

Livrable

Analyse critique des outils existants pour charger et mettre en cohérence les données sur les infrastructures et l'environnement

Auteurs/Organismes

Justine Vassart (Setec)
Amos Houewatonou (Egis)
Yann Le Gallic (Setec)
Sylvain Moulherat (Cinov/TerrOïko)
Stéphane Pradon (Egis)

Denis Le Roux (Setec)
Anne Ruas (Ifsttar)
Marc Chassande (Setec)
Sylvain Guilloteau (Vinci Autoroutes)

Structuration des données (Thème 3) Infrastructure et environnement (UC6)

MINnD_TH03_UC06_02_Analyse_critique_outils_existants_pour_coherence_donnees_infrastructures_019A_2017

Décembre 2017

RESUME

Des échanges successifs entre les domaines de conception

Les méthodes de travail actuelles pour la conception des infrastructures ont recours à des échanges successifs entre les domaines de conception. Les fichiers de chaque corps de métier doivent souvent être transformés avant d'être compilés ou ressaisis du fait des incompatibilités entre les logiciels et les formats. Ces manipulations entraînent une perte de temps et une dégradation des informations contenues dans les fichiers d'origine ce qui augmente le risque d'erreur.

Une analyse des flux d'échanges

L'objectif des études effectuées en tranche 2 de l'UC6 est tout d'abord d'analyser ces flux d'échanges autour des données environnementales des projets. Cela doit permettre :

- D'identifier les points de blocage existants.
- De déterminer quelles sont les évolutions de méthode de travail à mettre en œuvre pour fluidifier les échanges.

Une analyse critique des outils existants

L'objectif de ce rapport UC6T2-1 est de faire une analyse critique des outils existants en se basant sur les cas de passage à faune de part et d'autre d'autoroutes :

- Un chiroptero-duc sur une portion de la A63.
- Un écopont sur une portion de la A64.

Deux cas présentés en annexe du rapport

Deux cas d'étude alimentent le contenu de tous les rapports UC6T2.

Ils sont présentés en Annexe de ce rapport.

GLOSSAIRE

Abréviation	Définition
ASF	Autoroutes du Sud de la France
BIM	Building Information Modeling – Building Information Model
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
BVN	Bassin Versant Naturel
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CNPD	Conseil National de Protection des Données
CNPN	Conseil National de Protection de la Nature
DLE	Dossier Loi sur l'Eau
DPAC	Domaine Public Autoroutier Concédé
DREAL	Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DUP	Déclaration d'Utilité Publique
ENS	Espace Naturel Sensible
EUNIS	European Nature Information System)
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
IFC	Industry Foundation Class (Norme ISO 16739)
IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies, des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
IGN	Institut Géographique National
Impluvium	Système de captage des eaux pluviales.
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
Interopérabilité	« Capacité de matériels, de logiciels ou de protocoles différents à fonctionner ensemble et à partager des informations » (Larousse).
ISO	International Organization for Standardization
MINnD	Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables
MNT	Modèle Numérique de Terrain : modélisation numérique du relief d'un site par la représentation des altitudes sous la forme d'un ensemble de vecteurs (points, polygones), d'un raster ou d'un TIN.
NRE	Notice de Respect de l'Environnement
OA	Ouvrages d'Art
OGC	Open Géospatial Consortium
OSGeo	Open Source Geospatial (OSGeo)
Paquet Vert	Dispositif utilisant le schéma des concessions autoroutières pour financer spécifiquement des investissements environnementaux sur les réseaux autoroutiers.
PI	Passage Inférieur
PRE	Plan de Respect de l'Environnement
PS	Passage Supérieur
Raster	Matrice composée de cellules de mêmes tailles définies par une position unique selon une ligne et une colonne de cette grille. Chaque cellule contient une valeur qui permet la représentation d'une quantité ou d'un phénomène.
SIG	Système d'Information Géographique
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique. Créés par les lois Grenelle de 2008 et 2010, ils déterminent les trames vertes et bleues locales constituées des réservoirs de biodiversité et des corridors écologiques identifiés. Leur objectif est de rendre effectif le développement durable et donc de permettre une conciliation entre les outils de protection de l'environnement et les documents d'urbanisme.
TIN	Réseau de triangles irréguliers dont les nœuds sont définis en coordonnées x,y,z et reliés par des lignes. Les triangles ainsi constitués permettent de décrire la surface du sol selon un maillage irrégulier plus dense au niveau des zones où les variations de relief sont plus importantes.
TVB	Trame Verte et Bleue
UML	Unified Modeling Language (Norme ISO 19501)
Vecteur	Éléments géométriques ponctuels, linéaires ou surfaciques auxquels sont associés des propriétés pour identifier, décrire et localiser des informations du territoire.
Workflow	Terme désignant un processus de travail, une succession de tâches et d'opérations.

Sommaire

INTRODUCTION.....	5
I. OUTILS ET FORMATS	6
I.1. Définitions.....	6
I.2. Formats d'échange.....	9
I.3. Données des cas d'étude.....	10
I.4. Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude	13
2. RECOMMANDATIONS.....	22
BIBLIOGRAPHIE.....	24
ANNEXE 1 : CONTEXTE DE L'ETUDE UC6 TRANCHE 2.....	25
Objectifs de l'UC6, tranche 2 et livrables attendus	25
Problématiques abordées	27
Présentation des cas d'étude	27
ANNEXE 2 : LOCALISATION DES PS, PI ET OH SUR L'A63	30
ANNEXE 3 : VISUALISATION DES MODELES 3D DE L'ECOPONT A64	31

INTRODUCTION

Une approche pour minimiser la ressaisie d'informations lors des projets de construction

Le BIM est une approche qui vise à minimiser la ressaisie d'informations lors des projets de construction, notamment durant toute la vie d'un ouvrage de sa conception, sa gestion et éventuellement son démantèlement.

Un projet centré sur l'usage des BIM pour les infrastructures

Le projet MINnD est centré sur l'usage des BIM pour les infrastructures. L'UC6 est un cas d'étude du projet MINnD visant à étudier les relations entre une infrastructure et son environnement. **Ce cas d'usage permet d'étudier les échanges d'information entre les données d'infrastructure et d'autres données, dont des données géographiques.** C'est important parce qu'une infrastructure est toujours en relation avec un espace géographique environnant. Le sujet est potentiellement large. Nous aurions pu, par exemple, étudier les relations :

- Entre les infrastructures et le sous-sol.
- Ou entre les infrastructures et le réseau hydrographique.

Le cas particulier de la construction d'écoponts sur les autoroutes

Nous avons fait le choix de nous concentrer sur le cas particulier de la construction d'écoponts sur les autoroutes. C'est **un sujet d'actualité à fort enjeu sociétal**. En effet, les infrastructures fragmentent le paysage. Ces fragmentations fragilisent certaines populations animales qui ne peuvent plus migrer :

- Soit pour se reproduire soit pour diversifier leur nourriture.
- Soit pour s'adapter à un environnement qui change.

Un cas particulièrement intéressant pour le BIM

Les écoponts visent à rétablir un minimum de connectivité. Par ailleurs, c'est **un sujet à fort enjeu économique**. Les écoponts sont chers, il faut donc savoir où les construire et comment les construire pour maximiser leur efficacité.

Au niveau BIM, ce cas d'étude est particulièrement intéressant puisqu'il demande la réalisation d'études qui reposent sur des données très variées :

- La géométrie de l'infrastructure, celle de l'écopont.
- Les données d'occupation des sols pour définir les habitats des animaux.
- Le MNT pour connaître les contraintes aux déplacements.
- Les données écologiques de comptage animalier pour estimer la présence d'espèces, leur répartition et la taille des populations.

On est donc dans un cas typique d'échange de données et, on le voit dans le rapport 4, de simulation grâce aux données numériques.

Un contexte décrit en annexe I

Le contexte de notre étude est décrit précisément en Annexe 1 de ce présent rapport. Ce rapport UC6T2 – 1 est une analyse critique des outils existants. Il est complété par 4 autres rapports :

Nom du rapport	Contenu
Livrable 2 (UC6T2-2)	Processus pour l'étude des enjeux environnementaux liés aux infrastructures.
Livrable 3 (UC6T2-3)	Structuration et historisation des données d'infrastructures et environnementales.
Livrable 4 (UC6T2-4)	Perspectives pour la construction de passages à faunes (localisation, aménagements et analyse de performance).
Livrable UC6-3 version 2	Propositions réglementaires relatives aux infrastructures et aux données environnementales.

L'objet du rapport

L'objet de ce rapport est donc de **souligner les difficultés rencontrées lors du chargement et de l'échange des données manipulées pendant cette tranche 2.**

I. OUTILS ET FORMATS

I.1. Définitions

Les notions essentielles de l'étude

Les définitions suivantes constituent les notions essentielles sur lesquelles s'appuie notre étude.

CAO

Une solution critiquée...

... puis adoptée dans de nombreux secteurs

Un outil indispensable pour la construction

Lors de ses débuts, la CAO a été critiquée pour :

- Le coût de sa mise en œuvre : matériel, logiciel, formation.
- Sa mise en œuvre, avec la contrainte de ressaisie des informations disponibles sur papier.

Finalement, elle a été largement adoptée dans de nombreux secteurs. Elle permet notamment une plus grande fiabilité des informations, facilite les mises à jour et améliore la conservation des données (fichiers numériques).

La CAO est devenue un outil indispensable pour le secteur de la construction, qui a peu à peu évolué vers la conception 3D. Cette évolution trouve sa place dans le processus général de dématérialisation des prestations intellectuelles et de la numérisation des données projet.

Le tableau suivant donne des exemples de logiciels de CAO 3D.

Pôle d'étude	Logiciel de conception 3D
Conception Linéaire	Civil 3D (Autodesk), Covadis (Geomedia), Mensura (Geomensura)
Conception OA	Rhinocéros 5.0 (Robert McNeel & Associates)
Études Acoustiques	CadnaA (DataKustik)
Études Géotechniques	Plaxis 3D (Plaxis)

Tableau I : Liste non exhaustive des logiciels de conception utilisés pour les projets d'infrastructures linéaires et de leurs aménagements

SIG

Un SGBD-Géo

La définition des relations entre les données

F. Bouillé (1978) conçoit un SIG comme « *un modèle informatisé du monde réel, décrit dans un système de référence qui est la Terre, établi pour satisfaire la nécessité d'information spécifique en réponse à un ensemble de problématiques concrètes* ».

En ce sens, un SIG n'est plus un système de stockage de cartes digitales. Il s'agit d'un outil informatique pour la gestion de **l'information géographique et alphanumérique** (attributs ou propriétés), **stockée en base de données** qui permet la résolution de problèmes ayant une dimension géographique. Un SIG est donc au moins un SGBD-Géo.

En plus d'un SGBD, il a des fonctions spécifiques permettant :

- Le géoréférencement dans un système standard de coordonnées géographiques.
- La visualisation et l'analyse de données spatiales.

Les relations entre les données d'un SIG sont définies par les coordonnées affectées aux couches, plutôt que par des liens entre ces objets comme c'est le cas pour la maquette numérique 3D. Mais les relations entre objets peuvent aussi être représentées par des relations de compositions ou des relations topologiques sur certains SIG professionnels. Les SIG exploitent historiquement essentiellement des données 2D, mais intègrent progressivement la 3D : c'est le cas du module ArcScene et de l'extension 3D Analyst d'ArcGIS, du module city-Engine, développé par ESRI, ou encore de CUARDO d'Oslandia.

I.1 Définitions | SIG

Le stockage d'informations 3D

Le stockage d'informations 3D est possible depuis longtemps, par exemple sur le SGBD PostGIS ou Oracle Spatial.

De nombreuses fonctions import-export

Les SIG ont de nombreuses fonctions import-export et beaucoup se basent sur les normes de l'OGC. Des outils tels que FME¹ sont parfois utilisés pour réaliser les changements de format. Ce stockage externalisable sous la forme de base de données structurées est le point fort des SIG.

Un fonctionnement avec une approche serveur

Les SIG présentent l'avantage de pouvoir fonctionner avec une approche serveur. Les données, cartes et outils en ligne sont alors mis à disposition au moyen de services web. Le tableau suivant présente les logiciels de SIG les plus utilisés.

Des logiciels de visualisation 3D orientés SIG

Des logiciels de visualisation 3D orientés SIG apparaissent depuis quelques années. Ils intègrent des fonctions d'import/export de données cartographiques et d'objets 3D. Ces logiciels se connectent aux principales bases de données existantes et permettent de réaliser des requêtes. Ces outils sont très utiles pour :

- Aider les maîtres d'ouvrage à visualiser un projet d'infrastructure.
- Faciliter la phase de concertation entre toutes les parties prenantes du projet.

