infrastructure. Elle sert à visualiser les sortants de l'étude acoustique.

Étapes de l'étude acoustique

Nous allons détailler les étapes de cette étude acoustique :

1.	Traitement des données et l'export en CityGML
2.	Import des données avec l'outil métier CadnaA
3.	Export des sortants pour la visualisation

6.5 Étude de cas acoustique

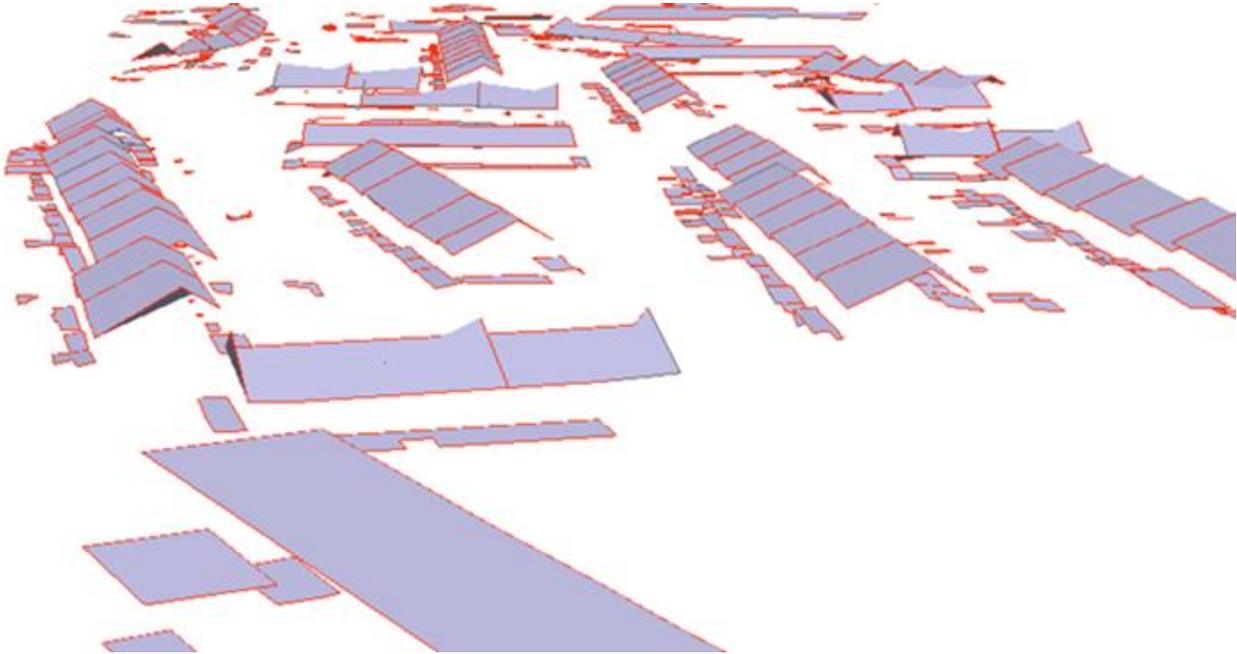
Traitement des données et conversion CityGML	<p>Nous modélisons l'environnement initial de la L2 avant le projet, car cette étape :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Est essentielle pour caler l'outil acoustique CadnaA en fonction des relevés. • Est celle qui demande le plus de traitement des données. En effet, les données sont réutilisées pour l'étude de l'impact projet.
Modélisation de l'environnement initial	
Choix de réaliser plusieurs fichiers CityGML	<p>Le standard CityGML permet de couvrir de nombreux entrants de l'étude acoustique. Nous réalisons alors plusieurs fichiers CityGML qui correspondent aux différents entrants.</p>
Choix de réaliser plusieurs maquettes	<p>On pourrait se demander pourquoi ne pas réaliser une maquette unique. Il est beaucoup plus flexible d'avoir plusieurs maquettes pour un projet et de les assembler en fin de projet. Cela permet de modifier plus facilement un fichier sans avoir à impacter les autres couches.</p>
Fichiers CityGML réalisés	<p>Nous allons donc réaliser 4 fichiers CityGML :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sol. • Route avec le trafic. • Bâti. • Ferroviaire avec le trafic.
Utilisation de l'extension ADE Noise	<p>Pour compléter le standard CityGML, nous utilisons l'extension ADE Noise qui permet de renseigner des informations acoustiques sur le modèle.</p>

Conception des fichiers...	<p>Nous allons détailler la conception des fichiers.</p> <p>La conversion se fait avec ArcGIS en créant les transformations via l'ETL FME qui est dans l'extension <i>Data Interoperability</i>.</p> <p>La construction de la maquette CityGML est partie intégrante de l'expérimentation. Elle permet de mettre le standard CityGML en situation réelle. C'est l'une des tâches les plus compliquées. En effet, le processus d'acquisition des données du projet de la L2 n'est pas fait pour la conversion CityGML. Si c'était le cas, on pourrait espérer des entrants CityGML.</p>
... pour le sol	<p>Les données topographiques d'une infrastructure sont très complètes. Elles proviennent de diverses méthodes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • levés topographiques classiques (levés laser terrestres ou aériens), • photogrammétrie, • digitalisation, • intégration de BD IGN comme explicité dans (MINnD, Cas d'Usage n° 4 : La Revue de Projet, 2015).
... pour le Bâti	<p>Le Bâti est une des données essentielles dans le cadre de la L2, un projet routier dans un contexte urbain dense.</p> <p>Le Bâti est dans le standard DWG. Il est représenté par l'emprise des pans de toit modélisé par une polyligne 3D.</p> <p>Les outils Arcgis et Civil 3D permettent de créer une surface avec ces polygones fermés. Ainsi, nous pouvons reconstituer une maquette CityGML du bâti en LOD 2 facilement en extrudant la toiture vers le terrain avec ArcGIS.</p> <p>Cependant, certaines données nécessitent un traitement préalable ou l'utilisation d'autres sources de données comme la BD TOPO (voir Figure 17).</p>

6.5 Étude de cas acoustique | Conception des fichiers...

... pour le Bâti

Il faut aussi renseigner les différentes classes pour les entrants de l'étude acoustique, mais aussi pour l'historisation. Ainsi, nous pouvons utiliser la sémantique CityGML pour l'UC. Cependant il reste à voir si CadnaA peut lire la sémantique CityGML.



Données entrantes du bâti. Le contour des toits (rouge) est la donnée récupérée.

La conversion en surface (mauve) se fait lors de l'export via Civil 3D en GML ou Shapefiles.

Dans certains cas, la surface n'est pas correctement générée. Il faut alors prévoir un retraitement des données.

... pour les routes

Le tracé de la route ne demande pas une grande précision pour l'étude acoustique. En effet, il n'y a pas besoin de conserver une géométrie détaillée, car il est utilisé comme source d'émission de bruit. Ce tracé est au format DWG. L'acoustique a besoin de l'axe de la route, de préférence l'axe de chaque voie.

Le trafic initial est renseigné grâce à l'ADE Noise qui permet de rajouter les principaux attributs nécessaires comme :

- le trafic routier (la journée et la nuit),
- le pourcentage de poids lourd (la journée et la nuit),
- la vitesse.

L'extension Noise permet d'ajouter d'autres attributs qui caractérisent la route, comme nous pouvons le voir dans le schéma ci-après.

6.5 Étude de cas acoustique | Conception des fichiers... pour les routes

... pour les routes

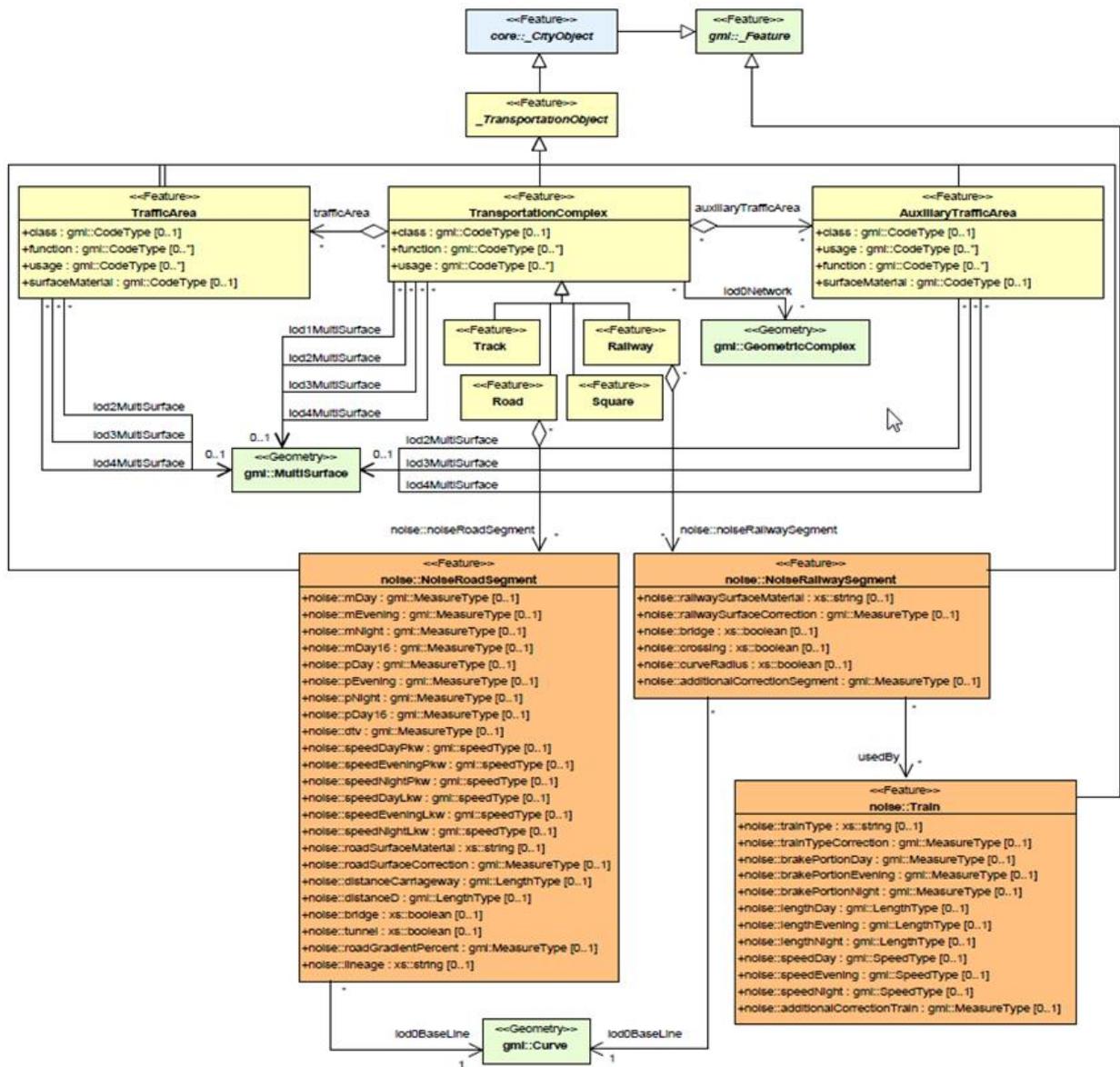


Schéma UML de l'ADE Noise pour la partie Transportation. Les classes en orange font partie de l'ADE Noise qui se rattache aux autres classes. NoiseRoadSegment fait partie de Road. Train fait partie de NoiseRailwaySegment qui fait partie de Railway.

Source : Annexe H1 (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

6.5 Étude de cas acoustique | Conception des fichiers...

... pour les voies ferrées

Les caractéristiques sont similaires aux routes. Il n'y a pas besoin d'une géométrie détaillée. Ainsi, **le standard CityGML peut être utilisé.**

Dans ce cas aussi **l'ADE Noise est utilisé**, même s'il **ne correspond pas aux données d'entrées de CadnaA**. En effet, CadnaA modélise le bruit de la voie ferrée en fonction du type de train, du nombre de passages de ce train pendant la journée et la nuit.

L'ADE Noise ne permet pas de renseigner le nombre de passages. Il renseigne :

- le pourcentage de voiture motrice (BrakePortion),
- la longueur,
- la vitesse (voir le précédent schéma).

Le type de train est dans la bibliothèque de CadnaA. Y figurent ses caractéristiques :

- pourcentage de voiture motrice par rapport aux nombres de voitures,
- longueur,
- et d'autres caractéristiques afin de calculer l'émission du bruit (Lm, E).

Théoriquement, CadnaA pourrait calculer le Lm, E. Cependant, l'ADE pour les voies ferrées ne correspond pas aux entrants de CadnaA à l'inverse de l'ADE pour les routes.

Au vu des possibilités des formats, l'objectif est d'arriver à un traitement des données tel qu'illustré dans l'annexe 5. Il est intéressant de le comparer avec l'annexe 3 où les données sont traitées dans CadnaA. En étudiant ces annexes, on remarque bien l'intérêt d'utiliser le standard CityGML.

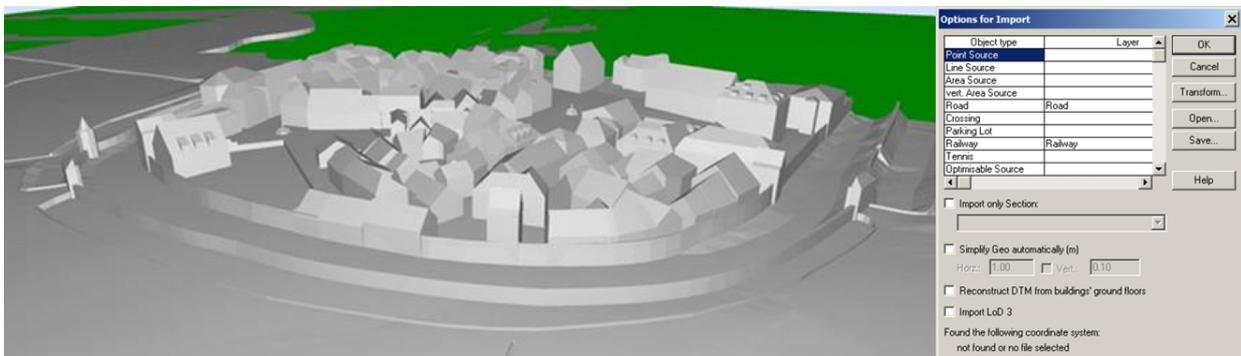
Import des données dans l'outil CadnaA

L'import CityGML ne conserve pas l'intégralité du modèle

L'outil CadnaA permet l'import CityGML comme spécifié sur le site de l'éditeur DataKustik.

Cependant, l'UC6.1 a montré que l'import CityGML ne conservait pas l'intégrité du modèle. En effet, CadnaA importait tout le modèle (route, bâti, sol, etc.) comme un seul et unique bâtiment, comme nous pouvons le voir dans le schéma ci-après.

Dans ce cas-là, il est impossible d'exploiter les données pour une étude acoustique. L'essai présenté dans le schéma ci-dessous a été réalisé en 2015. Il avait pour but de montrer qu'il était possible d'importer le standard CityGML sur CadnaA.



