



HAL
open science

Mise en place d'une procédure de structuration des données SIG/CAO en vue de l'intégration de nouvelles techniques au sein d'une collectivité

Laura Charretteur

► To cite this version:

Laura Charretteur. Mise en place d'une procédure de structuration des données SIG/CAO en vue de l'intégration de nouvelles techniques au sein d'une collectivité. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2020. dumas-03254050

HAL Id: dumas-03254050

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03254050>

Submitted on 8 Jun 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ECOLE SUPERIEURE DES GEOMETRES ET TOPOGRAPHES

MEMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLOME D'INGENIEUR CNAM

SPECIALITE : Géomètre et Topographe

par

Laura CHARRETTEUR

Mise en place d'une procédure de structuration des données SIG/CAO en vue
de l'intégration de nouvelles techniques au sein d'une collectivité

Soutenu le 15 Octobre 2020

JURY

Monsieur Christophe CHARLET
Madame Françoise LAUVERNIER
Madame Nathalie THOMMERET

Président du jury
Maître de stage
Enseignant référent

Remerciements

Je tiens à remercier mes deux encadrantes Sophie Cougoulic, responsable du bureau d'études et Françoise Lauvernier, responsable de l'information géographique, pour leur accueil, leur disponibilité et leur bienveillance tout au long de mon stage. Notre collaboration et leurs conseils ont permis de mener à bien ce projet.

Merci à Guillaume Le Gars, chef de projet SIG référent Open Data, pour votre implication et pour le temps que vous m'avez accordé pour répondre à mes questions.

Un remerciement tout particulier à mon colocataire de bureau Stéphane Le Corre pour sa bonne humeur et sa convivialité.

Je tiens également à adresser un remerciement au service de la régie de l'éclairage public pour avoir pris le temps d'échanger avec moi lors de nos réunions de projet.

Merci également à toutes les personnes du Bureau d'Etudes Techniques et de Coordination (BETC) que j'ai rencontré : Gaëlle Le Bloch, Laure Le Dantec, Dorcas Lomel et Philippe Petiot.

Je tiens à remercier l'Ecole Supérieure des Géomètres et Topographes (ESGT) pour la diversité des enseignements présentés durant les trois ans de formation et qui m'ont permis d'acquérir des connaissances et des compétences dans des domaines qui me passionnent. Je remercie en particulier Nathalie Thommeret, ma professeure référente à l'ESGT pour son suivi et ses précieux conseils pour la rédaction de ce mémoire.

Liste des abréviations

BETC : Bureau d'Etudes Techniques et de Coordination

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CNIG : Conseil National de l'Information Géographique (CNIG)

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

DAO : Dessin Assisté par Ordinateur

DEPEM : Direction de l'Espace Public, des Etudes et de la Mobilité

DICT : Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux

DOSI : Direction Opérationnelle des Systèmes d'Information Géographique

DT : Déclaration de projet de Travaux

ETL : Extract Load Transform

FME : Feature Manipulation Engine

GU : Guichet Unique

IC : Investigations Complémentaires

LISP : List Processing (Traitement de listes)

PCRS : Plan de Corps de Rue Simplifié

QGIS : Quantum GIS

RGF93 : Réseau Géodésique Français 1993

NRTK : Network Real Time Kinematic

SGDBR : Système de Gestion de Base de Données Relationnelles

SIFT : Scale Invariant Feature Transform

SIG : Système d'information géographique

Glossaire

Attributs : Les attributs d'entités correspondent à une liste de caractéristiques définissant l'entité. *Exemple :* l'entité représentant un mât d'éclairage pourra avoir comme attributs sa hauteur, sa nature, sa famille etc.

BETC : Bureau d'études technique rattaché à la mairie de Lorient. Les principales compétences du BETC sont la gestion de l'espace public non bâti et la gestion des réseaux d'éclairage public, d'arrosage, de fibre, de chaleur et de gaz privé.

Bloc AutoCAD : Ensemble d'entités constituées de lignes, de points et de texte pour former une seule entité représentant le bloc. Les blocs sont des symboles utilisés pour représenter des objets sur le terrain ayant une géométrie complexe. *Exemple :* un candélabre, un panneau, un arbre, un regard, un banc.

Charte graphique : Document fixant les règles techniques de dessin des plans topographiques et des plans de récolements pour permettre l'intégration et l'exploitation des données CAO dans un SIG et pour avoir un ensemble de plans uniforme.

Collectivité : Structure administrative qui a la personnalité morale et qui exerce certaines compétences sur son territoire grâce à un processus de décentralisation. Elles sont autonomes dans la limite des compétences qu'elles détiennent, qui sont définies par la loi.

Données topographiques : Données collectées sur le terrain lors d'un levé topographique à l'aide d'appareils de mesure.

Données géographiques : « Les données géographiques permettent de préciser les localisations et descriptions de particularités géographiques par un composite de données spatiales et de données descriptives. » (aquaportail, 2015)

Données métiers : Elles sont générées par les services producteurs rattachés à la DEPEM (voirie, mobilité, espace vert, éclairage public).

Entités : Les entités dans un SIG correspondent à un objet avec une géométrie soit ponctuelle, linéaire ou surfacique accompagnée d'attributs. *Exemple :* Un objet ponctuel correspond à un appareil de type ensemble lumineux et peut avoir comme attributs sa hauteur, sa nature etc.

Erreur interne : Elle correspond à la cohérence de l'ensemble des mesures et ne prend pas en compte l'erreur liée au rattachement et au système de référence.

Erreur propre au réseau légal de référence : « l'erreur propre au réseau légal de référence correspond à l'imprécision des points du réseau servant au rattachement au système légal. » (CAD - La vérification des travaux topographiques, 2017)

Erreur de rattachement : « L'erreur de rattachement s'analyse, lorsque cela est possible, à partir des écarts sur les mesures permettant le lien entre le réseau légal de référence et le canevas lui-même. » (CAD – La vérification des travaux topographiques, 2017)

Géoréférencement : Opération qui consiste, grâce à un réseau de points de référence, à exprimer un levé topographique dans le bon système de coordonnées géodésique. Les géomètres appellent également ça le rattachement.

Guichet unique : Plateforme numérique qui recense l'ensemble des coordonnées des gestionnaires de réseaux dans le cadre de la réforme anti-endommagement DT-DICT. Elle permet d'alléger l'ensemble des démarches administratives.

Interopérabilité : Constitue un ensemble de règles permettant d'échanger, de partager et de réutiliser des données issues de différents systèmes d'information pour répondre à des besoins d'exploitation et de modélisation.

Incertitude maximale de localisation : Ecart entre la position exacte de l'ouvrage sur le terrain et la position mesurée.

Levé topographique : Opération consistant à collecter des données sur le terrain et à les représenter à l'échelle souhaitée en établissant un plan topographique.

Métadonnées : Ce sont des informations décrivant des données qui sont stockées dans des systèmes d'information. *Exemple :* la date de création de la donnée.

Plan topographique : Représentation en 2D ou 3D, à une échelle donnée, des éléments relevés sur le terrain à l'issue du levé topographique.

Plan de récolement : Plan décrivant les travaux véritablement réalisés à la fin d'un chantier par rapport au plan décrivant les travaux initialement prévus.

SIG : Un système d'information géographique permet d'organiser, de gérer, d'analyser et de restituer des données géographiques spatialement référencées permettant de contribuer à la gestion de l'espace.

Table des matières

I	LA REGLEMENTATION EN SIG-TOPOGRAPHIE	10
I.1	LA REFORME ANTI-ENDOMMAGEMENT DT-DICT	10
I.1.1	Contexte de mise en place de cette réforme	10
I.1.1.1	Mise en place de la réforme anti-endommagement	10
I.1.1.2	Domaine d'application de la réforme anti-endommagement	11
I.1.2	Rôles et responsabilités des acteurs	11
I.1.2.1	Les intervenants des réseaux et leurs rôles	11
I.1.2.2	Leurs obligations	11
I.1.3	L'arrêté du 15 février 2012	12
I.2	LES EXIGENCES REGLEMENTAIRES POUR LE SIG	13
I.2.1	La directive INSPIRE du 14 mars 2007	13
I.2.2	La loi pour une République Numérique du 7 octobre 2016	14
I.3	LE RESPECT DU CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES (CCTP)	14
I.3.1	Rattachement au système géodésique légal en vigueur	14
I.3.1.1	Système de coordonnées	14
I.3.1.2	L'arrêté du 16 septembre 2003	16
I.3.1.3	Précision du plan topographique	16
I.3.2	Contenu des plans topographiques	17
I.3.2.1	Paramètre des calques	17
I.3.2.2	Paramètre des familles d'objets	17
I.3.3	Contrôle de conformité des plans	18
I.3.3.1	Les objectifs du contrôle de conformité	18
I.3.3.2	Logiciels utilisés à Lorient Agglomération pour le transfert des plans topographiques dans son SIG	19
II	DIAGNOSTIC DU PATRIMOINE TOPOGRAPHIQUE	21
II.1	ANALYSE DE LA DONNEE TOPOGRAPHIQUE	21
II.1.1	Les différents fonds de plans utilisés au sein du BETC	21
II.1.2	Analyse qualitative	21
i)	Critères de qualité de la donnée topographique	21
iii)	Analyse de la commande topographique	23
iv)	Lien entre la topographie et les SIG à la ville de Lorient	24
II.1.3	Analyse quantitative des données existantes au regard des critères de qualité	24
II.1.3.1	Solutions apportées au regard de l'état des lieux	25
II.2	LE GROUPEMENT DE COMMANDE	27
II.2.1	Création du groupement de commande	27
II.2.2	Les objectifs de ce groupement	28
II.3	IMPACTS DE LA REFORME DT-DICT POUR LES COLLECTIVITES TERRITORIALES	29
II.3.1	Disposer d'un fond de plan compatible avec la classe A pour les réponses de DT-DICT ..	29
II.3.2	Construire le Plan de Corps de Rue Simplifié (PCRS)	29
II.3.2.1	Pourquoi un PCRS ?	29
II.3.2.2	La construction du PCRS et son contenu	30
II.3.2.3	Cas de Lorient Agglomération	31
II.3.3	Rationaliser les données des réseaux au sein d'une base de données	32
II.3.3.1	Disposer d'un SIG ou pas ?	32
II.3.3.2	Les enjeux du SIG pour la collectivité territoriale	32
II.3.3.3	Mise en place d'un référentiel topographique dédié aux plans de réseau d'éclairage public au BETC	33

III	MISE EN PLACE D'UNE PROCEDURE D'INTEGRATION DE LA DONNEE CAO DANS UN SIG.....	34
III.1	UTILISATION DES DIFFERENTS LOGICIELS.....	34
III.1.1	L'objectif final de ce transfert.....	35
III.2	PREPARATION DE LA GEODATABASE ET DES CLASSES D'ENTITES.....	37
III.2.1	Mise en place d'une géodatabase sous l'application ArcCatalog.....	37
III.2.2	Création des classes d'entités au sein de la géodatabase.....	37
III.2.2.1	Exploitation de l'outil « DAO vers géodatabase ».....	39
III.2.2.2	Connexion avec le serveur de base de données SIG via ArcGIS for AutoCAD.....	40
III.3	UTILISATION DE FME WORKBENCH.....	43
III.4	ANALYSE DES RESULTATS.....	44
III.4.1.1	Données d'objets sur les polygones.....	44
III.4.1.2	Génération de fichiers de forme.....	45
III.4.1.3	Conclusion.....	46
IV	ETUDE DE LA QUALITE DES DONNEES RECOLTEES PAR LE DRONE ANAFI.....	47
IV.1	ACQUISITION SUR LE TERRAIN.....	47
IV.1.1	Définition de la zone d'étude à Lorient.....	47
IV.1.2	Relevé photogrammétrique avec le drone ANAFI.....	48
IV.1.3	Levé GPS.....	48
IV.2	TRAITEMENT DES DONNEES SUR PIX4D MAPPER.....	49
IV.2.1	Traitement initial.....	49
IV.2.2	Géoréférencement du modèle 3D grâce aux mesures GPS.....	49
IV.2.3	Construction de l'orthoimage et formats de restitution sur Pix4D Mapper.....	51
IV.2.4	Bilan des étapes de traitement.....	53
IV.3	L'ORTHOIMAGE EN CLASSE A ?.....	54
IV.3.1	Définition de la précision de l'orthoimage.....	54
IV.3.2	Comparaison de l'orthoimage avec le plan de récolement.....	55
IV.3.3	Paramètres influant la précision des résultats.....	57
	Conclusion.....	59
	Bibliographie.....	61
	Table des annexes.....	64
	Liste des figures.....	80
	Liste des tableaux.....	81

Introduction

Actuellement, les collectivités territoriales sont impactées par la réforme anti-endommagement DT-DICT et doivent mettre en place des outils adaptés pour mieux gérer leur territoire. En tant que garantes du domaine public, il leur est donc nécessaire de recourir à la mise en place d'un système d'information géographique (SIG) pour mieux collecter, saisir, exploiter, analyser et communiquer les données relatives aux réseaux. La mise en place d'un SIG au sein du Bureau d'Etudes Techniques et de Coordination (BETC) de la ville de Lorient a pour but de favoriser la mise à jour et l'échange de la donnée topographique issue des plans de récolement réceptionnés ainsi que l'ensemble des données métiers qui y sont rattachées avec les autres services techniques de la ville.

Mon Travail de Fin d'Etudes (TFE) s'appuie sur un stage réalisé au sein d'une collectivité territoriale au BETC pour la Direction de l'Espace Public, des Etudes et de la Mobilité (DEPEM) dans le Pôle Cadre de Vie (PCV) à Lorient. L'objectif principal de ce travail consiste à trouver une procédure de transfert des données topographiques dans le serveur de base de données SIG de la ville de Lorient. La Direction Opérationnelle des Systèmes d'Information (DOSI) fait partie de la ville de Lorient et détient le monopole sur cette base de données, qui est alimentée grâce aux données collectées sur le terrain par les services producteurs rattachés à la DEPEM. Grâce à ces données, le portail de l'information géographique de la ville de Lorient est mis à jour et peut être utilisé par les différents services y ayant accès. Ce portail, appelé Logéo, comporte un ensemble de couches thématiques présentées dans une arborescence, en différentes rubriques comme par exemple, l'éclairage public, les réseaux, le transport, l'urbanisme, les services et les équipements publics. La procédure mise en place se concentre uniquement sur les données d'éclairage public (réseaux et appareils de type ensemble lumineux) et sera adoptée pour tous les autres types de réseaux et de mobiliers de l'espace public non bâti à la suite de mon stage.

Néanmoins, la DOSI ne procède pas au versement des données topographiques dans le serveur de base de données, d'où l'intérêt de trouver une méthode de transfert de la donnée CAO dans un SIG. Un lien entre le BETC et la DOSI est plus que nécessaire pour parvenir à mettre à jour et à partager les données via le portail de l'information géographique. Ce lien est indispensable puisque c'est la DOSI qui administre et gère le portail de l'information géographique de la ville, dans lequel le service de l'éclairage

public récupère des données pour les exploiter dans leur logiciel métier IMALUX. Il faut donc trouver une organisation spécifique à mettre en place pour tenir à jour le patrimoine communal lumineux. Plusieurs acteurs entrent en jeu dans le cadre de ce projet : le BETC, la DOSI et le service de la régie de l'éclairage public. Depuis quelques années, il y a une véritable volonté de partager et de mettre à jour les données de l'éclairage public au sein d'un référentiel topographique. Malgré plusieurs tests de transfert de la donnée CAO dans le SIG de la ville de Lorient, avant mon arrivée en stage par les membres du bureau, aucune méthode de versement des données et aucune organisation entre ces acteurs n'a été trouvée. Mon travail consiste tout d'abord à définir une méthode de transfert, de stockage et de mise à jour de la donnée et de coordonner le rôle de chacun par la suite.

De plus, lors des réponses aux DT-DICT, les collectivités territoriales doivent disposer d'un fond de plan suffisamment précis pour positionner les réseaux dont elles sont gestionnaires. Ce fond de plan, appelé Plan de Corps de Rue Simplifié (PCRS) ne sera construit qu'en 2026 par Lorient Agglomération qui en détient la compétence. En attendant, la collectivité dispose d'un drone qui pourrait éventuellement produire des orthoimages de haute qualité, d'une précision inférieure à 10 cm. Cette précision est indiquée par le Conseil National de l'Information Géographique (CNIG) et correspond à une précision de levé topographique de 1 à 10 cm, compatible avec un réseau classé en A (incertitude maximale de localisation de 40 cm). La production d'une orthoimage à la suite d'un relevé photogrammétrique, d'un relevé au GPS et de différents traitements sur le logiciel Pix4D Mapper fait l'objet de ce travail. Celui-ci permet de conclure si, oui ou non, l'orthoimage est suffisamment précise pour servir de fond de plan de positionnement des réseaux pour les réponses aux DT-DICT. Nous pouvons alors se poser légitimement la question suivante :

Comment définir le processus de gestion des données de l'éclairage public en matière de partage et de mise à jour et peut-on positionner ces réseaux sur une orthoimage produite avec le drone dans le cadre des DT-DICT ?

Ce mémoire se décline en 4 grands axes. Le premier expose les réglementations en SIG-topographie. Le deuxième axe présente un diagnostic du patrimoine topographique du BETC. Le troisième volet détaille la procédure mise en place pour procéder au versement des données CAO dans un SIG, permettant ainsi le partage de l'information entre les services techniques. Enfin, une dernière partie est consacrée à l'étude de la précision de l'orthoimage, produite à la suite d'un relevé photogrammétrique avec le drone.

I La réglementation en SIG-Topographie

Les collectivités territoriales font face à des préoccupations d'actualité en raison des contextes réglementaires. La loi anti-endommagement et la convergence entre la topographie et les SIG au sein d'un service nécessitent avant tout de se concentrer sur ces contextes réglementaires, présentés dans cette partie I.

I.1 La réforme anti-endommagement DT-DICT

I.1.1 Contexte de mise en place de cette réforme

Avec plus de 4 millions de kilomètres de réseaux (FNEDRE, 2017) souterrains, subaquatiques, aériens, de transports, de distributions sur le territoire français, il est nécessaire de connaître le positionnement des réseaux avant d'effectuer les travaux. La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010¹, dite « loi Grenelle II » a permis l'intégration au sein du code de l'environnement d'un volet traitant de la prévention des risques relatifs à la sécurité des réseaux divers. La mise en place de cette réforme impose donc à un maître d'ouvrage souhaitant réaliser des travaux sur le domaine public d'effectuer une Déclaration de Projet de Travaux (DT) auprès des exploitants de réseaux. Cette DT permet au maître d'ouvrage d'avoir connaissance de l'emplacement des réseaux à proximité de ses travaux. Par la suite, l'exécutant des travaux doit faire une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT). Ces déclarations se font sur une plateforme numérique appelée « guichet unique » (GU)².

I.1.1.1 Mise en place de la réforme anti-endommagement

L'arrêt d'application du décret « DT-DICT » a été publié au Journal Officiel du 22 février 2012 mais n'est entré en vigueur qu'à partir du 1^{er} juillet 2012. Cependant, les exploitants de réseaux avaient jusqu'au 31 mars 2012 pour s'enregistrer sur le téléservice

¹ Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour la protection de l'environnement. (Legifrance)

² Chapitre 5, section 1 : Travaux à proximité des ouvrages, article L1554-2 : « Il est instauré, au sein de l'Institut national de l'environnement industriel et des risques, dans le cadre d'une mission de service public qui lui est confiée pour contribuer à la préservation de la sécurité des ouvrages mentionnés au I de l'article L. 554-1, un guichet unique rassemblant les éléments nécessaires à l'identification des exploitants de ces ouvrages et mettant à la disposition du public et des collectivités territoriales des informations et moyens électroniques permettant de remplir les obligations prévues par le présent chapitre ou nécessaires à l'exercice de missions de service public [...] »

de déclaration de travaux du GU. Ce téléservice « Réseaux et canalisations » est instauré au sein de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) et remplace désormais les déclarations de travaux en mairie. Le 1^{er} juillet 2013, des Investigations Complémentaires (IC) sont rendues obligatoires pour les exploitants de réseaux.

I.1.1.2 Domaine d'application de la réforme anti-endommagement

La réforme anti-endommagement DT-DICT porte sur les réseaux classés « sensibles » pour la sécurité (éclairage public, produits chimiques, gaz combustibles, transport et distribution électrique, transport de personnes ou de marchandises, eau surchauffée) et les réseaux classés « non sensibles pour la sécurité » (eau potable, eau pluviale, fibre optique, réseaux électriques en très basse tension, assainissement et eaux usées).

I.1.2 Rôles et responsabilités des acteurs

I.1.2.1 Les intervenants des réseaux et leurs rôles

Les acteurs concernés par la réforme anti-endommagement sont principalement les gestionnaires de voirie, l'Etat, les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre, les responsables de projets, les exploitants de réseaux, les exécutants des travaux, la plateforme du guichet unique, les opérateurs, les concepteurs et les encadrants (Annexe 1).

I.1.2.2 Leurs obligations

Face à cette réglementation, les collectivités gestionnaires des réseaux ont plusieurs obligations (AMF, 2012) :

- L'enregistrement des coordonnées et des réseaux sur le téléservice du GU,
- L'utilisation des meilleurs fonds de plan disponibles³ : Disposer de réseaux conformes en classe A. Elles devront disposer de plans conformes et répondre aux échéances réglementaires (Tableau 1) :

³ L'article 7 de l'arrêté du 15 février 2012 cite que « ...le fond de plan employé est le meilleur lever régulier à grande échelle disponible, établi et mis à jour par l'autorité publique locale compétente en conformité avec les articles L.127-1 et suivants du Code de l'Environnement et selon le format d'échange PCRS établi et mis à jour par le Conseil National de l'Information Géographique ».

	Réseaux non sensibles enterrés à la sécurité		Réseaux sensibles enterrés à la sécurité	
	En unité urbaine	Hors unité urbaine	En unité urbaine	Hors unité urbaine
Date limite	A compter du 1 ^{er} janvier 2026	A compter du 1 ^{er} janvier 2032	A compter du 1 ^{er} janvier 2020	A compter du 1 ^{er} janvier 2026
Commentaires	Les gestionnaires de réseaux non sensibles enterrés situés dans une unité urbaine sont tenus de classer leurs réseaux en classe A sur la base du PCRS .	Tous les gestionnaires de réseaux hors unité urbaine ET dans une unité urbaine sont tenus de classer en A leurs réseaux sur la base du PCRS .	Les gestionnaires de réseaux sensibles enterrés situés dans une unité urbaine sont tenus de classer leurs réseaux en classe A sur la base d'un PCRS, si possible .	Les gestionnaires de réseaux sensibles enterrés situés hors unité urbaine sont tenus de classer leurs réseaux en classe A sur la base du PCRS .

Tableau 1 : Dates d'échéances de mise en place du PCRS en fonction des zones urbaines et non urbaines, *source : ofctp (Ouest Formation Conseil Travaux Publics)*

Les réseaux doivent être localisés sur la base d'un fond de plan suffisamment précis compatible avec la classe A (incertitude maximale de localisation de 40 cm). Cela correspond à une précision du relevé entre 1 et 10 cm⁴.

- Procéder à des IC : Si des réseaux souterrains sensibles à la sécurité ont une incertitude maximale de localisation (IML) supérieure à 40 cm (classe A).

I.1.3 L'arrêté du 15 février 2012⁵

i) Les classes de précision

Cet arrêté décrit 3 classes de précision⁶ cartographique pour les ouvrages souterrains sensibles à respecter pour garantir la sécurité des travaux à proximité des réseaux (Tableau 2) :

⁴ « Précision centimétrique : Il s'agit d'une précision de levé comprise entre 1 et 10 cm, de façon finalement à être conforme aux exigences de la classe A du décret ». (CNIG)

⁵ Arrêté du 15 février 2012 pris en application du chapitre IV du titre V du livre V du code de l'environnement relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

⁶ « La classe de précision des données de localisation des réseaux doit obligatoirement être fournie par l'exploitant sur le récépissé de la déclaration de projet de travaux (DT). Elles permettent de renforcer la sécurité lors de l'exécution des travaux grâce à une meilleure connaissance du sous-sol. Les résultats de ces recherches doivent figurer dans les dossiers de consultation des entreprises (DCE) ou dans le dossier technique de chaque commande. » (DICTservices.fr)

Classe A	Classe B	Classe C
Si réseau rigide : IML < 40cm Si réseau flexible : IML < 50cm	40cm < IML <= 1,5m	IML > 1,5m

Tableau 2 : Valeurs des incertitudes maximales de localisation en fonction des classes de précision, *source* : guide de l'AIPR

ii) Les Investigations Complémentaires (IC)

Des IC peuvent être menées lorsque la réponse à une DT-DICT par l'exploitant de réseau démontre une précision de localisation des réseaux insuffisante. La répartition (Tableau 3) entre l'exploitant de réseau et le responsable de projet est la suivante (Sogelink, 2020) :

Plan de classe B et classement en B ou A après IC	Plan de classe B et classement en C après IC	Plan de classe C
100% financé par le responsable de projet.	100% financé par l'exploitant de réseaux.	50% financé par l'exploitant et 50% financé par le responsable de projet.

