

Livrable

Flux de données, modèles et historisation des données d'infrastructures et environnementales

Auteurs/Organismes

Justine Vassart (Setec)
Amos Houewatonou (Egis)
Yann Le Gallic (Setec)
Sylvain mouherat (Cinov/TerrOïko)
Denis Le Roux (Setec)

Anne Ruas (Ifsttar)
Marc Chassande (Setec)
Sylvain Guilloteau (Vinci Autoroutes)
Charles-Edouard Tolmer (Egis)
Stéphane Pradon (Egis)

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

MINnD_TH03_UC06_04_Flux_donnees_modeles_et_historisation_donnees_
infrastructure_environnementales_019C_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.

La description des modèles de données et l'historisation des données

L'objectif de ce rapport UC6T2-3 est de décrire les modèles de données et l'historisation des données. Nous ne prétendons pas traiter le sujet dans son ensemble, mais plutôt d'identifier des principes grâce à des cas particuliers que nous avons rencontrés.

Pour cela, nous commençons par identifier le cycle de vie d'un aménagement (de type écopont) d'une infrastructure, pour illustrer les échanges de données tout au long de la vie d'une infrastructure.

Puis, nous développons le sujet des formats d'échange pour souligner leur importance dans le cycle de vie de l'infrastructure. Ensuite, nous abordons le sujet de l'historisation. L'idée est de conserver certaines données dans des temps longs pour :

- Répondre à des questions que l'on se pose.
- Vérifier des choix faits.
- Étudier l'efficacité des choix.

Enfin, nous soulignons l'importance de définir le bon niveau de détail de l'information.

L'intérêt de traiter d'un écopont

Le choix de traiter d'un écopont est intéressant à divers titres :

- L'infrastructure linéaire existe déjà. Elle est représentée en 3D détaillée.
- L'infrastructure est à construire. On manipule alors la représentation d'un projet et non d'une réalité.
- L'aménagement (écopont) est là pour apporter un service écosystémique. Il doit permettre à des espèces animales de traverser, d'aller d'un habitat à un autre. Sa présence est liée à une représentation de l'espace physique et à des inventaires qui décrivent les espèces et leur densité.

Ainsi :

- Les données sont de niveau de détail hétérogène et de thématique diversifiée.
- Certaines données sont en 2D, d'autres en 3D, d'autres sont des échantillons.
- Les logiciels pour manipuler ces données sont variés : il peut s'agir de logiciel manipulant des maquettes numériques, de logiciels SIG ou de logiciels spécifiques à l'écologie.

L'historisation des données est importante en écologie

Par ailleurs, historiser les données est important en écologie : on veut savoir :

- Comment ont évolué les paysages et les espèces animales et végétales ?
- Quels ont été les impacts des infrastructures et de leurs aménagements sur ce territoire ?

L'idée n'est pas d'incriminer, mais d'apprendre à faire mieux grâce à une analyse éclairée des évolutions. Ce rapport a pour objectif de **remonter des réflexions pour l'avancée des thèmes transversaux de MINnD, donc celui de la modélisation des données et leur historisation.**

Deux cas présentés en annexe du rapport UC6T2-1

Les deux cas d'étude qui alimentent le contenu de tous les rapports UC6T2 sont présentés en Annexe du rapport UC6T2-1. Ils sont centrés sur les cas de passage à faune de part et d'autre d'autoroutes :

- Un chiroptérode sur une portion de la A63.
- Un écopont sur une portion de la A64.

GLOSSAIRE

Abréviation	Définition
ASF	Autoroutes du Sud de la France
BE	Bureau d'Étude
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
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in Europe
ISO	International Organization for Standardization
MINnD	Modélisation des INformations INteropérables pour les INfrastructures Durables
MNT	Modèle Numérique de Terrain
NRE	Notice de Respect de l'Environnement
OA	Ouvrages d'Art
OGC	Open Géospatial Consortium
OSGeo	Open Source Geospatial (OSGeo)
PI	Passage Inférieur
PRE	Plan de Respect de l'Environnement
PS	Passage Supérieur
SIG	Système d'Information Géographique
SRCE	Schéma Régional de Cohérence Ecologique
TVB	Trame Verte et Bleue
UML	Unified Modeling Language (Norme ISO 19501)

Sommaire

Avant-propos	6
I. CYCLE DE VIE DES AMENAGEMENTS D'INFRASTRUCTURES	8
I.1. Les processus métiers	9
I.2. Description du processus métier menant à la conception d'un écopont	11
I.3. Objectif de l'opération et périmètre de l'Étude	13
I.4. Définition du périmètre d'étude, recensement des espèces faunes, flores et études des trajectoires	15
I.5. Inventaires des espèces et Études d'impacts	17
I.6. Identification des impacts.....	19
I.7. Conception de l'ouvrage.....	22
I.8. Dimensionnement par les ouvragistes	24
I.9. Phase de construction et d'exploitation	25
I.10. Synthèse sur les flux d'information entre les acteurs	26
2. MODELES ET FORMATS D'ECHANGE	28
2.1. Des pratiques différentes entre CAO et SIG	28
2.2. Les formats d'échanges : le pourquoi des standards	34
2.3. Le principe du format	35
2.4. L'échange de données.....	36
2.5. Les principaux formats d'échange et de stockage.....	38
2.6. Quels formats pour représenter échanger les données environnementales ? Quelle place pour l'interopérabilité ?.....	41
2.7. Proposition d'un modèle de données	44
3. DU STOCKAGE A L'HISTORISATION	56
3.1. Contexte	56
3.2. Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels	58
3.3. Proposition de modèle.....	63
3.4. Historisation ... identifier les objets temporels	64
4. LES NIVEAUX DE DETAILS	67
4.1. De nombreuses définitions, plus ou moins imprécises.....	67
4.2. Quelques éléments de réponse.....	69
4.3. Conclusion sur les niveaux de détail	70
ANNEXE	71
Détail de la structure envisagée pour l'objet clôture	71
BIBLIOGRAPHIE.....	77

Avant-propos

L'objet du rapport

L'objet de ce rapport est de :

- Traduire en modèle de données le processus d'étude écologique conduisant au choix d'implantation d'un passage à faune.
- Proposer par la même occasion des pistes de solutions pour l'historisation de l'ensemble des données d'un projet.

Dans un premier temps, nous nous intéressons aux processus métiers, aux données d'études, puis aux formats de ces données.

Une étude qui s'appuie sur deux cas d'étude

Cette étude s'appuie sur deux cas d'étude choisis par le groupe de travail MINnD - UC6 :

- 1^{er} cas : l'étude porte sur un projet implantation d'un passage à faune (de type écopont) sur l'A64. Dans cette étude, nous repartons de la genèse du projet et étudions les processus métiers utilisés pour aboutir aux choix de positionnement et de conception de cet ouvrage.
- 2^e cas : le projet porte sur une portion d'autoroute de l'A63 qui va être élargie à 2x3 voies pour en améliorer les conditions de circulation et de sécurité. À l'inverse du premier site, l'A63 ne comporte pas de projet d'implantation d'écopont. Il s'agit donc dans notre étude de :
 - Reprendre le processus métier conduisant au choix de non-implantation d'un écopont.
 - Proposer une piste de solution permettant d'historiser ces données d'études.

Pour rappel les deux cas d'étude sont décrits dans le rapport UC6T2-1, notamment en Annexe 1.

Notre approche

La modélisation d'un ouvrage

Avant la réalisation d'un ouvrage, nous assistons à des phases de conception où un ouvrage final est modélisé grâce à différents logiciels.

La conception de cet ouvrage résulte de plusieurs étapes métiers ou processus tout au long desquels sont produites et échangées des informations par divers acteurs tels que :

- Les architectes.
- Les ingénieurs.
- Les planificateurs.
- Les entrepreneurs.
- Les fabricants.
- Les maîtres d'ouvrage.
- Bien d'autres.
- Les maîtres d'œuvre.

Chaque acteur s'inscrit dans un processus propre à son métier pour produire des informations répondant aux besoins d'autres acteurs ou aux besoins du projet.

Dans cette démarche, les informations produites par les uns sont récupérées en tout ou partie par les autres qui, à leur tour, suivent d'autres processus métier pour concevoir et livrer des données permettant de comprendre et de modéliser le monde réel actuel et/ou futur (Voir Figure 1).

Avant-propos | Notre approche

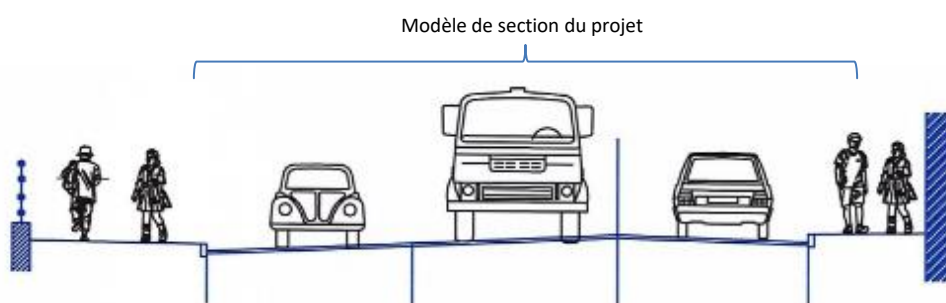
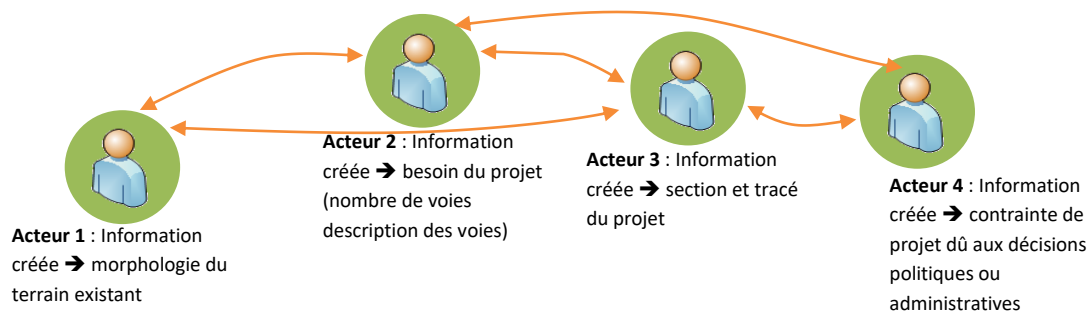


Figure 1 : Exemple simplifié de diversité des acteurs pour création d'un projet à trois voies

Des données servant à plusieurs usages et acteurs

Les données du projet modélisé servent à divers usages et acteurs durant les phases du projet. De manière générale, nous pouvons voir que certaines des informations sont pleinement représentées dans notre modèle (ex. : morphologie du terrain). En revanche, d'autres informations n'y figurent pas ou alors ne sont pas représentables (ex. : contraintes administratives).

Les étapes métiers pour concevoir l'information

Au-delà des informations non représentées, nous pouvons par exemple parler aussi des étapes métiers de chaque acteur qui lui ont permis de concevoir l'information. Ces étapes peuvent être nécessaires à d'autres acteurs du même métier pour :

- Juger ou comparer le projet final à des normes existantes.
- Ou récupérer un travail de phases précédentes et de le poursuivre.

Ces diverses données doivent être gérées de manière adéquate et partagées, entre toutes les parties prenantes selon les besoins de chacun.

Les questions posées

Dès lors se posent plusieurs questions, mais nous choisissons de nous focaliser sur les deux suivantes :

- Comment organiser l'interopérabilité entre différents acteurs ?
- Comment historiser et assurer la traçabilité des données ?

Ces deux questions nous amènent aussi à réfléchir sur la manière de structurer l'information pour répondre aux questions d'interopérabilité et d'historisation.

Dans ce livrable nous allons aborder ces questions et tenter d'y apporter quelques réponses.

I. CYCLE DE VIE DES AMÉNAGEMENTS D'INFRASTRUCTURES

Comprendre le processus d'émission de création et de partage des données

Afin d'appréhender au mieux les données que nous devons prendre en compte, il est important de comprendre le processus d'émission de création et de partage de ces données. Nous nous intéressons :

- Aux acteurs et parties prenantes.
- À la gestion des interfaces.
- Aux échanges d'informations entre acteurs.
- Aux données pertinentes pour le projet.
- À l'historisation des données.

Les phases de vie de l'ouvrage

Les données dont nous traitons naissent et se diffusent tout au long de la vie des ouvrages. On peut considérer que la vie d'un ouvrage démarre à la planification de ce dernier et se termine à la démolition ou destruction. Entre ces jalons de début et de fin se situent les étapes ou les différents stades d'évolution de l'ouvrage. Ces différentes phases de vie de l'ouvrage sont animées par des acteurs différents qui produisent des données à un moment de la vie de cet ouvrage.

Nous pouvons identifier les phases de vie suivantes (voir Figure 2).

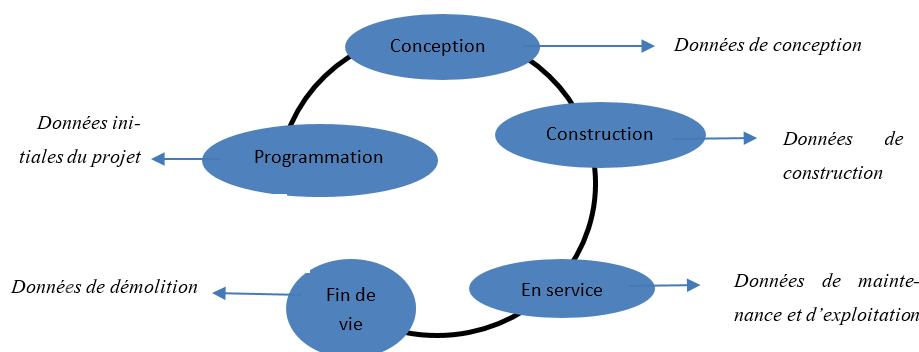


Figure 2 : Cycle de vie d'un ouvrage

Les acteurs

Le déroulement de la réflexion se base sur les 2 cas cités en avant-propos. Nous considérons donc tout au long du rapport que l'ouvrage étudié est un passage à faunes (type écopont). Nous énumérons ici des acteurs intervenant pendant la vie de cet ouvrage :

- La **maîtrise d'ouvrage** (MOA), entité porteuse du besoin, définissant l'objectif du projet, son calendrier et le budget consacré à ce projet.
- La **maîtrise d'œuvre** (MOE) entité choisie par le maître d'ouvrage pour la réalisation du projet dans les conditions de délais, de qualité ainsi que de coûts fixés par le dit projet, le tout conformément à un contrat.
- L'**Écologue** : cabinet d'études et de conseils proposant à la maîtrise d'œuvre et au maître d'ouvrage, ses compétences dans les domaines de l'environnement et de l'écologie.
- Le **bureau d'étude** ayant pour mission d'assister le maître d'œuvre ou l'entrepreneur et qui se charge du dimensionnement des ouvrages.
- L'**entrepreneur/ entreprise** entité chargée de la construction de l'ouvrage.
- L'**Organisme public**, toute entité publique autre que la maîtrise d'ouvrage et qui intervient à un moment donné du projet pour divers types d'actions (exemple : Sétra, les concessionnaires réseaux, les exploitants, etc.).

I.1. Les processus métiers

Un projet de longue durée

Le projet de construction d'un écopont est un projet de longue durée qui s'étale généralement sur plusieurs mois (voire éventuellement plusieurs années en cas de difficulté). Il se produit en différentes phases successives et parfois concomitantes :

- Depuis l'identification du besoin de la maîtrise d'ouvrage.
- Jusqu'à la livraison, voire même au-delà à l'exploitation de l'ouvrage.

Chacune des phases du projet répond à des attentes différentes. Cela établit des objectifs différents aux données produites selon les phases du projet (ex : le plan de l'écopont n'est pas le même au début de la conception et lors de la construction).

Les phases de conception d'un écopont

On peut identifier pour l'écopont et de manière sommaire les phases figurants dans le tableau ci-dessous (Voir tableau 1).

Nous choisissons de nous intéresser beaucoup plus à l'acteur **Ecologie** qu'aux autres acteurs cités étant donnée notre problématique concernant les écoponts.

1- Programmation et études préalables	
Objectifs	Intervenants
<p>Le Maître d'ouvrage exprime ses besoins : objectifs du projet, programme fonctionnel, emplacement, prévisionnel (planning budget, etc.)</p> <p>Résultat : le programme → idées directrices de l'opération, enjeux environnementaux, économiques, performances à atteindre, contraintes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre. • L'écologue (pour le diagnostic et pour l'orientation fonctionnelle et technique).
2- APS/APD/PRO (avant-projet sommaire, avant-projet détaillé, projet)	
<p>Dans cette phase, le projet est ajusté et détaillé pour répondre à certaines réglementations ou à des contraintes.</p> <p>Résultat : documents graphiques tels que les plans du territoire, les plans de l'ouvrage, les coupes, des esquisses 3D, etc.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre. • L'écologue (choix de l'ouvrage à réaliser, détermination de l'emplacement, esquisse, prédimensionnement, et détail de l'ouvrage). • Le bureau d'étude. • L'organisme public.
3- L'exécution et la construction	
<p>Dans cette phase, l'entreprise qui est amenée à réaliser les ouvrages établit et fait valider ses plans de construction en respectant les besoins préalablement exprimés. Une fois le programme d'exécution validé l'entreprise réalise l'ouvrage sous le contrôle de la maîtrise d'œuvre</p> <p>Résultat : documents graphiques tels que les plans du territoire les plans de l'ouvrage, les coupes, une maquette numérique détaillée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre. • L'écologue (contrôle et suivi des travaux). • L'entrepreneur. • L'organisme public.
4- L'exploitation	
5- Programmation et études préalables	
<p>Le Maître d'ouvrage exprime ses besoins : objectifs du projet, programme fonctionnel, emplacement, prévisionnel (planning budget, etc.).</p> <p>Résultat : le programme → idées directrices de l'opération, enjeux environnementaux, économiques, performances à atteindre, contraintes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre. • L'écologue (pour le diagnostic et pour l'orientation fonctionnelle et technique).
6- APS/APD/PRO (avant-projet sommaire, avant-projet détaillé, projet)	
<p>Dans cette phase le projet est ajusté et détaillé pour répondre à certaines réglementations ou à des contraintes.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre.

Résultat : Documents graphiques tels que les plans du territoire, les plans de l'ouvrage, les coupes, des esquisses 3D, etc.

- L'écologue (choix de l'ouvrage à réaliser, détermination de l'emplacement, esquisse, prédimensionnement, et détail de l'ouvrage).
- Le bureau d'étude.
- L'organisme public.

7- L'exécution et la construction	
Objectifs	Intervenants
<p>Dans cette phase l'entreprise qui est amenée à réaliser les ouvrages établit et fait valider ses plans de construction en respectant les besoins préalablement exprimés. Une fois le programme d'exécution validé l'entreprise réalise l'ouvrage sous le contrôle de la maîtrise d'œuvre.</p> <p>Résultat : Documents graphiques tels que les Plans du territoire les plans de l'ouvrage, les coupes, une maquette numérique détaillée.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le maître d'ouvrage. • La maîtrise d'œuvre. • L'écologue (contrôle et suivi des travaux). • L'entrepreneur. • L'organisme public.
8- L'exploitation	

Tableau 1 : Les phases du projet

Le processus métier propre à l'écologue

De ces phases, nous allons nous intéresser au processus métier propre à l'écologue pour la production des informations utiles à la modélisation du futur ouvrage.

I.2. Description du processus métier menant à la conception d'un écopont

Des espaces pour la population et la biodiversité

Les organismes publics aménagent des espaces répondant aux besoins de la population, mais aussi aux enjeux de conservation de la biodiversité.

Ce double objectif observé tout au long des étapes de conception amène les parties prenantes à entreprendre un certain nombre d'actions devant mener à la prise de décision de l'installation d'un passage à faunes.

Plusieurs étapes et métiers sont nécessaires : ces éléments sont résumés dans la Figure 3.

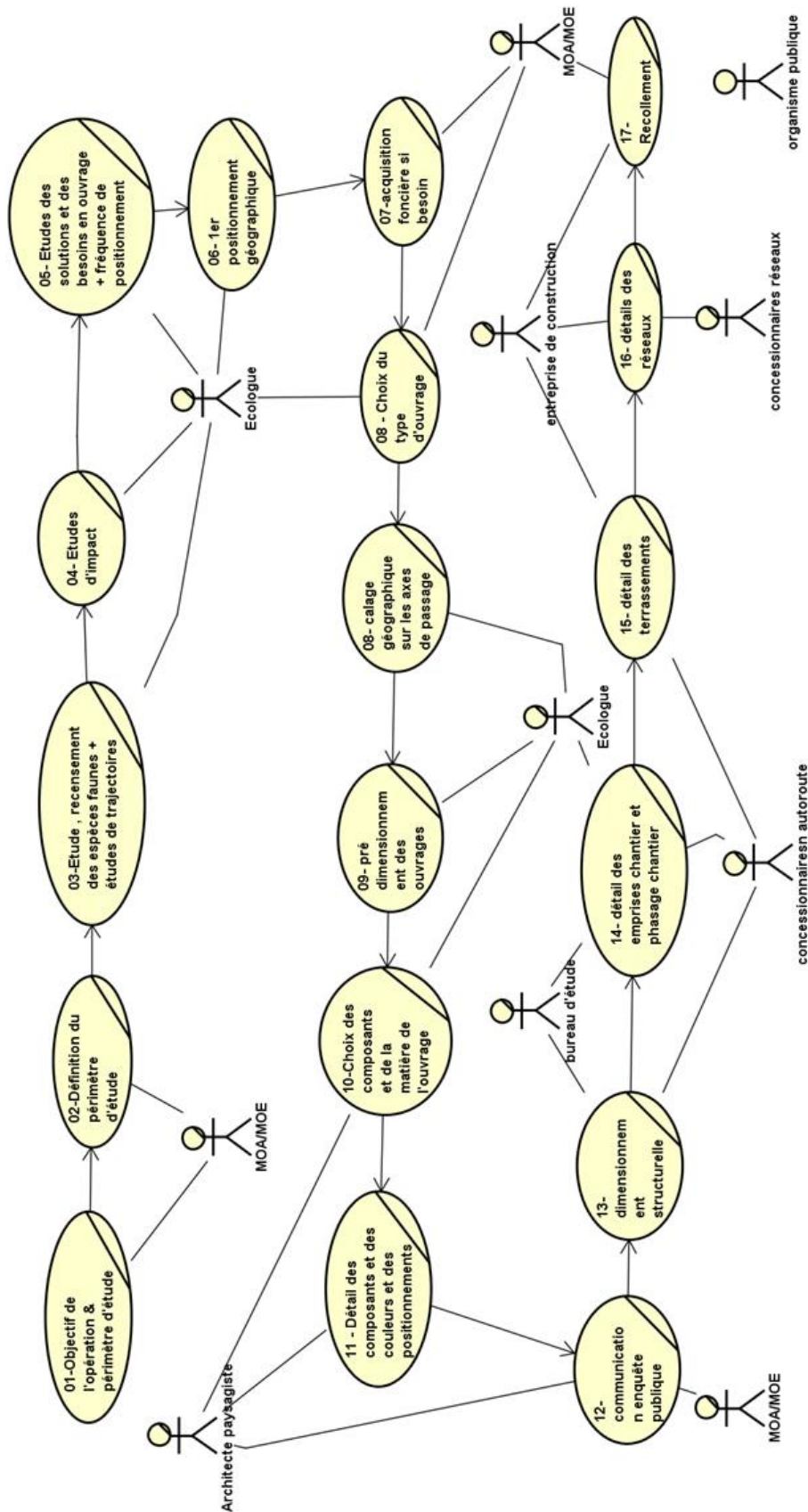


Figure 3 Étapes pour la conception d'un écopont :

I.3. Objectif de l'opération et périmètre de l'Étude

Suivi des réglementations en vigueur et intégration des conséquences de la construction sur la faune et les habitats

Dans un contexte national où la faune perd de son habitat en raison de l'intensification d'activités humaines telles que :

- l'agriculture,
- la croissance urbaine, ou
- la construction d'infrastructures,

le maître d'ouvrage propriétaire et/ou exploitant de multiples ouvrages doit :

- Suivre les réglementations en vigueur.
- Intégrer les conséquences de la construction sur la faune et les habitats.

Les conséquences de la construction

On peut citer comme conséquences de la construction de ces ouvrages :

- La dégradation de la qualité des milieux naturels (du point de vue qualitatif et quantitatif).
- La mise en danger des continuités biologiques dans les écosystèmes en place.
- La mortalité accrue de la faune due à la circulation automobile.

Des conséquences qui peuvent être évitées, limitées ou compensées

Ces conséquences peuvent être évitées, limitées ou compensées en partie par :

- Des choix judicieux de tracé.
- Des aménagements adaptés.
- Des passages à faunes.
- La création de nouveaux biotopes d'accueil.
- Des modes de gestion des emprises.

Des réglementations nationales, européennes et internationales

Ainsi, des réglementations nationales, européennes et internationales contraignent tout maître d'ouvrage ou exploitant de réseaux d'infrastructures à **prendre des mesures nécessaires face à une partie des conséquences induites par son activité.**

1.3 Objectif de l'opération et périmètre de l'Étude

Les mesures prises par le maître d'ouvrage

Pour ce faire, le Maître d'ouvrage doit :

- Identifier son besoin.
- Émettre un choix provisoire quant à la zone à étudier exprimer son besoin.
- Lancer les procédures administratives nécessaires à l'étude environnementale.

Ce faisant, il crée et échange des données avec diverses parties prenantes (voir Figure 4 et tableau 2).

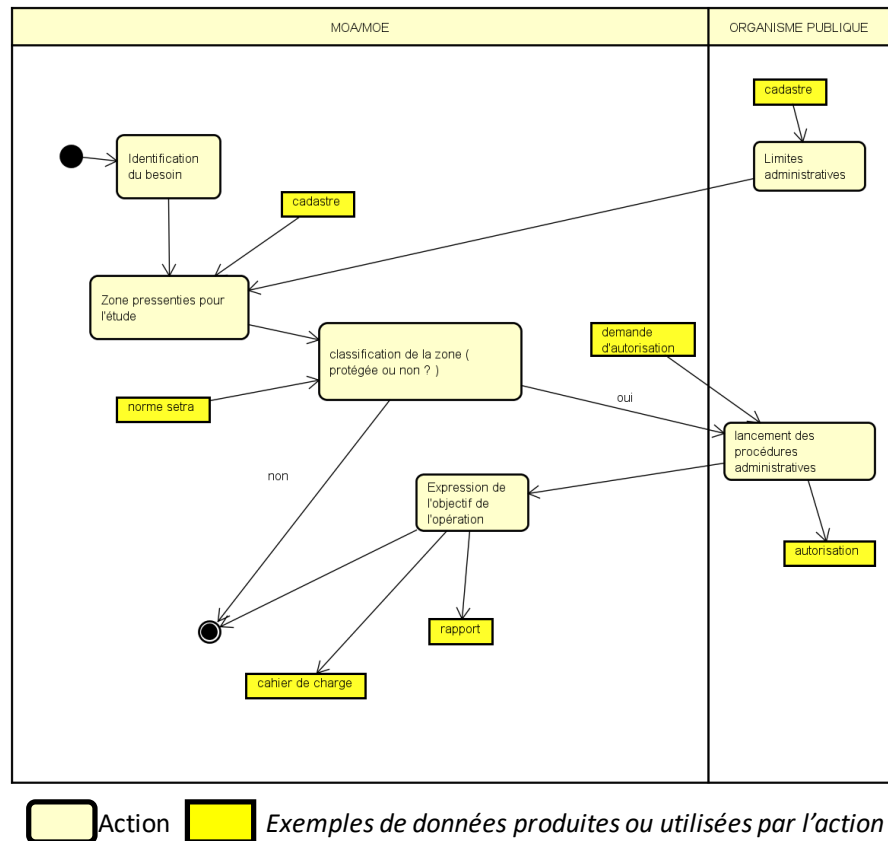


Figure 4 Description du processus métier : Objectif de l'opération

Données reçues / créés Données reçues / créés : Objectif de l'opération :

	Données créés	Données reçues
MOA/MOE	Cahier des charges (expression de son besoin) Objectif de l'opération Divers Plans ou cartes	Cadastre Diverses normes et réglementations
Organisme Public	Autorisations administratives Normes L'occupation du territoire (cadastre, etc.)	

