

Amine HADJ-MATI
N° : 04755
Master 2

BIM et Programmation visuelle

Retour d'expérience :
**Réflexion appliquée à une expérience
personnelle**

Mémoire de master Janvier 2022



ensa **paris** la villette

Séminaire Activité et Instrumentations de la Conception

Sous la direction de

Anne Tuscher
François Guéna
Joachim Silvestre



Remerciements

Tout au long de la rédaction de cette thèse, j'ai reçu beaucoup de soutien et d'aide.

Je tiens tout d'abord à remercier, Monsieur François Guéna, dont l'expertise a été inestimable dans la formulation des questions de recherche et de la méthodologie. Vos commentaires perspicaces m'ont poussé à affiner ma réflexion.

Je tiens également à remercier Madame Anne Tuscher et Monsieur Joachim Silvestre, pour leurs précieux conseils tout au long des cours de séminaire.

Je tiens à remercier les autres étudiants du cours qui à travers des discussions m'ont aidé pour m'inspirer dans la rédaction de ma thèse.

Mots clefs

La conception assistée par ordinateur (CAO)

Le processus de conception architecturale

Retour d'expérience

Problématique

Comment l'utilisation et la mise en œuvre de la CAO aujourd'hui impacte sur le processus de conception architecturale ;

A-t-elle modifié les rôles et les processus au sein du projet de construction ?

Préface

Après ma quatrième année à l'ENSAPLV J'ai pris une pause universitaire, et pendant ce temps je ne voulais pas m'éloigner du domaine de l'architecture, profitant de cela comme un stage prolongé, travailler dans une structure d'ingénierie ou une agence d'architecture pour moi est un des principes clés d'une formation architecturale à part entière et c'est là où je pourrais combiner théorie et pratique; il était important pour moi de voir comment fonctionne le travail et d'acquérir de l'expérience.

Depuis mars 2020, nous avons eu un confinement strict en France et l'entreprise est passé au travail à distance. Au début, c'était difficile et cela car il n'y avait pas assez de communication, nous n'étions pas habituées à solliciter et utiliser les outils de communications que nous avons sous la main mais plutôt nous déplacer de bureau en bureau, de réunion en réunion pour chercher l'information et régler les problèmes du projet.

Ce mémoire vise à raconter mon expérience personnelle dans le mode du travail faire un bilan des enjeux, défis rencontrés pendant cette durée d'immersion dans le monde du travail.

En raison du développement rapide des outils de conception et des technologies en général, tout architecte doit s'adapter, la demande des entreprises à utiliser le BIM dans l'ingénierie ne cesse d'augmenter ; dans ce mémoire l'accent est mis principalement sur le processus de conception architecturale qui s'étend sur plusieurs phases ou les acteurs tels que les architectes, les ingénieurs, etc. peuvent être impliqués. Le manque de communication et le manque de coordination entre les parties ont un impact important sur le résultat et cette faille a été accentué et mis en avant durant la longue période de confinement.

Au début de la phase de conception, le projet prend forme et des calculs et des analyses approximatifs doivent être effectués. Habituellement, les résultats de la phase de conception initiale sont différents de l'analyse analytique effectuée plus tard et les coûts des projets augmentent.

Cependant, de nombreux nouveaux outils sont venus avec ce développement rapide qui permettent de faire de l'optimisation des calculs à des phases précoces de conception ce qui rend les prévisions plus justes et encore plus efficace.

J'ai choisi d'étudier dans ce mémoire les différents obstacles et solutions trouvées pendant les phases conception ainsi que les outils de communication et de simulation entre les différents acteurs dans un projet.

Mon expérience que je transcris en mémoire m'a permis de mieux comprendre pourquoi il est important de développer les méthodes de simulation à une phase précoce de conception.

Dans l'entreprise où j'étais on utilise l'outil de conception Autodesk Revit et Dynamo est utilisé dans le processus de simulation, ce mémoire peut aussi servir d'exemple de la façon dont les outils de Dynamo et Revit peuvent coopérer avec succès.

Table des matières

Table des matières	7
Introduction	9
Objectif	9
Première partie : Généralités	10
Conception assistée par ordinateur ou dessin assistée par ordinateur ?	10
Les technologies de communication dans l'activité d'un architecte	11
Généralités sur le BIM	11
À quoi sert le BIM ?	12
Les outils / logiciels pour automatiser les activités d'un architecte	12
Programme pour la conception d'objets	13
Programmes de visualisation de projets	13
Programmes de calculs	14
Programmes de programmation visuelle	14
Qu'est-ce que la programmation visuelle ?	15
Format d'échanges IFC	15
Qu'est-ce que le format IFC ?	16
Origines	16
Outils dans mon cas d'étude	17
Autodesk Revit	17
Dynamo	17
L'anatomie de Dynamo	18
Anatomie des nœuds	19
Le Scan to BIM	19
Scan 3D / Nuage de points / visite virtuelle	20
Le processus de conception	21
La conception	21
Hiérarchisation au sein du processus	22
Phase de conception précoce	24
Formulation de la problématique	24
Hypothèse	25
Deuxième partie : Expérimentation appliquée à un projet	26
Schéma de l'entreprise à explorer (Hiérarchisation au sein de l'entreprise)	26
Présentation de l'entreprise :	26
Présentation de l'unité « ouvrages et infrastructures du transport » OIT	26