L'exemple de Skyline Software Systems

Parmi ces outils, nous pouvons citer la suite logicielle de Skyline Software Systems. Elle permet de créer un socle 3D à partir d'un modèle numérique de terrain (relevé LIDAR) et de draper des orthophotoplans. Ce socle 3D devient le support des cartographies et des objets 3D d'un espace géographique géo référencé.

Nom du logiciel	Éditeur	Format natif	Exemple de formats pris en charge (sans plugin)
ARCGIS	ESRI	shp, geodatabase mxd, sxd, 3dd, lyr	asc, geotiff, autres rasters, postgis
AutocadMAP	Autodesk	dwf, dwg	asc, geotiff autres rasters, shp, dgn, 3dm, 3ds, dxf, obj, postgis, tab
Bentley Map	Bentley	Xml, Xfm dgn	Asc, geotiff, autres rasters, shp, postgis, tab
GRASS GIS	Libre (GRASS development Team)	Geodatabase	asc, geotiff, shp, postgis
MapInfo	Pitney Bowes Software	tab Wor	tiff, autres rasters + via mapinfo universal translator : shp, dwg, dxf, dgn
QGIS	Libre (OSGeo)	Qgs, qml	asc, geotiff, autres rasters, shp, postgis, tab
Terra Explorer	Skyline	Fly, 3dml, fbx	Shp, Oracle, WFS,ecw, 3ds

Tableau 2 : Liste de logiciels de SIG

Les problèmes liés à la conversion des données

La conversion des données issues de la CAO (fichiers dxf, dwg, dgn...) en SIG (shp, tab...) est possible. Toutefois, cette conversion peut entraîner des erreurs et dégrader la qualité des fichiers de départ. Cette perte d'information concerne notamment les données attributaires des fichiers SIG. Celles-ci disparaissent lors de la conversion, car elles ne sont pas prises en charge par les formats de CAO.

Un autre problème concerne la transcription géométrique des fichiers. En effet, les formats CAO utilisent des entités géométriques que les SIG ne peuvent pas lire et inversement. Lors de l'import, le traducteur du logiciel utilisé ne parvient pas toujours à gérer ce phénomène. Des entités géométriques peuvent ainsi disparaître ou être altérées.

Les changements de formats issus de ces technologies (CAO, DAO, BIM, SIG, CIM, etc.) nécessitent une bonne connaissance des modèles de données, et en particulier la représentation des structures géométriques.

¹ FME (Feature Manipulation Engine) est une suite d'utilitaires pour extraire, transformer et charger les données géographiques de plus de 345 formats de données géographiques, DAO, raster et de bases de données.

I.1 Définitions

BIM et logiciels BIM
**Un modèle numérique
de données commun
aux acteurs du projet**

Le BIM a été créé il y a plus de 20 ans aux États-Unis. L'objectif était d'améliorer la communication entre les professionnels collaborant sur un même projet. Traditionnellement, c'était au travers de dessins sur papier que les acteurs partageaient leur vision d'un projet. En conséquence, les projets étaient décrits par un volume important de documents. Si le passage à la CAO a constitué une véritable révolution dans le domaine, les fichiers pour la conception d'un aménagement, bien que numériques, sont toujours très nombreux.

Le BIM repose sur la mise en place d'un modèle numérique de données commun aux acteurs du projet. Il permet également une représentation visuelle du projet, sous la forme d'une maquette numérique 3D. Cette maquette contient l'ensemble des données du projet pouvant être mise à la disposition des acteurs impliqués.

À partir de cette maquette, des extractions de données peuvent être réalisées de manière automatique (plans, coupes, métrés, etc.). Le BIM permet le contrôle de cohérence des données. Il facilite la coordination des disciplines et du phasage de construction envisagé. Il permet un gain de temps conséquent, car il indique les « collisions » potentielles entre les objets du modèle et donc du projet, bien en amont des travaux. Le BIM est également un support de communication et de concertation efficace qui facilite les prises de décisions et la présentation du projet aux donneurs d'ordre et au public. Le tableau suivant montre que le BIM est pour l'instant surtout centré sur les bâtiments.

Nom du logiciel	Éditeur	Utilisation
Allplan	Nemetschek	BIM bâtiment - export et import en IFC
Archicad	Graphisoft	BIM bâtiment - export et import en IFC -
Autocad Architecture	Autodesk	BIM bâtiment - export et import en IFC
Revit	Autodesk	BIM bâtiment - export et import en IFC
Sketchup pro	Trimble	BIM bâtiment - export et import en IFC
Novapoint	Trimble	BIM infrastructure

Tableau 3 : Liste de logiciels BIM

C'est plus qu'un logiciel
**Un BIM infrastructure
c'est une organisation
et des logiciels**

Le BIM n'est pas qu'un logiciel, mais un principe, des méthodes et outils de partage, de contrôle et d'accès à de l'information de construction. En principe un logiciel - ou une famille de logiciels - devrait permettre d'implémenter une solution BIM, mais ne pas s'y substituer.

Un BIM infrastructure devrait donc être une organisation et des logiciels :

- Facilitant la vie d'une infrastructure, dont sa construction et son entretien.
- Assurant une représentation partagée de cette infrastructure à différents niveaux de développement et de détail et dans son contexte géographique.

Le BIM ne doit donc ni être réduit à un logiciel ni à une maquette numérique. Pour désambiguïser, nous parlons de BIM, de logiciels-BIM et de maquette-BIM. Les logiciels BIM reposent sur des modèles de données BIM que nous appelons modèles-BIM.

I.2. Formats d'échange

L'interopérabilité et la pérennité des maquettes numériques

L'interopérabilité et la pérennité des maquettes numériques peuvent être facilitées par l'utilisation de standards d'échange. Dans le secteur du bâtiment, les recherches autour de l'interopérabilité **des modèles BIM et des modèles SIG ont largement progressé**. Elles ont notamment permis la création des deux modèles libres que sont l'IFC et le CityGML développés respectivement par les organismes : **BuildingSMART et OGC**.

OGC

L'OGC est une organisation internationale fondée pour la promotion de standards ouverts qui garantissent l'interopérabilité (exemple des formats : WMS, GML, KML...).

L'OGC a créé le groupe de travail LandInfraSWG pour intervenir dans le domaine des infrastructures. Face aux difficultés de réalisation de son objectif initial qui était de rendre le format LandXML conforme aux normes OGC, le groupe a lancé la création d'un nouveau format : l'InfraGML. Il reprend un ensemble de fonctionnalités du LandXML en intégrant le modèle GML et en étant défini par un modèle conceptuel UML. La norme devrait être compatible avec le CityGML.

BuildingSMART

L'organisation, fondée sous le nom de : International Alliance for Interoperability (IAI), prend le nom de BuildingSMART en 2008. Depuis les années 2000, *Media-construct* travaille comme sous-groupe de l'organisation à l'échelle de la France. BuildingSMART opère pour coordonner le développement des standards internationaux et travaille actuellement sur le premier projet d'IFC pour les infrastructures : l'IFC Alignement (IFC Alignment). Il sert de ressource commune aux IFC Route, Pont et Tunnel (IFC Road, Bridge and Tunnel) en cours d'élaboration.

Les IFCAlignement sont définis à partir d'alignements horizontaux (axe) et verticaux (profil type).

Des standards pour une utilisation BIM infra

Des limites restreignent l'utilisation des formats libres. Le CityGML est lu et écrit par un nombre très faible de logiciels. Il est également complexe d'assurer une vérification de la géométrie des modèles dans les logiciels. Les limites de l'IFC résident dans sa complexité et dans les problèmes d'imports et d'exports depuis les logiciels, comme c'est le cas par exemple pour le logiciel le plus utilisé dans le BIM bâtiment : Revit.

Des formats ne répondant pas aux exigences techniques de création d'une maquette numérique

Actuellement, ces formats ne répondent pas aux exigences techniques que requiert la création d'une maquette numérique d'infrastructures linéaires. De nouveaux formats (tels que IFC Alignement et InfraGML) sont nécessaires pour prendre en compte les besoins spécifiques liés à ces modèles et notamment en matière de :

- Géoréférencement : contrairement aux bâtiments, les infrastructures linéaires ne peuvent pas être géoréférencées uniquement à partir d'un point et d'un angle comme c'est le cas dans le logiciel Revit. Une infrastructure est étroitement liée à son environnement géographique.
- Hétérogénéité des données à intégrer aux modèles : données issues de CAO 2D/3D, de SIG, de projets réalisés en BIM, etc.
- Gestion du niveau de détail.
- Étendue spatiale des modèles.
- Etc.

I.2 Formats d'échange | Des standards pour une utilisation BIM infra

Les solutions à partir du format natif des logiciels sont privilégiées

Des standards qui répondent aux besoins des BIM Infra

Évolutions futures envisagées

On constate par ailleurs que ce sont finalement les solutions à partir du format natif des logiciels qui sont privilégiées (exemple du fonctionnement proposé par les logiciels Revit, Navisworks et Autocad). Elles ont l'avantage de permettre la conservation de la qualité du fichier, en évitant les erreurs et pertes d'informations liées aux changements de formats. L'objectif est donc que les standards d'échange puissent assurer, de la même manière, cette fiabilité des données.

On peut penser que les standards de type IFC et de type GML sont indispensables. L'un pour la construction, et l'autre pour l'espace construit. Ils répondent en effet à deux besoins complémentaires des BIM Infra. Il faut donc assurer l'existence de logiciels permettant de passer d'un type à l'autre en minimisant les pertes attributaires.

On peut donc imaginer dans un avenir proche :

- Des modèles de données de type IFC pour les infra avec plusieurs niveaux de détail.
- Des modèles de données de type GML pour les infra avec plusieurs niveaux de détail.
- Des logiciels (de type FME) permettant de passer d'un modèle à l'autre en minimisant les pertes d'information.
- Des logiciels de type BIM-logiciels et SIG-Logiciels implémentant une partie de ces modèles.

I.3. Données des cas d'étude

Données entrantes utilisées pour décrire les infrastructures

Pour rappel, les cas d'étude sont présentés en Annexe 1. Nous présentons ci-dessous les données utilisées pour décrire les infrastructures, les écoponts et leur environnement :

Donnée	Format	Description	Fournisseur	Producteur
Topographie	Dwg	Plan topographique issu d'un levé LIDAR (Lambert 93)	Vinci	ECARTIP
MNT	ASC	BD Alti de l'IGN, raster (précision = 5m)	IFSTTAR	IGN
Orthophotos	Jpeg	Orthophotos	Setec	IGN
Cartographie	Shapefile	Données variées issues des bases de données vectorielles de l'IGN	Setec	IGN
Cartographie	Tiff	SCAN25, carte numérique géoréférencée du territoire au 1:25000	VINCI	IGN
Environnement naturel	Shapefile	Base de données vectorielle : zones protégées, inventaires espèces faunes/flores, habitats naturels	Setec	Setec et autres bureaux d'études

Tableau 4 : Données entrantes pour le cas d'usage de l'A63

Donnée	Format	Description	Fournisseur	Producteur
Topographie	Dwg	Levés topographiques du site (Lambert III)	Vinci	ECARTIP
MNT	ASC	BD Alti de l'IGN, raster (précision = 5m)	IFSTTAR	IGN
Écopont	Citygml / Obj	Modèle 3D de l'écopont	Vinci	ECARTIP
Écopont	Dwg	Plans de phasage	Vinci	Entreprise
Images	Jpeg	Images utilisées pour la texture de l'écopont	Vinci	KOMENVOIR
Environnement naturel	Pdf	Document de présentation des enjeux du site et du projet d'écopont	Vinci	Biotope

Tableau 5 : Données entrantes pour le cas d'usage de l'A64

I.3 Données des cas d'étude

Problèmes rencontrés avec les fichiers de levés topographiques

Une organisation des calques différente

Un problème de renseignement des données 3D

Des incohérences entraînant un travail supplémentaire

Comme c'est souvent le cas lors de projets, les fichiers topographiques de nos deux cas d'étude, au format *.dwg, n'ont pas la même organisation de calques, ce qui complique leur compréhension et leur utilisation :

- La nomenclature des calques n'est pas la même.
- Les calques ne contiennent pas le même type d'objets.
- La projection n'est pas la même : Lambert III pour l'A64 et Lambert 93 pour l'A63.

Un autre problème est le renseignement des données 3D sur le fichier de l'A64 :

- Polygones 3D présentant des sommets d'altitude nulle.
- Blocs avec attributs de hauteur ayant une altitude nulle renseignée.
- Blocs représentant le même objet mais n'ayant pas la même altitude renseignée.
- Lignes de haut et bas de talus renseignées aléatoirement en 2D ou en 3D.