Tableau 2 Données reçues / créés : Objectif de l'opération

I.4. Définition du périmètre d'étude, recensement des espèces faunes, flores et études des trajectoires

La délimitation du périmètre d'étude

Une fois les objectifs de l'opération connus, il s'agit de délimiter l'emprise du projet et de la zone à étudier. Les limites doivent être choisies de manière à prendre en compte :

- Les objectifs de l'opération.
- Ses caractéristiques.
- Les composantes environnementales des régions traversées.
- Les perturbations potentielles engendrées par le projet (Voir Figure 5).

Les critères environnementaux majeurs à considérer

Les critères environnementaux majeurs à considérer sont les suivants :

- Nature des espèces animales présentes.
- Réservoir de biodiversité.
- Présence de solidarité inter-milieu.
- Axes de déplacements des espèces.

La connaissance des espèces présentes sur le projet

Les connaissances relatives à la présence/absence d'espèces sur les zones impactées par le projet permettent de définir le périmètre d'étude et les zones qui font l'objet d'inventaires terrain. Ces inventaires viennent confirmer ou infirmer les hypothèses émises préalablement en amont.

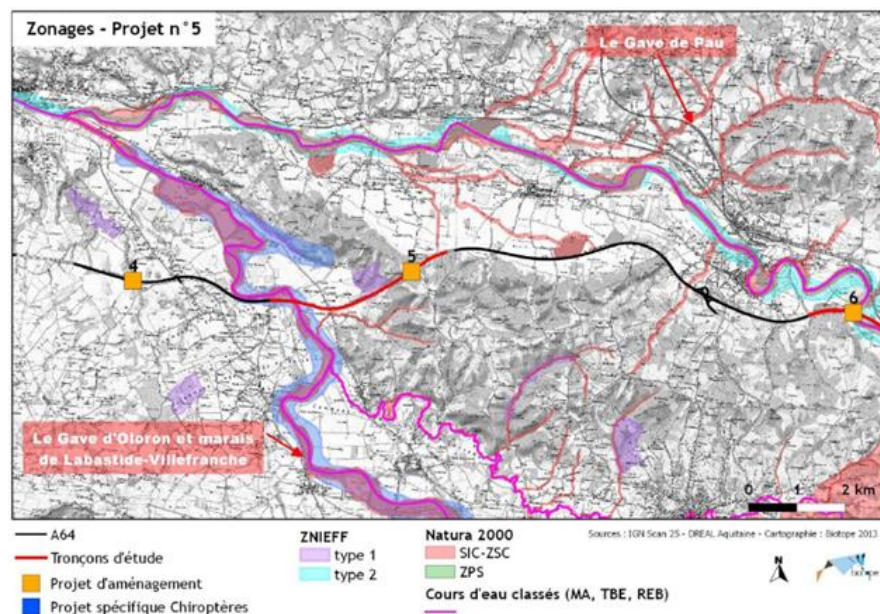


Figure 5 Emprise du projet (définition du périmètre d'étude)

I.4 Définition du périmètre d'étude, recensement des espèces faunes, flores et études des trajectoires

Les autres étapes

La collecte des données comprend d'autres étapes complémentaires (voir Figure 6) :

- Rassembler et exploiter les données existantes.
- Recenser et valoriser les informations disponibles chez les partenaires : administrations, services, établissements publics et parapublics, etc.
- Compléter l'acquis par des investigations spécifiques sur le terrain pour appréhender les espaces fonctionnels de la faune :
 - Soit au travers d'observations directes.
 - Soit en ayant recours aux indices de présence : traces, coulées, fumées.

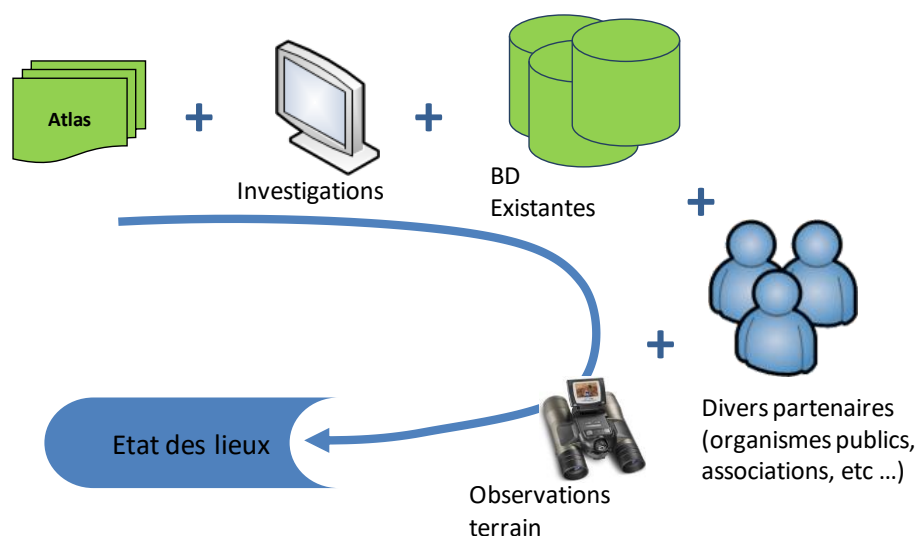


Figure 6 Collecte de données

Les données créées et échangées

Dans cette étape de définition du périmètre d'étude, de recensement de la faune de la flore et de l'étude des trajectoires, plusieurs données sont créées et échangées. La liste suivante constitue une liste non exhaustive de ces données :

	Données créées	Données reçues
MOA/MOE		Cadastre Diverses normes et réglementations
Écologie	Données d'observations Photo, vidéos, Données des appareils de capture Carte de présence absence	Atlas nationaux et régionaux Carte des zones forestières et de la végétation Atlas des mammifères Photographie aérienne Plans d'occupation des sols Recensement des collisions véhicules/grands mammifères
Organisme public	Autorisations administratives Normes L'occupation du territoire (cadastre, etc.)	

Tableau 3 : Données reçues / créées : définition du périmètre d'étude

I.5. Inventaires des espèces et Études d'impacts

Une évaluation patrimoniale de la zone d'étude

À partir des résultats des inventaires (voir le processus métier Figure 7), l'écologue réalise une évaluation patrimoniale de la zone d'étude. Le résultat doit contenir les informations relatives aux espèces ainsi que le positionnement de l'ouvrage à créer ou aménager. Ce livrable prend actuellement la forme de cartes (Pdf issue de SIG principalement), incluses dans l'étude d'impact (Voir Figure 8 et Tableau 3).

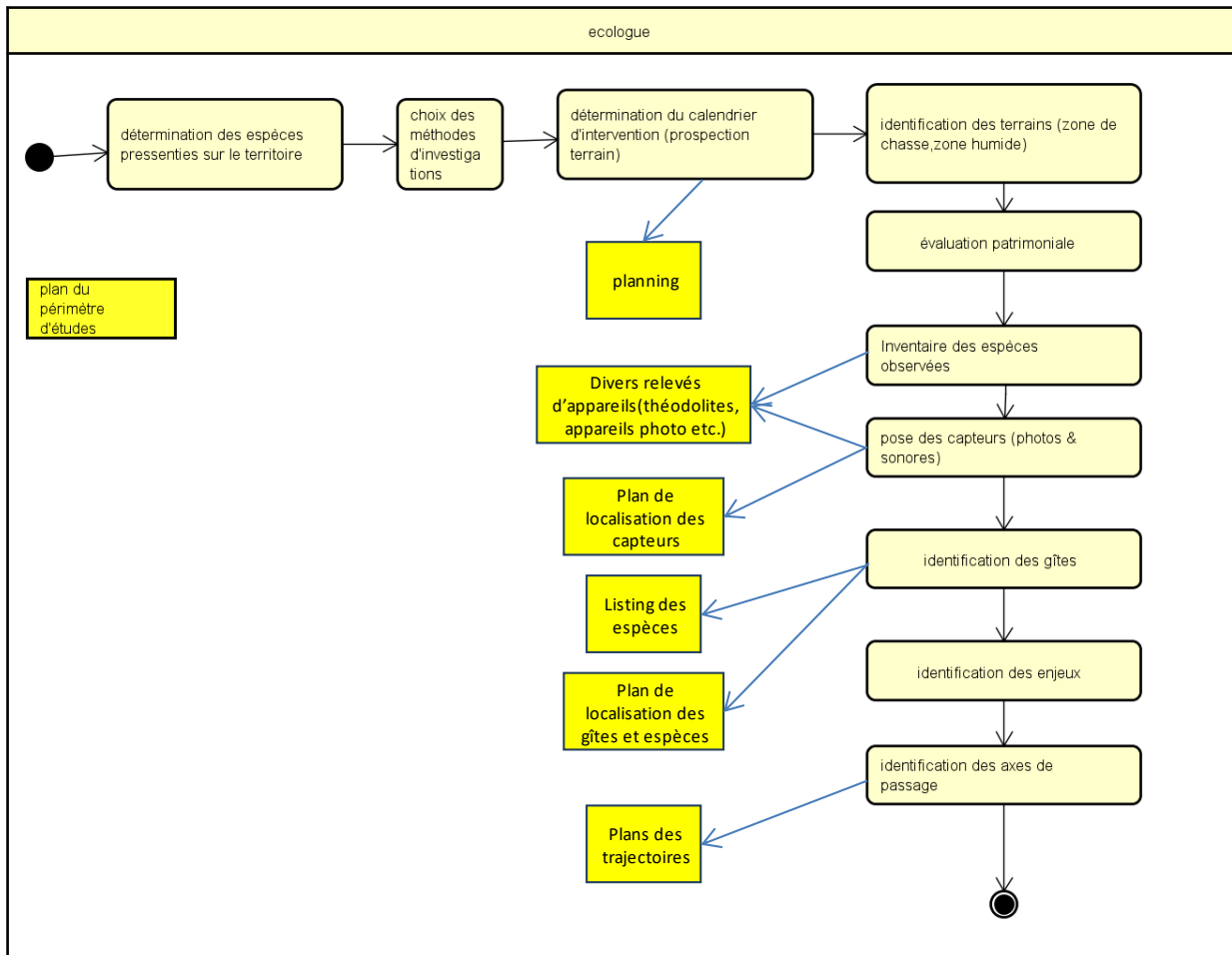


Figure 7 Processus métier : inventaire des espèces

L'intérêt de l'intégration de vues en 3D

À cette étape, l'intégration de vues en 3D permettrait déjà une meilleure appréhension et compréhension du projet par tous les acteurs concernés. Il serait également plus aisé de vérifier le respect des critères fonctionnels et environnementaux du projet.

Pour aller plus loin, la réalisation d'analyses et de simulations environnementales numériques pourrait être envisagée. Cela apporterait à la fois :

- Une vision plus globale du projet : zone d'étude numérique plus vaste que la zone terrain.
- Une vision plus complète sur des éléments essentiels : trajectoires des espèces pour un positionnement adapté des ouvrages environnementaux voir Figure 9.

I.5 Inventaires des espèces et Études d'impacts | L'intérêt de l'intégration de vues en 3D

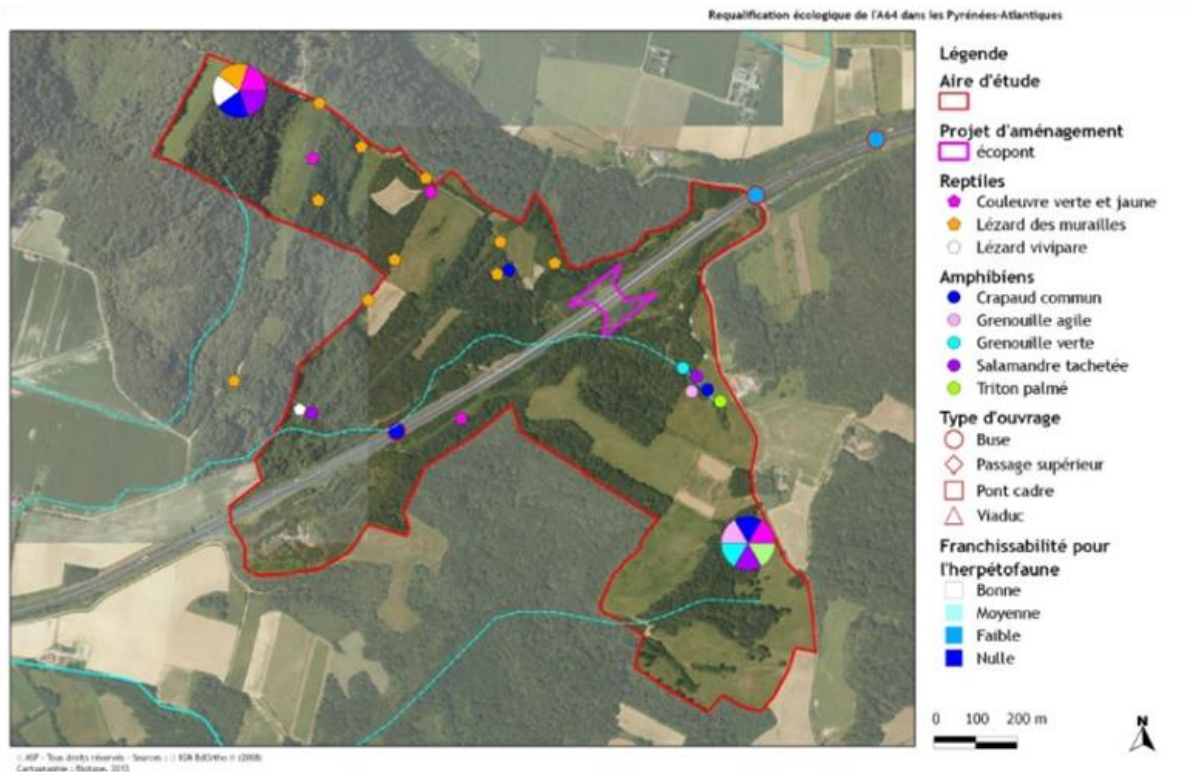


Figure 8 : Carte inventaire des espèces (A63)

Données reçues / créés Données reçues / créés : Inventaire des espèces :

	Données créés	Données reçues
Écologie	Carte de localisation des ouvrages des habitats d'accueil Inventaire des espèces Rapport d'identification d'enjeux Trajectoires et axes de passage	Normes et réglementations

Tableau 4 : Données reçues / créés : Inventaire des espèces

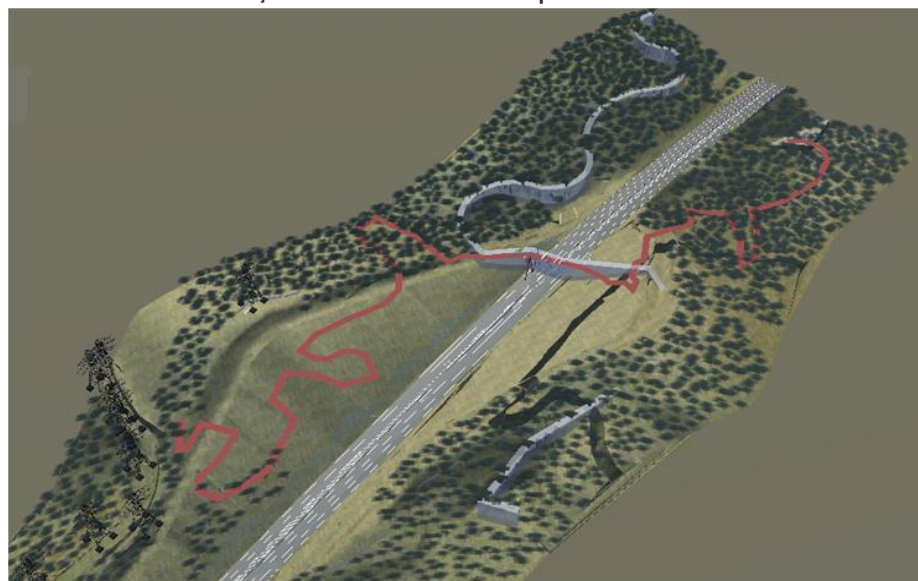


Figure 9 : Vue 3D des trajectoires probables des espèces (A64)

I.6. Identification des impacts

L'identification des impacts du projet sur les territoires caractérisés

L'étape suivante concerne l'identification des impacts du projet sur les territoires caractérisés précédemment (Voir Figure 10 et Figure 11). Des solutions pour éviter, réduire ou compenser ces impacts sont proposées.

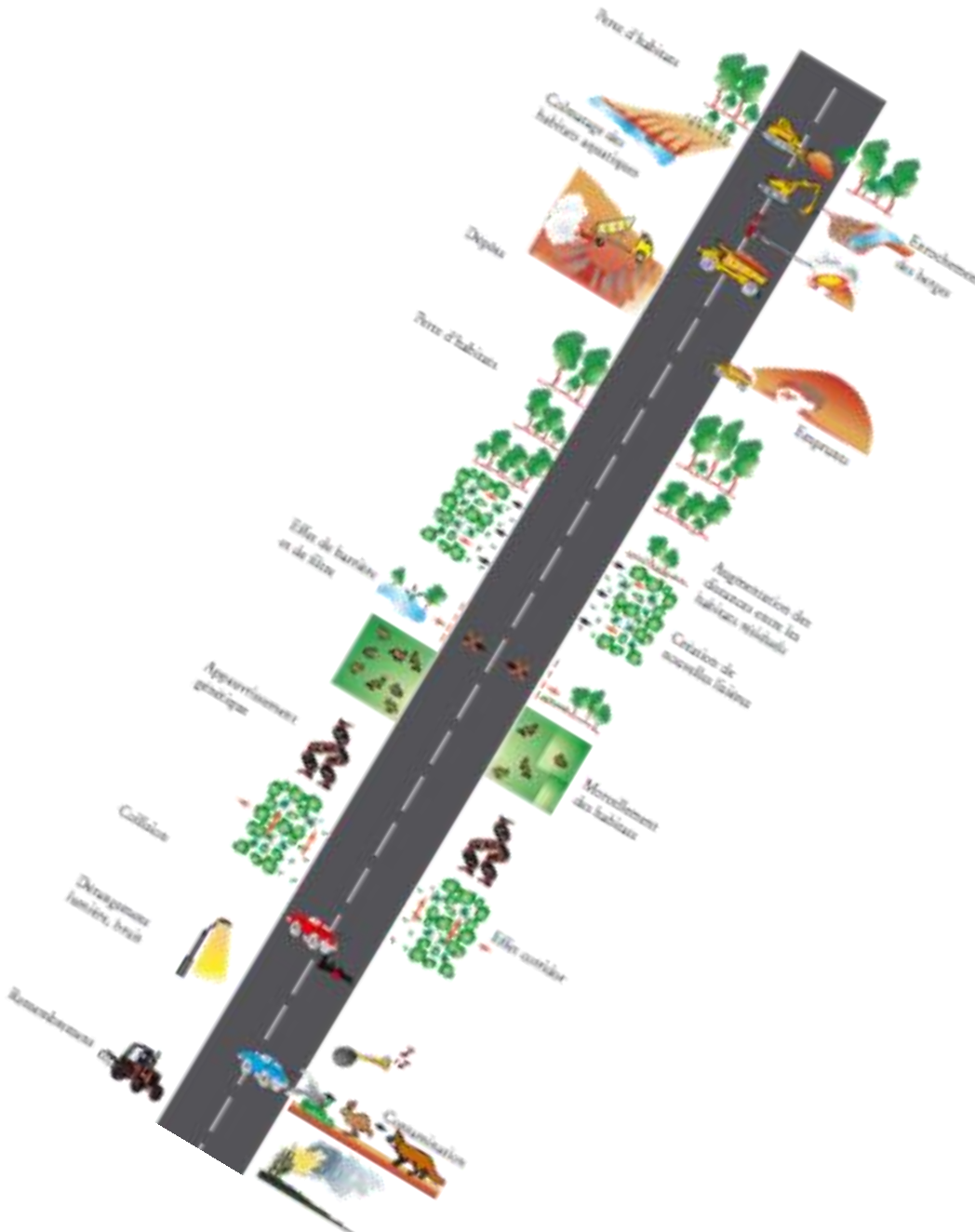


Figure 10 Identification des impacts

I.6 Identification des impacts | L'identification des impacts du projet sur les territoires caractérisés

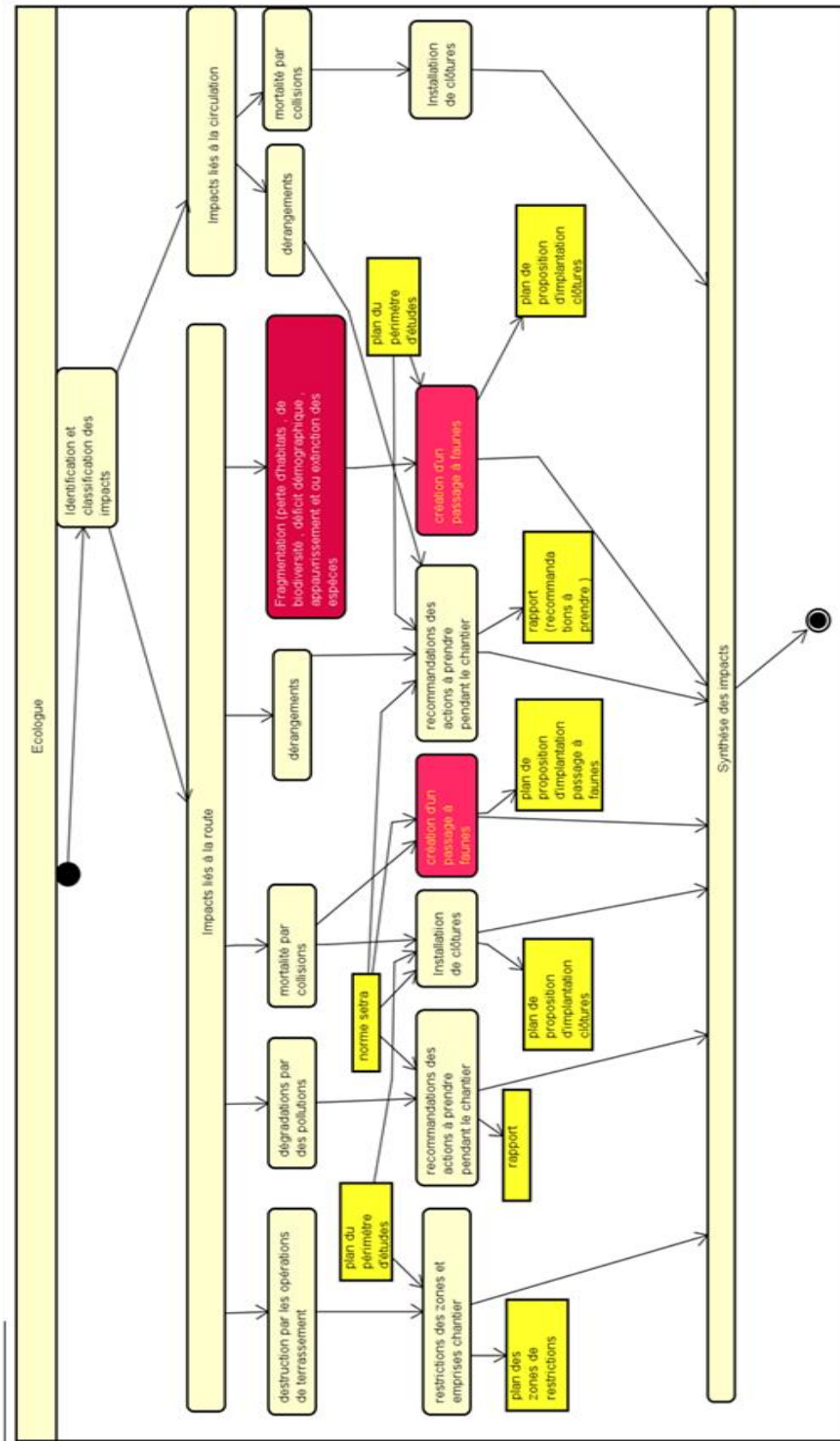


Figure II Processus métier identification des impacts

I.6 Identification des impacts

Hiérarchisation des impacts

Les impacts identifiés et les solutions pour les réduire sont classés par ordre de gravité et mis en adéquation avec l'étude patrimoniale (voir Figure 12).

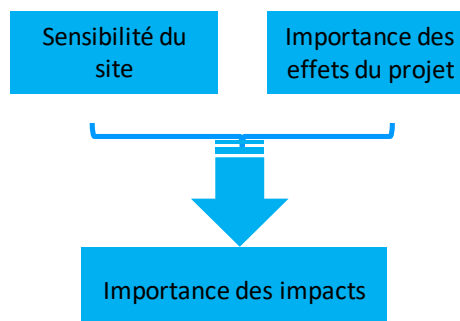


Figure 12 Hiérarchisation des impacts

Un impact significatif : la fragmentation du territoire

Pour notre cas d'étude, l'un des impacts les plus significatifs à la présence de l'autoroute A64 depuis près de trois décennies est la fragmentation du territoire. Il a donc été décidé d'implanter un ouvrage de type écopont. Le Tableau 5 reprend les actions principales entreprises par les acteurs, en lien avec cette décision :

	Données créées	Données reçues
MOA/MOE	Données de levées topographiques	
Écologie	Plans des zones de restrictions Plan de proposition d'implantations de l'ouvrage Plans de propositions des divers aménagements	Planning d'intervention d'étude Carte des gîtes et des espèces Cartes des axes de passage et des fragmentations identifiées Rapport d'étude d'impact
Organisme Public		

Tableau 5 Données reçues / créées : Identification des impacts

I.7. Conception de l'ouvrage

Les étapes de conception de l'ouvrage

La conception de l'ouvrage suit plusieurs étapes qui déterminent son bon fonctionnement :

- La concertation entre les différentes parties concernées pour valider la position de l'ouvrage.
- Le prédimensionnement de l'ouvrage.
- Le respect des contraintes administratives, politiques, ou autre.

Les premiers éléments de positionnement géographique de l'ouvrage

L'écologue produit ici les premiers éléments de positionnement géographique du futur ouvrage (voir Tableau 6 et Figure 13).

	Données créées	Données reçues
Écologie	Plans de positionnement géographique de l'ouvrage Plan de proposition d'implantations de l'ouvrage Plans de propositions des divers aménagements	

Tableau 6 Données reçues / créées : Identification des impacts



Figure 13 Choix de l'emplacement de l'ouvrage

I.7 Conception de l'ouvrage

Les aménagements spécifiques de l'ouvrage

Les aménagements spécifiques de l'ouvrage sont responsables en grande partie de la réussite de l'ouvrage dans l'accomplissement de sa fonction (Voir Figure 14 et Figure 15). Ces paramètres sont notamment :

- Les aménagements écologiques de l'ouvrage et de sa zone périphérique.
- L'aménagement végétal des talus jouxtant le passage.
- L'implantation des dispositifs de sécurité et des dispositifs d'occultation, etc.