Présentation et contexte du projet	27
Rénovation de la station de RER A - Charles de Gaulle Etoile	27
Définition des différents acteurs (échelles)	29
Hiérarchisation des acteurs.....	29
L'utilisation de la CAO / le rôle de l'assistance informatique (la médiation).....	30
Premier cas a étudié : Pentage et écoulement.....	30
Naissance d'un script	33
Script distance nuage de point :	34
Résultat de l'analyse :	36
Interprétation de la légende et des résultats :	36
Cycle de vie : Réutilisation / Appropriation	37
Vérification Voûte modélisé / voûte existante	37
Interprétation de la légende et des résultats :	41
Vérification de travaux réalisées	41
Interprétation de la légende et des résultats :	43
De script à plugin	44
CONCLUSION	45

Introduction

On ne peut pas considérer un projet type et dire qu'un projet est similaire à un autre, mais ce qu'on peut dire c'est que quel que soit le domaine de l'ingénierie, les projets partagent tous des traits caractéristiques communs, ces caractéristiques construisent ensemble un processus de conception qui est un pilier fondamental d'un projet de construction réussi.

Une fois les premières idées et croquis réalisés par l'architecte, tout doit être conçu plus en détail et partagés avec les différents acteurs du projet, chefs de projet, ingénieurs et une interaction réussie entre ces acteurs peut être considérée comme une base pour le développement de bonnes solutions de conception architecturale.

Au fil des ans, le développement des technologies et des logiciels de CAO (conception assistée par ordinateur) a entraîné plusieurs changements dans le métier de l'architecte, Les technologies de réseau, les outils de visualisation avancés de la CAO.

Au début de l'ère de la conception assisté par ordinateurs, les outils de la conception du se limitait à des logiciels dont on connaît la limite d'utilisation et de production ; Cependant, maintenant, la situation est en train de changer dans le meilleur côté.

Le marché de la CAO d'aujourd'hui est vaste et diversifié, Il existe des outils de simulation, comme un appui directement connecté au logiciel principal pour la modélisation, ce qui offre des possibilités infinies

De nos jours, dans notre domaine « architecte ou acteur dans le domaine de l'ingénierie » la recherche d'un travail plus efficace et d'un gain de temps est l'un des buts à atteindre tout en obtenant des résultats plus précis.

Pour passer des dessins à la main à l'utilisation de logiciels informatiques et le *BIM*, les entreprises se sont considérablement développées.

L'un des nouveaux développements de l'automatisation est la conception paramétrique.

Objectif

L'objectif de ce travail a été de faire un retour d'expérience sur les défis et les avantages de l'utilisation de logiciels BIM en tant qu'outil de conception avec la possibilité d'optimiser les modèles à l'aide d'extensions (plug-in), scripts en utilisant des logiciels de programmation visuelle et cela avec base de recherche un projet; Et essayer de montrer que les résultats et les avantages du BIM peuvent être évalués à un stade précoce grâce à la mise en œuvre de ces plugins intermédiaires au cours des premières étapes de la conception et de présenter également les avantages en matière de collaboration d'équipe et de gain de temps ainsi que d'évaluer l'accessibilité pour les personnes ayant peu ou pas de connaissances à utiliser le résultat de ces plug in ou scripts.

Première partie : Généralités

Conception assistée par ordinateur ou dessin assistée par ordinateur ?

Depuis quelques années, l'environnement dans le domaine de la représentation graphique architecturale évolue rapidement ; Avec des ordinateurs puissants qui élargissent et simplifient considérablement les possibilités de conception et de production, en parallèle les exigences des professionnels dans ces domaines évoluent également, un ordinateur devient le principal outil de travail.

Le dictionnaire se contentant de définir : Le concept de « conception par ordinateur » signifie uniquement que la conception est réalisée à l'aide de la technologie informatique.



Les représentations de l'architecture,
Jean-Michel Leniaud, 2016
LE DESIGN ET SES PRATIQUES À L'AUBE DE L'ÈRE
NUMÉRIQUE
Page 109

De ce point de vue, le dessin doit être mis en valeur avec du papier, un crayon, des peintures, etc., un dessin fait à la main.

