



HAL
open science

Étude des solutions permettant de capitaliser, partager et publier des données en trois dimensions de natures différentes à partir de projets d'affleurements rocheux et d'infrastructures

Simon Colle

► To cite this version:

Simon Colle. Étude des solutions permettant de capitaliser, partager et publier des données en trois dimensions de natures différentes à partir de projets d'affleurements rocheux et d'infrastructures. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2022. dumas-04002849

HAL Id: dumas-04002849

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04002849v1>

Submitted on 23 Feb 2023

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 MÉTIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMETRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

SPÉCIALITÉ : Géomètre et Topographe

par

Simon COLLE

Étude des solutions permettant de capitaliser, partager et publier des données
en trois dimensions de natures différentes à partir de projets d'affleurements
rocheux et d'infrastructures

Soutenu le 08 septembre 2022

JURY

Monsieur Jérôme VERDUN	Président du jury
Monsieur Benoît RAY	Maître de stage
Monsieur Jean-Michel FOLLIN	Enseignant référent

Remerciements

Je tiens à remercier l'ensemble des collaborateurs de l'entité *Geospatial* de la compagnie TotalEnergies pour leur accueil, leur aide et le fait de toujours pouvoir travailler dans un cadre agréable et motivant. Je suis heureux d'avoir débuté ma vie professionnelle à vos côtés et de pouvoir poursuivre notre collaboration dès le mois de septembre 2022.

Je remercie particulièrement Benoît RAY de m'avoir accepté en tant que stagiaire, de m'avoir guidé tout au long de ce mémoire et d'avoir fait preuve de réactivité lors de la rencontre d'un élément de blocage.

Je remercie également Jean-Michel FOLLIN d'avoir accepté le rôle de professeur référent sur ce sujet. Je suis très reconnaissant des différentes lectures que vous avez eues à l'égard de ce mémoire et des réponses que vous avez apportées à mes questions.

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont alimenté ma réflexion, en m'apportant des éléments sur lesquels me baser, leur expérience, ou en soulevant des enjeux et des pistes d'amélioration.

Enfin, j'adresse mes remerciements à ma famille qui m'a toujours soutenu tout au long de ma scolarité.

Liste des abréviations

ASCII :	American Standard Code for Information Interchange, <i>Code standard américain pour l'échange d'informations</i>
CARB :	Carbonate Sedimentology & Stratigraphy, <i>Sédimentologie et stratigraphie des carbonates</i>
CFP :	Compagnie Française des Pétroles
CSTJF :	Centre Scientifique et Technique Jean Féger
BDD :	Base De Données
DW :	Data Warehouse, <i>Entrepôt de données</i>
EPSG :	European Petroleum Survey Group, <i>Groupe européen d'études pétrolières</i>
FPSO :	Floating Production Storage and Offloading, <i>Unité flottante de production, de stockage et de déchargement</i>
FT¹ :	Flowline End Termination, <i>Structure à l'extrémité d'une ligne d'écoulement</i>
GDB :	GeoDataBase
GMAO :	Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur
ODS :	Operational Data Store, <i>Entrepôt de données opérationnelles</i>
OGC :	Open Geospatial Consortium, <i>Consortium sur les données géospatiales</i>
P&ID :	Piping And Instrumentation Diagram, <i>Schéma de tuyauterie et d'instrumentation</i>
POC :	Proof Of Concept, <i>Démonstration de faisabilité</i>
SDU¹ :	Subsea Distribution Unit, <i>Unité de distribution sous-marine</i>
SIG :	Système d'Information Géographique
SMF :	Sondeur Multi Faisceaux
TFE :	Travail de Fin d'Études
UTA¹ :	Umbilical Termination Assembly (<i>Nom d'une infrastructure offshore</i>)
WFS :	Web Feature Service, <i>Service de fonctionnalités web</i>
WMS :	Web Map Service, <i>Service de cartes en ligne</i>
XT¹ :	Christmas Tree (<i>Nom d'une infrastructure offshore</i>)

¹ Ces abréviations font références à des infrastructures offshore. Ces dernières sont présentées dans l'annexe 9 de ce mémoire.

Glossaire

- Affleurement rocheux :** Un affleurement est un ensemble de substrat rocheux ou d'anciens dépôts de surface non séparé du sous-sol et visible à la surface de la Terre.
- Clé étrangère :** Représente une colonne ou un groupe de colonnes dans une table de base de données relationnelle qui sert à référencer des enregistrements d'une autre table et permet d'établir des liens entre les données des deux tables (jointures).
- Clé primaire :** Correspond à une colonne ou un groupe de colonnes d'une table attributaire et sert donc à distinguer un enregistrement d'un autre.
- Couche stratigraphique :** Ensemble composé de dépôts sédimentaires ayant les mêmes caractéristiques (couleur, taille des particules, nature de la roche).
- Entité multipatch :** Une entité multipatch est un terme spécifique aux solutions développées par ESRI. Il s'agit d'un objet SIG qui stocke un ensemble de faces pour représenter la limite d'un objet 3D sous la forme d'une ligne unique dans une base de données. Les faces stockent des informations relatives à la texture, la couleur, la transparence et la géométrie qui représentent différentes parties d'une entité.
- Voxel :** Dans les applications d'ESRI, une couche de voxels représente des informations spatiales et temporelles multidimensionnelles dans une visualisation volumétrique 3D (exemple : modèle souterrain géologique).
- Jumeau numérique :** Réplique numérique conçue pour refléter avec précision un objet physique ; elle est composée d'une interface unique qui fusionne les informations techniques et de gestions sur les composants et les processus qui composent l'actif.
- Zone tampon :** Surface créée par mesure de distance autour d'un ou de plusieurs objets. La distance peut-être fixe ou paramétrable.

Table des matières

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Glossaire	4
Introduction	7
I CONTEXTE DE L'ETUDE.....	9
I.1 PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE SON ORGANISATION	9
I.1.1 La compagnie TotalEnergies	9
I.1.2 L'entité Geospatial.....	10
I.1.3 Transition progressive en cours vers le partage et la visualisation des données 3D	10
I.2 LA GESTION DES DONNEES GEOSPATIALES CHEZ TOTALENERGIES.....	11
I.2.1 L'infrastructure de stockage des données	11
I.2.2 Total Data Portal.....	12
I.2.3 ArcGIS Server et GeoServer.....	13
I.2.4 EP Maps et Kompass	14
I.3 ANALYSE DES PROBLEMATIQUES RENCONTREES ACTUELLEMENT	15
I.3.1 Recherche d'une plateforme Cloud permettant le stockage, la visualisation et l'analyse des nuages de points	16
I.3.2 Visualisation des projets d'affleurements rocheux depuis le Cloud	16
I.3.2.1 Contexte	16
I.3.2.2 Données mises à disposition par l'entité CARB.....	17
I.3.3 Rendre plus réaliste des projets d'infrastructures de TotalEnergies	18
I.3.3.1 Le cas d'un champ d'éoliennes offshore	18
I.3.3.2 Le cas d'un FPSO et ses infrastructures sous-marines	19
II EXPERTISE DES DONNEES ET DES SOLUTIONS 3D CLOUD EXISTANTES	20
II.1 ANALYSE DES FORMATS DES DONNEES 3D	20
II.1.1 Les maquettes BIM	20
II.1.1.1 Définitions générales du concept BIM	20
II.1.1.2 L'interopérabilité et le format IFC	22
II.1.1.3 Les formats natifs d'Autodesk® Revit®	23
II.1.1.4 Les formats natifs d'Autodesk® Navisworks®	23
II.1.1.5 Le logiciel Aveva® E3D Design.....	24
II.1.1.6 Bilan sur les données BIM	25
II.1.2 Les nuages de points	26
II.1.2.1 L'interopérabilité avec le format E57.....	26
II.1.2.2 Les données ASCII.....	27
II.1.2.3 Les formats propriétaires	27
II.1.2.4 Les formats du standard ASPRS	29
II.1.2.5 Bilan sur les données sous forme de nuage de points.....	29
II.1.3 Les formats de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO).....	30
II.1.3.1 Le logiciel Autodesk AutoCAD et son format DWG.....	30
II.1.3.2 Le logiciel Microstation et son format DGN.....	31
II.1.4 Les objets 3D	31
II.1.4.1 Les formats propriétaires d'ESRI	31
II.1.4.2 Le format OBJ.....	32
II.1.4.3 Le format 3DS.....	32
II.1.5 Les données SIG	32
II.1.5.1 Le format Shapefile.....	33
II.1.5.2 La GeoDataBase.....	34

II.2	RECENSEMENT DES SOLUTIONS PERMETTANT LE STOCKAGE ET LA VISUALISATION DES DONNEES DEPUIS LE CLOUD	35
II.2.1	Les exigences de TotalEnergies	35
II.2.2	Présentation des solutions retenues	39
II.2.2.1	ATIS.cloud	40
II.2.2.2	Cintoo Cloud	40
II.2.2.3	SAMP	42
II.2.3	Bilan sur les solutions Cloud	42
III	INSTAURATION DES PROCEDURES PERMETTANT LA MISE EN VALEUR DES DONNEES GEOSPATIALES.....	43
III.1	LE CAS DES AFFLEUREMENTS ROCHEUX	43
III.1.1	Gestion des données photogrammétriques	44
III.1.2	Gestion des données d'interprétations.....	45
III.1.2.1	Les points	45
III.1.2.2	Les polygones.....	47
III.1.2.3	Les polygones	49
III.1.3	Procédure à utiliser pour la publication sur EP Maps	50
III.2	LE CAS DES PROJETS D'INFRASTRUCTURE DE TOTALENERGIES	53
III.2.1	Création d'une couche d'élévation.....	53
III.2.2	Gestion des données vectorielles.....	55
III.2.2.1	Le cas d'un champ d'éoliennes offshore en développement	55
III.2.2.2	Le cas d'un gisement offshore en développement.....	56
III.2.3	Publication des données sur EP Maps.....	57
	Conclusion	60
	Bibliographie	61
	Table des annexes	64
	Liste des figures.....	83
	Liste des tableaux	84

Introduction

Aujourd'hui, TotalEnergies acquiert de plus en plus de données en deux et trois dimensions par le biais de ses collaborateurs ou via des prestataires externes. La nature de ces données diffère selon le type du projet et selon les personnes mandatées pour la réalisation de l'acquisition ou de la conception. Afin d'éviter le travail particulièrement fastidieux lié à la conversion d'un format à un autre commun à tous, et de ce fait perdre des informations lors de la conversion tel que le mentionne Gbongbo (2021), il est nécessaire d'établir un cahier des charges précisant le format interopérable à utiliser pour chaque type de données. En effet, plusieurs types de données peuvent être pris en compte dans les projets menés par TotalEnergies :

- ❖ Acquisition de nuage de points par méthode LiDAR par le biais d'un scanner laser fixe ou mobile ;
- ❖ Conception de maquette BIM² pour un projet futur ou existant (à partir de nuages de points) ;
- ❖ Acquisition photogrammétrique à partir d'un drone, d'appareils photographiques... ;
- ❖ Plans d'infrastructures en deux ou trois dimensions.

Cependant, on constate chez TotalEnergies et dans de nombreuses autres entreprises que ces données ne sont pas toujours mises en valeur et sont actuellement pour la plupart stockées sur des disques durs dans des armoires. De ce fait, seule la personne étant en possession de ces disques durs peut visualiser et travailler sur les données. Or, la visualisation et le partage d'un projet en trois dimensions permettent une meilleure compréhension ainsi qu'une meilleure coordination entre les collaborateurs. Quel que soit le type d'information que l'on souhaite représenter, le visuel permet toujours de mieux comprendre et d'appréhender un projet. En plus de la visualisation en deux dimensions, l'entité *Geospatial*³ souhaite promouvoir la visualisation et le partage des données entre les collaborateurs de TotalEnergies pour des projets en trois dimensions.

² Le concept BIM est défini dans la partie **II.1.1.1**

³ Voir partie **I.1.2**

Les objectifs visés par ce travail de fin d'études (TFE) sont tous liés à la gestion et à la capitalisation des données au sein de *Geospatial*. En effet, l'un des objectifs est de disposer à la fin de ce projet d'une plateforme Cloud⁴ permettant le stockage et la visualisation des nuages de points. Tout en offrant la possibilité de réaliser des mesures, cette solution devra être accessible à tous les collaborateurs de TotalEnergies concernés par les projets. De plus, l'un des autres objectifs est d'analyser les capacités de publications en trois dimensions de projets d'affleurements rocheux et d'infrastructures en tout genre (Infrastructures onshores⁵ et offshores, champs éoliens offshores ...) sur le portail ArcGIS Entreprise de TotalEnergies : EP Maps. Pour satisfaire ces deux objectifs, une analyse sur l'interopérabilité des données est nécessaire.

Ce mémoire de TFE va se diviser en trois grandes parties. La première partie consistera en une définition du contexte et des problématiques qui entourent le sujet afin de mieux appréhender le travail à réaliser. La seconde partie établira une expertise des formats de données en trois dimensions ainsi que les solutions permettant de visualiser ces données depuis le Web. La dernière partie quant à elle présentera les traitements à effectuer sur les données de manière à les capitaliser, les publier et les partager avec les collaborateurs de TotalEnergies.

⁴ Le terme *Cloud* est défini dans la partie **II.2** de ce mémoire.

⁵ Le terme Onshore est issu de l'anglais. Il désigne toutes les opérations se déroulant dans l'espace terrestre par opposition aux opérations Offshore qui sont quant à elles en mer.

I Contexte de l'étude

I.1 Présentation de la structure d'accueil et de son organisation

I.1.1 La compagnie TotalEnergies

TotalEnergies, anciennement Total, est une compagnie internationale de production et de fourniture d'énergies : pétrole et biocarburants, gaz naturel et gaz vert, renouvelable et électricité (*TotalEnergies, une compagnie multi-énergies*, 2021). En effet, TotalEnergies s'oriente de plus en plus vers les énergies renouvelables. Pour marquer ce changement vers une nouvelle identité plus verte, un changement de nom était nécessaire comme l'a commenté Patrick Pouyanné, le président-directeur général de TotalEnergies, le 28 mai 2021 lors de l'assemblée générale ordinaire et extraordinaire des actionnaires de la société :

« L'énergie c'est la vie. Nous en avons tous besoin et elle est source de progrès. Alors aujourd'hui, pour contribuer au développement durable de la planète face au défi climatique, nous avançons, ensemble, vers de nouvelles énergies. L'énergie se réinvente et ce chemin des énergies, c'est le nôtre. Notre ambition est d'être un acteur majeur de la transition énergétique. C'est pour cela que Total se transforme et devient TotalEnergies ».

L'engagement de la compagnie est d'être l'un des acteurs majeurs de la transition énergétique en plaçant le développement durable au centre de sa stratégie basée autour de quatre axes :

- ❖ **L'énergie durable** : ajuster le modèle énergétique de manière à lutter contre le changement climatique tout en répondant aux besoins de la population ;
- ❖ **Le bien-être des personnes** : être une référence en tant qu'employeur et opérateur responsable ;
- ❖ **L'excellence environnementale** : être exemplaire en matière de gestion de l'environnement et de l'exploitation des ressources naturelles de la planète ;
- ❖ **La création de valeur pour la société** : assurer une prospérité partagée, créer de la valeur et apporter des changements positifs pour les communautés de leurs régions d'ancrages.

Historiquement, TotalEnergies a été créé en 1924 sous le nom de la Compagnie Française des Pétroles (CFP) dans l'objectif de permettre à la France de prendre une place importante dans l'aventure du pétrole et du gaz. Pour cela, au fil des années, la CFP a croisé la route de deux autres grandes compagnies pétrolières : Elf Aquitaine et Petrofina. A

l'origine concurrente, ces trois compagnies ont fusionné en 1999 pour donner naissance à Total. Aujourd'hui, TotalEnergies compte plus de 105 000 collaborateurs avec plus de 160 nationalités représentées dans le monde entier. En France, la compagnie est implantée dans plusieurs secteurs et notamment à Pau au Centre Scientifique et Technique Jean Féger (CSTJF), le lieu dans lequel j'ai réalisé mon TFE.

I.1.2 L'entité Geospatial

L'année 2021 a été marquée par la réorganisation de la compagnie TotalEnergies. Une nouvelle branche : OneTech a été créée afin de marquer la volonté d'un changement d'identité au sein de la compagnie. Ce travail de fin d'études s'est déroulé au sein de l'entité *Geospatial* qui regroupe des compétences en topographie, systèmes d'informations géographiques (SIG) et télédétection. Cette entité fait partie de la nouvelle branche OneTech et est subdivisée en trois autres entités ayant chacune des missions à mener à bien dans leurs domaines de compétences. Des informations complémentaires concernant le CSTJF, la nouvelle branche OneTech ainsi que l'entité *Geospatial* sont disponibles en annexe 1.

I.1.3 Transition progressive en cours vers le partage et la visualisation des données 3D

Au sein de l'entité *Geospatial*, on constate que de plus en plus de données en trois dimensions sont acquises. Ces données en 3D sont issues de différents moyens d'acquisitions que ce soit par photogrammétrie ou scanner laser pour ne citer qu'eux. Elles sont actuellement stockées sur des disques durs, ce qui ne favorise pas leurs capitalisations. De manière à pallier cela, l'entité *Geospatial* souhaite trouver un moyen permettant le partage de ces données avec les collaborateurs de TotalEnergies tout en ayant la possibilité de les visualiser. Cette capitalisation des données permet de faciliter la compréhension mais aussi de valoriser des projets de tout genre. Une analyse des solutions offrant ces possibilités est donc nécessaire tout en se référant au maximum aux applications auxquelles les collaborateurs de TotalEnergies sont formés et en répondant aux problématiques rencontrées.

Après avoir présenté TotalEnergies ainsi que l'entité *Geospatial*, nous allons maintenant exposer la façon dont sont gérées les données géospatiales au sein de TotalEnergies.

I.2 La gestion des données géospatiales chez TotalEnergies

Les données géospatiales sont stockées dans différentes bases de données suivant leurs natures puis elles sont utilisées dans des applications de bureau avant d'être publiées sur le Web.

I.2.1 L'infrastructure de stockage des données

Les données sont actuellement stockées dans trois bases de données (BDD).

- ❖ **Operational Data Store (ODS)** : l'ODS désigne une base de données hébergeant de nombreux schémas⁶. Il s'agit d'une base de données d'intégration, c'est-à-dire qu'elle stocke les données ainsi que les procédures qui leur sont associées (fonctions, triggers⁷...). Cette BDD est utilisée lorsque l'on ajoute des données pour la première fois ou lorsque des données doivent être traitées. Aucune donnée ayant vocation à être partagée sur le Web à travers des couches ou des services Web ne doit être stockée sur l'ODS.
- ❖ **Data Warehouse (DW)** : la DW désigne aussi une base de données hébergeant de nombreux schémas mais contrairement à l'ODS, elle est utilisée pour stocker les données finalisées qui peuvent être publiées et affichées aux utilisateurs.
- ❖ **Versioned database** : cette BDD permet d'avoir plusieurs versions d'une classe d'entités (ou d'une table) qui coexistent. La version « parent » contient les données définitives tandis que les éditions peuvent avoir lieu dans les versions « enfants » (versions temporaires). Ce processus permet de contrôler les éditions effectuées sur chaque version et de gérer les éventuels conflits.

De plus, pour chaque BDD, il existe une version de préproduction qui sert à faire des tests et des modifications sans compromettre les bases de données utilisées par les applications ou par les utilisateurs.

⁶ Un schéma de base de données représente la configuration logique de tout ou partie d'une base de données relationnelle. Il peut se présenter à la fois sous la forme d'une représentation visuelle et d'un ensemble de formules, appelées « contraintes d'intégrité », qui régissent une base de données. Ces formules sont exprimées dans un langage de définition des données, tel que SQL

⁷ Un trigger est un dispositif logiciel qui provoque un traitement particulier en fonction d'événements prédéfinis.

Une fois les données stockées dans des BDD, elles peuvent être utilisées dans des logiciels de SIG (ArcMap ou ArcGIS Pro) par le biais notamment de l'application *Total Data Portal* et dans des applications Web à partir d'*EP Maps* et *Kompass*. La figure ci-dessous (figure 1) présente l'infrastructure de stockage des données géospatiales. Les schémas sont liés à des BDD et sont ensuite utilisés par les utilisateurs depuis des logiciels de SIG de façon automatique (utilisation d'un script Python par exemple) ou de façon manuelle. Les données obtenues à la suite des traitements réalisées depuis les logiciels de SIG sont ensuite publiées sur une application bureautique (*Total Data Portal*) et des applications Web (*EP Maps* et *Kompass*).

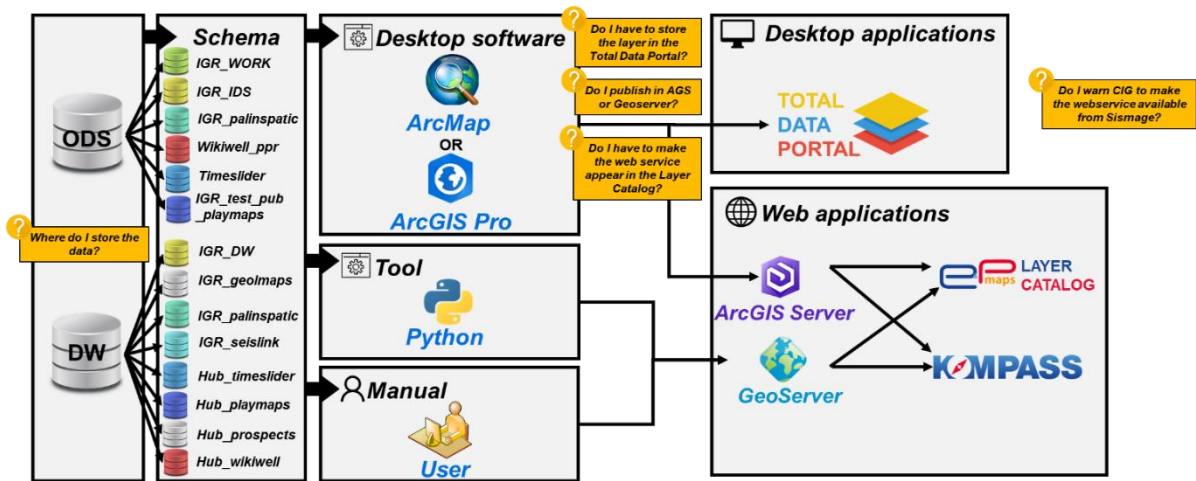


Figure 1 : Étapes liées à l'utilisation d'une donnée. Source : Entité Geospatial - TotalEnergies

Les applications Total Data Portal, EP Maps et Kompass sont supposées avoir le même contenu avec la même structure organisationnelle.

I.2.2 Total Data Portal

Le Total Data Portal est un Add-In⁸ développé en interne disponible pour tous les utilisateurs de TotalEnergies ayant accès aux applications de bureau d'ESRI⁹ : ArcMap et ArcGIS Pro. Cet Add-In permet l'accès aux couches couramment utilisées à l'échelle mondiale et régionale. Il inclut aussi les couches de référence.

⁸ Un Add-In est un module externe ajouté à un logiciel pour lui apporter des nouvelles fonctionnalités.

⁹ ESRI : Environmental Systems Research Institute, entreprise Américaine qui développe des logiciels de SIG tels que ArcMap et ArcGIS Pro.

I.2.3 ArcGIS Server et GeoServer

L'entité *Geospatial* dispose de deux solutions informatiques assurant le rôle de serveur de stockage des données : **ArcGIS Server** et **GeoServer**.

ArcGIS Server se définit comme un « composant logiciel [...] en arrière-plan d'ArcGIS Entreprise qui met les informations géographiques à la disposition des autres utilisateurs de l'organisation »¹⁰. La solution ArcGIS Entreprise de TotalEnergies se nomme « **EP Maps** ». Cette solution assure des fonctions de cartographie, de visualisation, d'analyse et de gestion des données. Quatre composants d'ArcGIS Entreprise sont nécessaires pour réaliser ces fonctions :

- ❖ **ArcGIS Server** : composant logiciel qui met les données d'informations géographiques à la disposition des autres utilisateurs d'EP Maps ;
- ❖ **Le portail ArcGIS Entreprise** : permet aux utilisateurs de créer, partager et gérer des cartes, des applications et des données spatiales, avant de les partager avec des collaborateurs ;
- ❖ **ArcGIS Data Store** : permet de configurer le stockage des données du serveur d'hébergement ;
- ❖ **ArcGIS Web Adaptor** : intègre *ArcGIS Server* et *Portal for ArcGIS* aux serveurs Web existants et à l'infrastructure de sécurité de l'organisation.

GeoServer quant à lui se définit comme un « serveur informatique open source et libre écrit dans le langage informatique Java »¹¹. GeoServer permet aux utilisateurs de partager et modifier des données géographiques. De plus, il est conçu pour l'interopérabilité ; en effet, il publie les données de toutes les sources principales de données spatiales utilisant des normes ouvertes (WMS, WFS...).

Le fait d'avoir deux serveurs assurant le rôle de stockage des données de type géospatiales est la volonté de TotalEnergies. En effet, certaines fonctionnalités étant mieux assurées sur l'une ou l'autre des solutions informatiques, disposer des deux permet de compenser les lacunes propres à chaque solution.