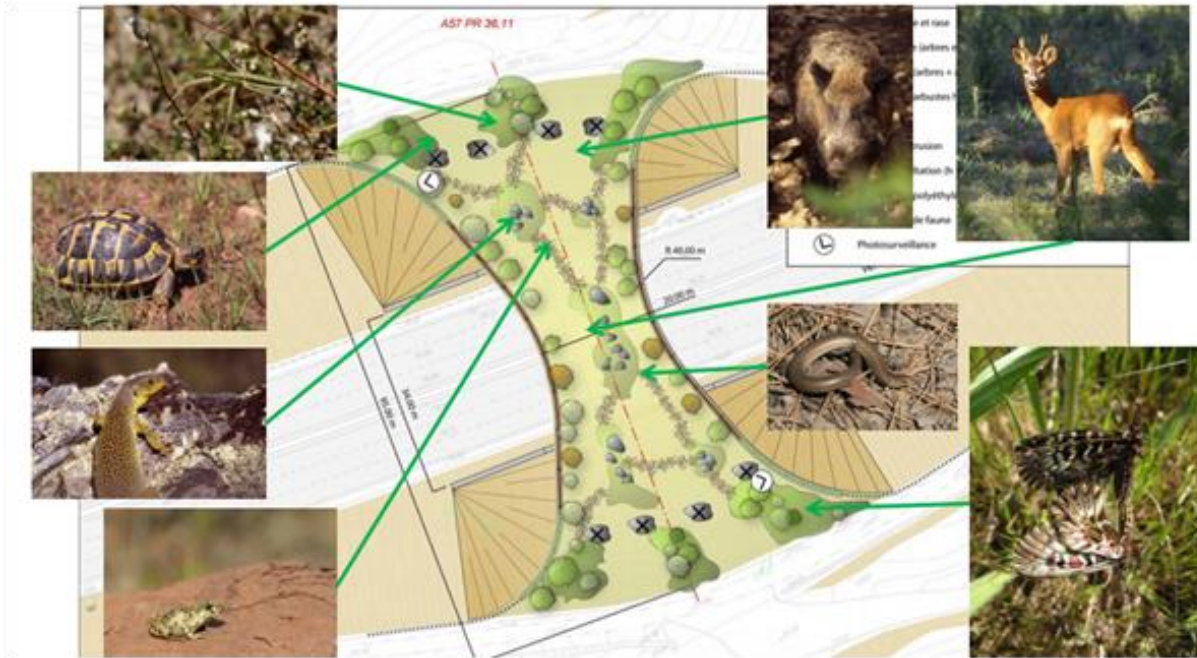


Figure 14 Composants/aménagements en fonction des espèces rencontrées

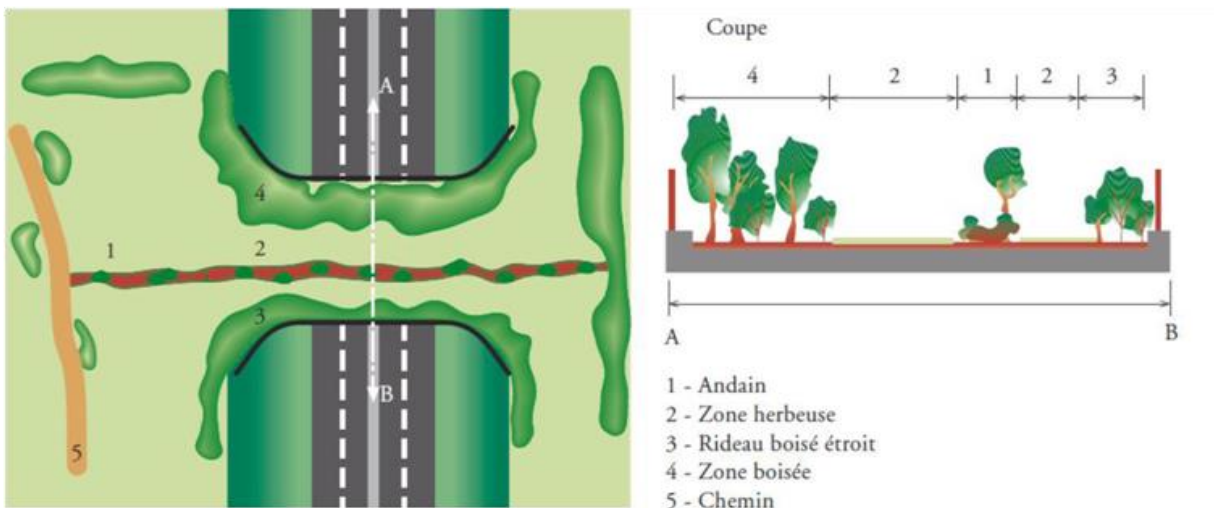


Schéma de principe d'un écopont, guide SETRA,
J.Carsignol CETE de l'est.

Figure 15 Schéma de principe d'un écopont (guide Setra)

I.7 Conception de l'ouvrage

Un ensemble de composants représenté dans la maquette numérique

L'ensemble des composants de l'écopont est représenté dans la maquette numérique. Le projet est ainsi enrichi en données techniques géométriques, associées à des informations sémantiques. Les acteurs s'intéressent à certaines données spécifiques en fonction de leur implication dans le projet. Leurs besoins portent ainsi sur des données spécifiques avec un niveau de détail des données à extraire.

Les besoins du paysagiste

Par exemple, le paysagiste s'intéresse particulièrement à l'intégration paysagère des composants du projet dans l'environnement. Son besoin porte donc sur la forme des composants, leur volume, leurs couleurs, leurs matières, etc.

Les besoins du bureau d'étude de structure

Le bureau d'étude de structure s'intéresse à d'autres aspects tels que :

- Le poids des composants.
- Leur résistance dans le temps.
- Leurs descriptions techniques : teneur en eau des couches de terres, résistance du géotextile, etc.

Les besoins de l'exploitant de l'ouvrage, de la MOA et de la MOE

L'exploitant de l'ouvrage a besoin aux divers réseaux (arrosage, assainissement, alimentations électriques, etc.). La maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre s'intéressent aux coûts des composants à leurs délais d'approvisionnements, etc.

Des données qui se retrouvent dans la maquette numérique

Toutes ces données, qu'elles soient visualisables ou non en 3D, se retrouvent dans la maquette numérique du projet. Tout comme précédemment, nous récapitulons dans le tableau suivant quelques-unes des données créées, reçues ou échangées dans cette phase.

	Données créées	Données reçues
MOA/MOE		
Écologie	Plan détaillé de l'ouvrage Détail de ces composants	Diverses données provenant des phases précédentes

Tableau 7 Données créées et reçues : choix des composants de l'ouvrage

I.8. Dimensionnement par les ouvragistes

La conception des espaces extérieurs est assurée par le BE

À ce stade, le bureau d'étude peut assurer la conception des espaces extérieurs d'un point de vue technique. Il détermine et dimensionne les éléments structurels (piles, culées, etc.), leur nature et leur détail informationnel.

Chacun des éléments structurels a une représentation virtuelle en 3D, mais possède aussi des propriétés qui permettent aux autres acteurs du projet de récupérer les informations utiles pour leurs métiers.

La composition des piles ou culées

Par exemple, chaque pile ou culée du pont (voir Figure 16) est composée soit de métal ou de béton ou d'autres matériaux ayant des résistances techniques précisément dimensionnées. Les efforts auxquels résistent ces piles sont contrôlés et validés par la maîtrise d'œuvre qui en a donc besoin dans la maquette numérique pour accéder à ces éléments. L'architecte et le paysagiste adaptent aussi leurs plans, car les dimensions de l'ouvrage ont pu être modifiées par le bureau d'étude structure.

I.8 Dimensionnement par les ouvragistes

D'autres aspects revus par d'autres acteurs

Bien d'autres aspects peuvent être revus par d'autres acteurs, nous nous occupons ici d'attirer l'attention uniquement sur la richesse de l'information qui commence à être produite et accumulée.

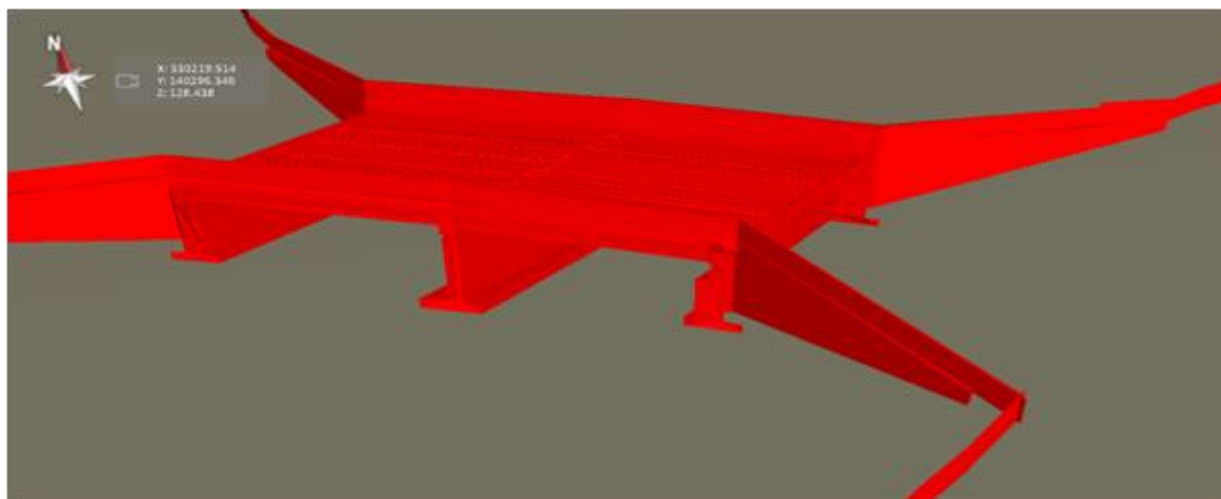


Figure 16 Aperçu de la structure de l'écopont

Données créées reçues ou échangées

Ci-après quelques exemples de données créées reçues ou échangées dans cette phase :

	Données créées	Données reçues
Bureau d'étude	Plan détaillé de l'ossature de l'ouvrage Coupe et sections diverses de l'ouvrage Détails techniques des composants Calculs de dimensionnements, etc.	Modèle de terrain naturel, implantation de l'infrastructure

Tableau 8 Données reçues / créées : dimensionnement de l'ouvrage

I.9. Phase de construction et d'exploitation

Les données produites en phase construction

Bien d'autres données continuent à être produites tout au long du projet. En phase construction, les entreprises fournissent :

- Des plans d'exécution.
- Des descriptifs techniques.
- Des matériaux qui sont utilisés.
- Les plans de terrassement et de mouvement des terres.
- Etc.

Pour toutes ces données, chaque acteur a des attentes différentes en fonction de ses besoins.

Les données produites en phase d'exploitation

Après la phase de construction, nous avons la phase exploitation où la maquette numérique continue d'être enrichie avec les données d'exploitation. Nous n'entrons pas dans le détail de ces phases de construction ou d'exploitation. Nous attirons l'attention sur le flux continu de production des informations tout au long de la vie de l'ouvrage.

I.10.Synthèse sur les flux d'information entre les acteurs

Analyse des données

Après la précédente description des processus métiers, nous nous intéresserons dans cette partie à analyser les données. Cette analyse consiste à décrire les flux d'informations autour de ce projet. Nous nous intéressons aux flux entre acteurs (flux d'informations, échanges d'informations au sein du projet.). L'objectif ici est de produire un schéma des flux qui donne une vue d'ensemble de la circulation de l'information entre les acteurs qui participent à la réalisation du projet.

Un acteur est un émetteur ou un récepteur d'informations liées à une activité

Rappelons qu'un acteur dans cette section est considéré comme un émetteur ou un récepteur d'un flux d'informations lié à une activité. L'acteur reçoit un flux d'informations. Cela lui permet d'agir en transformant l'information et en renvoyant un ou plusieurs autres flux d'informations à d'autres acteurs. Les acteurs sont représentés par leurs rôles dans le projet.

Le flux désigne ici le transfert d'informations entre deux acteurs du projet (voir Figure 17).

Les flux peuvent intervenir dans un ordre déterminé qu'on peut noter pour faciliter la lecture. Cet ordre chronologique n'est pas nécessairement systématique et n'exclut pas la simultanéité (voir Figure 18).

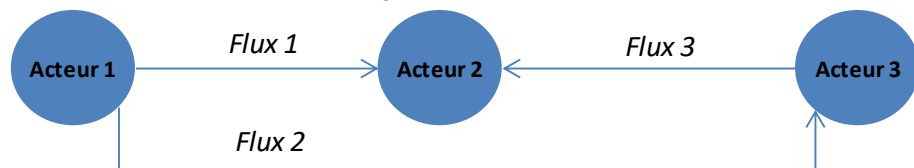


Figure 17 Exemple de flux d'informations échangées

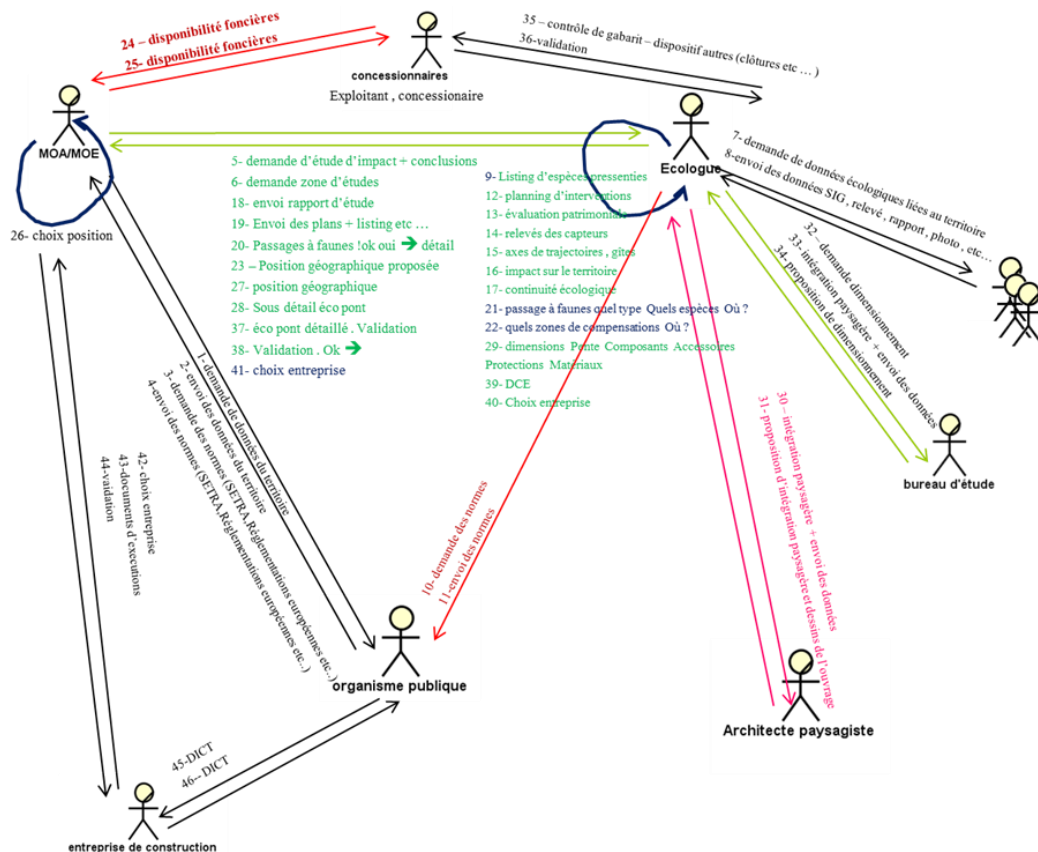


Figure 18 Synthèse des Flux d'informations échangées

I.10 Synthèse sur les flux d'information entre les acteurs

**La cohabitation
des données créées
et échangées**

Les données créées et échangées doivent cohabiter au sein d'une même infrastructure de données. Ces données sont elles-mêmes en relation avec des bases de données dont elles sont issues pour alimenter des modèles. Elles sont de natures diverses.

Par exemple, les données de conception doivent :

- Cohabiter avec la remontée d'informations issues de capteurs sur le terrain.
- Permettre à un acteur quelconque de faire des simulations ou des hypothèses propres à son métier.

L'échange de ces données nécessite alors la mise en place d'interfaces entre les différents acteurs et différents logiciels utilisés pour concevoir.

2. MODELES ET FORMATS D'ÉCHANGE

Une partie dédiée aux formats d'échange qui doivent faciliter les flux de données

Comme nous l'avons vu en section I, Cycle de vie des aménagements d'infrastructures, de nombreux échanges de données ont lieu entre les acteurs pour les différentes phases du cycle de vie d'une infrastructure ou dans notre cas d'un écopont. Dans cette section, nous faisons un focus sur les formats d'échange qui doivent faciliter les flux de données.

2.1. Des pratiques différentes entre CAO et SIG

Deux familles de logiciels

Deux familles de logiciels sont utilisées pour traiter des projets d'infrastructures et leur lien avec l'environnement :

- Côté infrastructure, les logiciels standards sont les logiciels de **CAO**.
- Côté environnement, les logiciels métiers standards sont des **SIG**.

Des caractéristiques différentes

Ces logiciels ont des caractéristiques différentes en partie dues aux types de données qu'ils décrivent. Un point essentiel à rappeler est que :

- Les logiciels de CAO sont des **logiciels de conception**. Leur but est d'aider à la construction d'une maison, d'une route, d'un écopont. **Les données sont donc des projets** et sont associées des éléments **pour aider à les construire** comme leurs matériaux et les couts de ces matériaux. Ces représentations évoluent au fur et à mesure que le projet se précise.
- Les logiciels de SIG sont des **logiciels de description du territoire**, tel qu'il est ou plutôt tel qu'il est perçu. Ils sont donc dotés de système de coordonnées géographiques permettant le géoréférencement.

La notion d'exigence est absente des SIG

La notion d'exigence est absente des SIG, puisque c'est une notion relative à la construction et non à la description.

Les formats d'échange

Il existe des formats d'échange, mais il s'agit :

- De formats d'échange entre logiciels CAO.
- De formats d'échange entre logiciels SIG.

L'échange de données CAO-SIG est plus difficile

L'échange de données CAO-SIG est plus difficile parce que **les données manipulées sont structurées différemment**. De plus, ces logiciels répondent aussi à des exigences différentes.

Par exemple, les logiciels CAO permettent de représenter la géométrie d'une infrastructure avec beaucoup de précision (clothoïde, courbe...).

Cependant, il n'y a que peu d'attributs rattachés à cette infrastructure à l'inverse des logiciels SIG. Le monde du SIG a plus rapidement intégré l'idée de stocker les données sur des SGBD Géographiques externes (et le plus souvent libre) tel que PostGIS. On a donc souvent :

- D'un côté les logiciels CAO, propriétaires.
- De l'autre des binômes SIG-SGBDGeo.

2.1 Des pratiques différentes entre CAO et SIG | Deux familles de logiciels

Les formats de données libres les plus répandus

Nous considérons ici que les formats de données libres (dont les spécifications sont libres d'accès) les plus répandus sont :

- **L'IFC** au niveau de la CAO.
- Le **CityGML** au niveau du SIG 3D. Ce format s'enrichit d'ajout et d'extension suivant le domaine d'activité.

Les IFC sont basés sur un langage EXPRESS tandis que le **CityGML** et autres sont eux basés sur un schéma XML. La différence de base de ces deux langages rend complexe la cartographie à réaliser. N'entrant pas en détail dans cette étude nous soulevons malgré tout trois problèmes majeurs à analyser :

Problème	Description
La géolocalisation	<p>Dans le BIM, la plupart des formats utilisent un système de coordonnées relatif à l'ouvrage. La localisation des divers objets ne se fait pas en référence des coordonnées géographiques. Par exemple, la localisation d'une poutre ou d'une pile se fait en référence à l'ouvrage pont qui le contient.</p> <p>Dans les formats SIG tous les objets sont définis dans le système mondial de coordonnées géographiques. Il faut donc prévoir un encodage de transformation des coordonnées dans la cartographie des niveaux de détail entre les CAO et les SIG.</p>
L'harmonisation des niveaux de détails	<p>Le même objet écopont est décrit dans le CityGML et dans les IFC de manière différente, car les deux formats de données ne sont pas utilisés par les mêmes acteurs. Ainsi, il faut déterminer les exigences métiers lors des différentes étapes. L'objectif ici est de connaître les informations pertinentes à conserver lors de la conversion IFC CityGML. De plus, il faut une harmonisation entre les deux concepts de LOD de CityGML et des IFC afin de faciliter les échanges.</p>
La perte des données	<p>Durant le processus de transformation : les objets IFC possèdent un niveau d'information détaillé sur la conception d'un ouvrage. Contrairement à CityGML où le niveau d'information est moins précis d'où la nécessité des extensions ADE (Application domains extension) qui permettent d'enrichir le modèle CityGML de base. Alors il se peut que beaucoup d'entités IFC ne trouvent pas leurs équivalents dans les SIG. Par exemple l'entité IfcApplication, qui définit les informations du logiciel natif pour créer et gérer la donnée n'a pas d'équivalent dans le CityGML. Et à l'inverse les informations de cartographie n'ont pas leurs équivalents au niveau des IFC. La perte de données devient donc inévitable lorsqu'on envisage le croisement de ces deux mondes (voir Figure 19). Il faut donc prévoir des extensions cohérentes à ces formats qui puissent permettre l'intégration de la réflexion de réciprocité.</p>

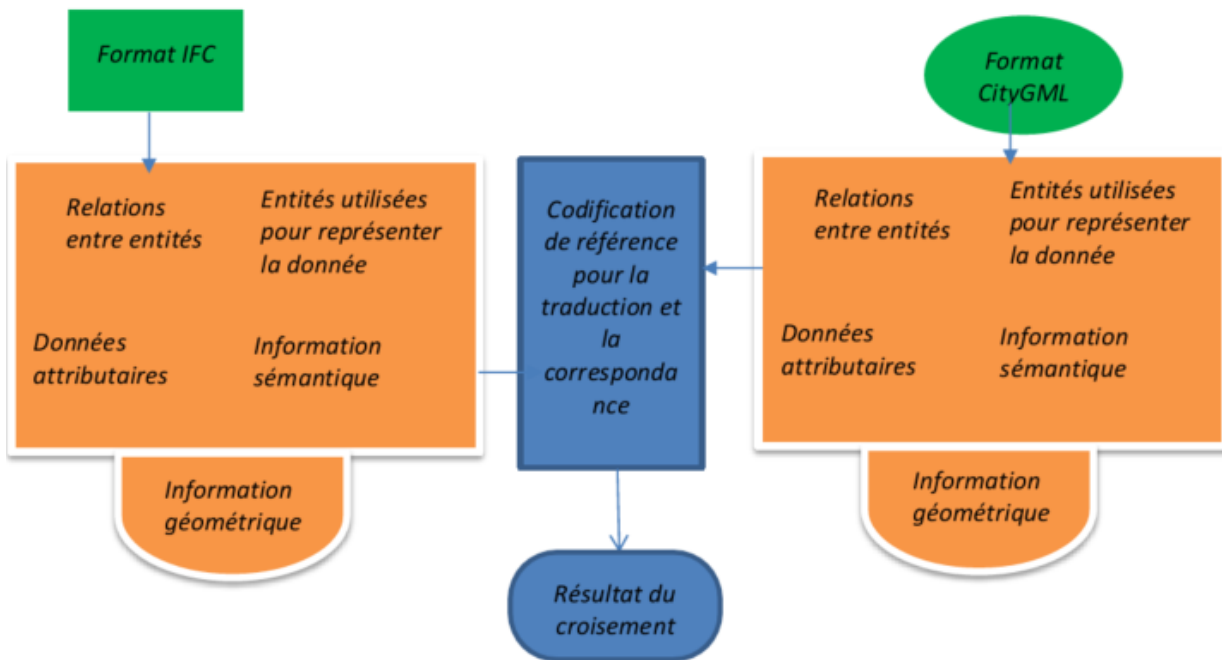


Figure 19 Croisement des données IFC et CityGML

2.1 Des pratiques différentes entre CAO et SIG | Deux familles de logiciels

Les rôles des acteurs

De ce qui précède, on retient que chaque acteur doit :

- Produire des données propres à son métier.
- Les envoyer à un acteur quelconque, qui lui doit récupérer tout ou partie des informations qui lui sont utiles.
- Transformer ou faire évoluer l'information reçue.

Les acteurs étant de divers métiers, nous sommes confrontés dans les échanges à la croisée de plusieurs domaines. Il faut donc nous intéresser à la manière dont sont produites les informations par chaque acteur.

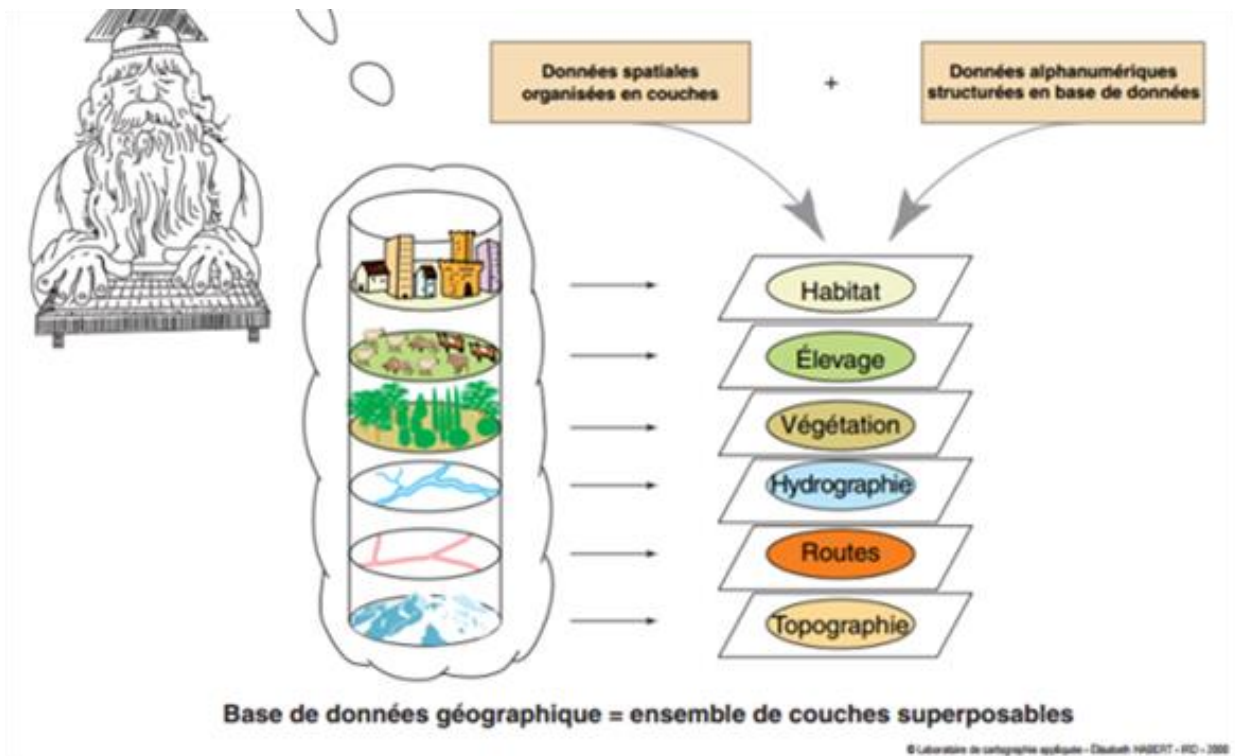


Figure 20 l'information géographique

2.1 Des pratiques différentes entre CAO et SIG

Des données gérées par des bases de données écologiques et urbaines

Dans notre étude écologique, les données sont gérées par plusieurs bases de données écologiques et urbaines. **Les écologues ont donc recours à des SIG et d'autres logiciels métiers** pour produire des données. Ces données sont composées de cartes, de modèles de terrains et de modèles de bâtiments et servent de base à l'analyse environnementale.