Import d'un modèle CityGML sous CadnaA en 2015
Source : MINnD, UC 6.1 : Infrastructures et bruit Tranche 1, 2015

Fenêtre d'import CityGML.
Source : Datakustik, CadnaA reference manual, 2017

6.5 Étude de cas acoustique | Import des données dans l'outil CadnaA

La géométrie détaillée du LOD 3 ne convient pas à CadnaA

Les équivalences CadnaA et CityGML doivent être respectées

Dans le manuel d'utilisation de CadnaA 2017 (*Datakustik, CadnaA reference manual, 2017*), il est évoqué que CadnaA peut importer du CityGML jusqu'au LOD 3. Cependant, il y est indiqué que le LOD 3 ne convient pas à cause de la géométrie trop détaillée. Cette dernière peut conduire à des erreurs dans la simulation.

Mis à part cet aspect, il n'est évoqué aucune spécificité d'import du standard CityGML.

Lors de l'import, l'outil CadnaA effectue une correspondance entre les objets CadnaA (*object type*) et la couche importée (*layer*). Ces équivalences sont explicitées dans le tableau ci-dessous.

Object type (CadnaA)	Layer (CityGML)
Road	Road
Railway	Railway
Building	Building (Part), RoofSurface
Barrier	CN*, NC* (CityFurniture)
Foliage	PlantCover
Contour line	Lod2TerrainIntersection, ReliefFeature, UL*
Area of designated use	LandUse
Auxiliary polygon	Autre

Si les équivalences ne sont pas respectées, alors l'outil ne peut pas ouvrir le standard CityGML.

On remarque que Contour line (l'élément qui va permettre de recréer le MNT) a des équivalences :

- avec la classe du relief (ReliefFeature),
- mais aussi avec la classe du bâtiment et les TIC (Lod2TerrainIntersection).

Le manuel précise aussi que c'est à l'utilisateur de spécifier les coordonnées des données importées. De plus, il n'est pas précisé si CadnaA peut importer la sémantique CityGML ou encore les apports de l'extension ADE Noise.

Le résultat de l'étude permet aussi :

- de mieux comprendre comment les classes CityGML sont importées dans l'outil CadnaA,
- de proposer des préconisations.

L'utilisateur doit spécifier les coordonnées des données importées

Le résultat de l'étude possède plusieurs avantages

Import des sortants dans le modèle...

... grâce à l'extension ADE Noise

Sortants identifiés

CityGML n'est pas fait pour échanger des informations sur les sortants d'une étude acoustique.

C'est pour cela que nous allons utiliser l'ADE Noise. Cette extension **permet d'étendre les capacités du standard.**

Parmi les sortants identifiés, nous retrouvons :

- Les protections sonores (murs, merlons).
- Les bâtiments qui nécessitent une isolation de façade.
- Les niveaux sonores prévisionnels (isophone, niveau de bruit sur les bâtiments).

6.5 Étude de cas acoustique

**Visualisation
des sortants CityGML...**

... grâce au
logiciel 3DcityDB...
... et la BDD CityGML

Cette partie vise à étudier l'apport d'une base de données CityGML pour un projet d'infrastructure.

Cette partie s'inscrit dans la continuité de l'étude de cas acoustique. Nous voulons visualiser facilement les sortants de l'étude :

- afin d'utiliser la maquette numérique pour la visualisation,
- pour interroger cette maquette sur le projet.

Nous utilisons le logiciel 3DCityDB Importer/Exporter. Il permet d'importer et exporter un modèle CityGML dans une base de données PostgreSQL.

La BDD CityGML est profitable pour les acteurs du projet (GC, BE, etc.), mais aussi pour les élus ou les habitants pendant les phases de concertation. Elle pourrait faciliter les éléments suivants :

Élément facilité	Description
Visualisation	La 3D permet de mieux comprendre un projet, surtout pour les acteurs qui n'ont pas l'habitude des plans techniques
Stockage des données	La BDD permet de centraliser les données essentielles dans une seule maquette.
Lecture du modèle 3D	Il suffit d'un navigateur et d'une connexion internet pour visualiser et interroger le modèle via 3DCityDB web map

7. RESULTATS

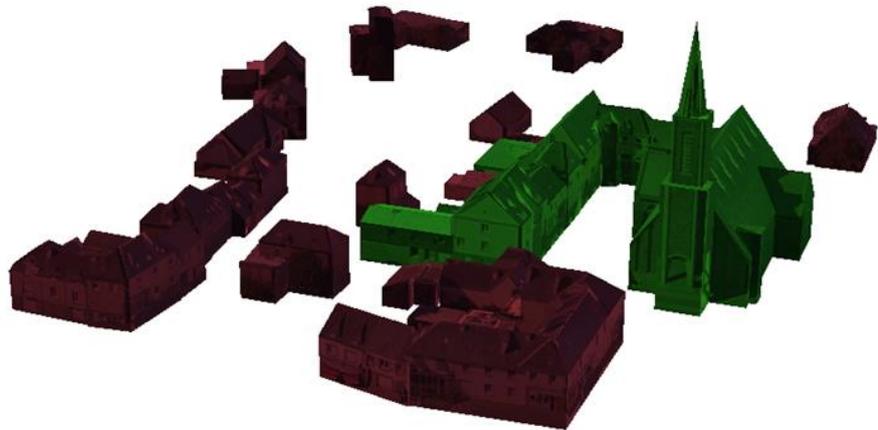
7.1. Analyse de l'interopérabilité

Plusieurs problèmes de sémantiques ont été identifiés

L'analyse de l'interopérabilité est effectuée sur un échantillon de données. En nous intéressant à la maquette CityGML de Bruz, nous remarquons certains problèmes de sémantiques :

- déjà soulevés par (*Biljecki, et al., 2016*),
- récurrents dans les modèles CityGML.

Par exemple, certains bâtiments ne sont pas séparés comme nous pouvons le voir ci-dessous. Ce problème peut être réglé par un traitement spécifique (mapping).



Analyse spatiale du modèle selon le type de bâtiment (habitation et église). Elle permet de voir que les bâtiments ne sont pas bien séparés.

Conservation de la sémantique...

... via [ArcGIS](#)

L'expérimentation est effectuée pour le bâti. Elle permet de comprendre comment les différents logiciels importent le modèle.

ArcGIS décompose le modèle en trois couches :

- le bâti entier (building),
- les murs,
- le toit.

C'est la couche building qui hérite tous les attributs.

... via [Infraworks](#)

Infraworks reconnaît la sémantique. Il place bien le modèle dans la classe bâtiment. Cependant, il n'y a pas de correspondance avec la table attributaire Infraworks.

... via [FZKViewer](#)

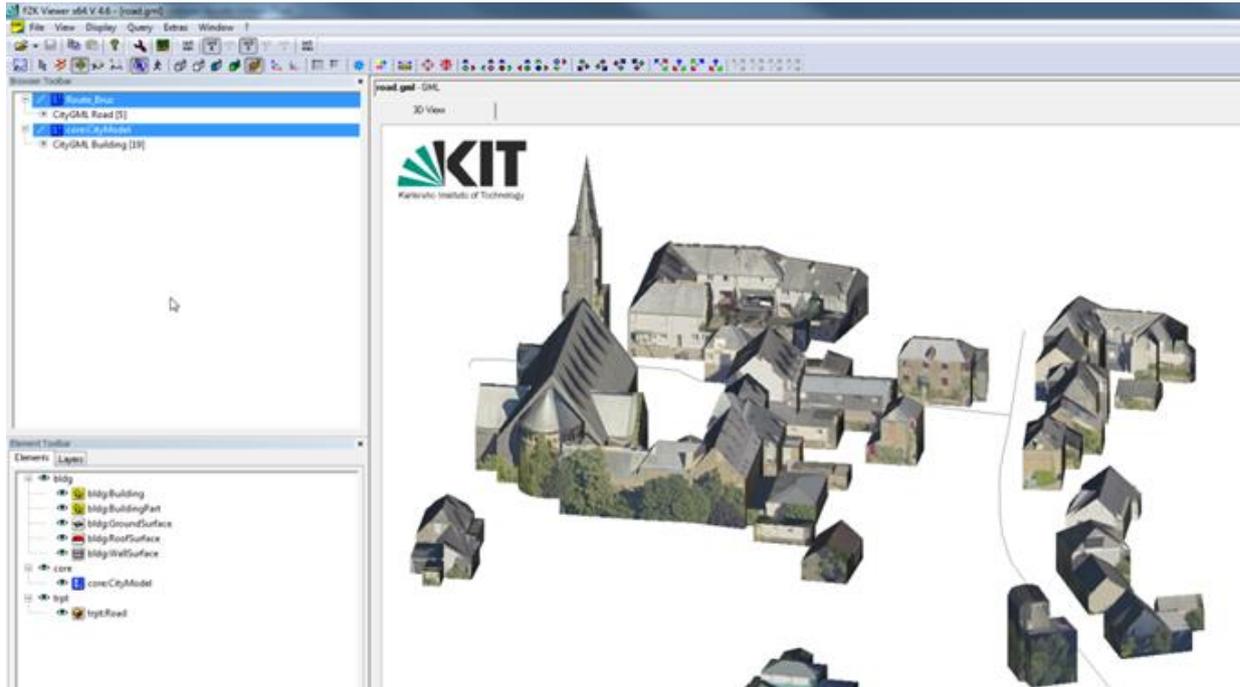
FZKViewer permet de se renseigner sur les attributs, mais uniquement ceux des bâtiments du modèle.

... via [Data Interoperability](#)

L'export en CityGML via Data Interoperability nécessite l'utilisation du workbench FME afin de paramétrer soi-même l'export.

Il est donc simple d'importer, mais l'export est plus compliqué.

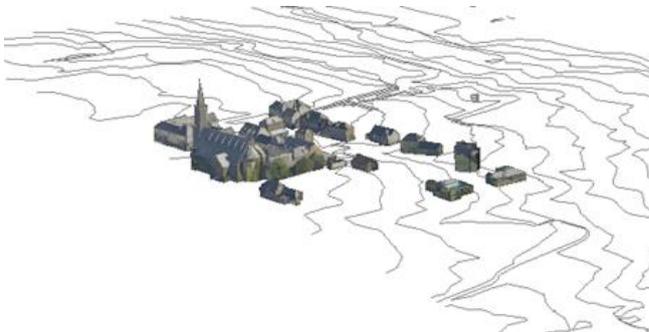
7.1 Analyse de l'interopérabilité | Conservation de la sémantique...



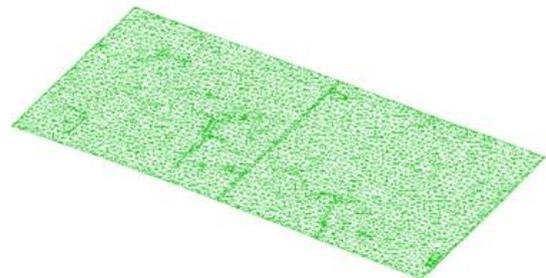
Insertion des routes LOD0 dans le modèle après un traitement manuel via et un XML Reader

Conservation de l'intégrité des MNT

L'expérimentation montre que les MNT TIN (voir ci-dessous) sont importés sans problème dans tous les outils. En revanche, le MNT en courbes de niveau ne peut pas être importé sous Infracworks : un message d'erreur apparaît et ferme l'outil.



Import du MNT avec les courbes de niveau sous ArcGIS



Import du TIN sous FZKViewer

Nous vous proposons ci-dessous un tableau comparatif des MNT selon les différents outils et viewers :

MNT	Géométrie	Infracworks	ArcGIS	FZKViewer
TIN	Triangle	Import	Import	Import
Courbes de niveau	Ligne	Erreur	Import	Import

Il est aussi intéressant de comparer l'espace que les deux MNT prennent. En effet, le MNT TIN est plus de 19 fois plus gros que le MNT avec les courbes de niveau. Ainsi, même si le TIN est lu par tous les outils il peut être compliqué à stocker pour de très grandes zones.

7.1 Analyse de l'interopérabilité

Conservation des TIC

Les *Terrain Intersection Curve* (TIC) :

- Assurent la cohésion du modèle CityGML en évitant les clashes entre les objets 3D et le terrain.
- Permettent de pouvoir renseigner le MNT et ainsi d'avoir des données terrain plus précises.

C'est une des données que l'outil CadnaA peut importer afin de reconstituer le MNT. Il est donc important d'examiner si les outils peuvent le lire.

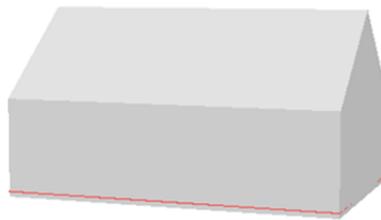
Modélisation de l'attribut *lod2TerrainIntersection*

Nous avons donc modélisé sur un bâtiment l'attribut *lod2TerrainIntersection*. Il s'agit d'une ligne fermée qui :

- entoure le bâtiment,
- indique la délimitation entre le terrain et le bâtiment.

Visualisation des TIC avec FZKViewer et ArcGIS...

FZKViewer et ArcGIS permettent de visualiser les TIC (voir les deux schémas ci-dessous). ArcGIS crée un calque *Building_line* pendant l'export qui est indépendant du bâtiment.



Conservation des TIC (en rouge) lors de la conversion via *Data interoperability* dans l'outil ArcGIS

Affichage des TIC (en turquoise) dans le viewer FZK

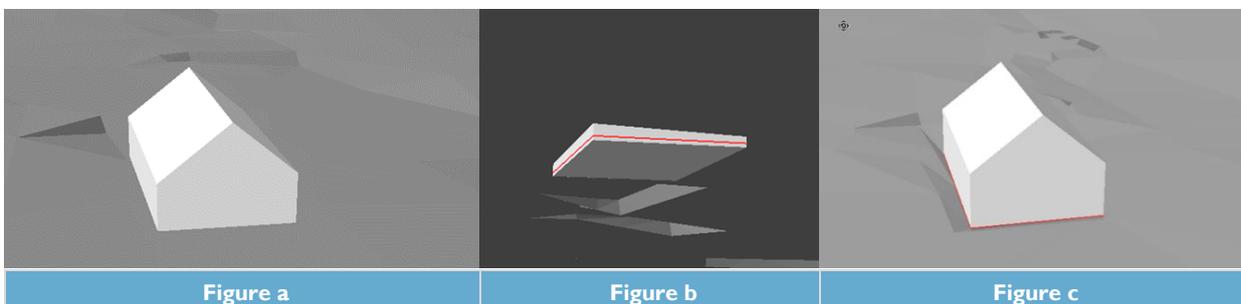
... mais pas avec Infracworks !

Infracworks ne permet pas de visualiser les TIC. En effet, rien ne laisse penser qu'elles sont présentes lors de l'import du modèle. Il est donc compliqué d'utiliser ces données de terrain pour enrichir un MNT pendant la phase conception de l'infrastructure. Et ce, même s'il est toujours possible de le faire via ArcGIS.

Recalcul de la triangulation d'un MNT

Il est possible de recalculer la triangulation d'un MNT pour que le bâti soit au bon niveau par rapport au terrain. Nous pouvons le voir dans les schémas ci-dessous.

Ainsi, la maquette numérique devient plus flexible et permet de s'adapter à l'évolution du MNT en gardant la cohérence du modèle 3D.