Tableau 3 : Financement des travaux de géodétection

I.2 Les exigences réglementaires pour le SIG

I.2.1 La directive INSPIRE du 14 mars 2007

Cette directive européenne a pour objectif de favoriser la diffusion et le partage des données géographiques et de leurs métadonnées. Elle a vocation d'établir une infrastructure d'information géographique qui correspond à un ensemble de services mis à disposition sur Internet. Les 3 principaux services dans Inspire sont :

- Les services de recherche (Géocatalogue⁷) où Lorient Agglomération publie les points géodésiques,
- Les services de consultation via la plateforme Géoportail qui offre des services de consultation WMS : WMS vecteur (adresse, bâtiments, hydrographie, réseau de

⁷ Le Géocatalogue, alimenté par les acteurs publics, est une des composantes principales donnant accès aux métadonnées composées en France. Il répond à la directive Inspire et a été mis en œuvre par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM). Il est accessible sur la page d'accueil du Géoportail ou avec le lien <http://geocatalogue.fr>.

transport etc.) et WMS raster (ortho-imagerie, ortho-imagerie HR, parcelles cadastrales),

- Les services de téléchargement permettant au public et aux collectivités territoriales de télécharger des données de producteurs divers et de les utiliser dans un logiciel SIG comme QGIS par exemple.

Dans le cadre des réponses aux DT-DICT, cela constitue un avantage pour les acteurs à statut privé ou public. Effectivement, le partage des informations a vocation d'améliorer la connaissance des réseaux. Lorient Agglomération a rencontré les différentes mairies de l'agglomération en 2014 pour présenter les enjeux de l'information géographique. Par conséquent, le contexte juridique de l'information géographique a pris place dans les discussions car la directive INSPIRE oblige le catalogage et la publication des données. Cependant, les collectivités territoriales ne disposent pas toutes d'outils et d'expertise permettant de répondre aux enjeux, excepté le service la DOSI pour la ville de Lorient.

I.2.2 La loi pour une République Numérique du 7 octobre 2016⁸

Cette loi vise à partager l'ensemble des données comme un bien commun au public. Les collectivités territoriales sont ainsi visées par une mission de « service public de la donnée » consistant à mettre à disposition et à diffuser publiquement des données de référence (le linéaire de voirie ou des fonds de plan comme par exemple : une orthophoto ou un fond cadastral).

I.3 Le respect du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP)

I.3.1 Rattachement au système géodésique légal en vigueur

I.3.1.1 Système de coordonnées

En France, il existe deux catégories de canevas : Le canevas planimétrique qui repose sur le Réseau Géodésique Français 1993 (RGF93) et le canevas altimétrique qui se base sur le Nivellement Général de la France (NGF). Afin de respecter les précisions imposées par les différents textes de loi, les arrêtés, les directives et les normes

⁸ La loi pour une République Numérique est une loi française promulguée le 7 octobre 2016 par la secrétaire d'Etat au numérique Axelle Lemaire.

européennes, il est obligatoire de géoréférencer les levés topographiques. Un premier décret du 26 décembre 2000, publié au Journal Officiel le 28 décembre 2000 définit les systèmes de référence planimétrique et altimétrique pour la métropole et les 4 départements d'outre-mer. Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM), en zone marine, ainsi que l'Institut National de l'Information Géographique (IGN), en zone terrestre, sont chargés d'entretenir et de diffuser les informations relatives à ces systèmes et les éléments nécessaires pour passer des systèmes les plus couramment utilisés au système de référence national. Un deuxième décret d'application du 3 mars 2006 fait ensuite son apparition car le système légal n'était pas encore vraiment utilisé par les services publics car l'article 3 du décret de 2000 permettait encore d'utiliser l'ancien système. Le CNIG décide alors de mettre en place un nouveau décret obligeant les services publics à utiliser réellement le nouveau système de référence légal RGF93 avec les 9 projections coniques conformes associées. A partir du 10 mars 2009, il y a une obligation de rattachement à ce système avec une période transitoire accordée de 3 ans à compter de la date de publication du présent décret. Cela permet de mutualiser les données provenant de sources différentes et d'utiliser une projection où les altérations linéaires⁹ sont fortement réduites¹⁰. Le CCTP mis en place par Lorient Agglomération indique que les coordonnées XYZ doivent être rattachées par le prestataire au système géodésique légal en vigueur :

- Pour la composante altimétrique : rattachement au système NGF-IGN69,
- Pour la composante planimétrique : rattachement au système RGF93 avec sa projection conique conforme zone 7 appelée « RGF93-CC48 »¹¹.

Pour aider les différents partenaires (géomètres, communes, entreprises etc...) à géoréférencer leurs plans topographiques, Lorient Agglomération a instauré un référentiel qui contient l'ensemble des stations de référence de l'agglomération, disponible sur le

⁹ Les altérations linéaires sont des déformations connues et mesurables, qui résultent de la projection d'une surface courbe sur un plan.

¹⁰ Afin d'atténuer les altérations linéaires importantes du Lambert 93 (projection unique en France associée au RGF93), 9 nouvelles projections coniques conformes sécantes de type Lambert ont été mises en place à la suite du décret n° 2006-272 du 3 mars 2006 modifiant le décret du 26 décembre 2000.

¹¹ Chaque zone de la projection conique conforme 9 zones correspond à une projection portant la dénomination « CCxx » où xx désigne le parallèle de latitude ronde, de 42° Nord à 50° degré Nord. Chaque zone est recouverte à 50% de la zone précédente et de 50% de la zone suivante.

Géocatalogue, provenant de sources diverses : de plans topographiques ou de points levés pour des études spécifiques.

I.3.1.2 L'arrêté du 16 septembre 2003

Une réglementation a été instaurée par une commission du CNIG, sous forme d'un arrêté en date du 16 septembre 2003 pour les levés topographiques réalisés pour les collectivités territoriales. Celui-ci permet de classer un tronçon d'ouvrage dans l'une des 3 classes de précision A, B ou C décrite par l'arrêté du 15 février 2012. La vérification d'une classe de précision est définie à l'article 5 de l'arrêté du 16 septembre 2003. Pour qu'une classe de précision soit respectée, il faut que les 3 conditions, détaillées en Annexe 2 et définies dans l'arrêté, soient vérifiées. Ces 3 conditions sont les suivantes :

- L'écart moyen en position de l'échantillon est inférieur à $[xx] * \left(1 + \frac{1}{2 * C^2}\right) cm$,
- Parmi les N points testés, le nombre N' d'écarts qui dépassent le premier seuil $T = k * [xx] * \left(1 + \frac{1}{2 * C^2}\right)$ ne doit pas excéder $0.01 * N + 0.232 * \sqrt{N}$,
- Aucun écart en position dans l'échantillon n'excède le second seuil de tolérance $T = 1,5 * k * [xx] * \left(1 + \frac{1}{2 * C^2}\right)$.

Le CCTP indique les classes de précision à respecter pour les différentes catégories de travaux topographiques. (Annexe 3)

I.3.1.3 Précision du plan topographique

La classe de précision correspond à la composition des erreurs internes, des erreurs de rattachement et de l'erreur propre au réseau légal. Les contextes réglementaires (Figure 1) impactent directement l'utilisation de la donnée topographique et sa précision.

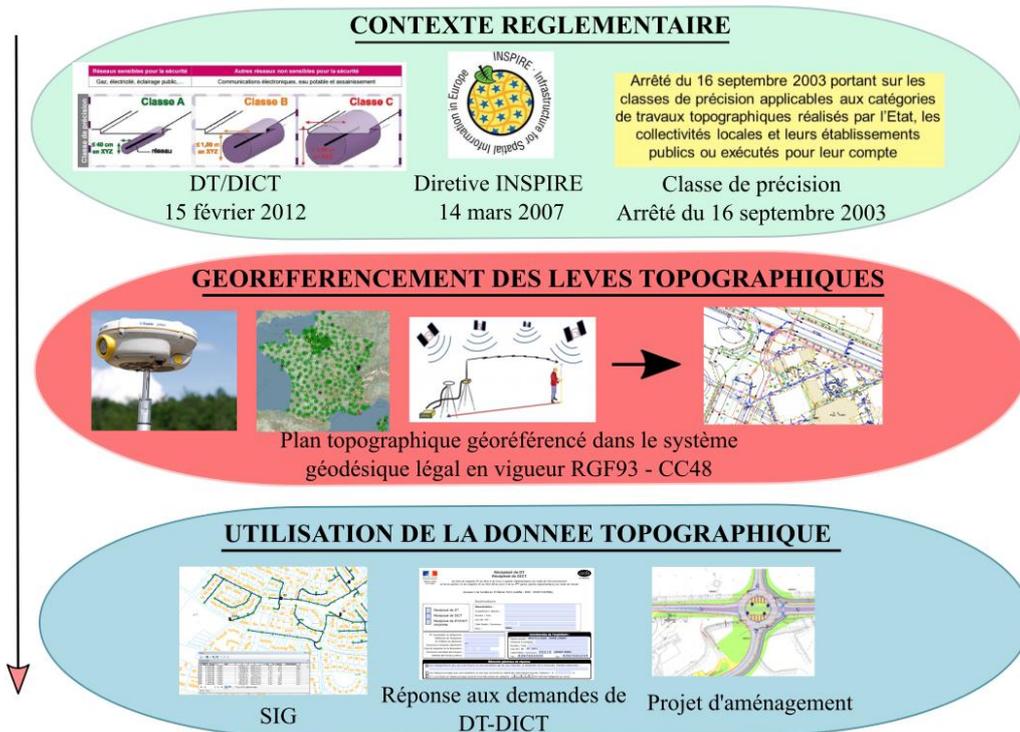


Figure 1 : Bilan fonctionnel des prestations topographiques au regard des contextes réglementaires.

I.3.2 Contenu des plans topographiques

I.3.2.1 Paramètre des calques

Les plans topographiques et de récolement doivent respecter la nomenclature des calques indiquée dans le CCTP pour garantir une structuration du plan en vue de constituer le Plan de Corps de Rue Simplifié¹² (PCRS). (Annexe 4)

I.3.2.2 Paramètre des familles d'objets

Une nomenclature des blocs du plan topographique est présente dans le CCTP (Annexe 5). Chaque bloc du plan fait partie d'une famille d'objets (voirie, réseaux secs, signalisation, foncier, mobilier urbain etc.).

¹² Le PCRS est « un fond de plan unique constitué de données structurées et normalisées représentant en deux dimensions une portion de territoire : un espace public comportant majoritairement la voirie et les affleurants (plaques égouts, télécom, bouches à clef...). Ces éléments doivent être fournis par les différents gestionnaires avec une précision dite de « classe A ». (SICTIAM, 2019)

I.3.3 Contrôle de conformité des plans

Depuis la création du BETC en 2005 et à chacune de leurs commandes topographiques, Lorient Agglomération réalise un contrôle de conformité de chaque plan. Celui-ci est ensuite transmis au BETC selon des délais qui varient. Si le plan n'est pas conforme à la charte graphique, il est renvoyé pour correction au prestataire l'ayant réalisé jusqu'à ce qu'il soit conforme à la charte graphique et aux exigences réglementaires.

I.3.3.1 Les objectifs du contrôle de conformité

Ce contrôle permet à Lorient Agglomération de bénéficier d'un patrimoine topographique conforme et uniforme en vue d'élaborer le PCRS avant 2026 et de centraliser les informations dans une base de données topographique (BDT) et de récolement (REC). Depuis la délégation du contrôle de conformité à Lorient Agglomération, le BETC bénéficie de plans contrôlés. Par conséquent, la procédure de transfert s'applique sur les plans contrôlés, à quelques exceptions. Dans le cadre de mon transfert des données CAO dans un SIG, la charte graphique sert de support pour établir une correspondance entre les calques du plan DWG et les couches SIG mises en place en conservant l'ensemble des attributs des blocs du plan DWG et des données d'objets sur les polygones (Figure 2).

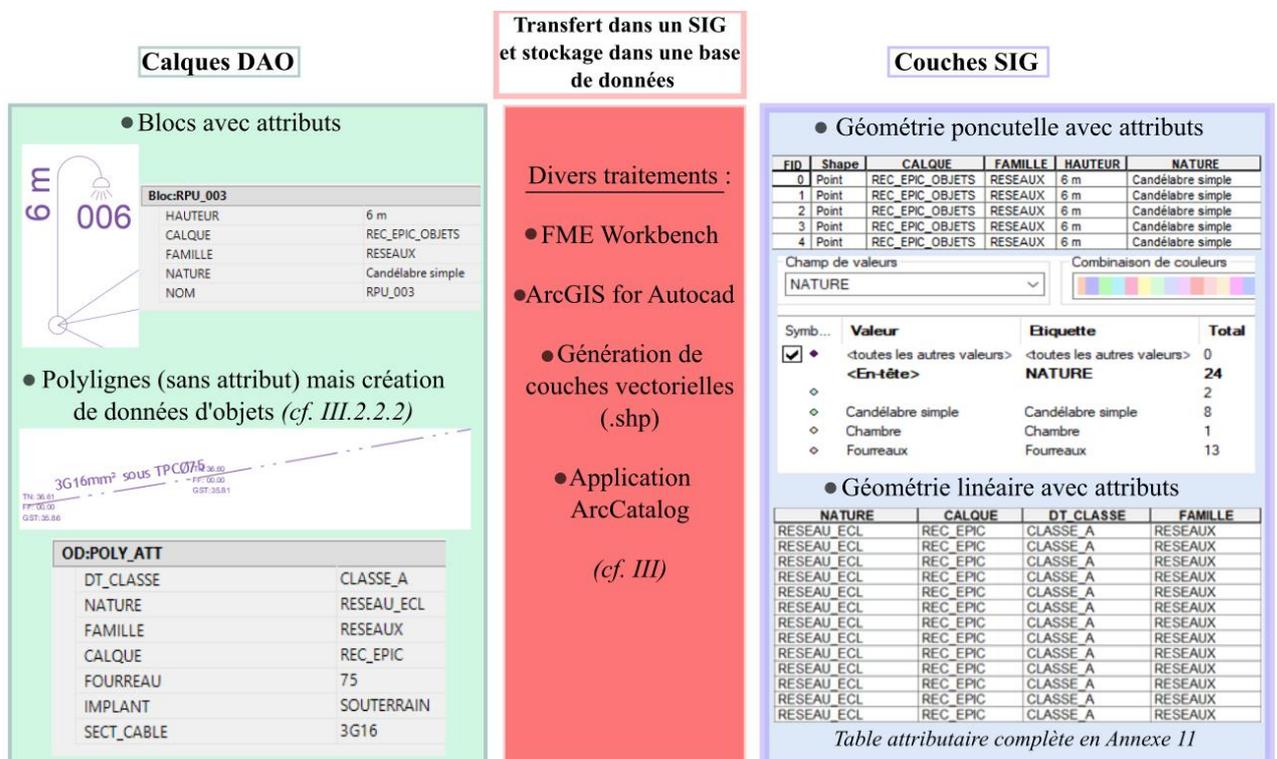


Figure 2 : Passage des blocs et des polygones du plan .DWG à des géométries ponctuelles et linéaires accompagnées d'attributs dans un SIG

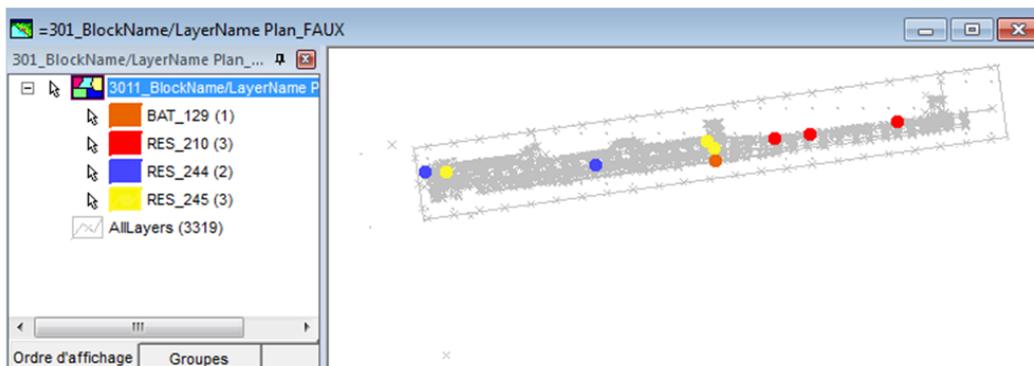
I.3.3.2 Logiciels utilisés à Lorient Agglomération pour le transfert des plans topographiques dans son SIG

Autocad, Covadis	FME	PostGIS	Géomédia Pro
Réalisation de plans topographiques et de calculs topométriques	Conversion des données	Stockage des données	Détection des erreurs dans le plan (si non-conformité avec la charte graphique)

Tableau 4 : Logiciels utilisés pour le contrôle des plans et l'intégration dans le SIG de Lorient Agglomération

Les outils utilisés à Lorient Agglomération sont présentés dans le tableau 4 et le cheminement de cette vérification est toujours le même :

- Vérification de l'arrêté du 16 septembre 2003,
- Un premier contrôle du fichier AutoCAD grâce à un fichier .DWS de la charte graphique. Cette première vérification s'effectue par l'intermédiaire de l'outil « Configurer les normes » d'AutoCAD et permet de vérifier que le dessin est aux normes par rapport à la charte graphique,
- Un deuxième contrôle avec des requêtes plus complexes du plan .DWG sur le logiciel Géomédia Pro. Cette étape permet de vérifier si les attributs des blocs sont correctement renseignés, si les blocs sont insérés dans les bons calques (Figure 3), si les types de lignes et si les blocs du dessin sont bien conformes à la charte graphique.



Cette requête démontre que les blocs ci-dessus ne sont pas utilisés dans le bon calque.

Figure 3 : Contrôle des calques via Géomédia Professional. Source : Lorient Agglomération

Sur AutoCAD et conformément à la charte graphique créée par Lorient Agglomération, les blocs doivent se trouver dans des calques spécifiques. Or, sur la figure 3, le logiciel Géomédia Pro détecte qu'un bloc nommé « BAT_129 » ne se trouve pas dans le bon calque, que trois blocs nommés « RES_210 » dans la charte graphique, deux blocs nommés « RES_244 » et trois blocs nommés « RES_245 » ne sont également pas dans les bons calques. Cet algorithme de Géomédia Pro est utile pour repérer et corriger des erreurs de non-conformité du plan.

II Diagnostic du patrimoine topographique

L'état des lieux des données topographiques a pour but d'évaluer la qualité de l'ensemble des données et de voir la possible intégration de celles-ci dans une base de données pour que le service d'éclairage public puisse en bénéficier. Dès lors, ils chargeront ces données dans leur logiciel métier de gestion du réseau d'éclairage public IMALUX¹³. Cet état des lieux a également permis de restructurer l'ensemble des plans du bureau et de trouver une solution à adopter pour recenser chaque plan de récolement dès sa réception.

II.1 Analyse de la donnée topographique

II.1.1 Les différents fonds de plans utilisés au sein du BETC

La constitution d'un fond de plan, dans le cadre de la réforme DT-DICT est une problématique pour les collectivités territoriales. Effectivement, ce fond de plan doit être d'une précision entre 1 et 10 cm (arrêté du 16 septembre 2003) compatible avec la classe A. Concernant les projets d'aménagement de l'espace public, les fonds de plan utilisés varient au sein du BETC et ce sont des orthophotos (datant de 2013 et de 2016), des fonds cadastraux ou des fonds de plans topographiques qui sont utilisés.

II.1.2 Analyse qualitative

L'analyse qualitative et quantitative font parties du diagnostic. La première permet de définir et de qualifier la qualité des plans et le fonctionnement du bureau d'études lors des commandes topographiques, tandis que la deuxième permet de quantifier, par des données numériques et en fonction de l'analyse qualitative, la qualité du contenu topographique présent au sein de la collectivité.

i) Critères de qualité de la donnée topographique

L'évaluation du plan topographique se décompose en différents critères (Pornon et Reboud, 2013) qui sont illustrés sur la figure 4 et définis dans le tableau 5 :

¹³ IMALUX est une application permettant une gestion autonome du réseau d'éclairage public en consultation, mise à jour et cartographie. C'est un maillon de la gamme du produit IMAVUE servant à la gestion du patrimoine communal. IMALUX modélise ainsi, sous la forme d'un réseau topologique constitué de nœuds (appareils) et d'arcs (câbles), le réseau d'éclairage public.

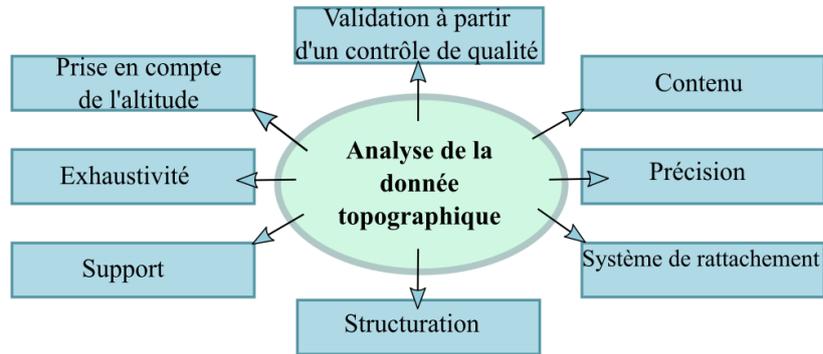


Figure 4 : Evaluation de la qualité de la donnée topographique d'après Pornon et Reboud

Contenu	Précision	Système de rattachement	Structuration	Support (type de logiciel)	Validation à partir d'un contrôle de conformité	Exhaustivité	Prise en compte de l'altitude
Il dépend du besoin du service. Le plan topographique peut comporter des familles d'objets qui varient selon le besoin de l'organisme.	La précision du plan dépend de l'échelle, généralement au 1/200ème.	Les plans topographiques doivent être rattachés en RGF93-CC48.	Le CCTP permet de gérer la structuration du dessin en imposant des règles à respecter concernant la nomenclature des objets, définie dans la charte graphique.	Le support sur lequel est réalisé le plan dépend du type de logiciel utilisé par le prestataire, s'il est numérique. On peut également retrouver des supports papiers.	Le contrôle de conformité du plan fait partie des critères de qualité. Il sert à faciliter son intégration dans un SIG et à contrôler la précision géométrique imposée.	L'exhaustivité des plans est le pourcentage d'éléments terrain représentés sur le plan par rapport à ce qui a été demandé et qu'il fallait inclure.	Certains points du plan topographique n'ont pas d'altitude.

Tableau 5 : Définition des critères de qualité

Ces critères peuvent être hiérarchisés selon leur ordre d'importance. L'exhaustivité du plan est primordiale pour avoir tous les éléments nécessaires du terrain. La précision du plan permet un bon positionnement des éléments terrain, donc il faut qu'elle réponde aux réglementations (précision de levé de 1 à 10 cm) et qu'elle soit suivie d'un contrôle. Le géoréférencement du levé est indispensable pour pouvoir rassembler au sein d'un référentiel topographique tous les plans dans un même système. Le critère de conformité doit également être effectué afin d'établir une connexion entre le plan topographique et les tables de la base de données.

ii) Analyse qualitative des plans d'éclairage public

Le tableau 6 évalue la qualité des données topographiques du BETC en fonction des critères de qualité selon différentes couleurs rouge (pas validé), vert (validé), orange

(mitigé). En ce qui concerne la précision (inconnue car aucun fichier de calculs présents) du plan et le système de rattachement (variable en fonction des plans), la plupart des plans du BETC ne valide pas ces critères de qualité. Le contrôle de qualité correspond au contrôle de conformité réalisé par Lorient Agglomération qui est désormais, depuis 2015, mis en œuvre et permet de disposer de plans de qualité.