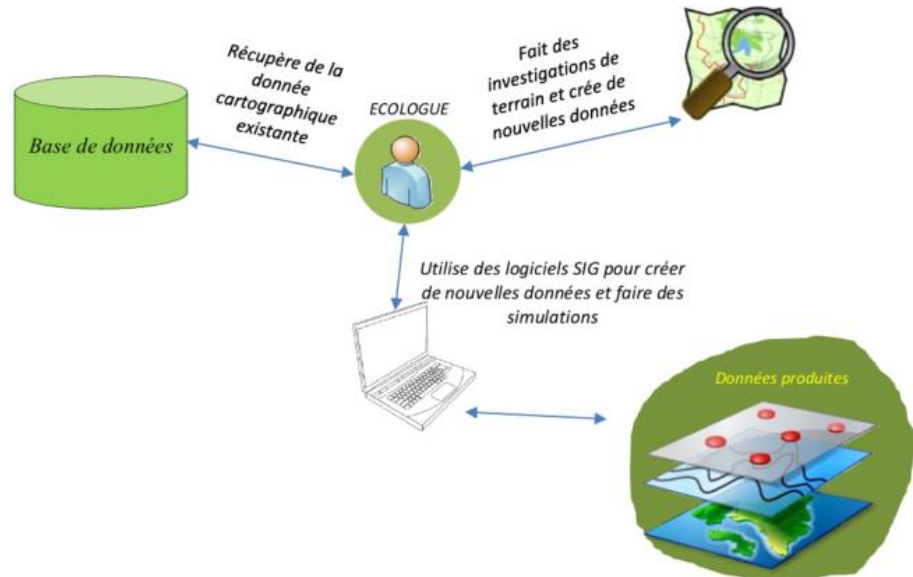


Figure 21 Type d'informations produites par les écologues

Une description des ouvrages assurée par les architectes et ingénieurs

La description des ouvrages est assurée par les **architectes et ingénieurs qui utilisent des logiciels issus de la CAO** comme les suites Autodesk, Bentley, ou Viano-va.

Les données CAO produisent des modèles détaillés d'ouvrages. Ces données de conception contiennent des informations sur :

- La structure de l'ouvrage.
- Son utilisation.
- Ses équipements.
- Les étapes du processus métier.

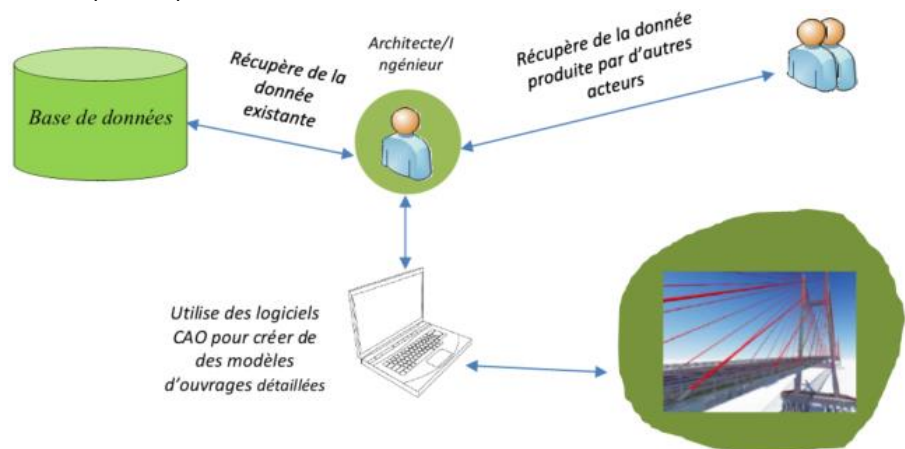


Figure 22 Type d'informations produites par les Architectes/Ingénieurs

2.1 Des pratiques différentes entre CAO et SIG | Des données gérées par des bases de données écologiques et urbaines

Les échanges de données

Ces sources de données sont de différentes natures (données de type SIG et données de type CAO) et doivent être échangées entre différents systèmes. Elles doivent aussi être sauvegardées et cohabiter au sein d'un même environnement, ce qui pose des questions d'intégration et de pérennité de l'information. Il faut garder aussi à l'esprit que ces données sont liées à des sémantiques dans le système.

L'interopérabilité est la « *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* » Glossaire Mediaconstruct. Elle repose donc sur l'échange correct de ces différents types d'information constituant le modèle final.

Des sources de données avec des points de convergence

Les deux sources de données ont des points de convergence, car elles sont toutes deux basées sur :

- L'information géométrique (association de vecteur résultat de données de type ligne, surface, volume, modèles numériques de terrains...).
- L'information sémantique (propriétés des éléments de construction).
- L'information topologique (relations de voisinage associées aux données 3D).

Des systèmes conçus par des constructeurs différents

Les systèmes (logiciels ou ensemble de logiciels ou interface) sont conçus par des constructeurs différents répondant généralement à des besoins différents. Dans notre cas, nous avons :

- Les systèmes SIG utilisés par les écologues pour créer les cartes et l'information géographique liée à la donnée écologique.
- Les systèmes CAO utilisés par les ingénieurs pour concevoir de manière détaillée l'ouvrage final.

Des données interopérables

Pour que nos données soient interopérables, il faudrait établir les codes de base du dialogue entre ces deux systèmes. Cela peut par exemple être une norme que chaque système doit respecter pour assurer l'interopérabilité. La norme explicite la façon dont le dialogue entre les différents systèmes doit s'opérer et définit par conséquent la structure de ce dialogue.

L'objectif

L'objectif n'est donc pas de trancher entre l'approche CAO et SIG, le format IFC et CityGML (ou autre). L'objectif est de faire en sorte que, les producteurs de logiciels incluent dans leur suite, des logiciels permettant de passer d'une modélisation à l'autre, d'un langage à l'autre sans perte d'information.

2.2. Les formats d'échanges : le pourquoi des standards

Définition

On considère dans la suite de notre étude qu'un format de données est la façon dont est structuré (encodée) un type de données.

Les attributs d'un format de données

Un format de données possède :

- Une structure de données permettant aux outils de manipuler les données de manière générique.
- Un type de format : un langage binaire (non humainement interprétable) ou texte (humainement interprétable).

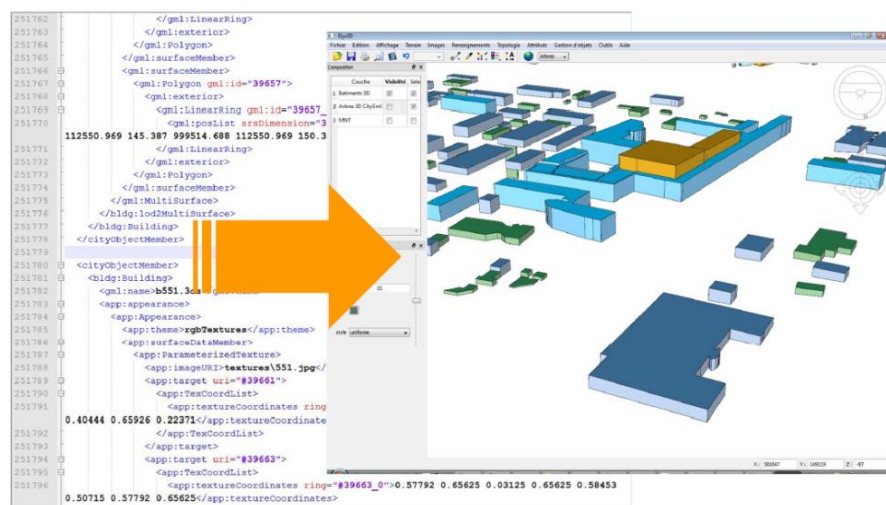


Figure 23: Encodage et représentation

Un format de données est une convention

Un format de données est une convention (éventuellement normalisée) utilisée pour échanger des données. Une donnée est une information représentant un texte, une page, une image, un son, un fichier exécutable, etc. Lorsque ces données sont stockées dans un fichier, on parle de format de fichiers. On distingue :

- Les formats natifs : (**ou format de production**) : format dans lequel l'information est physiquement produite et / ou stockée exemple .Shp, .Tab, database...
- Les formats d'échange : format destiné à être échangé entre deux applications sur un réseau et basé sur des langages de type XML, GEOJSON, KML, GML, STEP, EXPRESS...

2.3. Le principe du format

<p>La nécessité d'un format de données spécifique</p> <p>La description d'un objet 3D</p> <p>Le besoin de formats d'échange des données géographiques</p>	<p>La représentation des objets virtuels créés par les logiciels de modélisation 3D nécessite un format de données spécifique.</p> <p>En effet, pour représenter un objet 3D, il faut au minimum une description :</p> <ul style="list-style-type: none"> • De la géométrie de l'objet : sa forme, sa taille et sa complexité. • Des attributs de représentation : couleurs, textures (nature et position), qualité photométrique de sa surface, transparence. • Des attributs dynamiques et/ou paramétriques : capacité de collision avec d'autres objets, articulations et contraintes, etc. <p>Avec la représentation 3D nous avons besoin de formats d'échange des données géographiques. Les formats d'échange et de production doivent inclure :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La projection des données dans l'espace, • Des attributs non géométriques, • Des métadonnées.
--	---

<p>Le stockage des données</p>	<p>Les données produites sont stockées sur un serveur et récupérées par un client via un réseau. Le client peut à son tour modifier, créer et stocker de la donnée qui peut être récupérée par un autre client.</p>
---------------------------------------	---

Format de production

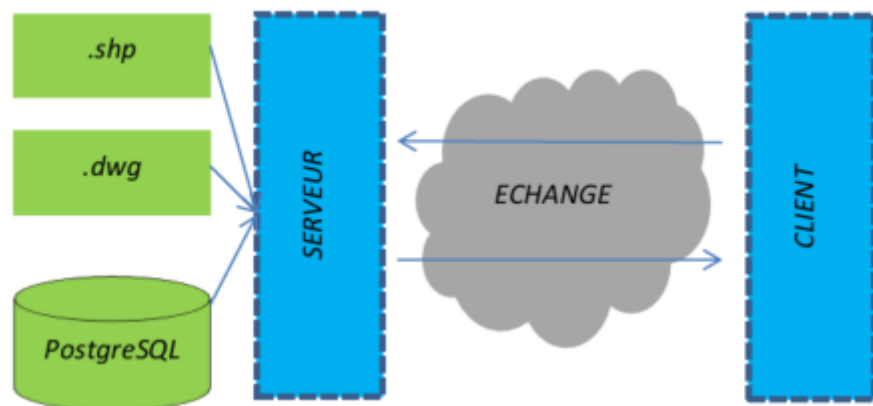


Figure 24 Échange de données via un réseau entre deux entités d'un système

<p>Utilisation des données</p>	<p>Cela suppose qu'un utilisateur crée des données dans un format X ou Y. Ces données sont stockées tout simplement dans leurs formats natifs sur le serveur. Tout client 1,2,3...n ayant besoin d'accéder à la donnée doit avoir une application ou logiciel lui permettant de lire le format de fichier. L'échange se résume ici à l'accès aux données sous forme de format en utilisant les mêmes applications que le créateur de la donnée.</p>
---------------------------------------	---

2.4. L'échange de données

Le fonctionnement de l'échange de données

Nous supposons que diverses données sont stockées sur des bases de données dans leurs formats natifs. De l'autre côté, des utilisateurs ont des applications qui ne comprennent pas le format natif, mais doivent récupérer de l'information pour à leur tour produire de la donnée. Il y a d'innombrables applications permettant de créer la donnée. Il faudrait soit :

- Que l'utilisateur possède toutes les applications existantes pour chaque format.
- Ou alors qu'un standard d'échange est défini afin que le fournisseur de données les stocke dans un format universel et compréhensif par tout utilisateur.

Ce format d'échange et de stockage ne doit pas altérer la nature de l'information.

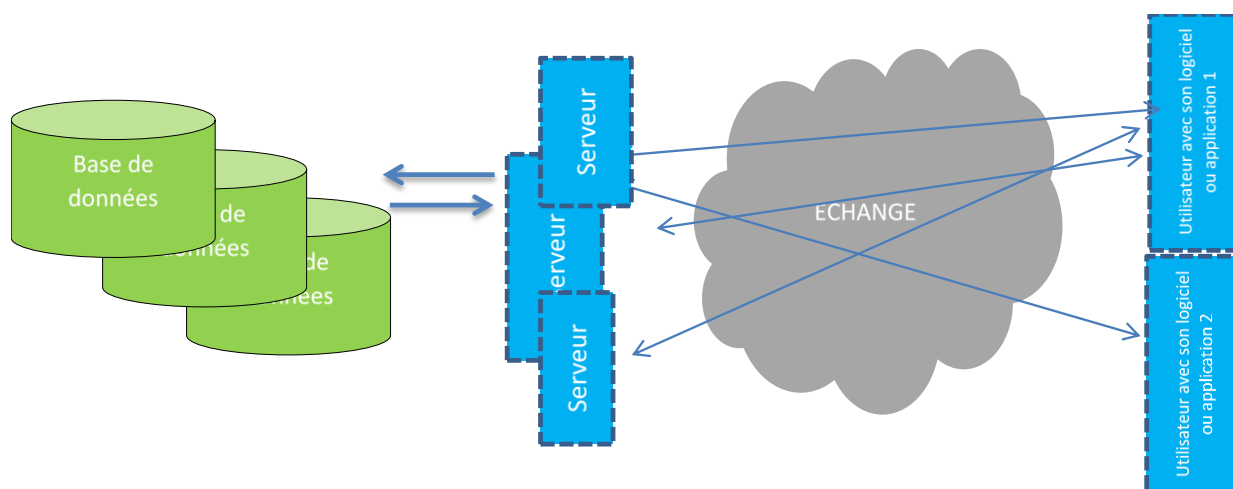


Figure 25 Échange de données via un réseau entre deux entités d'un système

La nécessité d'avoir un format et un modèle de données communs

Compte tenu des données échangées et de la diversité des acteurs, il est donc nécessaire d'avoir :

- Un **format d'échange commun (interopérabilité technique)**.
- Un **modèle de données commun définissant la nature des objets échangés (interopérabilité sémantique)**.

Des exemples de formats d'échange

Par exemple, dans le domaine du SIG on trouve les formats d'échange EDIGEO, SHAPE ou plus basiquement DXF. Au niveau du **modèle** de données, c'est l'OGC qui définit les normes pour les composantes **géométriques et topologiques**. Pour la sémantique, le choix est plus libre, bien qu'INSPIRE aide à définir des modèles types (en UML). Pour les bâtiments, CITYGML, reconnu par l'OGC, propose un **modèle** pour la représentation des bâtiments. À noter que la spécification de CITYGML définit à la fois une modélisation UML (donc un modèle) et un encodage du modèle au format GML. Nous allons développer ces points dans la section suivante.

Des formats d'échanges plus ou moins riches

Donc les **formats d'échange** peuvent être plus ou moins riches. Ils intègrent toujours un modèle et son encodage dans un langage. Le modèle peut être très simple, limité à la géométrie (de type DXF ou Shape) ou intégrer des classes et attributs prédéfinis de type CITYGML.

Les données sont ainsi délivrées depuis un serveur à n'importe quel client souhaitant s'y connecter sans prérequis de logiciels.

2.5. Les principaux formats d'échange et de stockage

Une visualisation 3D des données

Ce que nous voyons dans la maquette est une visualisation 3D des données. Les données ainsi représentées se visualisent comme des ensembles des volumes ou des formes texturées. Ces données sont sous-tendues par des vecteurs (entité géométrique de type Point, Courbe, polygone...) voir Figure 26.

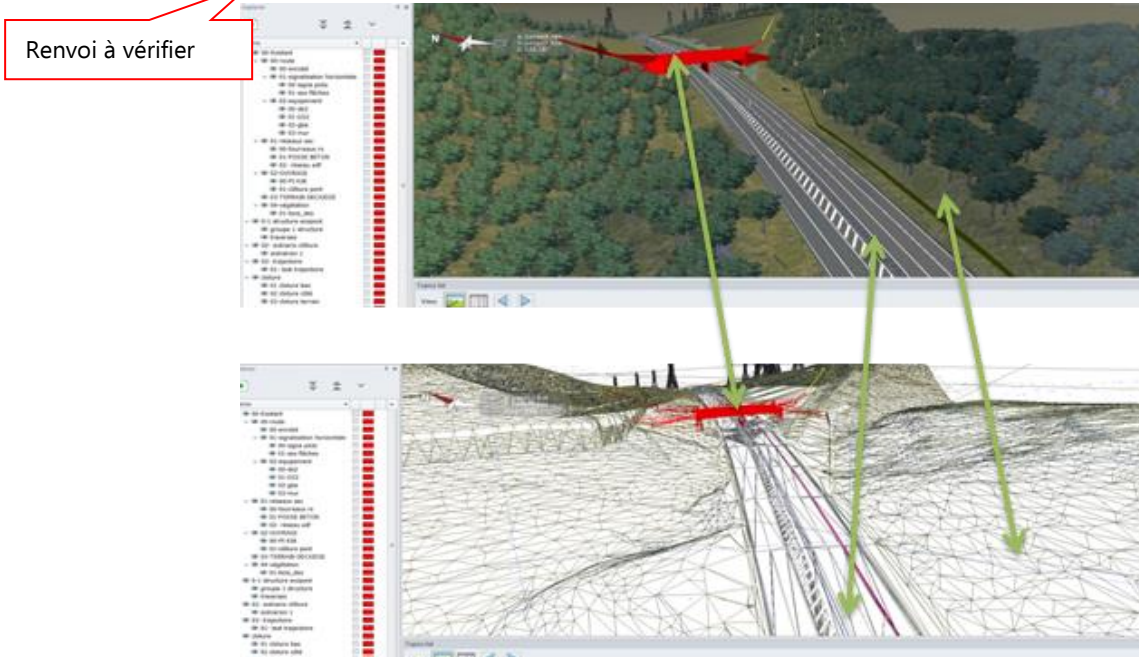


Figure 26 Relations entre le visuel (haut) et la triangulation vectorielle (bas)

Une information spécifique reliée à chaque vecteur

Au-delà de la représentation, une information spécifique est reliée à chaque vecteur. Ces informations permettent à l'application de manipuler la donnée et de faire des simulations.

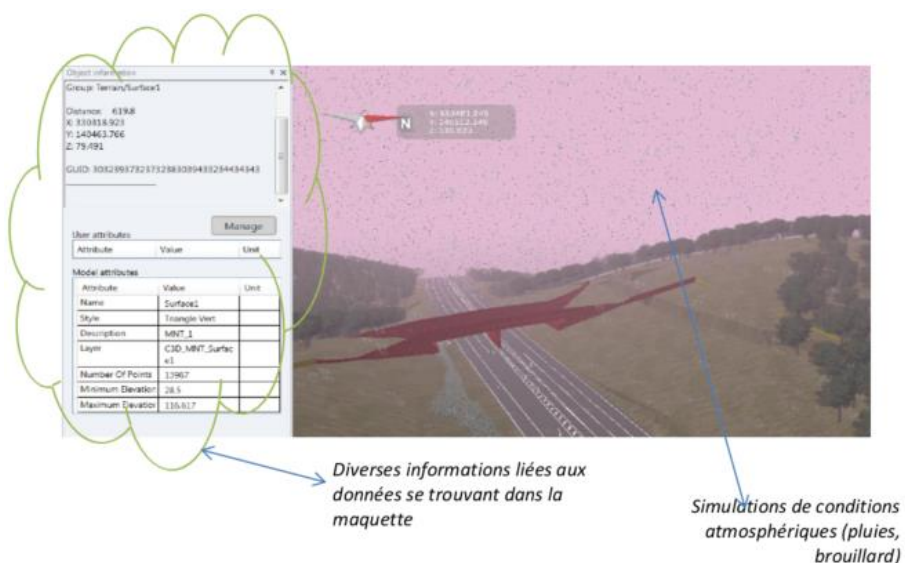


Figure 27: Illustration des données attributaires et de simulations

2.5 Les principaux formats d'échange et de stockage

Des simulations utilisant des données existantes

Grâce aux données déjà dans la maquette telles que le terrain, la voirie, les ponts, les zones de forêts, les acteurs peuvent effectuer des simulations qui se servent des données existantes. Les résultats de ces simulations représentent à leur tour des nouvelles données qui vont influencer les choix techniques pris par les concepteurs. Toutes ces représentations sont possibles grâce à l'ensemble des vecteurs interconnectés et support de représentation des données.

Des données répondant à un principe d'encodage

L'ensemble de ces données lues par l'application répond à un principe d'encodage qui détermine la visualisation des données, mais aussi leurs comportements dans la maquette. À ce jour, plusieurs formats existent et permettent d'échanger de la donnée structurée.

De manière très simplifiée, on peut dire que les formats existants à ce jour répondent à des codifications qui regroupent l'ensemble des vecteurs supports de données en famille.

Les familles de données et l'encodage étant prédéfinis, les applications vont lire dans l'encodage la famille des vecteurs et les ranger dans leurs catégories en associant toutes les informations liées aux vecteurs en question.

La visualisation de l'information ainsi structurée dépend de l'application utilisée pour la lire. Parmi les principaux formats d'échange, nous pouvons citer :

- Les **IFC** qui sont basés sur un langage EXPRESS.
- Le **LandXML** basé sur un langage XML.
- Le **CityGML** basé sur langage GML.

(Voir Tableau 9).

	IFC	LandXML	CityGML
Usage	Architecture/ingénierie	Ingénierie	Objet 3D de l'espace urbain
Limite	Modèle architectural ou d'ingénierie	Pas d'attributs, objets considérés	Historisation de donnée d'ingénierie
Instance	BuildingSMART		OGC
Caractéristiques	Données architecturales détaillées (élément, matière, paramètres, etc.)	Représentation de l'information de terrain, axe, coupes	Représentation de données géospatiales et gestion de la modélisation par LOD
Données	Produit, famille d'objet, relations entre les objets	Données de terrain (axe, profil, niveaux, etc.)	Données de bâtiment, terrain, route, surface (exemple : mur, plancher), etc.
Langage	EXPRESS, XML	XML	GML

Tableau 9 Comparaison de formats

2.5 Les principaux formats d'échange et de stockage

Des données géographiques et des données de conception d'ingénierie

Dans notre cas, nous avons des données géographiques et des données de conception d'ingénierie. Les formats d'échanges des données géographiques sont basés sur le GML (langage pour l'échange structuré de données spatio-temporelles). Il est dérivé du XML et sert à encoder, manipuler et échanger des données géographiques. C'est un standard développé par l'Open Geospatial Consortium pour garantir l'interopérabilité des données dans le domaine de l'information géographique et de la géomatique. Il est basé sur plus d'une trentaine de normes iso.

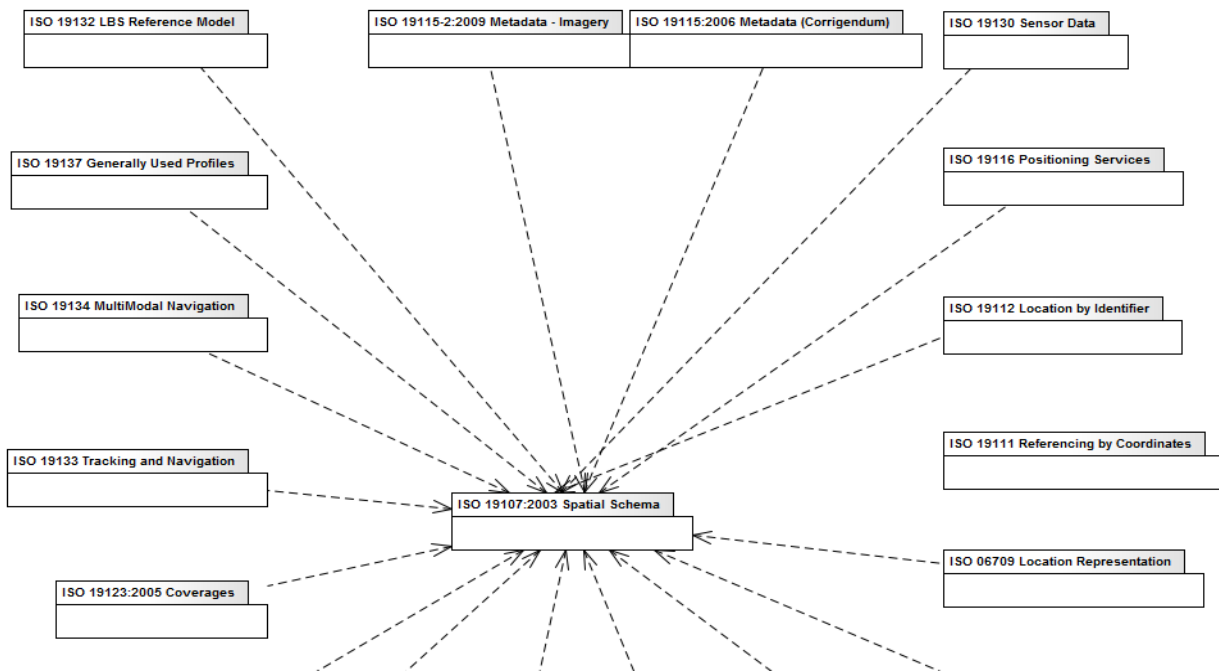


Figure 28 Aperçu de la normalisation du GML

Un langage pour modéliser le monde réel

Le langage GML permet de modéliser le monde réel via le concept de Feature (représentation abstraite d'une entité du monde réel). Ce format fait l'objet de spécialisation propre à différents corps de métiers qui se l'approprient et concrétisent cette spécialisation par la définition de schéma d'application. On peut ainsi trouver entre autres le :

- CityGML : Urbanisme.
- WaterML : Hydrologie.
- GeoSciML : Géologie.
- LandInfra : données de terrain et des ouvrages génie civil (route, rail, assainissement, etc.) et des données de capteurs.

2.6. Quels formats pour représenter échanger les données environnementales ? Quelle place pour l'interopérabilité ?

Pas de format ou de modèle de données spécifiques

Des données de diverses natures

Il n'existe pas aujourd'hui un format spécifique à la représentation virtuelle 3D de données écologiques. Il n'existe pas non plus de modèles de données permettant de structurer et d'échanger la donnée écologique 3D. Certaines structurations existent au travers de diverses codifications, mais elles ne sont pas unifiées.

Comme nous l'avons précisé précédemment, pour une étude environnementale complète menant à la construction d'un écopont, les données à produire et à rendre interopérables sont de diverses natures.

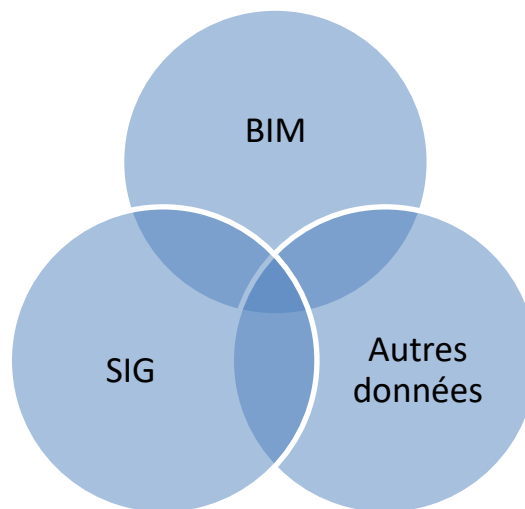


Figure 29 l'interopérabilité technique

Une réflexion dans le sens de la conception vers l'exploitation

La réflexion que nous avons choisi de mener est dans le sens de la conception vers l'exploitation. En effet, nous partons du principe que les données sont dans un premier temps créées par un ensemble d'acteurs sous un format natif. Ces documents natifs sont ensuite exportés vers une maquette numérique qui :

- Lit directement le format natif.
- Ou lit le format d'échange après transformation de la donnée.