« L'informatique est le plus souvent utilisée pour communiquer un projet conçu de « manière traditionnelle » aux partenaires de ce projet (maître d'ouvrage, bureaux d'études, entreprises de construction etc.). Les logiciels informatiques les plus répandus chez les architectes sont destinés à produire des documents graphiques qui décrivent le projet : plans, coupes,

perspectives etc. On reproduit donc ce qui se faisait avant l'utilisation de l'ordinateur avec le té et l'équerre. »

Guéna François

<https://www.maacc.archi.fr/spip.php?article63>

Le mensuel de l'université, 03/2008

Cependant, le terme CAO « conception assistée par ordinateur » signifie littéralement conception par un ordinateur. D'autre part, l'étymologie de l'expression « conception assistée par ordinateur » remonte au terme anglais CAD (Computer-Aided Design), qui peut être traduit par « conception au moyen d'un ordinateur. »

Ainsi, serait-il légitime d'utiliser les termes « conception au moyen d'un ordinateur. » , « infographie » et même « production informatique », mais pas « conception assisté par ordinateur » ?

Ce mémoire n'a pas l'ambition de répondre complètement à cette question mais de faire un bilan, un retour d'expérience sur l'impact de la CAO sur le processus de conception architecturale, a-t-elle modifié les rôles et les processus au sein du projet de construction ?

Les technologies de communication dans l'activité d'un architecte

Dans le domaine de l'activité des architectes, les problèmes d'information deviennent de plus en plus importants.

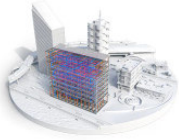
Ce cercle de problèmes comprend tous les aspects liés aux technologies de collecte, de stockage, de traitement, de réception et de transmission de l'information entre les acteurs du projet, qui durant confinement était le souci majeur au sein de l'entreprise.

L'un des moyens les plus modernes d'automatiser un tel travail est d'avoir des logiciels, scripts plug in, plateformes qui font cette interactivité.

Généralités sur le BIM

BIM qui signifie **Building Information Modeling** est une nouvelle approche moderne de la conception et de la documentation des projets de construction, le BIM est utilisé par les entreprises de construction pour concevoir, planifier, construire, exploiter et entretenir différents bâtiments et infrastructures

Avec le BIM et c'est un des sujets principaux de ce mémoire c'est la coordination entre tous les participants au projet, Il peut s'agir de l'architecte, du client final, des ingénieurs, de l'entrepreneur, des consultants, des fabricants et des opérateurs.



Planification



Conception



Construction



Exécution

À quoi sert le BIM ?

« Le BIM permet de créer et de gérer des données pendant les processus de conception, de construction et d'exploitation. Il intègre des données pluridisciplinaires pour créer des représentations numériques détaillées gérées sur une plate-forme cloud ouverte pour une collaboration en temps réel. Le BIM vous permet de gagner en visibilité, de prendre de meilleures décisions, de bénéficier d'options plus durables et d'économiser sur les coûts des projets AEC. » <https://www.autodesk.fr/solutions/bim/benefits-of-bim> le 07/12/2021



Les outils / logiciels pour automatiser les activités d'un architecte.

Il existe de nombreux programmes spécialisés qui facilitent la plupart des processus dans le domaine de l'activité professionnelle d'un architecte.

Ils peuvent être divisés dans les groupes suivants :

- Programmes pour la conception d'objets
- Programmes de visualisation d'objets
- Programmes de calculs
- Programmes de programmation visuelle

Programme pour la conception d'objets

Pour réaliser la base du dessin d'architecture, ces programmes sont appelés CAD - systèmes de conception assistée par ordinateur.

Ceux-ci incluent les programmes suivants :

ArchiCAD, AutoCAD, REVIT Architecture sont les programmes les plus utilisés et bien d'autres (SketchUp)



Programmes de visualisation de projets

Ces programmes servent à une présentation du projet, au traitement couleur, noir et blanc, avec des effets etc.

Appelé aussi moteurs de rendu ils permettent d'obtenir des images d'une qualité photographique à partir d'un modèle 3D.

L'éventail complet des capacités de visualisation de projet peut être fourni par les programmes tel que :

Artlantis Studio, V-Ray, Cinema 4D et Twinmotion, Enscape et autres.

En plus des programmes ci-dessus, les programmes de CAO tels que Revit, ArchiCAD, SketchUp, qui ont un module intégré pour visualiser un objet en trois dimensions, peuvent également faire face à la tâche de visualisation.



Twinmotion®

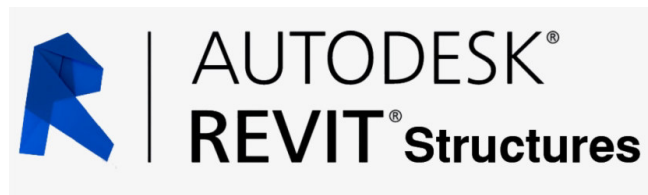


ARTLANTIS

Programmes de calculs

Ces programmes facilitent grandement le calcul de la structure de l'objet conçu. Il s'agit du calcul des structures, du calcul de l'éclairage, etc.

Autodesk Revit Structure, Revit MEP, Robot et bien d'autres.



Programmes de programmation visuelle

Bien qu'il existe beaucoup de logiciels de programmation visuelle, dans ce mémoire j'ai choisi de traiter seulement le logiciel Dynamo, c'est celui qu'on utilise dans l'entreprise.