Utilisation des TIC (ligne rouge) pour recalculer un MNT. Les figures a et b montrent la situation originale. Les TIC sont en dessous du terrain. La figure c montre le modèle après avoir recalculé le terrain grâce à ArcGIS avec les TIC et les courbes de niveau. Ainsi les TIC peuvent enrichir le MNT, et aussi permettre de garder la cohésion des objets 3D lors de l'évolution du MNT.

7.1 Analyse de l'interopérabilité

Conservation de la texture

3DCityDB n'exporte pas toute la texture

Possibilité de renseigner plusieurs thèmes de texture

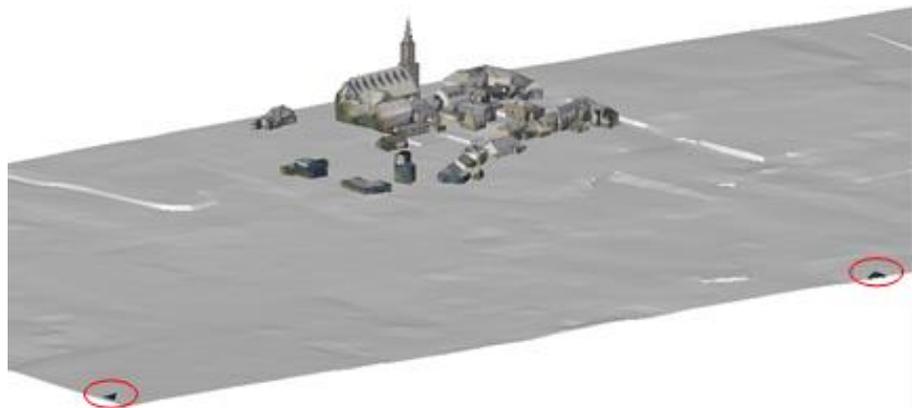
La texture permet d'afficher les sortants de certaines simulations durant des EIE. Cela permet de visualiser facilement les impacts d'un projet sur son environnement.

Il est alors intéressant de pouvoir renseigner des textures différentes dans une même maquette numérique. Il faut aussi s'assurer que la texture est bien conservée lors des échanges entre les outils.

Lors de l'extraction de l'échantillon via 3DCityDB :

- la texture du bâti est bien conservée,
- la texture du MNT n'est pas entièrement conservée.

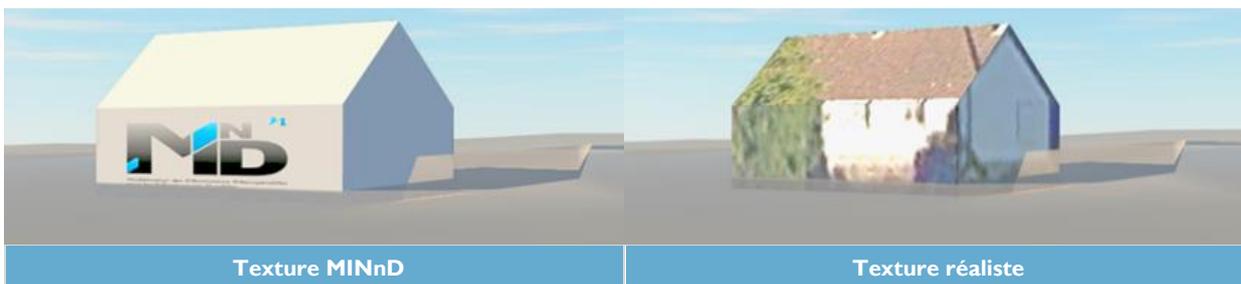
En effet, 3DCityDB n'exporte pas toute la texture, dans le modèle de Bruz. Chaque triangle du MNT est renseigné avec les coordonnées de la texture. 3DCityDB n'exporte que la première ligne de code sur la texture alors il n'y a qu'un triangle par image. Ce triangle est texturé comme nous pouvons le voir ci-dessous :



Échantillon extrait de 3DCityDB : on remarque que la texture sur le bâti est conservée. En revanche, la texture sur le MNT n'est présente que sur deux triangles (rond rouge).

CityGML permet de renseigner plusieurs thèmes de texture. Cela peut être utilisé dans la maquette numérique pour visualiser les différents scénarios d'un même projet.

Ainsi, nous avons renseigné un thème supplémentaire sur un des bâtiments de la Ville de Bruz. **Cependant les outils ne donnent pas la possibilité de choisir entre les deux thèmes.**



Les deux textures sont renseignées sur le même bâti dans des thèmes différents. Les outils FZKViewer, Infracore et ArcGIS affichent juste la première texture définie dans le modèle. Visualisation du modèle sous Infracore

En résumé...

Cette étude a permis de mettre en évidence que le standard CityGML n'est pas exploité dans sa totalité par les outils. De plus, il n'est pas possible d'éditer les données en restant dans le standard CityGML. Il faut à chaque fois convertir les données.

Les outils sont un frein à son utilisation, car il est pertinent pour les études acoustiques comme nous allons le voir.

7.2. Étude de cas acoustique

Argis : extension Data Interoperability via l'ETL FME

Formats dont la donnée peut être extraite et transformée

Paramétrage de la transformation par l'utilisateur

Un outil très utilisé pour convertir en CityGML

Afin de pouvoir convertir les données de tout un modèle numérique, **il faut avoir un outil qui automatise la conversion.**

Parmi les outils métiers choisis seul Arcgis, avec l'extension *Data Interoperability* via l'ETL FME, peut convertir en CityGML.

L'ETL FME permet d'extraire et transformer la donnée de nombreux formats comme :

- les IFC,
- le Shapefiles,
- le DWG,
- et bien d'autres.

C'est à l'utilisateur de paramétrer la transformation via des *transformers*. Ainsi, cela demande de comprendre l'outil, mais une fois le processus de transformation créé il peut être réutilisé.

C'est un outil très utilisé pour convertir en CityGML.

Il supporte aussi les extensions comme Noise, toute la partie conversion des données et la jointure des attributs :

- trafics,
- hauteur des bâtis,
- identifiant,
- etc.

Modélisation

Partie la plus compliquée : le traitement des données pour les convertir en CityGML

Nécessité d'avoir un champ commun pour les voies ferrées et routes

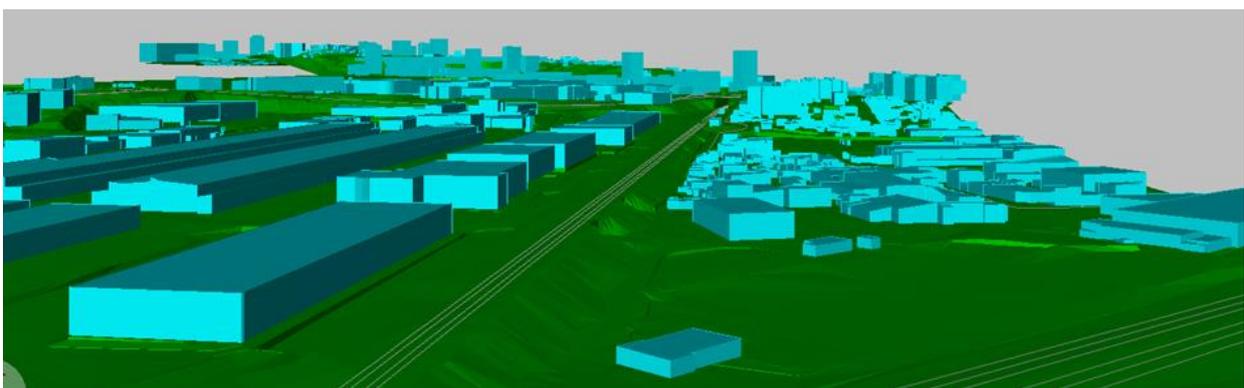
La partie la plus compliquée est le traitement des données pour les convertir en CityGML. En effet, la couche la plus complexe est le bâti. Certaines surfaces des toits générés via des polygones fermés :

- ne correspondent pas à la réalité,
- ne sont pas correctement fermés.

Il faut alors utiliser des outils pour fermer les solides. Dans certains cas, il faut utiliser la BD Topo pour représenter le bâtiment.

Pour les voies ferrées et les routes, le plus long est d'avoir un champ commun pour :

- pouvoir les convertir sous un même identifiant,
- avoir la géométrie de la route/voie ferrée et de son trafic.



Modèle numérique de l'environnement initial en CityGML avec le bâti, la topographie, les routes et les voies ferrées visualisé par FZKViewer

7.2 Étude de cas acoustique | Modélisation

Passage en CityGML avec FME

FME est un outil qui permet de convertir de la donnée. Il arrive en bout de chaîne de traitement quand les données sont prêtes à être exportées. Il a l'avantage de :

- pouvoir visualiser la donnée avant l'import pour connaître sa géométrie,
- visualiser la donnée après import pour vérifier la conversion.

Pour le passage en CityGML, l'utilisation d'un outil comme FME **permet de créer un processus qui peut être réutilisé**. Il demande de comprendre les mécaniques de l'outil.

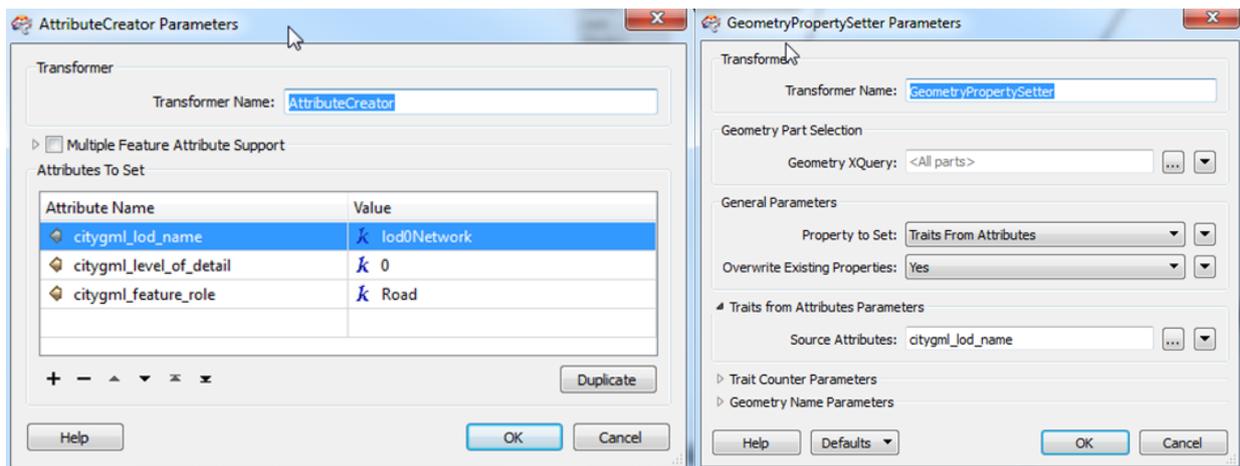
La conversion en CityGML repose sur deux transformers :

- l'un est *AttributeCreator*,
- l'autre *GeometryPropertySetter*.

L'AttributeCreator crée un attribut spécifiant le type de la géométrie CityGML :

- Lod0Network.
- Lod2MultiSurface.
- Etc.

GeometryPropertySetter permet d'indiquer, en sélectionnant *Traits from Attributes*, dans quel attribut est renseigné la géométrie (voir schéma ci-après).



Les deux transformers essentiels pour l'export en CityGML : exemple d'une route

Il est parfois nécessaire de préciser les caractéristiques des données telles que *road*, *building*, etc. Cela se fait avec **Citygml_feature_role**.

Tous les éléments à savoir se retrouvent sur le site de Safe Software, l'éditeur de FME.

D'autres *transformers* ont été rajoutés dans certains workflows pour :

- spécifier les coordonnées,
- extraire une partie de la géométrie,
- filtrer par attributs,
- ajouter de la couleur,
- etc.

7.2 Étude de cas acoustique

Import des données dans l'outil de modélisation acoustique CadnaA...

... pour le sol

Nous allons détailler l'import des différentes couches sous CadnaA pour étudier l'interopérabilité CityGML (avec l'ADE Noise).

Tous les imports CityGML sont importés directement avec les paramètres par défauts de CadnaA. Les coordonnées sont renseignées dans le modèle CityGML.

La topographie peut être importée sous deux formes :

- avec une surface sous forme de TIN ou GRID,
- avec des lignes et points topographiques pour que l'outil CadnaA reconstruise une surface du relief d'une façon plus simplifiée que civil 3D.

L'import du relief ne pose aucun problème que cela soit sous forme :

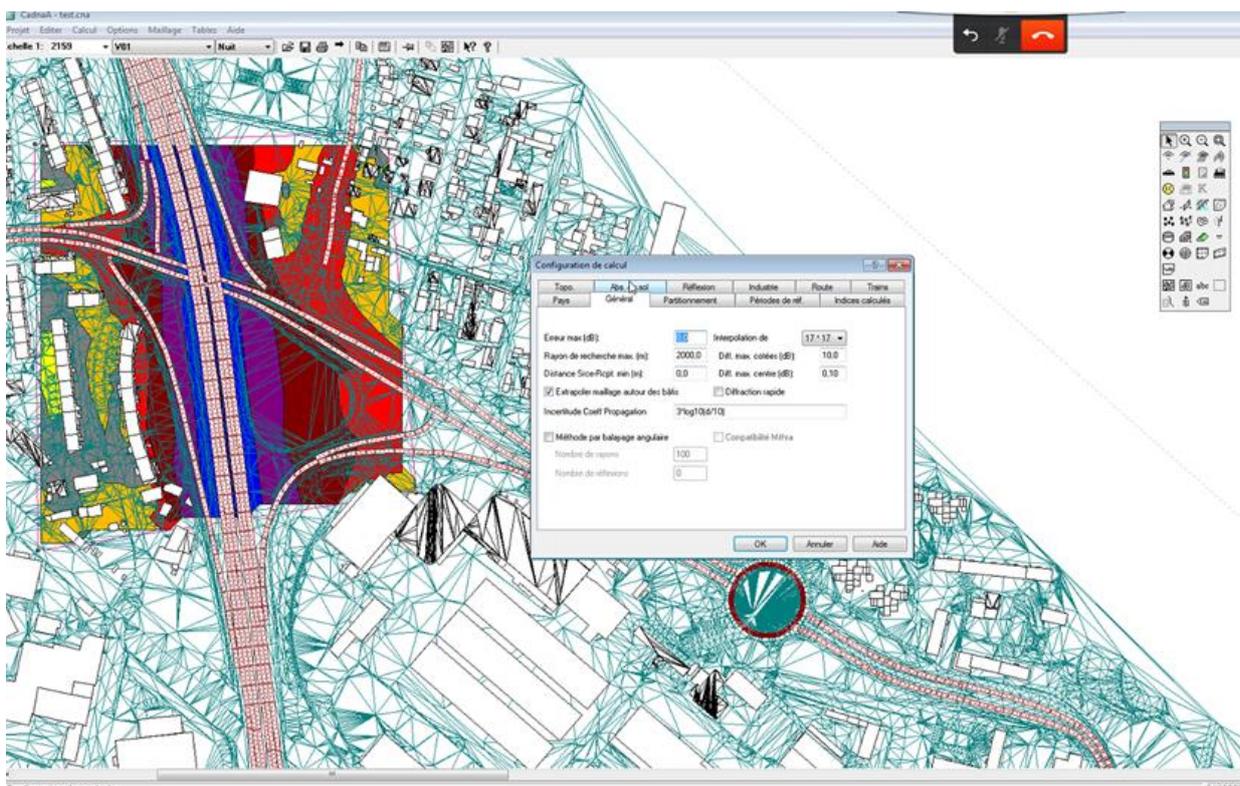
- d'une surface TIN,
- de lignes et points topographiques.