Contenu	Précision	Système de rattachement	Structuration	Support	Prise en compte de l'altitude	Exhaustivité	Contrôle de qualité
<p>Le contenu porte sur les familles d'objets présentés dans le plan. Pour les plans d'éclairage public, les blocs de la famille « RESEAUX » sont bien dans le plan mais certains plans « sources » ont été modifiés par le BETC et il manque des blocs ou des polygones représentant le filaire du réseau. Le fichier d'origine n'existe plus, ce qui dégrade l'exploitation du plan.</p>	<p>Aucune information sur la précision du plan. Différents fichiers devraient se trouver dans le dossier pour évaluer la précision :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fichiers de calculs (calage, rattachement), - Listing des résultats (stations et points levés), - Le détail de la méthodologie employée sur le terrain pour connaître la précision du levé (méthodes de rattachement, méthodologie pour les cheminements et rattachements planimétrique et altimétrique), - Fiches caractéristiques des appareils utilisés, - Fichiers de calculs. 	<p>Le système de rattachement varie selon les plans :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Certains sont dans l'ancien système NTF (Lambert II), - Certains sont dans un système local de coordonnées, - Certains sont bien rattachés au système de référence légal en vigueur RGF93-CC48. 	<p>La délégation du contrôle de conformité des plans a été effectuée en 2015 à Lorient Agglomération. Avant 2015, personne ne contrôlait les plans du BETC, par conséquent, le plan n'est pas conforme au CCTP.</p> <p>Plans avant 2015 : Plans non conforme au CCTP. Des défauts dans le plan : symboles des blocs différents selon les plans, les blocs ne sont pas dans les bons calques, la nomenclature des calques est propre à l'entreprise ayant réalisée le plan. Certains plans sont géoréférencés mais non conforme à la charte tandis que d'autres ne sont pas géoréférencés mais conforme à la charte.</p> <p>Plans après 2015 : Plans conforme à la charte graphique du CCTP.</p>	<p>Les supports de plan peuvent être Mensura, Autocad, MicroStation ou des supports papiers. Dans 85 % des cas, les plans sont réalisés sur Autocad et dans 15 % sur MicroStation.</p>	<p>L'altitude n'est pas toujours prise en compte.</p>	<p>Le pourcentage d'éléments terrain représentés sur le plan répond à ce qui était demandé. Néanmoins, certains plans ont été supprimés par le service donc l'exhaustivité n'est plus la même.</p>	<p>A présent, Lorient Agglomération contrôle tous les plans commandés par le BETC.</p>

Tableau 6 : Etat des lieux des données topographiques existantes au sein du BETC

iii) Analyse de la commande topographique

Un marché public est « un contrat conclu à titre onéreux par un ou plusieurs acheteurs publics¹⁴ avec un ou plusieurs opérateurs économiques publics ou privés, pour répondre à leurs besoins en matière de travaux, fournitures ou de services. »¹⁵. Le BETC passe des marchés (Annexe 6) avec des géomètres ou des entreprises exécutantes certifiées pour le géoréférencement des réseaux pour réaliser des prestations topographiques. Des procédures sont à respecter pour effectuer la passation du contrat qui dépendent du montant du marché et de son objet. Le choix du candidat doit se faire par le pouvoir

¹⁴ Les acheteurs publics sont l'Etat, les collectivités territoriales et les établissements publics.

¹⁵ Economie.gouv.fr, 2017.

adjudicateur, tout en respectant les principes fondamentaux¹⁶ du code de la commande publique. Avant tout projet, le maître d'ouvrage doit obligatoirement consulter le GU. Le processus pour obtenir l'emplacement des réseaux par les exploitants des réseaux est présenté en Annexe 7.

iv) Lien entre la topographie et les SIG à la ville de Lorient

Les modes de fonctionnement sont très divers d'un organisme à l'autre et peuvent s'expliquer à travers 3 situations fréquentes au sein des collectivités territoriales :

- Pour certaines, le service en charge de la coordination du SIG ne gère pas la donnée topographique. Par conséquent, les services techniques vont commander, gérer, utiliser et archiver les plans topographiques ou de récolement à leur propre convenance (cas du BETC),
- Pour d'autres, le service en charge de la coordination du SIG est responsable et réalise les commandes topographiques et le versement de ces données dans le SIG,
- Enfin, le service en charge de la coordination du SIG pourra proposer des solutions permettant une intégration plus aisée des données topographiques dans le SIG.

Des entretiens se sont déroulés afin de connaître le fonctionnement des différentes collectivités et entreprises, de manière à avoir un avis extérieur sur la façon de faire de chacun, en matière de transfert et de mise à jour de la donnée. (Annexe 8)

II.1.3 Analyse quantitative des données existantes au regard des critères de qualité

L'analyse quantitative consiste à évaluer la proportion de plans de « qualité » selon les critères de qualité. Grâce à une analyse visuelle du plan dans un premier temps et une analyse plus poussée dans un second temps, la conclusion, présentée dans le tableau 7 est la suivante. Sur un total de 97 plans d'éclairage public analysés :

¹⁶ L'article L.3 du code de la commande publique énonce 3 grands principes : La liberté d'accès à la commande publique, l'égalité de traitement des candidats et la transparence des procédures. Les acheteurs publics ont l'obligation de respecter ces principes lors des procédures de passation des marchés publics.

Précision	Système de rattachement	Structuration	Support
Aucune information sur la précision du levé topographique	41%	53%	Autocad
Contrôle	Exhaustivité	Altitude	
48%	41 % (Plan d'origine introuvable / a été supprimé ou modifié par le service)	20%	

Tableau 7 : Diagnostic qualitatif des données topographiques au sein du BETC

II.1.3.1 Solutions apportées au regard de l'état des lieux

Même si depuis 2015, Lorient Agglomération établi un contrôle de structuration et de qualité du plan, plusieurs problèmes sont présents pour les plans antérieurs à 2015. Les deux principaux problèmes sont une précision du plan d'éclairage public inconnue et/ou un plan d'éclairage public non conforme à la charte graphique du CCTP. Par conséquent, des solutions ont été envisagées pour remédier à ces problèmes.

i) Si la précision du plan d'éclairage public est inconnue

Pour connaître le positionnement précis du réseau d'éclairage public, il faut réaliser, en théorie, des travaux de géodétection¹⁷, sans fouille ouverte, pour mettre à jour la cartographie des réseaux enterrés, au regard de la réforme DT-DICT. Néanmoins, ces opérations prennent du temps et sont coûteuses. Elles peuvent aller de 900€ à 1200€ la journée HT, en fonction des prestataires, de la superficie de la zone à géodétester, de la méthode employée et du nombre de réseaux à repérer. Pour les travaux neufs, la loi impose désormais de procéder à un récolement en fouille ouverte pour classer les réseaux en classe A et obtenir un Plan Géoréférencé des Ouvrages Construits (PGOC).

ii) Si le plan n'est pas conforme à la charte graphique

Les plans anciens n'ayant pas été contrôlés nécessitent une configuration des normes, grâce au fichier DWS¹⁸ de la charte graphique. Pour se faire, il faut paramétrer le chemin d'accès au fichier de normes de la charte graphique et procéder à la vérification des

¹⁷ Il y a deux méthodes de géodétection : la détection magnétique et la détection par géoradar. La première détecte tous les câbles électriques, les fourreaux divers, les réseaux d'eaux pluviales et d'assainissement et différents branchements. La deuxième, par géoradar, permet une représentation du sous-sol depuis la surface et identifie des ouvrages souterrains en plastique, béton ou électriques jusqu'à 3 mètres de profondeur.

¹⁸ C'est le fichier de normes associé au dessin courant qui permet de configurer les normes d'un projet.

normes. Cette configuration s'applique aux calques, aux types de ligne, aux styles de texte et aux styles de cote AutoCAD.

Exemple 1: Le calque « Lorient Agglomération_Charte Récolement\$0\$REC_EPIC_TXT » n'est pas normalisé car il n'est pas présent dans la nomenclature des calques (Figure 5). Il faut donc déplacer les blocs contenus dans ce calque vers le bon calque.

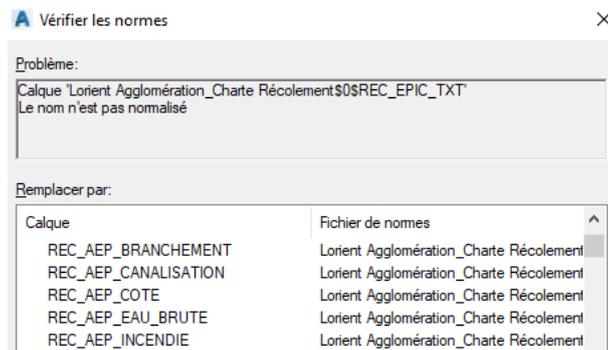


Figure 5 : Processus de vérification des normes du plan .DWG

Une autre solution pour corriger ces erreurs est l'utilisation de scripts Lisp¹⁹ (Michaël Prévieu, 2015). AutoCAD dispose d'une multitude de fonctionnalités mais il peut en manquer. C'est pour cette raison que des scripts de programmation²⁰ Lisp peuvent être chargés et exécutés dans AutoCAD avec la commande « APPLOAD » afin de pallier ce manque.

Exemple 2 : La charte graphique contient un bloc d'identifiant « RES_355 » placé dans le calque « BDT_EPIC_OBJET ». Sur le plan topographique, l'identifiant du bloc est « RES_335 » au lieu de « RES_355 ». Un script Lisp avec une fonction « CHANGE_SUFF » (Figure 6) permet de modifier directement le nom pour le remplacer par le nom correspondant. Cette erreur est détectée lorsque l'utilisateur génère une couche vectorielle (.shp) destinée à stocker des données vectorielles dans un SIG correspondant aux blocs, par sélection de leurs noms. En cas d'erreur dans le nom du bloc, il sera éliminé

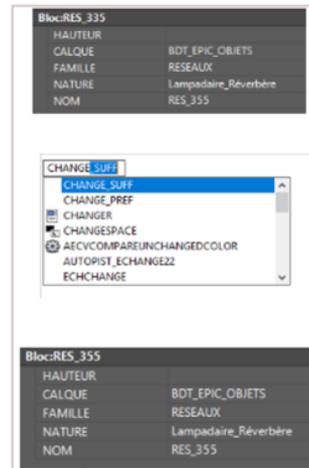
¹⁹ Lisp est un langage de programmation qui est utilisé dans AutoCAD, pour exécuter des fonctions manquantes du logiciel.

²⁰ Dans son TFE en 2015 intitulé « Mise à jour d'une chaîne globale d'intégration de données topographiques dans un Système d'Information Géographique », Michaël Prévieu s'est consacré au développement de scripts Lisp permettant un contrôle de conformité des plans et a également développé des outils de contrôle avec Python.

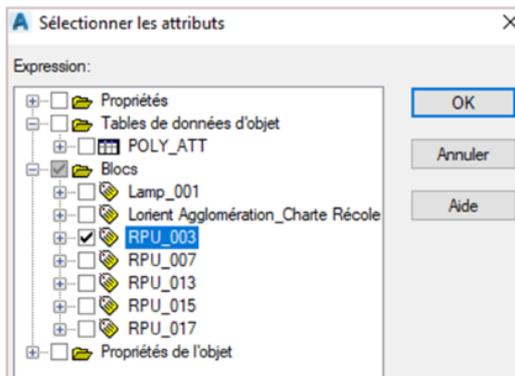
par filtrage lors de la sélection et ne sera pas transféré dans la couche vectorielle. Il faut donc renommer le bloc.

```
(defun c:change_suff (/ old new name)
  (vl-load-com)
  (if (and
    (setq old (getstring "\nEnter le suffixe à changer: "))
    (setq new (getstring "\nEnter le nouveau suffixe: "))
  )
    (vlax-for b (vla-get-blocks
      (vla-get-ActiveDocument (vlax-get-acad-object)))
      (setq name (vla-get-Name b))
      (if (wcmatch name (strcat "*" old))
        (vla-put-Name
          b
          (vl-string-subst
            new
            old
            name
            (- (strlen name) (strlen old))
          )
        )
      )
    )
  )
  (princ)
)
```

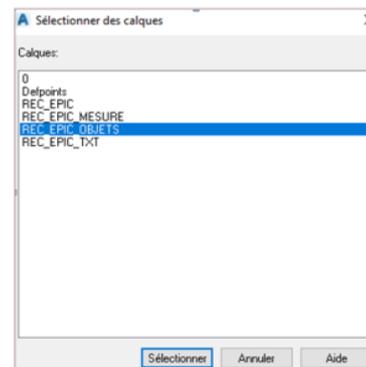
Extrait du script Lisp



Chargement du script et renommage du bloc avec la fonction CHANGE_SUFF



Génération du fichier de forme par sélection du nom des blocs, d'où l'intérêt de changer le nom si nécessaire



Choix du calque

Figure 6 : Transfert des blocs dans une couche vectorielle et renommage du nom du bloc avec la fonction CHANGE_SUFF via un script Lisp

II.2 Le groupement de commande

II.2.1 Création du groupement de commande

D'après l'article 8 du code des marchés publics²¹, les collectivités territoriales et les Etablissements Publics Locaux (EPL) peuvent constituer un groupement de commande en signant une convention constitutive qui traduit l'accord des différentes parties sur les objectifs à atteindre. Cette convention va définir les modalités de fonctionnement du groupement en désignant un coordonnateur qui aura la qualité de pouvoir adjudicateur. Il y

²¹ Décret n°2006-975 du 1^{er} août 2006 modifié par Décret n°2011-1000 du 25 août 2011 – art.3.

a 25 collectivités territoriales qui en font partie et Lorient Agglomération est le coordonnateur. Il va réaliser pour les membres du groupement la gestion de la procédure de passation, la signature et la notification du marché ainsi que le contrôle des prestations topographiques.

II.2.2 Les objectifs de ce groupement

Les exigences réglementaires concernant le géoréférencement et la précision de cartographie des réseaux incitent vivement les collectivités et les gestionnaires de réseaux à trouver des partenariats pour développer des procédures afin de répondre à ces exigences en mutualisant leurs données à très grande échelle. Le responsable du service SIG de Lorient Agglomération a mis en place des ateliers TOPO-SIG avec les 25 communes de l'agglomération et quatre partenaires (Morbihan Energies, Société Publique Locale (SPL) réseau de chaleur, Enedis et GRDF). Ce groupement de commande a pour objectif (Figure 7) d'optimiser les coûts de certaines opérations pour les collectivités et de garantir le respect des réglementations en vigueur. La mutualisation des levés topographiques, l'élaboration d'une charte commune à l'échelle régionale et la création du PCRS sont les principales attentes de cette convention. En pratique, chaque collectivité doit signaler le levé à Lorient Agglomération pour qu'il puisse ensuite récupérer les données, les contrôler et les intégrer dans son SIG.

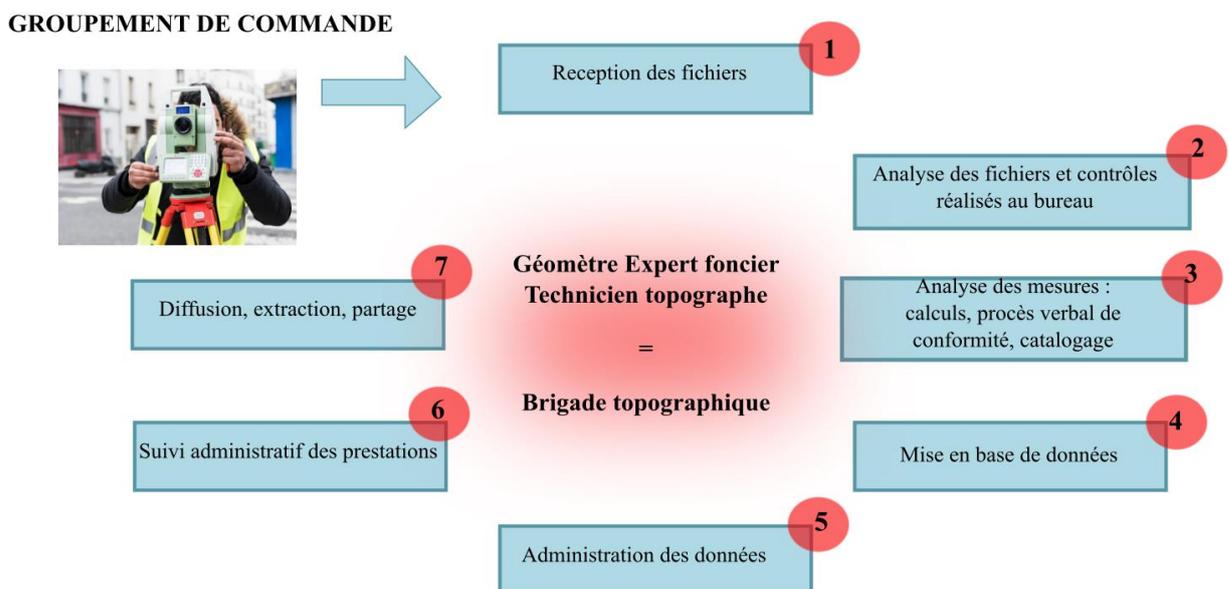


Figure 7 : Principe de fonctionnement du groupement de commande

II.3 Impacts de la réforme DT-DICT pour les collectivités territoriales

II.3.1 Disposer d'un fond de plan compatible avec la classe A pour les réponses de DT-DICT

Dans l'attente de l'élaboration du PCRS par Lorient Agglomération avant 2026, le BETC cherche à construire un fond de plan topographique, permettant de répondre aux DT-DICT et d'élaborer des projets d'occupation de l'espace public (halles et marchés, festivals, carnivals etc). Un fond de plan du centre-ville a été commencé puis complété durant mon stage. Cependant il comporte plusieurs défauts (Annexe 9) mais peut servir pour les projets d'occupation de l'espace public qui ne nécessitent pas une précision absolue. La ville de Lorient dispose d'une antenne GPS et d'un drone²², peu souvent utilisés. Ceux-ci pourraient servir à la production d'orthoimages, à la suite d'un relevé photogrammétrique et de traitements des données et ainsi servir de fond de plan pour les réponses aux DT-DICT (cf. partie IV).

II.3.2 Construire le Plan de Corps de Rue Simplifié (PCRS)

II.3.2.1 Pourquoi un PCRS ?

Le référentiel du PCRS constitue « le socle commun topographique minimal de base décrivant à très grande échelle les limites apparentes de la voirie. » (CNIG). Ce référentiel est composé de données vecteurs (points, lignes, surfaces définies en X, Y en planimétrie et si possible en Z pour l'altimétrie) et raster (données images représentées sous forme de dalles géoréférencées en X, Y). Dans le cadre des échanges entre les maîtres d'ouvrages, les gestionnaires et les exploitants de réseaux en lien avec la réforme DT-DICT, celui-ci sert de fond de plan topographique échangeable et mutualisable. Le PCRS est « simplifié » car il ne contient aucune donnée métier des services producteurs mais uniquement les affleurants (bouches à clé, plaques égouts etc.) (Figure 8).

²² Cf. partie IV. Etude de la qualité du drone du BETC et exploitation des données récoltées.

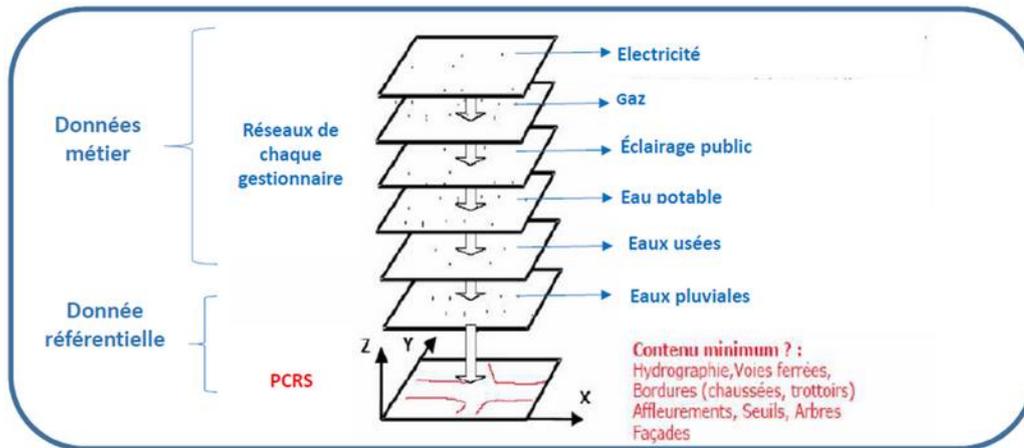


Figure 8 : Principe de structuration du PCRS, source : *storymaps.arcgis*

II.3.2.2 La construction du PCRS et son contenu

Le PCRS est construit selon différentes méthodes :

- **Pour le PCRS vecteur** : il est construit à partir de 2 méthodes de levés (Tableau 8).

Le levé topographique	Le mobile mapping (2 techniques)
Un levé topographique traditionnel réalisé par un géomètre avec un coût de 1000 à 1200 euros/km HT.	<ul style="list-style-type: none"> - Avec un scanner mobile 3D grâce à l'acquisition de nuages de points, - Avec des caméras embarquées grâce à l'acquisition de vue immersive.

Tableau 8 : Les deux méthodes de collecte des données pour constituer le PCRS

- **Pour le PCRS raster** : construit à partir d'orthoimages acquises avec des prises de vues aériennes par relevé photogrammétrique. L'orthoimage doit avoir une résolution de 5 cm et une précision maximale de 10 cm. Il ne faut pas confondre la résolution et la précision de l'orthoimage. La résolution correspond à la taille réelle sur le terrain que représente chaque pixel sur l'image, alors que la précision correspond à la différence entre la position des pixels dans l'espace (X, Y, Z) sur l'orthoimage par rapport à leur position vraie.

A la suite de l'acquisition, il convient de traiter les données en se conformant aux recommandations du CNIG dans le cadre du PCRS, c'est le rôle de Lorient Agglomération.

Le CNIG définit précisément dans le standard du PCRS v2.0 du 15 septembre 2017 le référentiel PCRS et les modèles conceptuels des données. Ce géostandard d'échange (Tableau 9) permet d'assurer l'interopérabilité des données. Ainsi, pour chaque objet, un ensemble d'attributs doit être renseigné (Ludovic Bouchet²³, 2019 et standard du PCRS v2.0) :

Thèmes	Code PCRS	Type d'objets	Attributs
Topographie	1	Points levés, points de canevas	- Identifiant de l'objet - Thème associé - Qualité géométrique - Précision planimétrique - Précision altimétrique - Le producteur
Bâtiment	2	Façades, proéminences, escaliers, seuils	
Voirie	3	Limites de voiries	
Ferroviaire	4	Rails, quais ferroviaires	
Clôture	5	Clôtures, murs, piles de murs, escaliers	
Végétal	6	Arbres	
Ouvrages d'art	7	Piles ponts, quais fluviaux maritimes	
Affleurant	10	Electricité, gaz, eau potable, assainissement, télécom etc.	
Raster	11	Orthoimages	

Tableau 9 : Objets PCRS classés par thèmes

II.3.2.3 Cas de Lorient Agglomération

La convention signée pour le groupement de commande sur l'acquisition et le contrôle des données géographiques a pour principal objectif la construction du PCRS avant 2026. Néanmoins, une organisation spécifique doit être mise en œuvre pour permettre à l'agglomération de réceptionner des plans conformes, commandés par chaque collectivité. C'est pour cette raison que 2 lots, le lot n°1 relatif aux prestations topographiques et de récolement de surfaces après travaux et le lot n°2, portant sur les IC, ont été mis en place dans le cadre d'un marché. Lorient Agglomération avait déjà le monopole pour le contrôle de conformité des plans mais ce marché s'élargit en définissant les responsables du marché destinés à réaliser les prestations. Ces 2 lots ont été créés car les plans fournis par certaines entreprises n'étaient pas toujours conformes à la charte graphique, ce qui engendrait une perte de temps dans les contrôles de conformité et donc dans la réception des plans par les collectivités. Par conséquent, des responsables du marché ont été sélectionnés pour les 2 lots.

²³ Dans son TFE en 2019 intitulé « Etude des données de référence utiles au SIG de Loire Forez agglomération », Ludovic Bouchet définit le modèle de données indiqué dans le standard d'échange du CNIG, version 2.0 du 21 septembre 2017.

II.3.3 Rationaliser les données des réseaux au sein d'une base de données

II.3.3.1 Disposer d'un SIG ou pas ?