Il sera détaillé plus bas dans la section : [Outils dans mon cas d'étude](#)

Qu'est-ce que la programmation visuelle ?

« L'activité de conception implique souvent l'établissement de relations visuelles, systémiques ou géométriques entre les différentes parties d'une conception. La plupart du temps, ces relations sont développées par des workflows qui permettent de passer du concept au résultat grâce à des règles. Sans le savoir, vous travaillez par le biais d'algorithmes, c'est-à-dire en définissant un ensemble d'actions progressives qui suivent une logique de base d'entrée, de traitement et de sortie. La programmation permet de travailler de cette façon, mais tout en appliquant des algorithmes. »

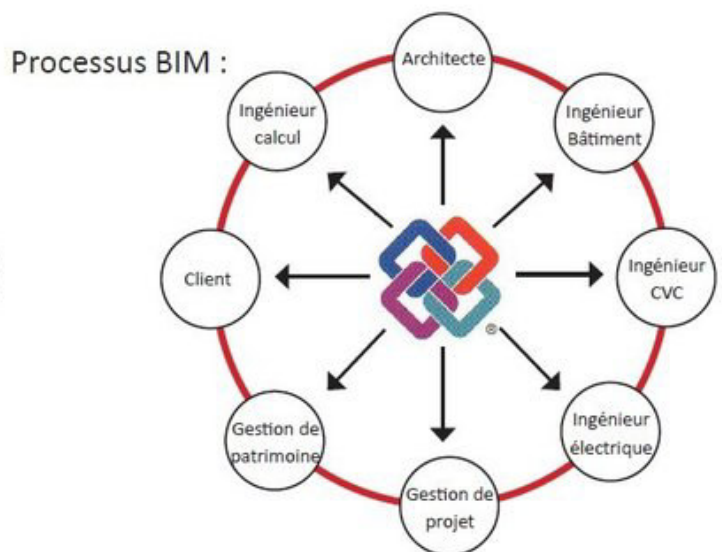
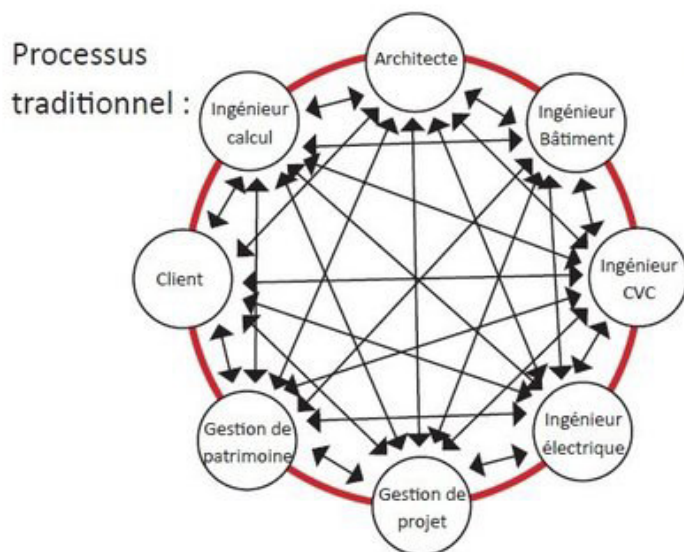
Source: https://primer.dynamobim.org/fr/01_Introduction/1-1_what_is_visual_programming.html Le 01/12/2021



Format d'échanges IFC

L'IFC est un format de fichier ouvert, qui permet de collaborer sur la forme numérique d'un projet de construction ;





Source : Thèse BIM professionnelle, Matthieu BOURIQUET, Septembre 2018

Qu'est-ce que le format IFC ?

« Le format IFC (Industry Foundation Classes) est un format de fichier orienté objet destiné à assurer l'interopérabilité entre les différents logiciels de maquette numérique. Il s'agit d'un format libre et gratuit qui se veut être le garant d'un « OpenBIM ».

Source : <https://bimbt.com/conception/quest-ce-que-le-format-ifc/>

Origines

« L'IAI (International Alliance for Interoperability), est à l'origine du format IFC. L'organisme a depuis été renommé sous l'appellation buildingSMART et associe des entreprises du secteur de la construction et des éditeurs de logiciels. Cette organisation est divisée en entités nationales. En France Mediaconstruct en est le représentant. »

Outils dans mon cas d'étude

Autodesk Revit

Revit est un outil paramétrique complet de modélisation des données du bâtiment.

Il a été créé à l'origine par des personnes de la société américaine PTC (Parametric Technology Corporation).

La création de Revit n'était que dans un but architectural, c'est-à-dire qu'il a été construit par des architectes pour des architectes.

La majorité des personnes à l'origine de son développement sont des architectes ou viennent d'un milieu de la conception et de la construction.