Cependant, **la surface TIN n'est pas adaptée pour un calcul acoustique**. En effet, en paramétrant les conditions habituelles (réflexion, réverbération, etc.), le calcul demande trop de ressources.

Il devient alors compliqué d'utiliser la même donnée du relief :

- pour la conception des infrastructures,
- pour l'étude acoustique.

L'import des éléments pour la construction du relief est à privilégier.



Premier calcul avec le TIN sans le paramétrage habituel. Quand le paramétrage habituel a été programmé, l'outil a demandé trop de ressources pour effectuer le calcul. Cela en raison du trop grand nombre de triangles dans la surface TIN.

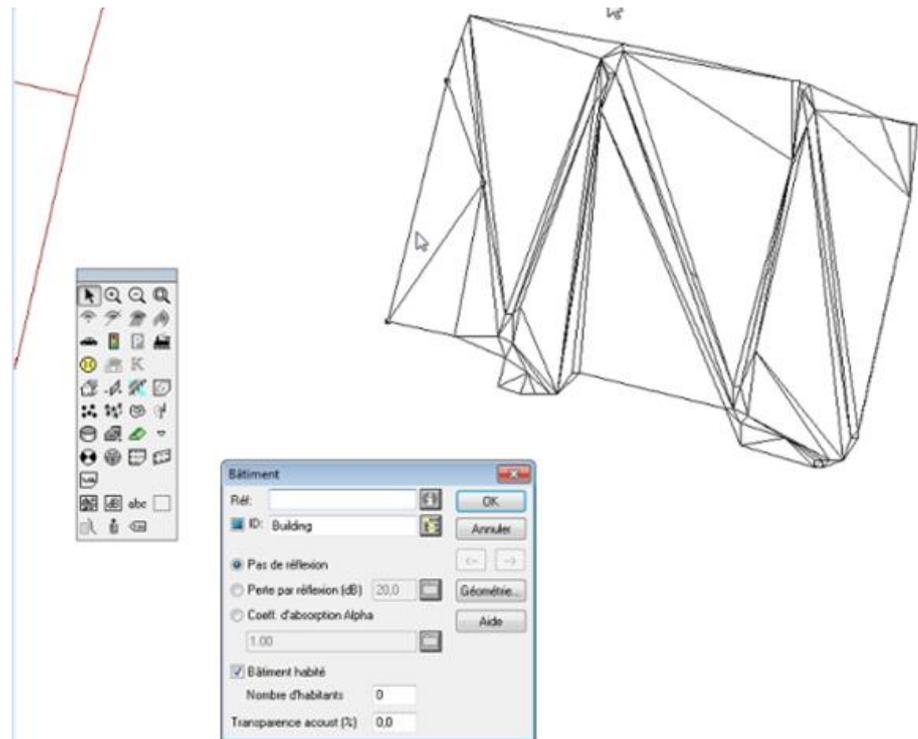
7.2 Étude de cas acoustique | Import des données dans l'outil de modélisation acoustique CadnaA...

... pour le bâti

▾ Besoins de CadnaA en termes de géométrie

L'import du bâti a permis de mettre en évidence les besoins de CadnaA en termes de géométrie. **Il faut que chaque face du bâti soit composée d'un unique polygone.** En effet, les capteurs, qui permettent de réaliser des mesures prévisionnelles, sont définis sur une façade d'un bâtiment.

Si une façade comporte plusieurs surfaces, il devient compliqué de pouvoir exploiter les données. Nous vous proposons ci-dessous un exemple de bâtiment ne pouvant pas être utilisé.



Exemple d'un bâtiment qui ne peut pas être utilisé, car la fermeture automatique des entités a créé trop de polygones

▾ Deux types de bâti à prendre en compte

Dans les données modélisées, il y a deux types de bâtis :

- Un premier type qui n'a pas demandé de traitement.
- Un second où il a fallu utiliser des outils d'Arcgis pour que les entités soient fermées. Cela génère plusieurs polygones pour fermer l'entité multipatch (nom de la géométrie utilisée pour la 3D par ArcGIS).

Ainsi lors de la modélisation du bâti, cette caractéristique doit être prise en compte.

▾ Provenance des données CityGML

Les données CityGML peuvent directement provenir :

- d'un fournisseur de données,
- d'une collectivité.

Dans ce cas-là, **elles doivent être inférieures ou égales au LOD 2.** Un niveau de détail trop élevé rajouterait de la complexité à l'objet 3D.

7.2 Étude de cas acoustique | Import des données dans l'outil de modélisation acoustique CadnaA...

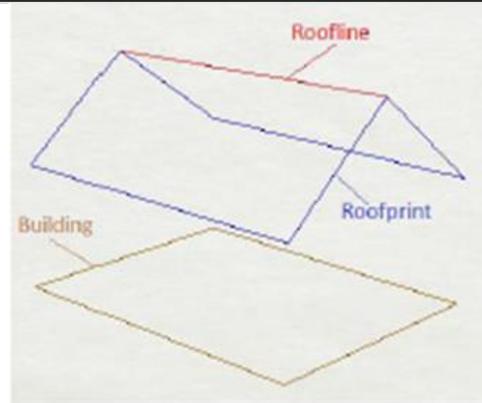
... pour le bâti

► Possibilité de modéliser les données CityGML par les BE

Les données CityGML peuvent aussi être modélisées par les BE. Dans ce cas-là, le géomètre doit fournir le contour des pans de toit.

Cas d'un bâtiment avec une toiture non plane

Dans le cas d'un bâtiment avec une toiture non plane, le géomètre doit fournir la ligne de toiture (Roofline) telle qu'elle est représentée. Dans ce cas-là, il est préférable d'avoir des outils de modélisation 3D comme Cityengine ou Rhinoceros. Ces derniers n'ont pas été utilisés dans le cadre de la présente étude.



Exemple des données entrantes pour la modélisation CityGML de la métropole de Rennes Extrait de (Regnard, 2015)

... pour les routes

L'import des routes ne pose pas de problème. En effet, CadnaA reconnaît bien les entités comme des routes. Il importe aussi les caractéristiques du trafic, renseignées avec l'extension Noise.

Pour le trafic, il y a 3 créneaux acceptés dans CadnaA :

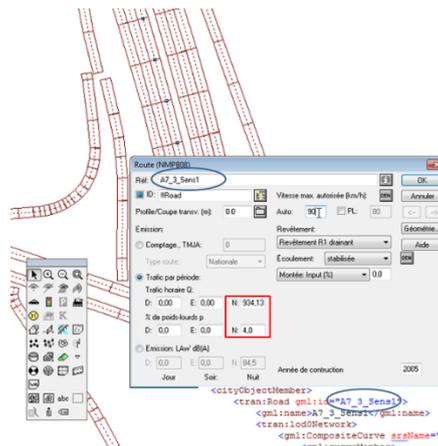
- la journée 6 h-18 h,
- la soirée 18 h — 22 h,
- la nuit 22 h - 6 h (D, E et N dans la figure ci-dessous).

Les données de trafic sont souvent sur la journée 6 h-22 h. **L'ADE Noise** permet de renseigner des données de trafic pour ces 4 créneaux avec :

- mDay,
- mEvening,
- mNight,
- mDay16 (utilisé ici).

Si on remplace les données rentrées dans mDay16 par mDay, alors CadnaA peut afficher le trafic correctement.

Cela est illustré ci-contre



Import des routes dans CadnaA. CadnaA reconnaît la sémantique et la géométrie du standard CityGML. Il reconnaît aussi le trafic renseigné via l'ADE Noise.

7.2 Étude de cas acoustique | Import des données dans l'outil de modélisation acoustique CadnaA...

... pour les voies ferrées

▶ Difficulté d'affichage des données du trafic...

Les voies ferrées sont bien reconnues par l'outil. Cependant, les attributs de l'ADE Noise ne correspondent pas avec les entrants trafics de CadnaA. Il n'est alors pas possible d'afficher les données du trafic, comme nous pouvons le voir ci-dessous.

The screenshot shows the 'Trains (NMPB08 - Fer)' dialog box. It includes a 'Liste de trains' dropdown set to '(local)'. Below it is a table for 'Classe de train' with columns: 'Type', 'Nombre de trains', and 'Lw, l (dBA)'. The table has sub-columns for 'Jour | Soirée | Nuit' and '(km/h) | Jour | Nuit'. Below the table are radio buttons for 'Classes de train et pénalités' (selected) and 'Emission Lw (dB)'. A 'Type de décaussée' field is set to 0,0. A grid shows noise levels for 'Jour', 'Soir', and 'Nuit' across various train types (100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500 km/h). To the right, a code editor shows XML code for the rail network, but it lacks specific traffic data attributes.

Import d'une voie ferrée dans CadnaA : on remarque qu'aucune des caractéristiques renseignées dans le code n'est affichée.

Il était prévisible que les données trafic ne puissent pas être importées. En effet, les attributs de l'ADE permettent de calculer directement l'émission de bruit, alors que CadnaA fait ce calcul à partir :

- de la fréquence de passage des trains,
- de leur vitesse,
- du type de train (renseigné dans la bibliothèque de trains où des informations sur les différents trains sont détaillées).

Pour que CadnaA puisse importer ces données du trafic, il faudrait qu'il y ait un champ « nombre de trains ». Et ce, pour le jour, la soirée, et la nuit.

Les exports dans CadnaA permettent d'affirmer que l'outil CadnaA est interopérable avec le standard CityGML. Cela n'était pas une certitude lors du début de l'étude. Le trafic routier peut être renseigné via l'ADE Noise et exploité par l'outil CadnaA.

Cependant, il reste certains problèmes d'interopérabilité avec l'ADE Noise comme pour le ferroviaire ou certains éléments.

7.2 Étude de cas acoustique

Visualisation des sortants de l'étude acoustique

Afin de visualiser les sortants de l'étude, il faut modéliser l'environnement projet :

- soit en mettant à jour certaines couches avec des données projets comme le bâti ou la topographie,
- soit en créant une nouvelle couche.

Choix d'exporter en CityGML...

Dans le cas présent, il est plus simple d'exporter en CityGML, car :

- la couche la plus complexe est déjà créée (le bâti),
- les *workflows* FME sont déjà réalisés.

... sans renseigner les données trafic

Dans cette maquette, les données trafic projets ne sont pas renseignées. En effet, les outils de visualisation ne permettent pas de les afficher.

Sortants exportés en CityGML...

Les sortants exportés en CityGML sont :

- L'isophone de la zone d'étude pour l'étude du projet durant la journée avec les protections.
- Les murs acoustiques.
- Les bâtiments qui nécessitent une isolation phonique.

... afin de mesurer les impacts du projet

Ce sont ces sortants qui sont attendus par les clients afin de mesurer les différents impacts du projet : **nuisance, emprise sur le foncier, prix.**

Une maquette permettant de visualiser l'ampleur de l'impact acoustique...

La maquette numérique permet de visualiser facilement l'ampleur de l'impact acoustique avec l'isophone. Les bâtiments en orange nécessitent une isolation de façade.

... mais pas d'ajouter des informations pertinentes sur les entités

Cependant, le modèle CityGML ne permet pas d'ajouter des informations pertinentes sur les entités pour le projet. Il est possible de rajouter un commentaire, mais cela n'est pas suffisant.

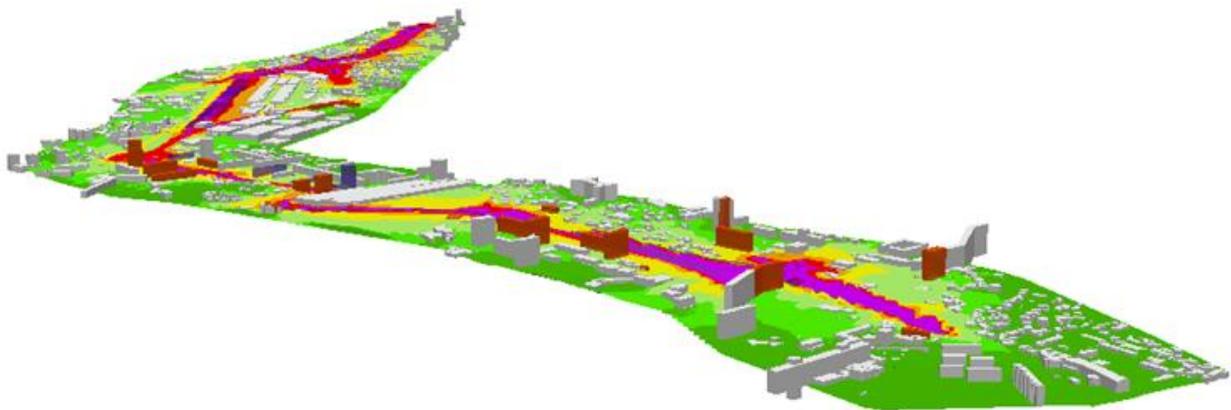


Figure a

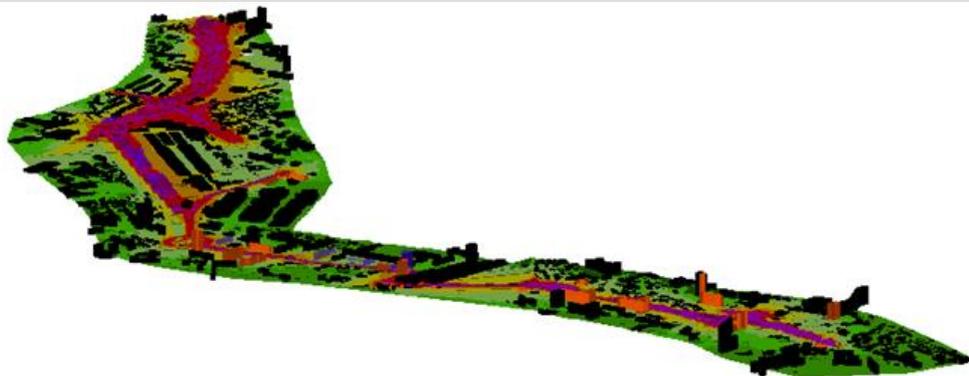


Figure b

Visualisation des sortants sur Arcgis (figure a) et sur FZKViewer (figure b). Les bâtiments en rouges sont ceux qui nécessitent une isolation de façade. On remarque la différence de rendu entre les figures qui est due au paramètre d'éclairage des outils.