Après avoir analysé les plans du BETC et l'organisation du service, je leur ai proposé d'instaurer un référentiel topographique dédié au réseau d'éclairage public pour faciliter la gestion du patrimoine lumineux et pour en faire profiter au service technique de la régie d'éclairage public. Les avantages et les inconvénients de cette démarche sont présentés dans le tableau 10 :

Avantages	Inconvénients
Centraliser les données dans un référentiel topographique situé dans le serveur de base de données de la ville de Lorient.	Trouver une organisation entre le service du BETC, le service de la DOSI et le service de la régie d'éclairage public pour mettre à jour les données.
Améliorer la gestion des réseaux enterrés.	-
Simplifier les échanges entre les services techniques de la ville = Accessibilité et partage de l'information.	-
Modélisation complète des blocs et des polygones du plan DWG dans un SIG sous forme d'entités avec une géométrie ponctuelle et linéaire accompagnés d'attributs = pas de perte d'information.	- Nécessite d'avoir des connaissances en SIG pour pouvoir transférer les plans dans un SIG. (difficulté pour les services techniques n'ayant aucune compétence dans les SIG) - Nécessite également de disposer des logiciels permettant de réaliser ce transfert.
Passer de l'échange de plans topographique à l'échange de données numériques.	-
Possibilité de faire des analyses statistiques et des requêtes (recensement de la longueur totale des réseaux, recensement des réseaux souterrains ou aériens etc.)	-

Tableau 10 : Les bénéfices et les difficultés de mise en place d'un SIG au sein d'une collectivité

II.3.3.2 Les enjeux du SIG pour la collectivité territoriale

La réforme DT-DICT ouvre un volet consistant à partager et échanger des données issues de différents logiciels en utilisant des formats d'échanges standards. Les plus fréquents et les plus utilisés sont aujourd'hui le .DXF et le .DWG d'Autodesk et les fichiers de formes (shapefile) pour les SIG développés par ESRI. Des outils ETL (Extract Transform, Load) permettent de définir des traitements de données pour réaliser ces transferts, via le logiciel FME développé par SAFE Software. C'est un outil puissant qui peut résoudre les problèmes d'incompatibilité entre les différents logiciels lors du chargement des données géographiques d'un environnement à un autre. Le déploiement

d'un SIG au sein d'une collectivité territoriale est un véritable enjeu²⁴ (Camille Afangnike, 2015 et Figure 9) qui se décompose en six branches (Pornon, 2015) :

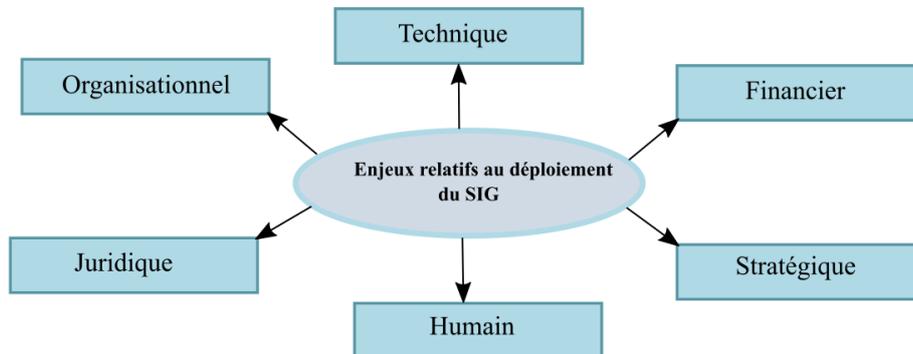


Figure 9 : Principaux enjeux de la mise en place d'un SIG au sein des collectivités

II.3.3.3 Mise en place d'un référentiel topographique dédié aux plans de réseau d'éclairage public au BETC

Au vue des avantages apportés par le déploiement d'un SIG au sein d'une collectivité territoriale, mon travail consiste à trouver une procédure de transfert des plans d'éclairage public du BETC dans le serveur de base de données SIG de la ville de Lorient.

L'idée principale est le bénéfice que ça va apporter en matière de gestion et de mise à jour du patrimoine lumineux pour le service de l'éclairage public. Par la même occasion, des réunions de projets se sont déroulées avec le service de la régie pour établir un bilan sur l'ensemble des champs utiles à intégrer dans leur logiciel métier, car beaucoup de champs étaient laissés vides. Or, une base de données n'est correcte que si elle est mise à jour et correctement renseignée.

La partie III explique les différents tests de transfert mis en œuvre avec différents logiciels. En plus du transfert, cette partie explique comment sont stockées les données de l'éclairage public, issues des plans .DWG.

²⁴ Dans son TFE en 2015 intitulé « Organisation des activités « SIG et topographie » pour la gestion des réseaux d'éclairage public dans le contexte de la réforme « anti-ndommagement » », Camille Afangnike évoque les enjeux du SIG pour permettre une meilleure gestion et productivité au sein d'un service.

III Mise en place d'une procédure d'intégration de la donnée

CAO dans un SIG

Gage de transversalité, le SIG est un outil intéressant et pertinent car il permet d'améliorer la gestion et l'inventaire d'un ensemble de données géographiques. Depuis l'arrivée du décret DT-DICT, de nombreuses collectivités s'interrogent sur leur façon de réorganiser leurs services de manière à mettre un place un volet SIG consacré à l'intégration de données topographiques. Un SIG va permettre de mettre à jour les données d'éclairage public et de les utiliser pour alimenter le portail de l'Information Géographique « Logéo » de la ville.

III.1 Utilisation des différents logiciels

Les moyens de la collectivité sont à prendre en compte dans une opération de transfert des données (Figure 10). Il est nécessaire et pertinent d'exploiter les différents logiciels potentiellement capables de réaliser cette opération. Les logiciels utilisés sont :

- AutoCAD MAP 3D qui a été développé par Autodesk et qui se présente comme un package AutoCAD mais qui comporte en plus une série de fonctions consacrées à la création et à la thématization de cartes,
- ArcGIS for AutoCAD qui permet d'intégrer des données SIG dans AutoCAD mais aussi de connecter un fichier .DWG à une base de données,
- ArcMap qui est « le composant principal de la suite d'ArcGIS d'Esri, de programmes, de traitement géospatial et qui est principalement utilisé pour afficher, modifier, créer et analyser des données géospatiales. »²⁵,
- La fenêtre ArcCatalog d'ArcGIS for Desktop pour la mise en place d'une géodatabase fichier²⁶ afin de stocker, dans des classes d'entités les données CAO

²⁵ ArcMap, 2013.

²⁶ « Une géodatabase fichier est un ensemble de fichiers dans un dossier sur le disque qui peut stocker, interroger et gérer à la fois des données spatiales et non spatiales. » (ESRI). <https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/administer-file-gdbs/file-geodatabases.htm#:~:text=Une%20g%C3%A9odatabase%20fichier%20est%20un,domn%C3%A9s%20spatiales%20et%20non%20spatiales.&text=Les%20domn%C3%A9s%20utilisateur%20peuvent%20C3%AAtre,jeu%20de%20domn%C3%A9s%20d'entit%C3%A9>

qui sont des polygones avec leurs données d'objets²⁷ et les blocs avec leurs attributs²⁸ (Joël Ludovic Chuisseu Tagakou, 2016),

- L'intégration sous Oracle²⁹, qui est un système de gestion de base de données relationnelle (SGBDR), de la géodatabase créée en amont pour permettre au service de la DOSI de disposer de l'ensemble des données CAO et de jouer le rôle d'intermédiaire entre le BETC et le service de l'éclairage public par la suite,
- Le logiciel FME développé par Safe Software, qui est un ETL spatial (Extract, Load, Transform) pour extraire, transformer et charger les données CAO dans la base de données et dans un SIG.

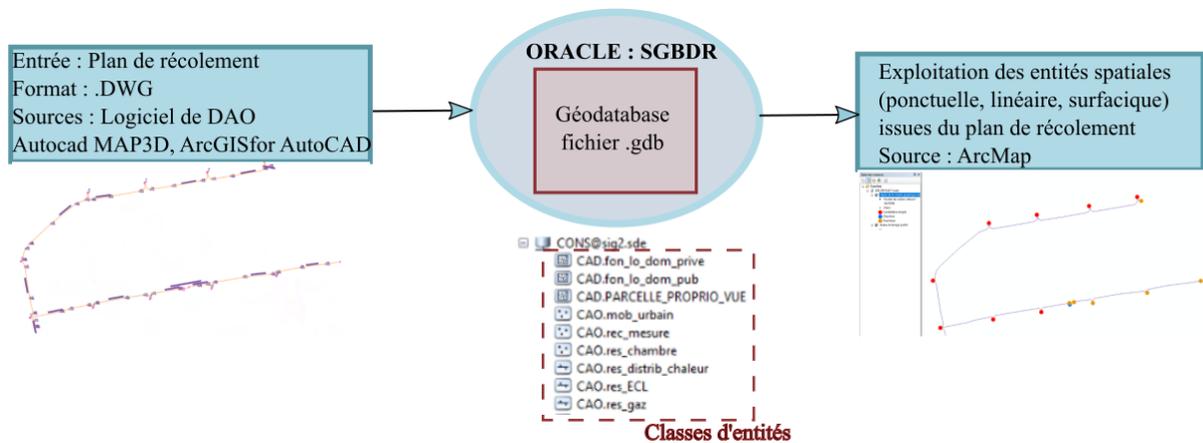


Figure 10 : Processus d'intégration des données CAO dans le serveur de base de données SIG de la ville

III.1.1 L'objectif final de ce transfert

De la création du plan topographique à l'intégration de son contenu dans un SIG, différents traitements sont nécessaires. Le travail que j'ai effectué se décompose en 4 étapes détaillées dans le tableau 11 et présenté sur la figure 11.

²⁷ Les données d'objets sont des données d'attributs qui sont rattachées à un objet du plan .DWG et contenues dans des tables.

²⁸ Dans son TFE en 2016 intitulé « Mise en place d'une base de données topographiques centralisée dans le Conseil Départemental des Pyrénées-Atlantique », Joël Ludovic Chuisseu Tagakou a mis en place une base de données topographique sur PostGIS.

²⁹ Oracle est un Système de Gestion de Base de Données Relationnelles (SGBDR).

Etape 1 : Contrôle de conformité du plan de récolement	Etape 2 : Réalisation du transfert de la donnée CAO dans un SIG	Etape 3 : Stockage des données dans une base de données	Etape 4 : Publication des données sur le portail de l'Information Géographique de la ville de Lorient
<p>Contrôle de conformité des plans par rapport à la charte graphique du CCTP.</p> <p>Etape indispensable pour :</p> <ul style="list-style-type: none"> - faire correspondre les attributs des blocs de la charte graphique avec le nom des champs de la classe d'entités dédiée. - pouvoir réaliser le transfert via FME par la suite, par sélection des calques = les calques doivent être les mêmes que dans la nomenclature de la charte graphique. 	<p>Création de données d'objets sur les polygones (équivalent aux attributs des blocs). Les données d'objets (« OD : Object Data ») sont par exemple, la classe de précision du réseau, la section du câble, le type de réseau concerné etc.</p> <p>Réalisation du transfert (via ArcGIS for AutoCAD ou FME) du contenu du plan : blocs et attributs + polygones et données d'objets dans la classe d'entités, sous forme d'objets géométriques ponctuels et linéaires.</p>	<p>Les données transférées sont stockées dans des classes d'entités distinctes en fonction du type de géométrie, pour le ponctuel (bloc) et le linéaire (polyligne).</p> <p>Le nom des champs de la couche créée correspond aux attributs des blocs du plan .DWG et aux données d'objets.</p>	<p>La DOSI publie sur le portail de l'Information Géographique « Logéo » les couches comportant les données CAO et le service de la régie d'éclairage public va pouvoir les exploiter dans son logiciel métier "IMALUX" et ainsi répondre plus facilement aux demandes de DT-DICT.</p>

Tableau 11 : Description des étapes de traitement pour le passage du contenu du plan .DWG dans une base de données

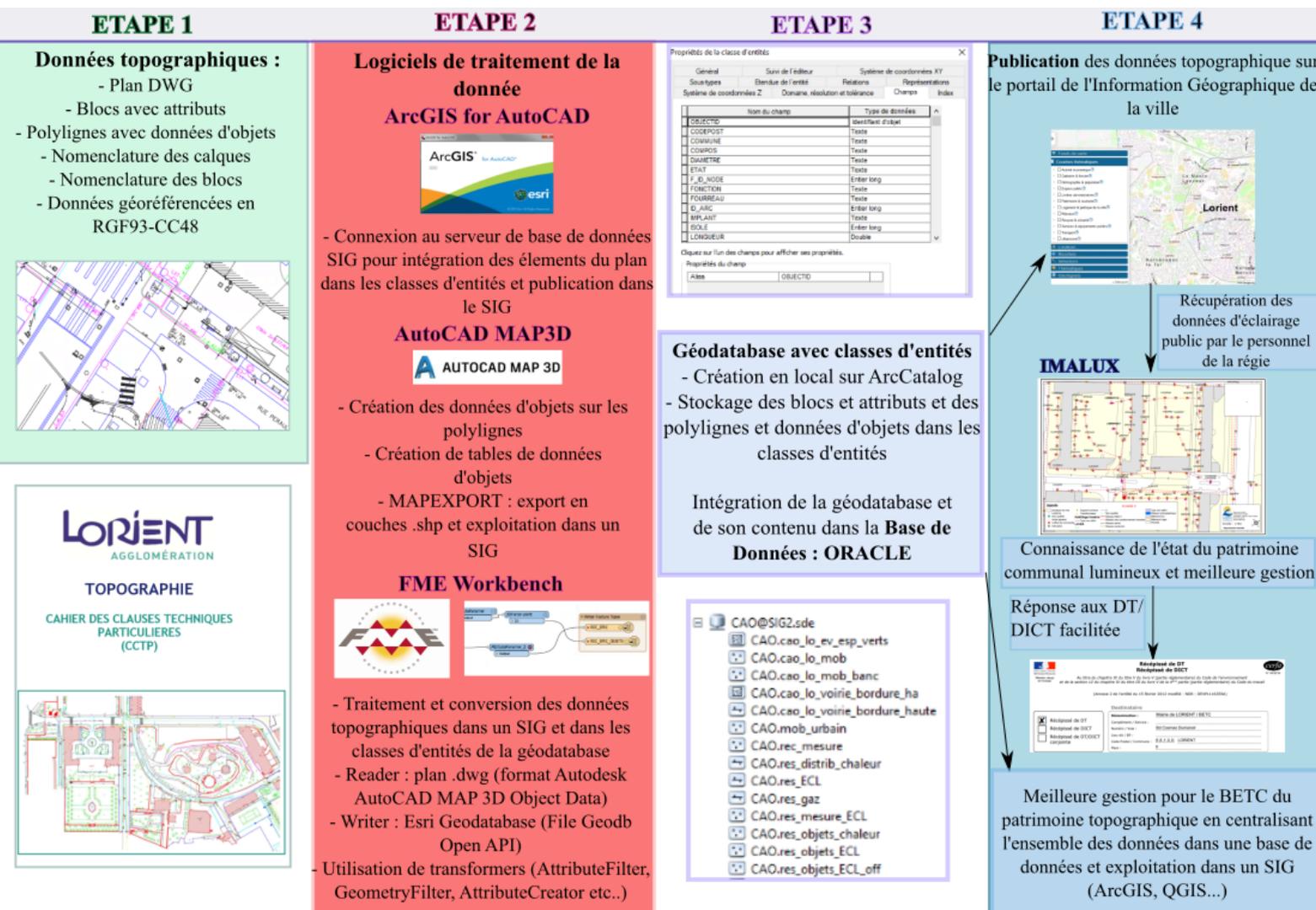


Figure 11 : Processus d'intégration des données CAO dans la base de données

III.2 Préparation de la géodatabase et des classes d'entités

III.2.1 Mise en place d'une géodatabase sous l'application ArcCatalog

Au sein de cette géodatabase vont se trouver différentes classes d'entités que j'ai construites en me référant à la charte graphique du CCTP. Grâce à la collaboration avec le service de la DOSI, qui administre, contrôle et gère le service SIG, nous avons déplacé cette géodatabase, initialement créée en local, pour des raisons de droits d'utilisateur et d'accès au SGBD sous Oracle, dans celui-ci au sein du schéma « cao ». Le déplacement de ces classes d'entités dans le serveur de base de données permet à l'ensemble des services techniques d'y avoir accès, ce qui n'est pas le cas en local. La DOSI joue le rôle d'administrateur car il « assure la modélisation, l'organisation des données, la mise en place des contrôles. »³⁰

III.2.2 Création des classes d'entités au sein de la géodatabase

Deux possibilités ont été envisagées pour la création des classes d'entités :

- La création d'une classe d'entités unique pour chaque géométrie (point, ligne, polygone), soit le modèle 1 :

Un ensemble de calques DAO de même géométrie = une classe d'entités + un type

- Ou bien, la création d'une classe d'entités pour chaque calque de la charte graphique, soit le modèle 2 :

Un calque DAO + une géométrie = une classe d'entités + un type

La 2^{ème} hypothèse a été retenue (Figure 12). Les classes d'entités vont servir à stocker le contenu du plan .DWG (blocs et polygones) et ses informations (attributs des blocs et données d'objets des polygones) dans les champs de la table attributaire de la future couche. Les classes d'entités sont constituées d'ensembles homogènes ayant la même représentation spatiale (points, lignes, polygones). Il y a donc une classe d'entités

³⁰ « Etude sur la mise en place d'un catalogue de données géographiques à Nantes Métropole » (IGN, 2007).

pour chaque calque du plan. Avant mon arrivée en stage, il n'existait aucune classe d'entités dédiée à la topographie dans la base de données.

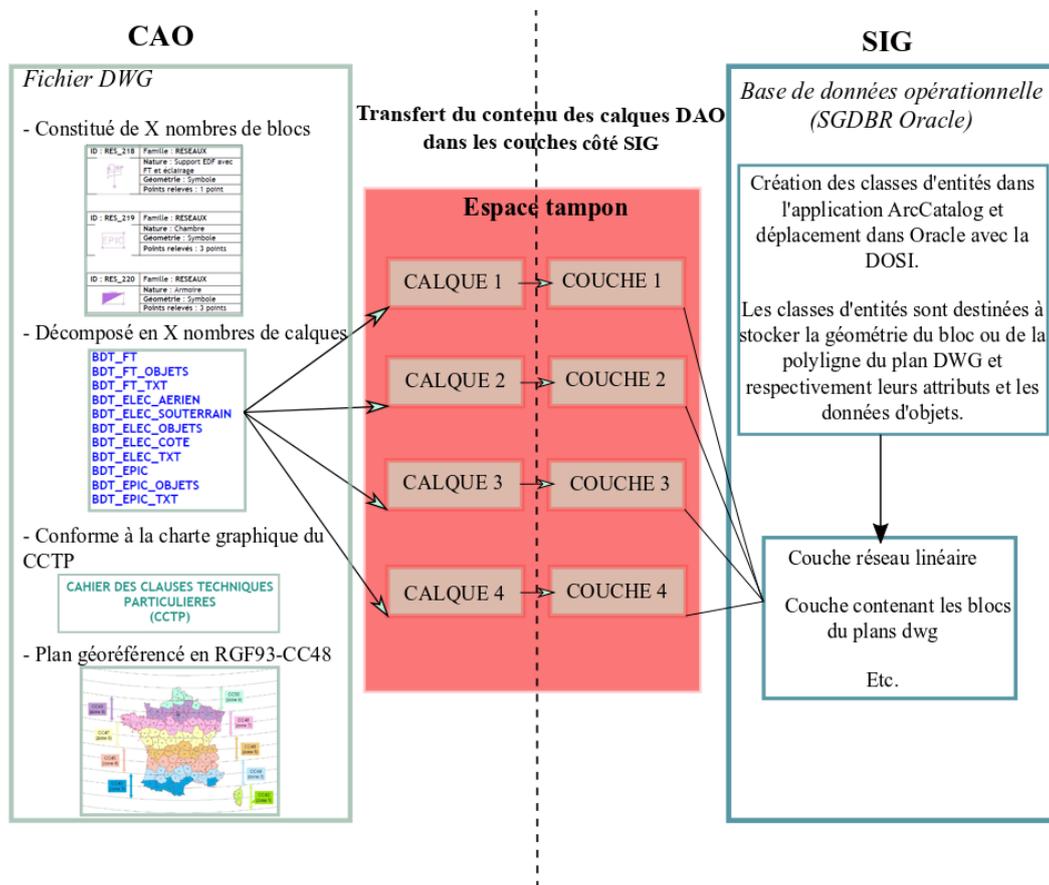


Figure 12 : Principe d'intégration des données CAO des plans .DWG dans un SIG (cf. III.3.1.3).

La création des 2 classes d'entités³¹ nécessite de saisir le type d'entité (polygone, ligne, point, annotation ESRI) et d'ajouter des champs spécifiques aux données métiers et aux données du plan. La création des champs implique de mettre en place une correspondance entre les champs créés et le nom des attributs des blocs pour faire correspondre les données entre-elles. A la suite d'une réunion et d'un accord avec le service de la régie, un cahier des charges a été élaboré, sous forme de tableau (Annexe 10), qui recense l'ensemble des champs, utiles pour le service de la régie. Il y a 3 catégories d'informations dans la classe d'entités :

³¹ Il y a deux classes d'entités : lignes (pour le réseau d'éclairage public) et points (pour les blocs du plan topographique de type ensemble lumineux : candélabre, lampadaire, chambre, borne lumineuse etc.).

- Les métadonnées liées aux plans topographiques (méthode de collecte des données, le prestataire, date de création etc.)
- Les attributs des blocs renseignés sur les plans (nom du bloc, nature, famille, calque, hauteur : pour un objet de type ensemble lumineux tel que le lampadaire)
- Les informations relatives aux polygones représentant le filaire du réseau (nature, famille, diamètre du fourreau, section du câble (mm²), classe de précision, implantation : aérien ou souterrain)

En cas d'erreur dans l'écriture du champ ou s'il manque un champ dans la table attributaire de la couche, la correspondance ne se fera pas lors du transfert des attributs des blocs dans la classe d'entités. Le nom du champ doit être indiqué et nommé de la même façon dans AutoCAD et dans la table attributaire côté SIG. Si ce n'est pas le cas, la représentation spatiale du contenu du plan sera bien transférée mais pas les attributs.

III.2.2.1 Exploitation de l'outil « DAO vers géodatabase »

Les plans de récolement ont tout d'abord été intégrés dans une géodatabase grâce à des outils de chargement des données DAO. L'outil « DAO vers géodatabase », de l'application ArcCatalog, a été utilisé car il permet de lire un jeu de données DAO et de créer des classes d'entités pour les différents jeux de données (Figure 13, 14 et 15) :

- Annotation



Figure 13 : Visualisation des entités annotations issues du plan de récolement « Rue de Bigors »

- Point

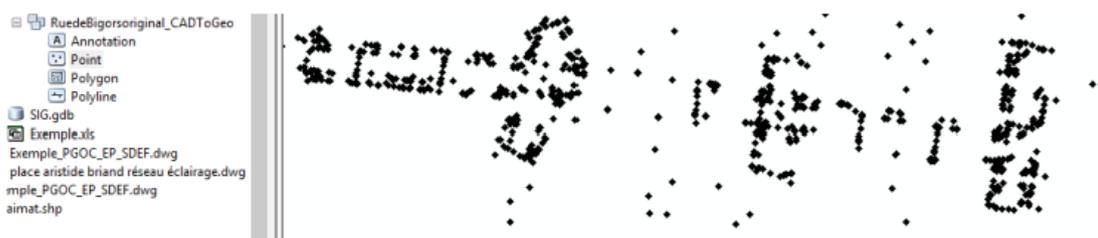


Figure 14 : Visualisation des entités ponctuelles issues du plan de récolement « Rue de Bigors »

- Ligne



Figure 15 : Visualisation des entités linéaires issues du plan de récolement « Rue de Bigors »

- Polygone

Néanmoins, cet outil ne permet pas un bon affichage sous ArcMap du contenu du plan topographique et présente plusieurs défauts :

- Les attributs des blocs (HAUTEUR, NATURE etc.) de la charte graphique ne sont pas conservés,
- Les attributs (épaisseur de ligne, couleur de ligne, couleur affectée au bloc, échelle du type de ligne attribué à l'entité etc.) des blocs et des polygones sont transférés mais ne sont pas utiles,
- Les blocs sont représentés par leurs symboles complet mais seul le point d'insertion, représentant la vraie position de l'objet, (créée par Lorient Agglomération lors de la création des blocs de la charte) dans l'espace objet suffit.

Au vu des résultats obtenus, une autre méthode a été mise en œuvre, qui se base sur une connexion au serveur de base de données. Cette connexion permet de déplacer les éléments ponctuels et linéaires du plan .DWG dans les classes d'entités, grâce à ArcGIS for AutoCAD.

III.2.2.2 Connexion avec le serveur de base de données SIG via ArcGIS for AutoCAD

Pour procéder à l'intégration des données géographiques du plan dans la géodatabase, il faut effectuer une connexion à un objet serveur (Annexe 11) sur ArcGIS for AutoCAD et ajouter les classes d'entités dans le logiciel pour y transférer les données CAO. Une fois ajoutées, elles apparaissent sous forme de calques DAO avec le nom de leurs alias préfixés par « ESRI_ ». Une synchronisation est ensuite effectuée pour mettre à jour la géométrie et les attributs dans le serveur de base de données SIG une fois le contenu transféré.

Avec cette méthode, les attributs des blocs sont correctement transférés et deviennent les valeurs attributaires des champs créés auparavant. Ce n'est pas le cas pour les polygones car elles ne contiennent aucun attribut dans AutoCAD. Les informations de la polygône sont contenues dans les attributs d'un bloc texte (Figure 16) situé au-dessus. L'objectif est donc d'affecter des données à la polygône représentant le filaire du réseau d'éclairage public pour que, lors du transfert, les données soient correctement transférées dans la table. La création de données d'objets permet ainsi d'affecter des informations à une polygône, à savoir le diamètre du fourreau, sa section (mm²), sa classe de précision, son implantation : aérien ou souterrain et sa nature.