¹⁰ Présentation d'ArcGIS Server. Disponible sur : <https://enterprise.arcgis.com/fr/server/latest/get-started/windows/what-is-arcgis-for-server-.htm>, consulté le 16/05/22

¹¹ Geoserver. Disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/GeoServer>, consulté le 19/05/22

Pour donner suite à la présentation des solutions de stockage des données sur des serveurs, nous allons maintenant vous présenter les applications de visualisation.

I.2.4 EP Maps et Kompass

EP Maps et **Kompass** sont les deux applications utilisées pour la publication des couches de données géospatiales sur le Web. Ces deux applications utilisent les données stockées sur les ArcGIS Server ou Geoserver gérés par TotalEnergies. Contrairement à **EP Maps**, l'application **Kompass** est une application développée complètement en interne mais qui à l'heure actuelle ne prend pas en compte les données en trois dimensions. Les données utilisées durant ce stage étant majoritairement en trois dimensions, nous allons surtout nous intéresser aux capacités de publications sur EP Maps, l'ArcGIS Entreprise de TotalEnergies développé par ESRI.

Avant d'être publiées sur **EP Maps**, les données doivent subir quelques opérations. La figure 2 schématise ces étapes, certaines sont obligatoires, d'autres sont optionnelles. Une donnée est créée à la suite d'une demande ou d'un besoin. Pour répondre à cette demande, un modèle de données est créé. Ce dernier peut intégrer des données de différentes natures : raster, vecteur (points, polygones, polygones...). Il est ensuite renommé et stocké dans des bases de données dans lesquelles on retrouve des tables attributaires ainsi que des classes d'entités créées à partir d'ArcGIS Pro ou PostgreSQL. Dans son glossaire publié en 2020¹², ESRI définit les deux termes de la façon suivante :

- Table attributaire : « Ensemble d'éléments de données disposés en lignes et en colonnes. Chaque ligne représente un seul enregistrement. Chaque colonne représente un champ de l'enregistrement. Les lignes et les colonnes se croisent pour former des cellules, qui contiennent une valeur spécifique pour un champ dans un enregistrement ».
- Classe d'entités : « Ensemble d'un type commun d'entités géographiques [...] ayant le même type de géométrie (point, ligne ou polygone, par exemple), les mêmes champs attributaires et la même référence spatiale. Elles permettent de grouper des entités homogènes dans une seule unité à des fins de stockage. »

¹² Glossaire ESRI. Disponible sur : <https://www.esrifrance.fr/glossaire.aspx>, consulté le 19/05/2022.

Après avoir été stockées dans une BDD et avant d'être enregistrées dans une GeoDataBase¹³, les classes d'entités voient les performances des requêtes spatiales auxquelles elles font référence s'améliorer. En effet, l'utilisation d'index spatiaux¹⁴ permet d'améliorer leurs performances lors de l'interrogation et de la modification des données. Ensuite, les données sont liées entre elles grâce à des clés primaires et étrangères. Pour finir, la publication des données est gérée depuis ArcGIS Pro tandis que la scène est préparée directement depuis EP Maps.

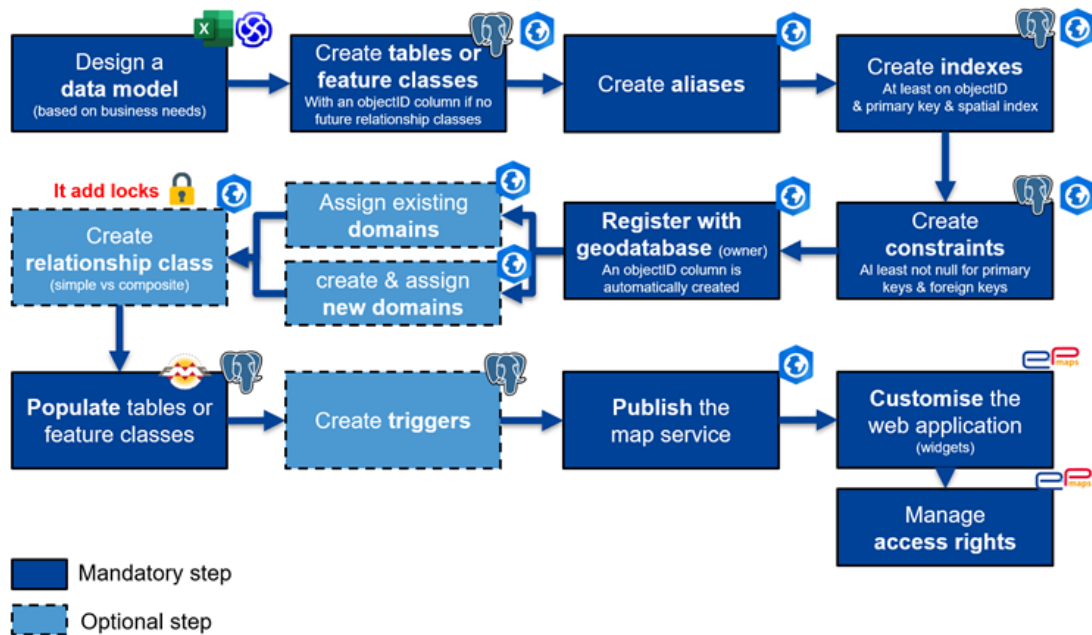


Figure 2 : Étapes de publication d'une donnée sur EP Maps. Source : Entité Géospatial - TotalEnergies

Après avoir présenté la gestion des données géospatiales au sein de TotalEnergies, nous allons maintenant mettre en avant les problématiques rencontrées actuellement et auxquelles nous allons répondre avec ce mémoire.

I.3 Analyse des problématiques rencontrées actuellement

Actuellement, plusieurs problématiques en lien avec la gestion des données en trois dimensions sont à l'étude au sein de *Geospatial*. Les problématiques qui m'ont été confiées sont les suivantes :

¹³ Voir II.1.5.2

¹⁴ Index spatial : C'est une forme d'indexation utilisée dans les bases de données afin d'optimiser les calculs impliquant des positionnements ou des distances.

- ❖ Trouver une solution Cloud permettant le stockage, la visualisation et l'analyse des nuages de points depuis le Web.
- ❖ Comment assurer la visualisation des affleurements rocheux ainsi que leurs données d'interprétations depuis une plateforme Cloud ?
- ❖ A partir de données en deux dimensions, comment rendre plus réaliste des projets d'infrastructures offshore de TotalEnergies et les partager avec ses collaborateurs ?

I.3.1 Recherche d'une plateforme Cloud permettant le stockage, la visualisation et l'analyse des nuages de points

Comme souligné lors de l'introduction de ce mémoire, la plupart des nuages de points acquis par les prestataires de TotalEnergies sont actuellement stockés localement. Pour pallier le manque de partage d'informations, une mission m'a été confiée durant ce projet : trouver une plateforme Cloud permettant le stockage, la visualisation et l'analyse des nuages de points.

Avec cette plateforme Cloud, l'entité *Geospatial* a l'ambition de stocker les nuages de points en lien avec le projet *Quantum* mais aussi des données Géospatiales concernant des projets de Géosciences.

En 2016, TotalEnergies a lancé le programme *Quantum*, un programme de gestion du numérique et de l'information. *Quantum* construit un jumeau numérique d'ingénierie comme une représentation contextualisée des actifs de TotalEnergies, gérée depuis la phase d'avant-projet jusqu'à la restitution du site.

I.3.2 Visualisation des projets d'affleurements rocheux depuis le Cloud

I.3.2.1 Contexte

Une des problématiques rencontrées actuellement nous a été confiée par l'entité « Carbonate Sedimentology & Stratigraphy » (CARB) qui fait également partie de la nouvelle branche OneTech de TotalEnergies.

Cette entité travaille sur l'interprétation structurale et sédimentaire d'affleurements rocheux. Afin de réaliser ces interprétations, la construction d'un modèle en trois dimensions issues d'acquisitions photographiques réalisées par drone est nécessaire. Sur la base du modèle 3D maillé et texturé des falaises, les équipes de CARB déterminent les différentes couches stratigraphiques, les classifient et identifient les zones où des prélèvements de

roches ont eu lieu. Ces opérations sont réalisées à partir du logiciel VRGS (Virtual Reality Geological Studio) de la société VRGeoscience.

Cette solution logicielle permet la visualisation et l'interprétation d'affleurements 3D pour la géologie et la géophysique. Les données en entrée peuvent provenir de plusieurs types de données en trois dimensions : nuage de points, modèle maillé texturé... Actuellement, le logiciel dispose des fonctionnalités suivantes :

- ❖ Visualiser des grands ensembles de données avec des cartes de texture ultra-haute résolution ;
- ❖ Nombreux formats de données 3D pris en compte lors de l'import ;
- ❖ Filtrage et classification des données de maillage et de nuages de points ;
- ❖ Interprétations des affleurements : couches stratigraphiques, délimitation des zones d'intérêts, emplacement où des échantillons de roches ont été prélevés, création de coupes sédimentaires...
- ❖ Ajout de mesures ou d'annotations sur les modèles ;
- ❖ Export des données vers des fichiers ASCII.

Ce logiciel est toujours en cours de développement. L'entité CARB est en contact avec les développeurs du logiciel pour faire part de ses besoins et souhaite partager les données de l'interprétation obtenue par le biais du logiciel VRGS avec ses collaborateurs.

Cependant, peu de personnes ont accès et maîtrisent le logiciel VRGS. De ce fait, l'entité CARB nous a confié la mission de trouver une solution permettant de visualiser des projets d'affleurements ainsi que leurs interprétations en trois dimensions depuis une plateforme Web.

I.3.2.2 Données mises à disposition par l'entité CARB

Pour répondre à cette problématique, des données issues de différentes sources nous ont été fournies, les données vectorielles sont sous la forme de fichiers CSV et de GeoDataBase tandis que les modèles 3D sont aux formats SLPK et OBJ comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessous (Tableau 1). Afin de capitaliser les projets d'affleurements rocheux, nous allons mettre en place un processus permettant l'affichage des données sur une plateforme Web à partir des formats bruts fournis par l'entité CARB. Cette plateforme sera ensuite accessible aux personnes concernées par les projets d'affleurements rocheux.

Type de donnée	Logiciel d'export de la données	Format	Description de la donnée
Modèles 3D maillés et texturés	Agisoft Metashape	.slpk & .obj	Modèles 3D maillés et texturés issus de calculs photogrammétriques.
Polylignes 3D	VRGS	Couche d'entité dans une GeoDataBase (.gdb)	Représentent les couches stratigraphiques.
Points 3D	VRGS	.csv	Représentent les emplacements des prélèvements rocheux.
Polygone 3D	VRGS	.csv ¹⁵	Représente une zone ayant un intérêt particulier.

Tableau 1 : Bilan des données fournies pour le projet concernant les affleurements rocheux.

I.3.3 Rendre plus réaliste des projets d'infrastructures de TotalEnergies

La seconde problématique rencontrée est liée à l'utilisation des données 2D et 3D dans l'objectif de permettre une visualisation la plus réaliste possible des projets d'infrastructures de TotalEnergies. Pour cela, l'entité *Geospatial* souhaite capitaliser ses données en définissant la bonne architecture de stockage ainsi que les meilleurs outils permettant la création de scènes 3D. Ensuite, ces projets devront être partagés avec les collaborateurs de TotalEnergies. Pour répondre à cette problématique, j'ai eu l'occasion de travailler sur différents projets d'infrastructures offshore en cours de développement.

I.3.3.1 Le cas d'un champ d'éoliennes offshore

Ce premier cas d'étude porte sur un champ d'éoliennes offshore en développement. Il se situe non loin de la côte du Royaume-Uni. Avec ce projet, nous souhaitons mettre en œuvre la procédure à adopter pour obtenir une scène 3D la plus proche possible de la réalité pour des projets de champs d'éoliennes offshore similaires. Pour atteindre l'objectif, le projet devra faire apparaître les éléments suivants :

- ❖ La couche bathymétrique la plus précise possible. En effet, de nombreuses campagnes de mesures bathymétriques ont eu lieu au fil des années. À la suite de l'évolution des technologies et des appareils utilisés, on constate une amélioration de la résolution des rasters des couches bathymétriques. De ce fait, on souhaite créer une couche bathymétrique ayant la résolution la plus élevée à chaque endroit de la zone d'étude ;

¹⁵ La façon dont est structuré chaque fichier CSV est décrite dans la partie **III.1.2**.

- ❖ Les objets 3D tels que les éoliennes ;
- ❖ Les réseaux présents au niveau des fonds marins ;
- ❖ Les zones d'exclusions ;

Les données fournies ainsi que leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Type de donnée	Format	Description de la donnée
Objets 3D	.OBJ, .3DS	Éolienne en trois dimensions.
Raster (résolution : 1m)	GeoTIFF	Couche bathymétrique, représente les fonds marins. Ombrage.
Polygones, polygones	.DWG	Réseaux, zones d'exclusion.

Tableau 2 : Bilan des données fournies pour le projet concernant le champ d'éoliennes offshore.

I.3.3.2 Le cas d'un FPSO et ses infrastructures sous-marines

Ce second cas d'étude se trouve aussi en mer, mais cette fois-ci au niveau de la côte Angolaise. Comme pour le précédent, nous souhaitons établir la procédure à mettre en œuvre pour obtenir une scène 3D la plus proche possible de la réalité concernant les infrastructures pétrolières en mer telles que les réseaux de pipelines, d'alimentations, le FPSO. Ce dernier (Figure 3) est défini comme étant un bâtiment flottant utilisé pour le traitement et le stockage des hydrocarbures, du pétrole, du gaz naturel ou des huiles produites en mer.



Figure 3 : Photographie d'un FPSO. Source : TotalEnergies

Pour être le plus réaliste possible, le projet devra faire apparaître les éléments suivants :

- ❖ Le FPSO sous la forme d'une maquette BIM ;
- ❖ Les réseaux de pipelines et de câbles d'alimentations ;
- ❖ La couche bathymétrique la plus précise possible ;
- ❖ La position ainsi que la trajectoire des puits ;
- ❖ Les objets 3D : infrastructures sous-marines, un FPSO si la maquette BIM n'est pas disponible ;

❖ Le mouvement de l'eau afin de donner un côté plus réaliste à la scène.

Les données fournies ainsi que leurs caractéristiques sont présentées dans le tableau ci-dessous.

Type de donnée	Format	Description de la donnée
Objets 3D	.OBJ, .3DS	Modèle en trois dimensions d'un élément. Par exemple un système de production, un FPSO...
Maquette BIM	.IFC, .RVT	Maquette BIM d'une plateforme pétrolière ou d'un FPSO.
Raster (résolution : 1m)	.TIF	Couche bathymétrique, représente les fonds marins. Utilisée comme couche d'élévation. Ombrage.
Polygones et polygones 2D	.DWG	Pipelines, câbles d'alimentations, zones d'exclusion. Trajectoire de forage des puits.
Points	.DWG	Emplacement des puits

Tableau 3 : Bilan des données fournies pour les projets concernant le FPSO et ses infrastructures sous-marine.

Après avoir contextualisé le sujet et défini les principales problématiques, nous allons maintenant établir une expertise concernant les formats de données 3D et les solutions de stockage et de visualisation depuis le Cloud.

II Expertise des données et des solutions 3D Cloud existantes

II.1 Analyse des formats des données 3D

Au cours de ce stage, des données de différents types et de différents formats ont été utilisées, de manière à mieux comprendre les caractéristiques ainsi que les possibilités de conversion de chaque format, un état de l'art complet sur ces données est nécessaire.

II.1.1 Les maquettes BIM

II.1.1.1 Définitions générales du concept BIM

L'acronyme BIM peut se définir de trois façons différentes : Building Information Model, Building Information Modeling ou Building Information Management (BENNI, 2016). En français, le BIM peut se traduire par : modélisation des informations du bâtiment. Ce terme désigne les processus et méthodes de création et de gestion de l'information via l'artefact d'une maquette numérique (SATTler, 2021).

L'association buildingSMART France (Notions clés du BIM – BuildingSMART France, n.d.) définit le BIM de la manière suivante en distinguant la maquette numérique (MN) et son processus de génération et d'exploitation :

« **La maquette numérique (MN)** : Il s'agit d'une représentation 3D des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. Mais outre les trois dimensions, elle intègre aussi la dimension temps (4D), les données « financières (5D), environnementales (6D), patrimoniales (7D)... C'est donc avant tout une base de données techniques, constituée d'objets définis par leurs caractéristiques et leurs relations entre eux. Le tout forme un ensemble structuré d'informations sur un ouvrage.

Un processus métier de génération et d'exploitation de données techniques : Il permet de concevoir, construire et exploiter un ouvrage sur l'ensemble de son cycle de vie. C'est un process collaboratif dans l'entreprise (BIM niveau 1) ou entre des partenaires extérieurs (BIM niveau 2) autour de MN. »

A l'origine, le BIM a été créé dans l'objectif de faciliter les échanges entre plusieurs corps de métier dans le domaine de la construction. Mais on constate au fur et à mesure des années que ce concept s'étend aux ouvrages d'art, de génie civil, d'infrastructure et de réseaux (GBONGBO, 2021). De ce fait un grand nombre de format de données BIM ont fait leurs apparitions. La France avec le projet MINnD¹⁶ (Modélisation des informations interopérables pour les infrastructures durables) est l'un des pays les plus avancés dans les travaux de pré-normalisation. En effet, ce projet national de recherche collaborative soutenu par le ministère de la transition écologique a contribué au développement du BIM autour de six thèmes :

- **La structuration des données** : afin de livrer un ouvrage commun, les données générées et exploitées doivent être classifiées pour une utilisation par tous les acteurs d'un projet ;
- **La qualification des données** : avant d'être partagées de manière durable et sécurisée, les données doivent être qualifiées et validées ;
- **La continuité numérique** : livraison des documents de façon numérique ;
- **La convergence BIM-SIG** : permettre aux logiciels d'exploiter des données dans leur format natif sans les transformer afin de limiter les risques sous-jacents de perte d'information ou de dénaturation ;
- **La gestion du patrimoine et des actifs** ;
- **La collaboration**

¹⁶ Projet national MINnD. Disponible sur : <https://www.minnd.fr/>, consulté le 07/07/2022.

Les données BIM se développent de plus en plus. L'entité *Geospatial* souhaite mettre en place une solution permettant de visualiser ces données depuis une plateforme Web. EP Maps étant l'une des solutions envisagées, une étude approfondie des formats compatibles avec ArcGIS Pro ainsi qu'une analyse des capacités de conversions des formats BIM sont nécessaires.

II.1.1.2 L'interopérabilité et le format IFC

La notion d'interopérabilité recouvre un champ de connaissances très vaste. Elle implique de créer des synergies entre différentes structures – matérielles, digitales, humaines (SATTLER, 2021). De plus, l'organisme ISO¹⁷, définit cette notion de la façon suivante : « [L'interopérabilité] est la capacité de communiquer, d'exécuter des programmes ou de transférer des données entre diverses unités fonctionnelles d'une manière qui oblige l'utilisateur à avoir peu ou pas de connaissance sur les caractéristiques de ces unités » (ISO/IEC 2382 :2015).

Le format IFC, dont le sigle signifie Industry Foundation Classes, est un format universel et libre, permettant d'importer et d'exporter des modèles BIM. Ce format, développé par l'IAI (International Alliance for Interoperability) renommé depuis buildingSMART assure l'interopérabilité entre les principaux logiciels traitant des données BIM ; il a pour objectif d'améliorer le partage, la productivité et le travail collaboratif lors de projets BIM. Le format IFC est un format en perpétuelle évolution, les deux versions les plus répandues actuellement dans les logiciels de modélisation 3D sont les suivantes :

- **IFC 2x3** : cette version du format IFC est la plus utilisée actuellement même si ce n'est pas la plus récente. En effet, cette version basée sur une définition de vue de modèle appelée Coordination View 2.0 est privilégiée dans la plupart des projets de modélisation 3D car la majorité des logiciels l'utilise et elle est facile d'utilisation ;
- **IFC4** : le format IFC4 est l'évolution de l'IFC2x3, il permet de faire face à certaines limites rencontrées avec l'IFC 2x3. Cependant, même si ce format est plus complet, il reste tout de même moins utilisé que l'IFC2x3 car la majorité des logiciels de BIM n'a pas encore la certification pour prendre en charge cette version. Il est à noter aussi que la version IFC5 est en cours de développement.

¹⁷ L'organisme ISO est l'Organisation Internationale de Normalisation.

La structure du format IFC permet de créer des fichiers comprenant les informations géométriques des différentes entités des composants dit « simples » d'une infrastructure (murs, portes...) ainsi que les informations alphanumériques qui renseignent sur la quantité, les propriétés et la classification de ces composants. De cette manière, la structure de ce format se repose sur trois concepts fondamentaux : la définition des objets, la relation entre ces derniers et l'ensemble des propriétés.

De plus, il est important de préciser que le format IFC fait partie des deux seuls formats BIM avec le format RVT pouvant être importé dans ArcGIS Pro et de ce fait pouvant être publié sur EP Maps.

II.1.1.3 Les formats natifs d'Autodesk® Revit®

La solution Revit® permettant la conception de bâtiments et d'infrastructures est éditée par la société Autodesk®. Revit® est un acteur important sur le marché des logiciels BIM. En effet, son interopérabilité avec de nombreux formats, la possibilité d'éditer des nomenclatures ou encore de travailler de manière collaborative rendent ce logiciel quasiment indispensable. « Un modèle BIM (sur Revit®) contient le cycle de vie complet de l'objet modélisé, de la conception à la construction et au déclassement. Ceci est rendu possible par une architecture de base de données » (ARNAUD, 2020). Lors de la création d'un projet Revit®, deux fichiers sont créés :

- L'extension .rvt correspond au format propriétaire d'Autodesk® pour les fichiers issus du logiciel Revit®.
- Tandis que l'extension .rfa contient un ou plusieurs modèles 3D pouvant être importés dans n'importe quelle scène 3D, créés et enregistrés à l'aide de l'éditeur de familles Revit.

De plus, un partenariat a été signé fin 2017 entre la société ESRI®, qui édite notamment ArcGIS Pro, et Autodesk® pour faciliter la convergence BIM-SIG. Un des enjeux de cet accord est la possibilité d'importer des données BIM au format RVT dans les applications Web et Desktop d'ESRI® : ArcGIS Pro, ArcGIS Entreprise...

II.1.1.4 Les formats natifs d'Autodesk® Navisworks®

Le logiciel Navisworks® d'Autodesk® est un logiciel de révision de projet qui permet aux professionnels de l'architecture, de l'ingénierie et de la construction de réviser dans leur

ensemble les données et modèles intégrés avec les parties prenantes, afin de mieux contrôler les résultats du projet. En d'autres termes, le rôle de ce logiciel est de regrouper des données de conception et de construction dans un modèle unique.

Dans un projet Navisworks[®], on retrouve trois types de formats :

- NWF est un format natif du logiciel AutoDesk[®] Navisworks[®]. Ce fichier contient les index de tous les fichiers de modèle utilisés lors d'un projet Navisworks[®] ;
- L'extension .nwd permet de stocker toutes les données spécifiques liées à un projet Navisworks[®] que ce soient les données enregistrées au format NWF ou la géométrie du modèle. Les fichiers NWD sont destinés à être utilisés pour partager une version du projet en cours pour que d'autres utilisateurs puissent la consulter ;
- Le format NWC contient la géométrie mise en cache d'un modèle.

De plus, trois versions du logiciel Navisworks[®] sont disponibles. La version *Freedom* permet la visualisation gratuite d'un fichier NWD, la version *Simulate* permet la visualisation, la révision et la simulation des modèles. Enfin, la version *Manage* dispose des mêmes fonctionnalités que la version *Simulate* avec la possibilité en plus de gérer et détecter les conflits¹⁸ entre les objets du modèle BIM.

De nombreux modèles BIM sont livrés à TotalEnergies par ses prestataires au format .nwd. Cependant, ce format n'est pas compatible avec le logiciel ArcGIS Pro. De ce fait une étude avancée sera établie par la suite pour analyser les possibilités de conversion vers un format compatible avec ArcGIS Pro.

II.1.1.5 Le logiciel Aveva[®] E3D Design

Aveva[®] E3D Design est un logiciel de conception en trois dimensions. Il est spécialisé dans la représentation des infrastructures de traitement de la marine et de l'énergie aussi bien onshore qu'offshore. Cette solution permet une conception en trois dimensions multidisciplinaires sans conflit et génère des P&ID¹⁹ ainsi que des rapports précis permettant de réduire les coûts, les délais et les risques sur des projets nouveaux ou anciens. Aveva E3D

¹⁸ La notion de conflit dans une maquette 3D est liée à la présence d'interférences géométriques entre au moins deux objets.

¹⁹ Un P&ID, Piping & Instrumentation Diagram en anglais, est un schéma des tuyauteries et des instrumentations.

Design est l'un des logiciels de modélisation 3D les plus utilisés au sein de la compagnie TotalEnergies, son format natif est le RVM.

II.1.1.6 Bilan sur les données BIM

De nombreux logiciels assurent la gestion des données BIM, cependant, ils n'assurent pas tous les mêmes fonctions. Revit et Aveva E3D permettent la conception, Navisworks l'organisation des données et ArcGIS Pro gère la visualisation sur le Web à travers l'application ArcGIS Entreprise de TotalEnergies : EP Maps.