7.2 Étude de cas acoustique | Visualisation des sortants de l'étude acoustique

Possibilité d'exporter la maquette sur une web map avec 3DCityDB

Il existe aussi la possibilité de l'exporter sur une *web map* avec 3DCityDB. Cela permet de **visualiser le modèle numérique avec un navigateur internet**. Ainsi, la maquette numérique :

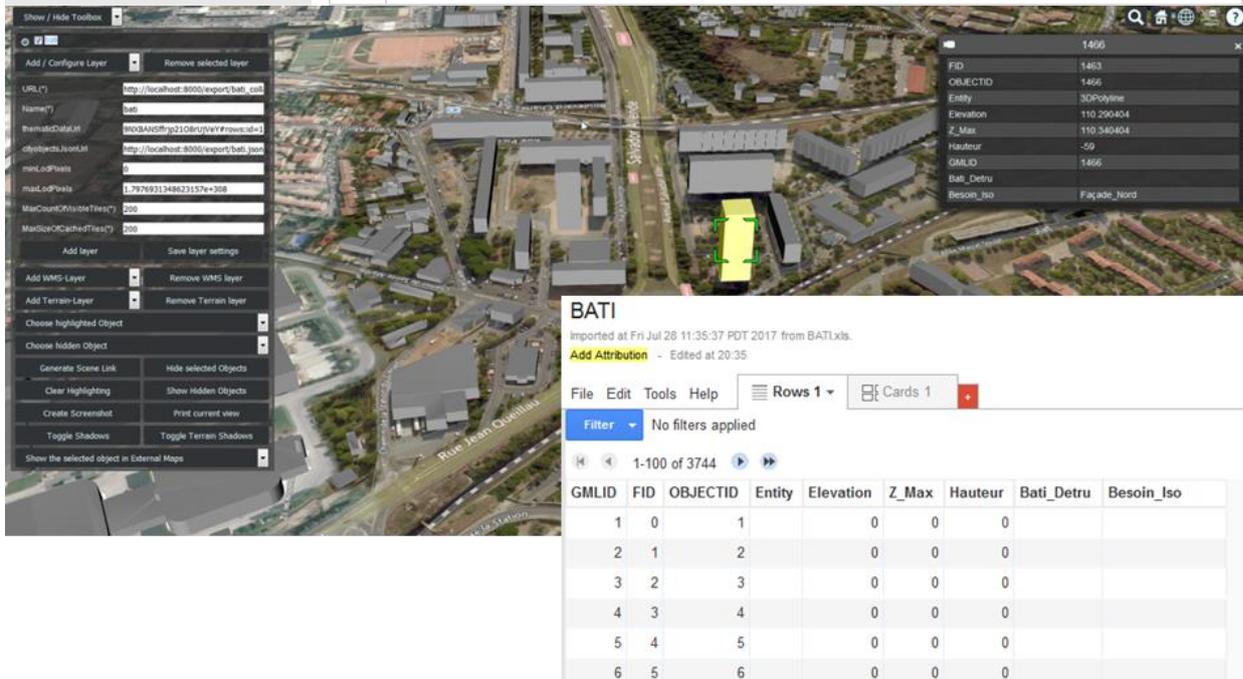
- est plus facile d'accès,
- ne nécessite pas un ordinateur avec beaucoup de ressources.

La web-map permet de **lier des tableaux à la géométrie**. Ces tableaux peuvent avoir n'importe quel attribut à l'inverse du standard CityGML. Ils doivent juste avoir un champ avec le même *gml_id* que la géométrie pour qu'il y ait une liaison. En effet, *gml_id* renvoie au même identifiant que toutes les entités GML ont. Il devient alors possible d'exporter certains tableaux de CadnaA ou d'autres sources pour visualiser sur la *web map*.

Noter l'existence **de nombreuses étapes** :

Étapes d'exportation de la maquette sur une web map avec 3DCityDB

1. Importer le modèle CityGML dans une base de données PostgreSQL via 3DCityDB.
2. Exporter le modèle en Collada/gltf/KML, toujours via 3DCityDB.
3. Visualiser le modèle sur un navigateur (voir schéma ci-dessous).



The screenshot shows a 3D city model viewer interface. On the left, there is a 'Layer' panel with various options like 'Add / Configure Layer', 'Remove selected layer', and 'Add WMS-Layer'. The main view shows a 3D city model with a building highlighted in green. A data popup window is open, displaying a table of attributes for the selected object.

GMLID	FID	OBJECTID	Entity	Elevation	Z_Max	Hauteur	Bati_Detru	Besoin_Iso
1	0	1		0	0	0		
2	1	2		0	0	0		
3	2	3		0	0	0		
4	3	4		0	0	0		
5	4	5		0	0	0		
6	5	6		0	0	0		

Visualisation du modèle sur une *web map*. Les attributs dans la bulle dépendent du tableau qui est connecté au modèle via un tableau en ligne. Il n'est pas possible d'extraire les données de la *web map*, le seul intérêt est la visualisation de la géométrie.

Cependant, **ces étapes peuvent être automatisées par la mise en œuvre de divers protocoles comme dans l'étude FCP1**. Ainsi, doit seulement importer les données pour les visualiser. Les différentes parties prenantes peuvent toujours :

- avoir accès à la maquette numérique CityGML,
- visualiser l'export de celle-ci sur une *web map*.

On peut alors imaginer que cette *web map* centralise les différents éléments du projet :

- les infrastructures et les nouveaux bâtiments en IFC,
- l'environnement en CityGML.

7.2 Étude de cas acoustique

Proposition d'un nouveau processus utilisant les formats CityGML et InfraGML
LandInfra dans le processus acoustique

Dans cette partie, nous détaillons les avantages d'utiliser les standards CityGML et InfraGML dans le processus d'une étude acoustique.

Les processus évoqués dans la suite pour les études initiales et les études projets découlent :

- de l'analyse des formats,
- de l'analyse du processus actuel d'une étude acoustique.

Les processus sont des propositions et n'ont pas été testés lors d'un projet.

L'étude acoustique a besoin de nombreuses données et certaines de ces données évoluent. Il faut donc un standard plus souple et qui permet d'exporter des données directement des outils sans passer par une conversion. Parmi les données qu'il est pertinent d'exporter en InfraGML/LandInfra, nous retrouvons :

- La topographie qui évolue tout au long du projet. Elle est issue des relevés topographiques des géomètres et traités par des outils de GC.
- Les éléments verticaux linéaires qui proviennent des mesures du terrain par le géomètre.
- Les informations sur les tranchées couvertes.
- Le projet routier ou ferroviaire.

Nous vous proposons ci-dessous une description de ces données.

Données qu'il est pertinent d'exporter en InfraGML/LandInfra
Topographie

InfraGML ne répond pas entièrement au besoin. En effet, LandXML InfraGML permet d'échanger des surfaces, mais il laisse uniquement la possibilité d'échanger des TIN. Les éléments de la construction du relief sont importés, mais ils sont liés à la surface TIN.

Comme nous l'avons vu, l'étude acoustique ne peut pas utiliser le même relief que le génie civil. En effet, les calculs demandent trop de ressources. Il est toujours possible de simplifier le relief sur les outils de GC. Mais CadnaA permet déjà de le faire avec des entrants sous la forme de lignes de rupture et de courbes de niveau.

Éléments verticaux linéaires

Il est préférable d'utiliser le standard LandInfra, car ces données viennent souvent des mesures réalisées par les géomètres.

De plus, ces données sont diverses :

- ponts,
- murs de mobilier urbain,
- GBA,
- dispositif de retenue,
- murs de soutènement,
- etc.

On peut se demander s'il vaut mieux différencier les éléments verticaux linéaires ou non. InfraGML permet d'échanger des données de relevés du terrain (lignes de ruptures, voiries, etc.). Cependant, InfraGML ne couvre pas les différents éléments verticaux linéaires. Il serait alors intéressant de pouvoir ajouter ces données dans l'environnement projet (Facility). Ainsi l'acousticien n'aurait plus besoin de traiter ces données et de les arranger dans différents calques.

Informations sur les tranchées couvertes

Les informations sur les tranchées couvertes (emplacement, géométrie) permettent de modéliser leurs impacts acoustiques. Cependant, les tunnels sont modélisés dans un autre schéma que LandInfra.

Projet routier ou ferroviaire

Il est intéressant de pouvoir importer :

- les axes des voies circulées,
- le type de surface de la route,
- les dispositifs de retenues (qui font partie des éléments verticaux linéaires).

Il est aussi intéressant de pouvoir renseigner directement les trafics sur les routes.

CadnaA permet aussi de paramétrer la coupe de la route, mais cette option n'est pas utilisée par les BE. Ainsi, InfraGML permettrait d'apporter des informations en plus que les informations actuellement utilisées.

7.2 Étude de cas acoustique | Proposition d'un nouveau processus utilisant les formats CityGML et InfraGML

Conduite de l'étude de l'état initial (annexe 6)

La conduite de l'étude de l'état initial est la suivante :

Conduite de l'étude de l'état initial	
Récupération des données entrantes	
<p>C'est dans cette phase que le standard CityGML a un très grand intérêt. En effet, si la ville ou un fournisseur de données a une maquette numérique urbaine CityGML de l'existant, il est intéressant de l'utiliser pour récupérer :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le bâti, • les réseaux routiers et ferroviaires, • d'autres éléments nécessaires à l'étude acoustique (voir le tableau des entrants possibles dans la partie <i>Données entrantes</i>). 	
Examen des entrants	
<p>Ces entrants CityGML doivent être examinés pour voir s'ils peuvent être utilisés, par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Est-ce que les bâtiments ont un seul polygone par façade ? • Est-ce qu'ils sont bien découpés ? 	
Modélisation de l'environnement	
<p>Même dans le cas où il n'y a pas de modèle CityGML, il est intéressant de modéliser l'environnement avant l'étude acoustique. En effet, cet environnement peut être utilisé par différentes études.</p> <p>Pour la modélisation, il est possible de passer par différents outils. Cependant, nous n'avons testé que les outils ArcGIS qui modélisent en multipatch (géométrie 3D ESRI).</p> <p>Comme nous l'avons vu dans l'analyse des outils, il n'est pas possible d'éditer de la donnée en restant dans le standard CityGML. Ainsi :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le traitement de la donnée doit se faire dans un format propriétaire. • L'export en CityGML se fait juste à certains moments après le traitement. • La transformation se fait simplement avec FME quand le workbench est déjà créé. 	
Utilisation du standard CityGML	
<p>L'avantage de l'utilisation du standard CityGML est surtout :</p> <ul style="list-style-type: none"> • d'avancer la phase traitement des données • de faire ce traitement via des outils conçus pour cela 	
Utilisation possible de l'InfraGML	
<p>L'InfraGML peut être utilisé dans cette phase si on suppose que CadnaA peut importer les éléments de construction du TIN et non la surface TIN.</p>	
Modélisation des éléments verticaux linéaires	
<p>Il reste cependant des interrogations sur les éléments verticaux linéaires qui peuvent être très variés. Il est possible de les modéliser :</p> <ul style="list-style-type: none"> • avec CityGML comme CityFurniture, • en GML pour avoir uniquement la géométrie, • en InfraGML dans la classe Facility, mais InfraGML n'implémente pas tout LandInfra. <p>Il faut alors attendre une autre implémentation du LandInfra que InfraGML pour répondre à ces exigences.</p>	

7.2 Étude de cas acoustique | Proposition d'un nouveau processus utilisant les formats CityGML et InfraGML

**Conduite de l'étude
projet (annexe 7)**

La conduite de l'étude projet est la suivante :

Conduite de l'étude projet
Exportation en InfraGML de la géométrie des voies circulées et des caractéristiques de la route

Dans cette phase, la géométrie des voies circulées et les caractéristiques de la route sont exportés en InfraGML. Cela :

- facilite la conversion vers CityGML,
- permet d'avoir déjà les axes des voies circulées.

Ajout des données des trafics

Ensuite, il est possible d'ajouter les données des trafics avec l'ADE Noise. Lors de cette phase, il y a plusieurs trafics prévisionnels, que nous pouvons retrouver dans la partie *Données entrantes*.

Dans l'étude projet, il existe plusieurs données trafic ce qui implique de créer plusieurs fichiers routes avec des données de trafic différentes.

Utilisation de l'ADE Dynamizer

Il est aussi possible d'utiliser l'ADE Dynamizer. En effet, il a été développé pour permettre d'ajouter des données dynamiques à un modèle CityGML. Cette ADE est implantée dans la future version de CityGML.

Dans le cas d'une étude acoustique, nous pouvons imaginer un tableur Excel, associé à la maquette numérique, qui permet de changer les données du trafic. Cela évite le versioning. Il est implémenté dans la prochaine version de CityGML. Il y a de fortes chances que les outils puissent l'utiliser dans les prochaines années.

Ainsi, la maquette CityGML devient dynamique et permet de faire évoluer ces données sans avoir à tout remodeler.

Mise à jour des données

Certaines données nécessitent d'être mises à jour en fonction du projet :

- destruction du bâti,
- nouveau bâti,
- toute autre évolution de l'environnement.

Pour cela, il suffit de reprendre les données sources modélisées via ArcGIS.

Restitution et réutilisation du modèle CityGML

À la fin de l'étude, il est alors possible

- De restituer le modèle CityGML post-projet à une commune ou ville.
- De l'utiliser dans d'autres études comme la qualité de l'air.
- De se servir de certaines données déjà modélisées dans une maquette de synthèse. Par exemple, *celle réalisée par Vianova dans le cadre de la L2* pour un audit de sécurité routière.

Ainsi, la donnée est réutilisée tout au long du projet ce qui évite des traitements superflus.

8. CONCLUSION

<p>Un standard CityGML...</p> <p>... pouvant importer un modèle 3D...</p> <p>... fonctionnant en interopérabilité...</p> <p>... possédant plusieurs avantages...</p>	<p>Cette étude a permis de montrer que le standard CityGML avec l'ADE Noise est utilisable dans les études acoustiques.</p> <p>À l'heure actuelle, CityGML est le seul standard pouvant importer un modèle 3D avec :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le bâti, • la géométrie, • le trafic des routes et voies ferrées. <p>L'étude a montré :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'interopérabilité du CityGML avec l'outil acoustique CadnaA, • son utilisation dans des processus avec d'autres formats de données. <p>L'avantage du standard est de pouvoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> • avancer la phase de traitement des données (phase initiale et projet), • éviter les reprises de données, • permettre l'échange de ces données en CityGML avec les différents acteurs.
<p>Des standards qui répondent aux objectifs du BIM Use</p> <p>Rappel des objectifs</p> <p>Impossibilité d'utiliser des standards ouverts tout au long du Workflow</p>	<p>Les objectifs assignés au BIM Use sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • mutualiser le traitement des données, • faciliter la visualisation des sortants. <p>Les standards répondent à ces objectifs.</p> <p>Concernant l'objectif d'assurer la pérennité des données avec des standards ouverts, l'étude a montré qu'il n'est pas possible d'utiliser tout au long du <i>workflow</i> des standards ouverts. Il faut passer par de nombreuses conversions. C'est donc une limite des outils actuels.</p>
<p>Des perspectives prometteuses</p> <p>Examen des autres BE : objet d'une future étude ?</p> <p>Réutilisation des données CityGML</p> <p>Amélioration des standards CityGML et InfraGML</p> <p>Ajout de l'ADE Noise et de l'ADE Dynamizer</p>	<p>Il serait intéressant d'examiner les autres BE qui ont besoin des mêmes données que l'étude acoustique, comme le BE « qualité de l'air ». Cela permettrait d'analyser leurs exigences sur les données et ainsi faire un traitement en amont qui puisse convenir à tous les acteurs.</p> <p>Les données CityGML peuvent aussi servir à d'autres maquettes numériques afin de modéliser l'environnement. Dans ce cas, la maquette servirait à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • la simulation et à la visualisation des études acoustiques, • la modélisation de l'environnement d'autres études. <p>Ainsi les données sont réutilisables et nécessitent un seul traitement.</p> <p>Les standards CityGML et InfraGML sont très prometteurs.</p> <p>Des modifications en sont proposées dans <i>l'Annexe n° 8 : Proposition d'amélioration de CityGML et InfraGML.</i></p> <p>Dans la version 3.0 de CityGML, prévue pour 2018, l'ADE Noise et l'ADE Dynamizer sont dans le MCD de CityGML. Ainsi les outils permettent plus facilement d'importer ces extensions, car elles sont dans le corps du schéma CityGML.</p>

Un InfraGML qui apporte une structuration de la donnée

L'InfraGML apporte une structuration de la donnée. Cela permet de penser à des processus BIM pour l'infrastructure contrairement au LandXML, même si l'InfraGML ne répond pas totalement aux exigences d'une étude acoustique.