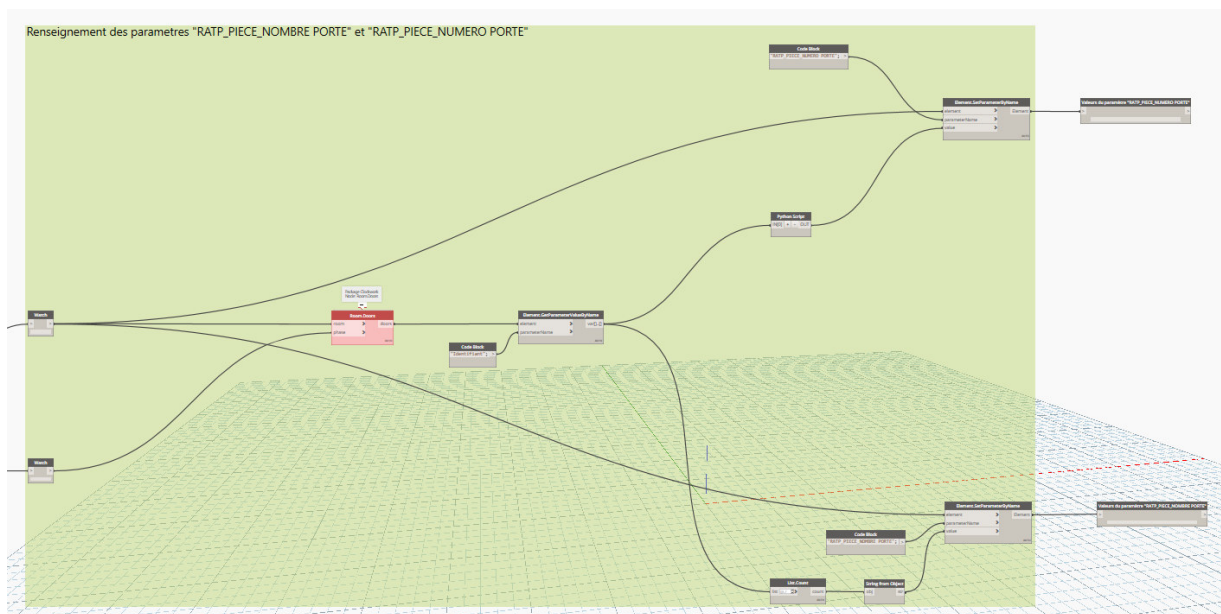
Dynamo

Dynamo est une application qui peut être téléchargée en tant que logiciel gratuit et exécutée seule ou en tant que plug-in de Revit.

C'est un outil de [programmation visuelle](#) qui vise à être accessible à la fois aux non-programmeurs et aux programmeurs. Il donne aux utilisateurs la possibilité de scripter visuellement le comportement, de définir des éléments de logique personnalisés et de scripter à l'aide de divers langages de programmation textuels.

Une fois Dynamo installé, il permet aux utilisateurs d'utiliser la programmation virtuelle pour traiter les données et composer des algorithmes personnalisés.

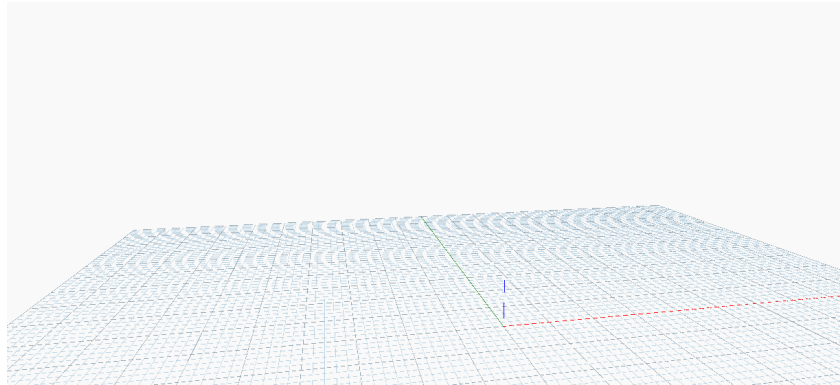
L'utilisateur peut créer des géométries, manipuler des modèles dans Revit ou dans Dynamo lui-même très facilement en couplant des blocs de code qui sont programmés pour exécuter une tâche qui leur est assignée.



Flux dans Dynamo

L'anatomie de Dynamo

Comme mentionné au début, Dynamo est un outil de [programmation visuelle](#) et le fonctionnement des données est exécuté via des nœuds et des fils dans l'espace de travail.



Les nœuds sont constitués d'un script auquel une tâche est affectée.

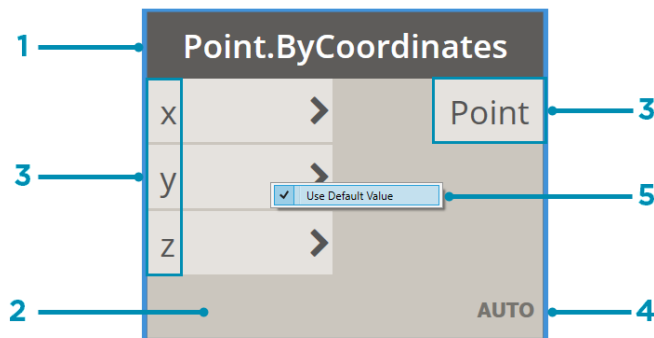
Il peut s'agir d'une opération très simple comme stocker un nombre dans une liste ou créer une géométrie complexe.