On constate à partir du tableau ci-dessous que le format d'interopérabilité des données BIM est bien le format **IFC** comme nous l'avons vu dans la partie **II.1.1.2**. En effet, le format IFC est disponible à l'import et à l'export dans la plupart des logiciels traitant des données BIM présentés ci-dessous :

Logiciel	Disponibilité	Format natif	Import	Format Modification	Export
ArcGIS Pro (EP Maps)	Catalogue TotalEnergies		.RVT, .IFC		.SLPK
Navisworks	Catalogue TotalEnergies	.NWD	.NWD, .RVT, .IFC	.NWD	.NWD, .IFC (plug-in), .FBX, .KML, .XML
Revit	En cours d'acquisition	.RVT	.RVT, .IFC, .NWD	.RVT	.RVT, .IFC, .DWG, .DXF, .DWF, .FBX, .NWC
Aveva E3D	Catalogue TotalEnergies	.RVM	.RVM, .IFC, .DGN, .STL	.RVM	.NWD, .IFC, .RVM, .STEP, .DGN

Tableau 4 : Bilan sur le BIM : logiciels et formats.

Dorénavant, pour une meilleure capitalisation des données, les prestataires devront fournir une maquette au format IFC en plus de la maquette au format natif du logiciel avec lequel ils ont conçu le modèle.

En ce qui concerne le logiciel Navisworks, l'export au format IFC est impossible directement depuis le logiciel. Cependant, deux plug-ins à installer sur Navisworks permettent cet export :

- ❖ **Codemill IFC exporter** : outil développé par Autodesk® qui consiste à exporter n'importe quel fichier ou parties de fichiers volumineux pouvant être ouvert dans Autodesk® Navisworks® au format IFC2x3 ou IFC4.
- ❖ **Smart IFC Exporter** : outil développé par iConstruct permettant à l'utilisateur d'exporter au format IFC des objets contenus dans un projet Autodesk Navisworks.

L'utilisation de ces plug-ins est possible, cependant ces derniers ne sont pas optimisés pour l'export de l'ensemble d'un projet mais plutôt pour quelques éléments qui composent ce projet. De plus, il est recommandé de faire le minimum de conversion afin de ne pas détériorer les données. En effet, l'enchaînement de plusieurs conversions entraîne toujours de lourdes pertes qu'il faut être en mesure de quantifier. Or, un fichier Navisworks est en général le résultat de l'assemblage de plusieurs exports réalisés depuis des logiciels de modélisation BIM différents, tel que Aveva® E3D ou Revit® par exemple. Cet export est bien souvent loin de la maquette 3D originale car il est réalisé avec des conditions données (exporter seulement les vannes par exemple). Il est donc recommandé de travailler avec un format de fichier interopérable contenant l'ensemble du projet.

Après avoir analysé les données BIM, nous allons maintenant porter une analyse sur les nuages de points.

II.1.2 Les nuages de points

La dernière décennie a été marquée par l'évolution et l'essor des techniques de captation de la réalité. De ce fait, de nombreux formats de nuages de points et de nombreuses solutions logicielles ont fait leurs apparitions. De manière à mieux comprendre les caractéristiques de chaque format ainsi que les possibilités d'interopérabilité au sein des logiciels, une analyse de ces données est nécessaire.

II.1.2.1 L'interopérabilité avec le format E57

L'extension E57 correspond à un fichier utilisé pour stocker et échanger des données telles que des nuages de points, des images ou des métadonnées acquises à l'aide d'un laser scanner par exemple. Ce format a été développé par le sous-comité d'interopérabilité des données du comité ASTM²⁰ E57 sur les systèmes d'imagerie 3D. Ce format de fichier open source est enregistré sous une forme binaire compressée de manière à rendre la taille du fichier plus compacte. Un fichier au format E57 peut comporter un ou plusieurs scans.

Il est aujourd'hui l'un des formats open source les plus utilisés pour les nuages de points du fait de son développement organisé autour de cinq principes majeurs comme l'a décrit Daniel HUBER (2011) :

²⁰ ATSM signifie American Society for Testing and Materials, c'est un organisme international de normalisation.

1. **Avoir une interopérabilité fiable** : les données doivent être transférables entre différents logiciels ;
2. **Être un format ouvert** : la norme et sa mise en œuvre doivent être mises à disposition et bien documentées ;
3. **Faible barrière à l'adoption** : le coût de développement doit être minimal ;
4. **Conception minimaliste** : la conception doit être aussi simple que possible ;
5. **Extensibilité** : La conception doit être extensible afin que de nouvelles capacités puissent être ajoutées à l'avenir sans rompre la fonctionnalité de base.

Aujourd'hui, lors du lever d'une infrastructure par scanner laser fixe, les prestataires de TotalEnergies utilisent majoritairement le format E57.

II.1.2.2 Les données ASCII

Il existe de nombreux formats ASCII pour les nuages de points. Un fichier au format ASCII peut avoir comme extension **ASC**, **NEU**, **PTS**, **PTX** ou **XYZ**. En général, ces fichiers sont aussi des formats ouverts, divisés en deux sections. La première section comporte l'en-tête du fichier dans laquelle des informations spécifiques sur la nature du fichier sont stockées. La deuxième section est une liste de points en trois dimensions. En effet, chaque ligne contient un point représenté par ses coordonnées X, Y et Z avec, éventuellement, d'autres attributs tels que l'intensité ou la couleur des points.

II.1.2.3 Les formats propriétaires

En plus des formats ouverts, il existe de nombreux formats propriétaires. En fonction du scanner laser utilisé lors de l'acquisition des nuages de points, la donnée obtenue est stockée dans des fichiers au format propriétaire du constructeur. Les principaux formats propriétaires ainsi que les logiciels qui leur sont associés sont présentés ci-dessous :

❖ **La solution Trimble® RealWorks® :**

Les nuages de points issus d'une acquisition effectuée avec un scanner laser de la marque **Trimble** sont stockés dans des fichiers ayant l'extension **TZF** : format propriétaire de Trimble concernant les nuages de points. De plus, Trimble dispose de son propre logiciel pour traiter les nuages de points : **Trimble® RealWorks®** qui a été spécifiquement conçu pour le traitement et l'analyse des nuages de points issus de scanner laser de la même marque et de certains concurrents. En plus des outils permettant la visualisation, l'échantillonnage ou

encore le géoréférencement de scans, ce logiciel permet l'export du format propriétaire vers d'autres formats interopérables comme le E57.

RWP est l'un des formats propriétaires de Trimble pour le logiciel RealWorks®, c'est un fichier de projet. Il est lié au dossier au format RWI qui quant à lui contient tous les fichiers de données d'un projet :

- Format RWCX pour les fichiers de nuages de points ;
- RWV pour les fichiers de format d'images.

❖ **La solution Faro® Scene :**

Concernant les scanners laser de la marque **Faro®**, de nombreux formats propriétaires sont créés lors de l'acquisition d'un nuage de points. Les formats créés sont les suivants :

- **FLS** (FaroLaserScan) : fichiers de numérisation ;
- **FWS** (FaroWorkSpace) : espace de travail local ;
- **LSPROJ** : fichier de projet de numérisation.

Faro® Scene est un logiciel complet de traitement et de gestion des nuages de points. Il offre des fonctions allant de la simple mesure à la visualisation 3D en passant par le maillage et l'exportation des données de numérisation dans différents formats de nuages de points et de CAO.

❖ **La solution Leica® Cyclone 3DR**

Le logiciel **Leica Cyclone 3DR** est la nouvelle solution logicielle de capture de la réalité mise en place par Leica® Geosystems. Ce logiciel est la fusion de plusieurs technologies : les outils de traitement des nuages de points issus de Cyclone et les fonctions avancées et automatisées d'analyse et de modélisation de 3DReshaper. Lors de l'acquisition d'un nuage de points avec un laser scanner de la marque Leica, les données sont stockées dans des fichiers ASCII ayant l'extension **PTS** ou **PTX**. Cyclone 3DR gère la plupart des formats standards ainsi que le fichier propriétaire de réalité numérique universel de Leica® Geosystems, le fichier **LGS**.

❖ **La solution Autodesk® Recap Pro**

Contrairement aux autres solutions présentées dans cette partie, Autodesk® Recap Pro n'est pas un logiciel développé pour un laser scanner spécifique. De ce fait, l'ensemble des formats issus des scanners 3D sont pris en charge par ce logiciel. En plus de la conversion des données dans les formats E57 et PTS, Recap Pro assure aussi le nettoyage, le recadrage

et la visualisation des nuages de points. Le format des fichiers de projets exportés depuis Recap Pro est fourni avec l'extension **RCP**.

II.1.2.4 Les formats du standard ASPRS

Le format **LAS** est un fichier de standard ouvert ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) utilisé pour le stockage des données LiDAR sous forme de points. Souvent utilisé en télédétection, ce format de données LiDAR dont l'acronyme signifie « Light Detection And Ranging » est en général issu d'un scanner laser aéroporté fonctionnant grâce à un système de multi-échos. Des impulsions laser sont alors interceptées par le sol que l'on survole (végétation, bâtiments...) puis réfléchies en direction de l'avion, où le capteur détecte la force du signal et le temps de retour. Cela permet une description plus approfondie de la topographie des terres, de la végétation et des environnements urbains.

Les fichiers ayant une extension **.laz** sont des fichiers .las compressés. Ce format de fichier est populaire dans le milieu de la télédétection pour la publication de données LiDAR grâce à sa petite taille. En plus du stockage des coordonnées dans les trois dimensions sous forme binaire, le format LAS prend aussi en compte des attributs comme : l'intensité rouge, verte et bleue, la classification, la couleur RGB, le temps GPS ou encore l'angle du scan.

Le format de fichier **ZLAS** est quant à lui un format propriétaire développé par ESRI qui a pour objectif l'optimisation des fichiers LAS pour de meilleures performances sur les applications d'ESRI.

II.1.2.5 Bilan sur les données sous forme de nuage de points

Une multitude de formats et de logiciels spécialisés dans la gestion des nuages de points sont disponibles sur le marché actuellement. Ces derniers intègrent des données issues d'une acquisition par méthode LiDAR. L'annexe 2 dresse un tableau comparatif non exhaustif des principales solutions logicielles en fonction des formats d'import et d'export disponibles.

On constate grâce à ce tableau que le format E57 est le format d'interopérabilité pour les nuages des points. En effet, il est pris en compte dans les formats d'import et d'export de l'ensemble des solutions logicielles spécialisées dans la gestion des nuages de points.

Le format E57 ne dépend pas des formats propriétaires pour stocker et échanger des données. C'est pour cela qu'il est considéré comme le format d'interopérabilité entre les différents logiciels traitant des nuages de points.

De plus, il est important de noter que l'entité *Geospatial* n'acquiert aucune donnée sous forme de nuage de points. Ce sont des prestataires externes à TotalEnergies qui sont chargés de l'acquisition, du nettoyage et de la mise à disposition des nuages de points. Or, suivant la nature de l'infrastructure, sa localisation dans le monde et la précision demandée, ce ne sont pas toujours les mêmes prestataires ni les mêmes scanner laser et donc les mêmes formats propriétaires qui sont utilisés. De ce fait, il est important pour l'entité *Geospatial* d'avoir un format d'interopérabilité unique comme le E57.

En ce qui concerne les données LiDAR dans le domaine de la télédétection, il est préférable d'utiliser les formats spécialisés : LAS et LAZ pour ne pas perdre des informations sur la donnée lors d'une éventuelle conversion.

II.1.3 Les formats de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO)

Les réseaux de pipelines ainsi que les emplacements des différentes infrastructures sont dessinés et générés sur des logiciels de DAO.

II.1.3.1 Le logiciel Autodesk AutoCAD et son format DWG

Le logiciel AutoCAD® est un logiciel de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) créé en décembre 1982 par Autodesk®. Le format **DWG** est le format natif du logiciel AutoCAD®. C'est un format de fichier binaire utilisé pour stocker des données et métadonnées en deux et trois dimensions. Plusieurs extensions sont liées au format DWG :

- L'extension **.bak** correspond au backup, fichier de sauvegarde ;
- L'extension **.dws** correspond au fichier des normes de dessin utilisé par le logiciel AutoCAD® ;
- L'extension **.dwt** correspond à des fichiers de modèles de dessin AutoCAD® pouvant être utilisés comme point de départ lors de la création d'un nouveau dessin.

L'import des fichiers DWG dans le logiciel ArcGIS Pro est possible avec un simple « copier-coller ».

II.1.3.2 Le logiciel Microstation et son format DGN

Dans certaines filiales de TotalEnergies, c'est le logiciel Microstation qui est utilisé en tant que logiciel de DAO. Ce logiciel dont le format natif est le DGN a été développé par la société Bentley® System. Microstation est le seul logiciel pouvant à la fois lire et écrire des fichiers DWG à la suite d'un accord entre Bentley® Systems et AutoDesk®.

II.1.4 Les objets 3D

Il existe nombreux formats d'objets 3D ayant chacun des fonctionnalités différentes. Dans cette partie, nous allons nous concentrer seulement sur les formats qui ont été rencontrés durant ce stage.

II.1.4.1 Les formats propriétaires d'ESRI

Deux formats propriétaires d'ESRI en lien avec les scènes en trois dimensions ont été utilisés durant ce stage : les formats **SLPK** et **TPK**.

L'extension .slpk désigne un format de fichier conçu comme un package de stockage ou d'échange qui regroupe l'ensemble des ressources nécessaires pour structurer une couche de scène sous la spécification I3S : Indexed 3D Scene Layer. Cette spécification provient d'ESRI et a été reconnue en 2017 par l'OGC (Open Geospatial Consortium) en tant que norme communautaire. Dans ArcGIS Pro, un fichier au format SLPK peut être créé à partir de différents jeux de données d'entrée :

- Couche d'entités multipatch ;
- Couche de construction à partir d'un modèle BIM ;
- Jeu de données LAS ;
- Couche d'entités ponctuelles ;
- Couche Voxel.

Les paquetages de couches de scènes (SLPK) contiennent un cache d'un jeu de données ; ils peuvent être publiés en tant que couches de scènes web sur les applications d'ESRI : ArcGIS Online, ArcGIS Entreprise et Portal for ArcGIS.

Le format TPK quant à lui, se définit comme un paquetage de tuiles. Les tuiles représentent un jeu de données raster. L'intérêt de ce format est qu'il peut être publié sous forme de tuiles Web et surtout sous la forme d'une couche d'altitude Web. De ce fait, lorsque l'on souhaite

publier un modèle numérique de terrain sous forme de raster sur une application Web d'ESRI, il est nécessaire de convertir notre raster dans le format propriétaire TPK.

II.1.4.2 Le format OBJ

Le format OBJ est un format universellement reconnu développé à l'origine par la société Wavefront Technologies pour son logiciel Advanced Visualizer. Il permet de stocker des données géométriques comme les points, les lignes, les sommets de texture, les faces ainsi que la géométrie des formes telles que des polygones. Ce format, issu du processus de modélisation 3D généré par un logiciel de CAO, est un format de type ASCII composé d'une succession de blocs constitués des éléments suivants :

- Des lignes de type vertex pour désigner les sommets ;
- Des lignes de type vt pour désigner les coordonnées de la texture ;
- Des lignes de type vn pour désigner les coordonnées de la normale ;
- Et des faces de type f qui sont la combinaison des trois lignes citées ci-dessus.

A l'issue de la construction du modèle 3D maillé et texturé pour le projet des affleurements rocheux, un fichier au format OBJ nous a été fourni. Nous allons voir par la suite que ce format n'est pas optimisé pour ce type de données.

II.1.4.3 Le format 3DS

3DS est un format de fichier binaire faisant partie des formats de fichiers utilisés par le logiciel de modélisation, d'animation et de rendu 3D : Autodesk 3ds Max. Son format natif est le .max, qui a remplacé le .3ds avec la version du logiciel datant de 1996. « Le format 3DS vise à fournir un format d'import/export, ne conservant que les données essentielles de géométrie, de texture et d'éclairage, le format MAX associé contient également des informations supplémentaires spécifiques à Autodesk 3ds Max, pour permettre à une scène d'être complètement chargée »²¹.

II.1.5 Les données SIG

Dans un SIG, les données sont stockées soit dans un fichier au format vecteur, soit dans un fichier raster. Les données raster rencontrées durant ce stage sont majoritairement stockées

²¹ .3ds, wikipédia, consulté le 27/05/22 (<https://en.wikipedia.org/wiki/.3ds#Structure>)

dans des fichiers au format GeoTIFF. Ce format se définit comme une image raster à laquelle on ajoute des informations de géoréférencement. Un raster, quant à lui, est une matrice de pixels arrangés en lignes et colonnes pour ainsi former une grille. Chaque pixel comporte une ou des informations. Quant aux données vectorielles, les différents formats rencontrés sont détaillés ci-dessous.

II.1.5.1 Le format Shapefile

Il existe un très grand nombre de formats de fichier utilisés dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Le format Shapefile, développé par ESRI, est le format de fichier vecteur le plus utilisé car c'est devenu un standard lu par la plupart des logiciels de SIG. Ce format contient les informations liées à la géométrie des objets décrits. Ces objets peuvent être : des points, des lignes ou des polygones en trois dimensions.

Un shapefile est composé de plusieurs fichiers, trois de ces fichiers sont indispensables :

- L'extension **.shp** correspond au fichier contenant la géométrie des entités ;
- L'extension **.dbf** correspond au fichier contenant les attributs ;
- L'extension **.shx** est le fichier d'index.

Un shapefile peut être composé d'autres fichiers comme l'extension **.prj** qui contient les informations des systèmes de coordonnées.

Même si ce format est le format d'échange des données vectorielles le plus couramment utilisé, il comporte tout de même quelques limitations. Une page Web publiée sur Github par OpenGeoLabs²² dresse un inventaire des défauts du format Shapefile et propose des alternatives à ce format. Les principaux défauts rencontrés sont les suivants :

- Par défaut, la définition du système de coordonnées utilisé n'est pas enregistrée au sein des trois fichiers indispensables. Un fichier ayant l'extension **.prj** est créé en plus pour définir le système de coordonnées utilisé.
- Le format Shapefile se compose d'au minimum trois fichiers. De ce fait, le partage d'un Shapefile se traduit par l'envoi de l'ensemble des fichiers ou par la compression de ces derniers au sein d'une archive. Ces opérations ne facilitent pas le partage des données et sont assujettis aux erreurs.
- Les noms des attributs sont limités à dix caractères et il ne peut y avoir au maximum que 255 champs dans un fichier.

²² Switch from Shapefile, OpenGeoLabs, consulté le 12/07/2022 (<http://switchfromshapefile.org/>)

- La structure des données est limitée, il n'y a pas de hiérarchie ni d'arborescence.

Cette liste non exhaustive met en avant les principaux défauts du format Shapefile. Des alternatives à ce format existent, par exemple, GeoPackage et GeoJSON permettent d'effectuer certaines fonctionnalités du Shapefile. Dans les applications d'ESRI, une autre alternative à ce format a été mise en place : la GeoDataBase.

II.1.5.2 La GeoDataBase

Une GeoDataBase fichier (GDB) ArcGIS est une collection de jeux de données géographiques de différents types conservés dans un dossier de système de fichiers commun ou un système de gestion de bases de données relationnelles multi-utilisateurs. La GeoDataBase contient trois types de jeux de données principaux :

- **Les tables** : Les tables attributaires stockent les caractéristiques d'objets géographiques. Les colonnes prennent en charge plusieurs paramètres : Nombres, Textes, Date et Identifiants Globaux.
- **Les classes d'entités** : Une Géodatabase comporte sept types de classes d'entités : point, ligne, polygone, annotation, multipoints (pour contenir des observations LIDAR et bathymétriques), multipatch (pour contenir des formes 3D) et cote (un type d'annotation spécialisé).
- **Les jeux de données raster** : Un raster est un ensemble de cellules disposées en lignes et en colonnes. Chaque cellule renseigne une information (altitude, ensoleillement, pente, température...).

Lorsque l'on dispose d'un compte ArcGIS Entreprise, une GeoDataBase dite « d'Entreprise » (SDE) peut être créée. Cette GeoDataBase dispose des mêmes propriétés que la GeoDataBase « fichier » ainsi que des fonctionnalités supplémentaires. Le tableau ci-dessous présente les convergences entre ces deux GeoDataBase sur certaines fonctionnalités :

Fonctionnalités	GeoDataBase fichier (GDB)	GeoDataBase entreprise (SDE)
Stockage	Stockée dans un dossier sur votre ordinateur → risque de suppression ou de déplacement	Stockée dans l'un des SGBD pris en charge par ESRI (PostgreSQL, Oracle...) → sauvegarde automatique
Nombre d'utilisateurs	Un seul utilisateur	Plusieurs utilisateurs en simultanés
Performance	-	+
Liaison avec l'application Power BI	Pas de lien	Liaison avec l'application Power BI grâce à son stockage sous forme de SGBD

Tableau 5 : Comparaison des GeoDataBase "fichier" et "d'entreprise"

Après avoir réalisé une expertise sur les différents formats rencontrés durant ce stage, nous allons maintenant recenser les solutions Cloud permettant le stockage et la visualisation de ces données.

II.2 Recensement des solutions permettant le stockage et la visualisation des données depuis le Cloud

La prolifération des données en deux et trois dimensions au sein de TotalEnergies a entraîné la recherche d'une solution permettant de stocker ces données sur un autre espace de stockage que le disque dur externe. En effet, le choix d'une plateforme Cloud semble le choix le plus adéquat pour le stockage de ce type de données. Le Cloud est, d'après la Commission Générale de Terminologie et de Néologie, un « mode de traitement des données d'un client, dont l'exploitation s'effectue par l'internet, sous la forme de services fournis par un prestataire »²³. Il « permet la mise en œuvre d'une infrastructure performante et à jour sur le plan logiciel dans des délais de déploiement largement inférieurs à une solution développée en interne » (Follin, 2017). Contrairement au Cloud, le disque dur possède de nombreux inconvénients en lien avec le stockage des données :

- ❖ Durée de vie limitée dans le temps ;
- ❖ Seule la personne ayant accès au disque dur peut travailler sur les données ;
- ❖ Risque de perte ou de dégradation ;
- ❖ Nécessite un espace de rangement pour les disques durs.

De ce fait, une comparaison des solutions permettant le stockage et la visualisation des données depuis le Cloud doit être établie en fonction des exigences de TotalEnergies.

II.2.1 Les exigences de TotalEnergies

Pour tous les collaborateurs au sein de TotalEnergies qui souhaitent stocker, partager et visualiser des données issues d'une acquisition par laser scanner ou d'un projet de CAO par exemple, la solution d'une plateforme Cloud est envisagée. Cette plateforme permettrait à ses utilisateurs de consulter facilement et rapidement des projets en deux et trois dimensions. De plus, cette solution a pour objectif de stocker les données de manière pérenne et à bas coût tout en ayant la possibilité de télécharger ces données suivant le rôle affecté à l'utilisateur. Pour finir, cette solution devra offrir à l'utilisateur la possibilité d'analyser le

²³ Définition issue du Journal Officiel n°0129 du 06 juin 2010, p. 10453, texte n°42.

nuage de points et d'en extraire le maximum d'informations par le biais d'algorithmes implémentés directement à la plateforme.

De façon à valider le choix d'une solution vis-à-vis des autres solutions testées, nous avons mis en place des exigences en fonction d'un degré d'importance compris entre 0 et 3 concernant le projet Quantum et les projets Géosciences. En effet, le projet Quantum étant perçu comme une représentation contextualisée des actifs de TotalEnergies sous forme de jumeaux numériques, les exigences en lien avec la présence ou non d'algorithmes de reconnaissance de formes auront une plus grande importance que pour des projets de géoscience.

Les fonctionnalités souhaitées par l'entité *Geospatial* sont détaillées ci-dessous :

❖ **Accessibilité à la plateforme :**

La plateforme doit être accessible depuis l'un des principaux navigateurs Web : Google Chrome, Mozilla Firefox ou Microsoft Edge. De plus, l'authentification à la plateforme doit se faire par identifiant unique pour les collaborateurs de TotalEnergies via une méthode SSO (Single Sign-On). L'authentification unique ou SSO est « une méthode d'authentification qui permet aux utilisateurs d'accéder en toute sécurité à plusieurs applications et services avec un seul jeu d'identifiants » (okta, 2021).

L'authentification à la plateforme pour les personnes externes à TotalEnergies (prestataires, clients...) doit être effectuée par connexion via un lien de consultation ayant une durée limitée dans le temps. De plus, n'étant pas administrateur de notre ordinateur, il est recommandé de ne pas avoir besoin d'installer un logiciel externe pour importer et exporter les données.

❖ **Performance :**

L'affichage doit être fluide depuis un « PC technique » de TotalEnergies. Ce critère de performance d'affichage sera évalué à la suite de la comparaison et de la prise en main des différentes solutions sur un même projet.