Une utilisation de MCD LandInfra permettant de conserver l'information dans le temps

Le MCD LandInfra n'est pas encore fini, et il est sujet à des modifications. Il est quand même intéressant de l'utiliser à la place des formats actuels qui ne permettent pas de conserver l'information dans le temps.

Cependant, on peut se demander si l'InfraGML est intéressant à utiliser quand les IFC infrastructures sont terminés et implantés dans les outils.

Un processus orienté objet

Les standards étudiés permettent de créer un processus orienté objet, c'est-à-dire que **l'objet modélisé a un identifiant unique**. Cela permet :

- de suivre son évolution au cours des différentes phases,
- de faciliter la communication entre les acteurs, car les objets sont les mêmes et ont les mêmes identifiants.

Cependant, cela demande une structuration de la donnée pour qu'une modification d'un objet soit reprise par les différents acteurs. Cela permet de garder une cohérence entre les différentes versions des données.

Une étude qui pourrait être complétée par d'autres...

... en appliquant le standard CityGML sur un projet d'étude acoustique

... en étudiant d'autres usages

Cette étude pourrait être complétée par d'autres.

Il serait intéressant d'appliquer le standard CityGML sur un projet d'étude acoustique. Cela permettrait d'améliorer la présente proposition de processus BIM.

De plus, d'autres BIM Use sur les différentes études peuvent utiliser le standard CityGML, notamment l'étude de qualité de l'air.

Dans le présent rapport, seule une partie du schéma InfraGML est présentée. Il serait intéressant de l'étudier pour d'autres usages que celui d'une étude acoustique.

Exemple

Pour échanger des données entre les géomètres et les bureaux d'études sur les mesures terrain :

- relief,
- bâti,
- écrans,
- toutes autres données nécessaires pour les études).

9. BIBLIOGRAPHIE

- Article 4 de la loi n° 2004-575 du 21 juin 2004 pour la confiance dans l'économie numérique.* (s.d.). Récupéré sur legifrance.gouv.fr: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexteArticle.do;jsessionid=5CDFFA8EBAC77594DEBC1EB13B01863E.tpdila11v_3?idArticle=LEGIARTI000006421544&cidTexte=LEGITEXT000005789847&dateTexte=20170727
- Autodesk. (2017). *Autodesk Autocad Civil 3D 2017*. Récupéré sur <http://help.autodesk.com/view/CIV3D/2017/ENU/?guid=GUID-4D10ABA5-5EA0-41A8-BB61-C3F446CE7C6B>
- Bédard, Y. (1999). *Visual modelling of spatial database: toward spatial PVL and UML*.
- Biljecki, F., Ledoux, H., Du, X., Stoter, J., Soon, K. H., & Khoo, V. H. (2016). *THE MOST COMMON GEOMETRIC AND SEMANTIC ERRORS IN CITYGML DATASETS*.
- BuildingSMART. (2016). *IFC Infra Overall Architecture – Project Plan*.
- Chaturvedi, K., & Kolbe, T. (2016). *Dynamizers for CityGML*.
- Chaturvedi, K., Kolbe, T., Kutzner, T., & Donaubaue, A. (2017). *Future City Pilot 1 Engineering Report*.
- CityGML ADEs*. (2016, Janvier 11). Consulté le Avril 19, 2017, sur [CityGMLwiki](http://www.citygmlwiki.org/index.php?title=CityGML-ADEs): <http://www.citygmlwiki.org/index.php?title=CityGML-ADEs>
- CityGML.org. (s.d.). *Sample CityGML files*. Consulté le mars 30, 2017, sur [Citygml.org](http://www.citygml.org/samplefiles/): <https://www.citygml.org/samplefiles/>
- Czerwinski, A., Sandmann, S., Stöcker-Meier, E., & Plümer, L. (2007). *Sustainable SDI for EU noise mapping in NRW – best practice for INSPIRE*.
- Datakustik. (2017). *CadnaA - State of the art Noise Prediction Software*. Consulté le Avril 22, 2017, sur www.datakustik.com: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa>
- Datakustik. (2017). *CadnaA reference manual*.
- DataKustik. (s.d.). *Import Formats*. Consulté le Avril 27, 2017, sur www.datakustik.com: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa/modeling-and-calculation/import-formats/>
- ENR. (2016). *ENR 2016 Top 150 Global Design Firms*. Récupéré sur <http://www.enr.com/toplists/2016-Top-150-Global-Design-Firms1>
- Gröger, T., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K. H. (2012). *OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard*.

- INSPIRE. (2013). *D2.8.III.2 Data Specification on Buildings – Technical Guidelines*. European Commission Joint Research Centre.
- IREX. (2017). Récupéré sur <http://www.irex.asso.fr/collaboration-internationale-du-projet-national-minnd-pour-le-developpement-des-ifc-rail/>
- Jokela, J. (2016). *CityGML building model production from airborne laser scanning*.
- Kalantari, M. (2017). *Future City Pilot 1 - Automating Urban Planning Using Web Processing Service Engineering Report*.
- Kalantari. (2017). *Future City Pilot 1 - Automating Urban Planning Using Web Processing Service Engineering Report*.
- l2-marseille. (s.d.). *La L2 Nord : de Frais Vallon à l'A7 (4,5 km)*. Récupéré sur l2-marseille.com: <http://www.l2-marseille.com/pages/trace.html>
- landxml.org. (2016). <http://landxml.org>.
- legifrance. (1995). *Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières*.
- legifrance. (2005). *Titre VII : Prévention des nuisances sonores*. Récupéré sur legifrance.gouv:
https://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=135A85BD26D6EB26B696FF3B9FF98C29.tpdila07v_3?idArticle=LEGIARTI000006839551&idSectionTA=LEGISCTA000006189015&cidTexte=LEGITEXT000006074220&dateTexte=20120126
- Mediaconstruct. (2017). *mediaconstruct.fr*. Récupéré sur <http://www.mediaconstruct.fr/comprendre-le-bim/glossaire-bim>
- Ministère de l'Équipement. (1997). *Circulaire n° 97-110 du 12 décembre 1997 relative à la prise en compte du bruit dans la construction de routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national*.
- MINnD. (2015). *Cas d'Usage n°4 : La Revue de Projet*.
- MINnD. (2015). *UC 6.1 : Infrastructures et bruit Tranche 1*. France.
- MINnD. (2015). *UC1 Approche holistique*.
- MINnD. (2016). *Synthèse de la tranche 1*. France.
- MINnD. (2017). Récupéré sur <http://www.minnd.fr/>.
- OGC, & Scarponcini, P. (2013). *InfraGML Proposal (13-121)*.
- OPIIEC. (2016). *Etude sur l'évolution de l'ingénierie française de la construction liée au BIM*.
- Penn state university. (2013). *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses*.
- Portele, C. (2012). *OGC Geography Markup Language (GML) - Extended schemas and encoding rules*.

- Regnard, A. (2015). *Construction de la maquette 3D de Rennes Métropole : mise en place, analyse et optimisation des processus.*
- Ruas, A. (2017). Historisation : Enjeux et modèles associés. *MINnD UC6*. Paris.
- Safe Software. (2017). *Writing CityGML from FME*. Récupéré sur docs.safe.com: https://docs.safe.com/fme/html/FME_Desktop_Documentation/FME_Reader_sWriters/citygml/Tutorial/writing_citygml_from_fme.htm
- Scarponcini, P., & Gruler, H.-C. (2016). OGC 16-10n InfraGML Parts 0-6 (candidate) Encoding Standards. *101ST OGC Technical Committee*. Taiwan.
- Scarponcini, P., Gruler, H. C., Stubkjær, E., Axelsson, P., & Wikstrom, L. (2016). *OGC Land and Infrastructure Conceptual Model Standard (LandInfra)*.
- Signorelli, V., & Leduc, T. (2015). *Utilisation du socle 3D CityGML Nantes - Secteur centre-ville.*
- Tobiáš, P. (2015). *An investigation into the possibilities of BIM and GIS cooperation and utilization of GIS in the BIM process.*
- Tolmer, C.-E. (2016). *Contribution à la définition d'un modèle d'ingénierie concourante pour la mise en oeuvre des projets d'infrastructures linéaires urbaines : Prise en compte des interactions entre enjeux, acteurs, échelles et objets.*
- Tolmer, C.-E., Castaing, C., Diab, Y., & Morand, D. (2014). *Structuration des informations pour les projets d'infrastructures. Proposition de niveaux complémentaires aux Level Of Detail et Level Of Development.*
- Van Berlo, L., & De Laat, R. (2011). *Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension.*

10. ANNEXES

10.1. Annexe n° 1 : Diagramme UML CityGML

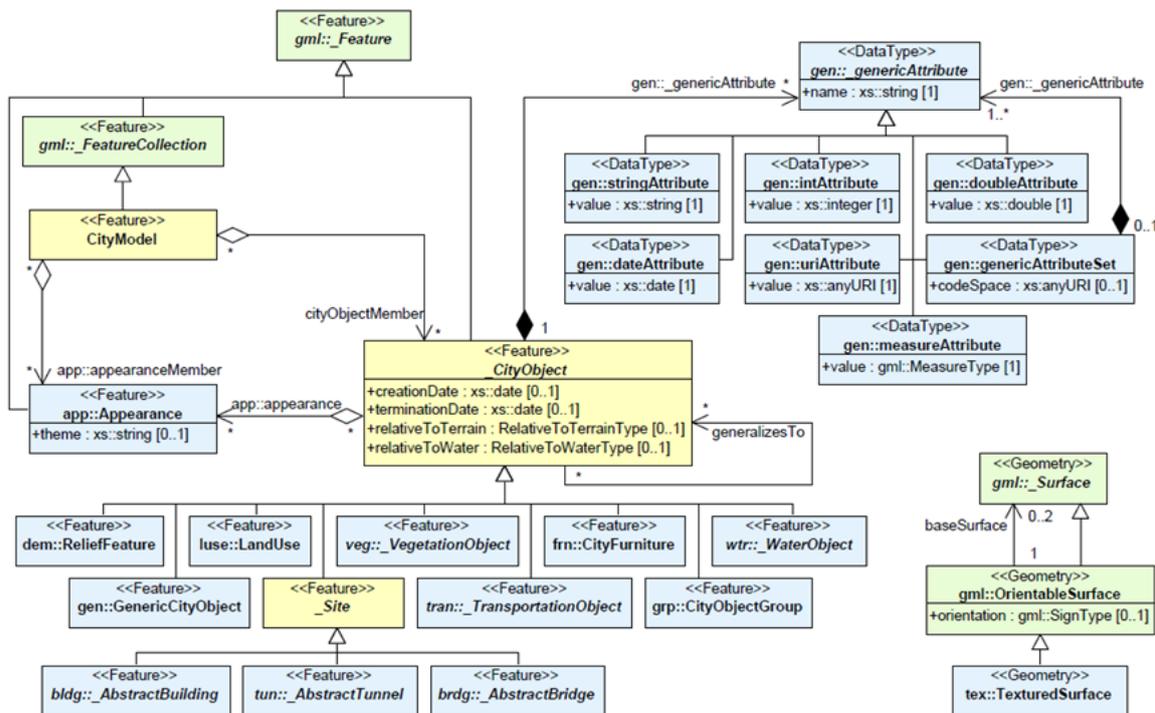


Figure a

Diagramme UML de la hiérarchie des différentes classes du modèle CityGML

Source : (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

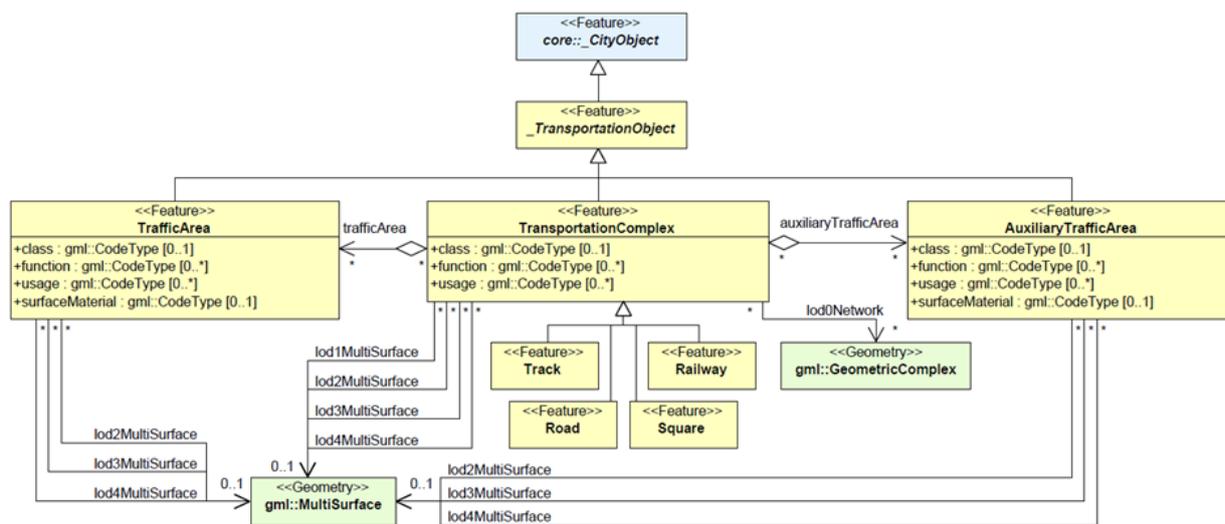


Figure b

Diagramme UML de la classe Transportation. On remarque que les principaux attributs sont communs aux divers types de voies. Elles sont composées de Class, fonction, usage et surfaceMaterial qui sont prédéfinis par des codes (CodeType) dans le modèle. Les attributs sont assez pauvres, par exemple, il n’y a pas la largeur de la voie ou la vitesse ou encore le trafic.

Il faut utiliser l’ADE Noise pour avoir ces attributs.

Source : (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

10.1 Annexe n 1 : Diagramme UML CityGML

Liste des codes

La liste des codes se trouve :

- en annexe de Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele (2012),
- en suivant le lien suivant :

<http://www.sig3d.org/codelists/standard/transportation/2.0/>.