Ces incohérences ont imposé un travail supplémentaire de contrôle et de tri des informations des fichiers. Elles peuvent être à l'origine d'erreurs sur les modèles numériques de terrain créé. Nous recommandons ainsi la mise en place d'un cahier des charges, avec :

- Des préconisations spécifiques pour les fichiers topographiques.
- Des clauses en matière de nomenclature des calques, des types d'objets qu'ils contiennent et des recommandations relatives aux informations 3D.

Problèmes rencontrés avec le fichier de l'écopont

Un mauvais référencement

L'écopont de l'A64 au format CityGML est issu d'un premier fichier au format 3DS Max conçu par un bureau d'études (voir annexe n°3, visualisations des modèles 3D de l'écopont). Ce fichier a ensuite été transformé en CityGML (d'après le livrable UC6-2).

Ce dernier présente plusieurs problèmes : son géoréférencement a été mal indiqué (EPSG 3944 au lieu de EPSG 3946).

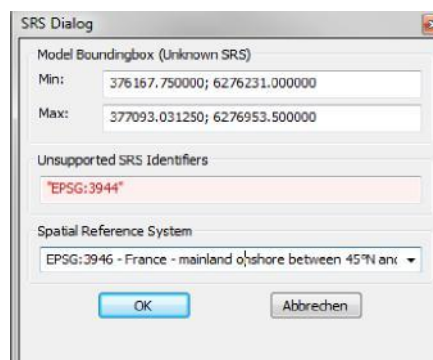


Figure 1 : Visualisation du système de projection

I.3 Données des cas d'étude | Problèmes rencontrés avec le fichier de l'écopont

Un niveau de détail sommaire

Son niveau de détail est sommaire, il ne comprend que trois catégories d'objets :

- La structure de l'ouvrage « Bridge ».
- Un module « Core » qui ne contient aucune entité.
- La végétation « veget ».

Dans le viewer, les textures du modèle ne s'affichent pas et les entités n'ont aucune propriété de renseignée.

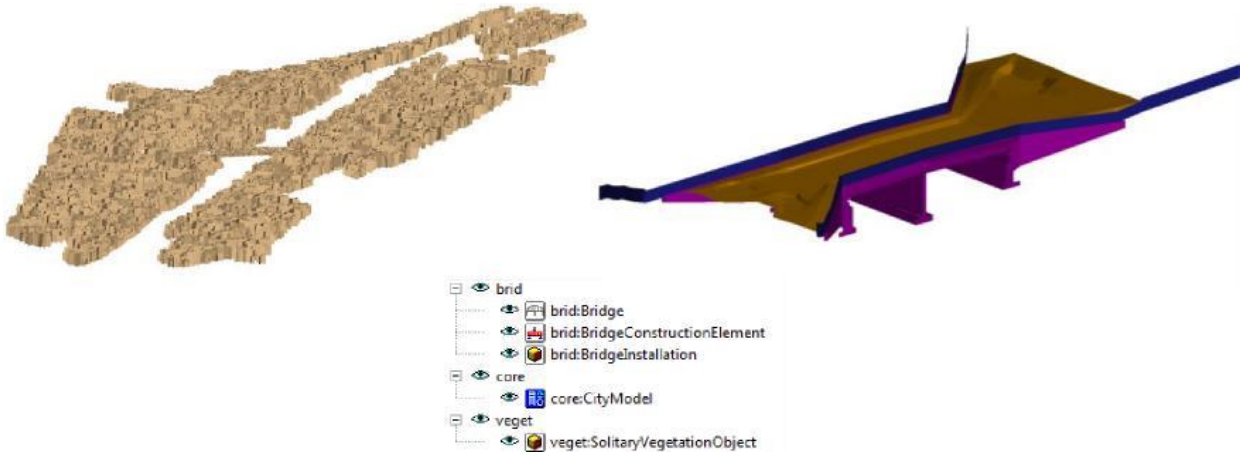


Figure 2 : Visualisation des modules "veget" (à gauche) et "Bridge" (à droite), dans FZK Viewer

Le détail des informations du fichier de départ n'a pas été conservé lors du passage au format CityGML. En effet, le fichier 3DS contient différentes catégories pour chaque type d'objets.

Nom	Couleur	Matériau présent	Catégorie Revi
Andain_Pie	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
Andain_010	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
BrancheTa1	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
BrancheTas	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
BrancheTa0	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
plantes	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
Sol_ecopon	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
herbe	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
buisson	[Carré violet]	<input checked="" type="checkbox"/>	
eau	[Carré bleu]	<input checked="" type="checkbox"/>	
arbres3D	[Carré rose]	<input type="checkbox"/>	
vegetation	[Carré rose]	<input type="checkbox"/>	
OUVRAGE	[Carré vert]	<input type="checkbox"/>	

Figure 3 : Objets contenus dans le modèle 3DS, lu dans 3DS Max

Un format qui ne prend pas en charge l'affichage des textures
Une représentation graphique perdue lors des changements de format

En plus du format CityGML, l'écopont a été fourni au format *.obj, qui ne prend pas en charge l'affichage des textures. Le fichier est constitué d'un maillage qui n'est pas exploitable, mais qui permet de localiser et de visualiser l'ouvrage.

On retrouve de façon répétitive le fait que la représentation graphique est perdue, ou en partie perdue, lors des changements de format. C'est tout à fait logique puisque bien souvent ces représentations s'appuient sur des bibliothèques graphiques propres aux logiciels.

La normalisation des représentations graphiques est très peu développée, que ce soit au niveau du monde des SIG que celui de la CAO.

I.3 Données des cas d'étude

Problèmes rencontrés avec la base de données SIG de l'A63

Un problème de redondance des données

Pour mieux comprendre les enjeux liés aux cas d'étude, nous avons réalisé une analyse environnementale des sites à partir des données existantes. Les données environnementales recueillies en phase d'études préliminaires proviennent du bureau d'études EGIS et sont en majorité disponibles au format shape. Dans le cadre des enquêtes publiques, le bureau d'études SETEC a réalisé des études environnementales complémentaires aussi disponibles au format shape. Toutes ces données sont regroupées sur un serveur et exploitées par les outils ESRI.

Il a été identifié un problème en ce qui concerne la redondance des données entre les dossiers et par la présence de plusieurs versions d'un même fichier au sein d'un même dossier. L'utilisation d'une gestion électronique des documents aurait permis de disposer des données mises à jour et d'accéder rapidement aux données souhaitées par l'utilisateur.

I.4. Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude

Solution Vianova

Présentation

La société Vianova Systems France constitue l'antenne française du groupe norvégien Vianova qui a été racheté en 2015 par le groupe Trimble.

La solution Vianova est utilisée par de nombreuses entreprises et maîtres d'œuvre, comme Setec, Egis ou Vinci pour la réalisation des maquettes numériques de leurs projets. Elle permet une restitution fiable des fichiers issus de la CAO. Le projet est représenté en trois dimensions, texturé et organisé en groupes de couches facilement interprétables par le lecteur. Cette maquette est donc satisfaisante, dans le cas où l'on souhaite obtenir une simple visualisation en 3 dimensions du modèle. Cette solution logicielle intègre les applicatifs suivants :

Applicatif	Description
Novapoint	Il s'agit du logiciel de conception d'infrastructure linéaire de Vianova. C'est un applicatif basé sur l'environnement AutoCAD. L'utilisation de Novapoint dès le stade de la conception du projet permet une transition plus facile avec l'étape suivante qui est celle de la réalisation de la maquette 3D. Néanmoins, il n'est pas indispensable de disposer du projet au format Novapoint pour confectionner la future maquette 3D.
Virtual Map	Virtual Map est un applicatif basé sur l'environnement AutoCAD. Sa fonction est d'associer un calque AutoCAD à une famille d'objets pour le modéliser en 3D. Virtual Map permet de passer d'une représentation classique CAO à une modélisation réaliste 3D. L'utilisateur doit en amont structurer son dessin AutoCAD en fonction des objets 3D à afficher pour faciliter les mises à jour du projet.
VDC Explorer	VDC Explorer est le viewer de Vianova et permet d'afficher et d'analyser une maquette numérique 3D au format VIANOVA. C'est un outil collaboratif qui peut être utilisé en revue de projet.

Les problèmes constatés

▼ Des attributs renseignés par l'intermédiaire du paramètre « info texte »

Avec la suite logicielle VIANOVA, les attributs de la maquette ne peuvent être renseignés que par l'intermédiaire du paramètre « info texte » présent dans le Modèle Virtual Map. Il s'avère que ce paramètre n'est qu'un simple champ texte qui n'autorise pas une organisation complexe des attributs de chaque objet. Ce paramètre s'applique indifféremment à tous les objets présents dans un même groupe.

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | Solution Vianova

Les problèmes constatés

▼ **Pas de connexion à une base de données extérieure**

Le logiciel n'offre pas la possibilité d'une connexion à une base de données extérieure ni l'ajout de données de type SIG.

▼ **Des modifications imposant un retour sur Civil 3D, puis une nouvelle compilation**

De plus, chaque modification que l'on souhaite apporter au modèle dans Virtual Map impose un retour sur Civil 3D, puis une nouvelle compilation.

▼ **Des problématiques d'interopérabilité**

La maquette présente également des problématiques d'interopérabilité : d'un ordinateur à l'autre, si les textures ne sont pas installées, les modèles s'affichent sans les textures paramétrées. L'export du modèle est limité, la structuration des données, les attributs et les paramétrages des couches sont perdus. Seules les géométries sont récupérées. Pour pouvoir modifier le modèle final, il faut posséder les fichiers Virtual MAP et VDC Explorer d'origine. De plus, pour pouvoir le visualiser, le logiciel VCD Viewer est nécessaire. La mise en place d'un processus collaboratif BIM pour les infrastructures linéaires autour d'une telle maquette semble donc pour l'heure difficile.

Format d'export de la maquette numérique	Virtual Map	FBX Files	Collada	Wavefront Object	LandXML
Extension	.vm	.fbx	.dae	.obj	.xml
Type de format	Propriétaire	Propriétaire	Ouvert	Ouvert	Ouvert, standard de fait
Développeur	Vianova	Autodesk	Khronos	Wavefront	
Compatibilité	Oui	Oui	Oui	Oui	Oui
Conservation du géoréférencement	Oui	Oui en partie (-E)	Oui	Non	Oui
Conservation des groupes	Oui	Non	Non	Non	Non
Conservation des attributs	Oui	Non	Non	Non	Non
Conservation des textures	Oui	Non	Oui	Oui	Non
Compatibilité TerraExplorer	Non	Oui via 3DML	Oui	Non	

Figure 4 : Comparatif des différents formats d'export de la maquette numérique depuis VDC Explorer

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude

SIG 3D**Présentation**

ArcScene est une application du module 3DAnalyst d'ArcGIS qui permet de créer des bases de données 3D. L'interface et le fonctionnement d'ArcScene sont similaires à celui d'ArcMap. Un projet est défini dans un système de coordonnées choisi par l'utilisateur ou prend par défaut celui de la première couche ajoutée.

Le SIG 3D est élaboré de la même manière que les SIG 2D, au moyen de couches d'informations superposées et géoréférencées, mais peut également intégrer des données 3D :

- Des rasters d'élévation.
- Des TIN.
- Des entités 3D.
- Des multipatchs.

Les entités 3D sont formées à partir de données 2D extrudées et sont donc des objets en 2,5D qui peuvent être stockés dans des shapefiles ou des géodatabases d'ESRI. Les objets multipatch sont de « vrais » objets 3D dans le sens où ils peuvent gérer différentes valeurs en Z pour un même point en coordonnées X, Y. Les formats d'objets pouvant être lus comme multipatch par le logiciel sont : 3DS (3D Studio Max), WRL (VRML), SKP (Sketchup), FLT (Openflight) et DAE (Collada).

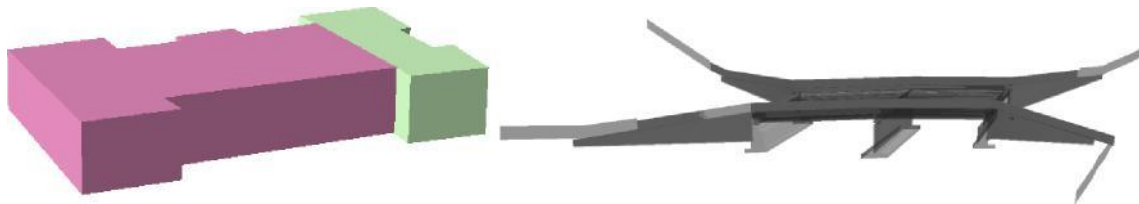


Figure 5 : Bâtiment extrudé selon sa hauteur - Multipatch de l'écopont au format 3DS

Dans un projet ArcScene, la représentation et la position des entités 3D peuvent être contrôlées :

- Ajout d'une élévation constante pour une couche.
- Exagération verticale appliquée à un objet ou une scène.
- Lumière sur la scène.
- Etc.