Le langage dans lequel les codes sont scriptés est Python.

À quelques exceptions près, la majorité des nœuds sont composés de cinq parties :

(Source https://primer.dynamobim.org/fr/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html)

1. Nom du nœud.
2. Corps principal. Un clic droit ici présente des options au niveau de l'ensemble du nœud.
3. Ports d'entrée et de sortie où les fils sont connectés
4. Aperçu des données où les résultats principaux exécutés à partir du nœud peuvent être prévisualisés.
5. Icône de laçage qui indique l'option de laçage spécifiée pour la liste correspondante.



Source https://primer.dynamobim.org/fr/03_Anatomy-of-a-Dynamo-Definition/3-1_dynamo_nodes.html le 14/12/2021

Anatomie des nœuds

La connexion des nœuds entre eux est très simple et peut être effectuée en cliquant simplement sur le port d'accès d'un nœud et en se connectant au port d'accès sur un autre port.

L'entre-deux et la sortie dépendent du type de nœuds et de la direction du flux de travail.

Les fils qui connectent les nœuds transportent des données d'un nœud à un autre comme les fils électriques.

Le Scan to BIM

Le scan to BIM est la modélisation d'un ouvrage à partir d'un nuage de point réalisé à l'aide d'un relevé 3D et cela se fait en trois étapes

- 1- Scan 3D
- 2- Traitement des données topographique et réalisation d'un support sous forme de nuages de points (fichier RCP) ainsi qu'une visite virtuelle
- 3- Modélisation grâce un outil de conception en se basant sur le nuage de points

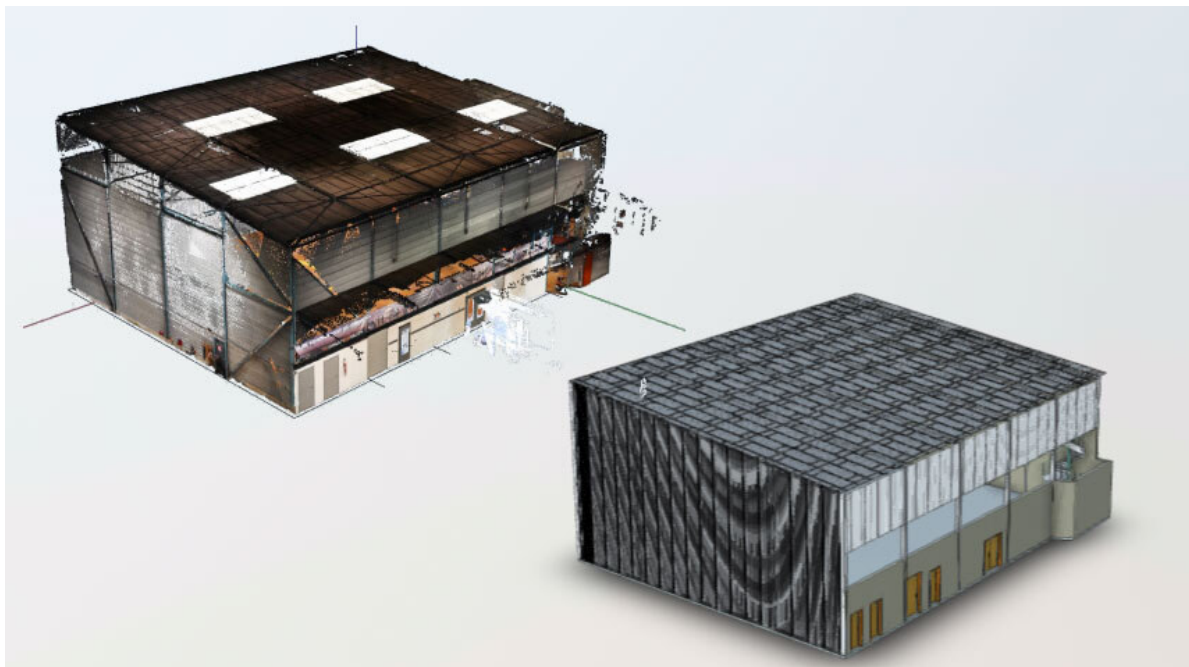


Image : <https://mydigitalbuildings.com/blog/usage/2020/le-scan-to-bim-du-nuage-du-point-a-la-maquette-bim.html> LE 07/12/2021

Scan 3D / Nuage de points / visite virtuelle

« • Le Scan laser 3D est un outil qui fonctionne en captant, grâce à son laser, des millions de points. Ces points sont mémorisés et forment le nuage de points.