Cette maquette numérique est stockée dans une base de données à laquelle peuvent se connecter plusieurs utilisateurs (voir figures 30 et 31)

2.6 Quels formats pour représenter échanger les données environnementales ? Quelle place pour l'interopérabilité ? | Une réflexion dans le sens de la conception vers l'exploitation

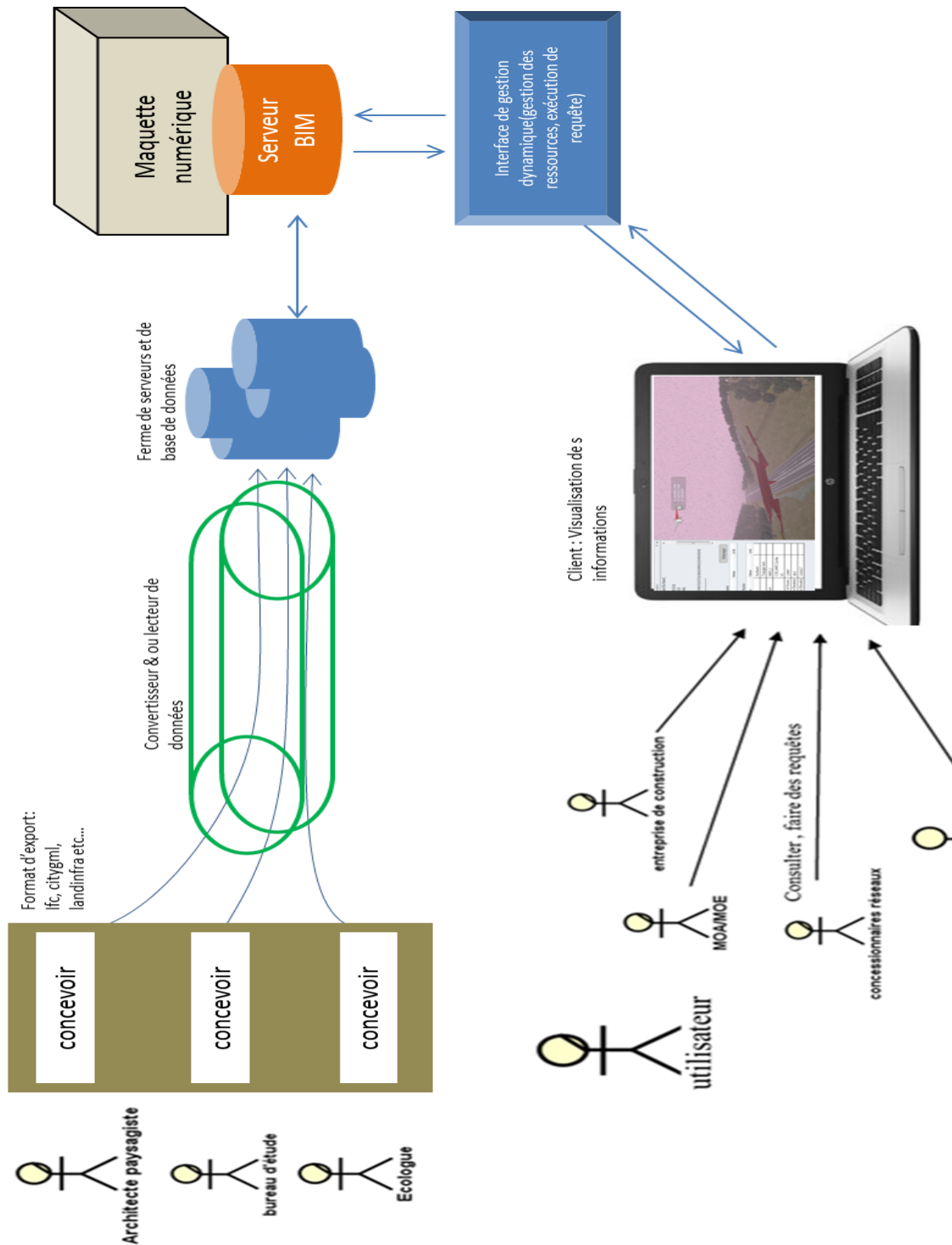


Figure 30 De la conception à l'exploitation

2.6 Quels formats pour représenter échanger les données environnementales ? Quelle place pour l'interopérabilité ? | Une réflexion dans le sens de la conception vers l'exploitation

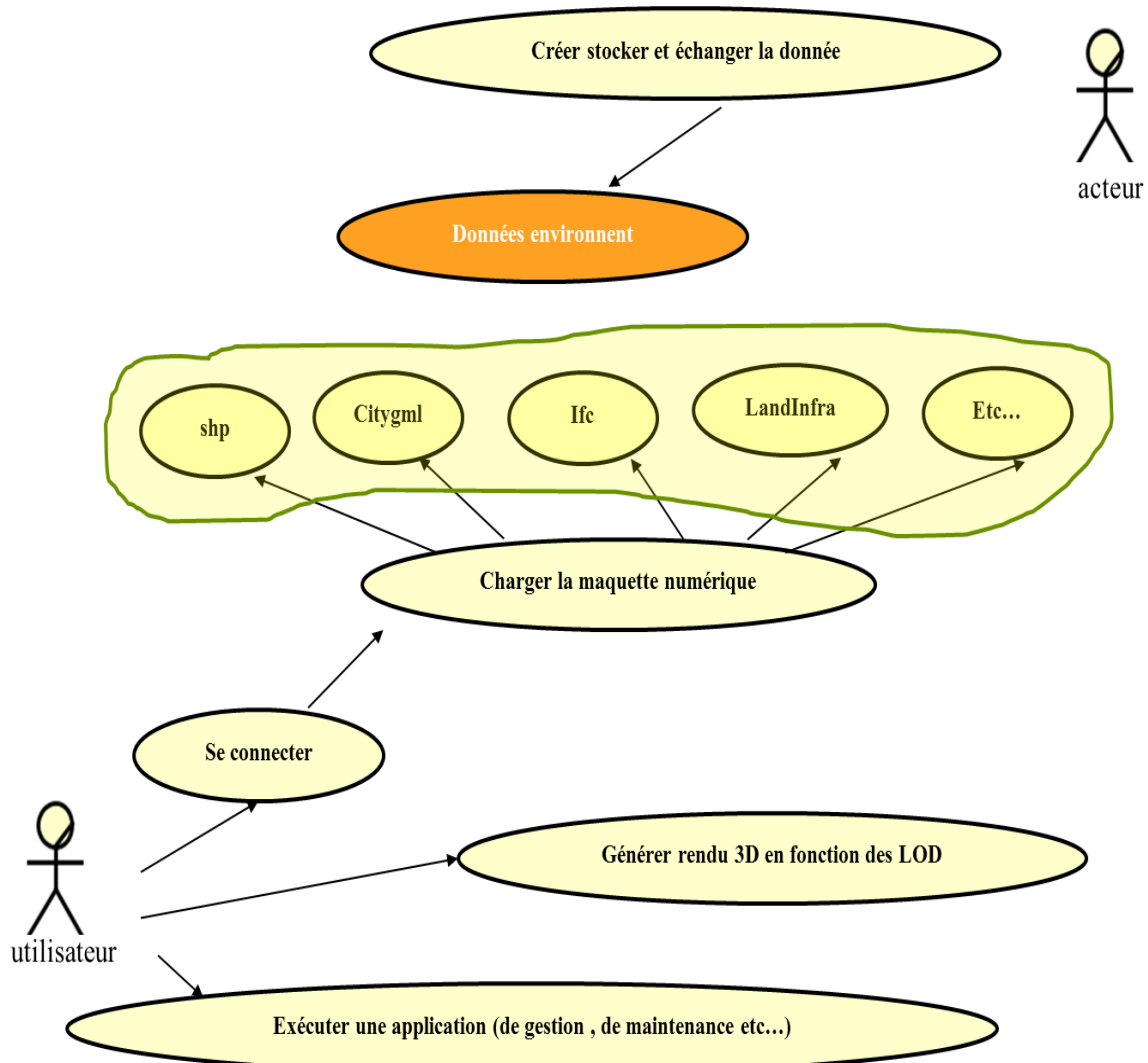


Figure 31 Cas d'usage conception / exploitation de la donnée

Définitions

On entend ici par :

- Acteur : tout intervenant dans le processus qui crée de la donnée.
- Utilisateur : tout intervenant dans le processus qui exploite de la donnée.

2.7. Proposition d'un modèle de données

Nos choix pour proposer un modèle cohérent

Afin de proposer un modèle cohérent, nous choisissons de :

- Partir du modèle de LandInfra un standard basé sur XML en cours de développement par l'OGC.
- Proposer un complément pouvant permettre de représenter de stocker et d'échanger des données écologiques.

Nous définissons d'abord les fonctionnalités attendues du format d'échange, puis le modèle de donnée qui l'accompagne.

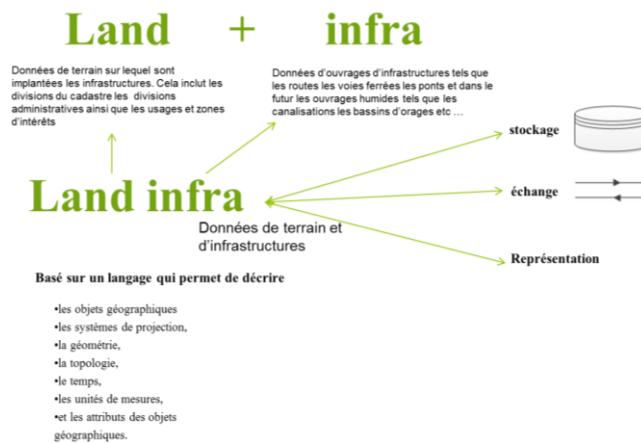


Figure 32 Description de LandInfra

Les fonctionnalités attendues

Les principales fonctions attendues du format d'échange sont de :

- Ne pas perdre les informations des données sources lors des transferts.
- Pouvoir les lire dans un système cible,

C'est-à-dire :

- Traiter les données x y z dans le système de coordonnées géographiques.
- Conserver les relations entre composants géométriques, ne pas détériorer la topologie des objets.
- Pouvoir représenter la sémantique native des objets (classes, attributs).
- Conserver les relations en objets lorsqu'elles existent et en particulier les relations de composition.
- Conserver la symbolisation lors du transfert, et en particulier les éléments de texture.
- Conserver les informations de simulation.
- Pouvoir échanger des objets même lorsqu'ils n'ont pas de géométrie.

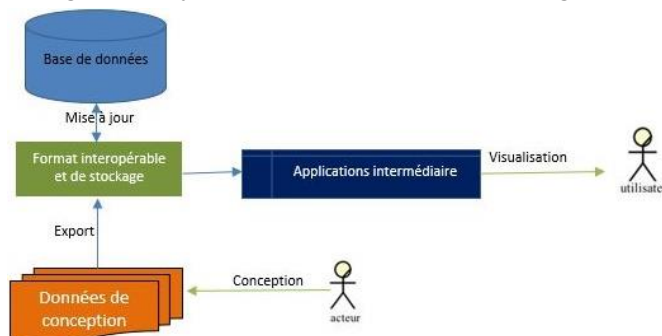


Figure 33 De la donnée de conception à la base de données pérenne via un format d'échange robuste

2.7 Proposition d'un modèle de données

Les données à conserver au travers des étapes du projet

Comme nous l'avons dit plus haut, le format d'échange doit contenir une structure de donnée permettant aux outils de manipuler les données de manière générique. Les formats de données utilisés ne permettent pas d'échanger la totalité des informations métiers. Par exemple, au-delà des objets représentant les ouvrages écologiques, on peut évoquer les données opérationnelles pour la planification écologique (planning, coût, simulations de scénarios, etc.). On peut citer :

- Le cas du cadastre qui traite les frontières juridiques.
- Les statuts légaux des propriétés.
- Des objets tels que les personnes.
- Les taxes.

Tout cela peut être inclus dans une maquette numérique (voir exemple de la qualité de l'air - Figure 34).

Plusieurs groupes de base pour le CityGML et le LandInfra

Le CityGML et le LandInfra comportent plusieurs groupes de base permettant de distinguer :

- Les objets réels (objet physique du monde réel ayant une représentation en 3D : pont, route, ouvrages d'assainissement, etc.).
- Les objets juridiques (individus, institutions, compagnies, etc.).
- Les objets socio-économiques (limites administratives).
- Les objets écologiques (météo, bruit, teneur atmosphérique ou autres données de levées).

Les caractéristiques géométriques des objets réels

Les caractéristiques géométriques des objets réels sont les critères exclusifs de groupement. Il y a des objets avec :

- Des caractéristiques géométriques non complètes (ex. : seulement un positionnement).
- Des caractéristiques géométriques complètes et une existence dans le monde réel.
- Des caractéristiques géométriques complètes et une existence socio-économique.
- Sans caractéristique géométrique.

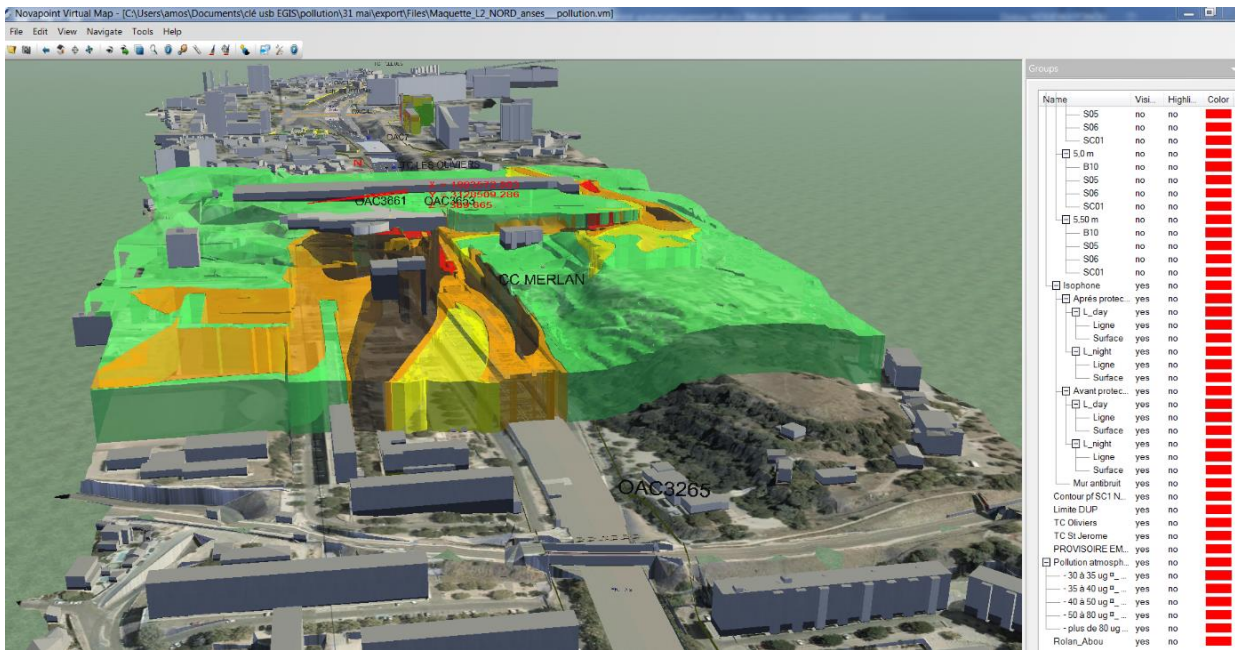


Figure 34 Exemple de représentation de données atmosphériques (teneur en NO₂)

2.7 Proposition d'un modèle de données | Les données à conserver au travers des étapes du projet

Une représentation peu évidente pour les objets non géométriques

Le besoin de représentation des objets socio-économiques n'apparaît pas aussi évident que pour les objets physiques. Alors qu'il paraît normal de représenter en 3D un pont (vu que c'est la réalité), ce n'est pas aussi évident dans le cas d'objets non géométriques liés à cet objet 3D (donnée de suivi ou de maintenance, etc.). Pourtant, la prise en compte de tels objets est importante pour tout le cycle de vie de l'ouvrage, car en dépendent les applications et les usages que l'on peut espérer pouvoir développer grâce à ces données.

Les types de données considérés

Dans notre première phase de recherche, nous allons considérer tous les types de données, mais nous allons dans le détail des deux types de données suivants :

- Les objets physiques servant de points d'accroche aux autres objets.
- Les objets non physiques importants à conserver et pouvant servir de développement à de futures applications.

Nous identifions les packages d'objets qui nous sont utiles et qui sont déjà traités dans d'autres formats tels que le CityGML et LandInfra.

Les modèles de données

Un modèle est une représentation simplifiée et codifiée (structurée) du monde réel. La conception du modèle a pour but de fournir :

- Des modèles conceptuels de données.
- Des catalogues de données.
- Un ensemble de documents formalisés qui représentent dans un langage clair décrivant ce qu'on représente (les concepts, les objets, les attributs) du monde réel.

Un appel explicite à des ontologies

Lors de cette étape de conceptualisation, nous faisons appel explicitement ou implicitement à des ontologies. La construction rigoureuse de modèles du monde réel implique que ce dont on parle soit fixé exactement et que les interactions soient spécifiées.

Le terme ontologie se réfère à un vocabulaire ou un système de classification qui décrit les concepts opérant dans un domaine particulier à travers des définitions suffisamment détaillées pour saisir la sémantique du domaine.

Ainsi, il nous apparaît primordial d'exprimer le plus clairement possible l'ontologie qui sous-tend notre modèle dès son élaboration. L'ontologie proposée s'inspire de notre expérience dans le domaine de l'acquisition de données.

Les éléments retenus

Dans notre cas, nous retenons les éléments suivants :

- La maquette numérique est composée de plusieurs thèmes représentant des métiers.
- Chaque métier est composé de thèmes. Chaque thème est composé d'objets qui représentent des entités, des informations ou des contraintes.
- Chaque objet physique est associé à une ou des portions de projet et sous décomposé en composants d'objets.
- Chaque objet non physique est composé d'étapes et de sous détails d'avancement ou d'étapes projets.
- Chaque objet abstrait est composé de données relatives à des levées par un appareil ou par l'humain.

2.7 Proposition d'un modèle de données | Les modèles de données

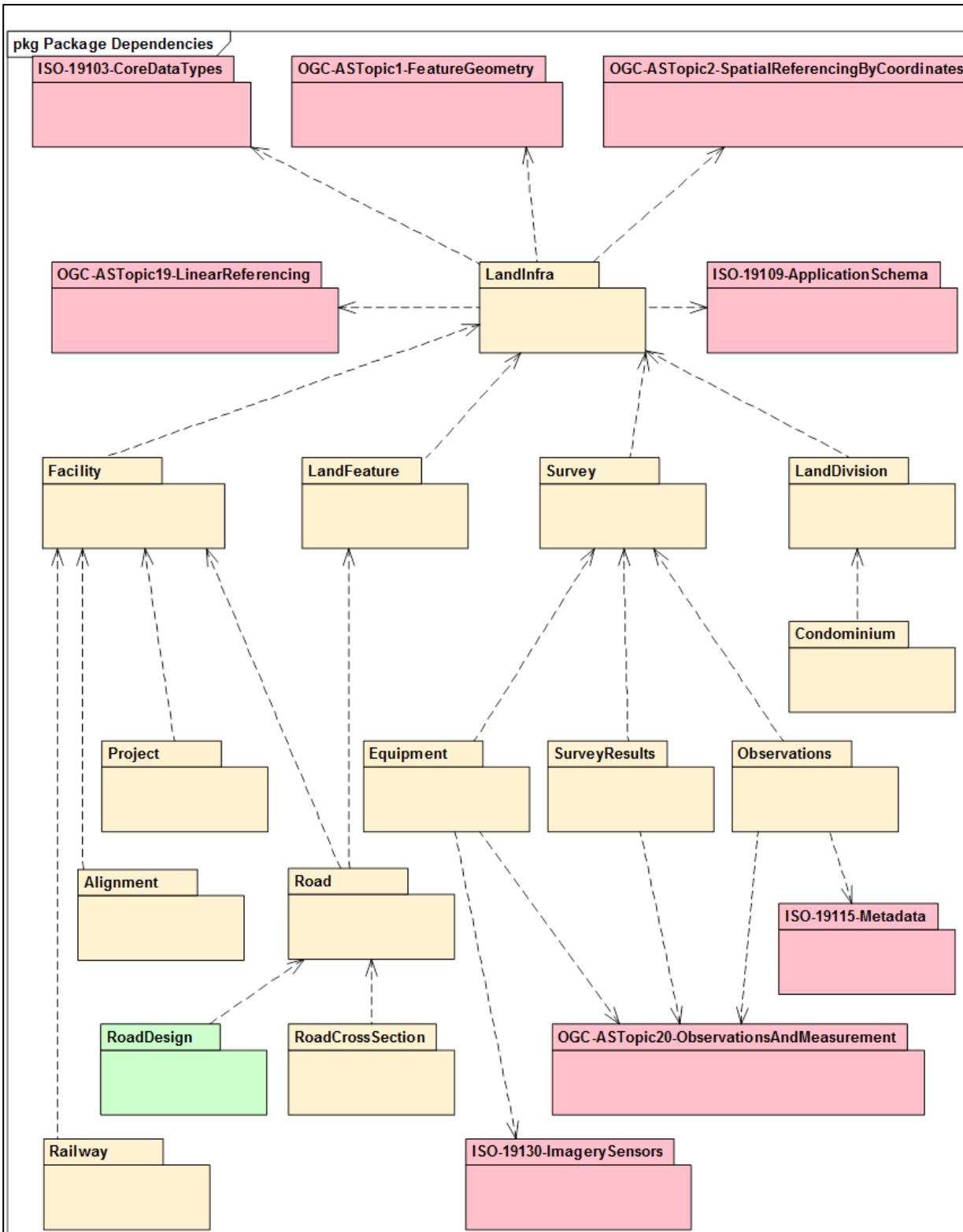


Figure 35 Modèle conceptuel de landinfra (LandInfra, 2016)

2.7 Proposition d'un modèle de données | Les modèles de données

Les informations à ajouter pour décrire les écoponts

La figure 36 suivante décrit des informations que l'on pourrait ajouter pour décrire les écoponts. Nous allons d'abord décrire les éléments avant de regarder leur inclusion dans une extension de LandInfra.

- Un écopont est un type de passage.
- Un passage est un aménagement écologique, composé d'aménagements dont certains sont des zones végétales.
- Un aménagement écologique répond à un certain objectif environnemental, de type continuité ou compensation. Dans le cas des écoponts, il s'agit d'assurer la continuité.
- Un passage est construit dans une zone, caractérisée par un type de végétation et un type d'espèces animales. La végétation et les espèces sont estimées (type et quantité) à partir d'observations faites selon des méthodes d'observation (image, relevé, etc.).

Ce schéma, simplifié, illustre le fait que si l'on veut connaître la performance des écopont, il faut renseigner et conserver de l'information relative à l'écopont, ses aménagements et le contexte écologique autour de l'écopont.

La question est de représenter ce type d'information dans le schéma LandInfra.

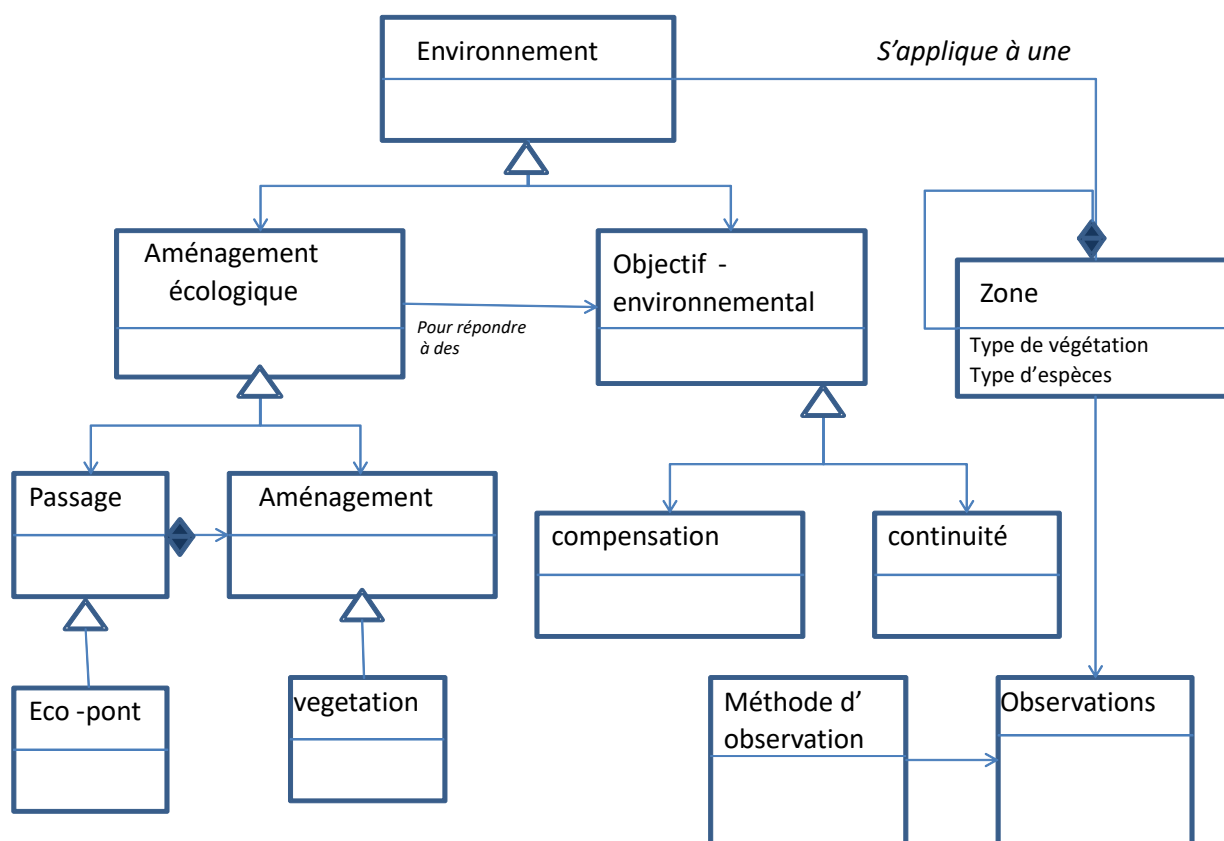


Figure 36 schéma conceptuel simplifié pour décrire les passages à faune

2.7 Proposition d'un modèle de données

Les 5 thèmes du module « Environmental » dans LandInfra

LandInfra possède un module « Environmental » dans Facility, mais il n'est pas à encore défini. Il fait partie des ajouts possibles au modèle LandInfra.

Ainsi, nous proposons pour l'écologie 5 thèmes qui pourraient être dans le module « Environmental » du modèle LandInfra :

- Aménagement écologique.
- Donnée écologique.
- Objectif environnemental.
- Zone.
- Contrainte.

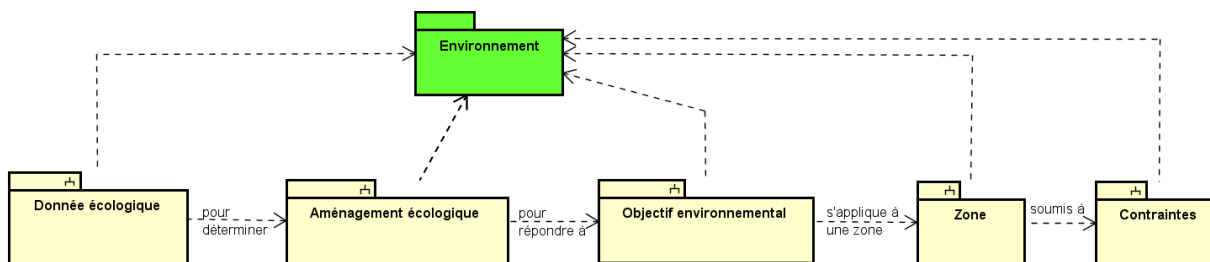


Figure 37 Proposition de packages supplémentaires pour représenter les données environnementales

Donnée écologique

Ce thème rassemble toutes les données écologiques nécessaires pour une analyse environnementale (voir figure 38).