❖ **Administration de la plateforme – gestion des rôles :**

Plusieurs profils d'utilisateurs doivent être incorporés à la plateforme Web. Suivant l'usage qu'à un utilisateur sur la plateforme un rôle doit lui être attribué pour limiter ses droits. Au minimum, les rôles suivants doivent être présents :

- Administrateur : gestion de l'ensemble de la plateforme, accès à tous les projets ;
- Gestionnaire de projet : gestion d'un projet, accès seulement aux projets sur lesquels il travaille ;
- Editeur : import et gestion des données sur la plateforme ;
- Utilisateur : visualisation d'un projet, peut effectuer des mesures.

Lors de la première connexion, chaque personne a le rôle « utilisateur » ; c'est l'administrateur ou le gestionnaire de projets qui peut modifier le profil d'un utilisateur.

❖ **Nombre d'utilisateurs :**

Concernant le nombre d'utilisateurs ayant accès à la plateforme, aucune obligation n'est envisagée. Il est cependant recommandé d'avoir une plateforme avec un nombre d'utilisateurs uniques illimité. De plus, le nombre d'utilisateurs connectés simultanément à la plateforme doit être égal au nombre d'inscrits à cette dernière pour éviter les problèmes de déconnexion.

❖ **Sécurisation des données :**

Le stockage des données doit se faire sur un Cloud sécurisé tel que Microsoft Azure ou Amazon Web Service. De plus, il est préférable que les données soient stockées sur des serveurs implémentés dans la région concernée.

❖ **Données acceptées sur la plateforme :**

Il est nécessaire que plusieurs types de données puissent être importés sur la plateforme. Comme nous avons pu le voir dans la partie précédente, il est important que la plateforme prenne en compte les principaux formats interopérables. Pour les nuages de points, les formats E57, LAS et LAZ sont demandés. En ce qui concerne les données BIM, le format IFC est privilégié. De plus, il est recommandé que la plateforme puisse gérer à la fois les données structurées et non structurées pour les nuages de points. Des plans CAO faisant référence aux données BIM et aux nuages de points devront aussi être pris en compte.

Pour les projets de type géoscience, le fait d'importer des données issues de SIG et des objets 3D serait un plus mais ce n'est pas la priorité car EP Maps réalise déjà ce besoin.

❖ **Mesure et annotation :**

En plus de pouvoir visualiser les données, *Geospatial* souhaite offrir la possibilité à l'utilisateur de pouvoir faire des mesures ainsi que des annotations depuis l'interface de

visualisation. Les mesures souhaitées sont les suivantes : longueur, hauteur, angle, surface, volume, coupe, coordonnées d'un point. De plus, ces mesures devront être visualisables par les autres utilisateurs de la plateforme mais aussi exportables sous forme d'un PDF ou d'un JPEG par exemple.

❖ **Analyse visuelle :**

L'analyse visuelle se traduit comme une analyse de l'écart entre deux nuages de points ou entre un nuage de points et un modèle BIM. L'écart quant à lui est fixé par l'utilisateur. Lorsqu'il est inférieur à la valeur rentrée par l'utilisateur, les points du nuage de points se colorisent en vert sinon en rouge lorsque l'écart entre les deux modèles dépasse la valeur espérée. Cet outil est recommandé dans les fonctionnalités offertes par la plateforme.

❖ **Systèmes de coordonnées :**

Pour les projets géosciences, l'ensemble des systèmes de coordonnées référencés sous la forme d'un code EPSG doivent être pris en compte par la plateforme.

❖ **Modes d'affichages :**

Lorsque la plateforme affiche un nuage de points, l'utilisateur doit pouvoir se déplacer dans ce dernier en utilisant la position des têtes de scan pour les scanner fixe. Si on se trouve dans le cas d'une acquisition par scanner mobile, des points doivent être créés sur la trajectoire de lever tous les cinq ou dix mètres.

La plateforme doit offrir la possibilité à l'utilisateur d'afficher les nuages de points selon le type de capteur utilisé ainsi que selon la date d'acquisition.

❖ **Mise à jour d'un nuage de points :**

La mise à jour d'un nuage de points doit être implémentée dans la plateforme ou dans ses développements futurs. Cette fonctionnalité permet de garder le nuage de points à jour sans être obligé de recommencer l'acquisition de l'ensemble de la structure. Par exemple, lors du remplacement ou de l'ajout d'un élément sur un site nous devons être en mesure de numériser ces changements et les incorporer au sein du nuage de points initial.

❖ **Reconnaissance de formes / pièces :**

L'intelligence artificielle au travers d'algorithmes de reconnaissance de pièces et de formes doit être implémentée dans la plateforme ou dans ses développements futurs.

❖ **Export et conversion des données :**

Les données stockées sur la plateforme doivent pouvoir être exportées au format dans lequel elles ont été importées ainsi que dans d'autres formats si possible.

❖ **Simulations :**

Des simulations doivent pouvoir être effectuées dans le futur. Ce n'est pas une fonctionnalité essentielle à l'heure actuelle. Un exemple de simulation : si une vanne est défaillante, quels sont les impacts en amont et en aval de cette vanne.

❖ **Support technique :**

Un service technique doit être présent afin d'accompagner les utilisateurs.

❖ **Création d'une application en marque grise :**

Avoir la possibilité de créer une application en marque grise. C'est-à-dire pouvoir personnaliser l'interface au nom de *Geospatial – TotalEnergies*.

❖ **Connexion à des applications tierces :**

Et pour finir, la dernière fonctionnalité demandée par l'entité *Geospatial* est le fait de pouvoir connecter la plateforme à des applications et systèmes d'information utilisés en interne telles que des GMAO.

L'ensemble des fonctionnalités ainsi que les exigences de TotalEnergies concernant l'acquisition d'une plateforme Cloud de stockage et de visualisation des données sont résumés dans l'annexe 3.

Après avoir présenté les exigences de TotalEnergies, nous allons maintenant nous concentrer sur les solutions de visualisation depuis le Web retenues.

II.2.2 Présentation des solutions retenues

De nombreuses sociétés spécialisées dans les domaines du stockage et de la visualisation de données ont été contactées. Après présentation et analyse des fonctionnalités de chacune, les solutions répondant le plus aux critères d'exigence de TotalEnergies ont été testées sur un même projet d'infrastructure afin de les comparer. Les plateformes de stockage et de visualisation retenues sont présentées ci-dessous :

II.2.2.1 ATIS.cloud

ATIS.cloud se définit comme une plateforme web collaborative qui permet de traiter, visualiser, mesurer et partager des nuages de points rapidement et facilement (atis.cloud). En effet, cette plateforme Cloud disponible en cinq langues permet le stockage et la visualisation de la plupart des formats de nuage de points mais pas seulement car elle permet aussi de visualiser des données spatiales, des modèles BIM ou encore des objets 3D. Les formats disponibles à l'import et à l'export sur cette plateforme sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Type de données	Import	Export
Nuages de points (structurés et non structurés)	E57, LAS, LAZ, RCP, XYZ, PLY	LAS, E57, RCP
BIM	IFC	
Objets 3D	PLY, FBX, OBJ, STEP, 3DS	
SIG	SHP, DBF	

Tableau 6 : Formats importés et exportés depuis Cinto Cloud.

De nombreux profils utilisateurs sont disponibles afin de filtrer les fonctionnalités offertes en fonction du rôle accordé à chacun sur la plateforme. Ces rôles s'étendent d'un accès total à la plateforme où toutes les modifications sont permises jusqu'à un accès partiel où seulement la visualisation est possible.

L'une des principales fonctionnalités d'Atis est le fait de pouvoir réaliser des simulations. En effet, il est possible d'importer des nuages de points ainsi que des objets 3D au sein du nuage de points de base. Ainsi, nous pouvons vérifier la faisabilité d'une action ou en apporter des corrections avant travaux. De plus, des outils d'analyses de nuages de points sont disponibles et permettent d'observer le nuage de points sous tous ses angles en changeant la densité de points, l'éclairage, l'opacité, la luminosité ou encore le contraste. Pour finir, les mesures ainsi que les annotations réalisées depuis la plateforme peuvent être exportées mais aussi partagées avec les collaborateurs.

II.2.2.2 Cinto Cloud

Cinto Cloud est une plateforme collaborative de gestion des données de réalité basée sur le Cloud. Les données stockées sur cette plateforme peuvent être manipulées en trois dimensions à partir d'un PC standard et depuis l'un des principaux navigateurs Web (Google Chrome, Mozilla Firefox & Microsoft Edge) via une authentification à la plateforme par méthode SSO. De plus, Cinto Cloud est disponible sur Microsoft Azure et Amazon Web

Services, ou peut être déployé sur des centres de données privés derrière des pare-feux sécurisés. Plusieurs rôles sont disponibles afin d'affecter à chacun les fonctionnalités nécessaires à son utilisation de la plateforme.

La spécificité de Cintoo Cloud est d'avoir développé une technologie unique (brevet en cours) permettant de convertir le nuage de points en un maillage surfacique et réciproquement (figure 4) tout en conservant la structure du projet : vues panoramiques et positions du scanner. Grâce à cette conversion, les temps de chargement et l'espace de stockage sont réduits car cette donnée est dix à vingt fois plus légère que le nuage de points source. De plus, Cintoo permet également de reconverter le maillage surfacique en un nuage de points ayant la même précision que celui importé sur la plateforme. Les formats d'exports des nuages de points sont le E57 et le RCP. Les maillages unifiés conservent le système de coordonnées 3D du nuage de points d'origine.

Les modèles BIM sont importés sur la plateforme depuis les formats RVT, NWD et IFC. Les analyses visuelles ainsi que les principaux outils de mesures et d'annotations sont disponibles sur la plateforme.

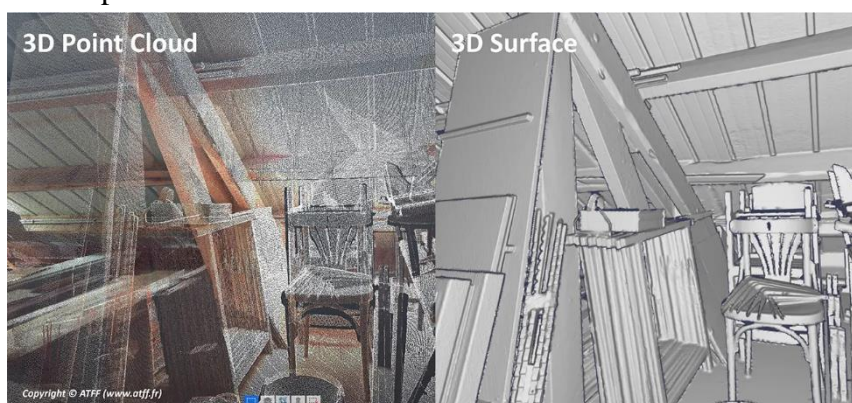


Figure 4 : Transformation du nuage de points en un maillage surfacique depuis Cintoo Cloud.

Source : ATFF

Cintoo Cloud fait l'objet d'une démonstration de faisabilité (POC) sur une durée de six mois en lien avec des projets d'infrastructures offshore. Ce POC est en partenariat avec Quantum, le jumeau numérique développé par TotalEnergies. Il a pour objectif d'analyser les capacités de cette solution à visualiser des projets concrets mais aussi identifier automatiquement des objets (vannes, pompes...) sur des nuages de points à partir des plans fournis par Quantum.

II.2.2.3 SAMP

SAMP est un portail Web spécialisé dans la diffusion et l'analyse de nuages de points issus de sites industriels. Comme les deux solutions présentées ci-dessus, SAMP est disponible sur Amazon Web Services et permet l'administration de rôles aux utilisateurs de la plateforme. Les principaux formats de nuages de points structurés ou non peuvent être importés sur la plateforme. Cependant, cette dernière ne permet pas, pour l'instant, l'import des données BIM. En effet, selon SAMP, les modèles 3D BIM ne sont pas optimaux car il est très compliqué de les mettre à jour contrairement à des nuages des points.

Afin de capitaliser au maximum les nuages de points, SAMP a mis en place une technologie brevetée de reconnaissance d'équipements. Cette technologie permet d'aligner les données 1D, 2D et 3D d'un même projet. En effet, nous disposons pour chaque projet des données suivantes : le matricule des équipements (données 1D), le plan en deux dimensions sous la forme d'un P&ID et la modélisation 3D à partir des nuages de points. Cette technologie est basée sur des algorithmes de Deep Learning entraînés à reconnaître des équipements du secteur pétrolier. Ces algorithmes effectuent une segmentation et une sémantisation automatiques des nuages de points en quelques heures. L'annexe 4 présente l'interface de cette solution afin de mieux comprendre la liaison entre un même élément en 1D, 2D et 3D.

Lors d'un changement sur une infrastructure, SAMP offre la possibilité de mettre à jour le nuage de points d'origine à partir du scan de la zone ayant été modifiée. De plus, tout comme les autres solutions, des mesures et des annotations peuvent être générées. En ce qui concerne les formats d'exports, ce sont les formats LAZ et E57 qui sont pris en compte.

II.2.3 Bilan sur les solutions Cloud

Au fur et à mesure des entretiens avec les professionnels du secteur de la capitalisation des nuages de points, nous nous sommes rendu compte que nous pouvions faire plus que simplement stocker et visualiser des nuages de points sur le Cloud. En effet, de plus en plus de plateformes offrent la possibilité d'analyser et de rendre le nuage de points intelligent afin que ce dernier aide à la prise de décisions. Les trois plateformes retenues se démarquent chacune sur des fonctionnalités différentes :

- ❖ **Atis** a la capacité d'importer de nombreux types de données différents sur un même projet (nuage de points, BIM, SIG, objets 3D...);

- ❖ **Cintoo** quant à lui offre des performances de visualisation inégalable grâce notamment à sa technologie mise en place permettant de convertir le nuage de points en un maillage surfacique afin de libérer de l'espace de stockage ;
- ❖ **SAMP** à l'aide de sa technologie brevetée offre la possibilité de reconnaître automatiquement des équipements et de les aligner dans les vues 1D, 2D et 3D.

A l'heure actuelle, aucune des solutions n'a encore été choisie officiellement par TotalEnergies. La décision est attendue aux alentours du mois de novembre 2022.

Après avoir effectué une expertise concernant l'interopérabilité des différents formats de données en trois dimensions ainsi que sur les solutions de stockage et de visualisations des données, nous allons maintenant mettre en place des processus permettant la mise en valeur des données acquises pour le compte de TotalEnergies par ses prestataires.

III Instauration des procédures permettant la mise en valeur des données géospatiales

La mise en valeur d'un projet à partir de données d'origines différentes est obtenue par la réalisation de toute une série d'étapes redondantes. Dans cette dernière partie, nous allons présenter des processus d'automatisations mis en place à partir de codes Python et de requêtes SQL permettant la restructuration des données avant publication. Ces procédures d'automatisations ont été mises en place sur des projets auxquels l'entité *Geospatial* est souvent confrontée :

- ❖ Représentation d'**affleurements rocheux** ainsi que leurs données d'interprétations depuis le Web ;
- ❖ Visualisation en trois dimensions des **projets offshore** à partir de plans en deux dimensions ;
- ❖ Visualiser des projets d'infrastructure **BIM** depuis le Web.

Pour l'ensemble de ces projets, ce sont les solutions ArcGIS Pro & ArcGIS Entreprise d'ESRI qui ont été utilisées. En effet, l'entité *Geospatial* souhaite minimiser le nombre de logiciels requis mais aussi privilégier ceux auxquels ses collaborateurs sont formés.

III.1 Le cas des affleurements rocheux

Concernant les projets d'affleurements rocheux, on retrouve deux types de données : les données issues du lever photogrammétrique de la zone rocheuse et les données géospatiales

d'interprétations de ces affleurements. Les données nous ont été fournies par l'entité CARB (Carbonate Sedimentology & Stratigraphy) dans différents formats.

III.1.1 Gestion des données photogrammétriques

Les calculs menant à la livraison d'un modèle en trois dimensions maillé et texturé ont été réalisés à partir du logiciel Agisoft Metashape. Depuis ce logiciel, le modèle 3D nous a été fourni sous deux formats : .OBJ et .SLPK. Ces deux formats ont été présentés dans la partie II.1.4 de ce mémoire.

L'import du modèle 3D au format .OBJ dans le logiciel ArcGIS Pro n'aboutit pas. Après entretien avec l'équipe technique d'ESRI France, nous nous sommes rendu compte que l'erreur était liée à sa taille trop importante (3 GB) ainsi qu'à la nature de la donnée. En effet, le format .OBJ n'est pas le format optimum pour des données photogrammétriques. Les données importées dans ce format sur ArcGIS Pro sont des objets 3D ponctuels de plus petite taille (ce type d'objet sera abordé dans la partie III.2.3 de ce mémoire).

En ce qui concerne les données au format .SLPK, ce dernier étant un format propriétaire d'ESRI, l'import du modèle 3D dans ArcGIS Pro se réalise sans encombre avec un simple copier-glisser dans le projet. La figure ci-dessous (figure 5) met en avant un morceau du modèle 3D maillé et texturé importé dans ArcGIS Pro. On peut voir que le format SLPK prend bien en compte la texture ainsi que la géométrie du modèle.

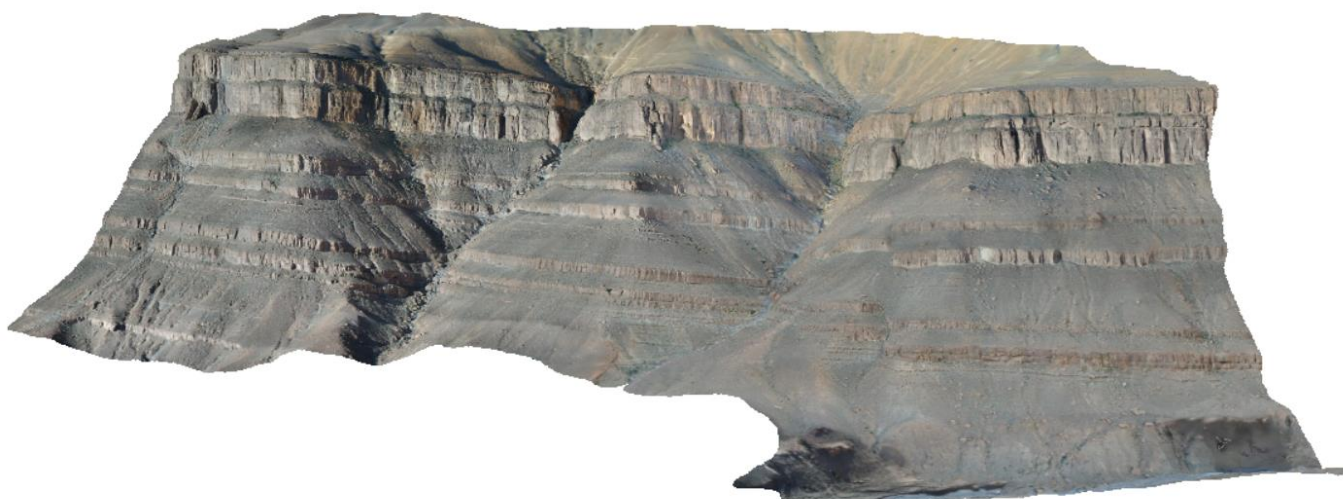


Figure 5 : Exemple de modèle 3D maillé et texturé représentant un affleurement rocheux au format SLPK. Source : Entité CARB - TotalEnergies

Il est tout de même important de noter, que le changement de système de coordonnées est impossible pour un fichier au format .SLPK, il faut donc choisir le bon système de coordonnées lors de l'export depuis Agisoft® Metashape.

La publication des données photogrammétriques sur le portail EP Maps se fera donc à partir du format .SLPK comme nous allons le voir dans la partie **III.1.3**.

III.1.2 Gestion des données d'interprétations

L'interprétation de l'affleurement rocheux est réalisée depuis le logiciel VRGS. Différents types de données géospatiales sont exportés :

- ❖ Des points 3D ;
- ❖ Des polygones 3D ;
- ❖ Des polygones 3D.

III.1.2.1 Les points

Parmi les données d'interprétations on retrouve des points. Ces points représentent les emplacements des prélèvements rocheux. Ils sont exportés individuellement au format CSV depuis le logiciel VRGS. La structure de chaque fichier CSV est la même pour tous les points comme nous pouvons le constater sur la figure 6.

Coordonnée X, Coordonnée Y, Coordonnée Z, "Identifiant"








 202109_Mijd1.csv	→	309510.798320457, 3546948.99863495, 1698.59388080317, "202109_Mijd1"
 202109_Mijd16.csv		
 202109_Mijd22.csv		
 202109_Mijd30.csv	→	309452.02590589, 3546986.76095607, 1717.26586012832, "202109_Mijd30"
 202109_Mijd55.csv		
 202109_Mijd63.csv		
 202109_Mijd77.csv	→	309407.336073133, 3546940.19410846, 1756.98006752503, "202109_Mijd77"

Figure 6 : Structure des fichiers CSV représentant les points. Source : Entité ISS, TotalEnergies

La structure des fichiers CSV exportés depuis VRGS n'est pas du tout optimale car ce logiciel exporte un fichier par point. Afin d'automatiser les traitements amenant à la création d'une couche prête à la publication et contenant l'ensemble de ces points, un outil a été créé à partir de Python : « Outcrops CSV to points ».

Présentation de l'outil « Outcrops CSV to Points » :

Le code Python permettant la création de cet outil est présenté en annexe 5 de ce mémoire.

Il a été développé à partir des bibliothèques suivantes :

- ❖ **ArcPy** : bibliothèque permettant d'exécuter des fonctions disponibles dans le logiciel ArcGIS Pro ;

- ❖ **Csv** : module utilisé pour lire et écrire des données tabulaires au format CSV ;
- ❖ **Os** : module utilisé pour les fonctionnalités dépendantes du système d'exploitation.

Cet outil permet la création d'une couche d'entités stockée dans un SDE prête à la publication contenant l'ensemble des points et leurs attributs à partir des fichiers CSV. Afin de garantir le bon fonctionnement de l'outil, trois paramètres doivent être renseignés par l'utilisateur :

- ❖ Le dossier où sont stockés les fichiers CSV
- ❖ Le chemin vers le SDE où l'on souhaite stocker la couche contenant les points
- ❖ Le système de coordonnées lié aux points

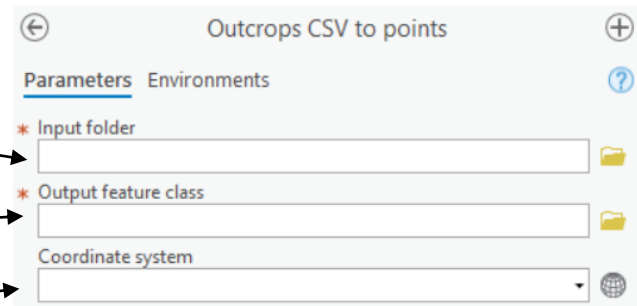


Figure 7 : Outil Outcrops CSV to Points.

Les étapes réalisées à partir de cet outil afin d'obtenir la couche d'entités désirée sont symbolisées ci-dessous :

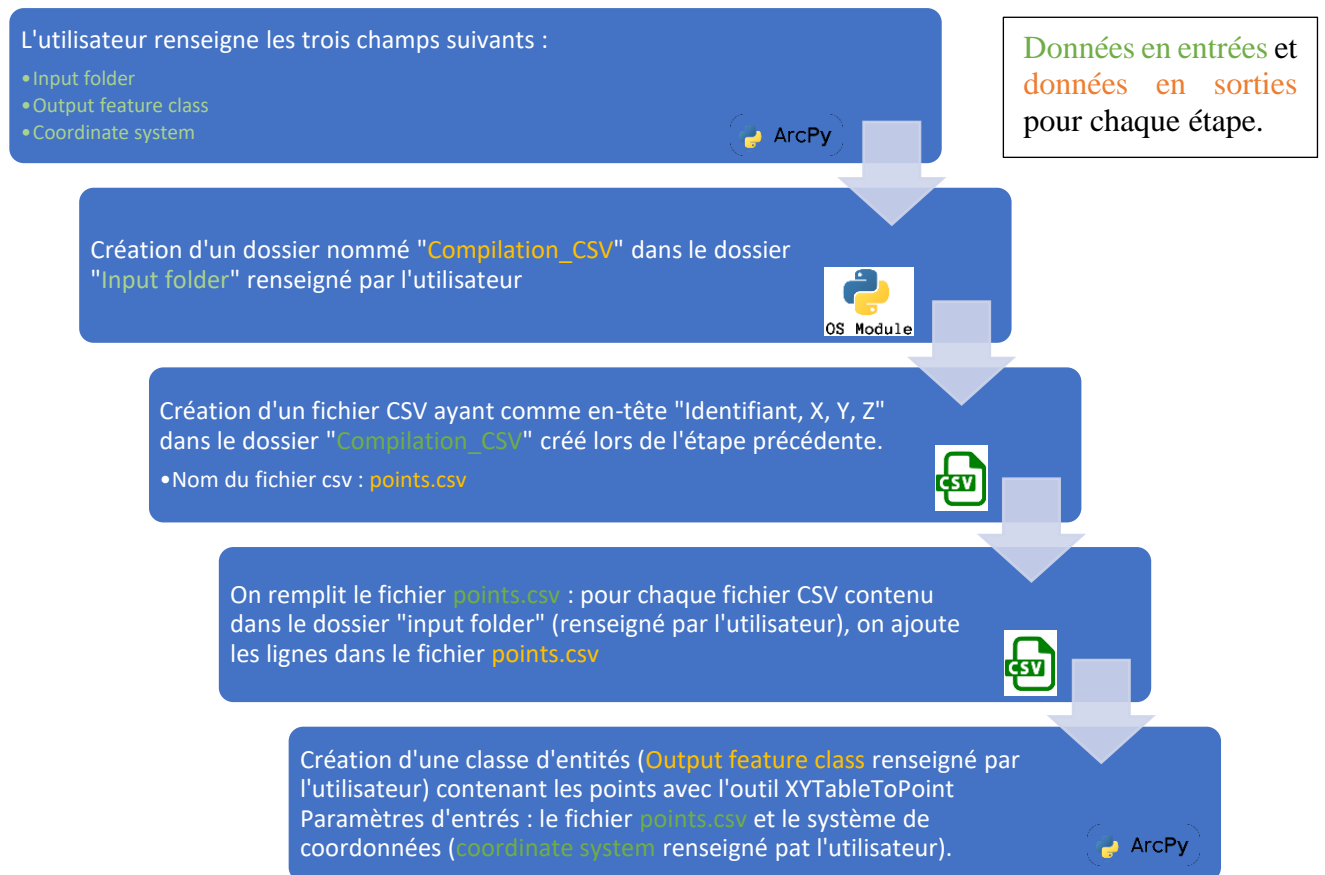


Figure 8 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : CSV to Points » afin d'obtenir une classe d'entités de type point.