Le SIG en 3D offre la possibilité d'effectuer des requêtes qui intègrent la troisième dimension.

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | SIG 3D

Exploitation des données

Exploitation des données des cas d'étude dans un SIG 3D :

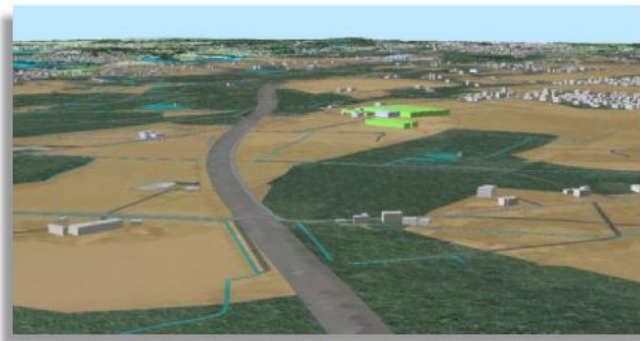
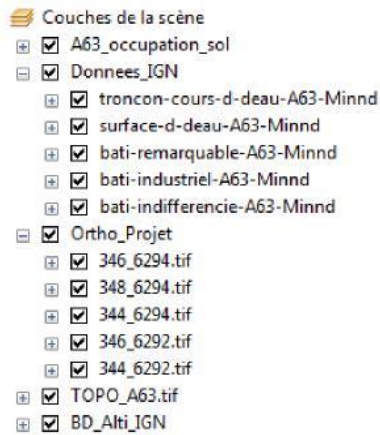
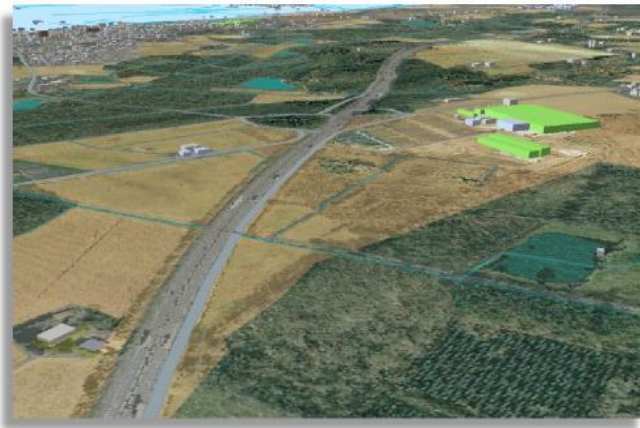


Figure 6 : SIG 3D (ArcScene) pour l'A63, données de bases utilisées

Problèmes constatés

Il n'est pas possible d'appliquer plusieurs MNT à une même couche

Les couches de données (shapefile, images) peuvent être représentées en 3D en étant drapées sur une surface d'élévation. Pour chaque couche, une surface d'élévation est choisie. À moins de fusionner au préalable les MNT, il n'est pas possible d'appliquer plusieurs MNT à une même couche.

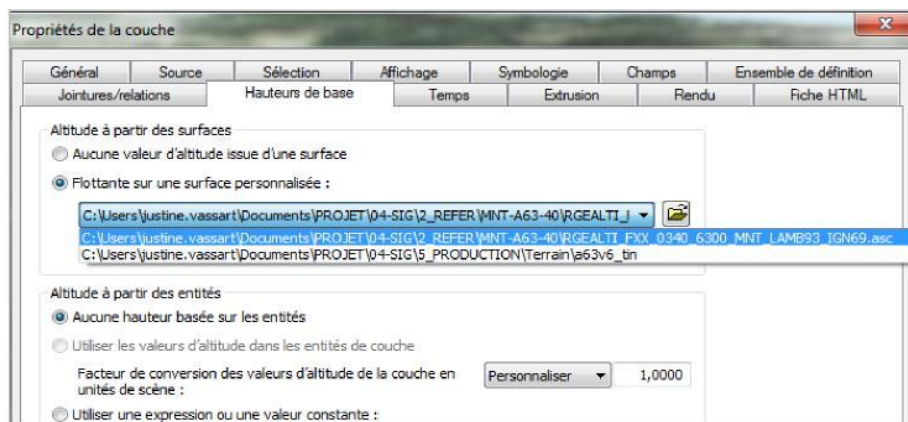


Figure 7 : Choix d'une surface d'élévation comme référence de hauteur pour une couche

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | SIG 3D

Problèmes constatés

▼ **Une difficulté de gestion des niveaux de détail**

Les SIG 3D présentent par défaut une difficulté de gestion des niveaux de détail. Seuls les MNT peuvent être créés de manière à s'adapter au niveau de zoom utilisé pour visualiser le projet (création de « terrain »). La solution réside dans la préparation de différentes couches géométriques correspondant à différents niveaux de détails géométriques et de l'affichage de ces couches selon le niveau de zoom. Ces solutions sont fréquemment utilisées pour les applications SIG sur le web. De plus, si les recherches pour l'intégration de la CAO dans les SIG progressent, cette intégration est, pour le moment, simplement utile pour visualiser le projet issu de la CAO dans le SIG 2D. Le logiciel City-Engine (non utilisé dans l'UC6), intégré à la suite d'ESRI, apporte quelques solutions à ce problème. Il peut par exemple permettre la création d'objets paramétriques au côté d'objets géographiques existant.

Infraworks**Présentation**

Le logiciel Infraworks 360 est un des derniers logiciels d'Autodesk. Il permet de créer des projets rapidement en assemblant et en visualisant des données aux formats hétérogènes. Il offre la possibilité de partager les modèles via le cloud d'Autodesk avec la possibilité de définir des autorisations de visualisation ou de modification du modèle. L'organisation d'un projet Infraworks se fait par superposition de couches et par catégories de groupes et sous-groupes d'objets.

Une maquette Infraworks peut être créée de deux manières :

- À partir de données internes : levés topographiques, orthophotos, emprises, hauteurs des bâtiments, etc.
- À partir du 'modèle builder' proposé par le logiciel, qui utilise des données provenant d'Open Street Map (OSM) : création de routes, du modèle d'élévations, extrusion des bâtiments et de Bing Maps : mapping des images aériennes, pour construire un modèle de départ.

Exploitation des données des cas d'étude

▼ **Les élévations du modèle sont précisées localement par l'ajout d'un MNT**

Les élévations du modèle peuvent être précisées localement par l'ajout d'un MNT, provenant :

- De logiciels de CAO (Surface Civil 3D, nuage de point, landXML).
- D'un fichier Raster (BD Alti de l'IGN).



Figure 8 : Modèle infraworks initial, Modèle avec ajout du MNT Civil 3D

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | Infracore

Exploitation des données des cas d'étude

De nombreuses réalisations avec la collaboration entre Infracore 360 et Civil 3D

La collaboration entre les logiciels Infracore 360 et Civil3D permet de nombreuses réalisations. Les objets Civil 3D peuvent être importés dans Infracore 360, être modifiés puis ajoutés dans Civil3D à nouveau. Nous avons ainsi pu importer notre projet de Risberme (ouvrage de consolidation d'un mur) créé sous Civil 3D dans Infracore. La même chose peut être réalisée avec l'import d'une route. On peut ensuite modifier son tracé et son style de représentation.

Les fichiers ajoutés au modèle créé

Plusieurs types de fichiers peuvent être ajoutés au modèle créé :

- **Ajout de fichiers shapefiles** : points, lignes, polygones de surface, en leur attribuant une représentation spécifique grâce au gestionnaire de styles. L'image de gauche ci-dessous (figure 9) est un exemple de modélisation d'une clôture depuis une couche de données shapefile par l'attribution d'un style « barrière ».



Figure 9 : Clôtures depuis une ligne shapefile, Ajout de la couche Corine Land Cover

- **Ajout de modèles CityGML et Revit** : les modèles 3D texturés peuvent être visualisés, mais sans pouvoir effectuer de requêtes.



Figure 10 : Ecopont de l'A64 au format CityGML, Bâtiment au format *.rvt dans Infracore

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | Infracore

Exploitation des données
des cas d'étude

▲ Ajout de la végétation au modèle

La végétation peut être ajoutée au modèle de plusieurs manières :

- Dans le modèle, à l'aide de l'outil "arbre", ou peuplement "forestier" du logiciel.
- En ajoutant un fichier shapefile auquel on applique un style de végétation défini à partir d'un attribut de la couche importée.

On peut ainsi représenter des haies ou des forêts à partir de couches d'occupation du sol. Ce résultat est visible sur l'image de gauche (figure 11). En effet, la végétation issue du modèle CityGML a été remplacée par une représentation des arbres sous la forme de véritables objets 3D.

Sur l'image de droite, les arbres rouges visibles correspondent à des gîtes de chiroptères, identifiés dans les inventaires écologiques de l'A63. Les étiquettes affichées reprennent des attributs contenus dans les tables des fichiers shapefile des gîtes identifiés (type d'inventaire, auteur).



Figure 11 : Représentation de la végétation dans Infracore, à partir de fichiers shp

Problèmes constatés

▲ Connexion du modèle Infracore à la base de données

Le modèle Infracore peut être connecté à une base de données (Oracle ou PostgreSQL par exemple) à partir de laquelle des informations peuvent être utilisées pour paramétrer la représentation d'objets, comme les hauteurs des bâtiments.

Le logiciel Infracore 360 permet de créer facilement un modèle. Il est intuitif et facile à prendre en main pour les manipulations de bases :

- Création du modèle.
- Ajout de données.
- Création de données.

▲ Des manipulations complexes nécessitent une connaissance approfondie du logiciel

En revanche, les manipulations plus complexes nécessitent une connaissance approfondie du logiciel :

- Représentation des éléments à partir de styles.
- Classification par groupes d'objets.

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude | Infraworks

Problèmes constatés

▼ **Des mesures de détection d'interférences impossibles**

De plus, il n'est pas possible d'effectuer de détection d'interférences entre les objets du modèle, de mesures précises à partir des données de la maquette numérique. L'utilisation du modèle est donc pour le moment limitée aux premières phases du projet, pour la programmation du projet et les premières études de conception. Par la suite, il peut permettre de visualiser et de partager le projet, mais les revues de conception doivent s'effectuer depuis un autre logiciel (par exemple Navisworks).

▼ **Identification d'autres problèmes**

D'autres problèmes ont également été identifiés :

- Il n'est pas possible d'utiliser plusieurs MNT sans déformer le MNT de la surface de référence.
- La gestion des données attributaires est complexe.

Enfin le logiciel ne permet pas de réaliser de détection de clash.

Terra Explorer PRO

Un logiciel pour créer et visualiser des données géospatiales en 3D

L'outil **CARTAGE** a été développé à partir de Terra Explorer

Un outil qui se connecte à des serveurs externes

Un outil accessible au quotidien

Une interface **BIM**

Terra Explorer est un logiciel édité par Skyline Software System qui permet la création et la visualisation de données géospatiales en trois dimensions. Un grand nombre d'objets 2D et 3D statiques ou dynamiques peuvent être implémentés sur ce logiciel, quelle qu'en soit leur provenance. Il peut s'agir par exemple d'objets créés sur des logiciels de DAO ou de CAO, d'orthophotoplans, de MNT, de couches SIG. Le logiciel est également en mesure de coupler des objets à des bases de données et visualiser un projet en intégrant une échelle de temps (4D). Le logiciel intègre des outils d'analyse 3D, comme :

- La création automatique de profils en long.
- Le calcul de cubature (volumes de terrassement).
- La création de cartes des pentes et des outils de visibilité.

La Direction de la Construction et de la Maintenance de l'Infrastructure d'ASF (VINCI) a développé un outil cartographique 3D collaboratif « CARTAGE » à partir de Terra Explorer. CARTAGE est un système ouvert, pouvant être connecté à des systèmes d'information géographique (SIG) et à des bases de données professionnelles. Le logiciel supporte et se connecte à la plupart des formats connus (ESRI, ORACLE, GOOGLE...). Il affiche les données dans un environnement 3D réaliste.

Il est possible de connecter CARTAGE à des serveurs cartographiques externes en utilisant le protocole WMS.

Cet outil est accessible au quotidien par les conducteurs d'opérations et cela à travers deux supports l'intranet d'ASF et des tablettes tactiles.