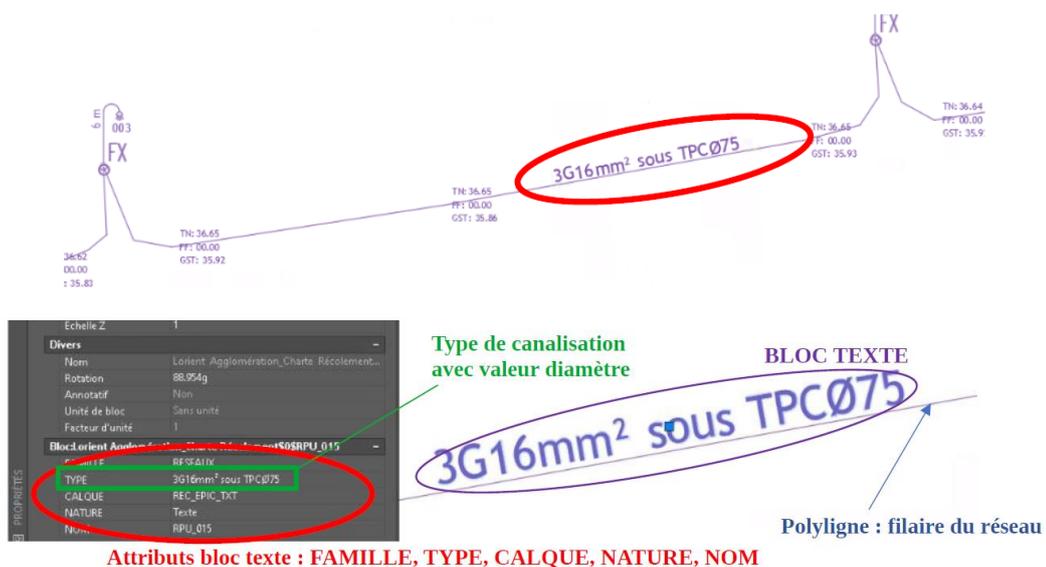


Figure 16 : Extrait d'un plan de récolement d'éclairage public sur AutoCADMAP 3D

Les étapes de traitement sont (Tableau 12) :

- La création d'une table de données d'objets avec le nom des champs correspondant aux attributs du bloc texte (possibilité d'ajouter d'autres champs) : DT_CLASSE, NATURE, FAMILLE, FOURREAU, SECT_CABLE, IMPLANT (Object Data – OD) (1),
- L'affectation de la table qui vient d'être créée aux objets graphiques concernés (la polygône) (2),
- La modification des données d'objets (renseignement des valeurs attributaires des champs du bloc) (3),
- Le transfert de la table et son contenu à N objets (via un script Lisp) (4).

1	2	3	4
<p>Dans le menu « Configuration de Map » > Définir des objets ou en utilisant la commande « <i>adedefdata</i> »</p>	<p>Dans la barre de commande « <i>adeattachdata</i> »</p>	<p>Dans la barre de commande « <i>adeeditdata</i> »</p>	<p>Chargement du script Lisp (.lsp) avec la commande « <i>appload</i> » et exécution de la commande « <i>COPY_OD</i> »</p> <pre> copy-od - Bloc notes File Edit Format AHelp Help ;; ;; ***** ;; Function: C-COPY_OD ;; ;; ;; Main routine for copying object data from an object to ;; a selection set of object. ;; ;; ;; ;; (defun C-COPY_OD (;; / ;; ; source object ;; ; target object ;; ; target selection set ;; ; count ;; ; length ;; ; override ;; ; override flag ;; ; old error function ;; ;; (setq error "error") ;; ;; ;; ;; Define error handler ;; ;; ;; (defun "error" (msg) </pre>

Tableau 12 : Affectation des données d'objets à une polyligne

A la suite de ces manipulations, la polyligne est bien dotée des données d'objets (Figure 17) correspondantes ainsi que du nom de la table « POLY_ATT »³² dans laquelle elles sont stockées. La table de données d'objets est enregistrée au sein du plan .DWG lui-même et elle lui est propre. Afin de pouvoir la réutiliser pour d'autres plans et pour éviter de la créer à chaque fois, la thématization d'un fichier gabarit .DWT a été effectuée. Cette thématization comporte la table de données d'objets ainsi que l'ensemble des calques et des blocs de la charte graphique et permet d'avoir automatiquement la table de données d'objets et de renseigner les valeurs attributaires dans la table, facilitant ainsi leur transfert dans un SIG.

OD:POLY_ATT	
DT_CLASSE	CLASSE_A
NATURE	RESEAU_ECL
FAMILLE	RESEAUX
CALQUE	REC_EPIC
FOURREAU	75
IMPLANT	SOUTERRAIN
SECT_CABLE	3G16

Figure 17 : Données d'objets de la polyligne représentant le filaire du réseau

III.3 Utilisation de FME Workbench

J'ai développé un schéma de données (ou Workspace) sous FME permettant de transférer la totalité du plan (contenu géographique et attributs) dans la géodatabase. Le type de format du Reader en entrée est : « Autodesk AutoCAD Map3D Object Data » et le format du Writer « Esri Geodatabase (File Geodb Open API) (Figure 18).

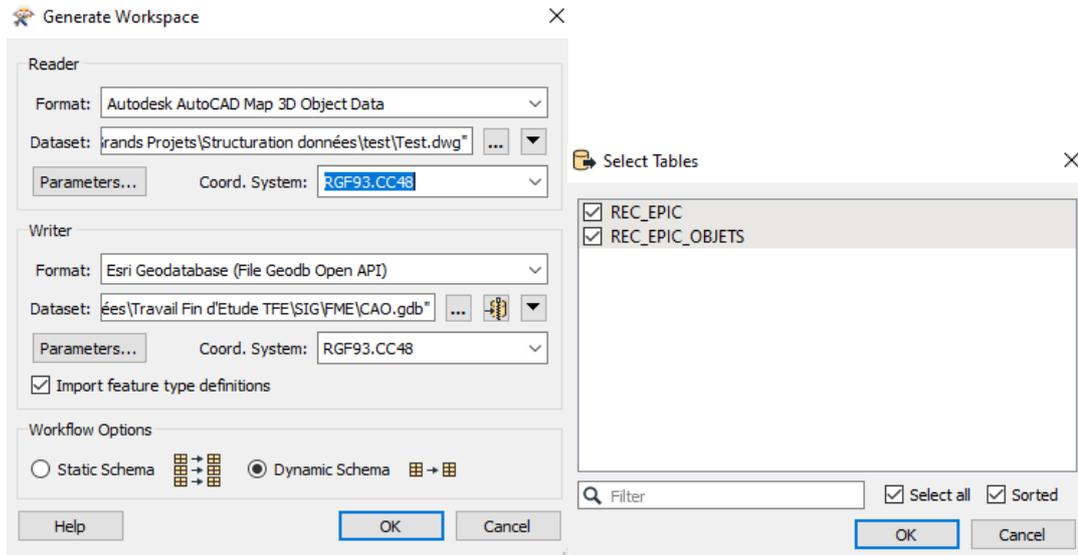


Figure 18 : Paramètres d'entrée et de sortie du Workspace et sélection des tables (REC_EPIC pour le réseau d'éclairage : géométrie linéaire et REC_EPIC_OBJETS pour le mobilier : géométrie ponctuelle) de la géodatabase

Après exécution du Workspace créé sur FME (Annexe 12) et en ouvrant la table attributaire de la couche contenant les polygones, les données d'objets sont correctement transférées dans la géodatabase (Annexe 13). La définition d'un attribut de format³³ « autocad_block_name » dans les paramètres du « Reader Feature Type » est indispensable car il est utilisé par la suite dans le schéma, qui va tout d'abord :

- Filtrer le contenu du plan en fonction des calques DAO (via l'attribut « CALQUE » du bloc ou de la donnée d'objet),
- Filtrer les données en fonction de la géométrie : Les points correspondent au point d'insertion du bloc sur le plan. Avant de générer un Workspace, il est conseillé de décocher l'option « Explode Blocks into Entities » sinon le bloc sera explosé. Par

³³ « Une fonction peut avoir un ou plusieurs attributs de format associés. Un attribut de format représente un attribut spécifique à un format. » (Safe Software)

conséquent, le bloc sera représenté par plusieurs points et plusieurs lignes, dégradant ainsi la modélisation et l'affichage des données,

- Pour les objets ponctuels, le transformer « TestFilter » permet de sélectionner les blocs qui nous intéressent (candélabre, chambre, projecteur, regard rond etc..) grâce au nom de chaque bloc via l'attribut de format « autocad_block_name ».

Les données non filtrées permettent de constater qu'il y a des erreurs dans le plan .DWG et peuvent être transférées dans une couche vectorielle (.shp) pour les visualiser. Par exemple, si le plan d'éclairage public comporte 2 calques : un réservé au linéaire du réseau (BDT_EPIC) et l'autre aux blocs (BDT_EPIC_OBJETS) et que ces objets ne sont pas filtrés lors de la sélection par calque, cela traduit l'existence de polygones ou de blocs dans les mauvais calques. Le transfert des données via FME peut également servir de contrôle de structuration des plans topographiques et des plans de récolement.

III.4 Analyse des résultats

III.4.1.1 Données d'objets sur les polygones

Après avoir effectué le transfert des blocs et des polygones dans les classes d'entités sur ArcGIS for AutoCAD par la connexion à l'objet serveur, plusieurs constats sont établis :

- Les données d'objets sur la polygone ne sont pas prises en compte lors du transfert dans les classes d'entités. Par conséquent, les champs sont vides,
- Les attributs des blocs sont bien transférés dans la classe d'entités,
- Les blocs sont représentés sous forme de ponctuels accompagnés d'attributs,
- Les polygones sont représentées sous forme de lignes sans attribut dans le SIG.

Une deuxième méthode a été mise en place en créant directement des fichiers de forme destinés à stocker les objets du plan .DWG afin de voir si le transfert est identique ou pas.

III.4.1.2 Génération de fichiers de forme

Sur AutoCAD MAP 3D, la fonction « MAPEXPORT » permet d'exporter dans un format de données SIG (SHP, SDF...) le contenu du plan. Les données d'objets de la polyligne sont prises en compte et sont bien transférées dans le fichier de forme. Cette opération peut se faire également sur le logiciel FME en créant un modèle de données (Figure 19).

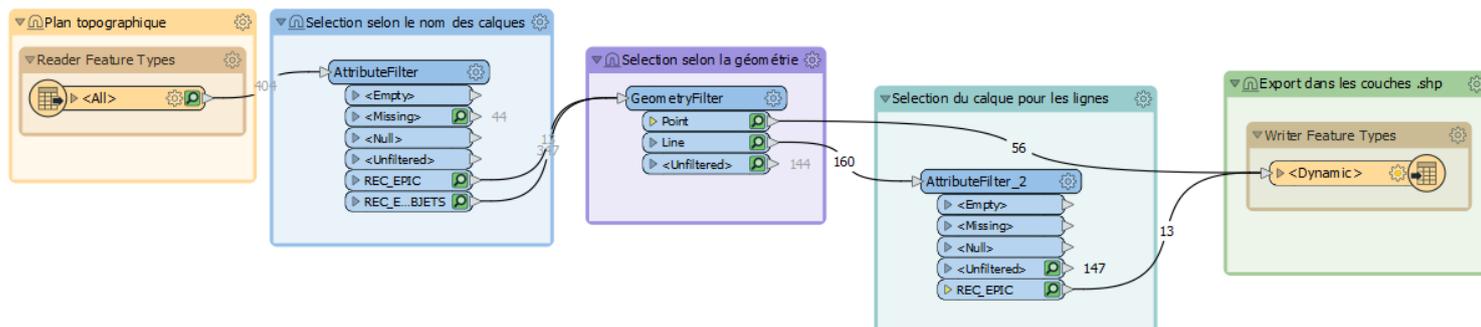


Figure 19 : Transfert du contenu du plan .DWG dans une couche vectorielle (.shp)

En rassemblant l'ensemble des plans topographiques dans un même fichier .DWG et en utilisant un gabarit spécifique pour un même type de réseau puis en générant un fichier de forme stockant les données vectorielles du réseau, le service pourrait effectuer différentes requêtes. Par exemple :

- Pour connaître la longueur totale (km) du réseau sur l'ensemble du territoire Lorientais,
- Pour connaître les tronçons de réseau ayant un diamètre inférieur ou supérieur à une valeur,
- Pour avoir connaissance de la longueur du réseau en classe A, B ou C et à quel emplacement,
- Pour connaître les réseaux aériens ou souterrains.

Cependant, la création d'une couche vectorielle (.shp) ne permet pas de stocker les données CAO dans la base de données mais uniquement de les transférer dans une couche et de les visualiser dans un SIG (logiciels QGIS, ArcMap etc). Il a donc fallu utiliser des outils plus puissants. Le logiciel FME permet de réaliser ce transfert à l'aide d'environ 500 objets appelés « Transformers » qui ont vocation de modifier les données en cours de traitement.

III.4.1.3 Conclusion

	Application ArcCatalog (outil DAO vers géodatabase)	ArcGIS for AutoCAD	Fichier de forme (.shp)	FME
Attributs des blocs				
Données d'objets des polylignes				
Stockage dans la base de données				

Figure 20 : Bilan des résultats procurés par les différents outils

Le logiciel retenu, répondant le mieux aux attentes (Figure 20) et stockant l'intégrité des informations du plan .DWG dans la base de données, est FME Workbench qui transfère les attributs des blocs du plan .DWG et les données d'objets des polylignes qui ont été créées préalablement sur ArcGIS for AutoCAD.

La création de données d'objets sur ArcGIS for AutoCAD reste indispensable sur les polylignes dans n'importe quel cas. Il est cependant possible sur FME de faire une détection d'objets entre la polyligne et les attributs du bloc texte situé au-dessus pour associer directement les informations à celle-ci.

IV Etude de la qualité des données récoltées par le drone ANAFI

Dans l'attente de la construction du PCRS d'ici 2026, une orthoimage construite à partir d'un relevé photogrammétrique avec le drone ANAFI du BETC pourrait être utilisée en tant que fond de plan pour les réponses aux DT-DICT. La précision de l'orthoimage générée est étudiée dans cette partie, à la suite de sa construction sur le logiciel Pix4D Mapper, d'un relevé photogrammétrique et d'un relevé au GPS. Les bénéfices que peut procurer le drone matière de récupération de la donnée et d'exploitation des produits, générés par Pix4D Mapper, dans différents logiciels est également présentée.

IV.1 Acquisition sur le terrain

IV.1.1 Définition de la zone d'étude à Lorient

La zone d'étude ayant fait l'objet du relevé photogrammétrique par drone est un stade (Figure 21) situé à Lorient avec un relief relativement plat. Nous avons choisi ce stade car un plan de récolement a été effectué en 2020, ce qui nous permettra de comparer la qualité de l'orthoimage³⁴ par rapport à un plan de contrôle.



Figure 21 : Visualisation des positions des prises de vues avec le drone ANAFI sur Pix4D Mapper

³⁴ Une orthoimage est une « image géographique dont on a corrigé les déformations dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vues et à la distorsion de l'objectif. » (geoconfluences, 2013)

IV.1.2 Relevé photogrammétrique avec le drone ANAFI

Il est nécessaire de planifier le vol en définissant sur le terrain grâce à l'application Pix4D Capture :

- L'emprise du vol,
- Le temps de vol,
- Le recouvrement,
- L'altitude et le Ground Sample Distance (GSD)³⁵. Le GSD est déterminé selon une formule qui dépend de plusieurs paramètres³⁶ (Amandine Seelen, 2018) :

$$GSD = \frac{Sw * H * 100}{Fr * imW}$$

➤ F : la longueur focale de la caméra [mm]

➤ H : la hauteur de la caméra [m]

➤ Sw : la largeur du capteur [mm]

➤ imW : la largeur de l'image [pixels]

➤ imH : la hauteur de l'image [pixels]

L'ensemble de ces paramètres sont des paramètres clés (Annexe 14) qui ont une influence directe sur les résultats et qui permettent d'effectuer une bonne acquisition.

IV.1.3 Levé GPS

Le système de référence des photos aériennes acquises par le drone étant le système géodésique mondial WGS84, un levé GPS est nécessaire pour pouvoir géoréférencer l'orthoimage dans le système de coordonnées légal en vigueur RGF93-CC48, pour pouvoir exploiter le modèle. L'antenne Catalyst Trimble DA1, de précision centimétrique, a été utilisée ainsi que l'application ArpentGIS sur la tablette pour mesurer

³⁵ Le GSD est la distance entre 2 centres de pixels consécutifs qui sont mesurés au sol, c'est la résolution.

³⁶ Dans son TFE en 2018 intitulé « La photogrammétrie par smartphone au service du récolement de réseau en fouille ouverte », Amandine Seelen étudie les paramètres qui influencent la qualité des résultats à l'issue d'un relevé photogrammétrique par drone ainsi que la comparaison des différents logiciels de traitement en photogrammétrie.

nos points. La méthode NRTK a été mise en œuvre en utilisant le réseau Orphéon qui contient plus de 190 stations GPS permanentes, avec une précision attendue entre 2 et 5 cm.

IV.2 Traitement des données sur Pix4D Mapper

IV.2.1 Traitement initial

Pix4D Mapper permet de construire un modèle 3D grâce à la détection de points homologues entre les photos aériennes acquises durant le vol du drone, en se basant sur le principe de corrélation d'images³⁷ avec l'algorithme SIFT³⁸. La phase 1 (cf. IV.2.4), correspondant au traitement initial et créant un nuage de points épars grâce à des points homologues, est correctement réalisée si le recouvrement longitudinal et transversal est suffisant. Un nuage de points épars est ainsi créé grâce à des points de liaison (Ties points).

IV.2.2 Géoréférencement du modèle 3D grâce aux mesures GPS

A la suite du traitement initial, il faut pointer à l'écran des points de géoréférencement (points issus du levé GPS). Cette étape est indispensable pour géoréférencer notre modèle 3D. Ces points servent de GCPs (Ground Control Point)³⁹ ou de points de contrôle (ou Check Point - CPs), selon le choix de l'utilisateur. Les points de contrôle ne sont pas utilisés dans le calcul lors du traitement mais permettent uniquement de vérifier l'exactitude du projet en vérifiant les véritables positions X, Y, Z des points GPS avec la position d'un point issu du calcul par le logiciel Pix4D Mapper. Ils permettent notamment de détecter les erreurs potentielles dans les clics lors de l'indication de la position du point. Les GCPs doivent être positionnés de manière homogène, c'est-à-dire en

³⁷ « La corrélation des images consiste en la reconnaissance automatique de pixels homologues sur une surface définie [...] Des algorithmes d'analyse d'images se substituent à la vision humaine en associant à tout point d'une image A un point homologue dans une image B. » (Numérisation 3D & Construction)

³⁸ L'algorithme SIFT a été développé par le chercheur David Lowe et peut s'appliquer dans de nombreux domaines d'application tels que la modélisation 3D, la détection d'objet ou encore l'assemblage de photos. Il utilise 2 étapes de traitement dont la première qui détecte les points caractéristiques des images et la seconde qui les met en correspondance. Ces points sont appelés « features points » ou points d'intérêt.

³⁹ Les GCPs (Ground Control Point) servent à orienter le projet dans le bon système de coordonnées et à le mettre à l'échelle. Il faut au moins 5 GCPs pour leur prise en compte dans la reconstruction 3D et chacun doit être pointé sur un minimum de 5 images. Cela permet de réduire les imprécisions de mesure et permet de détecter des erreurs qui peuvent survenir lors de l'ajout des GCPs.

grande partie sur les bords du modèle et quelques un au centre du modèle 3D. Il est conseillé d'utiliser la moitié des points de référence en GCPs et l'autre moitié en point de contrôle (CPs). Après avoir optimisé plusieurs fois le projet pour procéder au rattachement du modèle 3D dans le bon système de coordonnées, une vérification des erreurs X, Y, Z sur les GCPs et sur les CPs doit être réalisée, en observant les valeurs des RMS (Tableau 12).

GCP Name	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
pt4	0,015	0,013	0,038
pt11	-0,006	0,000	-0,034
pt19	0,015	0,062	-0,023
pt22	0,027	-0,044	-0,019
pt25	0,007	-0,034	0,005
pt33	-0,030	0,000	0,031
pt43	-0,020	0,021	-0,015
Mean [m]	-0,001	0,022	-0,003
Sigma [m]	0,019	0,032	0,025
RMS Error [m]	0,019	0,032	0,025
Check Point Name	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]
pt10	0,000	0,023	-0,006
pt12	-0,025	-0,032	0,031
pt26	-0,022	-0,008	0,016
pt27	-0,002	0,021	-0,070
pt29	-0,023	0,013	-0,059
pt32	0,023	0,006	0,004
pt45	-0,013	0,014	0,003
Mean [m]	-0,009	0,005	-0,011
Sigma [m]	0,016	0,018	0,035
RMS Error [m]	0,018	0,019	0,030

Tableau 12 : Analyse des résultats des GCPs et des Check Point (CPs) à la suite du rattachement du modèle 3D

Le RMS (Root Mean Square), étant la racine carrée de la moyenne des carrés, est l'indicateur le plus important à analyser. Dans des conditions optimales, il est possible d'atteindre une précision en altimétrie de 3GSD (Ground Sample Distance, qui correspond à la résolution de l'image) et en planimétrie de 2GSD. Plus la valeur du GSD est importante, moins les détails seront visibles et la résolution spatiale de l'image sera dégradée. Dans le cas présent, le GSD vaut 1,15 cm. La précision planimétrique des points de contrôle est de 1,8 cm, inférieure à 2GSD (2,3 cm). La précision altimétrique est de 3 cm, également inférieure à 3GSD (3,45 cm). Une fois la valeur du GSD vérifiée, le

traitement du nuage de points (Figure 22) peut être lancé. Ce deuxième traitement permet de construire le nuage de points densifié, qui est un ensemble de points 3D, permettant de reconstruire le modèle. Les données relatives aux couleurs et les coordonnées X, Y et Z sont stockées pour chaque nuage de points densifié. Le maillage est ensuite généré, après suppression des points indésirables dans le nuage de points, sinon ces points vont dégrader le « Mesh » (maillage). Ce maillage est composé de sommets, d'arêtes, de face et de la texture des images qui y est projetée. Le logiciel réalise une interpolation entre 2 points et affecte une couleur pour obtenir un maillage colorisé sur le nuage de points. Celui-ci n'est pas utile pour réaliser des mesures mais permet d'avoir un rendu plus réaliste de la scène.

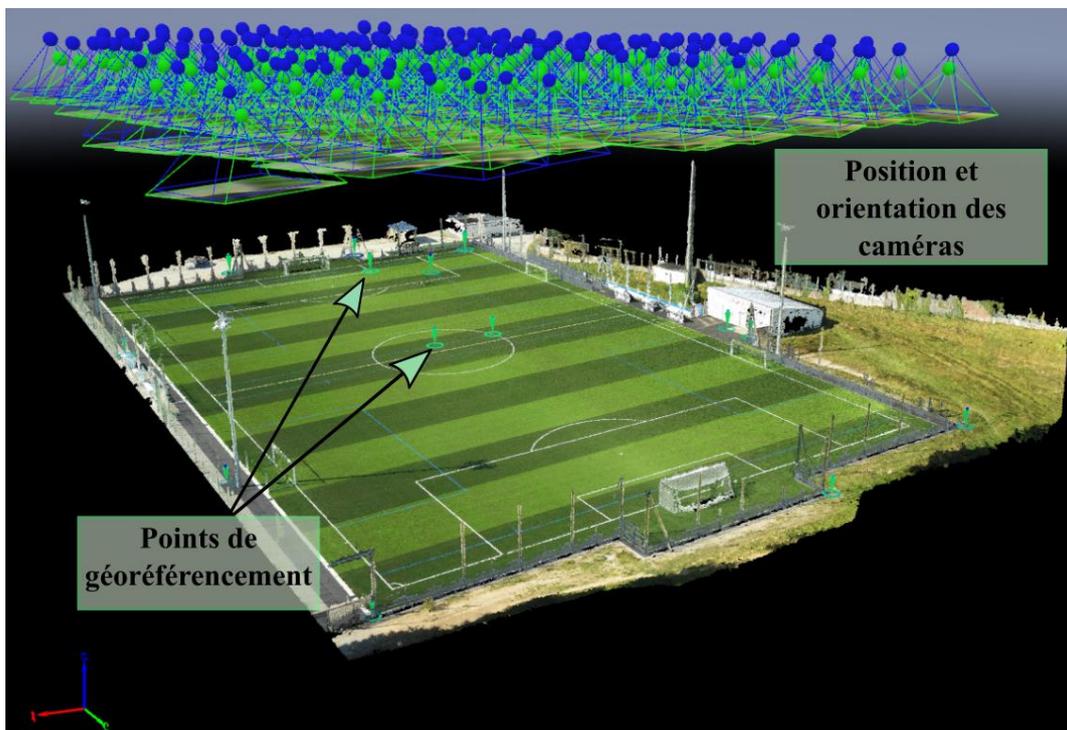


Figure 22 : Visualisation du nuage de points du Stade de Trefaven à Lorient sur Pix4D Mapper

IV.2.3 Construction de l'orthoimage et formats de restitution sur Pix4D Mapper

L'orthoimage générée est basée sur une orthorectification, qui est une correction géométrique ayant pour but de présenter les images comme si elles avaient été prises à la verticale, au « nadir ». Cette étape supprime les distorsions de perspectives à l'aide du DSM (Digital Model Surface) et du DTM (Digital Terrain Model) qui sont créés en se basant sur le nuage de points 3D densifié. Elle supprime également les différences d'échelle en fonction de la distance entre l'objet et la caméra. Le logiciel Pix4D Mapper est capable de fournir un grand nombre de produits (Tableau 13) qui pourront être exploités par la suite selon les besoins du service.