• Plus que des côtes, la technologie du Scan 3D permet de relever toute l'information d'un bâtiment existant. A partir du nuage de points, les possibilités sont multiples et dépendent des besoins : on peut intégrer le nuage dans une visionneuse et l'utiliser directement via des balades virtuelles, ou modéliser à partir du nuage de points. Suite à la modélisation, des plans 2D ou nomenclatures peuvent être extraites, et il est également possible d'aller plus loin et faire des simulations.

• Le nuage de points est un amas de données « brutes », et nécessite d'être retravaillé. Il est donc primordial d'avoir une connaissance fine du Bâtiment et de la Construction, afin de comprendre rapidement et parfaitement comment l'ouvrage a été construit. La modélisation qui s'en suit doit refléter la réalité.

Pour aller plus loin : Le Scan 3D est l'outil parfait pour tous les travaux de réhabilitation, en intérieur comme en extérieur. Il permet d'avoir LA base de travail, saine et à jour, qui peut se transmettre et être utilisée par tous les intervenants – entreprises de construction, bureaux d'études, artisans, architecte ; mais également équipes de maintenance si le bâtiment vient d'être livré. »

<https://defibim.com/scan-3d-batiment/qu-est-ce-que-le-scan-3d/> le 07/12/2021

Le processus de conception

*« L'architecture est un domaine où la phase de conception a généré de nombreuses recherches et a suscité de nombreux débats. Tout d'abord, il demeure important de délimiter, dans la durée d'un projet architectural, la place occupée par l'étape de conception. Dans le nord de l'Europe, elle se limite à l'émergence de l'idée jusqu'à la production de l'esquisse et s'accorde à la définition anglaise et américaine du mot « design ». En France, il est communément admis que l'étape de conception couvre l'ensemble de la production des documents décrivant l'objet à réaliser. Elle commence à l'émergence de l'idée et se termine lorsque l'ensemble des plans et documents prescriptifs est défini et validé. »
(HALIN, 2004, P.10-11)*

La conception

Étymologiquement, la conception concerne la manipulation de concepts, c'est-à-dire la manipulation d'une « *représentation générale et abstraite d'un objet ou d'un ensemble d'objets* ». (LAROUSSE)

Définition : « la conception et le développement » est une somme d'activités créatrices qui, partant des besoins exprimés et des connaissances existantes, aboutissent à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisables.

La phase de conception est donc l'activité qui consiste à développer les meilleures solutions à partir d'un besoin donné

<https://qualiblog.fr/principes-generaux-de-la-qualite/le-processus-conception-et-developpement-un-processus-majeur/>

Cette recherche se concentre sur trois aspects essentiels du processus de conception architecturale :

« Le diagnostic architectural, La recherche de l'objet par simulation graphique, L'établissement du modèle de construction »'

Le diagnostic architectural. C'est dans cette phase de la résolution du problème que l'architecte va le cerner et le définir en respect des contraintes de base. Il va alors prendre en

compte les contraintes financières du client, la surface et topologie du terrain, les contraintes écologiques, juridique, les règles de conformité. Il va pour cela visiter les lieux, discuter avec son client mais aussi utiliser des documents liés à ces données, des photographies, des plans de géomètre, etc.

Combinant le tout avec ses connaissances et savoirs propres, il est alors en phase d'exploration dont le résultat sera une première « base graphique de simulation », mélange de notes et de premiers dessins.

La recherche de l'objet par simulation graphique. Dès lors, le concepteur va entamer ce que nous avons appelé la génération des solutions et leur évaluation, dans un processus incrémental et itératif. Et c'est le dessin qui va être le vecteur privilégié de cette démarche. Il va supporter la simulation, basée sur les transformations successives que va développer le raisonnement de l'architecte, jusqu'à une définition précise de solutions acceptables au problème. Dans cette situation, on peut parler de conversation entre le concepteur et son dessin, le dessin est plus qu'un support. Il représente, comme le souligne Jean-Charles LEBAHAR, « *l'objet en création et la pensée qui le crée* ».

L'établissement du modèle de construction. Cette phase est l'établissement des représentations graphiques précises, destinées à rendre claire la solution pour les constructeurs. C'est la « décision définitive concernant l'ensemble du projet » (plans, dessins précis et métrés, avec une échelle spécifiée, etc.).

Source : 'Jean-Charles Lebahar. Le dessin d'architecte - simulation graphique et réduction d'incertitude. Collection architecture outils. Editions Parenthèse

Hiérarchisation au sein du processus

Tout au long du développement de l'architecture, la relation entre l'architecte et l'utilisateur a changé.

L'architecte n'a pas toujours reconnu la participation de l'utilisateur à la création d'un objet architectural, mais il est très difficile de s'interroger sur le rôle de l'utilisateur dans le processus de conception architecturale, mais même s'il ne s'en rendait pas compte l'architecte s'est toujours concentré sur l'utilisateur final de l'œuvre, Palais, lieux de cultes, monuments etc. Cette relation était linéaire hiérarchisé en deux niveaux micro et macro

Ce modèle représente le premier niveau d'interaction entre tous les participants au processus architectural et constructif et permet une évaluation détaillée de la communication entre l'architecte et l'utilisateur.