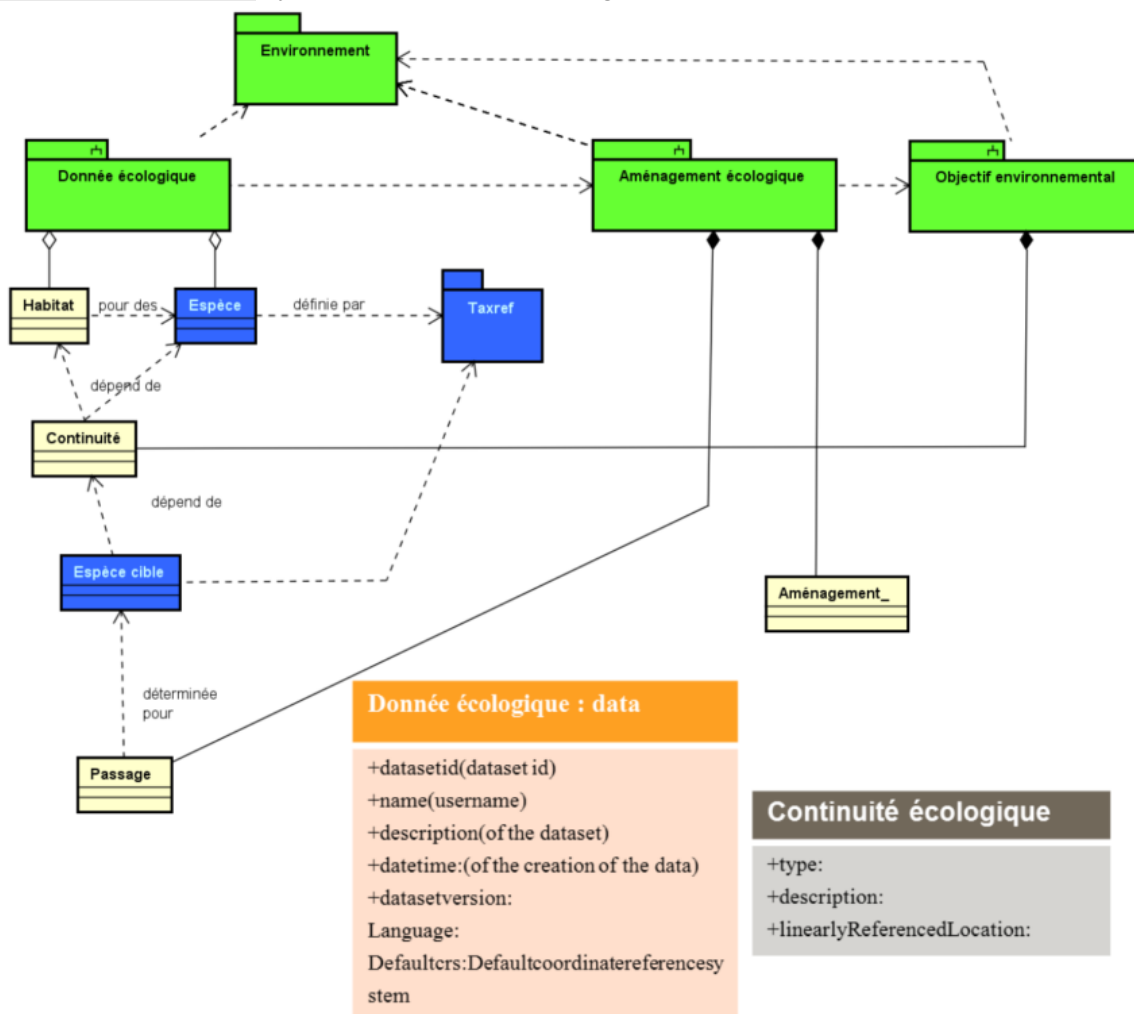


Figure 38 Détail du Package Écologique

2.7 Proposition d'un modèle de données | Donnée écologique

Plusieurs classes
sont créées

Dans le thème « donnée écologique », nous créons plusieurs classes qui suivent une suite logique parallèle au processus d'étude écologique :

- **Habitat** : données relatives aux habitats des espèces prédéterminées ou ayant une forte probabilité d'existence sur le territoire.
- **Espèces** : espèces pressenties sur le territoire grâce à la consultation des bases de données existantes. Cette catégorie est précisément définie par d'autres formalismes (entre autres le taxref).
- **Continuité** pour les données relatives à la prise de décision du besoin d'une continuité écologique. Cette continuité écologique est établie pour des espèces cibles.
- **Espèce cible** : données relatives aux espèces rencontrées et détectées sur le territoire grâce aux appareils de levée et aux investigations de terrain. Ce sont les espèces concernées par la continuité écologique.
- **Passage** : données relatives au passage à faunes. Il est à noter que cette classe n'appartient pas au package donnée écologique, mais se réfère à la classe aménagement écologique.

Aménagement
écologique

Ce thème rassemble toutes les données relatives aux ouvrages écologiques (objets réels ou physiquement représentables en 3D). Les aménagements écologiques sont ici définis en deux classes.

- **Passage** : regroupe les passages à faunes.
- **Aménagement** : concerne les aménagements des passages à faunes ou des aménagements écologiques dissociés des passages à faunes.

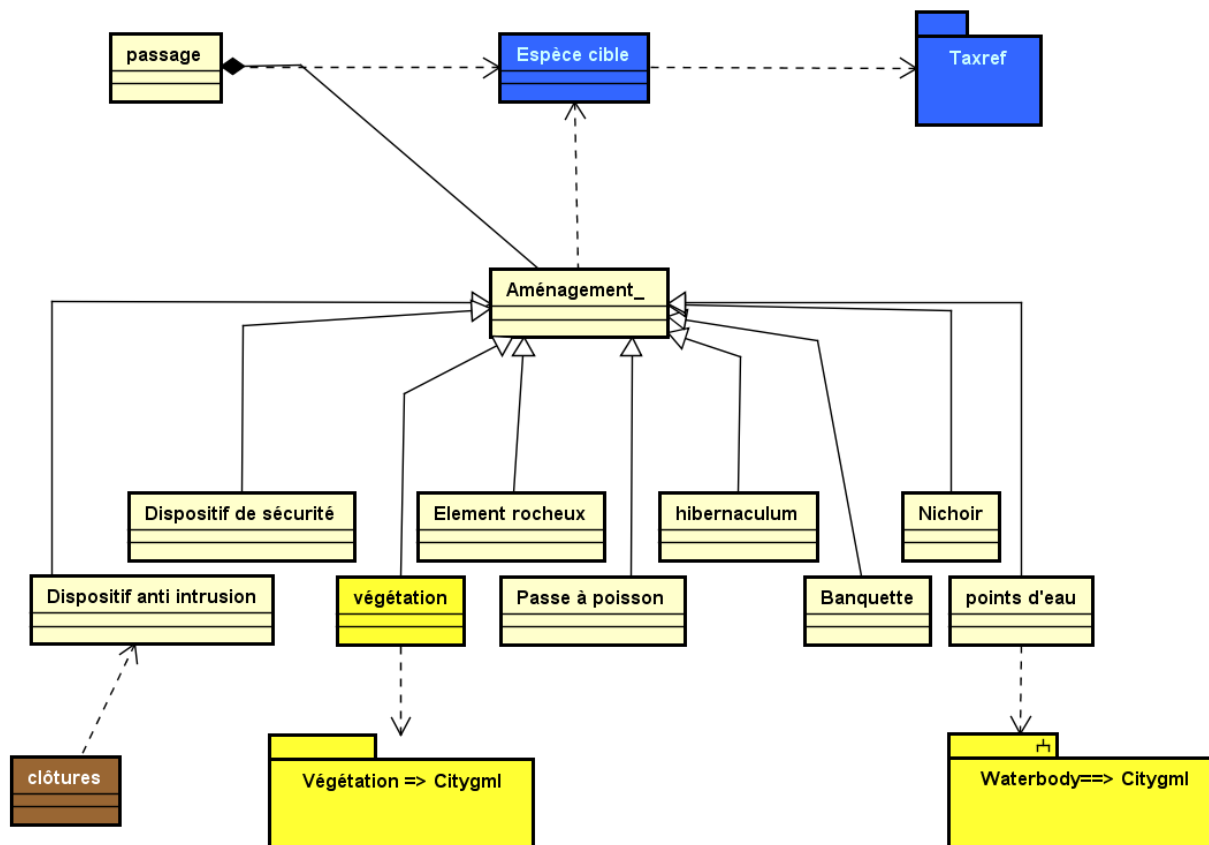


Figure 39 Détail de la classe aménagement

2.7 Proposition d'un modèle de données | Aménagement écologique

 Sous détails et
 définitions de
 chaque thème

Chaque thème peut être sous détaillé et défini en précisant les attributs les relations topologiques les niveaux de détail. À ce stade d'étude, nous nous arrêtons à fournir une base qui peut servir pour un développement plus détaillé ultérieurement. On peut tout même noter des renvois vers des packages définis dans d'autres modèles de données tels que les thèmes Végétation et Point d'eau, qui sont bien définis dans le CityGML. Nous nous contentons ici de spécifier un lien vers ce format existant.

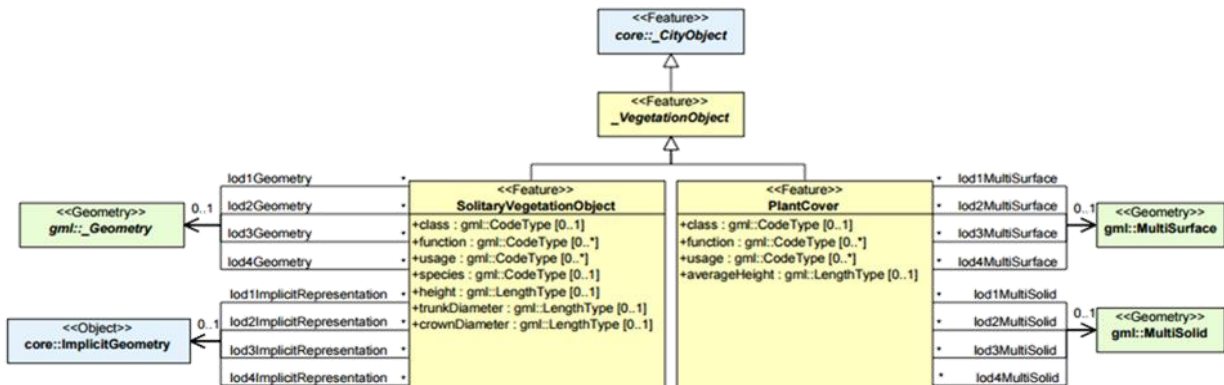


Figure 40 Détail de la classe Végétation de CityGML

 Classes et sous-classes
 de la classe
 aménagement

On retrouve aussi les classes suivantes, sous-classes de la classe **aménagement** :

- **Dispositif de sécurité** : désigne les dispositifs de retenue de la faune des engins et les dispositifs de retenue pour piétons.
- **Dispositif anti intrusion** : désigne les dispositifs devant empêcher l'accès à l'écopont à des engins motorisés.
- **Éléments rocheux** : désigne les éléments rocheux composant de l'écopont.
- **Végétation** : désigne la végétation de l'écopont.
- **Hibernaculum** : désigne le refuge ou gîte aménagé pour une espèce donnée.
- **Banquette** : aménagement sous un ouvrage existant permettant le passage à sec de la faune.
- **Nichoir** : abri artificiel construit par l'homme permettant aux animaux de nicher.
- **Point d'eau** : création de zones d'eau afin d'amener les espèces à recoloniser rapidement un espace artificiel construit par l'homme.
- **Clôture** : élément servant de protection pour la faune ou servant à empêcher le passage.



Nichoir

Hibernaculum

Éléments rocheux

Banquette

Figure 41 Exemples d'aménagements

2.7 Proposition d'un modèle de données

Objectif environnemental

L'objectif environnemental contient les informations relatives au but des ouvrages écologiques (voir figure 42). On distingue :

- Une classe **compensation** : elle retrace les données liées à la prise de décision de la nécessité d'une compensation. Lorsque les mesures prises ne suffisent pas à empêcher un impact significatif sur les espèces protégées, un programme de mesures de compensations écologiques est défini et mis en œuvre en réponse aux impacts résiduels.
- Une classe **continuité** : elle retrace les données liées à l'identification des fractures de la continuité écologique et au besoin de les rétablir. La continuité peut se définir par la possibilité de circulation des espèces animales ; elle est entravée par des obstacles comme les routes les barrages, etc.

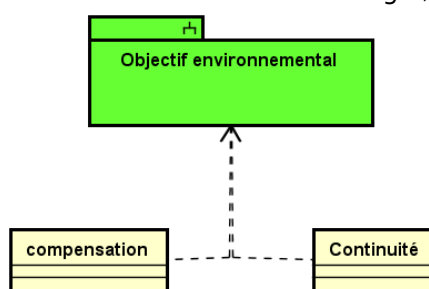


Figure 42 Détail du package Objectif environnemental

Zone

Nous avons opté pour la création d'une thématique « Zone », car l'analyse environnementale est toujours liée à un territoire bien défini (Voir figure 43). Dès lors, il est important pour toutes les phases du projet de pouvoir identifier les données liées à ces zones à n'importe quel moment de la vie des ouvrages. Ces zones sont parfois soumises à des contraintes environnementales ou autres. Ces données sont essentielles pour la compréhension des diverses parties prenantes.

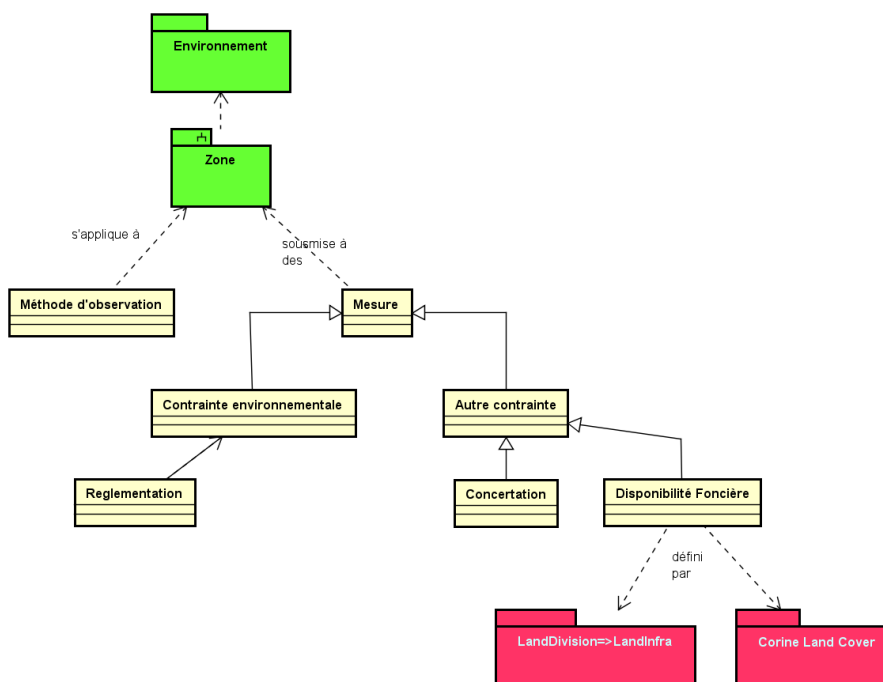


Figure 43 Détail du package Zone

2.7 Proposition d'un modèle de données | Zone

Caractéristiques des zones

Les **zones** sont caractérisées par de la végétation et des espèces animales dont le type et la quantité sont estimées grâce à des observations faites avec des **méthodes d'observation** et de la simulation (non représentée) :

- **Méthode d'observation** (ensemble des méthodes ou appareils utilisées pour récupérer la donnée. Cette classe retrace les informations liées à ces appareils).
- **Mesure** : ensemble de réglementations et de restriction éventuelle s'appliquant à une zone.
- **Contrainte environnementale** : restriction relevant du caractère écologique du site.
- **Règlementation** : normes Européennes ou Françaises auxquelles sont soumis les projets.
- **Autre contrainte** : restriction d'une autre nature.
- **Concertation** : Restriction relevant de la concertation publique.
- **Disponibilité foncière** : restriction dû à l'occupation et la propriété d'un terrain.

2.7 Proposition d'un modèle de données

La synthèse des données et étapes

Une fois toutes ses catégories et notions définies, nous pouvons les rassembler et présenter un modèle conceptuel de données englobant les données et les étapes que nous avons évoquées du début de ce rapport. La synthèse est présentée dans la figure ci-dessous.

En concordance avec les cas d'usages prédéfinies, ce modèle tend à proposer un standard qui pourrait permettre au développement et à l'implémentation de chaque package pris ou non séparément. Ce modèle n'est pas accompagné d'un encodage.

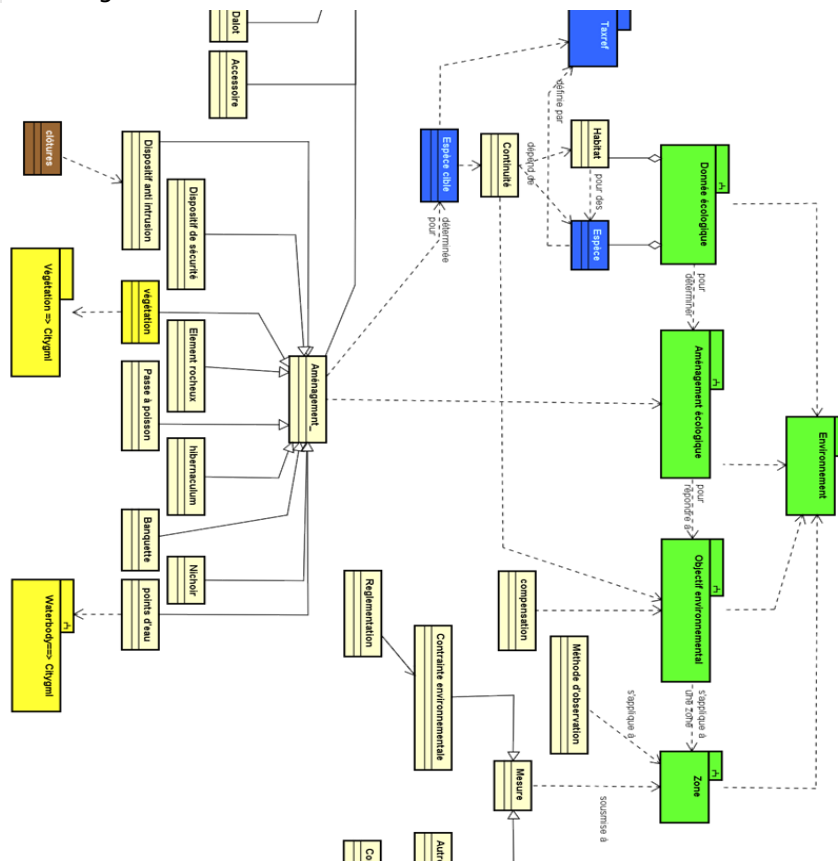


Figure 44 Modèle conceptuel partiel pour la description des écoports

3. DU STOCKAGE A L'HISTORISATION

3.1. Contexte

Le transfert d'informations est un besoin

L'industrie de la construction est très fragmentée et il existe une variété de systèmes d'information utilisée dans chaque entreprise. Ainsi, le transfert d'informations entre les différents systèmes est et continue d'être un besoin. Par le passé, et en réponse aux besoins, plusieurs entreprises ont développé des méthodes de bas niveau pour lire et écrire des données à partir d'applications. On peut distinguer par exemple :

- L'écriture d'un projet dans un fichier, se traduisant en format.
- L'écriture d'application autonome qui puisse lire le format de fichier dans lequel les données de projet sont stockées.
- Des programmes capables d'appeler des sous programme pour extraire des données à partir d'un format de fichier.

Le format DXF, un standard

Dans un premier temps, Autodesk a donné libre accès à son format format de fichier propriétaire DXF qui est ensuite devenu un standard de facto, alors que d'autres méthodes ont également été mises en œuvre par d'autres éditeurs de logiciels.

Les inconvénients de ces fichiers propriétaires

Les inconvénients de ces fichiers propriétaires sont les suivants:

- Format contrôlés par les sociétés qui les ont mis en œuvre, par conséquent, ils pourraient les changer à tout moment.
- Quand un nouveau format de fichier est mis en place, un nombre de $N * (N-1)$ de traducteurs de données devait être écrit afin d'échanger des données entre les applications N.

S'il existait un format commun à partir duquel toutes les applications peuvent récupérer les données, le nombre de traducteurs nécessaires serait réduit à 2. Un pour écrire le format, l'autre pour le lire.

L'avantage d'utiliser un format commun

Les inconvénients des formats de fichiers propriétaires et les avantages d'utiliser un format de fichier commun ont forcé les communautés de plusieurs domaines de connaissances à développer des formats non-exclusifs de fichiers.

Les niveaux de mise en œuvre

Nous pouvons distinguer quatre niveaux différents de mise en œuvre:

- Niveau 1 : échange de données : « lecture ». Les données du projet transitent entre les applications utilisant le même format de fichier. À ce niveau, une application peut lire le fichier de données en utilisant un analyseur dédié.
- Niveau 2 : conception « lecture écriture ». Le logiciel possède toutes les caractéristiques du premier niveau, en plus de la capacité de les manipuler. Quand une application dans ce niveau lit les données dans sa mémoire, les données sont mises à disposition au travers d'un code, sous une forme organisée décrit par le modèle. Une standardisation de la donnée à ce niveau permet un accès aux données et permettent la création de données.
- Niveau 3 « base de données ». Ce niveau a toutes les fonctionnalités des deux précédents niveaux ainsi que la possibilité de travailler avec les données stockées dans une base de données.
- Niveau 4 « base de données historisée ». Il correspond au niveau précédant dans lequel des données ont un attribut temporel pour pouvoir suivre l'évolution d'information au cours du temps.

Dans cette section, il faut souligner que les formats interopérables (comme IFC, CityGML, etc.) peuvent être échangés et partagés.)

3.2. Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels

<p>Intégration des données aux logiciels</p> <p>Les trois niveaux d'intégration</p> <p>Des formats qui ont évolué</p> <p>Des données définies par un modèle</p>	<p>L'intégration des données aux logiciels peut être définie comme la mise en œuvre de diverses applications travaillant ensemble pour produire un ensemble de données (lecture écriture stockage).</p> <p>On peut distinguer trois niveaux :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 1^{er} niveau : une application est capable d'atteindre les couches de données situées dans un format autre que le sien. L'information est ainsi dupliquée dans le format de l'application en cours d'utilisation. • 2^e niveau : l'intégration se passe au niveau des applications ou celles-ci se comprennent entre elles pour produire et échanger de la donnée de manière structurée. • 3^e niveau : intégration de processus où l'intégration se passe au niveau du processus. <p>Aujourd'hui, grâce au BIM, les formats d'échanges ont évolué. Il ne s'agit plus non seulement de format de fichier contenant de l'information de données, mais ces informations sont basées sur une structure sémantique.</p> <p>Nos données de projet sont définies par un modèle de données qui explicite les attributs et les relations entre entités. Les données créées suivant le modèle sont stockées dans des bases de données. Pour stocker et échanger les données de projet, celles-ci sont intégrées dans des bases de données relationnelles. Nous allons évoquer ici 5 pistes possibles de stockage de la donnée</p>
---	---

<p>Stockage et échange de la donnée en utilisant les fichiers physiques</p>	<p>Le stockage et l'échange de données se fait en utilisant les fichiers physiques par transfert en utilisant :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des objets physiques intermédiaires (clés USB, dvd, etc.). • Des méthodes informatiques (internet , intranet). <p>Le fichier physique est créé par une application ou logiciel CAO/SIG (figure 45).</p>
--	--

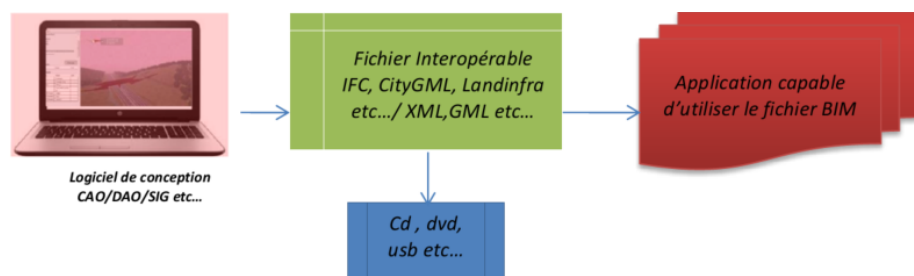


Figure 45 Stockage et échange en utilisant des fichiers physiques

<p>Stockage et échange de données par création d'interfaces entre logiciels</p>	<p>Dans ce cas, le fichier physique peut être atteint par le biais d'une API (application programming Interface). Cette approche est orientée sur le partage d'information plutôt que sur l'échange de données. Si le fichier est un fichier XML alors le modèle peut être partagé en utilisant une interface XML (Voir figure 46).</p>
--	---



Figure 46 Stockage et échange de données par création d'interfaces

3.2 Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels

Stockage et partage de la donnée par le biais d'une base de données**Une base de données partagée centrale**

Les bases de données de projet peuvent stocker des données qui couvrent de nombreux aspects du cycle de vie de l'ouvrage.

L'avantage de stocker les données dans une base de données partagée centrale est que les applications multiples peuvent :

- Accéder aux données de projets.
- Utiliser les fonctions de base de données telles que le traitement des requêtes la création d'objets métier, etc.

Un système de base de données relationnelle

Les données aux formats d'échange interopérables (IFC, CityGML, LandInfraGML etc.) peuvent être stockées dans un système de base de données relationnelle. Les entités de bases de données sont créées à partir du modèle de la donnée BIM, grâce à un script spécifiques de gestion de base de données. Les entités ainsi créées sont liées au schéma du modèle de donnée prédéfinie. Ces schémas de modèle objet peuvent être des schémas XML, GML, etc.

Le remplissage de la base de données

La base de données peut être remplie par l'importation d'un fichier physique du modèle ou peut se faire manuellement en créant des instances d'entités. Les données peuvent ensuite être interrogées à l'aide des interfaces de base de données (Voir figure 47).

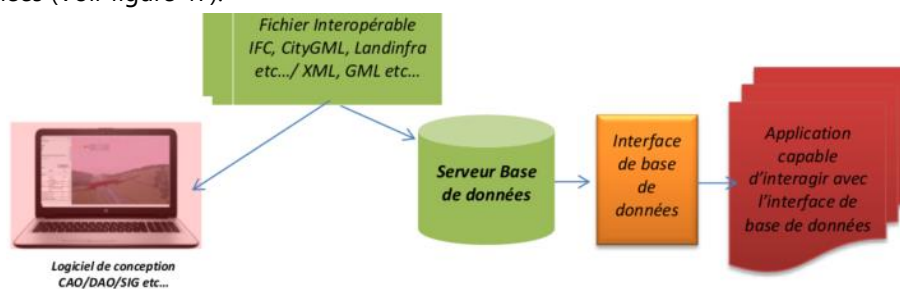


Figure 47 Stockage et partage de la donnée via une base de données

Partage de données à travers un ensemble de base de données**Une couche logicielle**

Il s'agit de l'intégration de plusieurs bases de données en une seule. Les fichiers se trouvant dans des bases de données sont gérés où coordonnés par une application.

Le logiciel de gestion établit une couche logicielle entre les bases de données, les fichiers et les applications. Cette couche se connecte aux bases de données et aux fichiers en utilisant des interfaces disponibles. Elle lie ces données à une base de données virtuelle existant uniquement dans le logiciel. Les données sont ensuite partagées en utilisant cette base de données virtuelle.

Les acteurs principaux

Dans cette approche, l'application logicielle avec le logiciel de gestion de base de données sont les acteurs principaux qui permettent :

- L'utilisation de différents formats de fichier.
- De maintenir la cohérence des données tout au long du cycle de vie de l'ouvrage.