Après exécution de l'outil, nous obtenons une couche d'entités comprenant l'ensemble des points. La création de cette couche est obtenue grâce à l'utilisation de l'outil **XYTableToPoint** comme on peut le voir sur le schéma ci-dessus. En effet, cet outil

disponible sur ArcGIS Pro crée une couche d'entités comprenant des points 2D ou 3D à partir d'un fichier CSV et des attributs X, Y et Z.

III.1.2.2 Les polygones

Les polygones, quant à eux représentent une zone d'un affleurement rocheux dont l'on souhaite présenter les caractéristiques.

Tout comme les points, ils sont stockés individuellement dans des fichiers CSV. Chaque polygone est structuré de la même façon. Comme on peut le voir sur la figure ci-contre, les 4 premières lignes ainsi que les 8 dernières présentent les caractéristiques principales du polygone (Nom, ID, stratigraphie, aire...). Entre ces deux groupes de lignes, on retrouve les coordonnées de chaque point qui compose le polygone.

```
Geopolygon 41
RecordID,12565
stratigraphy,sand
Orientation,-19.2866821289062,131.991622924805
309301.660474185,3546833.58663463,1784.28894885098
309302.573448918,3546834.1227065,1784.32039023777
309303.585062652,3546834.93708692,1784.36755465389
309303.96590835,3546836.14764858,1784.37494484386
309304.790699984,3546836.8585302,1784.4504586119
....
....
....
309302.501730625,3546831.72528163,1782.77887241089
309301.571018435,3546831.98240894,1783.27206688685
309300.726388876,3546832.22252792,1783.77668204335
309300.131691753,3546832.57346217,1784.30341505295
309300.634650401,3546832.91253586,1784.23766531089
Area,846.925537109375
Cross_Sectional_Area,700.853271484375
Measured_Minimum_Extent,13.7817487716675
Measured_Maximum_Extent,75.8894653320312
Depth_Extent,7.11824941635132
Maximum_Thickness,11.0136890411377
Mean_Thickness,8.98860740661621
Standard_Deviation_Thickness,2.36405730247498
```

Figure 9 : Exemple de la structure d'un fichier csv pour les polygones

A partir de ces fichiers au format CSV, on souhaite créer une couche contenant l'ensemble des polygones ainsi que leurs attributs. Cette couche devra être prête à la publication sur le portail EP Maps. Pour répondre à cette problématique et pour automatiser les traitements, un outil utilisable sur ArcGIS Pro a été créé à partir de Python : « Outcrops CSV to Polygon ».

Présentation de l'outil « Outcrops CSV to Polygon » :

Le code Python permettant la création de cet outil est présenté en annexe 6 de ce mémoire. Cet outil a été développé à partir du langage de programmation Python et des bibliothèques suivantes : ArcPy, CSV, OS et Pandas : une bibliothèque conçue pour la manipulation et l'analyse des données.

Tout comme les deux autres outils présentés dans ce mémoire, trois paramètres doivent être renseignés par l'utilisateur :

- ❖ Le dossier où sont stockés les fichiers CSV
- ❖ Le chemin vers le SDE où l'on souhaite stocker la couche contenant les polygones
- ❖ Le système de coordonnées lié aux polygones

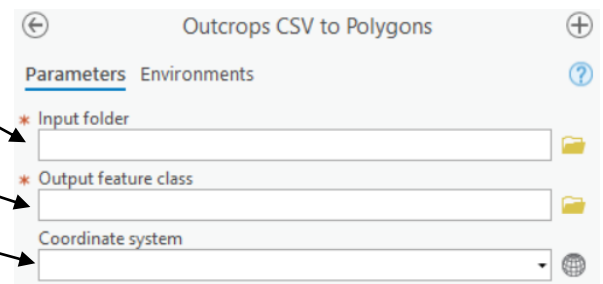


Figure 10 : Outil Outcrops CSV to Polygons.

Les étapes ayant permis la création de cet outil sont symbolisées par le schéma ci-dessous :

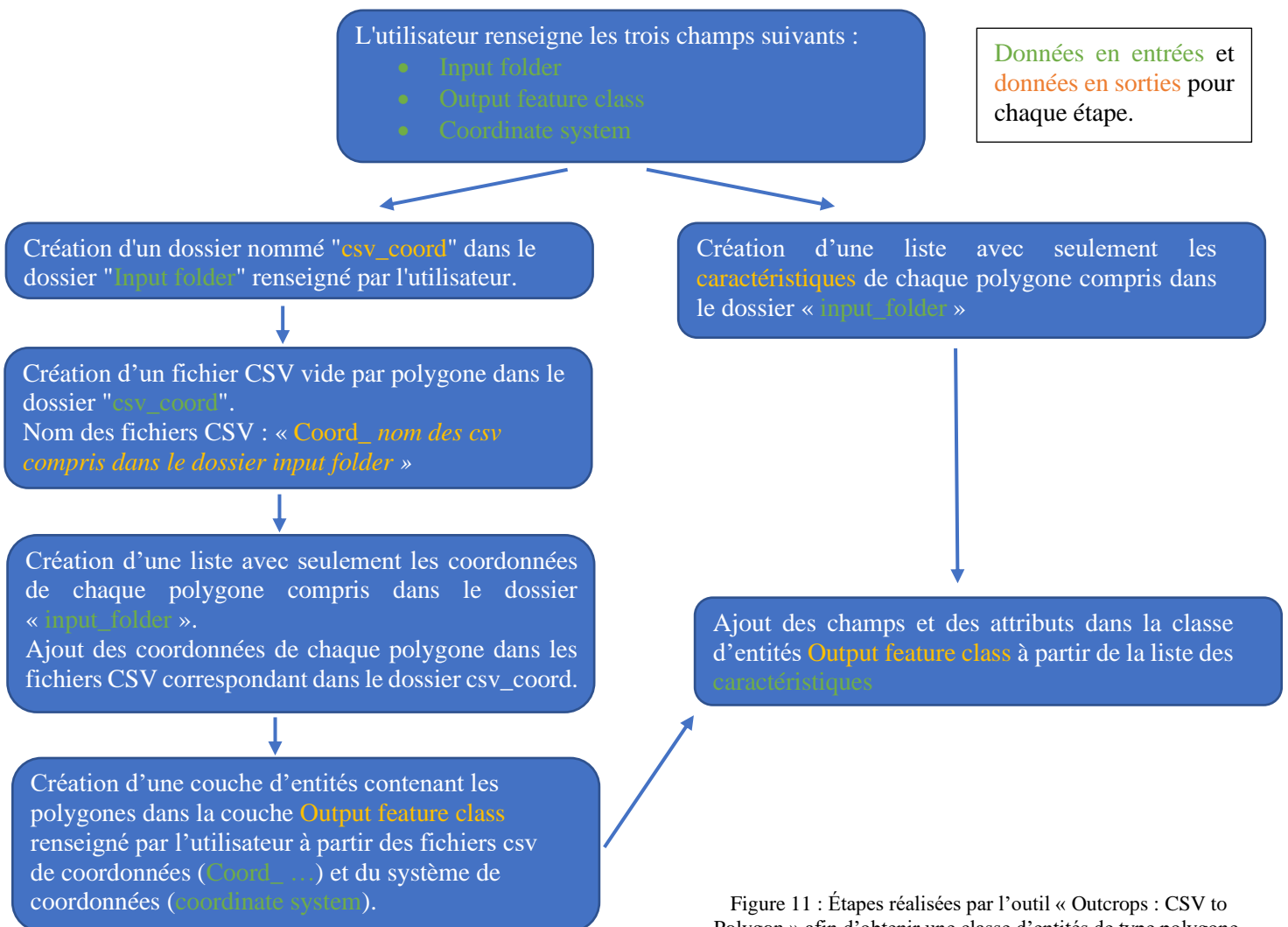


Figure 11 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : CSV to Polygon » afin d'obtenir une classe d'entités de type polygone.

Afin que ces outils soient accessibles à tous les collaborateurs de l'entité CARB, une « ToolBox ArcGIS Pro » contenant les trois scripts python a été mise en place. Les utilisateurs de ces outils doivent juste importer la « ToolBox » dans leur projet ArcGIS Pro pour profiter des fonctionnalités offertes par ces derniers.

III.1.2.3 Les polygones

Les polygones font aussi parties des données d'interprétations exportées depuis le logiciel VRGS. Ces polygones 3D représentent les différentes couches stratigraphiques ainsi que leurs caractéristiques. Contrairement aux points, elles sont directement exportées dans une GeoDataBase comprenant une classe d'entités de type linéaire.

Cependant, lors de l'import de la couche dans ArcGIS Pro, la géométrie s'affiche correctement mais il est impossible d'ouvrir la table attributaire comprenant les caractéristiques des couches stratigraphiques. L'erreur « Failed to load data » s'affiche. La seule technique ayant été trouvée pour permettre l'ouverture de la table attributaire est la suivante : sélectionner l'ensemble des entités contenues dans la couche et exporter ces entités dans une nouvelle classe d'entités.

Une fois cette opération faite, la couche est prête à être publiée sur EP Maps. Or, lors des tests de publication, nous nous sommes rendu compte que les performances d'affichage des polygones étaient dégradées du fait du grand nombre de points par polygone. Pour pallier ce problème nous avons utilisé l'outil **Simplify 3D line** disponible sur ArcGIS Pro. Cet outil permet de réduire le nombre total de sommets par polygone suivant une tolérance spécifiée. Après plusieurs essais, la tolérance a été fixée à 5 centimètres afin d'obtenir un affichage correct des polygones sur EP Maps. L'utilisation de cet outil a permis de passer d'un affichage des polygones « en escalier » à un affichage linéaire comme on peut le voir sur les figures 9 et 10.



Figure 12 : Affichage d'une polygone sur EP Maps sans simplification.

Simplify 3D Line
→
Tolérance : 5cm

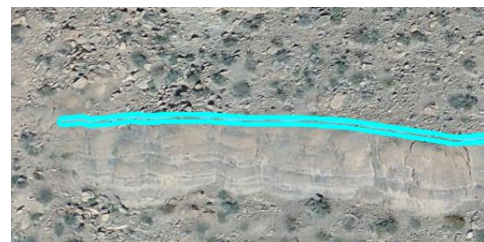


Figure 13 : Affichage d'une polygone sur EP Maps avec une simplification à 5cm.

Afin d'éviter à l'utilisateur de réaliser ces deux étapes, nous avons mis en place un outil à partir de python permettant la modification de la classe d'entités afin qu'elle soit publiable.

Présentation de l'outil « Outcrops : polylines » :

Le code Python permettant la création de cet outil est présenté en annexe 7 de ce mémoire.

Il a été développé à partir de la bibliothèque ArcPy.

Trois paramètres doivent être renseignés par l'utilisateur afin de faire fonctionner l'outil :

- ❖ La GeoDataBase dans laquelle se trouve la couche d'origine exportées depuis VRGS
- ❖ La GeoDataBase dans laquelle on souhaite stocker la couche d'origine simplifiée
- ❖ Le SDE dans lequel on souhaite stocker la couche d'entités prête à la publication

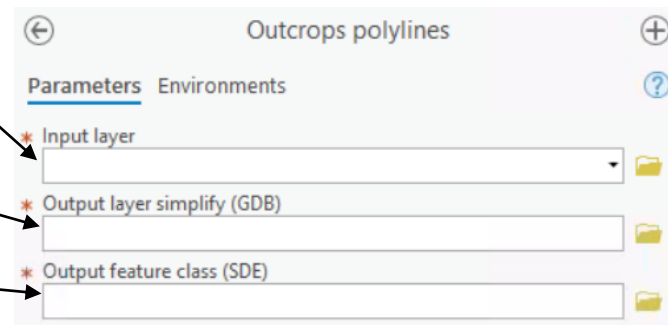


Figure 14 : Outil Outcrops : polylines.

Les étapes ayant permis la création de cet outil et donc de la couche d'entités désirée sont synthétisées dans le schéma ci-dessous :

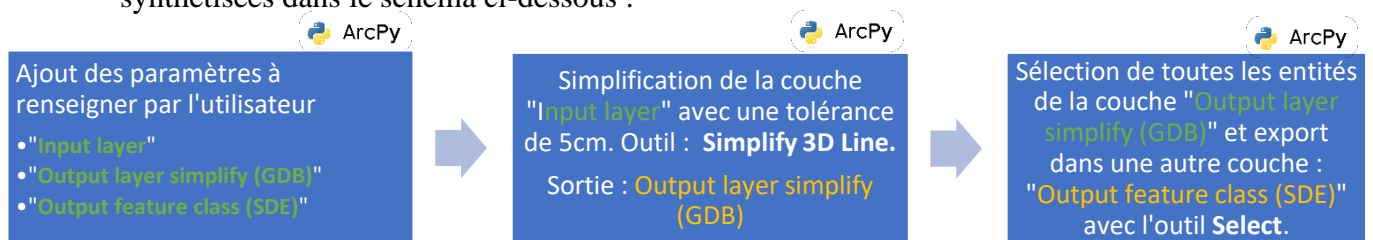


Figure 15 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : polylines » afin d'obtenir une classe d'entités de type ligne.

III.1.3 Procédure à utiliser pour la publication sur EP Maps

Maintenant que toutes les données sont prêtes à être publiées, nous allons analyser les différentes procédures de publication sur EP Maps en fonction de la nature et de la taille de la donnée. En ce qui concerne le projet des affleurements rocheux, deux types de données sont à publier :

❖ **Modèle 3D maillé et texturé au format SLPK :**

La documentation²⁴ publiée par ESRI concernant la publication des couches de scènes hébergées met en avant deux méthodes de publication en fonction de la taille de la donnée. Si la taille du paquetage de couche de scènes est supérieure ou égale à 500 Go, il est recommandé d'utiliser l'outil de géotraitement « *Partager un paquetage* » disponible depuis ArcGIS Pro afin d'ajouter la donnée à EP Maps. Sinon, lorsque la donnée est inférieure à 500 Go, le paquetage de couche de scènes peut être ajouté directement à l'organisation depuis le navigateur web à partir de notre lecteur local. La première méthode marche aussi pour les données inférieures à 500 Go. Ayant à disposition uniquement des données

²⁴ ESRI – ArcGIS Enterprise, Publier des couches de scènes hébergées. Disponible sur : <https://enterprise.arcgis.com/fr/portal/latest/use/publish-scenes.htm>, consulté le 11/05/2022.

comprises entre 2.5 et 8 Go, nous avons comparé les deux méthodes en matière de temps de publication comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessous :

Nom du paquetage de couche de scènes (SLPK)	Taille (Go)	Temps de publication depuis EP Maps	Temps de publication depuis ArcGIS Pro
Chunk 1d	2.87	3 minutes	8 minutes
Chunk 1c	6.24	7 minutes	15 minutes
Chunk 3a	7.7	9 minutes	18 minutes

Tableau 7 : Comparaison du temps de publication d'un paquetage de couche de scènes depuis EP Maps et ArcGIS Pro.

Nous constatons que la méthode consistant à ajouter les paquetages de couche de scènes directement depuis l'interface Web d'EP Maps est plus rapide que la publication depuis ArcGIS Pro. Cependant, une fois ces données publiées, nous avons constaté une diminution des performances et l'échec des sauvegardes automatiques sur la plateforme EP Maps quelle que soit la méthode utilisée. Ces problèmes sont dus au trop grand volume de données partagées sur le portail ArcGIS Entreprise.

Garima TIWARI, ingénieure produit principal chez ESRI, explique dans son article *Publication de couches de scènes volumineuses en un clin d'œil*, comment contourner ce problème à partir d'un code python. En effet, dans cet article, elle partage des extraits de codes Python permettant la publication de paquetages de couches de scènes à partir du chemin d'accès où les données sont stockées dans un dossier ou dans un cloud. De ce fait, ces données volumineuses ne seront plus stockées directement sur le portail EP Maps, ce qui n'entraînera plus les problèmes de performance et de sauvegarde automatique. Afin de contourner ce problème, un collaborateur de l'entité *Geospatial Technologie* a mis en place un programme python à partir de l'article de TIWARI et des paramètres de connexions à l'espace de stockage et à EP Maps.

❖ **Données d'interprétations : points, polygones et polygones en trois dimensions :**

En ce qui concerne les données d'interprétations, la publication se déroule depuis la vue 2D d'ArcGIS PRO. Si cette vue n'est pas encore ouverte dans le projet, elle est facilement disponible depuis l'onglet *Insert*, puis *New Map*. Une fois la vue 2D ouverte, nous pouvons importer les trois couches de données vectorielles par un simple « glissé déposé » depuis le SDE.

Ensuite, les données vectorielles sont publiées depuis l'onglet « Share » de ArcGIS Pro et l'outil « Publish Web Layer ». Lors de la publication quelques informations doivent être intégrées à la couche :

- Nom de la couche ;
- Résumé ;
- Mots clefs ;
- Stockage des données : GeoDataBase d'entreprise (SDE) faisant référence à EP Maps.

Une fois toutes les couches publiées sur EP Maps, nous pouvons gérer la symbologie. En effet, les données d'interprétations étant stockées dans des couches vectorielles de types point, ligne et polygone, nous pouvons les classifier en fonction des attributs. En plus de la classification, des filtres, des étiquettes ou des effets de transparences peuvent être attribués. Pour finir, nous pouvons aussi choisir si l'on souhaite faire apparaître une couche dans la légende et si l'on souhaite avoir une fenêtre contextuelle renseignant l'ensemble des attributs lors de la sélection d'une couche.

Le processus de publication sur EP Maps des projets d'affleurements rocheux et de leurs données d'interprétations est schématisé dans l'annexe 8 de ce mémoire.

Ci-dessous on retrouve un extrait de la scène 3D construite à partir des données fournies par l'entité CARB.

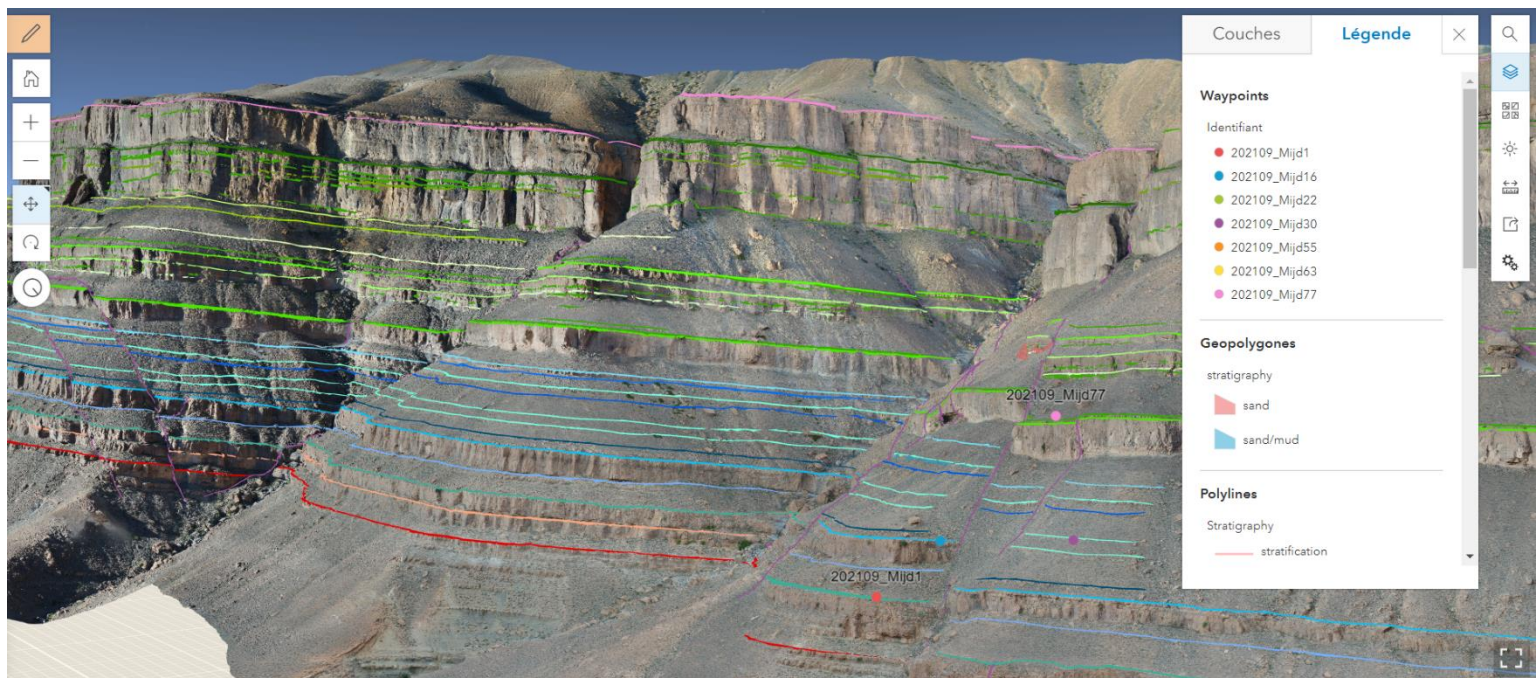


Figure 16 : Extrait d'une scène 3D représentant un affleurement rocheux et ses données d'interprétations construite sur EP Maps. Source : Entité Geospatial.

Le résultat obtenu correspond tout à fait aux attentes en termes de performance d'affichage et de rendu de la scène 3D.

Cependant, quelques perspectives d'évolution sont à prendre en compte :

- ❖ Actuellement, EP Maps gère seulement les fonds de cartes pour des scènes 3D dans le système de coordonnées WGS84 WebMercator (EPSG : 3857). Notre projet ayant une projection de type UTM, les fonds de cartes ne sont pas pris en compte et de ce fait nous ne pouvons pas observer le projet dans son environnement. La reprojection d'un fichier au format SLPK n'est pas possible. Il faut prévoir le système de coordonnées ainsi que la projection au moment de l'export du modèle 3D depuis le logiciel de photogrammétrie Agisoft Metashape. Or, l'entité CARB préfère travailler avec la projection adaptée à la zone d'étude pour plus de précisions.
- ❖ Avoir la possibilité de faire des coupes pour visualiser l'ensemble des strates passant à un endroit donné.

III.2 Le cas des projets d'infrastructure de TotalEnergies

Bien que TotalEnergies opère sur des projets de différentes natures, les données à représenter sont souvent les mêmes. En effet, que ce soit un projet concernant un champ d'éoliennes offshore ou un projet de développement d'un gisement, il faudra toujours représenter :

- Des réseaux (pipelines, alimentations et commandes, télétransmission) ;
- Les zones d'exclusions ;
- La couche d'élévation...

Dans cette partie, nous allons présenter les méthodes à adopter afin de structurer, gérer et publier les données de tels projets avec les collaborateurs de TotalEnergies.

III.2.1 Création d'une couche d'élévation

Dans le cas des projets offshore, il est nécessaire d'avoir les données bathymétriques les plus précises possible concernant la zone d'étude. La bathymétrie est la science de la mesure des profondeurs et du relief des fonds marins. Ces mesures sont réalisées à partir de levés par ondes sismiques, de sondeurs bathymétriques multifaisceaux mais aussi à partir de techniques LiDAR pour les zones de faibles profondeurs (Bathymétrie, Wikipédia). ABADIE et VIALA définissent le principe de la mesure par sondeur multifaisceaux (SMF) dans leur article *Le sondeur multifaisceaux en hydrographie : utilisations actuelles et futures* : « Le principe de mesure de la profondeur par SMF [...] est la mesure du temps de retour d'une onde émise, réfléchi par le fond puis réceptionnée. La spécificité des SMF réside dans sa multiplicité de faisceaux émis et réceptionnés simultanément qui leur permet

de réaliser des mesures bathymétriques sur des surfaces plus importantes que celles couvertes par les sondeurs monofaisceau ».