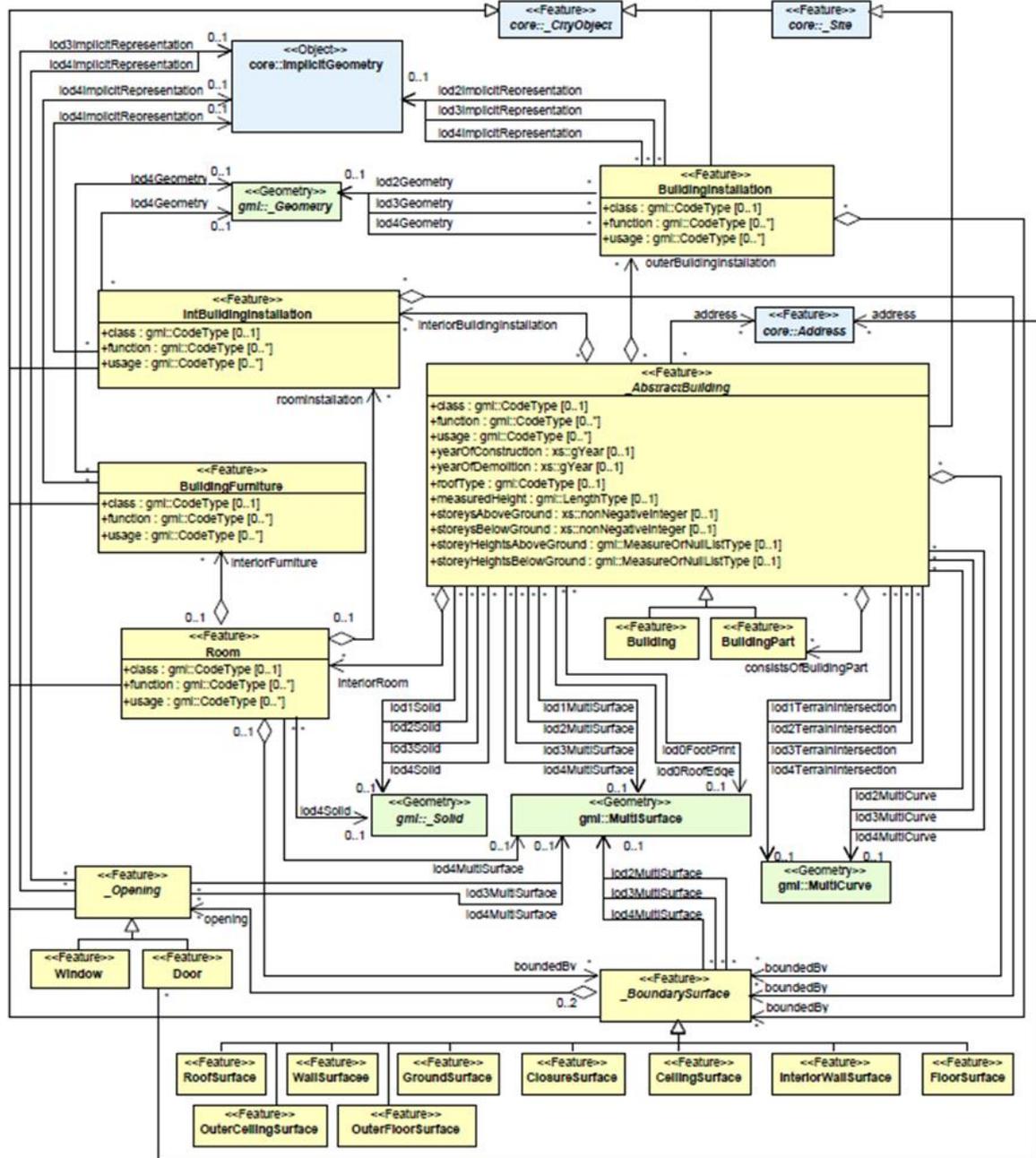


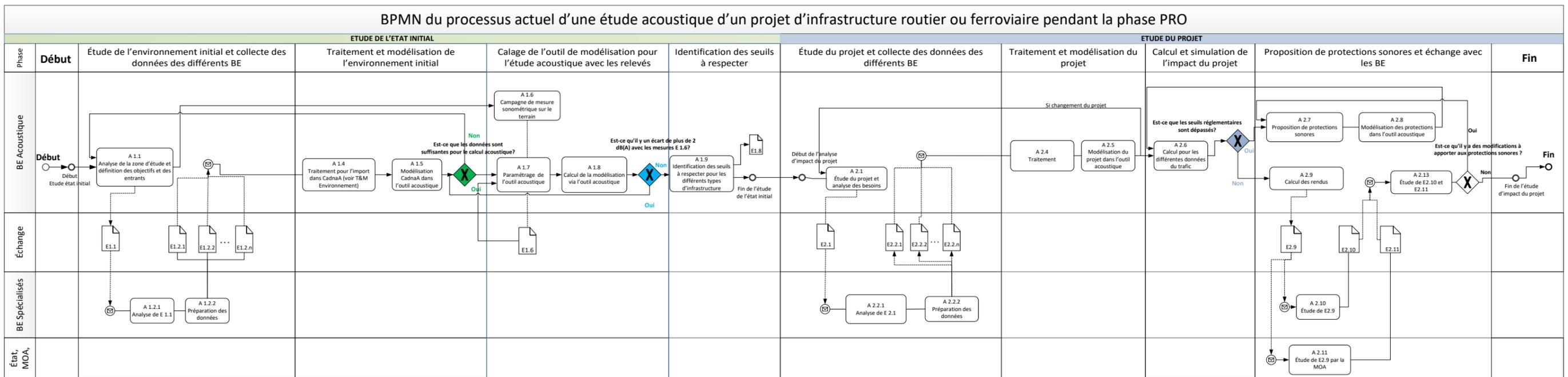
Figure c

Diagramme UML de la classe Building. On remarque aussi le manque d'attributs dans AbstractBuilding, ce qui limite son utilisation sans les ADE.

Source : (Gröger, Kolbe, Nagel, & Häfele, 2012)

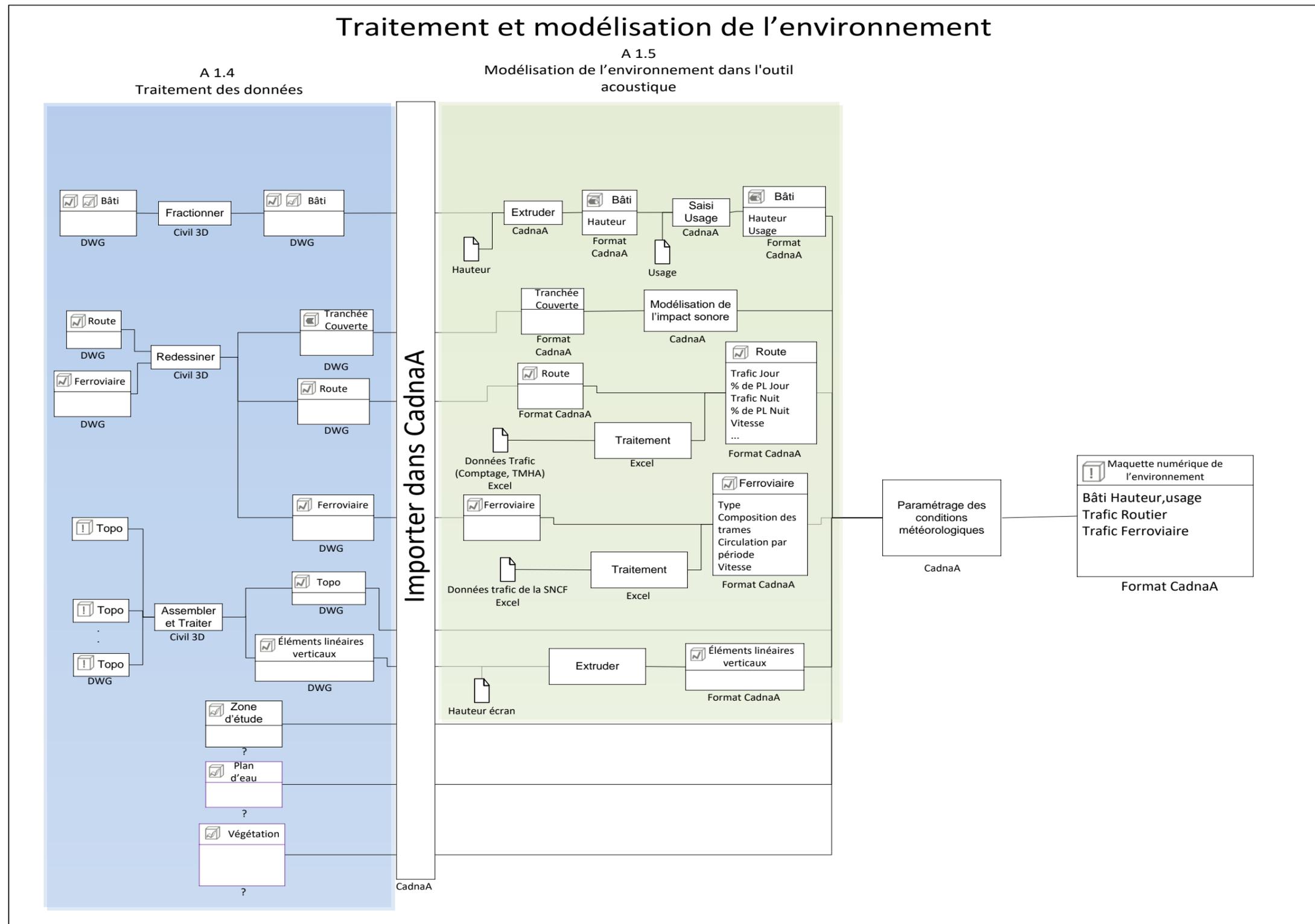
10.2. Annexe n° 2 : BPMN du processus actuel

Phase	Commentaire
Étude de l'environnement initial et collecte des données des différents BE	Cette phase permet de récupérer les données de l'environnement initial. Ces données proviennent de différentes sources.
Traitement et modélisation de l'environnement initial	Une grande partie de traitement des données doit se faire avant et après l'import. Alors les données sont modifiées dans l'outil acoustique CadnaA, mais ces modifications ne peuvent pas être échangées avec les autres acteurs.
Calage de l'outil de modélisation pour l'étude acoustique avec les relevés	L'outil acoustique nécessite d'être paramétré avec les relevés terrain.
Identification des seuils à respecter	L'acousticien identifie les seuils à respecter pour les différents types d'infrastructure (nouvelle voie et modification d'une voie existante).
Étude du projet et collecte des données des différents BE	Cette phase se passe souvent au même moment que la phase de collecte des données de l'environnement existant.
Traitement et modélisation du projet	Cette phase met à jour les différentes données modélisées lors de la phase d'étude de l'état initial.
Calcul et simulation de l'impact du projet	Le calcul permet de vérifier si les seuils sont bien respectés.
Proposition de protections sonores et échange avec les BE	Le BE propose des protections acoustiques afin de respecter les seuils.



Légende		Étude de l'état initial		Hypothèses	Étude du projet		
Activité réalisée par l'acteur désigné en tête de ligne (« ligne d'eau »)	Début ou Fin d'une phase intermédiaire	Description des entrants nécessaires en fonction de l'environnement initial de l'étude (E1.1)	Mesures terrain pour le calage de l'outil de modélisation acoustique (E1.6)	Toutes les données nécessaires à l'étude sont importées pendant la phase traitement et modélisation. Si le tracé évolue au cours de l'étude projet, alors il faut revenir à la partie traitement des données.	Description des besoins en entrants projets (E2.1)	Information sur le type (mur, merlon) et les caractéristiques des protections sonores (hauteur, géométrie), les isophones et niveau de bruit par bâtiment (E2.9)	Retour de la MOA sur l'étude acoustique, la concertation avec les habitants et sur la possibilité de mener des études supplémentaires (E2.11)
Informations, données ou documents échangés ou créés	Début	Données fournis par les BE Spécialisés en réponse à la demande du BE Acoustique (E1.2.1 à E1.2.n)	Rapport de l'état initial et identification des seuils à respecter pour les différentes infrastructures (création de voirie, modification d'une voirie déjà existante...) (E1.8)		Données fournis par les BE Spécialisés en réponse à la demande du BE Acoustique (E2.2.1 à E2.2.n)	Retour des BE spécialisés sur les protections sonores (E2.10)	
Message (information et démarrage d'activité)	Fin						

10.3. Annexe n° 3 : Traitement et modélisation



10.4. Annexe n° 4 : Diagramme UML et perceptory

Pictogrammes perceptory utilisés dans le rapport

Nous vous présentons dans le tableau ci-dessous les pictogrammes perceptory utilisés dans le rapport.

Image	Description
	Objet 1D (ligne) dans un environnement 3D
	Objet 2D (surface) dans un environnement 3D
	Objet 3D dans un environnement 3D
	Objet complexe composé de plusieurs géométries dans un environnement 3D
	Objet 2D (surface) dans un environnement 2D

Image manquante

Exemples d'utilisation

Nous vous proposons ci-dessous deux exemples d'utilisation.