Format d'export Pix4D	Mode raster ou vecteur	Logiciels	Usages
Nuage de points : .las, .laz, .ply, .xyz	Vecteur – Points, surface triangulée affichée en 2D ou 3D	Applications ArcGIS (ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS City Engine, ArcScene, ArcMap, extension ArcGIS LP360) Outils internes pour exploiter le nuage de points (3D Reshaper, VisionLidar, Mensura, Revit, Autodesk Recap / AutoCAD MAP 3D, Agisoft Metashape)	Information 3D, couleurs réelles, reconstruction CAO, inspection, contrôle, volume, extraction automatique d'objets, dessin de plans, coupes, calcul de stocks issus de relevés drones Dans AutocadMAP3D, conversion du fichier .LAS (Lidar Aerial Survey) en fichier de nuage de points lisible via Autodesk Recap (soit en fichier de numérisation .RCS ou en fichier de projet .RCP) et import dans AutoCAD MAP3D.
Orthomosaique : GeoTiff (.tif), kml	Raster	Applications ArcGIS (ArcGIS 3D Analyst, ArcGlobe, ArcMap), QGIS etc. Logiciels de DAO (Autocad)	Fonds de plan pour des projets, information 2D, couleurs réelles, Géoréférencer l'orthoimage dans Autocad avec un recalage Helmert grâce aux points de référence du GPS.
Digital Surface Model (DSM) : Geotiff (.tif), .xyz, .las, .laz	Raster	Applications ArcGIS (ArcGIS 3D Analyst, ArcGlobe, ArcMap, GRASS GIS) Logiciels de SIG 3D	Cartographie, modélisation tridimensionnelle de l'information, modèles virtuels de villes 3D, SIG 3D, maquettes numérique, projet de développement urbain,
Digital Terrain Model (DTM) : GeoTiff (.tif)	Raster - Surface triangulée	Logiciels SIG (ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS City Engine, ArcMap, QGIS, Global Mapper, GASS GIS) Logiciels de CAO (AutoCAD MAP3D) Logiciels de SIG 3D	Connaitre l'altitude du terrain, possibilité d'exporter le MNT d'ArcMAP vers AutoCAD via les outils de 3D Analyst (Raster Surface> Contour / Clic droit sur la couche Contour > Label Features / Enregistrer la couche (.shp) et exporter vers DAO (.dxf)
Digital Elevation Model (DEM) : Geotiff (.tif)	Raster	Logiciels SIG (ArcGIS, ArcGIS City Engine, QGIS, Global Mapper, GRASS GIS etc.)	-
Maillage 3D : .ply, .fbx, .dxf, .obj, .pdf	Vecteur	Logiciels SIG (ArGIS, QGIS...)	-
Lignes de contour : .shp, .dxf, .pdf	Vecteur	Logiciels SIG (Application ArcGIS, QGIS...) Logiciels de DAO (Autocad)	Import des courbes de niveaux dans Autocad (.dxf), visualisation en plan de données altimétriques

Tableau 13 : Type de formats et restitutions possibles des produits fournis sur Pix4D Mapper

IV.2.4 Bilan des étapes de traitement

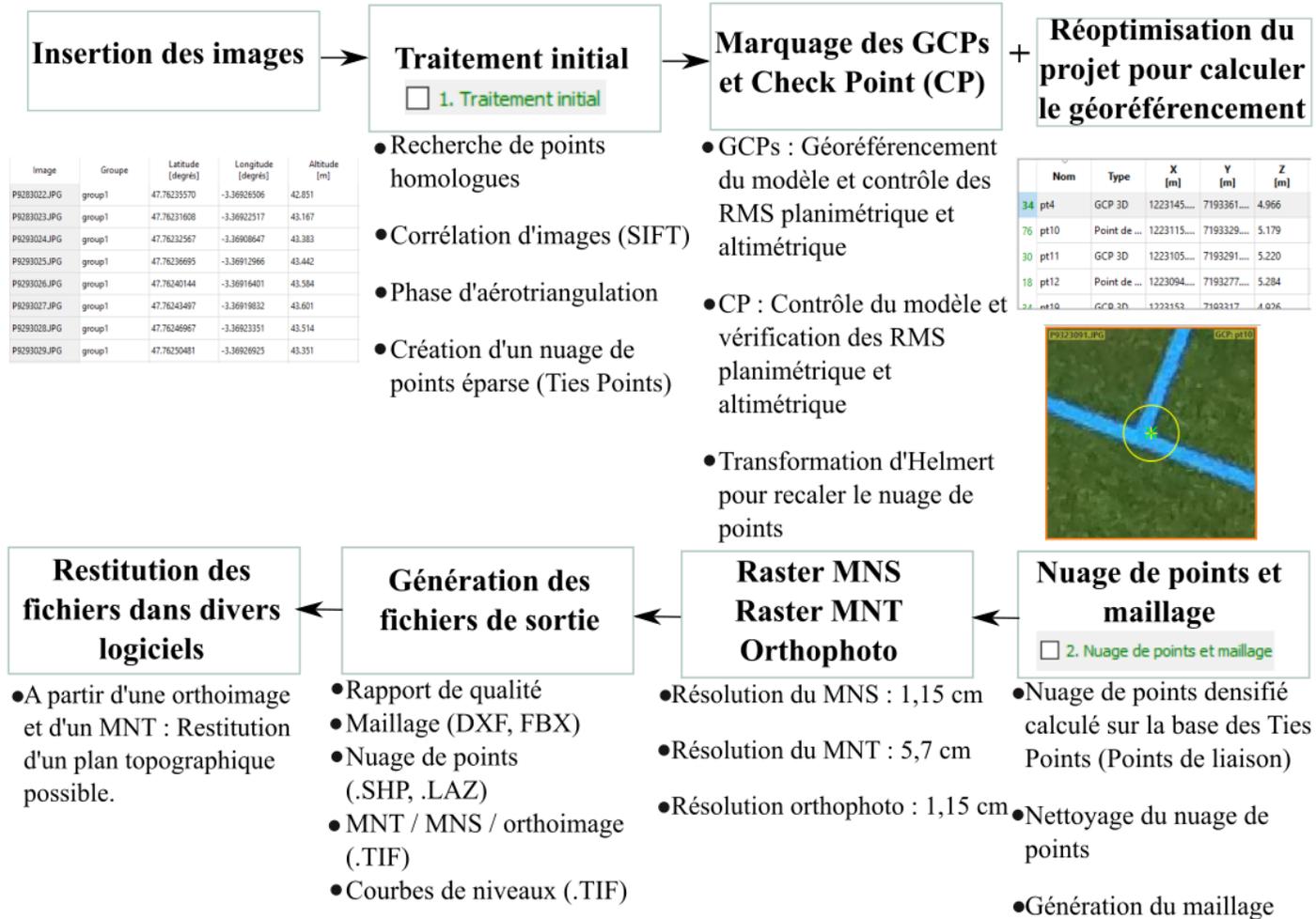


Figure 23 : Processus de traitement des données issues du drone sur Pix4D Mapper

IV.3 L'orthoimage en classe A ?

IV.3.1 Définition de la précision de l'orthoimage

Plusieurs facteurs impactent directement la précision de l'orthoimage (Figure 24) :

- La qualité du géoréférencement de l'orthoimage (recalage des images entre-elles grâce aux points d'appui connus, les GCPs, à une précision centimétrique),
- Le recouvrement entre les photos aériennes,
- La résolution du Modèle Numérique de Terrain (MNT) : distance séparant les points de la grille,
- La précision du MNT (incertitude sur l'altitude de chaque point). Les sources d'erreurs du MNT émanent de l'exactitude des points de contrôle, de la méthode utilisée pour construire le MNT et de la localisation géographique du site,
- La qualité des capteurs.

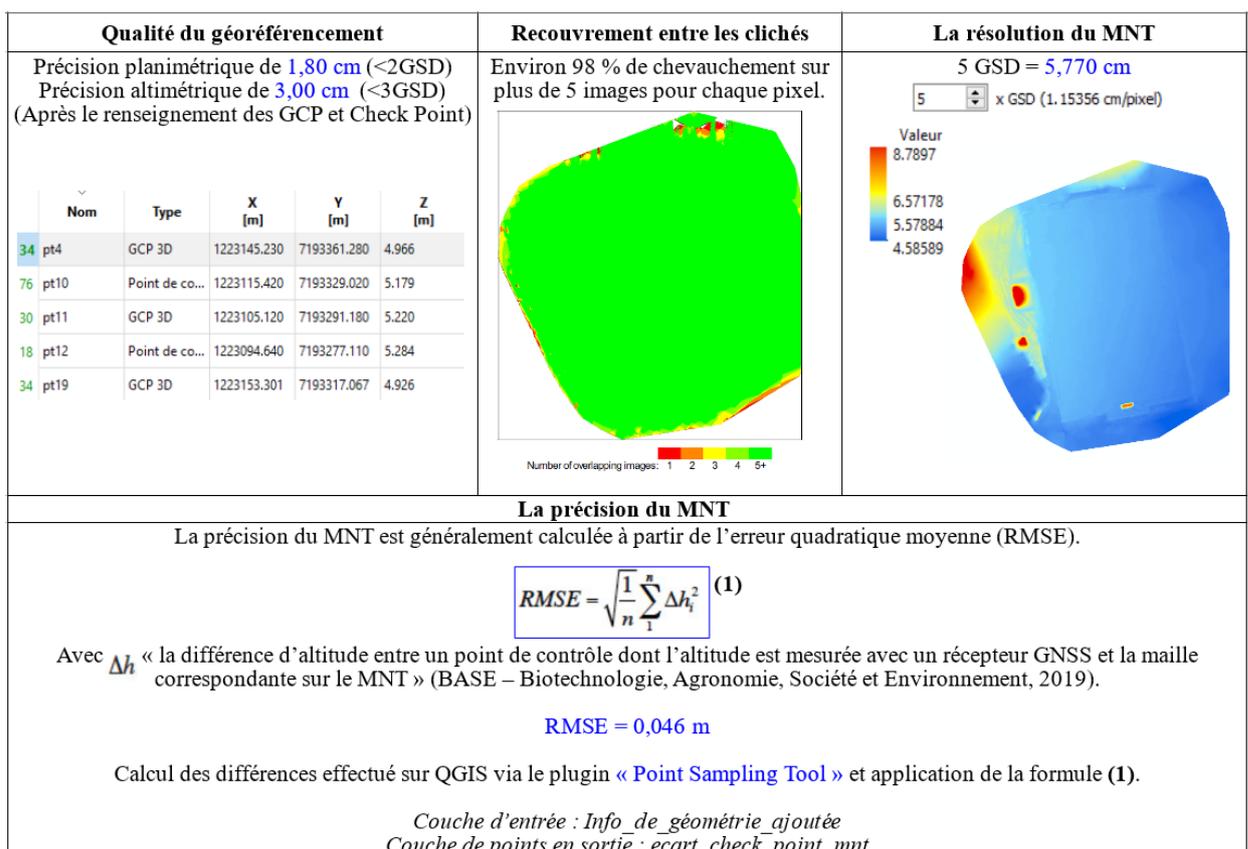


Figure 24 : Valeurs numériques des facteurs impactant la précision géométrique de l'orthoimage

La résolution de l'orthoimage n'est pas un facteur ayant une incidence sur sa précision mais uniquement sur la lisibilité de l'image. La précision géométrique de

l'orthoimage générée ne peut pas être détectée et se voir directement en l'observant, il faut réussir à la déterminer, sauf si on la superpose sur un plan topographique ou une couverture vectorielle de précision connue. Cette précision définit l'écart entre la réalité et la position X, Y sur l'image. La précision du MNT est un facteur qui impacte directement la précision de l'orthoimage car celle-ci est projetée sur le MNT, pour tenir compte des déformations dues au relief du terrain.

IV.3.2 Comparaison de l'orthoimage avec le plan de récolement

Le plan de récolement a fait l'objet de 3 opérations : le levé topographique (station totale Leica Viva TS16), un nivellement (niveau numérique Leica LS) pour déterminer l'altitude des points et un levé GPS (récepteur Leica Viva GS10 par la méthode statique rapide de précision < 2cm) pour géoréférencer le levé topographique. En superposant le plan de récolement par-dessus l'orthoimage, il y a un décalage sur la composante planimétrique au niveau de la bordure du trottoir côté Nord du stade avec un écart de 40 cm (Figure 25).



Figure 25 : Visualisation de l'écart entre l'orthoimage et le plan de récolement dans AutoCAD MAP 3D et dans ArcMAP.

Après une mesure sur le terrain et sur l'orthoimage, l'erreur provient du plan de récolement au niveau du tracé de la bordure de trottoir par le géomètre.

Hormis ce décalage dû à un mauvais tracé sur AutoCAD, l'orthoimage se superpose parfaitement au plan de récolement (Figure 26) :



Figure 26 : Superposition de l'orthoimage sur le plan de récolement

Pour que l'orthoimage soit suffisamment précise pour pouvoir recaler les réseaux en classe A et servir de fond de plan pour les réponses aux DT-DICT, le levé photogrammétrique doit être d'une précision équivalente à la classe A. Il s'agit donc de vérifier que la classe de précision de 10 cm soit respectée suivant les 3 conditions écrites de l'arrêté du 16 septembre 2003 (Annexe 2).

Le tableau 14 présente les valeurs à obtenir selon l'arrêté du 16 septembre 2003 pour obtenir une précision équivalente à la classe A. Le tableau 15 montre les précisions des différents types de levés possibles.

Dimensions	Précision	Écart moyen inférieur à	1 ^{er} seuil	2 ^e seuil (incertitude maximale de localisation)
Planimétrie	10 cm	11,25 cm	entre 0 et ± 27 cm au moins 99% des écarts	entre 0 et ± 40 cm 100% des écarts
Altimétrie	10* cm	15* cm	entre 0 et $\pm 35^*$ cm au moins 99% des écarts	entre 0 et ± 40 cm 100% des écarts

Tableau 14 : Classe de précision en planimétrie et en altimétrie d'un levé compatible avec la classe A. *Source : Eurovia*

Technique utilisée	Précision espérée	Observations
Mesure au décimètre	± 2 cm	Utilisation d'un fil à plomb, d'une mire ou d'une canne à niveau
Tachéomètre (station totale)	± 1 cm	
GNSS (GPS)	± 3 cm	En RTK, entre deux points relevés
Niveau de chantier	± 1 cm	Pour les altitudes (± 5 cm pour les distances)
Géoréférencement	± 5 cm	C'est la précision du réseau de base de l'IGN

Tableau 15 : Précision obtenue en fonction de la méthode employée sur le terrain. *Source : Eurovia*

D'après la théorie des erreurs qui prend en compte la précision de la méthode GNSS employée pour rattacher l'orthoimage, la précision du MNT et en comparant avec l'arrêté du 16 septembre 2003, la classe de précision A est respectée. La théorie des erreurs prend en compte une précision entre 2 et 5 cm pour la méthode NRTK et une précision du MNT de 4.6 cm (Figure 24). En calculant la racine carrée de la somme du carré des erreurs induites, nous obtenons une précision géométrique de l'orthoimage de 8.70 cm, bien comprise entre 1 et 10 cm, avec une résolution de 1.15 cm < 5 cm conformément aux recommandations du CNIG. Cette orthoimage est bien en classe A et peut éventuellement servir de fond de plan pour les réponses aux DT-DICT car elle ne détériorera pas la précision de localisation des réseaux.

IV.3.3 Paramètres influant la précision des résultats

Sur le terrain :

- Positionner les points de référence de manière homogène et bien répartie sur le terrain,

- Bien positionner les points GPS en évitant de les stationner près des masques (arbres ou constructions). Ils peuvent masquer les satellites et par conséquent, le GPS détermine une mauvaise position. Les masques provoquent des erreurs de multitrajets altérant la précision du positionnement.
- Vérifier qu'il y a au moins 5 satellites bien répartis et veiller à la valeur du GDOP⁴⁰ (valeur optimale proche de 1).
- Il est recommandé de prendre un recouvrement longitudinal de 80% et transversal de 60% entre les photos aériennes,

Dans le traitement :

- Choisir au moins 3 GCPs qui sont pointés dans au moins 2 images. Cependant, il est recommandé d'utiliser au moins 5 GCPs et de les pointer sur au moins 5 images pour avoir un modèle 3D correctement géoréférencé,
- Choisir suffisamment de points d'appui et de points de contrôle pour bien contraindre le modèle et les pointer dans suffisamment d'images. Cela améliorera la précision du modèle et diminuera la valeur du RMS,
- Bien procéder au pointé des points d'appui servant au géoréférencement du modèle 3D sinon cela augmente la valeur du RMS et dégrade la précision (Figure 27). Le RMS évalue la cohérence entre les coordonnées mesurées sur le terrain et les coordonnées calculées et estimées par Pix4D Mapper lors du traitement du modèle.

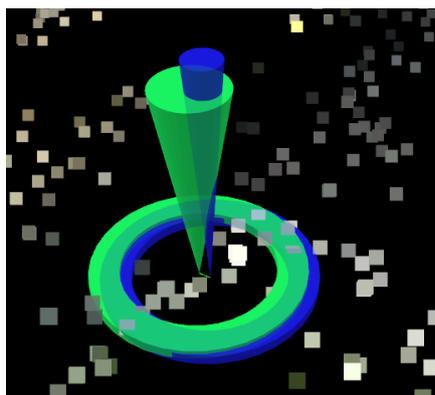


Figure 27 : Erreur de RMS : écart entre la position réelle du point et le pointé à l'écran.

⁴⁰ GDOP (Geometric Dilution Of Precision) indique le positionnement des satellites dans le ciel.

Conclusion

Les principaux enjeux de ce TFE étaient au départ très importants. En effet, la mise en place d'un référentiel topographique dédié aux plans d'éclairage public a nécessité de trouver le logiciel capable de transférer l'ensemble des données du plan DAO au sein du serveur de base de données SIG de la ville de Lorient. Après plusieurs essais sur différents logiciels, FME Workbench a été retenu puisqu'à partir d'un modèle de données établi, il permet de passer de l'échange de plans à l'échange de données numériques qui peuvent être stockées dans un référentiel et publiées par la suite sur Logéo. Une organisation spécifique avec les différents corps de métiers tels que les géomaticiens et les gestionnaires de réseaux au sein du BETC a été mise en œuvre en faveur du service de la régie d'éclairage public. Ce travail est notamment utile car les informations des réseaux sont mises à jour et conservées au sein de la base de données dans des tables définies. L'idée à la suite de ce travail pour le BETC est de pouvoir fonctionner, en 3 étapes principales, tel qu'il a été prévu, à savoir :

- Etape 1 : Le BETC transfère les données CAO dans un SIG via FME Workbench de Safe Software,
- Etape 2 : La DOSI récupère les données d'éclairage public, transférées par le BETC dans la base de données, et les publie sur Logéo,
- Etape 3 : Le service de la régie d'éclairage public récupère les données pour les exploiter dans leur logiciel métier sous IMALUX.

La conformité des plans par rapport à la charte graphique est indispensable pour pouvoir procéder à l'étape 1. Il faut que les blocs soient rangés dans les bons calques pour transférer correctement l'ensemble du contenu du plan dans les classes d'entités prédéfinies. Désormais, grâce au contrôle de conformité de Lorient Agglomération depuis 2015, le contenu topographique du BETC respecte les exigences réglementaires et la charte graphique du CCTP. Les bénéfices de cette procédure sont donc une meilleure gestion du stock topographique, directement en lien avec la charte graphique de Lorient Agglomération, ainsi qu'une amélioration de la connaissance et de la cartographie du patrimoine communal lumineux. Une optimisation de l'administration des réseaux enterrés, grâce à des procédures internes et à une gouvernance efficiente a également été établie. Ce travail a été mené sur les réseaux d'éclairage public mais il pourra également servir pour tout autres types de réseaux ou de mobiliers de l'espace public non bâti.

Concernant les réponses aux DT-DICT, le drone pourra être utilisé pour produire des orthoimages sur Pix4D Mapper, résultant des photos aériennes. La seule condition est de bien prendre en compte les différents paramètres en photogrammétrie, (recouvrement, points GPS pour le géoréférencement, pointage des points d'appui sur le logiciel etc.) évoqués auparavant, pour avoir une orthoimage de précision respectant les recommandations du CNIG. L'orthoimage produite ici a une précision géométrique inférieure à 10 cm, pouvant ainsi servir de fond de plan dans l'attente de la construction du PCRS avant 2026. Cette précision dépend de la méthode GNSS employée, de la qualité du géoréférencement via le pointage des GCPs et CPs, de la résolution et de la précision du MNT, de la qualité des capteurs et du recouvrement entre les clichés. La résolution de l'orthoimage doit également être inférieure à 5 cm, d'après la version 2.0 du standard PCRS. Ce travail a permis de valider la production d'une orthoimage de qualité par le drone et d'entériner ses usages dans la mesure où il est confirmé en tant qu'outil fiable dans le cadre des classes de précision. Le drone a également la capacité d'apporter de nombreux avantages et d'autres usages, hormis la production d'une orthoimage servant de fond de plan. Ces usages peuvent être encore approfondis pour impacter de manière positive le fonctionnement de la collectivité territoriale. Différentes questions se posent comme par exemple :

Comment générer un plan topographique automatiquement sur la base d'une orthoimage ? Cela éviterait de passer par le mécanisme de commande topographique et serait un gain de coût. Un autre usage pourrait être la récupération de données sur l'espace public, à partir d'images numériques acquises avec le drone du bureau, ou encore la détection d'objets. Cela permettrait d'effectuer des recensements d'objets sur le terrain (mobilier, longueur de voirie etc.). Néanmoins, cela nécessite de mettre en place des algorithmes de classification d'objets en détectant les points d'intérêt, en extrayant les caractéristiques spécifiques de l'image permettant de reconnaître une classe d'objet et de classer automatiquement les caractéristiques détectées par rapport à un modèle de référence, par exemple. De nombreux outils et logiciels méritent encore d'être exploités pour apporter de nombreux avantages au BETC, disposant d'un drone, encore trop peu utilisé.

Bibliographie

Travaux universitaires

- AFANGNIKE Camille, 2015, Organisation des activités « SIG et topographie » pour la gestion des réseaux d'éclairage public dans le contexte de la réforme « anti-endommagement », ESGT, 57p.
- BOUCHET Ludovic, 2019, Etude des données de référence utiles au SIG de Loire Forez Agglomération, ESGT, 53p.
- PREVIEU Michaël, Mise à jour d'une chaîne globale d'intégration de données topographiques dans un Système d'Information Géographique, 2015, ESGT, 53p.
- SEELEN Amandine, La photogrammétrie par smartphone au service du récolement de réseau en fouille ouverte, 2018, ESGT, 57p.

Articles de périodiques imprimés

- AMF - Association des Maires de France, *La réforme anti-endommagement des réseaux et l'accès au téléservice du guichet unique mise en œuvre au 1^{er} juillet 2012. Note d'information complémentaire*, 2012, p1-5.
- Légifrance, *Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'Etat, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte*, JORF du 30 octobre 2003, n°252.
- Légifrance, *Arrêté du 15 février 2012 pris en application du chapitre IV du titre V du livre V du code de l'environnement relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution*, JORF du 22 février 2012, n°0045.
- Légifrance, *Décret n° 2006-975 du 1er août 2006 portant code des marchés publics*, JORF du 4 août 2006, n°179.

- SILLARD Patrick, *Arrêté sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques : quelques aspects statistiques*, 3^{ème} trimestre 2003, Revue XYZ, n°96, p40-42.