Les données bathymétriques sont fournies au format GeoTIFF. Dans notre cas c'est l'information concernant la profondeur qui est renseignée.

En amont de chaque projet, une analyse des données bathymétriques à travers les données de profondeurs et de pentes est nécessaire. Cette analyse permet de repérer les zones susceptibles d'accueillir des infrastructures et des réseaux au niveau des fonds marins et à l'inverse les zones d'exclusions.

Les zones d'études s'étendant sur des dizaines de kilomètres, plusieurs rasters sont nécessaires pour recouvrir l'ensemble de la surface souhaitée. ArcGIS Pro et d'autres logiciels de SIG permettent la création d'une mosaïque de rasters. Une mosaïque permet de stocker, gérer, afficher et interroger des ensembles de rasters de tailles différentes. Une fois la mosaïque créée et les rasters ajoutés à cette dernière, deux autres étapes importantes sont nécessaires :

- ❖ Le calcul des statistiques : le calcul des statistiques relatives à la mosaïque est nécessaire pour effectuer certaines opérations comme la classification des données.
- ❖ La construction des pyramides raster est elle aussi recommandée car elle permet l'amélioration des performances d'affichage. Seules les données requises pour une résolution définie sont alors affichées. Ce principe est décrit sur la figure ci-dessous :

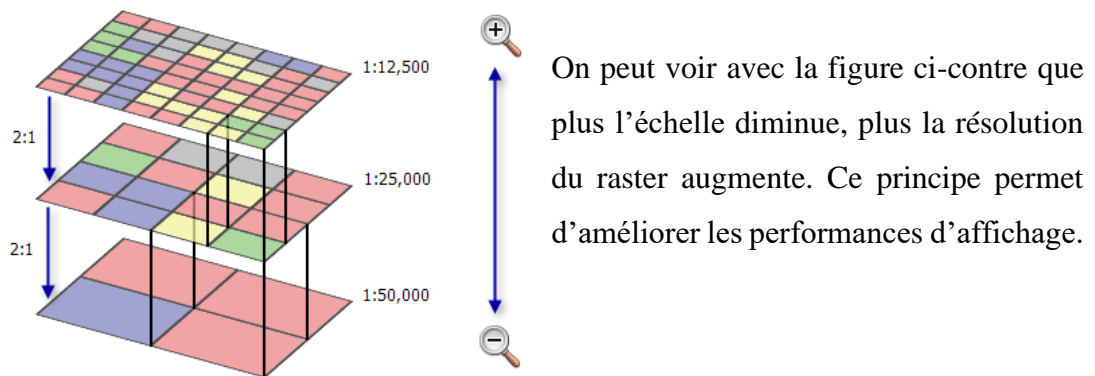


Figure 17 : Principe du calcul des pyramides sur un raster. Source : ESRI

Afin de mieux comprendre le processus permettant la réalisation d'une couche d'élévation, les étapes sont schématisées ci-dessous :

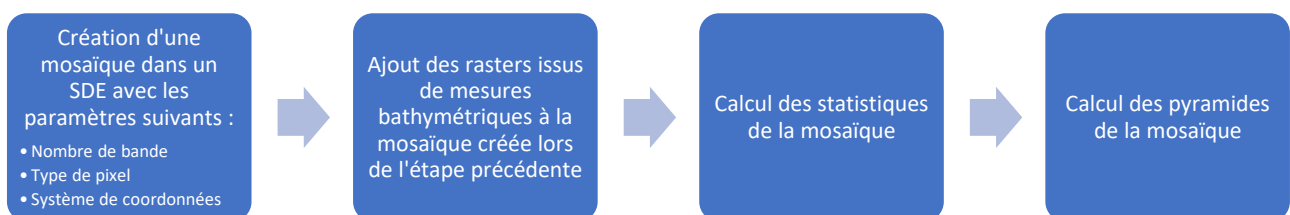


Figure 18 : Création d'une mosaïque de rasters

A partir de cette mosaïque de nombreuses analyses peuvent être réalisées telles que des calculs d'ombrages, de pentes, d'orientations...

On peut observer ci-dessous la couche d'élévation réalisée à partir des données bathymétriques du projet en Angola. Une couche d'ombrage a été ajoutée en complément de la couche d'élévation pour mieux distinguer le relief.

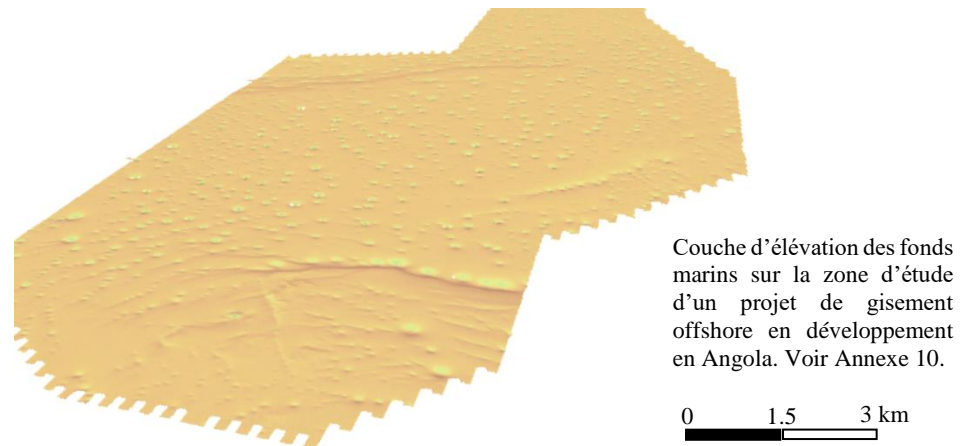


Figure 19 : Couche d'élévation des fonds marins en Angola surmontée d'une couche d'ombrage. Source : Simon COLLE

III.2.2 Gestion des données vectorielles

III.2.2.1 Le cas d'un champ d'éoliennes offshore en développement

Les données vectorielles à représenter sur un champ d'éoliennes offshore en développement sont les suivantes :

- ❖ Les zones d'exclusions, c'est-à-dire les zones où l'implantation d'une éolienne est impossible ou interdite. Les critères ainsi que les seuils permettant de définir ces zones sont fournis par les entités compétentes dans les domaines de la biodiversité et des projets offshore. Les critères rencontrés durant ce projet sont les suivants :
 - Lorsque les fonds marins sont jugés instables ou que l'on constate des mouvements de sable ;
 - Lors de la présence d'une bouée ou d'une épave, une zone tampon de 500 mètres autour de ces deux cas de figure doit être prise en compte dans la zone d'exclusion ;
 - Autour des pipelines, une zone tampon de 500 mètres doit aussi être créée ;
 - Lorsqu'il s'agit d'un puits, c'est une zone tampon de 50 mètres qui est appliquée.

- ❖ Scénarios d’implantations des éoliennes : dans le cas d’un champ d’éoliennes en développement, plusieurs scénarios concernant la position des éoliennes sont à l’étude. La scène 3D doit contenir l’ensemble de ces scénarios.
- ❖ L’emplacement des réseaux existants ainsi que ceux prévus.

L’ensemble de ces données est stocké dans des bases de données sous la forme de couches d’entités de type :

- Points : emplacement des éoliennes, des puits, des bouées et des épaves ;
- Polygones : réseaux existants et prévus ;
- Polygones : zones d’exclusions.

III.2.2.2 Le cas d’un gisement offshore en développement

Lors de ce projet consistant à représenter en trois dimensions un gisement offshore en développement, deux classes d’entités en deux dimensions ont été fournies, l’une composée de points, l’autre de polygones. La restructuration de ces classes d’entités est nécessaire afin d’avoir des couches spécifiques pour chaque type d’éléments que l’on souhaite représenter. Les opérations de restructuration des données sont présentées ci-dessous :

❖ Classification des points à partir de requêtes SQL

L’ensemble des points étant dans la même classe d’entités, il est nécessaire de créer plusieurs couches pour ensuite ajouter les champs nécessaires pour chaque couche. En effet, la symbologie permettant de représenter l’emplacement des puits n’est pas la même que celle permettant de représenter l’emplacement des infrastructures sous-marines. Des requêtes SQL ont été utilisées afin de créer les nouvelles couches. Par exemple, pour créer la couche comportant uniquement l’emplacement des infrastructures sous-marines, la requête suivante a été utilisée dans l’outil **Export Feature** : « SYMBOLOGY = 'FT' Or SYMBOLOGY = 'IT' Or SYMBOLOGY = 'SDU' Or SYMBOLOGY = 'UTA' Or SYMBOLOGY = 'XT' ». Cette requête permet de créer une classe d’entités comportant uniquement les infrastructures sous-marines FT, IT, SDU, UTA et XT. Ces infrastructures sont présentées en annexe 9.

❖ Classification des polygones et création de polygones

La même procédure de restructuration des données a été utilisée pour la classe d’entités contenant les polygones. Cependant, les zones d’exclusions étaient représentées sous forme de polygones. Afin de pouvoir leur affecter la bonne symbologie, une conversion en polygones était requise.

❖ Création de polygones 3D à partir de données 2D

Les polygones représentant les réseaux doivent suivre les fonds marins. Cependant, les données brutes fournies étant à l'origine en deux dimensions, nous avons dû trouver un moyen pour leur affecter une valeur d'altitude. La méthode utilisée consiste à interpoler la polygone avec la couche d'élévation bathymétrique. Cependant, la plupart des polygones n'étant composées que de deux points, une étape préalable consistant à densifier ces dernières est nécessaire. Le pas choisi entre chaque point est d'un mètre car la résolution de la mosaïque de rasters ayant permis la création de la couche d'élévation est elle aussi d'un mètre. Cette procédure d'interpolation est schématisée sur la figure ci-dessous.

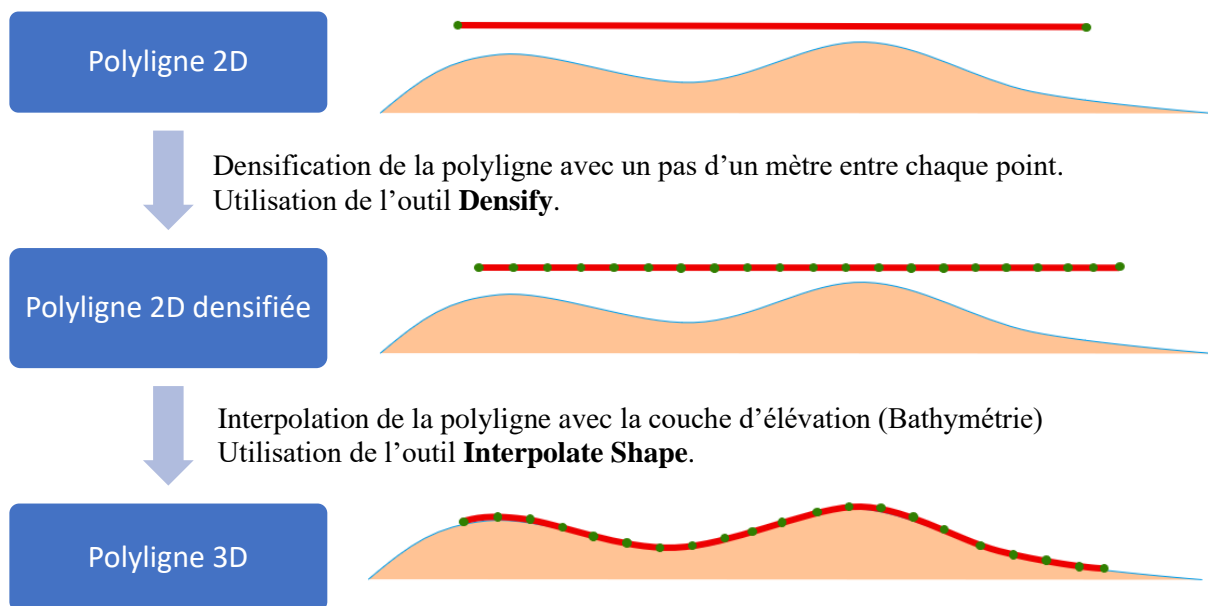


Figure 20 : Étapes permettant la conversion d'une polygone 2D en une polygone 3D.

III.2.3 Publication des données sur EP Maps

Au cours de ces projets, trois types de données peuvent être publiés ; des rasters pour la couche d'élévation, des couches vectorielles pour les données spatiales et des données BIM lorsque le projet en dispose. La publication sur EP Maps de ces trois types de données est présentée ci-dessous :

❖ Publication d'une couche d'élévation :

La publication d'une couche d'élévation est nécessaire afin que notre projet repose sur une couche bathymétrique ayant une résolution d'un mètre. En effet, la couche de base fournie par ESRI sur ses applications Web dispose d'une résolution de 30 mètres. Les étapes permettant de créer une couche d'élévation sont les suivantes :

- Utilisation de l’outil « **Manage Tile Cache** » : il permet de créer un fichier comprenant le cache de la donnée. Cet outil permet aussi de renseigner que le raster utilisé en entrée représente l’élévation de la zone d’étude.
- Utilisation de l’outil « **Export Tile Cache** » : cet outil permet d’exporter un modèle d’élévation 3D au format TPK à partir du fichier contenant le cache créé à l’étape précédente.

La couche au format TPK est ensuite ajoutée à EP Maps de la même manière que les fichiers SLPK.

❖ **Publication des données spatiales :**

La publication des données spatiales se déroule de la même façon que précédemment²⁵ hormis le fait qu’une bibliothèque de styles d’objets 3D a été utilisée afin de représenter les infrastructures ponctuelles en 3D telles qu’on peut le voir sur la figure 23. Cette figure représente les objets 3D que l’on souhaite visualiser au sein d’une bibliothèque de styles. Cette dernière a été créée depuis ArcGIS Pro à partir d’objets 3D au format 3DS. Elle a ensuite été publiée sur EP Maps afin d’être utilisable dans les options de symbologie ponctuelles.



Figure 21 : Bibliothèque de styles 3D créée depuis ArcGIS Pro.

L’annexe 9 présente les infrastructures offshore contenues dans la bibliothèque de style 3D (figure 23) que l’on souhaite matérialiser dans différents projets de capitalisation des données.

❖ **Publication des données BIM :**

Dans certains projets pétroliers ou gaziers, les infrastructures (FPSO, raffinerie...) sont représentées sous la forme d’un modèle BIM. Il est donc intéressant de lier ce modèle aux données spatiales. Les applications Web d’ESRI telles que ArcGIS Online et ArcGIS

²⁵ Voir III.1.3.

Entreprise ont la capacité de visualiser et d'interroger des modèles BIM. Les formats compatibles avec ces plateformes sont les formats IFC et RVT.

Afin d'être publié, le modèle BIM doit être importé sur ArcGIS Pro pour effectuer le géoréférencement si ce dernier n'a pas encore été réalisé. De plus, pour que le modèle 3D soit visualisable depuis la plateforme EP Maps, la création d'un paquetage de couche de scène de construction est primordiale. Le format de ce paquetage est le SLPK, format propriétaire d'ESRI utilisé pour la diffusion de données 3D sur les applications Web comme nous avons pu le remarquer dans la partie **II.1.4.1** de ce mémoire. La création de ce paquetage est réalisée à partir de l'outil « **Create Building Scene Layer Package** » disponible sur ArcGIS Pro. La publication sur EP Maps se déroule de la même façon que pour le modèle 3D maillé et texturé rencontré précédemment dans la partie **III.1.3**.

Les annexes 10 et 11 représentent réciproquement les scènes 3D obtenues sur EP Maps pour le champ d'éoliennes offshore en développement au Royaume-Uni ainsi que le projet concernant le développement d'un gisement en Angola. Ces annexes sont des captures d'écrans de ces deux projets depuis l'interface EP Maps afin d'observer ce qui est visualisé depuis cette plateforme.

Conclusion

La capitalisation des données s'inscrit dans les objectifs de l'entité *Geospatial* au sein de la compagnie TotalEnergies. Au cours de ce travail de fin d'études, un grand nombre de données d'origines différentes ont été rencontrées. Ces dernières n'étant pas acquises directement par TotalEnergies mais par ses prestataires, il est important de bien définir les besoins au sein d'un cahier des charges. Les formats de données favorisant l'interopérabilité sont de ce fait recommandés afin de perdre le moins d'informations possible lors du passage d'un logiciel à un autre. L'utilisation d'une plateforme Web offrant la possibilité de stocker, visualiser et effectuer des simulations sur des nuages de points est un bon moyen de capitaliser des données. En effet, le stockage actuel sur des disques durs externes ne permet pas de profiter entièrement de ces données.

De plus, la capitalisation des données au travers de scènes en trois dimensions permet d'améliorer la compréhension des projets ainsi que la coordination entre les collaborateurs. Quel que soit le type d'information que l'on souhaite représenter, le visuel permet toujours de mieux comprendre et de mieux appréhender un projet. En effet, TotalEnergies agit dans de nombreux domaines en matière d'énergie. Un collaborateur ne peut en aucun cas maîtriser l'ensemble des procédures à mettre en place dans les projets pétroliers, gaziers, solaires et éoliens. Cependant, la création d'une scène en trois dimensions regroupant l'ensemble des infrastructures intervenant au cours d'un projet pétrolier par exemple, nous permet de mieux comprendre l'acheminement du pétrole de son forage jusqu'à son stockage dans un FPSO.

Au cours de ce TFE, des outils disponibles directement depuis l'interface d'ArcGIS Pro ont été codés à partir de Python. Ils permettent d'automatiser les étapes redondantes liées à la structuration des données avant publication sur le portail EP Maps. Grâce au développement de ces outils, des personnes non spécialisées dans le domaine des SIG ont maintenant la possibilité de préparer et de publier les données avec les personnes concernées. Cependant, des perspectives d'évolution sont à prévoir concernant la visualisation des projets d'affleurements rocheux. En effet, des développements supplémentaires permettraient aux utilisateurs d'EP Maps de créer des coupes stratigraphiques directement depuis la scène ou encore de placer cette dernière dans son environnement.

En ce qui concerne la visualisation des projets d'infrastructures depuis le Web, des perspectives d'évolution sont aussi à prévoir. En effet, il serait intéressant de pouvoir visualiser la trajectoire des puits en fonction du diamètre de forage mais aussi observer les couches géologiques traversées.

Bibliographie

Ouvrages imprimés, manuel d'utilisation

Leica Geosystems. Leica Cyclone 3DR, Technical Specifications. 2021, 8p.

Trimble RealWorks. Manuel d'utilisation. 2018, 1747p.

Article de dictionnaire

FOLLIN J-M, « Cloud Computing » in Dictionnaire de droit foncier et de géomatique : Éditions Le Moniteur, 2017, pp. 73-74.

Norme, publication dans le Journal Officiel de la République Française

Organisation Internationale de Normalisation, *ISO/IEC 2382:2015 Technologies de l'information — Vocabulaire*. 2015, 4p.

Journal Officiel de la République Française, *Vocabulaire de l'informatique et de l'internet – Informatique en nuage (Cloud)*, Commission Générale de Terminologie et de Néologie, JO n°0129 du 06 juin 2010, p. 10453, texte n°42.

Travaux universitaires

ARNAUD M., *L'apport du développement d'outils BIM au sein des projets d'infrastructures*, ESGT, Le Mans : mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur du CNAM spécialité géomètre et topographe, 2020.

BENNI F., *Adapter la réalité de terrain en SIG 3D, les problématiques du géomètre dans le processus BIM*, ESGT, Le Mans : mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur du CNAM spécialité géomètre et topographe, 2016.

GBONGBO S.I., *Vers une intégration BIM-IOT-SIG 3D pour le suivi des ouvrages d'art*, ESGT, Le Mans : mémoire présenté en vue d'obtenir le diplôme d'ingénieur du CNAM spécialité géomètre et topographe, 2021.

HUBER D., *The ASTM E57 File Format for 3D Imaging Data Exchange*, Institut de robotique, université Carnegie Mellon, Pittsburgh, 2019.

SATTLER L., *Amélioration de l'interopérabilité BIM via un cadre de co-modélisation par requêtes et enrichissements itératifs de données*, ENSAM, Paris : Thèse préparée en vue d'obtenir le grade de Docteur d'HESAM Université spécialité génie industriel, 2021.

Articles de périodiques imprimés

ABADIE A., VIALA C., *Le sondeur multifaisceaux en hydrographie : utilisations actuelles et futures*. Revue XYZ, 2018, n°157, p.19-29.

Articles de périodiques électroniques

LU D., *Qu'est-ce que l'authentification unique (SSO) ?* okta, 19/02/2021. [En ligne].

Disponible sur : <https://www.okta.com/fr/blog/2021/02/single-sign-on-ss/#:~:text=L'authentification%20unique%20ou%20SSO,un%20seul%20jeu%20d'identifiants>, consulté le 18/05/2022.

ESRI, *Glossaire ESRI*. 02/03/2020. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.esrifrance.fr/glossaire.aspx>, consulté le 19/05/2022.

Sites web

Atis Cloud. *Atis.cloud – Gérez facilement vos nuages de points !* Disponible sur : <https://atis.cloud/>, consulté le 28/05/2022.

Autodesk ReCap. *Supported File Formats*. Disponible sur : https://help.autodesk.com/view/RECAP/ENU/?guid=Reality_Capture_Product_Overview_Reality_Capture_Supported_File_Formats_html&v=2019, consulté le 01/06/2022.

BuildingSMART France. *Notions clés du BIM*. Disponible sur : <https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/definition-notions-bim/>, consulté le 06/04/2022.

ESRI – ArcGIS Enterprise. *Présentation de ArcGIS Server*.

Disponible sur : <https://enterprise.arcgis.com/fr/server/latest/get-started/windows/what-is-arcgis-for-server-.htm>, consulté le 10/03/2022.

ESRI – ArcGIS Enterprise. *Publier des couches de scènes hébergées*. Disponible sur : <https://enterprise.arcgis.com/fr/portal/latest/use/publish-scenes.htm>, consulté le 11/05/2022.

ESRI – ArcGIS Pro. *Types de données et éléments pris en charge*. Disponible sur : <https://pro.arcgis.com/fr/pro-app/2.8/help/projects/supported-data-types-and-items.htm>, consulté le 20/05/2022.

FARO. *Manuel d'utilisation de scène*. Disponible sur : <https://downloads.faro.com/index.php/s/maWCxzLT9gPzCiN?dir=undefined&openfile=114216>, consulté le : 10/06/2022.

MINnD. *Projet national MINnD*. Disponible sur : <https://www.minnd.fr/>, consulté le 07/07/2022.

OpenGeoLabs, *Switch from Shapefile*. Disponible sur : <http://switchfromshapefile.org/>, consulté le 12/07/2022.

TotalEnergies. *TotalEnergies, une compagnie multi-énergies*. Disponible sur : <https://totalenergies.com/fr/totalenergies-compagnie-multi-energies>, consulté le 16/05/2022.

Wikipédia. *Bathymétrie*. Disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/Bathym%C3%A9trie>, consulté le 18/06/2022.

Wikipédia. *GeoServer*. Disponible sur <https://fr.wikipedia.org/wiki/GeoServer>, consulté le 19/05/2022.

Wikipédia. *.3ds*. Disponible sur <https://en.wikipedia.org/wiki/.3ds#Structure>, consulté le 27/05/22.

Table des annexes

Annexe 1 Présentation de la structure d'accueil	65
Annexe 2 Bilan des solutions logicielles traitant des nuages de points en fonctions des formats d'import et d'export.....	68
Annexe 3 Exigences de TotalEnergies concernant le choix d'une plateforme Cloud de stockage et de visualisation des données.....	69
Annexe 4 Interface du portail SAMP.....	70
Annexe 5 Présentation du code ayant permis la création de l'outil « Outcrops : CSV to points » .	71
Annexe 6 Présentation du code ayant permis la création de l'outil	72
« Outcrops : CSV to polygones ».....	72
Annexe 7 Présentation du code ayant permis la création de l'outil « Outcrops : polylines »	75
Annexe 8 Processus de publication des projets d'affleurements rocheux.....	76
Annexe 9 Présentation des infrastructures offshore rencontrées lors de ce TFE	77
Annexe 10 Visualisation en 3D d'un champ d'éoliennes offshore en développement au Royaume- Uni depuis EP Maps	79
Annexe 11 Visualisation en 3D d'un projet de gisement offshore en développement en Angola depuis EP Maps	81

Annexe 1

Présentation de la structure d'accueil

❖ Le Centre Scientifique et Technique Jean Féger (CSTJF) :

Situé à Pau, le CSTJF est le principal centre de recherche scientifique de TotalEnergies. Doté de laboratoires à la pointe de la technologie et d'un supercalculateur haute performance (HPC), ce site édifié sur 27 hectares avec plus de 3 000 collaborateurs est un véritable *melting pot*²⁶ qui rassemble tous les métiers de la chaîne de valeur de l'exploration-production. Également, le CSTJF s'affirme comme un acteur majeur de la dynamique économique et sociale de la région. Il se positionne comme un partenaire de sa croissance durable.