En 2016, CARTAGE devient l'interface BIM pour la direction des opérations de l'A63 et permet de connecter des bases de données spatiales et d'intégrer des maquettes numériques 3D.



Figure 12 : Interface de Cartage, construit sur Terra Explorer

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude

Conclusion

Des technologies bien différentes

Les modélisations 3D testées reposent sur des technologies bien différentes qui présentent chacune des points forts. L'enjeu est de tirer profit de ces méthodologies bien ancrées dans les processus de travail des entreprises.

Un élément indispensable et nécessaire pour les infrastructures linéaires

Le système de géoréférencement des SIG est un élément indispensable et nécessaire pour les infrastructures linéaires. La possibilité de travailler avec une connexion vers une base de données est également un avantage, car cela permet :

- D'intégrer des données.
- De les échanger et surtout.
- De les historiser pour pouvoir les utiliser plus facilement dans le futur.

La réalisation et la récupération des analyses détaillées du modèle

Les SIG permettent de réaliser et de récupérer des analyses détaillées du modèle :

- Tableaux.
- Fichiers textes.
- BDD.
- Nouvelle couche de données.
- Etc.

Des techniques de CAO utilisées pour concevoir les modèles

D'un autre côté, les techniques de CAO sont utilisées pour concevoir les modèles. Ils offrent un niveau de détail élevé, la possibilité de contrôler les données du modèle et leurs précisions.

Un processus BIM pour coordonner l'ensemble de ces familles logicielles

Le processus BIM doit donc permettre de coordonner l'ensemble de ces familles logicielles pour :

- Assurer un gain de temps.
- Éviter les erreurs lors de la conception des projets.

2. RECOMMANDATIONS

La diversité des données : un problème majeur

Un problème majeur pour la représentation numérique des infrastructures dans leur environnement est la diversité des données à prendre en compte. À l'échelle des simples cas d'études traités dans notre groupe UC6 de MINnD, les problèmes sont déjà bien réels. Pourtant, les données de ces exemples sont loin d'être aussi nombreuses et variées que celles intervenant tout au long du cycle de vie des projets réels. Cette hétérogénéité concerne à la fois :

- Le format des données.
- Leur précision.
- Leur source.
- Ou leur niveau de détail.
- Leur système de géoréférencement.

Peu de logiciels prennent en charge l'ensemble des formats utilisés

Par ailleurs, peu de logiciels prennent en charge l'ensemble des formats utilisés. Les logiciels qui le permettent, comme Infracore ou Novapoint, présentent des lacunes dans d'autres domaines.

De nouveaux outils comment à apporter des solutions

De nouveaux outils tels que Navisworks et Terra Explorer commencent à apporter des solutions à destination des décideurs et des maîtres d'ouvrage pour :

- Visualiser un projet.
- Faciliter la phase de concertation.

Fluidifier les échanges

Un objectif à court terme et une première étape vers l'interopérabilité concerne la fluidification des échanges de données. À partir de l'analyse des cas d'étude, nous avons dressé une liste de recommandations pour les échanges de fichiers :

Observations sur le cas d'étude	Vers un objectif BIM
<p>Fichiers de levés topographiques</p> <p>Fichiers livrés au format dwg, définis dans des projections, des chartes graphiques et une méthode de renseignement des données 3D différents.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Définition du cahier des charges pour les livrables des fichiers de levés topographiques (charte graphique, système de coordonnées, informations sur les données en 3D, format dwg). 2. Préconisations sur les méthodes de levés topographiques qui servent de base à la conception des projets 3D, informations sur les précisions attendues. 3. Prévision de l'intégration de ces fichiers dans des standards d'échange (InfraGML, IFC...).
<p>SIG et dossiers d'études environnementales</p> <p>Dossiers et sous dossiers contenant shapefiles, orthophotos, dwg et cartes établies pour les dossiers de procédures et les PDF des dossiers de procédures.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Révision de la charte SIG à partir du descriptif des données nécessaires à chaque étape des études environnementales : données entrantes, données sortantes, pour produire quels livrables ? Dans quels formats ? 2. Conservation des fichiers à chaque étape de décision, y compris les variantes non retenues ou documents modifiés (historisation). 3. Mise en œuvre d'une gestion électronique de documents dédiée au projet. 4. Sélection et préparation des fichiers à lier aux objets de la maquette numérique pour les décisions environnementales : <ul style="list-style-type: none"> • Localisation des mesures d'évitement - Localisation, description et représentation des mesures de réduction. • Localisation, description, représentation et méthodes de calcul des mesures compensatoires. • Localisation des ouvrages de compensation proposés, propriétés des ouvrages, méthodologie pour le choix de la localisation de ces ouvrages et décision finale concernant leur mise en œuvre ou non.

Les échanges de données environnementales sont développés dans les livrables 2 et 3

La seconde partie de ce tableau, à propos des échanges de données environnementales, est développée plus précisément dans ces livrables :

- Livrable 2 (UC6T2-2) : Processus pour l'étude des enjeux environnementaux liés aux infrastructures.
- Livrable 3 (UC6T2-3) : Structuration et historisation des données d'infrastructures et environnementales.

I.4 Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude

Solution envisagée à long terme

Un nouveau système de collaboration pour les acteurs

Une réflexion qui s'oriente vers les standards d'échanges

Deux améliorations indispensables

Pour aller plus loin dans la recherche d'une meilleure interopérabilité pour la conception des projets d'aménagements, la mise en place d'un nouveau système, autour duquel l'ensemble des acteurs pourrait collaborer, est à instaurer. Ce système s'organiserait autour d'une maquette numérique 3D sémantisée, alimentée par une base de données projet. Ces données répondraient à des besoins spécifiques des acteurs, qui pourraient les extraire et les exploiter dans leurs propres logiciels métier. Les résultats obtenus à l'issue des travaux réalisés par ces acteurs seraient ensuite réinjectés dans la base de données où ils pourraient être exploités et conservés.

La réflexion pour le développement d'un tel système s'oriente actuellement vers les standards d'échanges. Des formats spécifiquement dédiés aux projets de modélisation en 3D des infrastructures linéaires sont effectivement en développement. Un des objectifs de notre groupe de travail a donc été de réfléchir à la structuration pour les données environnementales, en cohérence avec ces normes.

La finalité étant que le développement des standards d'échange intègre ces informations, afin que les aspects environnementaux des projets d'infrastructure puissent être traités à partir du modèle numérique du projet.

Ainsi deux améliorations semblent indispensables :

- La construction de formats d'échanges bâtis sur des normes existantes, de type GML et IFC.
- La sauvegarde de données d'infrastructures et de leur environnement spatial à différents niveaux de détails sur des SGBD assurant le partage et la pérennité des données.

BIBLIOGRAPHIE

Type	Documents
Documentation en ligne	CSTB, ENPC, MEDIACONSTRUCT, UVHC. Maquette numérique dans le Bâtiment, [en ligne]. Disponible sur : http://www.unit.eu/cours/bim/accueil/index.html (consulté le 10/06/2016)
	OGC. City Geography Markup Language (CityGML), [en ligne]. Disponible sur : http://www.open-gis.net/spec/citygml/2.0 (consulté le 10/02/2016)
	SÉTRA. Clôtures routière et faune – Critères de choix et recommandations d’implantation [en
Articles de périodiques électroniques	BOUILLÉ François. Méthodologie de montage d’un SIG-3D par des étudiants. XYZ, 2008, n°114, p. 29-36
	LAURINI Robert, SERVIGNE Sylvie. Panorama des potentialités SIG en 3 dimensions : vers des modèles virtuels 3D de villes. XYZ, 2008, n°114, p. 22-26
	LELLOUCHE David. Modélisation 3D et accessibilité des stations multimodales du RER A de la RATP, de la 2D vers le SIG 3D du BIM et de la maquette numérique vers la ville numérique. 2012, n°133, p.49-56
Sites web	AUTODESK. BIMagination, [en ligne]. Disponible sur : http://autodesk.typepad.com/bimagination/ (consulté le 14/03/2016)
	AUTODESK. Civil – Made in France, [en ligne]. Disponible sur : http://civilfrance.typepad.com/blog/ (consulté le 14/03/2016)
	SKYLINE France http://www.skylinefrance.com/fr/accueil
	VIANOVA SYSTEMS France http://www.vianova-systems.fr/
	BUILDINGSMART. IFC4-Addendum 1, [en ligne]. Disponible sur : http://www.buildingsmart-tech.org/ifc/IFC4/Add1/html/ (consulté le 09/02/2016)
	GOUVERNEMENT FRANÇAIS. Plateforme ouverte des données publiques françaises, [en ligne]. Disponible sur : https://www.data.gouv.fr/fr/ (consulté le 15/02/2016)
	MINnD. Projet national MINnD, [en ligne]. Disponible sur : http://www.minnd.fr/le-projet-minnd/ (consulté le 08/02/2016)
Travaux universitaires	EL-MEKAWY M., OSTMAN B A., HIJAZI C I. An evaluation of IFC-CityGML Unidirectional Conversion, [en ligne]. Disponible sur : http://thesai.org/Downloads/Volume3No5/Paper_25-An_Evaluation_of_IFC_CityGML_Unidirectional_Conversion.pdf (consulté le 17/02/2016)

ANNEXE I : CONTEXTE DE L'ETUDE UC6 TRANCHE 2

Objectifs de l'UC6, tranche 2 et livrables attendus

Un double objectif

Le livrable UC6 a les objectifs suivants :

- Étudier les difficultés liées à l'utilisation conjointe de données d'infrastructures et de données environnementales.
- Proposer des solutions logicielles, organisationnelles et des modèles de données pour faciliter ces usages à l'avenir dans le contexte des BIM.

Une première tranche réalisée entre 2014 et 2015

Rédaction de trois livrables

Une première tranche a été réalisée entre 2014 et 2015 et ce rapport fait partie des cinq rapports de la tranche 2.

La première tranche de l'UC6 « *Infrastructure et environnement* » (2014-2015) a donné lieu à la rédaction de trois livrables. Deux portent sur des cas d'étude et un décrit des premières recommandations.

- Le **livrable UC6-1 *infrastructures et bruit***, a permis d'analyser les flux d'échanges de données pour les études liées aux études acoustiques. Il permet d'identifier des blocages liés à l'import et à l'export de données hétérogènes dans les logiciels métiers.
- Le **livrable UC6-2 *Infrastructures et de la transparence écologique*** s'est avéré plus complexe dans la mesure où de nombreux acteurs entrent en jeu lors des études environnementales et que les pratiques et logiciels sont très diversifiées. La tranche 1 a ainsi permis d'identifier des processus et des types de données, mais n'a pas pu aller jusqu'à la proposition de schéma de données. En revanche, le rapport UC6-2 de la tranche 1 a permis de dégrossir le sujet et d'établir un référentiel commun entre partenaires pour aller plus loin en tranche 2.
- Le **livrable UC6-3** contient les ***premières propositions d'améliorations de méthodologies de travail***, qui sont étayées par un nouveau livrable issu des travaux effectués en tranche 2.

Le cas particulier de l'installation d'un passage à faunes et de chiroptères sur une autoroute

À l'issue de la tranche 1, les partenaires de l'UC6 ont décidé d'approfondir la question de l'interopérabilité des données d'infrastructure et d'environnement. L'attention s'est portée sur le cas particulier de l'installation d'un passage à faunes et de chiroptères sur une autoroute. Pour cela, les actions suivantes ont été mises en place :

1. Utiliser des données réelles fournies par les partenaires.
2. Analyser la fragmentation du territoire pour certaines espèces avec et sans passage.
3. Voir en quoi les données et logiciels permettent de répondre à la question de la localisation des passages et de la performance de différents types de passages.

Objectifs de l'UC6, tranche 2 et livrables attendus

Deux points décisifs

Pour répondre à ces objectifs, deux points sont décisifs :

- Deux stagiaires ont été embauchés dans le cadre du projet IREX MINND, chez EGIS et SETEC. Ils ont utilisé des données réelles d'infrastructures et environnementales, ainsi que des logiciels standards (BIM, CAO, SIG) pour répondre à la question du positionnement, des aménagements et de la performance d'écopont. Les données d'infrastructures utilisées ont été mises à disposition par les partenaires (Vinci-autoroutes)
- Une équipe d'écologues, partenaire du projet (CINOV TerrOïko), a utilisé ses propres logiciels sur les données préparées par les stagiaires. L'objectif était d'étudier l'impact de l'existence d'écopont, de leur positionnement et de leurs aménagements sur la répartition et la taille de populations animalières spécifiques autour de ses écoponts sur un pas de temps de 50 ans.