Articles de périodiques électroniques

- PORNON Henri, REBOUD Pierre, *Organiser la topographie pour répondre aux nouvelles exigences réglementaires*, [en ligne], Mai-Juin 2013, Géomatiques Experts N°92, p26-33. Disponible sur : <http://www.geomag.fr/sites/default/files/pdf/geo92-pp26-34_topo-topohp.pdf>. (Consulté le 2 avril 2020)

Sites web

- Aquaportail, Définition de données géographiques, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.aquaportail.com/definition-6169-donnees-geographiques.html>>. (Consulté le 22 juillet 2020)
- Bulletin Officiel des Finance Publiques (BOFIP), CAD - Travaux topographiques du cadastre - La vérification des travaux topographiques, [en ligne]. Disponible sur : <<https://bofip.impots.gouv.fr/bofip/5195-PGP.html/identifiant=BOI-CAD-TOPO-60-20170503>>. (Consulté le 16 avril 2020)
- CNIG, Plan du corps de rue simplifié (PCRS) géostandard d'échange, [en ligne]. Disponible sur : <http://cnig.gouv.fr/wp-content/uploads/2019/02/CNIG_RTGE_PCRS_v2.0_r1.pdf>. (Consulté le 7 avril 2020)
- Esri, ArcGIS for Desktop, [en ligne]. Disponible sur : <<https://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/manage-data/using-arccatalog/working-with-geoprocessing-in-arccatalog.htm>>. (Consulté le 20 mars 2020, lors de l'exploitation des fonctions disponibles sur Arcgis)
- Géo confluences, [en ligne]. Disponible sur : <<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/orthophotographie>>. (Consulté le 7 juillet 2020)

- HelicoMicro. [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.helicomicro.com/2018/06/06/parrot-anafi-les-caracteristiques/> >. (Consulté le 2 juillet 2020)
- Legifrance, Le service public de la diffusion du droit, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.legifrance.gouv.fr/>>. (Consulté le 20 février 2020, lors de la recherche d'articles divers correspondant à la réforme anti-endommagement)
- LEMONITEUR, [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.lemoniteur.fr/article/reseaux-la-reforme-dt-dict-est-definitivement-actee.1179189>>. (Consulté le 11 mars 2020)
- Numérisation 3D & Construction, [en ligne]. Disponible sur : < <https://numerisation3d.construction/fonctionnement-photogrammetrie/?v=11aed0e4327> >. (Consulté le 7 juillet 2020)
- SICTIAM – Syndicat Mixte d'Ingénierie pour les collectivités et territoires innovants des Alpes-Méditerranée [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.sictiam.fr/realisez-un-pcrs/>>. (Consulté le 8 avril 2020)
- Sogelink, Investigations complémentaires Mesures de localisation : Localiser les réseaux avant les chantiers, [en ligne]. Disponible sur : < <https://www.sogelink.fr/fiches-reglementaires/dt-dict-investigations-complementaires> >. (Consulté le 13 mars 2020)

Autres

- Forum CADxp, Routines LISP.

Communication dans un congrès

- BOEASCH Jean, Point d'actualité sur la Réforme anti-endommagement, Saint Brieu, 7 mars 2017. FNEDRE – Fédération Nationale des Entreprises de Détection de Réseaux Enterrés, 8 mars 2017, p6-36.

Table des annexes

Annexe 1 : Ensemble des acteurs concernés par la réforme anti-endommagement DT-DICT.....	65
Annexe 2 : Extrait de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision.....	66
Annexe 3 : Classes de précision à respecter.....	67
Annexe 4 : Liste des calques du Cahier des Clauses Techniques Particulières en récolement.....	68
Annexe 5 : Extrait des blocs de la charte graphique	69
Annexe 6 : Mécanisme de la commande topographique.....	70
Annexe 7 : Processus d'obtention de l'emplacement d'un réseau (Guide de l'AIPR).....	71
Annexe 8 : Fonctionnement de différents services étudié lors d'entretiens.....	72
Annexe 9 : Eléments du fond de plan topographique provoquant des défauts d'homogénéité.....	74
Annexe 10 : Extrait du cahier des charges fonctionnel des champs utilisés par le service de la régie de l'éclairage public, le BETC et la DOSI	75
Annexe 11 : Affichage des couches SIG dans un environnement DAO sous forme de « calques »	76
Annexe 12 : Extrait de la table attributaire des polygones représentant le filaire du réseau et des blocs d'éclairage public dans la géodatabase, après exécution du schéma FME	77
Annexe 13 : Schéma FME réalisant le transfert des données CAO dans la géodatabase	78
Annexe 14 : Justification des paramètres retenus pour le relevé photogrammétrique	79

Annexe 1 : Ensemble des acteurs concernés par la réforme anti-endommagement DT-DICT

Les intervenants des réseaux et leurs rôles				
Guichet unique	Gestionnaire de voirie	L'Etat	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre
<p>Plateforme internet permettant à tout exploitants d'enregistrer leurs réseaux et la commune sur laquelle ils sont implantés.</p>	<p>C'est l'autorité publique qui assure la coordination et la gestion des travaux affectant le sol et le sous-sol.</p>	<p>Les directions de l'environnement (DREAL, DEAL, DRIEE) assurent le contrôle des canalisations de distribution de gaz et de transport de matières dangereuses.</p>	<p>C'est le commanditaire des travaux. Il va définir le projet, le cahier des charges, les besoins et fixer des exigences de budget, délais et qualité. Il réceptionne les travaux dès qu'ils sont terminés.</p>	<p>Il conçoit le projet et il est mandaté par le maître d'ouvrage. Il dirige et coordonne les travaux en établissant des documents techniques et des plans.</p>
Responsable du projet	Exploitant du réseau	Exécutant des travaux	Opérateur	Concepteur et encadrant
<p>Il mène le projet, c'est une personne physique ou morale de droit public ou de droit privé. Les travaux sont exécutés pour son compte.</p>	<p>Ça peut être des collectivités locales, des entreprises d'assainissement, des industries. Ils doivent diriger, organiser et veiller au bon fonctionnement des réseaux qu'ils ont à leurs charges.</p>	<p>C'est une personne physique ou morale qui assure l'exécution des travaux.</p>	<p>L'opérateur exécute les travaux. Ça peut être un conducteur d'engins dans les travaux publics, un canalisateur, un ouvrier en travaux publics.</p>	<p>Le concepteur peut être un conducteur de travaux, un chargé d'études par exemple qui prépare les projets des travaux à proximité des réseaux enterrés ou aériens. L'encadrant peut être un chef de chantier qui assure l'encadrement du chantier sous la direction du responsable de projet.</p>

Annexe 2 : Extrait de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision

L'article 5 de l'[arrêté du 16 septembre 2003](#) définit les conditions à remplir pour valider une classe de précision selon le modèle standard.

Le principe est que sur un échantillon des points à contrôler, trois conditions cumulatives doivent être remplies pour que cet échantillon soit d'une classe de précision [yy].

a) La première condition fait intervenir un écart moyen en position E_{moypos} . Il correspond à la moyenne arithmétique des écarts en position E_{pos} . Ces écarts en position représentent la distance euclidienne qui sépare un point avec des coordonnées prestataire du même point avec des coordonnées contrôlées.

L'écart moyen en position E_{moypos} de l'échantillon doit être inférieur à :

$$[yy] \times (1 + (2 \times C^2)^{-1}) \text{ cm}$$

C étant le coefficient de sécurité des mesures de contrôle.

Les deux autres conditions sont des seuils limites déduits de probabilités statistiques.

b) Le premier seuil peut être dépassé mais par un nombre limité de points N'.

Le premier seuil est défini par :

$$T = k \times [yy] \times (1 + (2 \times C^2)^{-1}) \text{ cm}$$

N' ne doit pas excéder l'entier immédiatement supérieur à : $0,01 \times N + 0,232 \times (N)^{1/2}$

(où k prend les valeurs indiquées dans la table 1 ci-dessous en fonction du nombre n de coordonnées caractérisant la position des objets géographiques et suivant la même loi statistique).

Table 1 :

Table de valeurs 1

n	1	2	3
k	3,23	2,42	2,11

Lorsque $n < 5$, aucun écart supérieur à T n'est admis (cf. table 2 ci-dessous).

Table 2 :

Table de valeurs 2

N	de 1 à 4	5 à 13	14 à 44	45 à 85	86 à 132	133 à 184	185 à 240	241 à 298	299 à 359	360 à 422	423 à 487
N'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

c) Le second seuil ne doit pas être dépassé.

Aucun écart en position dans l'échantillon ne doit excéder le second seuil défini par :

$$T = 1,5 \times k \times [yy] \times (1 + (2 \times C^2)^{-1}) \text{ cm}$$

Annexe 3 : Classes de précision à respecter

	Classe de précision	Ecart moyen en position maximum	Seuil T1 Nombre d'écarts N' dépassant	Seuil T2 Aucun écart en position ne pouvant excéder
Planimétrie des points de polygonation	1 cm	1,1 cm	2,7 cm	4,1 cm
Altimétrie des points de polygonation	1 cm	1,1 cm	3,6 cm	5,5 cm
Planimétrie des points de détails	2 cm	2,3 cm	5,4 cm	8,2 cm
Altimétrie des points de détails	2 cm	2,3 cm	7,3 cm	10,9 cm
Rattachement au système planimétrique RGF93-CC48	3 cm	3,4 cm	8,2 cm	12,3 cm
Rattachement au système altimétrique NGF-IGN69	2 cm	2,3 cm	7,3 cm	10,9 cm

Source : Cahier des Clauses Techniques Particulières – Lorient Agglomération

Annexe 4 : Liste des calques du Cahier des Clauses Techniques Particulières en récolement

III-2. 1 - Listes des calques.

FAMILLE	CALQUES	
VOIRIE	REC_BORDURE REC_CANIVEAU REC_PONT_TUNNEL REC_PASSERELLE REC_CHEMIN REC_CHAINETTE REC_PARKING REC_VOIRIE_OBJETS REC_MARQUAGE_SOL	REC_PASSAGE_PIETON REC_PISTE_CYCLABLE REC_RALENTISSEUR REC_MARQUAGE_SOL_HACHURE REC_VOIRIE_TXT REC_BORD_CHAUSSEE REC_REVETEMENT REC_REVETEMENT_TXT
BATI	REC_BATI_CONTOUR REC_BATI_HACHURE REC_BATI_LEGE REC_BATI_COTE REC_BATI_TXT REC_ESCALIER	REC_ESCALIER_MARCHE REC_BATI_OBJETS REC_RAMPE REC_CLOTURE REC_MUR_CONTOUR REC_MUR_HACHURE
RESEAUX SECS	REC_ELEC_AERIEN REC_ELEC_SOUTERRAIN REC_ELEC_OBJETS REC_ELEC_COTE REC_ELEC_TXT REC_ELEC_MESURE REC_EPIC REC_EPIC_OBJETS REC_EPIC_TXT REC_EPIC_MESURE REC_FO REC_FO_OBJETS REC_FO_TXT	REC_GAZ_SOUTERRAIN REC_GAZ_OBJETS REC_GAZ_TXT REC_GAZ_MESURE REC_TEL REC_TEL_OBJETS REC_TEL_TXT REC_FT REC_FT_OBJETS REC_FT_TXT
RESEAUX HUMIDES	REC_EP_ABANDONNE REC_EP_PRIVÉ REC_EP_AVALOIR REC_EP_REFOULEMENT REC_EP_BRANCHEMENT REC_EP_REGARD REC_EP_COLLECTEUR REC_EP_REGULATION REC_EP_COTE REC_EP_RELEVAGE REC_EP_OBJETS REC_EP_TXT REC_AEP_ABANDONNE REC_AEP_CANALISATION REC_AEP_BRANCHEMENT	REC_EU_ABANDONNE REC_EU_BRANCHEMENT REC_EU_COLLECTEUR REC_EU_COTE REC_EU_EPURATION REC_EU_OBJET REC_EU_PRIVÉ REC_EU_REGARD REC_EU_RELEVAGE REC_EU_TXT REC_EU_SURVERSE REC_EU_REJET_STEP REC_AEP_OBJET REC_AEP_REGARD REC_AEP_

Annexe 5 : Extrait des blocs de la charte graphique

	ID : RPU_001	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC	
		Nature : Réseau	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc :
		Géométrie : Linéaire	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 2 points	Nature : BT	Ligne : RPU_001
		GST1 en m	TN1 et TN2 : Alt terrain naturel	
		GST2 en m	FF1 et FF2 : Alt fond de fouille	

	ID : RPU_002	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Projecteur	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_002
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 1 point	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

	ID : RPU_003	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Candélabre	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_003
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 1 point	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

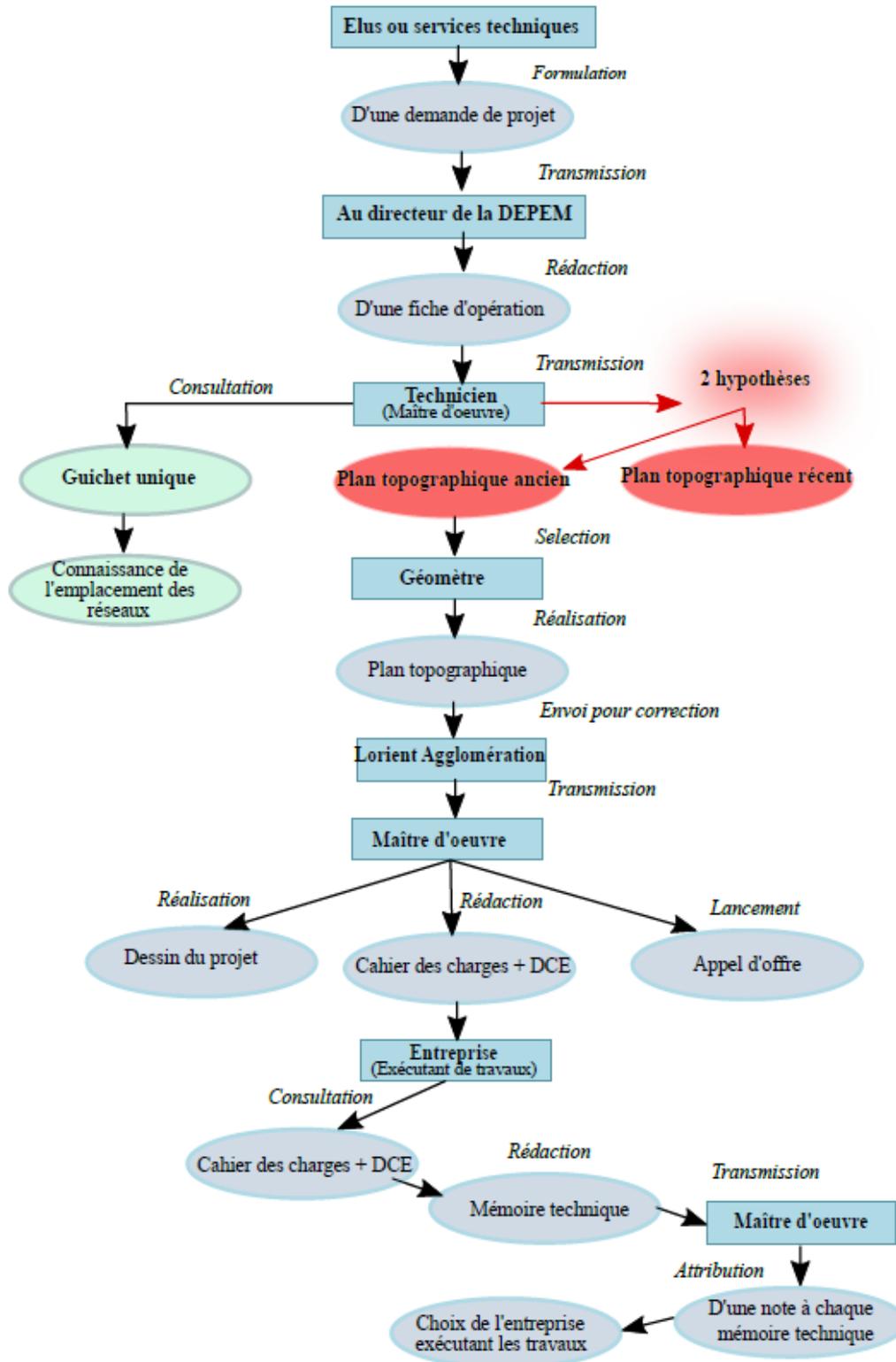
	ID : RPU_004	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Candélabre double	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_004
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 1 point	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

	ID : RPU_005	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Support EDF avec éclairage	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_005
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 1 point	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

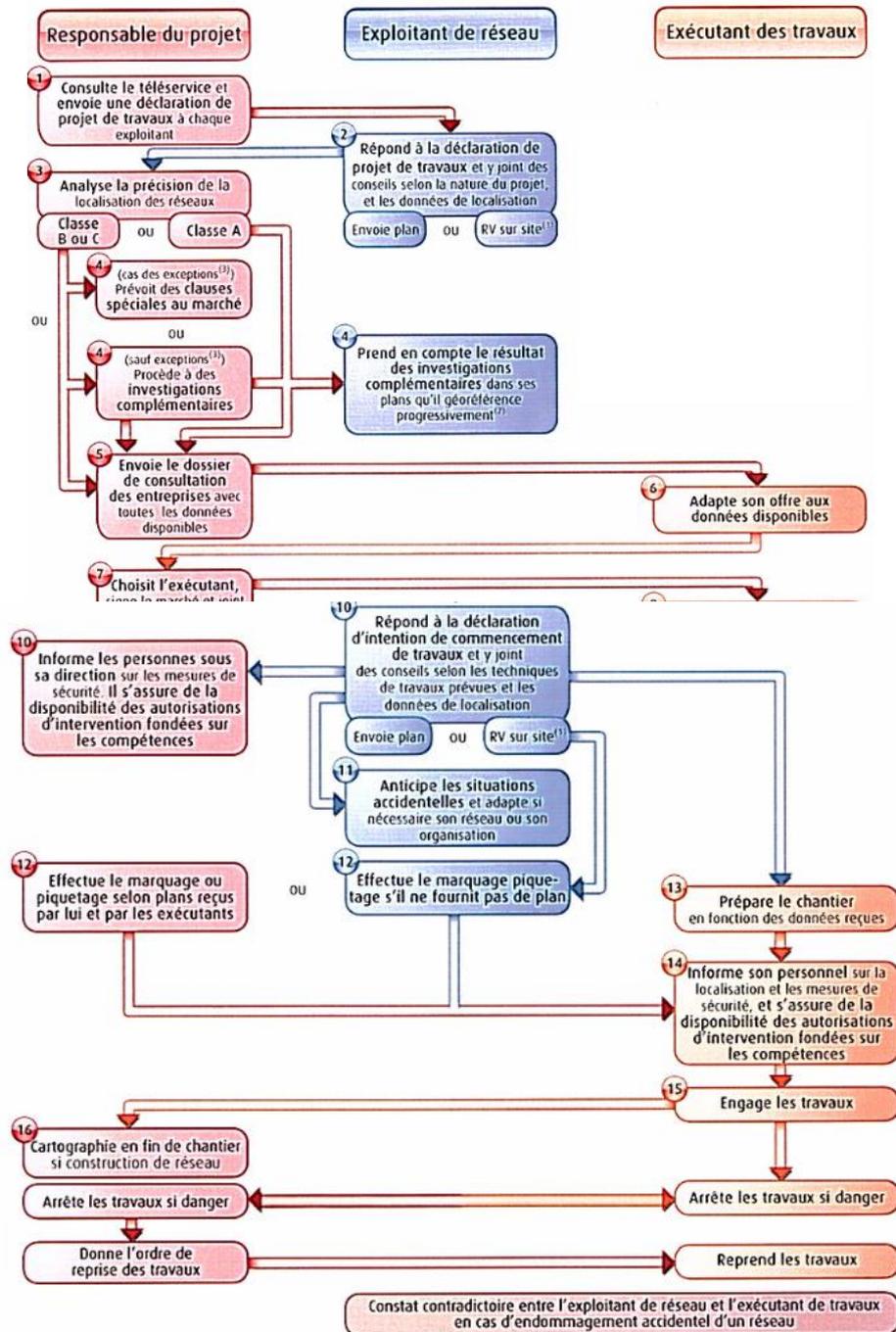
	ID : RPU_006	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Support EDF avec FT et éclairage	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_006
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 1 point	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

	ID : RPU_007	Famille : RESEAUX	Calque : REC_EPIC_OBJETS	
		Nature : Chambre	Couleur : 193 (153,102,204)	Bloc : RPU_007
		Géométrie : Symbole	Précision totale : 5 cm	Typerec : R
		Points relevés : 3 points	Altimétrie en m	Ligne : Rec_Continu

Annexe 6 : Mécanisme de la commande topographique



Annexe 7 : Processus d'obtention de l'emplacement d'un réseau (Guide de l'AIPR)



Légende :
 DT Déclaration de projet de travaux
 DICT Déclaration d'intention de commencement de travaux
 DCE Dossier de consultation des entreprises
 T Téléservice
 IMD transport de matières dangereuses

(1) Le RV sur site pour un repérage précis est obligatoire en cas de classe de précision B ou C, pour les réseaux de IMD, et dans certains cas ceux de distribution (> 4 bar, ou travaux sans tranchée, ou contre urbanisme dense), soit lors du récépissé de DT, soit lors du récépissé de DICT.
 (2) L'exploitant alimente le T avec ses coordonnées et les zones d'implantation de ses réseaux. Il tient ces informations à jour en permanence.

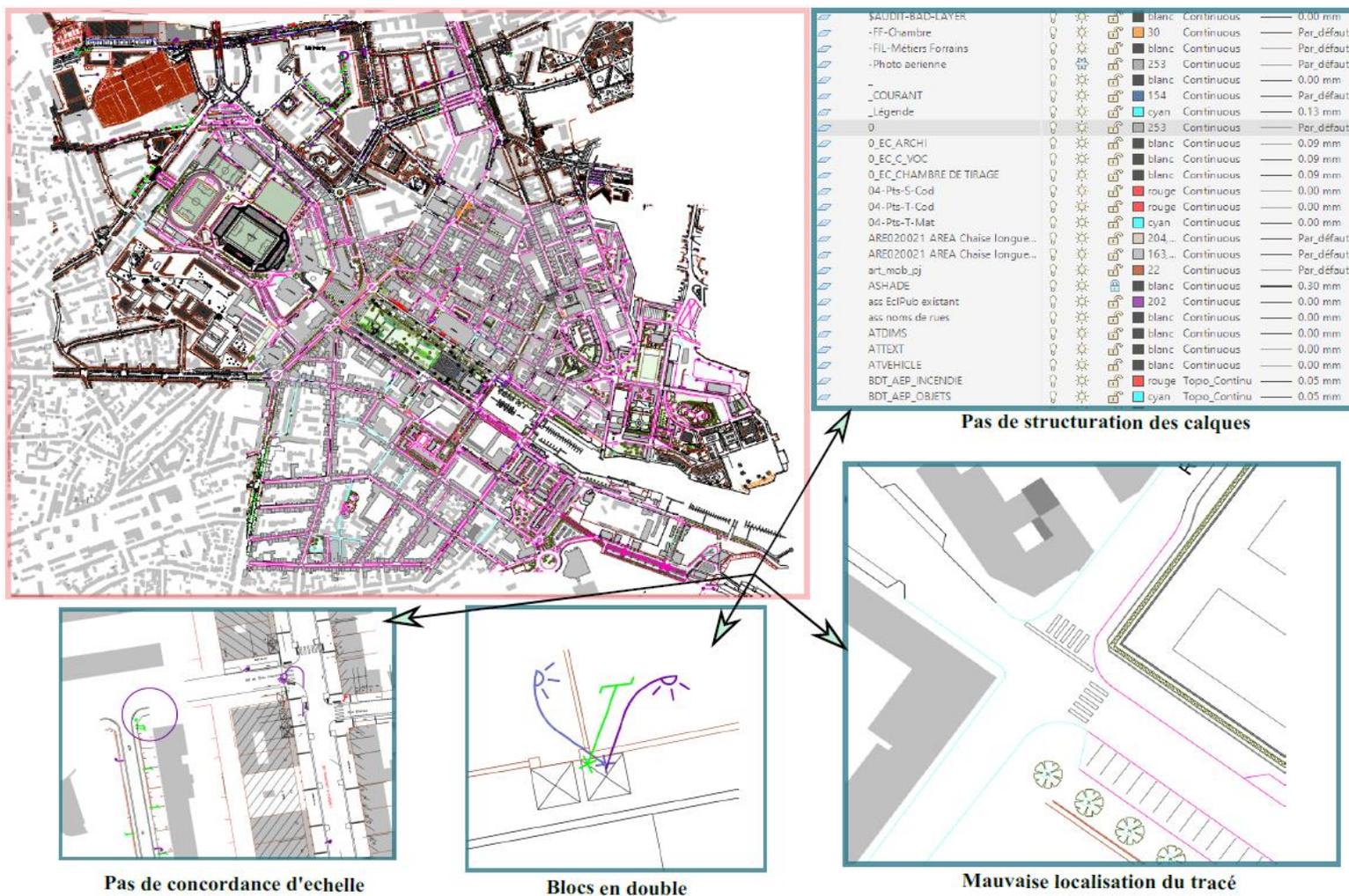
(3) Exceptions à l'obligation d'investigations complémentaires :
 • travaux de très faible emprise et très faible durée,
 • travaux près de réseaux non sensibles,
 • travaux hors unités urbaines.