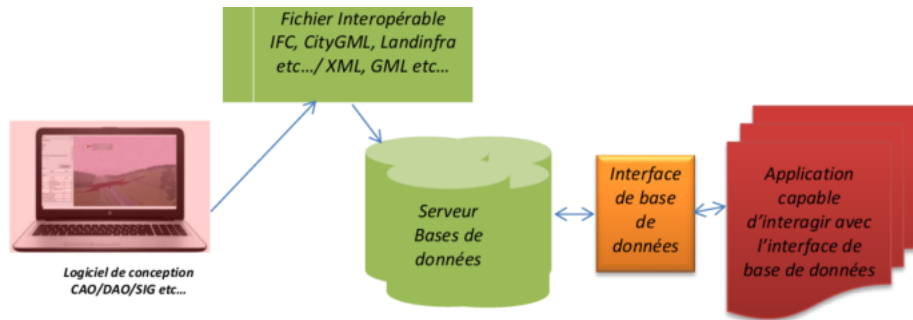


Figure 48 Stockage et partage de la donnée via un ensemble de BD

3.2 Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels

Le partage des données par les services Web
Le partage des données BIM
Une utilisation de services web difficile

Les services Web peuvent être définis comme des interfaces de données, logiciel ou système qui sont accessibles sur Internet. On peut identifier deux contraintes à la mise en œuvre des services Web :

- Les interfaces doivent être basées sur des protocoles Internet tels que HTTP, FTP et SMTP.
- À l'exception des données binaires, les messages doivent être en XML.

Les données BIM peuvent être partagées par le biais des services Web de deux façons. L'interface de service Web peut fournir un accès à :

- La base de données de projet où la donnée BIM est stockée.
- Une API, à son tour permet d'accéder à un fichier physique BIM ou des vues spécifiques du modèle.

L'utilisation de services Web pour interagir avec la donnée BIM reste aujourd'hui limitée et difficile à mettre en œuvre. La compatibilité entre les différentes versions de navigateur est complexe à maintenir.

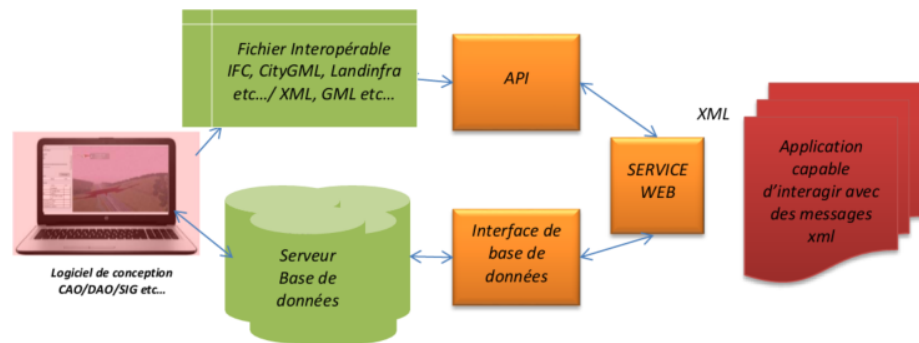


Figure 49 Partage de la donnée via le web

3.2 Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels

Les points de vue

Au travers des phases de projets, les acteurs du cycle de vie de l'ouvrage génèrent plusieurs vues de la donnée. Ces points de vue peuvent être générés à partir de fichiers ou des bases de données. Ces vues peuvent être soit transitoires soit permanentes en fonction du besoin de l'utilisateur.

Les vues du modèle sont générées par un modèle qui, lui-même, est un sous-ensemble d'un autre modèle, ou par déclaration d'un modèle qui peut être dérivé d'un autre modèle. Le modèle original est appelé le modèle de base et le nouveau modèle est appelé le point de vue. Les entités de la vue sont créées à partir du modèle de base.

Si la vue du modèle est permanente, alors il faut prévoir un stockage spécifique. Les vues du modèle peuvent être utilisées chaque fois qu'il y a un besoin d'échanger un sous-ensemble de données BIM. Le point de vue est un modèle d'information lui-même. Il est défini en fonction des besoins de l'application / système, et des besoins de l'utilisateur.

3.3. Proposition de modèle

Interroger efficacement la maquette

L'un des objectifs clés de l'historisation est de pouvoir interroger de manière efficace la maquette, et de visualiser le résultat selon le contexte de cas d'utilisation, au cours du temps. Le traitement et la visualisation des résultats interrogés selon le contexte de cas d'utilisation peuvent influencer sur la facilité d'utilisation du système et sur les décisions à prendre. Cependant, peu d'études liées à ce domaine ont été menées parce que la technologie est relativement nouvelle. Nous proposons ici une structure permettant de visualiser les résultats interrogés.

Seuls les résultats les plus pertinents sont affichés

Par exemple, dans certaines applications, seuls les résultats les plus pertinents de la requête sont affichés sur écran. En outre, un mode de représentation (la couleur, le style de visualisation, les niveaux de détail, etc.) peut être défini pour certains résultats. La maquette numérique devrait prendre en charge ces fonctionnalités, de sorte qu'elle puisse aider les utilisateurs à reconnaître efficacement les résultats de la requête et prendre une décision.

Notre supposition : la donnée est stockée dans une BDD BIM

Nous supposons ici que notre donnée est stockée dans une base de données dans un format de fichier BIM standardisé supporté par un langage de type XML. Nous considérons que notre système peut rechercher toute une hiérarchie d'objets notamment la structure et les attributs d'informations qui lui sont afférentes. Nous proposons le schéma suivant :

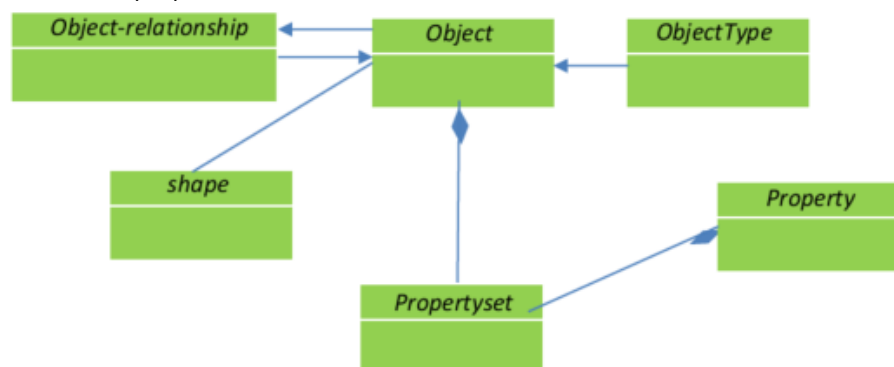


Figure 50 Proposition d'un modèle support pour l'historisation des données

3.3 Proposition de modèle | Notre supposition : la donnée est stockée dans une BDD BIM

La recherche d'informations topologiques

En suivant ce modèle, chaque objet peut rechercher des informations topologiques en fonction de l'objet correspondant à travers une classe prédéfinie que nous pouvons appeler Object Relationship. Le Object Relationship est lui-même redéfini en sous-classes en fonction du type d'objets.

Le format de stockage utilisé stockerait l'information sous forme de fichiers de forme (shape) et d'attributs. Le fichier de forme est celui analysé par la requête de l'utilisateur. Les attributs seraient définis par le PropertyTypeset qui est lui-même relié à la classe ObjectType. Un objet peut être relié à de multiples attributs. Le PropertySet a un Property qui gère les attributs de manière individuelle. Ainsi, la valeur d'un attribut peut être accessible via le Property. Un objet avec un attribut spécifique peut aussi être recherché.

Chaque objet interrogé dans la maquette comme précédemment défini peut aussi être sujet à des niveaux de détail qui déterminent le genre d'information renvoyé à l'utilisateur lorsque ce dernier interroge l'objet.

3.4. Historisation ... identifier les objets temporels

Conserver des informations dans le temps

Compte tenu du prix des écoponts d'une part, et de la pression qui existe sur la biodiversité aujourd'hui, il paraît pertinent de conserver des informations dans le temps pour savoir si les écoponts sont efficaces (si ce sont de bons modèles), s'il faut les améliorer au cours du temps.

Objectif de l'historisation des données

Leur objectif étant de faciliter les passages animaliers, il est pertinent :

- Soit de suivre les passages (les traversées).
- Soit de voir comment ont évolué la flore et la faune de part et d'autre de l'écopont.

On propose donc de conserver des données sur un long pas de temps et de les stocker de façon standardisée sur un support lisible dans 30 ans.

Questions à se poser

L'historisation suppose que l'on veut conserver certaines informations au cours du temps, et sur un temps relativement long (plusieurs dizaines d'années). Pour pouvoir préparer un modèle d'historisation il faut donc se poser plusieurs questions :

- Quelles sont les informations que l'on veut conserver ? à quel niveau de détail ?
- Comment ? sous quelle forme :
 - Quel modèle de données choisir (quelle organisation de l'information) ?
 - Quel format d'échange ou quel SGBD ?
- Où ? Sur quel serveur ? Géré par qui ? (Quelle institution ?)
- Comment accéder dans le temps à ces données ?
 - Sous quelles conditions ?
 - À quel prix ?

3.4 Historisation ... identifier les objets temporels

Quelles informations conserver ?

Les informations conservées sont les suivantes :

Type d'information	Description
L'infrastructure	La représentation de la réalité (pas celles des projets) : le dernier projet est parfois la seule représentation. À différents niveaux de détail LoD. À différentes temporalités si l'infra a évolué (versionnement) : ex : élargissement de la A63.
Le passage	Ses métadonnées : ses objectifs (espèces). Ses aménagements. Ses modifications au cours du temps (versionnement).
L'environnement géographique	MNT : <ul style="list-style-type: none"> Le MNT est parfois la seule représentation de l'aménagement des bas-côtés des infra. Il pourrait être intéressant de créer des objets plus explicites. À différentes temporalités (versionnement). Occupation des sols (nature et usage), rivières : <ul style="list-style-type: none"> À différentes temporalités (versionnement).
Les inventaires ou relevés sur la flore et la faune	Estimation de la taille de la population (t) et des métadonnées associées (t) (versionnement) : <ul style="list-style-type: none"> Méthode de relevé (protocole). La nomenclature (et niveau de généralisation). Méthode d'estimation à partir de relevés. Les appareils de mesure (suivi).

Proposition du modèle pour l'historisation des données

Le schéma suivant reprend la figure 36 en ajoutant des estampilles temporelles sur les objets ou attributs dont la valeur (attribut) ou l'instance (objet) devrait évoluer au cours du temps. Par exemple, la zone étudiée devrait avoir des données décrivant la flore et la faune au cours du temps. Les observations sont réalisées à un moment donné. Les aménagements de l'écopont peuvent être différents au cours du temps.

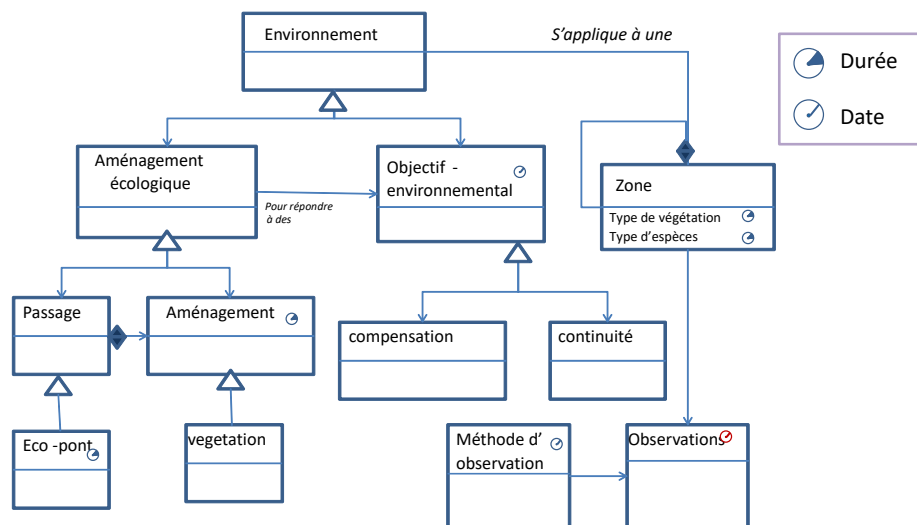


Figure 51 Proposition du modèle pour l'historisation des données

3.4 Historisation ... identifier les objets temporels

Historiser : une question d'organisation et de décision

Une fois que le modèle est réalisé, il reste à faire des choix d'organisation.

Choix	Description
Estampiller les objets avec des attributs temporels	Utiliser des formats interopérables et lisibles par exemple de type GML (Volumineux mais très lisible)
Utiliser des taxonomies normées (de type INSPIRE)	Et décrire les protocoles et unités de mesures (par exemple le modèle de l'OGC Observation and measurement)
Externaliser sur des SGBD-Geo standard (et libre)	Surtout pas de logiciels propriétaires
Définir un serveur de données national et un gestionnaire reconnu qui peut assurer une diffusion des données dans le temps selon des protocoles standards	Ex : BRGM, IGN, FNTP, etc.

Les éléments développés dans la suite de ce document

Nous essayons dans la suite de ce document :

- D'établir une approche des niveaux de détails.
- De proposer une piste de réflexion pouvant servir lors de prochaines phases d'études sur le sujet.

4. LES NIVEAUX DE DETAILS

La question du niveau de détail de l'information

Plusieurs travaux de recherches traitent la question du niveau de détail de l'information. La problématique du niveau de détail pour les projets de construction existe depuis plusieurs dizaines d'années de manière plus ou moins implicite. En revanche, elle se posait en cohérence avec le contexte de ces époques et le contexte relatif à chaque monde considérant ce sujet. On peut notamment citer le monde de l'information géospatiale et le monde de la construction. Ainsi, ce concept de « niveau de détail » a été considéré et décrit de plusieurs manières.

Ce concept est en lien avec la structuration de l'information, la manière de la créer (relevés terrain ou conception) et les modélisations qui en sont faites.

L'impact des données environnementales sur les choix de conception

Lorsqu'on conçoit un projet routier, les données environnementales peuvent avoir un impact sur les choix de conception. En utilisant un SIG et en ayant accès aux données, les concepteurs peuvent avoir une meilleure vue de l'impact de leur tracé sur l'environnement et pourraient procéder à des ajustements.

Les données SIG peuvent ainsi faciliter l'utilisation des applications CAO comme la sélection de zones géographiques. Les données CAO peuvent enrichir considérablement la maquette en permettant d'avoir des modélisations de données SIG détaillées ; ce qui serait d'une grande utilité pour les applications d'exploitation.

4.1. De nombreuses définitions, plus ou moins imprécises

Un concept aux nombreuses définitions

Il existe aujourd'hui de nombreuses définitions de ce concept, appelé niveau de détail, de développement, d'information, de précision, de définition, etc.

Au niveau français, on peut citer le cahier pratique du Moniteur et Syntec Ingénierie (LeMoniteur, 2014) et le guide de la pour la maîtrise d'ouvrage (PTNB - MIQCP, 2016). Ces documents proposent des définitions générales du niveau de détail pour les maquettes numériques et font le parallèle avec les exigences de la loi MOP.

Aucune définition normalisée ou faisant consensus

Aucune définition n'est aujourd'hui normalisée ou ne fait consensus. Des travaux de standardisation de la définition du LOD sont en cours au niveau européen dans le groupe CEN TC442 WG02 TG01.

Le concept LOX

Au travers de ces définitions, de nombreux concepts sont évoqués : le détail, le développement, l'information, la précision, l'abstraction, etc. Ainsi, nous retenons pour la suite l'acronyme LOX où X peut être égale à D, Dt, I, A... (Tolmer, 2016).

Plusieurs questions fondamentales se posent lorsque l'on évoque le concept de LOX :

- Quelle utilisation des LOX dans le projet ? À quels besoins répondent-ils vraiment ?
- Quelles sont les dimensions qui composent le concept de niveau de détail (précision d'implantation des objets, des valeurs d'attributs, représentation, détail géométrique, etc.) ?
- Comment s'intègrent les LOX dans le BIM ? Comment sont-ils ou doivent-ils être utilisés dans les conventions BIM, pour la définition des échanges, la structuration des maquettes numériques, la modélisation de l'information, etc. ?

Ces questions n'ont aujourd'hui pas de réponses précises.

4.1 De nombreuses définitions, plus ou moins imprécises | Un concept aux nombreuses définitions

Source	Name	Authorship	Definition	Level						
				0	1	2	3	4	5	6
Denmark: BIPS	3D Working method	Parties/ Responsibility	Information Level	0	1	2	3	4	5	6
Australia: CRC	Object data levels	Responsibility	Level of Detail	-	A	B	C	-	D	E
Vico Software	Model Progression Specification	-	Target Level of Detail/ Level of Detail	-	100	200	300	-	400	500
US: Department of VA	BIM Object/Element Matrix	Model Element Author	Level of Development (LoD/LOD)	-	100	200	300	-	400	500
Australia: NATSPEC	NATSPEC BIM Object/Element Matrix (BOEM)	Model Element Author (MEA)	Level of Development (LOD)	-	100	200	300	-	400	500
US: NYC DDC	Object Requirements	-	-Model Level of Development/ Level of Development (LOD) -Model Granularity	-	100	200	300	-	400	500 (?)
US: Pennsylvania State University	BIM Information Exchange – Level of Detail Matrix	Model Element Author (MEA)	Level of Development (LOD)	-	100	200	300	-	400	500 *
US: US Army Corps of Engineers	USACE BIM Minimum Modeling Matrix (M3)	-	-Level of Development (LOD) -(Element Grade/Grade (A, B, C, +))	-	100	200	300	-	-	-
Netherland	Matrix and Project Template	Aspect-model	Information Level	0	1	2	3	4	5	6
US: AIA E203™-2013	Model Element Table	Model Element Author (MEA)	Level of Development (LOD)	-	100	200	300	-	400	500
France: Le Monieur	-	-	Level of Development (LOD)	-	100	200	300	-	400	500
US: BIMForum 2015	LOD 2015 Element Attributes Tables	Model Element Author (MEA)	-Level of Development (LOD) -Level of Detail -Element Geometry -Associated Attribute Information	-	100	200	300	350	400	500
Canada: AEC (CAN) 2014	Information exchange worksheet or modelling matrix	Responsibility	Level of Development (LOD)	-	100	200	300	350	400	500
UK: PAS 1192-2:2013	-	-	-Level of model Definition -Level of model Detail (LOD) -Level of model Information (LOI)	1	2	3	4	5	6	7
UK: CIC	Model Production and Delivery Table (MPDT)	Model Originator	Level of Detail (LOD)	1	2	3	4	5	6	7
UK: NBS BIM Toolkit	NBS BIM Toolkit	Responsibility	-Level of Detail (LOD) -Level of Information (LOI)	1	2	3	4	5	6	7
UK: AEC (UK) 2015	-	-	-(Level of Definition) -(Level of Information (LOI)) -Grade/Level of Detail (LOD)	1	2	3	4	5	6	-

Tableau 10 : comparaison de plusieurs définitions du « LOD » pour le BIM. Extrait de (Bolpagni, Luigi, & Ciribini, 2016)

Des définitions utilisées pour répondre à des exigences ou produire des livrables

Ces définitions peuvent être utilisées pour décrire l'information nécessaire pour répondre à des exigences ou pour produire des livrables. En ce sens, il convient d'évoquer la distinction entre :

- Ce que l'on retient de la réalité et que l'on va modéliser (le « quoi ? »).
- Et la manière dont cette réalité est modélisée (le « comment ? ») (Ruas, 2004).

C'est un questionnement récurrent en cartographie pour la représentation à chaque échelle et pour les transitions entre ces échelles. Par contre, ces définitions répondent mal aux trois points évoqués ci-dessus et au processus cognitif d'identification du « quoi » qui vient d'être évoqué (Tolmer, 2016).

4.1 De nombreuses définitions, plus ou moins imprécises

Un concept de niveau de détails interrogé pour plusieurs sujets

Du point de vue opérationnel, la problématique de l'information autour des écoponts interroge ce concept de niveau de détails pour plusieurs sujets :

- L'historisation des données et les choix des niveaux de détail à conserver ou non.
- La description de l'information à échanger tout au long du processus de conception de l'écopont.
- Le lien avec les échelles des livrables et l'information créée, échangée et modélisée.
- La cohérence avec les LOD (Level Of Detail) de CityGML qui traitent principalement de la modélisation du milieu urbain existant (Norme de CityGML, 2012). Plus généralement, cette question peut être étendue à la considération du niveau de détail pour l'information géospatiale et à la structuration de l'information dans les SIG, couramment utilisée pour les études environnementales.

4.2. Quelques éléments de réponse

Principales dimensions incluses dans le concept de niveau de détails

Les principales dimensions incluses implicitement dans le concept de niveau de détails sont illustrées dans le tableau suivant. Les questions de topologie, de flou, de précision et d'exactitude de l'information pourraient également être considérées dans ces dimensions.

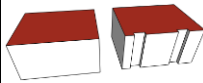


Dimensions	complexité géométrique	dimensionnalité	apparence	sémantique	présence	attributs
illustration				Objet générique ou détaillé Appartenance à un système ou ensemble...	OUI ou NON	Activité (pour un bâtiment), type (pour une route) Matériau...

Tableau 11 : principales dimensions implicites du niveau de détail ; adapté de (Biljecki, Ledoux, & Stoter, 2014).

Réponse au 1er point et interrogations qui subsistent

Pour répondre au 1^{er} point ci-dessus, ces dimensions peuvent être utilisées. En revanche, il reste quelques interrogations qui sont :

- Est-ce que ces dimensions doivent être linéairement croissantes l'une par rapport aux autres ?
- Est-ce que les LOX s'appliquent à tout le projet ? À chaque maquette numérique ? À chaque modèle ou objet ?
- Est-ce que les LOX sont des objectifs à atteindre ? Dans ce sens, la norme ISO 19 650 à paraître définit le concept de Level Of Information Need, (LOIN) ? Un outil de mesure de l'avancement du niveau d'information ?

4.2 Quelques éléments de réponse

Réponse au 3^e point

En réponse au troisième point ci-dessus, plusieurs éléments peuvent être avancés. Les LOX sont un outil pour décrire dans une convention BIM le contenu informationnel à produire et à échanger. Ils sont directement en lien avec la décomposition du projet en ouvrage :

- Décompositions pour les modèles et maquettes numériques, mais également pour l'allotissement.
- Décomposition en prix en lien avec les classifications et nomenclatures.

Les LOX pour la résolution des exigences

Les éléments qui permettent de choisir plusieurs décompositions du projet selon les domaines métiers sont apportés par la résolution des exigences. Ainsi, les LOX sont un outil d'aide à la réflexion pour construire une structuration de l'information adéquate par rapport aux exigences à satisfaire. Ces exigences peuvent être :

- Des exigences de performances des objets.
- Des exigences de processus : qualité, contrôle, échanges de l'information.
- Des exigences de représentation de l'information : modélisation 3D, synoptiques, graphiques, etc.

Les LOX pour une cohérence entre décompositions

Les LOX ont également vocation à assurer une cohérence entre les décompositions du projet des domaines métiers, c'est-à-dire une cohérence de l'abstraction, du regard que chaque acteur porte sur le projet.

4.3. Conclusion sur les niveaux de détail**Une question non anodine**

La question de la quantité d'information, de sa précision et plus généralement de sa qualité et donc de la confiance que l'on peut en avoir n'est absolument pas anodine dans :

- L'organisation de l'information d'un projet.
- L'organisation des processus de production et de choix des outils.

Aucune solution logicielle ne permet de gérer les LOX

Il n'existe aujourd'hui pas de solution logicielle permettant de gérer correctement la question des LOX que ce soit du point de vue de la représentation ou de la structuration de l'information en lien avec les bibliothèques d'objets et les catalogues d'objets des industriels.

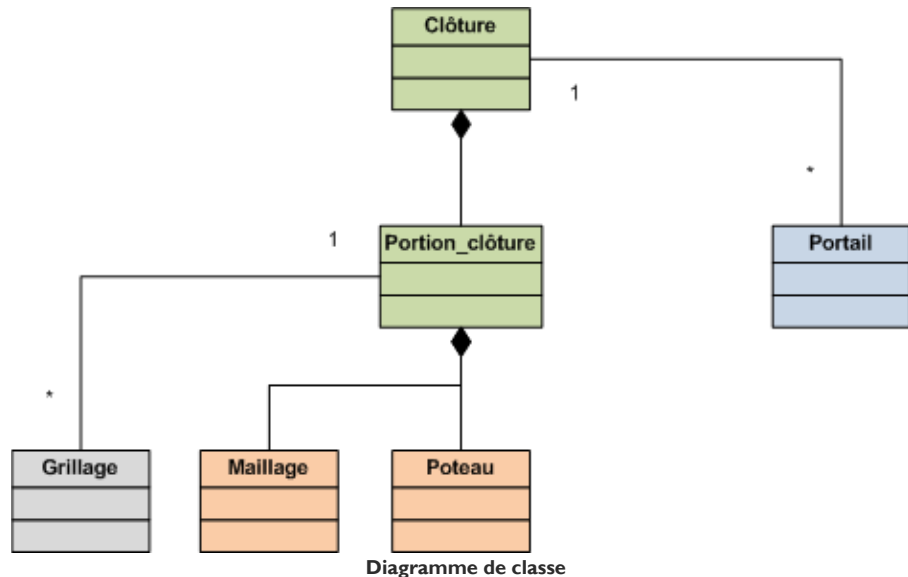
La réflexion menant à la définition des LOX

Pour le moment, l'élément le plus important pour la définition des LOX d'un projet est la réflexion qui mène à la définition de ces LOX. Cette réflexion, en lien avec la gestion des exigences, influence la qualité de l'information produite. Les éléments ci-dessus aident à cette réflexion.

ANNEXE

Détail de la structure envisagée pour l'objet clôture

Diagramme de classe Diagramme de classe :



Description

L'objet fictif **clôture** est décomposé en **portions de clôture**. L'objet numérique qui représente la **clôture** peut être interrompu ponctuellement par un **portail**. Une **clôture** est constituée d'un **maillage** maintenu à l'aide de **poteaux**. Les **grillages** correspondent aux protections spécifiques que l'on va pouvoir ajouter à une clôture afin de protéger la faune. Il s'agit par exemple un grillage petite faune ou une clôture à batracien pour éviter le franchissement de la clôture par l'espèce faune ciblée.