Les réponses apportées

Ainsi, en utilisant des données réelles et des logiciels actuels, il a été possible :

- D'identifier les limites des logiciels actuels (rapport UC6T2-1).
- D'identifier les processus actuels pour le choix de localisation des écoponts avec les outils contemporains (UC6T2-2).
- De proposer des schémas de données pour optimiser ces flux mais aussi pour historiser les données (UC6T2-3).
- De montrer en quoi les données numériques permettent d'aller beaucoup plus loin pour le choix des passages à faunes en y intégrant la simulation de déplacement de la faune sur des espaces réels ou simulés (UC6T2-4).

Les livrables de la tranche 2

Les livrables de la tranche 2 sont les suivants :

Nom du rapport	Contenu
Livable 1 (UC6T2-1)	Analyse critique des outils existants pour charger et échanger des données environnementales et des données d'infrastructures
Livable 2 (UC6T2-2)	Processus pour l'étude des enjeux environnementaux liés aux infrastructures
Livable 3 (UC6T2-3)	Structuration et historisation des données d'infrastructures et environnementales
Livable 4 (UC6T2-4)	Perspectives pour la construction de passages à faunes (localisation, aménagements et analyse de performance)
Livable UC6-3 version 2	Propositions réglementaires relatives aux infrastructures et aux données environnementales

Problématiques abordées

Des échanges successifs entre les domaines de conception qui sont problématiques

L'objectif : analyser ces flux d'échanges

La mise en place de processus collaboratifs BIM

L'étude des apports des modèles numériques BIM

Les méthodes de travail actuelles pour la conception des infrastructures ont recours à des échanges successifs entre les domaines de conception. Ces pratiques, aujourd'hui nécessaires, sont problématiques. En effet, les fichiers de chaque corps de métier doivent souvent être transformés avant d'être compilés ou ressaisis du fait des incompatibilités entre les logiciels et les formats. Ces manipulations entraînent une perte de temps et une dégradation des informations contenues dans les fichiers d'origine ce qui augmente le risque d'erreur.

L'objectif des études effectuées en tranche 2 est tout d'abord d'analyser ces flux d'échanges autour des données environnementales des projets pour :

- Identifier les points de blocage existants.
- Déterminer les évolutions à mettre en œuvre pour fluidifier les échanges.

Ces évolutions consistent notamment en la mise en place de processus collaboratifs (de processus BIM), qui permettraient d'améliorer l'interopérabilité autour des projets d'infrastructures linéaires et de leurs aménagements. La mise en place du BIM pour de tels projets nécessite la création de maquettes numériques qui intègrent des ensembles de données répondant aux exigences des acteurs impliqués.

Ainsi, pour les problématiques de fragmentation du paysage, comme pour tout autre cas d'usage que l'on souhaite inclure aux processus, il est nécessaire d'identifier les données à intégrer aux maquettes numériques et selon quelle structuration.

L'enjeu est également d'étudier les apports des modèles numériques BIM pour améliorer la prise en compte des enjeux environnementaux lors de la conception des projets d'aménagements. Plus spécifiquement, il s'agit de déterminer dans quelle mesure le choix et le suivi des mesures environnementales peuvent être améliorés grâce à l'utilisation d'un modèle numérique collaboratif.

Présentation des cas d'étude

A63 et A64

Les cas d'étude de l'UC6 portent sur deux projets, concernant les autoroutes françaises A63 et A64.



Figure Annexe I - I : Localisation des cas d'étude de l'A63 et de l'A64, IGN - 26/06/2016

Présentation des cas d'étude

Premier cas d'étude :
Chiroptérodoc sur l'A63Enjeux
environnementaux

Le projet global de l'A63 porte sur une portion d'autoroute de 66,5 km concédée à ASF. Il s'agit d'un projet d'élargissement à 2x3 voies de l'infrastructure existante pour en améliorer les conditions de circulation et de sécurité. La portion concernée par le cas d'étude MINnD est longue de 7,9 km. Elle traverse du nord au sud les communes d'Angresse, de Benesse-Maremne et de Labenne.

L'A63 fragmente des habitats naturels composés de milieux en grande majorité boisés, avec des formations naturelles de :

- Chênaies mixtes.
- Dunes boisées.
- Plantations de peupliers et de pins.

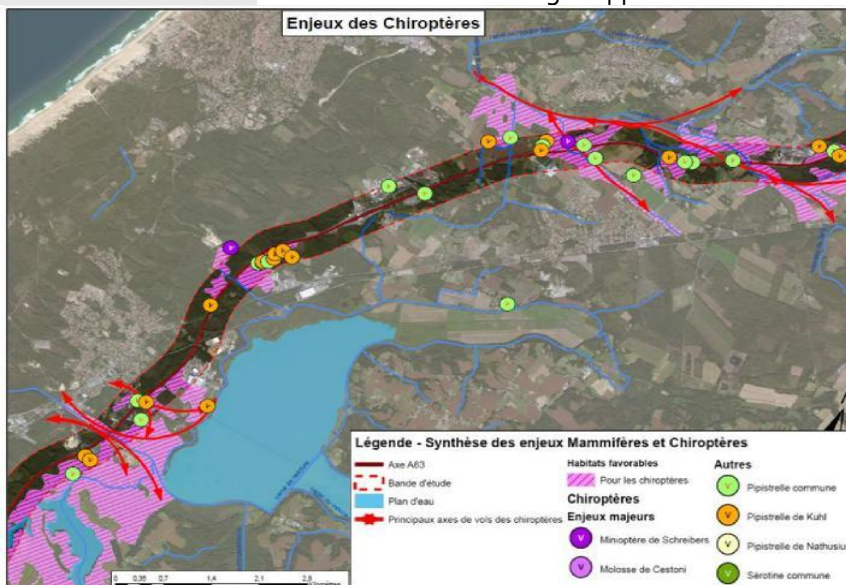
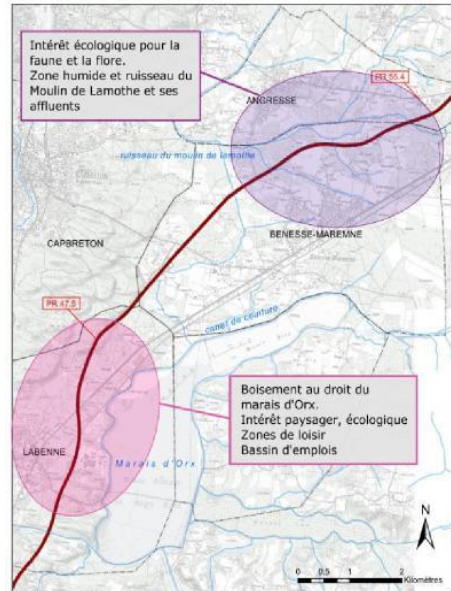
Au sud, la réserve naturelle nationale du Marais d'Orx fait l'objet de plusieurs protections réglementaires. Au nord, 4 habitats naturels, présentant des enjeux modérés à faibles, sont concernés par le projet.

Sur la zone, plusieurs espèces d'enjeu faunistiques faibles à fort ont été inventoriées. **Trois espèces de chiroptères** présentent des enjeux de faible à majeur.

Les impacts attendus sur la faune d'une telle infrastructure sont de 3 types :

- Fragmentation du territoire et rupture des axes de vols des espèces de chiroptères.
- Perte d'habitat des espèces.
- Collision avec les usagers de la route.

Quatre passages supérieurs et deux passages inférieurs permettent actuellement un franchissement de l'A63. On note également la présence de 9 ouvrages hydrauliques. Ils assurent un rétablissement des écoulements naturels des eaux et notamment des 4 ruisseaux situés au nord (voir annexe 2, la localisation des PS, PI et OH sur l'A63). Il ressort des études environnementales du projet que le nombre d'ouvrages de franchissement pouvant être empruntés par les chiroptères est suffisant. La réalisation d'un ouvrage supplémentaire n'a donc pas été jugée nécessaire.



Minioptère de Schreibers
Miniopterus schreibersii

Source : F. Jouandouet, groupe Chiroptères Aquitaine)



Pipistrelle commune
Pipistrellus pipistrellus

Source : Y. Bernard, groupe Chiroptères Aquitaine)

Figure Annexe I-2 : Carte de localisation des enjeux pour les chiroptères, extrait du dossier d'étude d'impact de l'A63, Setec

Présentation des cas d'étude | Premier cas d'étude : Chiroptérodoc sur l'A63

**Problématiques
traitées**

Ce cas d'étude est l'occasion d'analyser et de présenter des améliorations pour la prise en compte des enjeux environnementaux lors de la réalisation de tels projets et notamment au travers de l'utilisation d'une maquette numérique. Par exemple, si le nombre d'ouvrages de franchissement de l'A63 est élevé sur la zone d'étude, la question est de savoir :

- S'ils sont effectivement empruntés par les chiroptères.
- Si leur prolongement (dû à l'élargissement de l'A63) a un impact.

Pour cela, une modélisation en 3D des trajectoires de vols des espèces dans la maquette numérique peut être utile.

Dans le cadre de nos recherches pour l'UC6, nous avons choisi de nous placer dans le cas où un ouvrage spécifique de type « chiroptérodoc » aurait été retenu lors des études. L'objectif est :

- D'étudier les apports potentiels des modèles de simulation numérique pour le choix de la localisation de l'ouvrage.
- D'analyser l'impact de cet ouvrage sur le rétablissement des corridors écologiques.

**Second cas d'étude :
Écopont sur l'A64**
**Enjeux
environnementaux**

Le projet porte sur l'implantation d'un passage grande faune (ou écopont) sur l'A64. L'écopont est en cours de construction. Son achèvement est prévu fin 2016.

Le site présente un fort enjeu écologique de par sa diversité de milieux (boisements, landes, tourbières, zones humides, prairies, cultures).

Son rôle fonctionnel de corridor boisé est perturbé par l'autoroute qui fracture ces milieux. Le SRCE Aquitaine l'a d'ailleurs identifié comme un « point de rupture » de son réseau écologique.

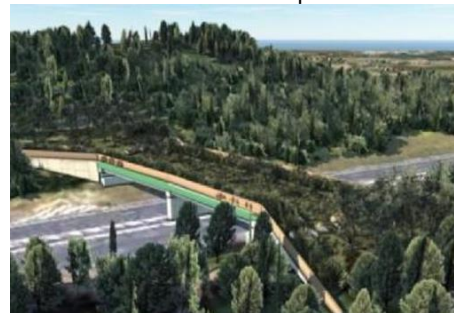


Figure Annexe I-2 : Modèle 3D de l'écopont et de la végétation au format CityGML

Il s'agit de l'argument fondateur de la proposition d'aménagement d'un passage supérieur végétalisé de type écopont. Sa fonction unique est de permettre le franchissement de la faune (petite à grande faune) et donc de rétablir partiellement les fonctionnalités du corridor écologique interrompu.

**Problématiques
traitées**

L'objectif de ce second cas d'étude est d'analyser l'effet potentiel des outils numériques pour rechercher et tester des adaptations fines par rapport au projet choisi par Vinci. Plusieurs écoponts sont ainsi testés.

ANNEXE 2 : LOCALISATION DES PS, PI ET OH SUR L'A63

Localisation sur l'A63

Les figures suivantes montrent la localisation des Passages Supérieurs (PS), Passages inférieurs (PI) et Ouvrages Hydrauliques (OH) sur la A63 au niveau de la zone d'étude.