Annexe 8 : Fonctionnement de différents services étudié lors d’entretiens

	Compétence	Dispose d'un SIG ?	Logiciels et applications utilisés	Méthode de transfert	Difficulté
Bureau d'Etude Techniques et de Coordination (BETC)	<ul style="list-style-type: none"> • Classement des réseaux dont il est concessionnaire (éclairage public, arrosage, basse tension privé, gaz privé, chaleur, fibre) • Gestion de l'occupation du sol lors des différentes installations au sein de la ville 	NON / dépend de la DOSI et du portail de l'Information Géographique "Logéo" de la ville de Lorient	<ul style="list-style-type: none"> • AutoCAD MAP 3D d'Autodesk, ArcGIS for AutoCAD, Photoshop, Sketchup • Application : Logéo • Désormais, utilisation d'ArcGIS Desktop, application ArcCatalog, FME de Safe Software 	<ul style="list-style-type: none"> • Objet du TFE : Transfert automatique de la donnée CAO dans le serveur de base de données SIG de la ville de Lorient (SGBD Oracle) via FME Workbench + Partage de la donnée avec le SREP via Logéo • Nécessite de disposer des logiciels et des droits d'accès à la base de données (mode éditeur et non le mode consultation) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessite des compétences en matière de SIG • Organisation à mettre en place pour le partage de l'information et la réutilisation de la donnée par les autres services techniques
Direction Opérationnelle des Systèmes d'Information (DOSI)	<ul style="list-style-type: none"> • Mettre à jour le portail de l'information géographique • Procéder au versement des données géographiques dans la base de données de la ville 	OUI / SGBD Oracle	ArcGIS Desktop d'ESRI, application ArcCatalog, SGBD Oracle, Logéo, IMAVUE, Plateforme Open Data, mobile sur le terrain pour le recensement des mobiliers ou autres	<ul style="list-style-type: none"> • Pas de transfert des plans DAO dans la base de données • Uniquement réception de données vecteurs de la part des prestataires et intégration dans la base de données • Géomaticien inventariste contribue à l'enrichissement de la base de données 	<ul style="list-style-type: none"> • Coordonner les différents services et mettre à jour la donnée

<p>Service de la régie d'éclairage public (SREP)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Gestion totale des réseaux d'éclairage public (investissement, maintenance, cartographie et contrôle de l'énergie) 	<p>NON / dépend de la DOSI et du portail de l'Information Géographique "Logéo" de la ville de Lorient</p>	<p>Logiciel métier IMALUX, AutoCAD</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération des données métiers et des données de référence sur Logéo ou récupération de plans DAO et retraçage des réseaux sous IMALUX 	<p>x</p>
<p>Syndicat Départemental d'Energie et d'Equipement du Finistère (SDEF)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distribution de l'énergie électrique + quatre compétences optionnelles (éclairage public, communications, gaz, réseaux de chaleur et de froid) 	<p>OUI</p>	<p>Logiciel interne en SIG, AutoCAD</p>	<p>Transfert manuel des données CAO dans le logiciel (attributs de la table renseignés manuellement)</p>	<p>Renseignement manuel et non automatique de la table attributaire (risque d'erreurs dans l'écriture de la valeur + perte de temps)</p>
<p>Service eau potable Lorient Agglomération</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Classement des réseaux dont il est gestionnaire dans une quinzaine de communes (Eau potable, eau usée, eau pluviale) 	<p>OUI</p>	<p>Géomédia Professional d'Intergraph, PostGIS, FME de Safe Software, AutoCAD, Covadis</p>	<p>Transfert automatique grâce à la combinaison Autocad/FME/PostGIS/Géomédia Pro</p>	<p>x</p>

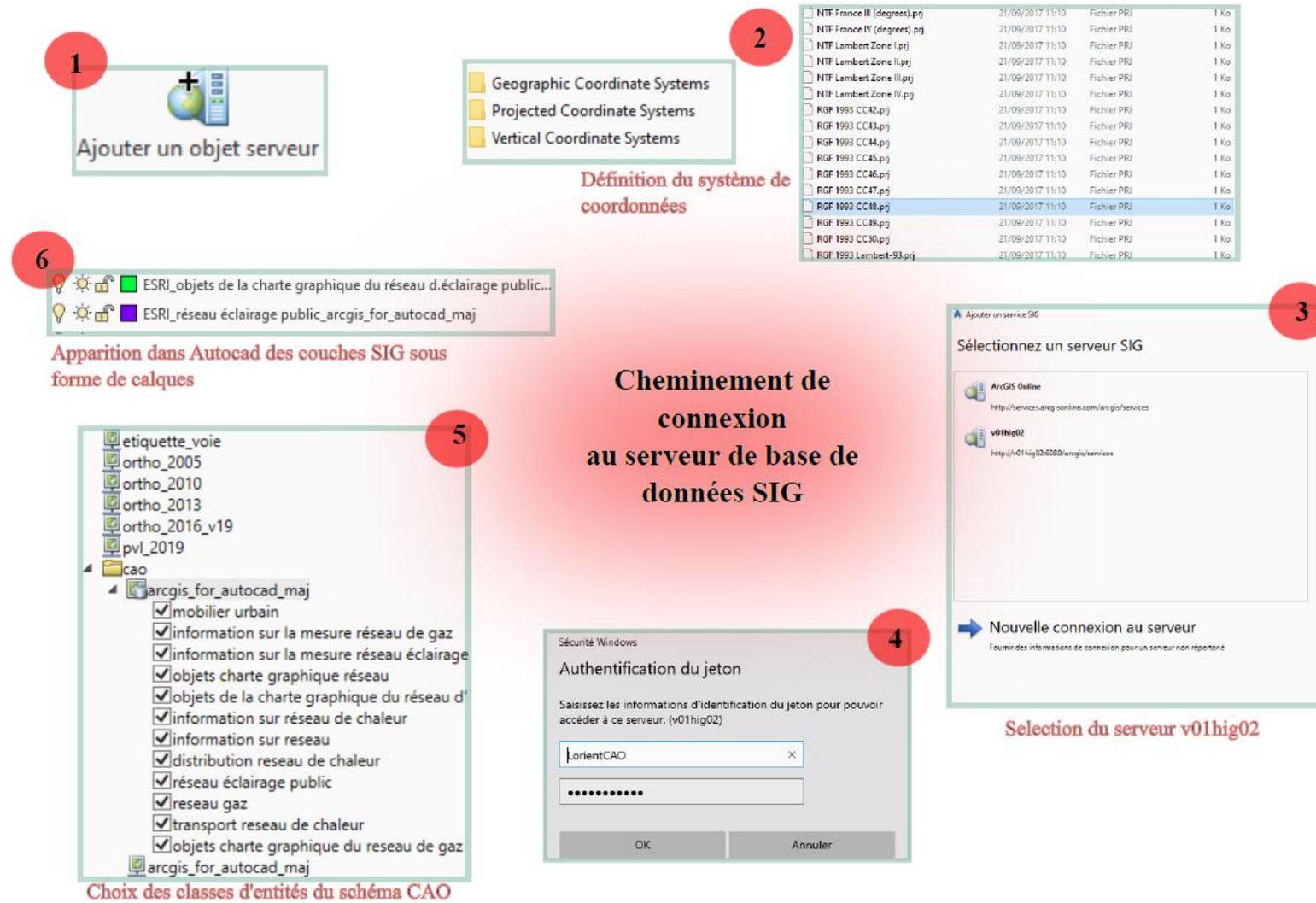
Annexe 9 : Eléments du fond de plan topographique provoquant des défauts d'homogénéité



Annexe 10 : Extrait du cahier des charges fonctionnel des champs utilisés par le service de la régie de l'éclairage public, le BETC et la DOSI

Bilan des champs						
Listing des champs dans la classe d'entités "res_ECL"						
DT_CLASSE	NATURE	FAMILLE	FOURREAU	SECT_CABLE	IMPLANT	
<i>Classe de précision</i>	<i>Type de réseau</i>	<i>Réseaux</i>	<i>Diamètre</i>	<i>Section du câble (mm²)</i>	<i>Réseau aérien ou souterrain</i>	
MAT_RES_ECL	CALQUE	NOM	PRESTATAIRE	COLLECTE_DONNEES	Z	ID_LOR
<i>Identifiant de la polygone du réseau d'éclairage public</i>	<i>Calque du bloc</i>	<i>Nom du bloc sur Autocad</i>	<i>Entreprise ayant effectué l'opération</i>	<i>Méthode de collectedes données</i>	<i>Altitude</i>	<i>Identifiant de la polygone du réseau si existant</i>
Listing des champs dans la classe d'entités "res_objets_ECL"						
MAT_OBJETS_ECL	NOM	NATURE	FAMILLE	TYPE	CALQUE	CHAMBRE_DATEINST
<i>Identifiant de l'objet du réseau d'éclairage public si non existant</i>	<i>Nom du bloc sur Autocad OU Nom dérivation jonction OU Nom autre appareil ou NOM Coffret commande</i>	<i>Nature de l'appareil</i>	<i>Réseaux</i>	<i>Type de la chambre</i>	<i>Calque du bloc</i>	<i>Date d'installation de la chambre</i>
COFF_TYPE	ORGANECOM	COFF_DATEINST	EDFNUM	PDL	MAT_HAUTEUR	ID_NODE
<i>Type de coffret (armoire, local EDF)</i>	<i>Organe commande (horloge, horloge + cellule, horloge astro..)</i>	<i>Date d'installation du coffret de commande</i>	<i>Nom affecté au compteur EDF</i>	<i>Numéro client</i>	<i>Hauteur du mât d'éclairage</i>	<i>Identifiant de l'objet du réseau d'éclairage public si existant</i>
MAT_TYPE_SUPPORT	MAT_DATEINST	MAT_EMLACEMENT	MAT_DOMAINE	LANT_TYPE_APP	LANT_COULEUR	MAT_MATERIAU
<i>Type de support du mât</i>	<i>Date d'installation de l'appareil</i>	<i>Description de l'emplacement du mât</i>	<i>Domanialité</i>	<i>Type d'appareillage(driver, ballast)</i>	<i>RAL Lanterne</i>	<i>Matériau utilisé pour l'ensemble lumineux</i>
POST_ARM	LANT_HAUTEUR_FEU	LANT_MARQUE	LANT_MODELE	LAMPE_DATEINST	LAMPE_TYPE	LAMPE_CULOT
<i>Récupération valeur coffret de commande</i>	<i>Hauteur lanterne</i>	<i>Marque lanterne</i>	<i>Modèle lanterne</i>	<i>Date d'installation lampe</i>	<i>Type de lampe</i>	
LAMPE_TEMP_COULEUR	LAMPE_PUISSANCE	LAMPE_TENSION	MAT_ADRESSE	TYPE_DERIV	DERIVJONC_DATEINST	DATEINST_AUTRES_APP
<i>Température couleur</i>	<i>Puissance (W)</i>	<i>Tension (V)</i>	<i>Adresse</i>	<i>Type de dérivation</i>	<i>Date d'installation dérivation jonction</i>	<i>Date d'installation des autres appareils</i>
LANT_DATINST	LAMPE_TEMP_COULEUR	NOM_COFF	MAT_COULEUR	REGULATION	COFF_EMLACEMENT	COFF_ADRESSE
<i>Date d'installation lanterne</i>		<i>Nom du coffret</i>	<i>Couleur du mât</i>			<i>Adresse du coffret de commande</i>
PUISSANCE_ABONNEMENT_SOUSCRIT	NOM_CAND	LAMP_NOM	MAT_HAUTEUR	NOTES	ADRESSE	ID_LOR
	<i>Nom du point lumineux</i>		<i>hauteur du mât</i>		<i>adresse dérivation jonction + autres appareils</i>	<i>Identifiant de l'objet</i>

Annexe 11 : Affichage des couches SIG dans un environnement DAO sous forme de « calques »



Annexe 12 : Extrait de la table attributaire des polygones représentant le filaire du réseau et des blocs d'éclairage public dans la géodatabase, après exécution du schéma FME

OBJECTID *	SHAPE *	SECT CABLE	IMPLANT	FOURREAU	NATURE	CALQUE	DT CLASSE	FAMILLE
1	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
2	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
3	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
4	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
5	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
6	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
7	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
8	Polyligne Z			7	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
9	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
10	Polyligne Z	3G16	SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
11	Polyligne Z		SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
12	Polyligne Z		SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX
13	Polyligne Z		SOUTERRAIN	75	RESEAU_ECL	REC_EPIC	CLASSE A	RESEAUX

Extrait de la table attributaire des polygones

FID	Shape	CALQUE	FAMILLE	HAUTEUR	NATURE
0	Point	REC_EPIC_OBJETS	RESEAUX	6 m	Candélabre simple
1	Point	REC_EPIC_OBJETS	RESEAUX	6 m	Candélabre simple
2	Point	REC_EPIC_OBJETS	RESEAUX	6 m	Candélabre simple
3	Point	REC_EPIC_OBJETS	RESEAUX	6 m	Candélabre simple
4	Point	REC_EPIC_OBJETS	RESEAUX	6 m	Candélabre simple

Extrait de la table attributaire des blocs

Propriétés de la couche

Jointures/reliations Temps Fiche HTML

Général Source Sélection Affichage Symbologie Champs Ensemble de définition

Afficher:

Entités

Catégories

--- Valeurs uniques

--- Valeurs uniques, plu

--- Correspondance av

Quantités

Diagrammes

Attributs multiples

Catégories avec les valeurs uniques d'un champ.

Champ de valeurs: NATURE

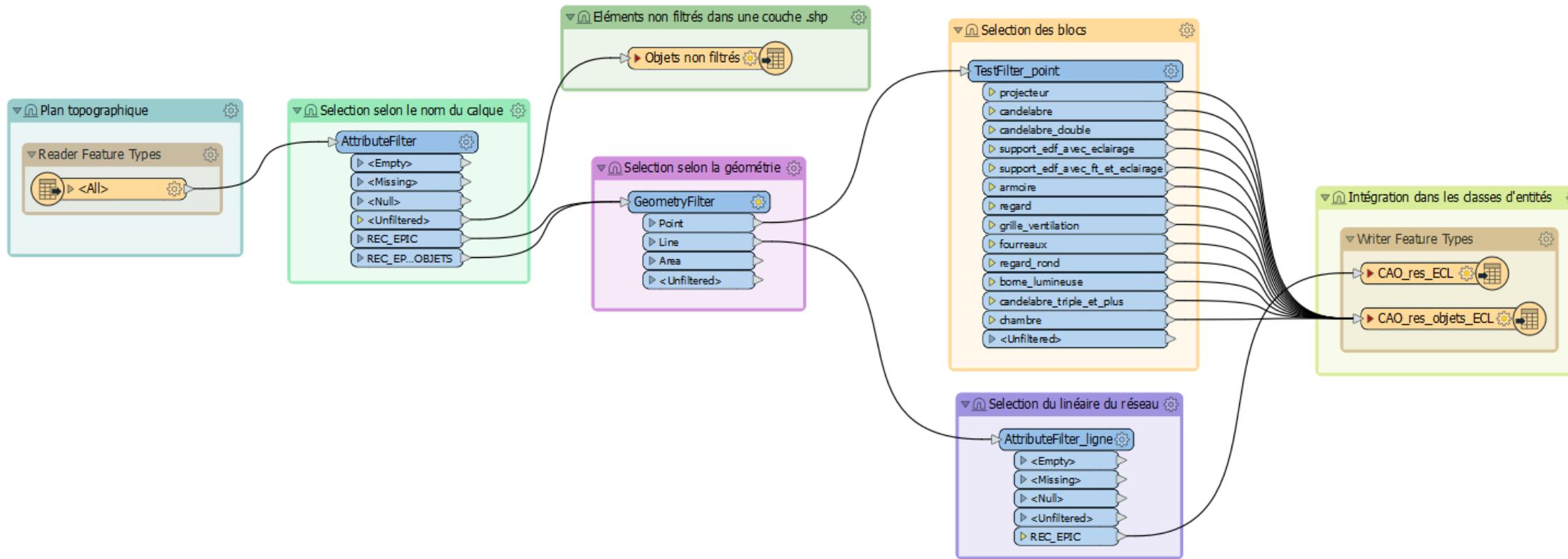
Combinaison de couleurs:

Symb...	Valeur	Etiquette	Total
<input checked="" type="checkbox"/>	<toutes les autres valeurs>	<toutes les autres valeurs>	0
	<En-tête>	NATURE	25
<input type="checkbox"/>	<Nul>	<Nul>	2
<input type="checkbox"/>	Candélabre simple	Candélabre simple	8
<input type="checkbox"/>	Chambre	Chambre	1
<input type="checkbox"/>	Fourreaux	Fourreaux	14

Ajouter toutes les valeurs Ajouter des valeurs Effacer Tout effacer Avancé

Propriétés de la couche des blocs d'éclairage public

Annexe 13 : Schéma FME réalisant le transfert des données CAO dans la géodatabase



Annexe 14 : Justification des paramètres retenus pour le relevé photogrammétrique

	Hauteur de vol (m)	Recouvrement longitudinal	Recouvrement latéral	Caractéristiques du drone	Scénario de vol
Valeurs des paramètres	37	85%	75%		
Justification du choix des paramètres	La hauteur de vol ne pouvait pas être inférieure à 37 mètres à cause des lampadaires situés autour du stade. Le drone aurait pu percuter les projecteurs si la hauteur de vol était inférieure.	Un fort taux de recouvrement entre les clichés est recommandé. Il faut au moins un recouvrement longitudinal de 60 à 80 % et au moins 60 % en transversal. Le taux de recouvrement latéral est plus faible car le temps de vol maximal du drone diminue si le recouvrement augmente donc la batterie doit tenir suffisamment. Etant donné une valeur plus faible de recouvrement latéral recommandé, nous avons diminué celle-ci.		Poids : 320 g Temps de vol max : 25 min Vitesse horizontale max : 15m/s Systèmes de positionnement satellite : GPS & GLONASS	S3 : - Zone peuplée - Poids du drone < 4 kg - Vol à vue
Influence des paramètres	Plus la hauteur de vol sera grande, moins la résolution spatiale « Ground Samping Distance » (GSD) sera bonne et le niveau de détail visible sur le cliché aérien sera diminué.	Les prises de vues aériennes doivent toujours être effectuées de manière à ce que 2 photos aient un même recouvrement latéral et longitudinal.		<u>Système d'images</u> Vitesse d'obturation : Obturation électronique 1 à 1/10000 s Résolution photo : Largeur : 21 MP (5344 x 4016) et rectiligne : 12 MP (4000 x 3000)	- Altitude max de 100 m - Distance max de 100 m

Liste des figures

Figure 1 : Bilan fonctionnel des prestations topographiques au regard des contextes réglementaires.....	17
Figure 2 : Passage des blocs et des polygones du plan .DWG à des géométries ponctuelles et linéaires accompagnées d'attributs dans un SIG	18
Figure 3 : Contrôle des calques via Géomédia Professional. <i>Source : Lorient Agglomération</i>	19
Figure 4 : Evaluation de la qualité de la donnée topographique d'après Pornon et Reboud.....	22
Figure 5 : Processus de vérification des normes du plan .DWG.....	26
Figure 6 : Transfert des blocs dans une couche vectorielle et renommage du nom du bloc avec la fonction CHANGE_SUFF via un script Lisp.....	27
Figure 7 : Principe de fonctionnement du groupement de commande.....	28
Figure 8 : Principe de structuration du PCRS, <i>source : storymaps.arcgis</i>	30
Figure 9 : Principaux enjeux de la mise en place d'un SIG au sein des collectivités	33
Figure 10 : Processus d'intégration des données CAO dans le serveur de base de données SIG de la ville.....	35
Figure 11 : Processus d'intégration des données CAO dans la base de données.....	36
Figure 12 : Principe d'intégration des données CAO des plans .DWG dans un SIG (cf. III.3.1.3).....	38
Figure 13 : Visualisation des entités annotations issues du plan de récolement « Rue de Bigors »	39
Figure 14 : Visualisation des entités ponctuelles issues du plan de récolement « Rue de Bigors »	39
Figure 15 : Visualisation des entités linéaires issues du plan de récolement « Rue de Bigors »	40
Figure 16 : Extrait d'un plan de récolement d'éclairage public sur AutoCADMAP 3D	41
Figure 17 : Données d'objets de la polyligne représentant le filaire du réseau.....	42
Figure 18 : Paramètres d'entrée et de sortie du Workspace et sélection des tables (REC_EPIC pour le réseau d'éclairage : géométrie linéaire et REC_EPIC_OBJETS pour le mobilier : géométrie ponctuelle) de la géodatabase	43
Figure 19 : Transfert du contenu du plan .DWG dans une couche vectorielle (.shp)	45
Figure 20 : Bilan des résultats procurés par les différents outils.....	46
Figure 21 : Visualisation des positions des prises de vues avec le drone ANAFI sur Pix4D Mapper	47
Figure 22 : Visualisation du nuage de points du Stade de Trefaven à Lorient sur Pix4D Mapper .	51
Figure 23 : Processus de traitement des données issues du drone sur Pix4D Mapper	53
Figure 24 : Valeurs numériques des facteurs impactant la précision géométrique de l'orthoimage	54
Figure 25 : Visualisation de l'écart entre l'orthoimage et le plan de récolement dans AutoCAD MAP 3D et dans ArcMAP.....	55
Figure 26 : Superposition de l'orthoimage sur le plan de récolement.....	56
Figure 27 : Erreur de RMS : écart entre la position réelle du point et le pointé à l'écran.....	58

Liste des tableaux

Tableau 1 : Dates d'échéances de mise en place du PCRS en fonction des zones urbaines et non urbaines, <i>source</i> : ofctp (<i>Ouest Formation Conseil Travaux Publics</i>)	12
Tableau 2 : Valeurs des incertitudes maximales de localisation en fonction des classes de précision, <i>source</i> : <i>guide de l'AIPR</i>	13
Tableau 3 : Financement des travaux de géodétection	13
Tableau 4 : Logiciels utilisés pour le contrôle des plans et l'intégration dans le SIG de Lorient Agglomération.....	19
Tableau 5 : Définition des critères de qualité.....	22
Tableau 6 : Etat des lieux des données topographiques existantes au sein du BETC	23
Tableau 7 : Diagnostic qualitatif des données topographiques au sein du BETC	25
Tableau 8 : Les deux méthodes de collecte des données pour constituer le PCRS	30
Tableau 9 : Objets PCRS classés par thèmes	31
Tableau 10 : Les bénéfices et les difficultés de mise en place d'un SIG au sein d'une collectivité	32
Tableau 11 : Description des étapes de traitement pour le passage du contenu du plan .DWG dans une base de données	36
Tableau 12 : Analyse des résultats des GCPs et des Check Point (CPs) à la suite du rattachement du modèle 3D	50
Tableau 13 : Type de formats et restitutions possibles des produits fournis sur Pix4D Mapper.....	52
Tableau 14 : Classe de précision en planimétrie et en altimétrie d'un levé compatible avec la classe A. <i>Source</i> : <i>Eurovia</i>	57
Tableau 15 : Précision obtenue en fonction de la méthode employée sur le terrain. <i>Source</i> : <i>Eurovia</i>	57

Mise en place d'une procédure de structuration des données SIG/CAO en vue de l'intégration de nouvelles techniques au sein d'une collectivité.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2020

RESUME

L'alimentation d'une base de données et la mise à jour de celle-ci au sein des collectivités territoriales permet de mieux gérer le territoire. L'utilisation du drone pourrait être un outil de recensement des éléments terrain à partir d'orthoimages. Les orthoimages générées pourraient également servir de fond de plan dans cadre de la réforme DT-DICT et conformément aux recommandations du CNIG. Cela nécessite néanmoins de trouver une organisation de la part des différents services techniques pour enrichir le patrimoine de données de la ville. Les diverses réglementations (l'arrêté du 15 février 2012, l'arrêté du 16 septembre 2003, INSPIRE) doivent être respectées pour disposer de données de qualité.

Ce travail met en œuvre une procédure de transfert des données d'éclairage public dans le serveur de base de données SIG de la ville de Lorient, en vue d'avoir une meilleure connaissance du patrimoine lumineux et de partager les données avec les différents services techniques. Plusieurs logiciels ont été utilisés (ArcGIS for AutoCAD, AutoCAD MAP 3D, ArcMap, FME, application ArcCatalog) pour réaliser ce transfert. Le logiciel FME semble être la meilleure option car il n'y a aucune perte d'information lors du versement des données CAO dans la base de données Oracle.

Mots clés : drone, orthoimages, DT-DICT, INSPIRE, SIG, logiciels, CAO, CNIG.

SUMMARY

The provision of a database and the updating of it within local authorities allows better management of the territory. The use of the drone could be a tool to identify the field elements from orthoimages. The orthoimages generated could also serve as a background map within the framework of the DT-DICT reform and in accordance with the recommendations of the CNIG. However, this requires finding an organization on the part of the various technical services to enrich the city's data heritage. The various regulations (the decree of February 15, the decree of 16 September 2003, INSPIRE) must be respected in order to have quality data.

This work implements a procedure for transferring public lighting data into the GIS database server of the city of Lorient, in order to have a better knowledge of the luminous heritage and to share data with the various technical services. Several software were used (ArcGIS for AutoCAD, AutoCAD MAP 3D, ArcMap, FME, Arccatalog application) to carry out this transfer. FME software seems to be the best option as there is no loss of information when uploading CAD data into the Oracle database.

Key words : drone, orthoimages, DT-DICT, INSPIRE, SIG, software, CAO, CNIG.