❖ La nouvelle branche OneTech :

Le 1^{er} septembre 2021 a été marqué par la création de la branche OneTech au sein de TotalEnergies. Cette réorganisation de la compagnie a pour but de marquer la volonté de changer d'identité au sein de TotalEnergies. Ce sont au total 3 300 ingénieurs, techniciens et chercheurs qui sont au service des nouveaux enjeux de TotalEnergies. Les principaux objectifs de OneTech sont d'accompagner le développement de nouvelles activités industrielles tout en continuant à soutenir les opérations en cours. Le rôle de OneTech est aussi d'encourager et d'accélérer l'innovation. Pour satisfaire ces objectifs, OneTech possède les fonctions suivantes :

- ❖ Savoir s'adapter aux nouvelles activités industrielles de la Compagnie ;
- ❖ Mieux former et attirer les talents ;
- ❖ Encourager et accélérer l'innovation ;
- ❖ Fournir des solutions pour réduire l'empreinte carbone de la Compagnie ;
- ❖ Mobiliser les ressources techniques de la Compagnie sur les sujets les plus stratégiques et à plus forte valeur ajoutée.

Mon stage s'est déroulé au sein de l'entité *Geospatial* faisant partie de la nouvelle branche OneTech.

²⁶ Désigne une société homogène à travers le brassage de la population. En effet, plus de 30 nationalités sont présentes au CSTJF.

❖ **L'entité Geospatial :**

Geospatial regroupe des compétences en topographie, systèmes d'informations géographiques (SIG) et télédétection. Cette entité est subdivisée en trois autres ayant chacune des missions à mener à bien dans leurs domaines de compétences.

• **L'entité Geospatial Operations :**

Geospatial Operations, dirigée par Benoît RAY, mon maître de stage durant ce TFE, réalise différentes missions :

- Mise en place de solutions techniques pour les SIG ;
- Capitalisation et publication des données de références ;
- Expertise en géodésie, topographie, positionnement et hydrographie. Supervision des opérations onshore et offshore, validation des systèmes de coordonnées mis en place ;
- Études spatiales et analytiques permettant l'aide à la décision.

• **L'entité Geospatial Technologie :**

Cette entité regroupe les missions suivantes :

- Centre d'expertise pour l'information géographique (SIG) ;
- Mise en œuvre et gestion des logiciels SIG de bureau et des plateforme Web ;
- Hébergement et gestion des données dans les SIG.

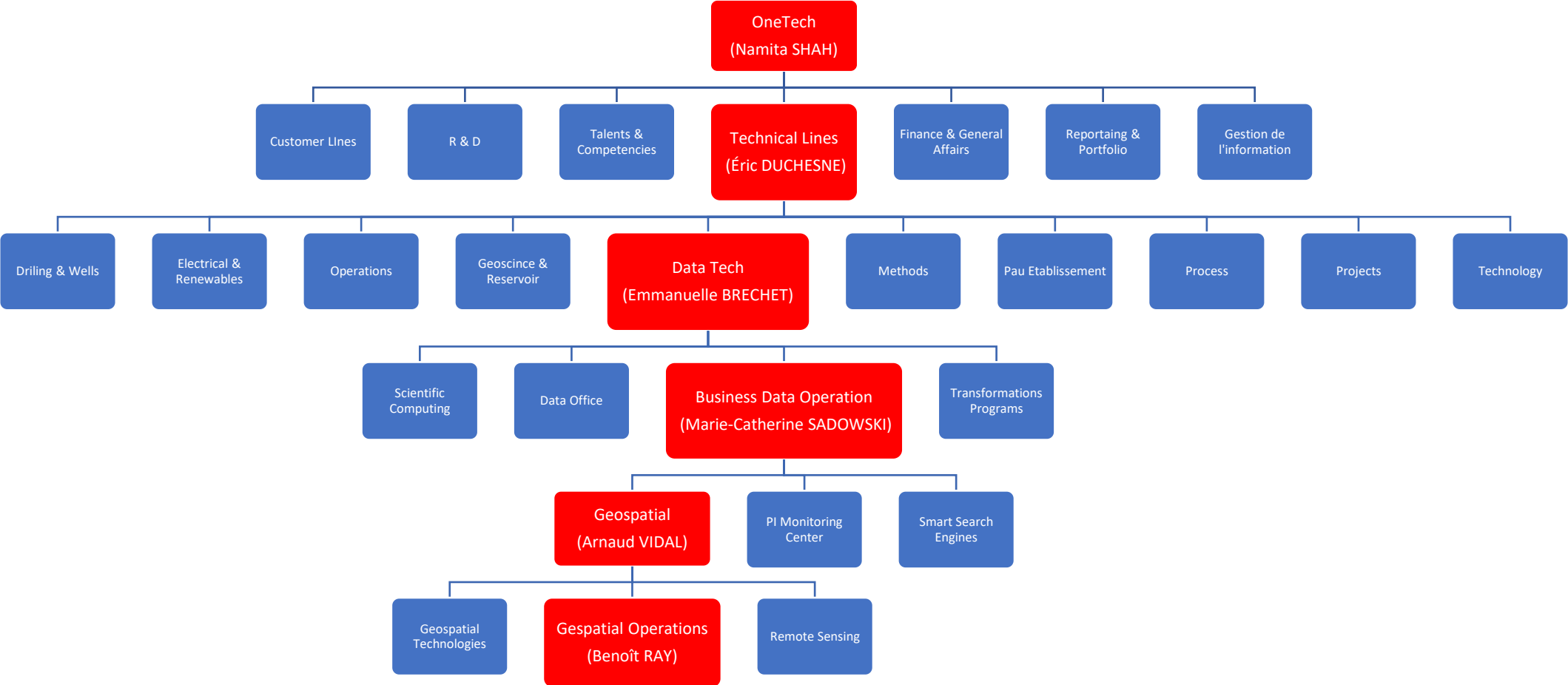
• **L'entité Remote Sensing :**

Pour finir, l'entité *Remote Sensing*²⁷ réalise les missions suivantes :

- Acquisition et interprétation de l'imagerie satellitaire ;
- Détection des changements, soutien aux projets et aux opérations, connaissance de la situation.

²⁷ *Remote Sensing* signifie *Télédétection* en français.

Ci-dessus on retrouve l'organigramme de OneTech détaillé jusqu'à l'entité Geospatial, entité dans laquelle j'ai réalisé mon TFE.



Annexe 2

Bilan des solutions logicielles traitant des nuages de points en fonctions des formats d'import et d'export

Logiciel	Disponibilité	Format natif	Format	
			Import	Export
ArcGIS Pro	Catalogue TotalEnergies		Données LiDAR : .LAS, .ZLAS	Package de stockage ESRI : .SLPK
CloudCompare	Catalogue TotalEnergies – Open source	BIN	Fichier CloudCompare : .BIN Données ASCII : .ASC, .TXT, .NEU, .XYZ, .CSV Données LiDAR : .LAS, .LAZ Leica : .PTS, .PTX Faro : .FLS Fichier E57 : .E57 Fichier PLY : .PLY Topcon : .CL3, .CLR Fichier E57 : .E57 Faro : .FLS, .FWS, .LSPROJ	Fichier CloudCompare : .BIN Données ASCII : .ASC, .TXT, .NEU, .XYZ, .CSV Données LiDAR : .LAS, .LAZ Leica : .PTS Faro : .FLS Fichier E57 : .E57 Fichier PLY : .PLY
Autodesk Recap Pro	En cours d'acquisition	Projet : RCP	Données LiDAR : .LAS Leica : .PTS, .PTX, .PRJ, .PTG Riegl : .RCS, .RDS Données ASCII : TXT, XYZ Zoller+Fröhlich : .ZFS, .ZFPRJ Données ASCII : .ASC, .NEU, .XYZ, .PTS, .PTX	Fichier E57 : .E57 Leica : .PTS Recap Pro : .RCP, .RCS
Trimble Realworks	Aucune licence	Projet : RWP Nuage de points : TZF	Données LiDAR : .LAS, .LAZ Fichier E57 : .E57 Faro : .FLS Zoller+Fröhlich : .ZFS Riegl : .RSP	Données ASCII : .ASC, .NEU, .XYZ, .PTS, .PTX Données LiDAR : LAS, LAZ Fichier E57 : .E57
Faro Scene	Aucune licence	Projet : FWS Nuage de points : FLS	Fichier E57 : .E57 Leica : .PTX Données LiDAR : .LAS, .LAZ Données ASCII : .XYZ	Fichier E57 : .E57 Données ASCII : .XYZ Leica : .PTS Riegl : .RCS Données LiDAR : .LAS Recap Pro : .RCP
Leica Cyclone 3DR	Aucune licence		Fichier PLY : .PLY Leica : .PTS, .PTX Données LiDAR : .LAS, .LAZ Fichier E57 : .E57	Données ASCII : .ASC, .TXT, .XYZ, .CSV Leica : .PTX Fichier E57 : .E57 Données LiDAR : .LAS, .LAZ

Cette annexe dresse un tableau comparatif non exhaustif des principales solutions logicielles en fonction des formats d'import et d'export disponibles. On constate grâce à ce tableau que le format E57 est le format d'interopérabilité pour les nuages des points. En effet, il est pris en compte dans les formats d'import et d'export de l'ensemble des solutions logicielles spécialisées dans la gestion des nuages de points.

Le format E57 ne dépend pas des formats propriétaires pour stocker et échanger des données. C'est pour cela qu'il est considéré comme le format d'interopérabilité entre les différents logiciels traitant des nuages de points.

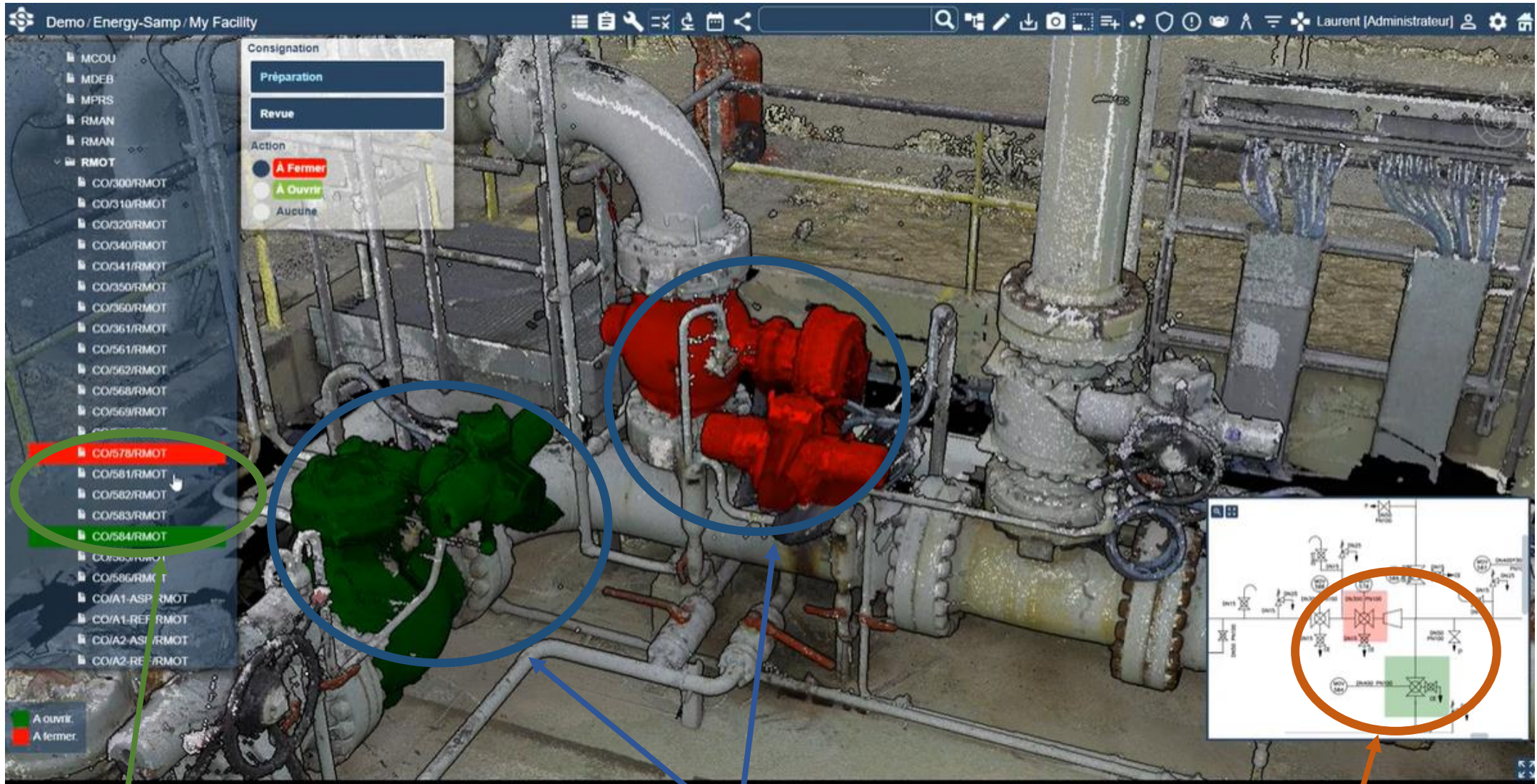
Annexe 3

Exigences de TotalEnergies concernant le choix d'une plateforme Cloud de stockage et de visualisation des données

Fonctionnalités	Exigences de TotalEnergies	Importance
Accessibilité	La plateforme doit être accessible par méthode SSO (Single Sign-On)	2
	Liens de consultations pour des personnes extérieures à TotalEnergies	3
	La plateforme doit être accessible depuis un navigateur Web tel que Google Chrome, Mozilla Firefox ou Microsoft Edge.	3
Performance	Comparaison du temps d'affichage des données sur un projet test. Critère de bande passante.	3
Administration - Gestion des rôles	Administration de plusieurs rôles possible. Au minimum : Administrateur de projet, gestionnaire de projet, utilisateur.	3
Nombre d'utilisateurs	Nombre d'utilisateur unique illimité.	2
	Nombre d'utilisateur en simultané illimité.	2
Sécurisation des données	Stockage des données sur le cloud : Amazon Web Service ou Microsoft Azure.	3
	Stockage des données sur les serveurs de la région concernée.	2
Données acceptées sur la plateforme	Scanner laser & LiDAR (E57, LAS, LAZ)	3
	Capacité à charger des données structurées et non structurées	2
	BIM (IFC)	3
	Plans CAO (2D)	3
	SIG	1
	Objets 3D, modèle photogrammétrique	2
Mesures, annotations	Possibilité de faire des mesures basiques : Longueur, hauteur, angle, surface, annotations, coupes, volumes... Partage et exports des mesures	3
Analyse visuelle	Possibilité de faire des analyses visuelles : comparaison entre modèle BIM et nuage de points, entre deux nuages.	2
Systèmes de coordonnées	Intégration de différents systèmes de coordonnées	1
Modes d'affichages	Se déplacer entre les différentes positions de scan.	3
	Plusieurs fenêtres de visualisations. (RGB, X-RAY, intensité...)	1
Mise à jour d'un nuage de points	Possibilité de faire une mise à jour du nuage de points. La fonctionnalité doit être implémentée dans les développements futurs de la plateforme.	2
Révisions du nuage de points	Suivi des révisions du nuage de points (time slider / coloration du nuage en fonction du type de capteur)	1
Reconnaissance de formes / pièces	Présence d'un algorithme de reconnaissance de formes / pièces. La fonctionnalité doit être implémentée dans les développements futurs de la plateforme.	2
Simulations	Possibilité de faire des simulations. Par exemple : si on enlève une vanne quelles sont les impacts en amont et en aval.	0
Export des données	Télécharger les données déposées sur la plateforme et si possible les convertir dans un autre format. Télécharger les données appartenant à une zone de sélection.	3
Logiciel externe	Si possible ne pas avoir besoin d'un logiciel pour l'import ou l'export des données.	1
Support technique	Présence d'un support technique.	3
Application en marque grise	Possibilité de disposer d'une application en marque grise.	1
Connexion à des applications tierces	Connexion à des applications tierces (GMAO, BD Plans, SIG, Process).	3

Annexe 4 Interface du portail SAMP

Source : SAMP



Équipements en 1D dans la liste des matricules

Équipements en 3D dans le nuage de points

Équipements en 2D dans le P&ID

Annexe 5

Présentation du code ayant permis la création de l'outil « Outcrops : CSV to points »

```
# Ce script permet la création de l'outil « Outcrops : CSV to points » sur ArcGIS Pro.
# Cet outil a pour rôle de créer une couche contenant l'ensemble des points stockés
# individuellement dans des fichiers CSV.
#
import os
import arcpy
import csv
#
#==== 1) Ajout des paramètres à renseigner par l'utilisateur ====
input_folder = arcpy.GetParameterAsText(0)
output_feature_class = arcpy.GetParameterAsText(1)
coordinate_system = arcpy.GetParameterAsText(2)
#
#==== 2) Création du dossier contenant le futur fichier csv comprenant tous les points ====
folder_compilation_csv = os.path.join(input_folder, "Compilation_CSV")
os.makedirs(folder_compilation_csv, exist_ok = True)
#
#==== 3) Liste de tous les points ====
Table = [ ]
for csv_name in os.listdir(input_folder):
    if not csv_name.endswith(".csv"):
        continue
    csv_file_obj = open(os.path.join(input_folder, csv_name))
    reader_obj = csv.reader(csv_file_obj)
    for ligne in reader_obj:
        table.append(ligne)
    csv_file_obj.close()
#
#==== 4) Création du fichier csv et de son en-tête ====
headerList=['X','Y','Z','Identifiant']
file=open("{}./points.csv".format(folder_compilation_csv),'w',newline='')
with file:
    ecrire=csv.writer(file)
    dw=csv.DictWriter(file, delimiter=',',fieldnames=headerList)
    dw.writeheader()
    for ligne in table:
        ecrire.writerow(ligne)
file.close()
#
#==== 5) Création des points dans ArcGIS Pro à partir du csv créé à l'étape précédente ====
arcpy.management.XYTableToPoint(os.path.join(folder_compilation_csv, "points.csv"), output_feature_class, "X",
"Y", "Z", coordinate_system)
```

Importation des bibliothèques.

Chemin où sont stockés les fichiers csv

Chemin vers la couche en sortie dans un SDE

Choix du système de coordonnées

Chemin vers le dossier

Création du dossier

Sélection de tous les fichiers csv étant stockés dans le "input folder"

Ignorer s'il n'y a pas de fichier csv dans le dossier

Création d'une table contenant les données de chaque fichier csv

Liste avec les éléments de l'en-tête

Création du fichier points.csv dans le dossier folder_compilation_csv

Ouverture du fichier CSV en écriture

Délimiteur : ',' et ajout de l'en-tête

Ajout des données du tableau table dans le fichier points.csv

Création de la classe d'entité renseignée par l'utilisateur : "output_feature_class" paramètre : colonne X, Y, Z et le système de coordonnées renseigné par l'utilisateur.

Annexe 6

Présentation du code ayant permis la création de l'outil « Outcrops : CSV to polygones »

```

# Ce script permet la création d'un outil sur ArcGIS Pro. Il a pour rôle de
# créer une couche contenant l'ensemble des polygones ainsi que leurs attributs.
#
import pandas as pd
import os
import arcpy
import csv
#
#==== 1) Ajout des paramètres à renseigner par l'utilisateur ====
input_folder = arcpy.GetParameterAsText(0)
output_feature_class = arcpy.GetParameterAsText(1)
coordinate_system = arcpy.GetParameterAsText(2)
#
#==== 2) Création du dossier contenant les fichiers csv avec seulement les coordonnées ====
input_folder_cor = os.path.join(input_folder,"csv_coord")
os.makedirs(input_folder_cor, exist_ok=True)
#
#==== 3) Calcul du nombre de ligne dans les fichiers csv ====
l=[]
for nom_csv in os.listdir(input_folder):
    if not nom_csv.endswith(".csv"):
        continue
    csv_file_obj = open(os.path.join(input_folder, nom_csv))
    reader_obj = csv.reader(csv_file_obj)
    c=0
    for ligne in reader_obj:
        c+=1
    l.append(c)
    csv_file_obj.close()
#
#==== 4) Obtenir une liste avec seulement les caractéristiques des polygones ====
nombre_csv=0
for nom_csv in os.listdir(input_folder):
    if not nom_csv.endswith(".csv"):
        continue
    csv_file_obj = open(os.path.join(input_folder, nom_csv))
    reader_obj = csv.reader(csv_file_obj)
    file_caracteristique=[]
    for ligne in reader_obj:
        if reader_obj.line_num < 4 or reader_obj.line_num > l[nombre_csv]-8 :
            file_caracteristique.append(ligne)
    nombre_csv+=1
    csv_file_obj.close()
#
#
#==== 5) Obtenir une liste avec seulement les coordonnées des polygones ====
for nom_csv in os.listdir(input_folder):
    if not nom_csv.endswith(".csv"):
        continue

```

} Importation des bibliothèques

→ Chemin où sont stockés les fichiers CSV en entrée

→ Chemin vers la couche en sortie dans un SDE

→ Choix du système de coordonnées

→ Chemin vers le dossier

→ Création du dossier

} Sélection de tous les fichiers csv étant stockés dans le "input folder" renseigné par l'utilisateur
Ignorer s'il n'y a pas de fichier csv dans le dossier

} Calcul du nombre de ligne dans chaque fichier CSV du dossier « input_folder »

} Sélection de tous les fichiers csv étant stockés dans le "input folder" renseigné par l'utilisateur
Ignorer s'il n'y a pas de fichier csv dans le dossier

} Création d'une liste comprenant toutes les caractéristiques de chaque fichier CSV.
Sélection des 4 premières lignes et des 8 dernières de chaque fichiers.

} Sélection de tous les fichiers csv étant stockés dans le "input folder" renseigné par l'utilisateur
Ignorer s'il n'y a pas de fichier csv dans le dossier

```

#
csv_file_obj = open(os.path.join(input_folder, nom_csv))
file=pd.read_csv(csv_file_obj,sep=",", skiprows=(0,1,2,3)), skipfooter=8, engine='python')
file.to_csv("{0}/coord_{1}".format(input_folder_cor,nom_csv), header='none', index=False)
csv_file_obj.close()
#
#==== 6) Création et ajout des polygones dans la couche ====
arcpy.ddd.ASCII3DToFeatureClass(input_folder_cor, "XYZ",output_feature_class , "POLYGON", 1, coordinate_system,
None, 'csv', "DECIMAL_POINT")
#
#
#==== 7) Ajout des champs dans la couche des polygones
arcpy.management.AddField(output_feature_class,'Name','TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[1][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[2][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[3][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[4][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[5][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[6][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[7][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[8][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[9][0],'TEXT')
arcpy.management.AddField(output_feature_class,file_caracteristique[10][0],'TEXT')
#
#==== 8) Remplissage des attributs des différents champs en fonction du nom des polygones ====
nombre_csv=0
for nom_csv in os.listdir(input_folder):
    if not nom_csv.endswith(".csv"):
        continue
    csv_file_obj = open(os.path.join(input_folder, nom_csv))
    reader_obj = csv.reader(csv_file_obj)
    file_caracteristique=[]
    for ligne in reader_obj:
        if reader_obj.line_num < 4 or reader_obj.line_num > 1[nombre_csv]-8 :
            file_caracteristique.append(ligne)
    curseur=arcpy.da.UpdateCursor(output_feature_class,
["Name','{}'].format(file_caracteristique[1][0]),'{}'].format(file_caracteristique[2][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[3][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[4][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[5][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[6][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[7][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[8][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[9][0]),
'{}'].format(file_caracteristique[10][0]),
"{}={}".format("OID", nombre_csv+1))

for row in curseur:
    row[0]=file_caracteristique[0][0]
    row[1]=file_caracteristique[1][1]
    row[2]=file_caracteristique[2][1]
    row[3]=file_caracteristique[3][1]
    row[4]=file_caracteristique[4][1]
    row[5]=file_caracteristique[5][1]

```

Création de fichiers CSV comprenant uniquement les coordonnées de chaque polygone. Suppression des 4 premières lignes et des 8 dernières de chaque CSV.

Création d'une classe d'entités contenant l'ensemble des polygones à partir de la liste des coordonnées

Ajout de plusieurs champs à la classe d'entités des polygones. Ces champs représentent les caractéristiques de chaque polygones. Ils sont obtenus à partir de la liste des caractéristiques.