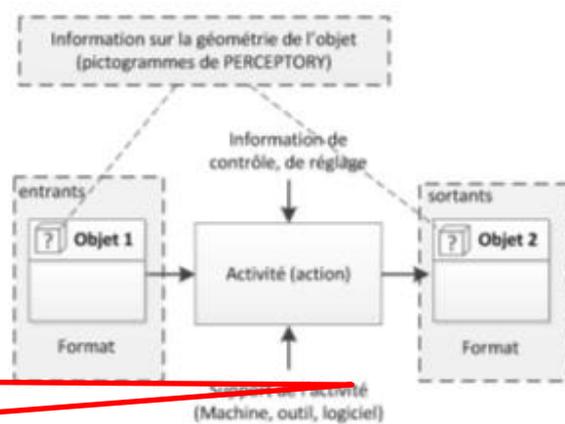
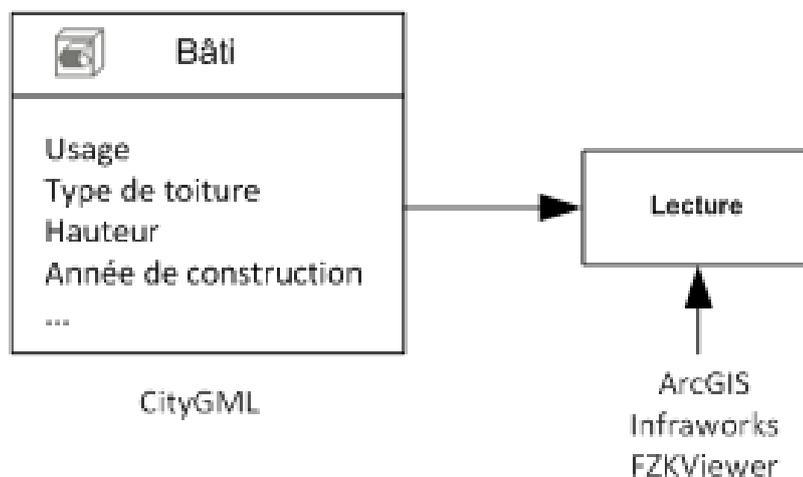


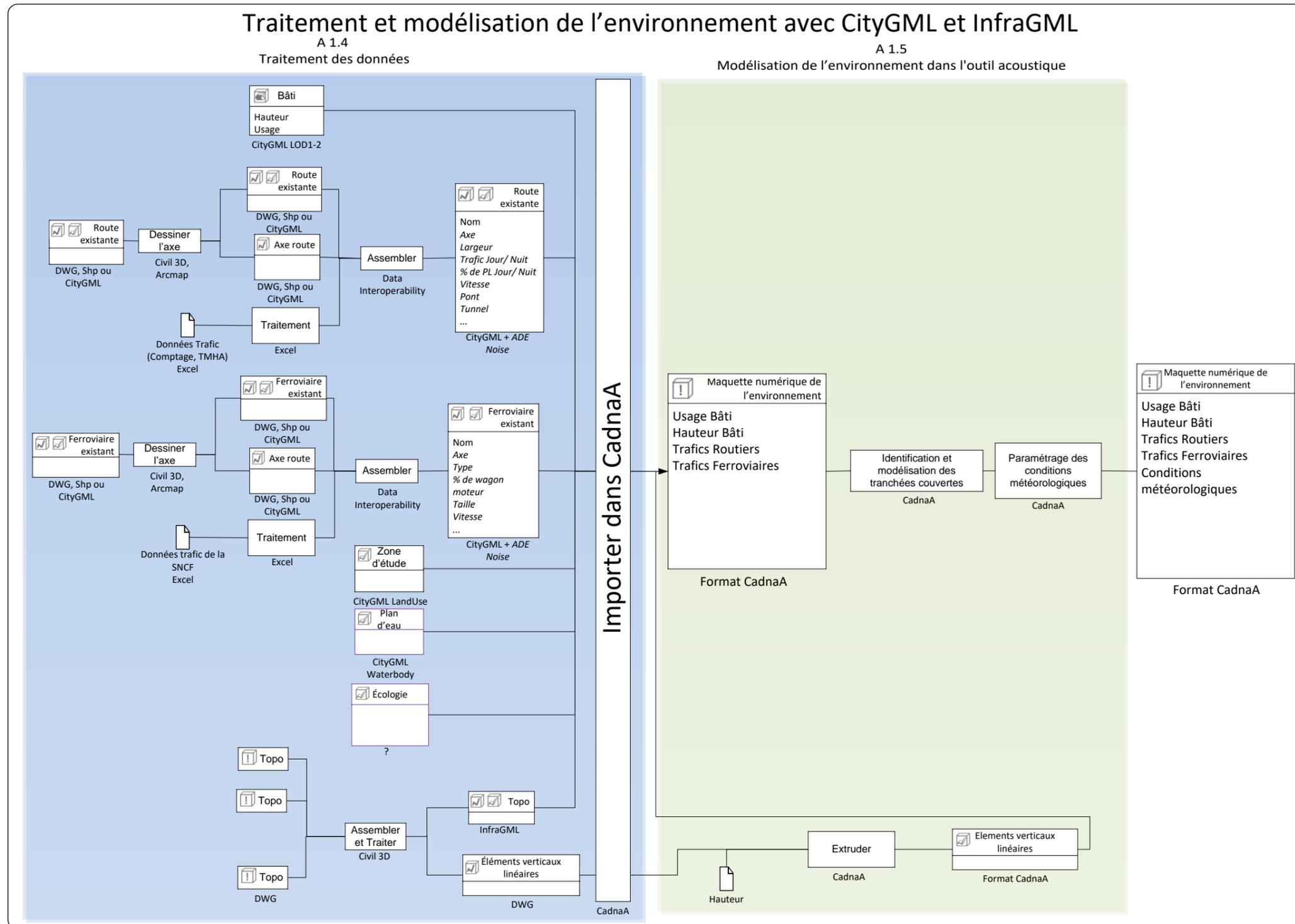
Image à remettre en meilleure qualité

Diagramme SADT revisité avec l'utilisation UML et perceptory

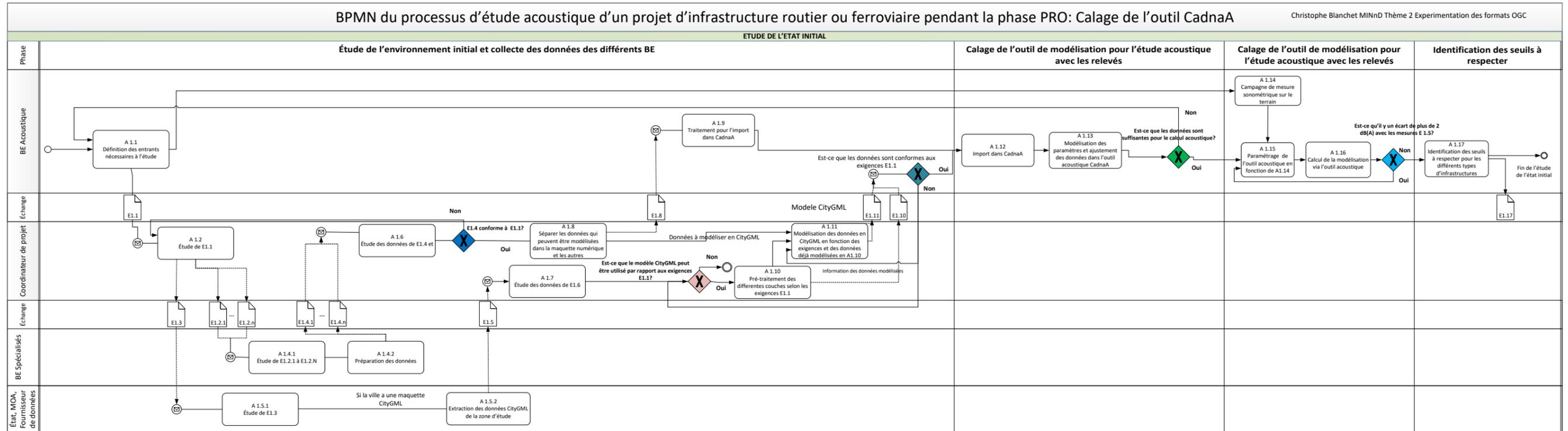


Ici il faut comprendre que la classe bâti est représentée en 3D dans un environnement 3D et a des attributs comme l'usage, le type de toiture, etc. Le bâti est en CityGML, il va être utilisé pour être importé/lu par les outils ArcGIS, Infraworks et FZKViewer

10.5. Annexe n° 5 : Traitement et modélisation de l'environnement avec CityGML et InfraGML



10.6. Annexe n° 6 : BPMN processus BIM de l'étude initial utilisant CityGML et InfraGML



Légende

- Activité réalisée par l'acteur désigné en tête de ligne (« ligne d'eau ») pendant la période ...
- Informations, données ou documents échangés ou créés pendant la période ...
- Message (information et démarrage d'activité)
- Début ou Fin d'une phase intermédiaire
- Début
- Fin

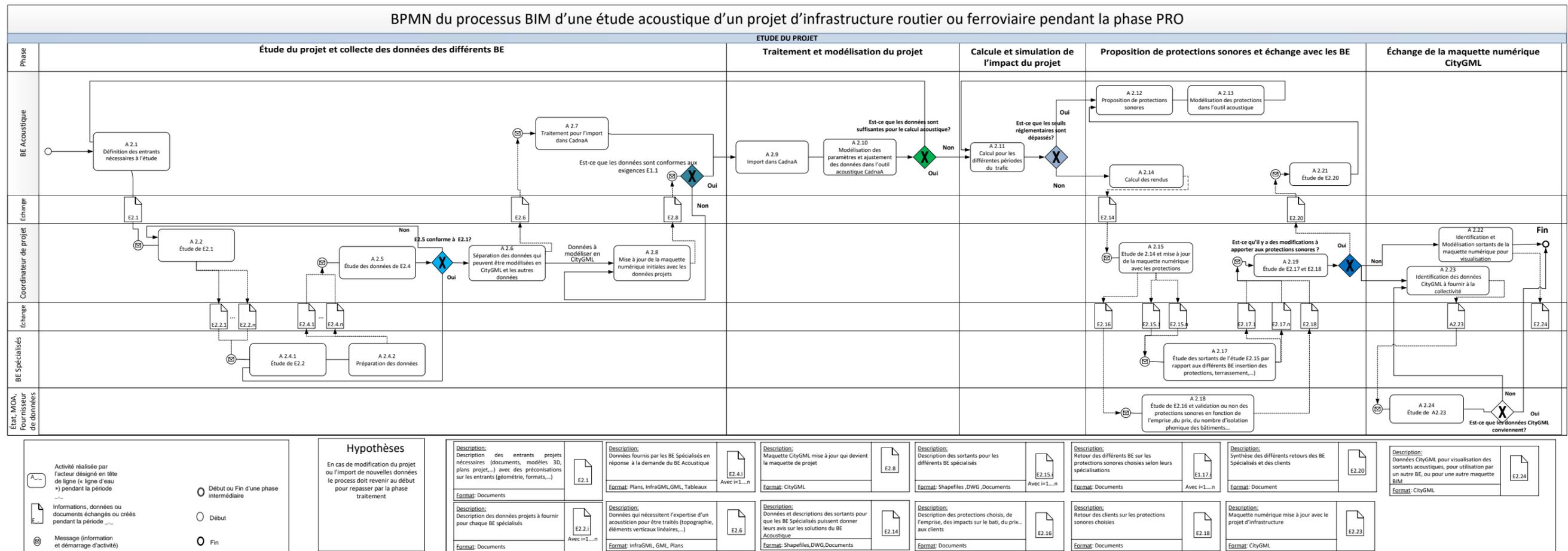
Hypothèses

Toutes les données nécessaires à l'étude sont importées pendant la phase traitement et modélisation, dans le cas où il y aurait des entrants en cours d'étude le traitement reste le même

<p>Description: Description des entrants nécessaires en fonction de l'environnement initial de l'étude (documents, modèles 3D, plans projet...) avec des préconisations sur les entrants (géométrie, formats,...)</p> <p>Format: Documents</p> <p>E1.1</p>	<p>Description: Description des entrants nécessaires CityGML si la ville ou collectivité possède une maquette numérique CityGML</p> <p>Format: Documents</p> <p>E1.3</p>	<p>Description: Données CityGML de l'emprise de l'étude acoustique</p> <p>Format: CityGML</p> <p>E1.5</p>	<p>Description: Données modélisées issues des BE Spécialisés pour compléter (ou remplacer) le modèle 3D CityGML entrant</p> <p>Format: CityGML</p> <p>E1.11</p>
<p>Description: Traduction des besoins du BE Acoustique E1.1 pour les BE concernés</p> <p>Format: Documents</p> <p>E1.2.1</p> <p>Avec i=1...n</p>	<p>Description: Données fournies par les BE Spécialisés en réponse à la demande du BE Acoustique</p> <p>Format: InfraGML, documents, tableaux</p> <p>E1.4.1</p> <p>Avec i=1...n</p>	<p>Description: Données qui nécessitent l'expertise d'un acousticien pour être traitées (topographie, éléments verticaux linéaires,...)</p> <p>Format: InfraGML, DWG</p> <p>E1.8</p>	<p>Description: Données CityGML entrants traités pour convenir aux exigences du BE Acoustique</p> <p>Format: CityGML</p> <p>E1.10</p>

Phase	Acteur	Description de l'action
A1.1	BE Acoustique	Phase pendant laquelle le BE Acoustique étudie l'environnement du projet afin de voir les entrants (plans, documents, réglementation, données...) qui sont nécessaires pour le calage de l'outil acoustique.
A1.2	Coordinateur projet	Étude des besoins du BE Acoustique et traduction des besoins aux différents BE concernés.
A1.4	BE Spécialisés	Étude des besoins et préparation des données pour les transmettre au coordinateur de projet.
A1.5	Fournisseur de données	Dans le cas où il y a une maquette urbaine CityGML : extraction des données (bâti, routes, ferroviaire, MNT, mobilier urbain, tunnel, pont, etc.) de la zone du projet.
A1.6	Coordinateur projet	Réception des données et étude des données par rapport aux besoins explicités en E1.1.
A1.7	Coordinateur projet	Réception des données CityGML et étude de la géométrie afin de s'assurer que la maquette CityGML corresponde aux besoins de l'étude acoustique et que cette maquette ne nécessite pas un traitement trop lourd pour être utilisable.
A1.8	Coordinateur projet	Dans cette étape de tri, les données qui peuvent être modélisées (cela dépend des données déjà récupérées en A1.7) en CityGML passent à l'étape A1.8. Les données qui nécessitent le traitement d'un acousticien sont transmises au BE Acoustique.
A1.9	BE Acoustique	Traitement d'une partie des données (relief et éléments verticaux linéaires) pour l'import dans CadnaA.
A1.10	Coordinateur projet	Traitement des données CityGML pour l'import dans CadnaA. (Vérification qu'un objet est défini que dans un seul LOD et une seule géométrie).
A1.11	Coordinateur projet	Traitement et Conversion des données dans le standard CityGML, définition des identifiants pour les différents objets CityGML qui restent fixes tout au long du processus.
A1.12	BE Acoustique	Import dans CadnaA des données CityGML et des autres données.
A1.13	BE Acoustique	Paramétrage du modèle (création de l'émission ponctuelle de bruit des tranchées couvertes, choix des conditions météorologiques, etc.).
A1.14	BE Acoustique	Réalisation en parallèle de mesures sonométriques sur la zone d'étude. Des sonomètres sont placés à certains endroits pour mesurer le bruit afin de le comparer avec le modèle.
A1.15	BE Acoustique	Paramétrage en fonction des relevés sonométriques.
A1.16	BE Acoustique	Calcul acoustique de la maquette numérique.
A1.17	BE Acoustique	Identification des seuils à respecter en fonction du type d'infrastructure (création d'une nouvelle voie ou modification d'une ancienne voie).

10.7. Annexe n° 7 : BPMN processus BIM de l'étude projet utilisant CityGML et InfraGML



Phase	Commentaire
Étude du projet et collecte des données des différents BE	--
Traitement et modélisation du projet	La maquette numérique de l'environnement est mise à jour avec les données projets.
Calcul et simulation de l'impact du projet	--
Proposition de protections sonores et échange avec les BE	Cette partie est limitée par l'outil CadnaA qui ne peut pas exporter en CityGML ou en IFC les protections sonores. De plus les sortants prévisionnels sonores sont en 2D. Ainsi l'outil CadnaA limite.
Échange de la maquette numérique CityGML	La maquette numérique mise à jour avec les données projets est utilisée pour la visualisation des sortants et aussi pour d'autres maquettes BIM. La collectivité peut demander aussi la maquette pour l'utiliser dans divers domaines (aménagement, planification, simulation, etc.).

10.8. Annexe n° 8 : Proposition d'amélioration de CityGML et InfraGML

Standard	Classe	Ajout	Commentaire
ADE Noise	Railway	Ajout de l'attribut du nombre de passages de trains (jour, soirée et nuit)	--
InfraGML	TIN	Possibilité d'avoir un MNT avec des courbes de niveau	--
	RoadElements	Ajout des données trafics Ajouter la possibilité d'être modulable comme CityGML et LandXML.	--
LandInfra	Site, Environment	Possibilité d'avoir le mobilier urbain pour représenter les éléments verticaux linéaires.	--