Figure Annexe2-1 : Localisation des Passages supérieurs et inférieurs sur la A63 (Setec et Geoportail)

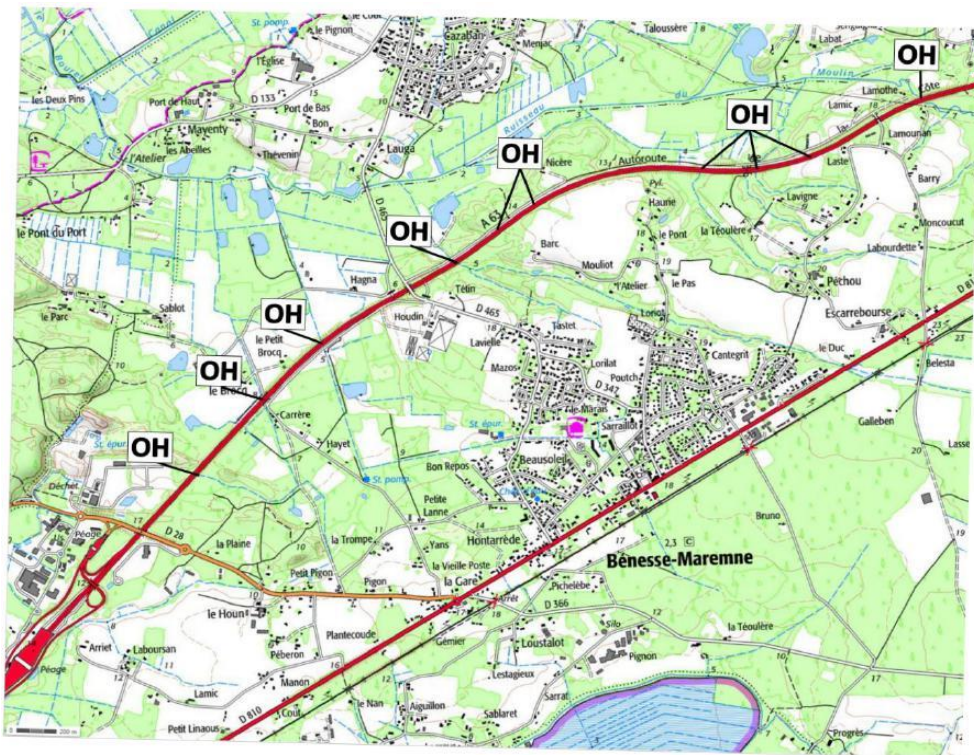


Figure Annexe2-2 : Localisation des Ouvrages Hydrauliques sur la A63 (Setec et Geoportail)

ANNEXE 3 : VISUALISATION DES MODELES 3D DE L'ECOPONT A64

Écopont réalisé sur A64 Les figures suivantes permettent une visualisation du projet de l'écopont réalisé par Vinci sur la A64 :

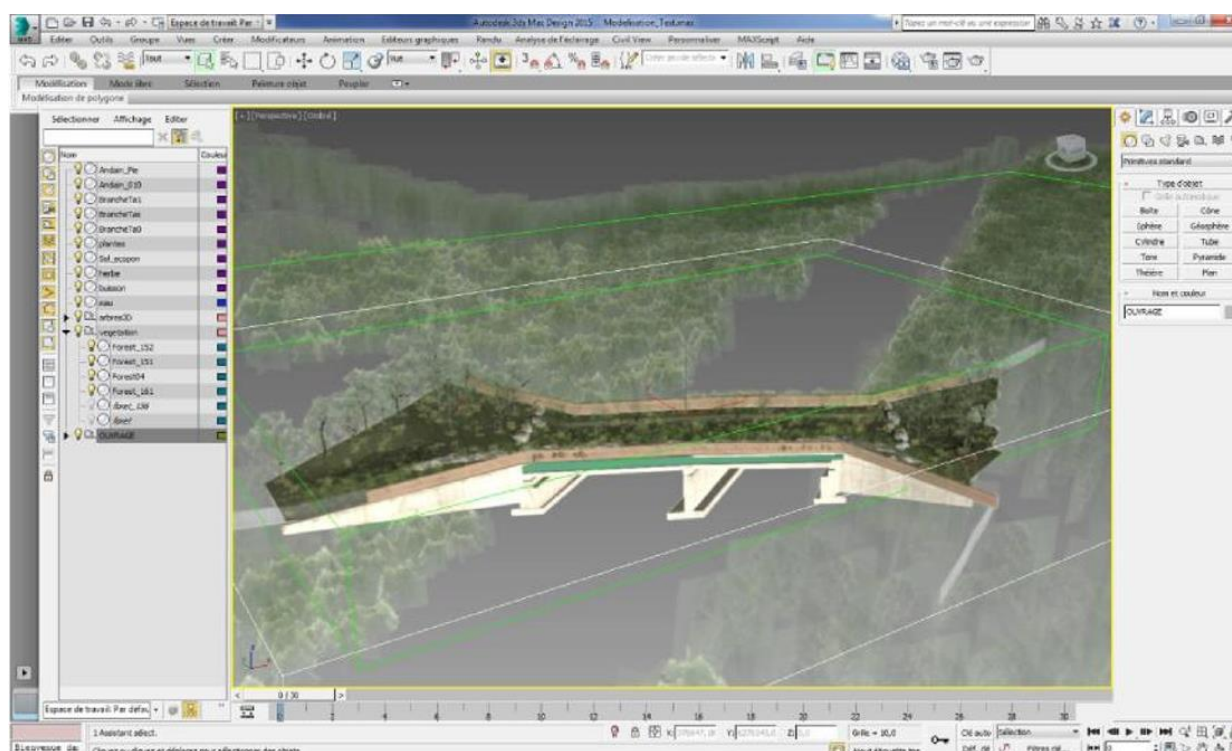


Figure Annexe3-1 : Reconstruction du modèle 3DS Max de l'écopont, à partir du fichier 3DS et des textures livrées © Vinci

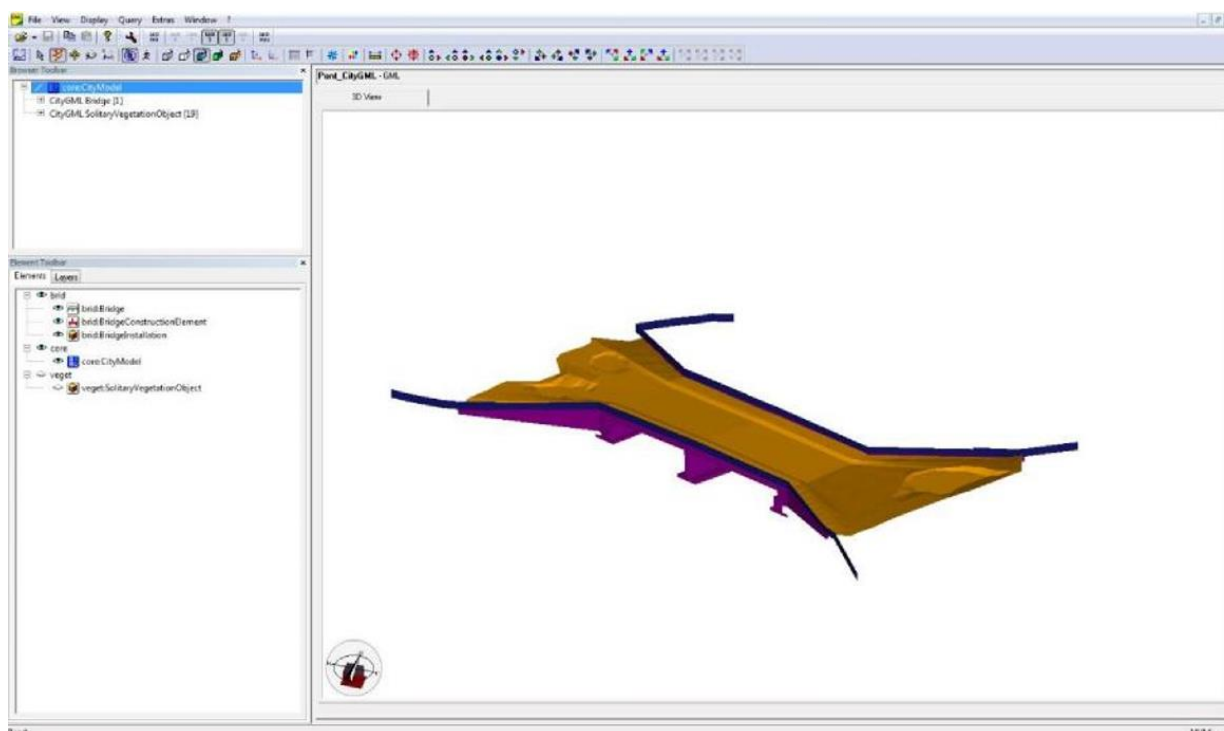


Figure Annexe3-2 : Écopont au format CityGML, vu dans l'application FZK Viewer © Vinci

Présentation des cas d'étude

**Comparaison avec un
extrait du modèle
CityGML de la ville de Lyon**

Pour comparer, nous avons téléchargé un extrait du modèle CityGML de la ville de Lyon que nous avons visualisé avec le même outil FZK Viewer. Le modèle peut être représenté avec les textures contenues dans le fichier CityGML.

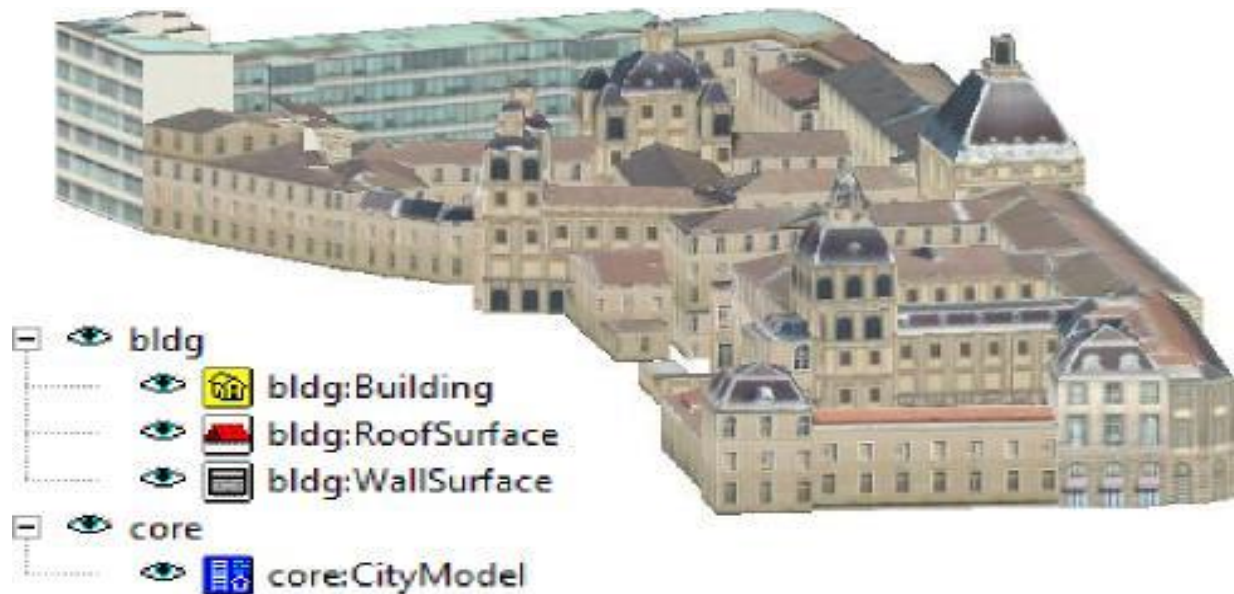


Figure Annexe3-3 : Bâtiment de l'hôtel Dieu de Lyon, au format CityGML dans FZK Viewer

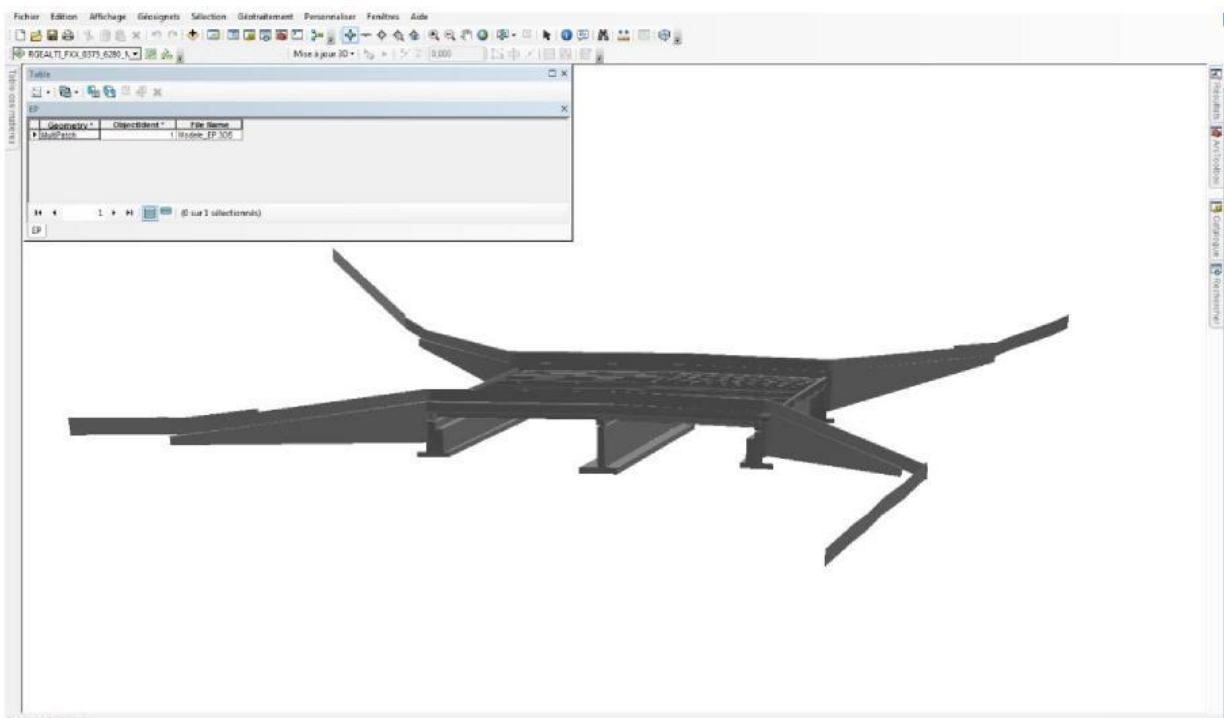


Figure Annexe3-4 : Multipatch obtenu depuis le fichier 3DS, avec l'extension 3D Analyst d'ArcGIS, vu dans ArcScene