Sélection de tous les fichiers csv étant stockés dans le "input folder" renseigné par l'utilisateur Ignorer s'il n'y a pas de fichier csv dans le dossier

Ajout des attributs dans les différents champs en fonction de l'identifiant des polygones. L'outil utilisé pour mettre à jour une table attributaire est le suivant : arcpy.da.UpdateCursor

```
row[6]=file_caracteristique[6][1]
row[7]=file_caracteristique[7][1]
row[8]=file_caracteristique[8][1]
row[9]=file_caracteristique[9][1]
row[10]=file_caracteristique[10][1]
curseur.updateRow(row)
del curseur
nombre_csv+=1
csv_file_obj.close()
```

Annexe 7

Présentation du code ayant permis la création de l'outil « Outcrops : polylines »

```
# Ce script permet la création de l'outil "Outcrops : polylines" sur ArcGIS Pro.
```

```
# Cet outil a pour rôle de restructurer une couche contenant des polygones
```

```
# pour qu'elle soit publiable sur EP Maps
```

```
#
```

```
import arcpy ———> Import de la bibliothèque ArcPy
```

```
#
```

```
#==== 1) Ajout des paramètres à renseigner par l'utilisateur ====
```

```
input_layer = arcpy.GetParameterAsText(0) ———> Chemin vers la GDB où est stockée la couche  
comprenant les polygones en entrée
```

```
output_layer_simplify_GDB = arcpy.GetParameterAsText(1) ———> Chemin vers la couche en sortie simplifiée dans une  
GDB
```

```
output_feature_class_SDE = arcpy.GetParameterAsText(2) ———> Chemin vers la couche finale dans un SDE
```

```
#
```

```
#
```

```
#==== 2) Simplification des polygones pour améliorer la visualisation sur EP Maps ====
```

```
arcpy.ddd.Simplify3DLine(output_layer, output_feature_class, "0.05 Meters") ———> Simplification à 5cm de la couche  
d'entités pour améliorer la visualisation  
sur EP Maps. Outil « Simplify3DLine »
```

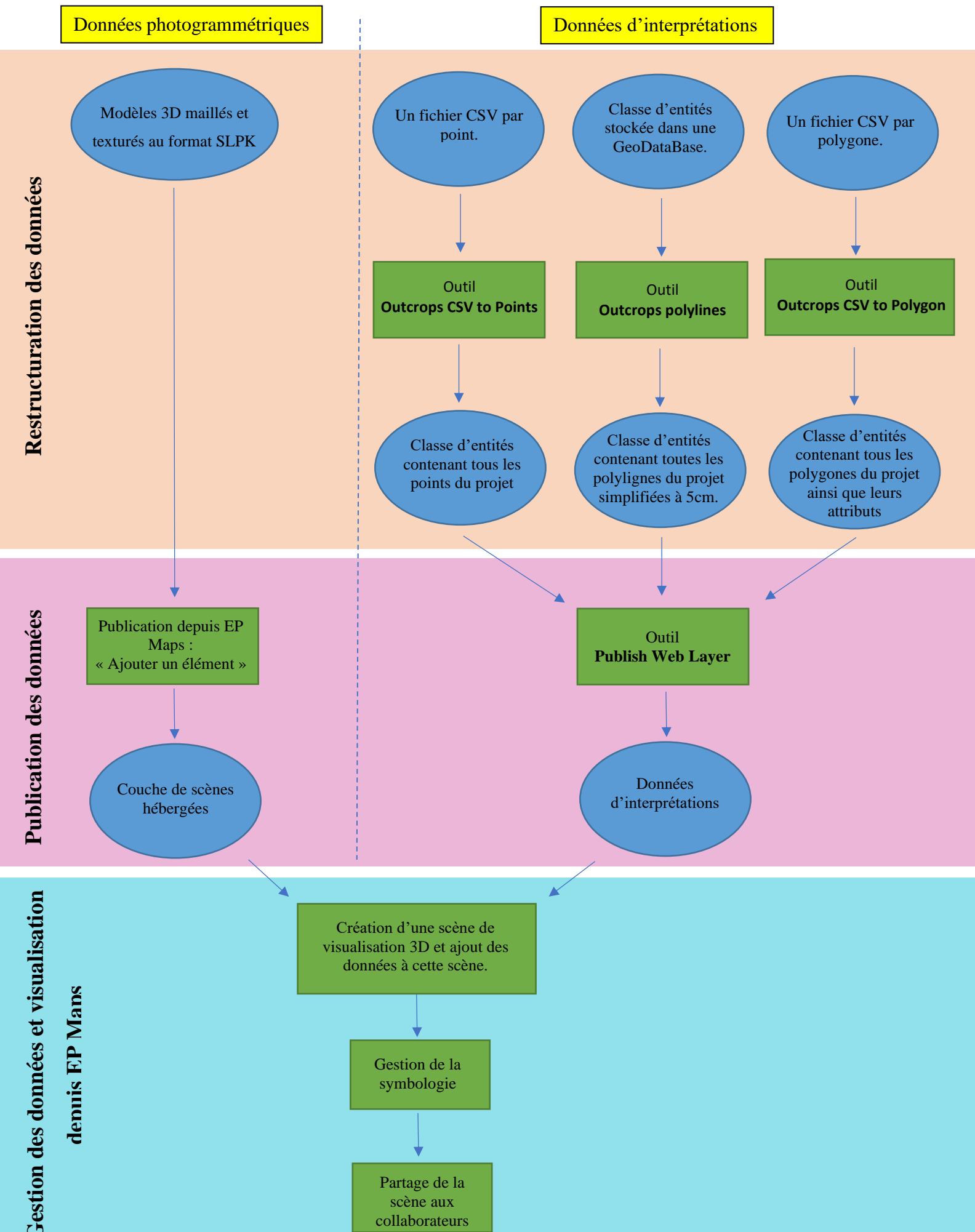
```
#
```

```
#==== 3) Export de la couche simplifiée dans le SDE ====
```

```
arcpy.analysis.Select(output_layer_simplify_GDB, output_feature_class_SDE, '')
```

Export de la couche simplifiée d'une GDB vers un SDE
avec l'outil « Select » afin qu'elle soit prête à la
publication sur EP Maps.

Annexe 8 Processus de publication des projets d'affleurements rocheux



Annexe 9

Présentation des infrastructures offshore rencontrées lors de ce TFE

Durant ce travail de fin d'études, diverses infrastructures offshore ont été rencontrées dans des projets en cours de développement. Les objets 3D permettant de représenter ces infrastructures ont été utilisés afin de rendre plus réaliste les scènes 3D. Cette annexe a pour objectif de présenter quelques infrastructures rencontrées dans le milieu offshore.

❖ Le cas du développement d'un gisement offshore :

• Flowline End Termination (FT) :

Le « Flowline End Termination » peut se traduire en français par « extrémité d'une ligne d'injection ». Ce type de matériel est installé à la surface des fonds marins. Positionné à l'extrémité des conduites d'écoulement, il permet d'activer les fonctionnalités liées à la ventilation et au contrôle de la pression. De plus, c'est à partir de cet outil que les fonctionnalités offertes par les ROV²⁸ sont activées.



Figure 22 : Modèle 3D d'un FT.
Source : Turbosquid.com

• Christmas Tree (X-Tree) :



Dans le milieu de l'extraction de pétrole et de gaz naturel, un Christmas Tree désigne un assemblage de vannes, de bobines et de raccords utilisés pour réguler le débit des tuyaux dans un puits de pétrole, de gaz, d'évacuation d'eau... Ce type d'infrastructure est utilisé à la fois pour des puits onshore que pour des puits offshore.

Figure 23 : Modèle 3D d'un XT.
Source : Turbosquid.com

• Umbilical Termination Assembly (UTA) :

L'« Umbilical Termination Assembly », ensemble de terminaison ombilicale en français est un système électro-hydraulique multiplexé situé à la surface des fonds-marins. Il permet à de nombreux modules de commande sous-marins d'être connectés aux mêmes lignes de communication, d'alimentation électrique et hydraulique. De ce fait, plusieurs puits peuvent être contrôlés par un seul câble.



Figure 24 : Modèle 3D d'un UTA.
Source : Tubosquid.com

²⁸ ROV : Remotely Operated Vehicle, se traduit par véhicule sous-marins téléguisé

- **Subsea Distribution Unit (SDU) :**



Le « Subsea Distribution Unit » peut se traduire par « unité de distribution sous-marine ». Cette infrastructure installée à la surface des fonds marins assure la distribution hydraulique, chimique, électrique et en fibre optique entre le UTA et le reste des systèmes sous-marins.

Figure 25 : Modèle 3D d'un SDU.
Source : Turbosquid.com

- ❖ **Le cas du développement d'un champ d'éoliennes offshore :**

Suivant le scénario d'implantation rencontré, le type d'ancrage des éoliennes dans le sol sera différent. En effet, comme nous pouvons le voir sur la figure ci-dessous, les éoliennes terrestres sont directement ancrées dans le sol tandis que pour les implantations offshore, deux cas sont à différencier :

- Lorsque nous sommes près des côtes dans une zone de faible profondeur, l'éolienne est déposée sur une plateforme fixée au fond marin.
- Lorsque nous sommes dans le cas contraire, l'éolienne est fixée sur une plateforme flottante. Cette dernière est reliée au fond marin par des câbles.

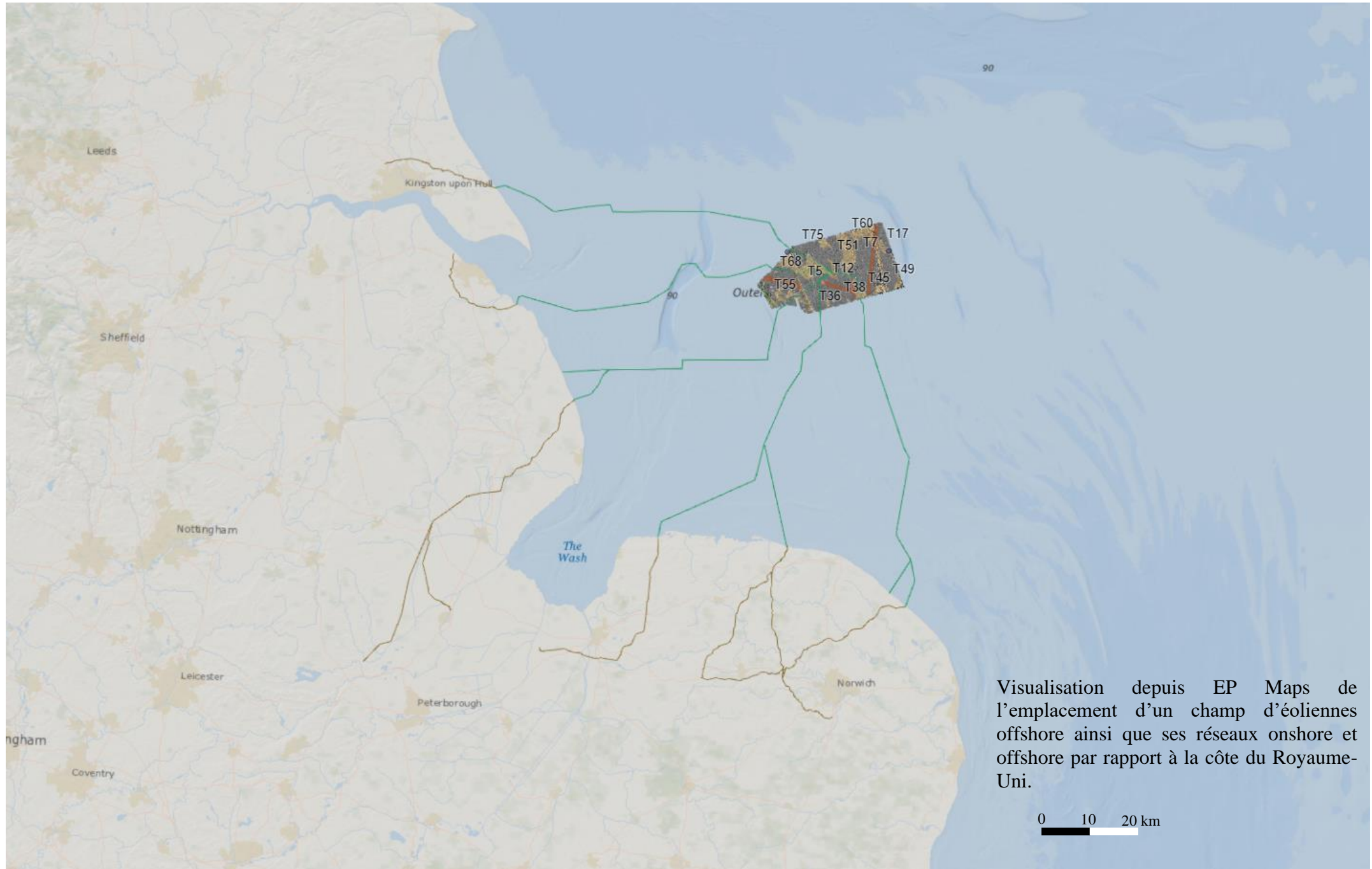


Figure 26 : Type d'ancrage d'une éolienne suivant le scénario. Source : Nord-lock.com

De plus, il est important de préciser que la taille des éoliennes varie entre un projet onshore et offshore. En moyenne la taille d'une éolienne terrestre se situe entre 120 et 155 mètres tandis que pour les éoliennes offshore, leur taille peut dépasser 200 mètres.

Annexe 10

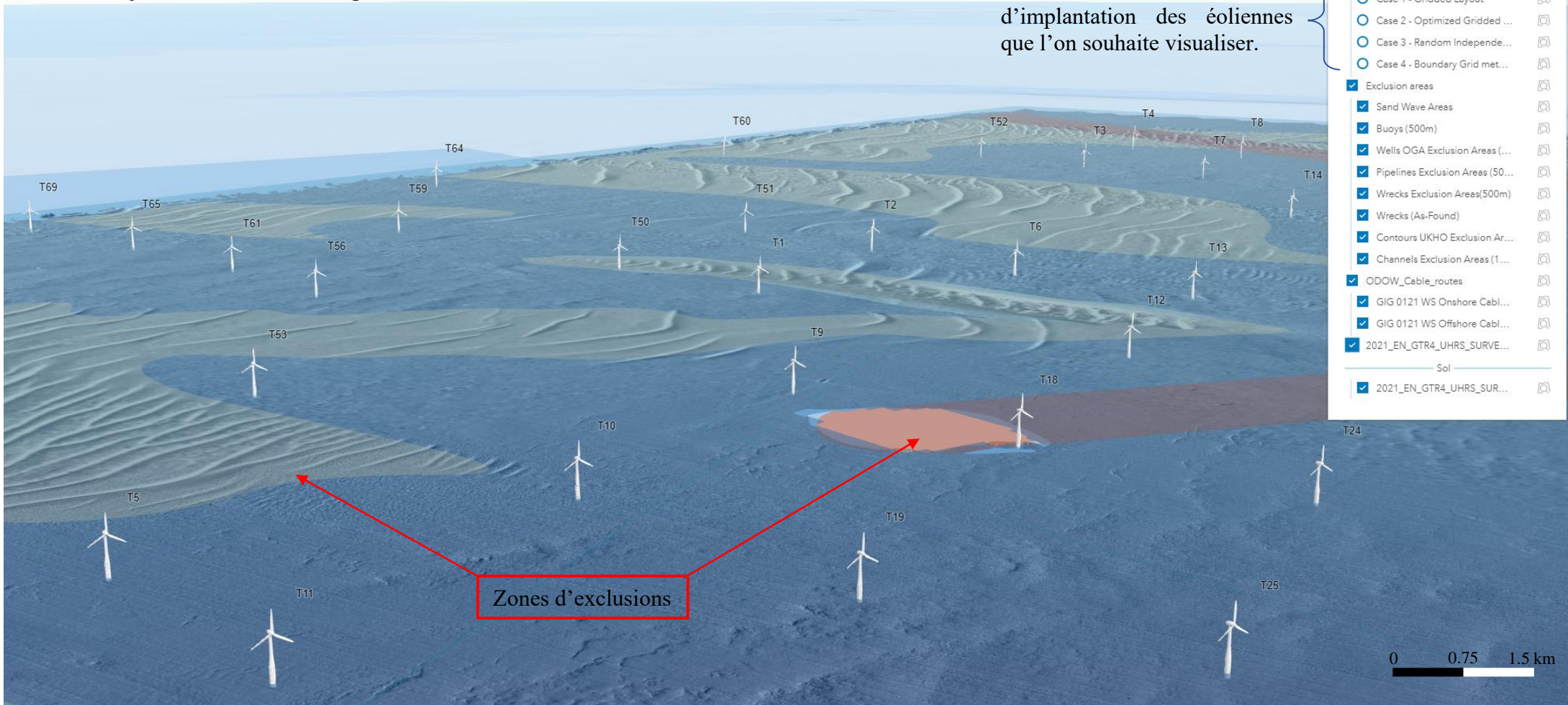
Visualisation en 3D d'un champ d'éoliennes offshore en développement au Royaume-Uni depuis EP Maps



Visualisation depuis EP Maps d'un champ d'éoliennes offshore ainsi que ses zones d'exclusions.

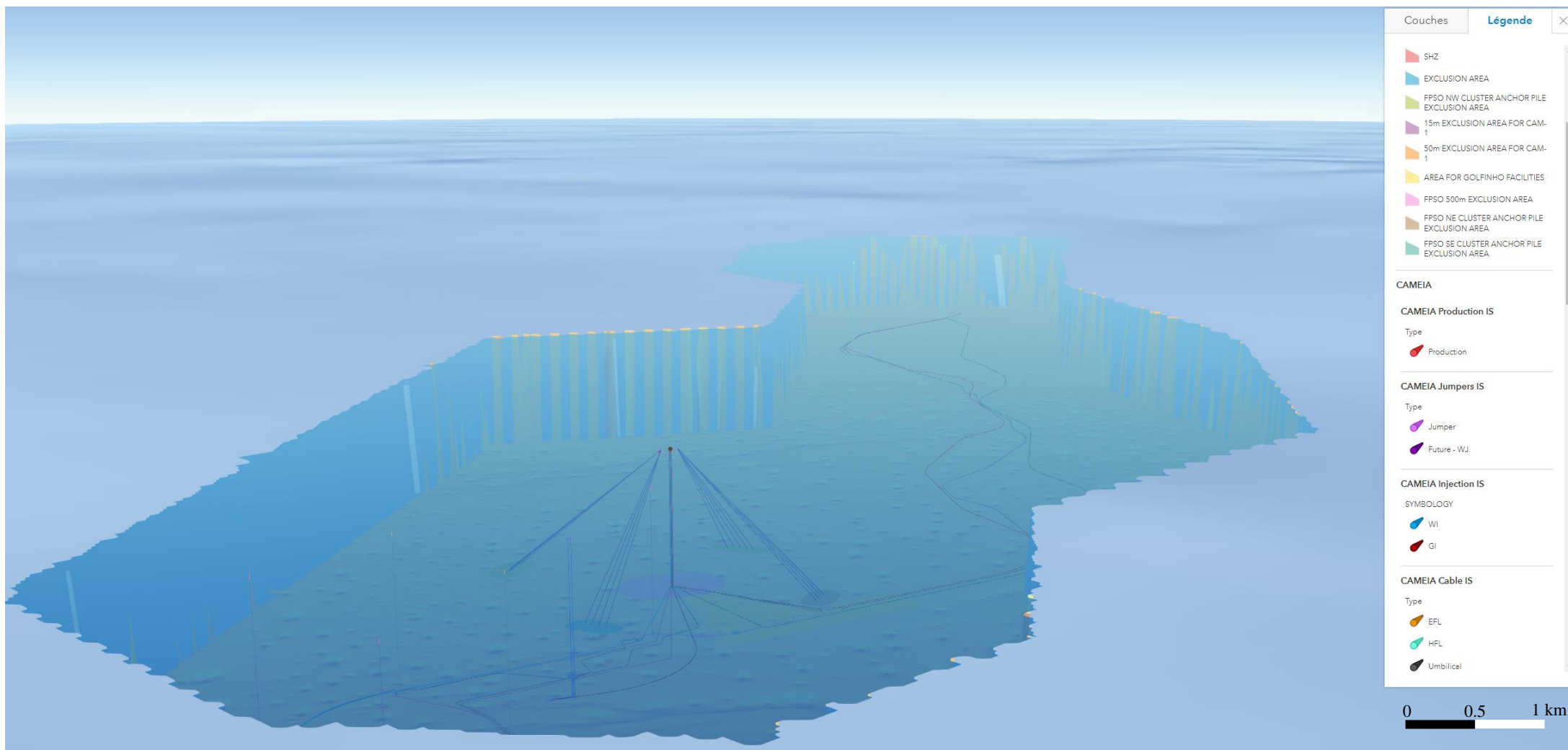
Source : Projet UK_ODOW (EP Maps)

Possibilité de choisir le scénario d'implantation des éoliennes que l'on souhaite visualiser.



Visualisation depuis EP Maps d'un gisement offshore en développement ainsi que ses réseaux d'alimentations et de productions sous-marins.

Source : Projet AO_Cameia_Golfinho (EP Maps)



Liste des figures

Figure 1 : Étapes liées à l'utilisation d'une donnée. Source : Entité Geospatial - TotalEnergies	12
Figure 2 : Étapes de publication d'une donnée sur EP Maps. Source : Entité Geospatial - TotalEnergies.....	15
Figure 3 : Photographie d'un FPSO. Source : TotalEnergies.....	19
Figure 4 : Transformation du nuage de points en un maillage surfacique depuis Cintoo Cloud. Source : ATFF.....	41
Figure 5 : Exemple de modèle 3D maillé et texturé représentant un affleurement rocheux au format SLPK. Source : Entité CARB - TotalEnergies.....	44
Figure 6 : Structure des fichiers CSV représentant les points. Source : Entité ISS, TotalEnergies.....	45
Figure 7 : Outil Outcrops CSV to Points.....	46
Figure 8 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : CSV to Points » afin d'obtenir une classe d'entités de type point.	46
Figure 9 : Exemple de la structure d'un fichier csv pour les polygones	47
Figure 10 : Outil Outcrops CSV to Polygons.....	48
Figure 11 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : CSV to Polygon » afin d'obtenir une classe d'entités de type polygone.	48
Figure 12 : Affichage d'une polyligne sur EP Maps sans simplification.....	49
Figure 13 : Affichage d'une polyligne sur EP Maps avec une simplification à 5cm.....	49
Figure 14 : Outil Outcrops : polylines.....	50
Figure 15 : Étapes réalisées par l'outil « Outcrops : polylines » afin d'obtenir une classe d'entités de type ligne.....	50
Figure 16 : Extrait d'une scène 3D représentant un affleurement rocheux et ses données d'interprétations construite sur EP Maps. Source : Entité Geospatial.....	52
Figure 17 : Principe du calcul des pyramides sur un raster. Source : ESRI	54
Figure 18 : Création d'une mosaïque de rasters	54
Figure 19 : Couche d'élévation des fonds marins en Angola surmontée d'une couche d'ombrage. Source : Simon COLLE	55
Figure 20 : Étapes permettant la conversion d'une polyligne 2D en une polyligne 3D.....	57
Figure 21 : Bibliothèque de styles 3D créée depuis ArcGIS Pro.....	58
Figure 22 : Modèle 3D d'un FT. Source : Turbosquid.com.....	77
Figure 23 : Modèle 3D d'un XT. Source : Turbosquid.com	77
Figure 24 : Modèle 3D d'un UTA. Source : Tubosquid.com.....	77
Figure 25 : Modèle 3D d'un SDU. Source : Turbosquid.com	78
Figure 26 : Type d'ancrage d'une éolienne suivant le scénario. Source : Nord-lock.com	78

Liste des tableaux

Tableau 1 : Bilan des données fournies pour le projet concernant les affleurements rocheux.....	18
Tableau 2 : Bilan des données fournies pour le projet concernant le champ d'éoliennes offshore. .	19
Tableau 3 : Bilan des données fournies pour les projets concernant le FPSO et ses infrastructures sous-marine.....	20
Tableau 4 : Bilan sur le BIM : logiciels et formats.	25
Tableau 5 : Comparaison des GeoDataBase "fichier" et "d'entreprise"	34
Tableau 6 : Formats importés et exportés depuis Cintoo Cloud.	40
Tableau 7 : Comparaison du temps de publication d'un paquetage de couche de scènes depuis EP Maps et ArcGIS Pro.	51

Étude des solutions permettant de capitaliser, partager et publier des données en trois dimensions de natures différentes à partir de projets d'affleurements rocheux et d'infrastructures.

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., ESGT 2022

RESUME

La capitalisation des données est au cœur des activités exercées par l'entité *Geospatial* au sein du groupe TotalEnergies. Afin d'optimiser au mieux les données et de perdre le moins d'informations possible, il est nécessaire d'utiliser des formats interopérables pour chaque type de données.

Actuellement, la visualisation des projets se réalise sur des scènes en deux dimensions. Cependant, la visualisation en trois dimensions permet de mieux comprendre et appréhender les projets. L'enjeu est donc de créer des scènes 3D à partir des données 2D.

Ce travail de fin d'études met en avant les procédures à appliquer pour capitaliser des données d'origines différentes. Les outils réalisés à partir de python permettent de structurer les données avant publication sur le portail ArcGIS Entreprise de TotalEnergies : EP Maps. L'atout de ces outils est que des personnes non initiées aux domaines des SIG peuvent les utiliser afin de traiter des données spatiales.

Mots clés : Affleurement rocheux, ArcGIS Pro, BIM, Cloud, Nuage de points, Python, SIG, Topographie, 3D

SUMMARY

Data capitalization is at the heart of the activities carried out by the *Geospatial* entity within the TotalEnergies group. To optimize the data and to lose as little information as possible, it is necessary to use interoperable formats for each type of data.

Currently, the visualization of projects is done on two-dimensional scenes. However, the three dimensions allow a better understanding and apprehension of the projects. The challenge is to create 3D scenes from 2D data.

This work graduation focuses on the procedures to be applied to capitalize on data from different origins. The tools made with python allow to structure the data before publishing them on the ArcGIS Enterprise portal of TotalEnergies: EP Maps. The advantage of these tools is that people who are not initiated to GIS domains can use them to process spatial data.

Key words : ArcGIS Pro, BIM, Cloud, GIS, Outcrops, Point Clouds, Python, Topography, 3D