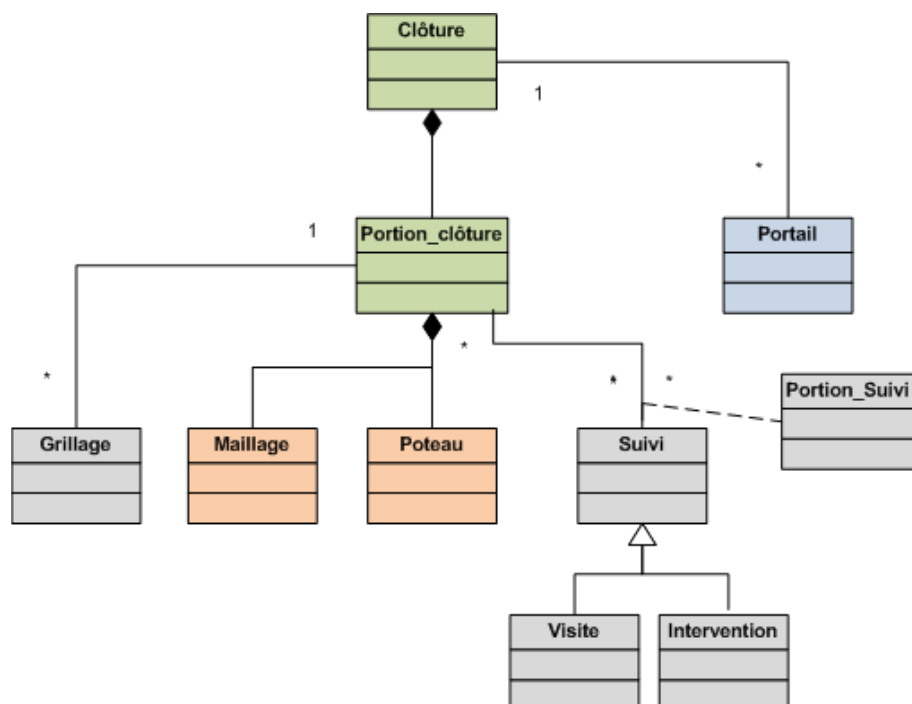
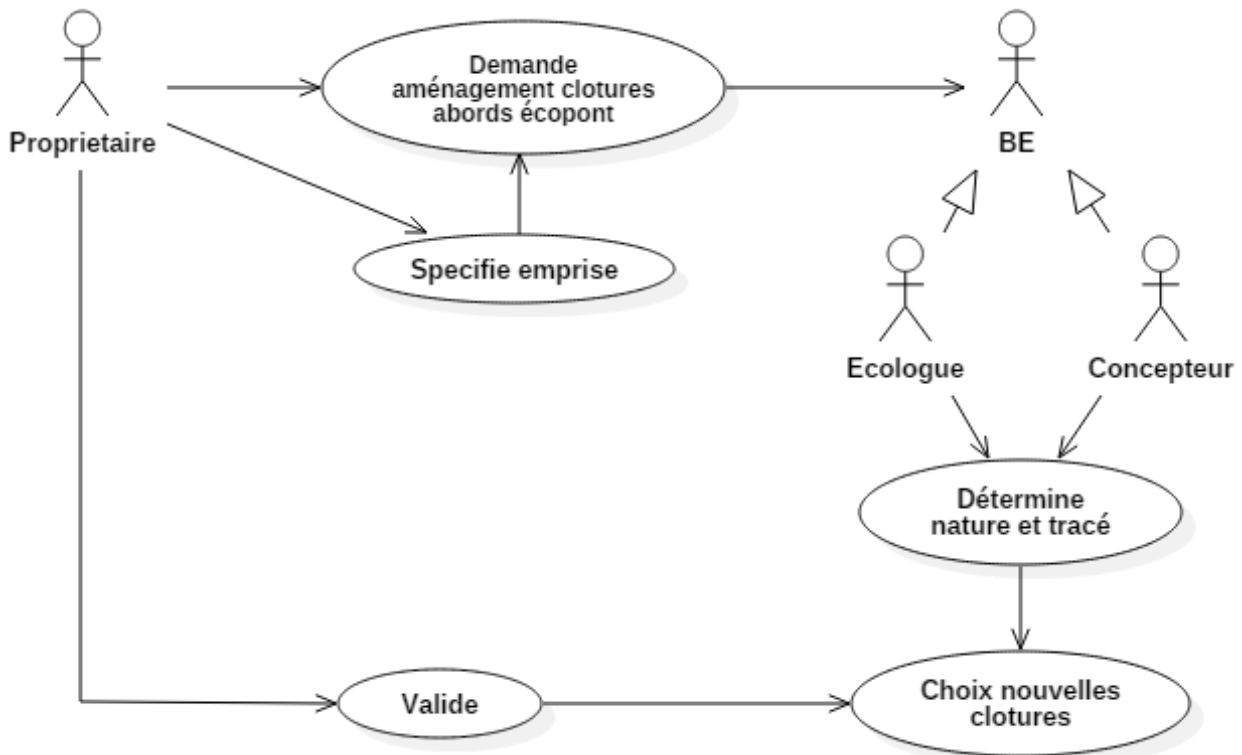


Diagramme de classes, avec ajout des classes de suivi pour l'historisation des données**Historisation des clôtures**

Les clôtures existantes font l'objet d'un **suivi**, de la part de l'exploitant qui s'assure de leur état par des **visites** et réalise des **interventions** sur des portions de clôtures en cas de dégradation constatée.

Les classes **portion de clôture** et **suivi** sont liées par un lien de plusieurs à plusieurs. L'ajout d'une classe d'association permet de stocker l'ensemble des valeurs de suivi pour chaque portion de clôtures.



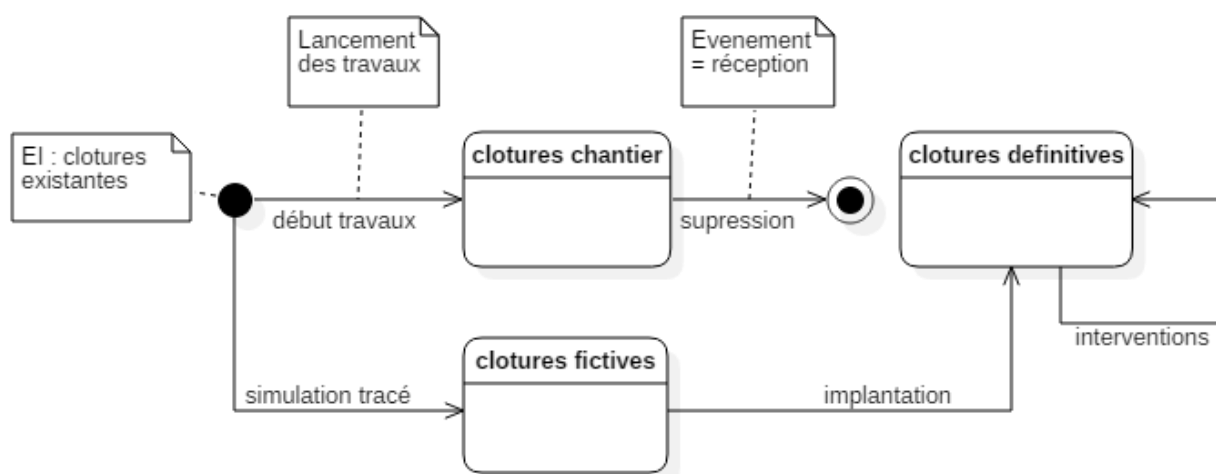
Le diagramme de cas d'usage : Aménagement des clôtures aux abords d'un écoport

Analyse des aménagements possibles des clôtures

Les enjeux liés à l'aménagement de l'écopont

Suite à la décision de réalisation d'un écopont pour le rétablissement des corridors écologiques autour d'une infrastructure linéaire, le propriétaire du réseau demande à un bureau d'étude d'analyser les aménagements possibles des clôtures aux abords d'un écopont. L'objectif ici est de permettre une meilleure prise en compte des besoins de la faune du site.

Le BE chargé de l'étude doit récupérer les données issues des études environnementales de la zone pour saisir les enjeux liés à l'aménagement de l'écopont. La nature des clôtures et les protections spécifiques qu'elles requièrent sont ainsi déterminées par un écologue. Le concepteur spécifie les tracés potentiels des clôtures en fonction de la topographie des sites. Pour finir, le bureau d'étude envoie les données au propriétaire pour valider le choix des nouvelles clôtures.



Le diagramme d'état : description des états par lesquels passe l'objet clôture au cours de son cycle de vie

Les états successifs du modèle statique

Dans le cadre d'un modèle de données dynamique, le diagramme d'état définit les états successifs du modèle statique au cours du cycle de vie du modèle.

- À l'état initial, l'objet clôture correspond au modèle numérique des clôtures existantes sur le site.
- En phase d'étude, l'objet clôture est fictif, il permet de simuler les clôtures définitives à mettre en place à la fin des travaux.
- Au début des travaux, l'objet des clôtures de chantier se rajoute au modèle.
- À la fin des travaux, les clôtures de chantier sont démontées et les nouvelles clôtures, choisies en phase de conception, sont mise en place puis réceptionnées. Les objets de clôtures définitives sont intégrés au modèle, et peuvent être modifiés par des interventions d'entretien.

Détail des attributs des classes (à mettre en annexe)

Clôture		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
type	String	type général de la clôture (urbaine, herbagère, autoroutière-base, autoroutière-gibier, anti-congères)
type_detail	String	type de clôture : treillis souple, soudée à panneaux rigides
proprietaire	String	propriétaire de la clôture.
protection	String	infos supplémentaires sur la clôture (particularités spécifiques : bavolet, renforcement, grillage petite faune, grillage batracien,...)
hauteur	Float	hauteur clôture en mètres
longueur	Float	longueur calculée en mètres
longueur_reelle	Float	longueur en fonction de la pente en mètres
etat	String	etat de la cloture lors du dernier suivi
mise_service	date	date de mise en service

Portion_Clôture		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
type	String	type général de la clôture (urbaine, herbagère, autoroutière-base, autoroutière-gibier, anti-congères)
type_detail	String	type de clôture : treillis souple, soudée à panneaux rigides
proprietaire	String	propriétaire de la clôture.
protection	String	infos supplémentaires sur la clôture (particularités spécifiques : bavolet, renforcement, grillage petite faune, grillage batracien,...)
hauteur	Float	hauteur clôture en mètres
longueur	Float	longueur calculée
longueur_reelle	Float	longueur en fonction de la pente
etat	String	etat de la cloture lors du dernier suivi
enfoncement_poteau	Float	enfoncement du poteau dans le sol en mètres
enfoncement_grillage	Float	enfoncement du grillage dans le sol en mètres
distance_poteau	Float	distance entre deux poteaux intermédiaires en mètres
mise_service	date	date de mise en service

Poteau		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
profil	String	en T, en creux, section carrée, rectangulaire ou tubulaire.
dimension	String	diamètre (poteau T) ou largeur (poteau creux) en mètres
hauteur	Float	hauteur du poteau en mètres
materiau	String	nature des matériaux (acier, bois, béton)

Maillage		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
type	Integer	type de maillage (progressif ou constant)
type_maille	String	maille soudée ou torsion
dimension	String	dimensions en fonction du maillage progressif ou constant en cm
materiau	String	type de matériau du maillage (acier, zinc-aluminium, plastique)
revetement	String	type de revêtement des fils (plastifié, galvanisé)

Portail		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
type	String	mécanisme ouverture/fermeture (barrière, coulissant, doubles battants, passe américaine, etc.)
largeur	Float	largeur en mètres
mise_service	date	date de mise en service

Grillage		
name	FieldType	description
id	Integer	identificateur unique
type	String	type de grillage : batracien, petite faune
dimension	String	dimension du grillage
hauteur	Float	hauteur du grillage en mètres
matériau	String	type de matériau (plastique, métal)

Suivi		
name	FieldType	description
id	int	identificateur unique
localisation	varchar	cordonnées d'intervention sur la clôture
date	varchar	date de l'intervention
accessibilité	bool	oui, non
état	varchar	état de la clôture après l'intervention

Visite		
name	FieldType	description
id	int	identificateur unique
date	varchar	date de la visite
accessibilité	bool	oui, non
état	varchar	état de la clôture lors de la visite (validé, à réparer, ou réparé lors de la visite)
description	varchar	commentaire

Intervention		
--------------	--	--

Intervention		
name	FieldType	description
id	int	identificateur unique
localisation	varchar	coordonnées d'intervention sur la clôture
date	varchar	date de l'intervention
accessibilité	bool	oui, non
opération	varchar	indique les opérations effectuées lors de l'intervention
objet	varchar	objet de l'intervention
état	varchar	état de la clôture après l'intervention

BIBLIOGRAPHIE

Type	Documents
Documentation en ligne	Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2014). Improving the consistency of multi-LOD CityGML datasets by removing redundancy. In ISPRS 9th 3DGeoInfo Conference, United Arab Emirate. Dubai.
	Bolpagni, M., Luigi, A., & Ciribini, C. (2016). The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects. In CIB World Building Congress (pp. 296–307). Tampere, Finlande.
	LeMoniteur. (2014). BIM/Maquette numérique : contenu et niveaux de développement. Le Moniteur, 5763, 9 ma.
	Norme de CityGML. (2012). Open Geospatial Consortium OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding standard.
	PTNB - MIQCP. (2016). BIM et maquette numérique : Guide de recommandation à la maîtrise d'ouvrage.
	Ruas, A. (2004). Le changement de niveau de détail dans la représentation de l'information géographique. Université de Marne la Vallée.
	Tolmer, C. (2016). Contribution à la mise en place d'un modèle d'ingénierie concourante pour les projets de conception d'infrastructures linéaires urbaines : prise en compte des interactions entre enjeux, acteurs, échelles et objets. Paris Est Marne-La-Vallée, Lab'Urba, Equipe Génie Urbain.
Sites web	Diverses recherches de définitions www.wikipedia.com
	Guide pratique du moniteur http://lyceegaudier.com/fichiers/documents/Documents_liens_utiles/Guide_pratique_du_MONITEUR_Le_BI_M_contenu_et_niveau_de_developpement.pdf
	Guide de la prise en compte des milieux naturels dans les projets d'aménagement http://parcinfo.seine-saint-denis.fr/IMG/pdf/Liste_Guide/4_1.pdf
	Diverses recherches sur le BIM http://www.mediaconstruct.fr/ http://bimforum.org/ http://www.minnd.fr/le-projet-minnd/ http://www.buildingsmart-tech.org
	Diverses documentations sur le CityGML http://www.opengeospatial.org/
	EL-MEKAWY M., OSTMAN B A., HIJAZI C I. An evaluation of IFC-CityGML Unidirectional Conversion, http://thesai.org/Downloads/Volume3No5/Paper_25-An_Evaluation_of_IFC_CityGML_Unidirectional_Conversion.pdf (consulté le 17/02/2016)
	Recherches sur l'interopérabilité http://www.laurenti.com/publis/MN%20et%20interopabilite.pdf http://liris.cnrs.fr/emc/Interoperability_march_29/Presentations/Maury.pdf http://www.prebat.net/IMG/pdf/-137.pdf http://www.collaborativemodeling.com/bim_interoperability_issues_rev03.htm https://ai2-s2-pdfs.s3.amazonaws.com/4e4d/89d3660057c050d700aa89a30e22b2ab3f83.pdf

Table des matières

RÉSUMÉ	2
Des échanges successifs entre les domaines de conception.....	2
Une analyse des flux d'échanges	2
La description des modèles de données et l'historisation des données.....	2
L'intérêt de traiter d'un écopont.....	2
L'historisation des données est importante en écologie	3
Deux cas présentés en annexe du rapport UC6T2-1	3
GLOSSAIRE	4
Avant-propos	6
L'objet du rapport.....	6
Une étude qui s'appuie sur deux cas d'étude	6
Notre approche.....	6
La modélisation d'un ouvrage.....	6
Des données servant à plusieurs usages et acteurs	7
Les étapes métiers pour concevoir l'information.....	7
Les questions posées.....	7
I. CYCLE DE VIE DES AMÉNAGEMENTS D'INFRASTRUCTURES	8
Comprendre le processus d'émission de création et de partage des données.....	8
Les phases de vie de l'ouvrage	8
Les acteurs	8
I.1. Les processus métiers	9
Un projet de longue durée.....	9
Les phases de conception d'un écopont	9
Le processus métier propre à l'écologue.....	11
I.2. Description du processus métier menant à la conception d'un écopont	11
Des espaces pour la population et la biodiversité	11
I.3. Objectif de l'opération et périmètre de l'Étude	13
Suivi des réglementations en vigueur et intégration des conséquences de la construction sur la faune et les habitats.....	13
Les conséquences de la construction	13
Des conséquences qui peuvent être évitées, limitées ou compensées	13
Des réglementations nationales, européennes et internationales	13
Les mesures prises par le maître d'ouvrage.....	14
Données reçues / créées.....	14
I.4. Définition du périmètre d'étude, recensement des espèces faunes, flores et études des trajectoires 15	15
La délimitation du périmètre d'étude.....	15
Les critères environnementaux majeurs à considérer	15
La connaissance des espèces présentes sur le projet	15
Les autres étapes	16
Les données créées et échangées	16
I.5. Inventaires des espèces et Études d'impacts	17
Une évaluation patrimoniale de la zone d'étude.....	17
L'intérêt de l'intégration de vues en 3D	17
Données reçues / créées.....	18
I.6. Identification des impacts	19
L'identification des impacts du projet sur les territoires caractérisés	19
Hiérarchisation des impacts.....	21
Un impact significatif : la fragmentation du territoire.....	21
I.7. Conception de l'ouvrage	22
Les étapes de conception de l'ouvrage	22
Les premiers éléments de positionnement géographique de l'ouvrage	22

Les aménagements spécifiques de l'ouvrage	23
Un ensemble de composants représenté dans la maquette numérique.....	24
Les besoins du paysagiste.....	24
Les besoins du bureau d'étude de structure.....	24
Les besoins de l'exploitant de l'ouvrage, de la MOA et de la MOE.....	24
Des données qui se retrouvent dans la maquette numérique.....	24
1.8. Dimensionnement par les ouvragistes.....	24
La conception des espaces extérieurs est assurée par le BE.....	24
La composition des piles ou culées.....	24
D'autres aspects revus par d'autres acteurs.....	25
Données créées reçues ou échangées.....	25
1.9. Phase de construction et d'exploitation.....	25
Les données produites en phase construction.....	25
Les données produites en phase d'exploitation.....	25
1.10. Synthèse sur les flux d'information entre les acteurs.....	26
Analyse des données.....	26
Un acteur est un émetteur ou un récepteur d'informations liées à une activité.....	26
La cohabitation des données créées et échangées.....	27
2. MODÈLES ET FORMATS D'ÉCHANGE.....	28
Une partie dédiée aux formats d'échange qui doivent faciliter les flux de données.....	28
2.1. Des pratiques différentes entre CAO et SIG.....	28
Deux familles de logiciels.....	28
Des caractéristiques différentes.....	28
La notion d'exigence est absente des SIG.....	28
Les formats d'échange.....	28
L'échange de données CAO-SIG est plus difficile.....	28
Les formats de données libres les plus répandus.....	29
Les rôles des acteurs.....	31
Des données gérées par des bases de données écologiques et urbaines.....	32
Une description des ouvrages assurée par les architectes et ingénieurs.....	32
Les échanges de données.....	33
Des sources de données avec des points de convergence.....	33
Des systèmes conçus par des constructeurs différents.....	33
Des données interopérables.....	33
L'objectif.....	33
2.2. Les formats d'échanges : le pourquoi des standards.....	34
Définition.....	34
Les attributs d'un format de données.....	34
Un format de données est une convention.....	34
2.3. Le principe du format.....	35
La nécessité d'un format de données spécifique.....	35
La description d'un objet 3D.....	35
Le besoin de formats d'échange des données géographiques.....	35
Le stockage des données.....	35
Utilisation des données.....	35
2.4. L'échange de données.....	36
Le fonctionnement de l'échange de données.....	36
La nécessité d'avoir un format et un modèle de données communs.....	36
Des exemples de formats d'échange.....	36
Des formats d'échanges plus ou moins riches.....	36
2.5. Les principaux formats d'échange et de stockage.....	38
Une visualisation 3D des données.....	38
Une information spécifique reliée à chaque vecteur.....	38
Des simulations utilisant des données existantes.....	39
Des données répondant à un principe d'encodage.....	39
Des données géographiques et des données de conception d'ingénierie.....	40
Un langage pour modéliser le monde réel.....	40
2.6. Quels formats pour représenter échanger les données environnementales ? Quelle place pour l'interopérabilité ?.....	41

Pas de format ou de modèle de données spécifiques.....	41
Des données de diverses natures.....	41
Une réflexion dans le sens de la conception vers l'exploitation	41
Définitions.....	43
2.7. Proposition d'un modèle de données	44
Nos choix pour proposer un modèle cohérent	44
Les fonctionnalités attendues.....	44
Les données à conserver au travers des étapes du projet.....	45
Plusieurs groupes de base pour le CityGML et le LandInfra.....	45
Les caractéristiques géométriques des objets réels.....	45
Une représentation peu évidente pour les objets non géométriques.....	47
Les types de données considérés	47
Les modèles de données.....	47
Un appel explicite à des ontologies.....	47
Les éléments retenus	47
Les informations à ajouter pour décrire les écoponts.....	49
Les 5 thèmes du module « Environmental » dans LandInfra	50
Donnée écologique	50
Plusieurs classes sont créées.....	51
Aménagement écologique.....	51
Sous détails et définitions de chaque thème	52
Classes et sous-classes de la classe aménagement.....	52
Objectif environnemental.....	53
Zone.....	53
Caractéristiques des zones.....	54
La synthèse des données et étapes.....	55
3. DU STOCKAGE À L'HISTORISATION	56
3.1. Contexte	56
Le transfert d'informations est un besoin	56
Le format DXF, un standard	56
Les inconvénients de ces fichiers propriétaires	56
L'avantage d'utiliser un format commun	56
Les niveaux de mise en œuvre	56
3.2. Stockage des données dans une perspective d'intégration aux logiciels	58
Intégration des données aux logiciels.....	58
Les trois niveaux d'intégration	58
Des formats qui ont évolué.....	58
Des données définies par un modèle.....	58
Stockage et échange de la donnée en utilisant les fichiers physiques.....	58
Stockage et échange de données par création d'interfaces entre logiciels	58
Stockage et partage de la donnée par le biais d'une base de données	60
Une base de données partagée centrale	60
Un système de base de données relationnelle	60
Le remplissage de la base de données	60
Partage de données à travers un ensemble de base de données	60
Une couche logicielle	60
Les acteurs principaux	60
Le partage des données par les services Web	62
Le partage des données BIM	62
Une utilisation de services web difficile.....	62
Les points de vue.....	63
3.3. Proposition de modèle.....	63
Interroger efficacement la maquette.....	63
Seuls les résultats les plus pertinents sont affichés	63
Notre supposition : la donnée est stockée dans une BDD BIM	63
La recherche d'informations topologiques	64
3.4. Historisation ... identifier les objets temporels	64
Conserver des informations dans le temps	64
Objectif de l'historisation des données	64
Questions à se poser	64

Quelles informations conserver ?	65
Proposition du modèle pour l'historisation des données.....	65
Historiser : une question d'organisation et de décision.....	66
Les éléments développés dans la suite de ce document.....	66
4. LES NIVEAUX DE DÉTAILS.....	67
La question du niveau de détail de l'information.....	67
L'impact des données environnementales sur les choix de conception.....	67
4.1. De nombreuses définitions, plus ou moins imprécises.....	67
Un concept aux nombreuses définitions.....	67
Aucune définition normalisée ou faisant consensus.....	67
Le concept LOX.....	67
Des définitions utilisées pour répondre à des exigences ou produire des livrables.....	68
Un concept de niveau de détails interrogé pour plusieurs sujets.....	69
4.2. Quelques éléments de réponse.....	69
Principales dimensions incluses dans le concept de niveau de détails.....	69
Réponse au 1er point et interrogations qui subsistent.....	69
Réponse au 3 ^e point.....	70
Les LOX pour la résolution des exigences.....	70
Les LOX pour une cohérence entre décompositions.....	70
4.3. Conclusion sur les niveaux de détail.....	70
Une question non anodine.....	70
Aucune solution logicielle ne permet de gérer les LOX.....	70
La réflexion menant à la définition des LOX.....	70
ANNEXE.....	71
Détail de la structure envisagée pour l'objet clôture.....	71
Diagramme de classe.....	71
Description.....	71
Historisation des clôtures.....	72
Analyse des aménagements possibles des clôtures.....	73
Les enjeux liés à l'aménagement de l'écopont.....	73
Les états successifs du modèle statique.....	73
BIBLIOGRAPHIE.....	77

Sommaire des figures

Figure 1 : Exemple simplifié de diversité des acteurs pour création d'un projet à trois voies.....	7
Figure 2 : Cycle de vie d'un ouvrage.....	8
Figure 3 Étapes pour la conception d'un écopont :.....	12
Figure 4 Description du processus métier : Objectif de l'opération.....	14
Figure 5 Emprise du projet (définition du périmètre d'étude).....	15
Figure 6 Collecte de données.....	16
Figure 7 Processus métier : inventaire des espèces.....	17
Figure 8 : Carte inventaire des espèces (A63).....	18
Figure 9 : Vue 3D des trajectoires probables des espèces (A64).....	18
Figure 10 Identification des impacts.....	19
Figure 11 Processus métier identification des impacts.....	20
Figure 12 Hiérarchisation des impacts.....	21
Figure 13 Choix de l'emplacement de l'ouvrage.....	22
Figure 14 Composants/aménagements en fonction des espèces rencontrées.....	23
Figure 15 Schéma de principe d'un écopont (guide Setra).....	23
Figure 16 Aperçu de la structure de l'écopont.....	25
Figure 17 Exemple de flux d'informations échangées.....	26
Figure 18 Synthèse des Flux d'informations échangées.....	26
Figure 19 Croisement des données IFC et CityGML.....	30
Figure 20 l'information géographique.....	31
Figure 21 Type d'informations produites par les écologues.....	32
Figure 22 Type d'informations produites par les Architectes/Ingénieurs.....	32
Figure 23: Encodage et représentation.....	34
Figure 24 Échange de données via un réseau entre deux entités d'un système.....	35
Figure 25 Échange de données via un réseau entre deux entités d'un système.....	36
Figure 26 Relations entre le visuel (haut) et la triangulation vectorielle (bas).....	38
Figure 27: Illustration des données attributaires et de simulations.....	38
Figure 28 Aperçu de la normalisation du GML.....	40
Figure 29 l'interopérabilité technique.....	41
Figure 30 De la conception à l'exploitation.....	42
Figure 31 Cas d'usage conception / exploitation de la donnée.....	43
Figure 32 Description de LandInfra.....	44
Figure 33 De la donnée de conception à la base de données pérenne via un format d'échange robuste.....	44
Figure 34 Exemple de représentation de données atmosphériques (teneur en NO ₂).....	46
Figure 35 Modèle conceptuel de landinfra (LandInfra, 2016).....	48
Figure 36 schéma conceptuel simplifié pour décrire les passages à faune.....	49
Figure 37 Proposition de packages supplémentaires pour représenter les données environnementales..	50
Figure 38 Détail du Package Écologique.....	50
Figure 39 Détail de la classe aménagement.....	51
Figure 40 Détail de la classe Végétation de CityGML.....	52
Figure 41 Exemples d'aménagements.....	52
Figure 42 Détail du package Objectif environnemental.....	53
Figure 43 Détail du package Zone.....	53
Figure 44 Modèle conceptuel partiel pour la description des écoponts.....	55
Figure 45 Stockage et échange en utilisant des fichiers physiques.....	58
Figure 46 Stockage et échange de données par création d'interfaces.....	59
Figure 47 Stockage et partage de la donnée via une base de données.....	60
Figure 48 Stockage et partage de la donnée via un ensemble de BD.....	61
Figure 49 Partage de la donnée via le web.....	62
Figure 50 Proposition d'un modèle support pour l'historisation des données.....	63
Figure 51 Proposition du modèle pour l'historisation des données.....	65
Tableau 10 : comparaison de plusieurs définitions du « LOD » pour le BIM. Extrait de (Bolpagni, Luigi, & Ciribini, 2016).....	68

Tableau 11 : principales dimensions implicites du niveau de détail ; adapté de (Biljecki, Ledoux, & Stoter, 2014).....	69
Diagramme de classe	71
Diagramme de classes, avec ajout des classes de suivi pour l'historisation des données.....	72
Le diagramme de cas d'usage : Aménagement des clôtures aux abords d'un écopont.....	72
Le diagramme d'état : description des états par lesquels passe l'objet clôture au cours de son cycle de vie	73

Sommaire des tableaux

Tableau 1 : Les phases du projet.....	11
Tableau 2 Données reçues / créés : Objectif de l'opération.....	14
Tableau 3 : Données reçues / créés : définition du périmètre d'étude.....	16
Tableau 4 : Données reçues / créés : Inventaire des espèces.....	18
Tableau 5 Données reçues / créés : Identification des impacts	21
Tableau 6 Données reçues / créés : Identification des impacts	22
Tableau 7 Données créés et reçues : choix des composants de l'ouvrage.....	24
Tableau 8 Données reçues / créés : dimensionnement de l'ouvrage	25
Tableau 9 Comparaison de formats.....	39
Détail des attributs des classes (à mettre en annexe)	74