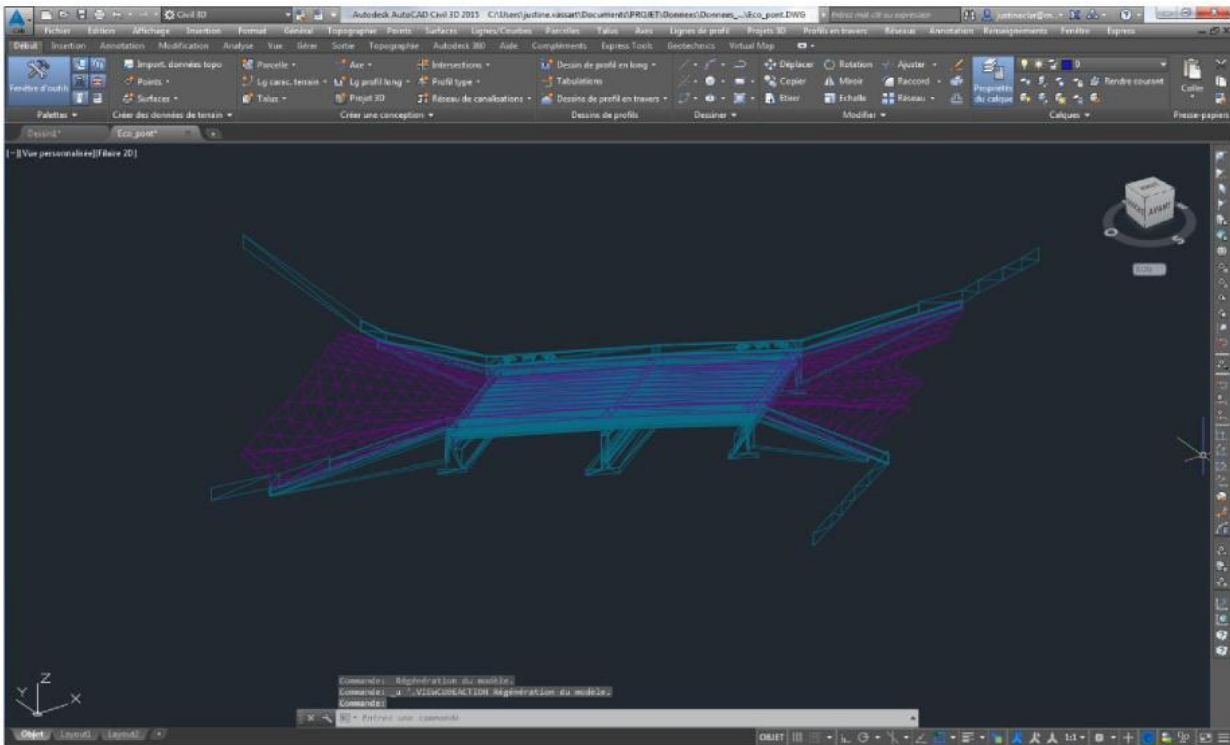


Figure Annexe3-5 Écopont au format dwg, obtenu en exportant le modèle 3DS Max (ci-dessus), vu dans le logiciel Civil 3D



Figure Annexe3-6 Écopont au format CityGML, vu dans Infraworks 360

Table des matières

RÉSUMÉ	2
Des échanges successifs entre les domaines de conception.....	2
Une analyse des flux d'échanges	2
Une analyse critique des outils existants	2
Deux cas présentés en annexe du rapport	2
GLOSSAIRE	3
INTRODUCTION	5
Une approche pour minimiser la ressaisie d'informations lors des projets de construction	5
Un projet centré sur l'usage des BIM pour les infrastructures.....	5
Le cas particulier de la construction d'écoponts sur les autoroutes.....	5
Un cas particulièrement intéressant pour le BIM.....	5
Un contexte décrit en annexe I	5
L'objet du rapport.....	5
I. OUTILS ET FORMATS	6
I.1. Définitions	6
Les notions essentielles de l'étude.....	6
CAO	6
Une solution critiquée.....	6
... puis adoptée dans de nombreux secteurs.....	6
Un outil indispensable pour la construction	6
SIG	6
Un SGBD-Géo	6
La définition des relations entre les données	6
Le stockage d'informations 3D	7
De nombreuses fonctions import-export.....	7
Un fonctionnement avec une approche serveur.....	7
Des logiciels de visualisation 3D orientés SIG	7
L'exemple de Skyline Software Systems.....	7
Les problèmes liés à la conversion des données	7
BIM et logiciels BIM	8
Un modèle numérique de données commun aux acteurs du projet	8
C'est plus qu'un logiciel	8
Un BIM infrastructure c'est une organisation et des logiciels	8
I.2. Formats d'échange	9
L'interopérabilité et la pérennité des maquettes numériques.....	9
OGC	9
BuildingSMART	9
Des standards pour une utilisation BIM infra.....	9
Des formats ne répondant pas aux exigences techniques de création d'une maquette numérique.....	9
Les solutions à partir du format natif des logiciels sont privilégiées.....	10
Des standards qui répondent aux besoins des BIM Infra.....	10
Évolutions futures envisagées	10
I.3. Données des cas d'étude	10
Données entrantes utilisées pour décrire les infrastructures	10
Problèmes rencontrés avec les fichiers de levés topographiques	11
Une organisation des calques différente.....	11
Un problème de renseignement des données 3D.....	11
Des incohérences entraînant un travail supplémentaire	11
Problèmes rencontrés avec le fichier de l'écopont	11
Un mauvais référencement.....	11
Un niveau de détail sommaire.....	12
Un format qui ne prend pas en charge l'affichage des textures	12
Une représentation graphique perdue lors des changements de format	12
Problèmes rencontrés avec la base de données SIG de l'A63	13
Un problème de redondance des données.....	13
I.4. Analyse des logiciels, compatibilité avec les données des cas d'étude	13
Solution Vianova	13

Présentation.....	13
Les problèmes constatés.....	13
SIG 3D	15
Présentation.....	15
Exploitation des données	16
Problèmes constatés.....	16
Infraworks	17
Présentation.....	17
Exploitation des données des cas d'étude	17
Problèmes constatés.....	19
Terra Explorer PRO	20
Un logiciel pour créer et visualiser des données géospatiales en 3D.....	20
L'outil CARTAGE a été développé à partir de Terra Explorer.....	20
Un outil qui se connecte à des serveurs externes	20
Un outil accessible au quotidien	20
Une interface BIM.....	20
Conclusion	21
Des technologies bien différentes	21
Un élément indispensable et nécessaire pour les infrastructures linéaires	21
La réalisation et la récupération des analyses détaillées du modèle.....	21
Des techniques de CAO utilisées pour concevoir les modèles	21
Un processus BIM pour coordonner l'ensemble de ces familles logicielles	21
2. RECOMMANDATIONS	22
La diversité des données : un problème majeur.....	22
Peu de logiciels prennent en charge l'ensemble des formats utilisés.....	22
De nouveaux outils comment à apporter des solutions	22
Fluidifier les échanges.....	22
Les échanges de données environnementales sont développés dans les livrables 2 et 3	22
Solution envisagée à long terme.....	23
Un nouveau système de collaboration pour les acteurs.....	23
Une réflexion qui s'oriente vers les standards d'échanges	23
Deux améliorations indispensables	23
BIBLIOGRAPHIE	24
ANNEXE I : CONTEXTE DE L'ÉTUDE UC6 TRANCHE 2.....	25
Objectifs de l'UC6, tranche 2 et livrables attendus	25
Un double objectif.....	25
Une première tranche réalisée entre 2014 et 2015	25
Rédaction de trois livrables	25
Le cas particulier de l'installation d'un passage à faunes et de chiroptères sur une autoroute.....	25
Deux points décisifs	26
Les réponses apportées.....	26
Les livrables de la tranche 2	26
Problématiques abordées	27
Des échanges successifs entre les domaines de conception qui sont problématiques	27
L'objectif : analyser ces flux d'échanges	27
La mise en place de processus collaboratifs BIM.....	27
L'étude des apports des modèles numériques BIM	27
Présentation des cas d'étude	27
A63 et A64	27
Premier cas d'étude : Chiroptérodoc sur l'A63	28
Enjeux environnementaux.....	28
Problématiques traitées.....	29
Second cas d'étude : Écopont sur l'A64	29
Enjeux environnementaux.....	29
Problématiques traitées.....	29
ANNEXE 2 : LOCALISATION DES PS, PI ET OH SUR L'A63	30
Localisation sur l'A63	30
ANNEXE 3 : VISUALISATION DES MODELÉS 3D DE L'ÉCOPONT A64	31
Écopont réalisé sur A64	31
Comparaison avec un extrait du modèle CityGML de la ville de Lyon.....	32

Sommaire des figures

Figure 1 : Visualisation du système de projection	11
Figure 2 : Visualisation des modules "veget" (à gauche) et "Bridge" (à droite), dans FZK Viewer	12
Figure 3 : Objets contenus dans le modèle 3DS, lu dans 3DS Max	12
Figure 4 : Comparatif des différents formats d'export de la maquette numérique depuis VDC Explorer	14
Figure 5 : Bâtiment extrudé selon sa hauteur - Multipatch de l'écopont au format 3DS	15
Figure 6 : SIG 3D (ArcScene) pour l'A63, données de bases utilisées	16
Figure 7 : Choix d'une surface d'élévation comme référence de hauteur pour une couche	16
Figure 8 : Modèle infraworks initial, Modèle avec ajout du MNT Civil 3D	17
Figure 9 : Clôtures depuis une ligne shapefile, Ajout de la couche Corine Land Cover	18
Figure 10 : Écopont de l'A64 au format CityGML, Bâtiment au format *.rvt dans Infraworks	18
Figure 11 : Représentation de la végétation dans Infraworks, à partir de fichiers shp	19
Figure 12 : Interface de Cartage, construit sur Terra Explorer	20
Figure Annexe1-1 : Localisation des cas d'étude de l'A63 et de l'A64, IGN - 26/06/2016	27
Figure Annexe1-2 : Carte de localisation des enjeux pour les chiroptères, extrait du dossier d'étude d'impact de l'A63, Setec	28
Figure Annexe1-2 : Modèle 3D de l'écopont et de la végétation au format CityGML	29
Figure Annexe2-1 : Localisation des Passages supérieurs et inférieurs sur la A63 (Setec et Geoportail) ..	30
Figure Annexe2-2 : Localisation des Ouvrages Hydrauliques sur la A63 (Setec et Geoportail)	30
Figure Annexe3-1 : Reconstruction du modèle 3DS Max de l'écopont, à partir du fichier 3DS et des textures livrées © Vinci	31
Figure Annexe3-2 : Écopont au format CityGML, vu dans l'application FZK Viewer © Vinci	31
Figure Annexe3-3 : Bâtiment de l'hôtel Dieu de Lyon, au format CityGML dans FZK Viewer	32
Figure Annexe3-4 : Multipatch obtenu depuis le fichier 3DS, avec l'extension 3D Analyst d'ArcGIS, vu dans ArcScene	32
Figure Annexe3-5 Écopont au format dwg, obtenu en exportant le modèle 3DS Max (ci-dessus), vu dans le logiciel Civil 3D	33
Figure Annexe3-6 Écopont au format CityGML, vu dans Infraworks 360	33

Les figures dont la source n'est pas spécifiée sont issues des travaux réalisés par les participants au groupe de l'UC6.

Sommaire des tableaux

Tableau 1 : Liste non exhaustive des logiciels de conception utilisés pour les projets d'infrastructures linéaires et de leurs aménagements	6
Tableau 2 : Liste de logiciels de SIG	7
Tableau 3 : Liste de logiciels BIM	8
Tableau 4 : Données entrantes pour le cas d'usage de l'A63	10
Tableau 5 : Données entrantes pour le cas d'usage de l'A64	10