De plus, la recherche est basée sur la suggestion de trois niveaux hiérarchiques : le micro-échelle (individuel), le méso- échelle (groupe) et le macro- échelle (global) pour hiérarchiser les différents intervenant et interlocuteurs pendant la conception d'un projet.

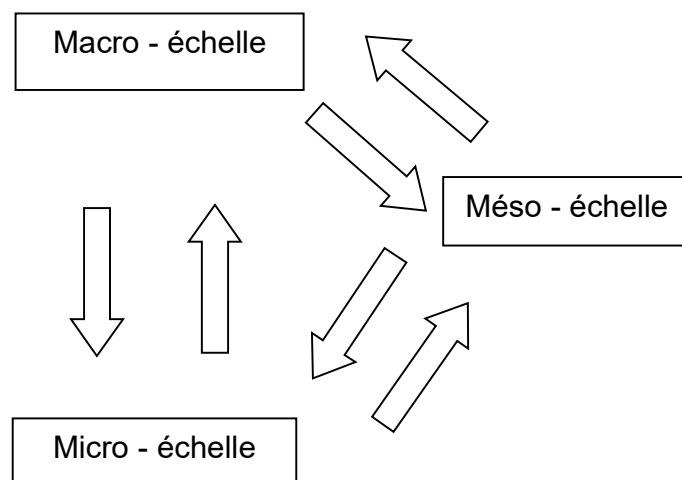
« La définition de l'échelle d'analyse comme ensemble hiérarchisé de niveaux permet de définir des échelles de nature différente, de sortir de la classique opposition micro-macro (avec plus ou moins de méso entre les deux) et d'introduire d'autres échelles »

Michel Grossetti, Trois échelles d'action et d'analyse.

L'abstraction comme opérateur d'échelle L'Année Sociologique, vol. 56, n°2, pp.285-307.

Ces trois échelles sont les éléments pour matérialiser les acteurs du processus de conception architecturale et de faire ressortir leurs interactions et cela en liaison avec les logiciels CAO.

- micro-échelle **L'Architecte**
- méso- échelle L'équipe du bureau d'études
- macro-échelle Le client, les utilisateurs, l'équipe du projet



“The three hierarchical levels.

The framework is furthermore based on the suggestion of three levels of operations and actions within the architectural design process; here called the micro-, meso- and macrolevel. The micro-level focuses on individual and cognitive processes, for instance the architect’s individual development of design solutions. The designer’s conversation with the design situation (Schön 1991), or what Kalay (2004) calls ideation or an intra-process role of communication are examples of micro-level processes. The meso-level covers the mechanisms and processes within a group. The interaction between the architect and the other consultants within the design team illustrates actions on the meso-level. The design team is a part of an overall context. The macrolevel comprises processes on overall level”

Exploring Relations between the Architectural Design Process and ICT, Anita Moum, August 2008

Phase de conception précoce

Au début de la phase de conception, les concepteurs sont confrontés à des décisions critiques et manquent souvent d’intuition sur les bonnes décisions qui ont un impact important sur les bâtiments dans les étapes ultérieures.

Plus tôt les bonnes décisions sont prises dans le processus de conception, moins les changements apportés à ces décisions seront apportés à des stades ultérieurs.

Formulation de la problématique

Le développement de la technologie dans le secteur de la construction de bâtiments a progressé rapidement au cours des dernières années.

En plus de cela, de nouveaux outils tel que des programmes de programmation visuel ont également été créés pour être utilisés comme programmes tiers à des fins d’optimisation.

Tous les acteurs en construction travaillent tous dans différents logiciels et ont leurs propres modèles.

Les changements dans chaque discipline (chez les acteurs) créent souvent plusieurs problèmes et erreurs qui peuvent entraîner une prolongation de la durée du projet ou une augmentation des coûts.

Ces problèmes au début de la phase de conception (phase précoce du processus) sont résolus par l'utilisation d'outils de modélisation conceptuelle tels que Revit, Dynamo etc...

Cette façon de faire a-t-elle modifié les rôles et les processus au sein du projet de construction ?

Hypothèse

L'utilisation de la CAO a influencé et a également modifié les rôles et les processus au sein du projet de construction.

Deuxième partie : Expérimentation appliquée à un projet

Schéma de l'entreprise à explorer (Hiérarchisation au sein de l'entreprise)

Présentation de l'entreprise :



Le département Ratp Infrastructures assure les missions de gestionnaire d'infrastructure du réseau d'Ile de France de la Régie Autonome des Transports Parisiens. (RATP)

Il est responsable de l'aménagement, de l'entretien et du renouvellement de l'infrastructure, et garantit dans la durée le maintien des conditions de sécurité, d'interopérabilité et de continuité du service public.

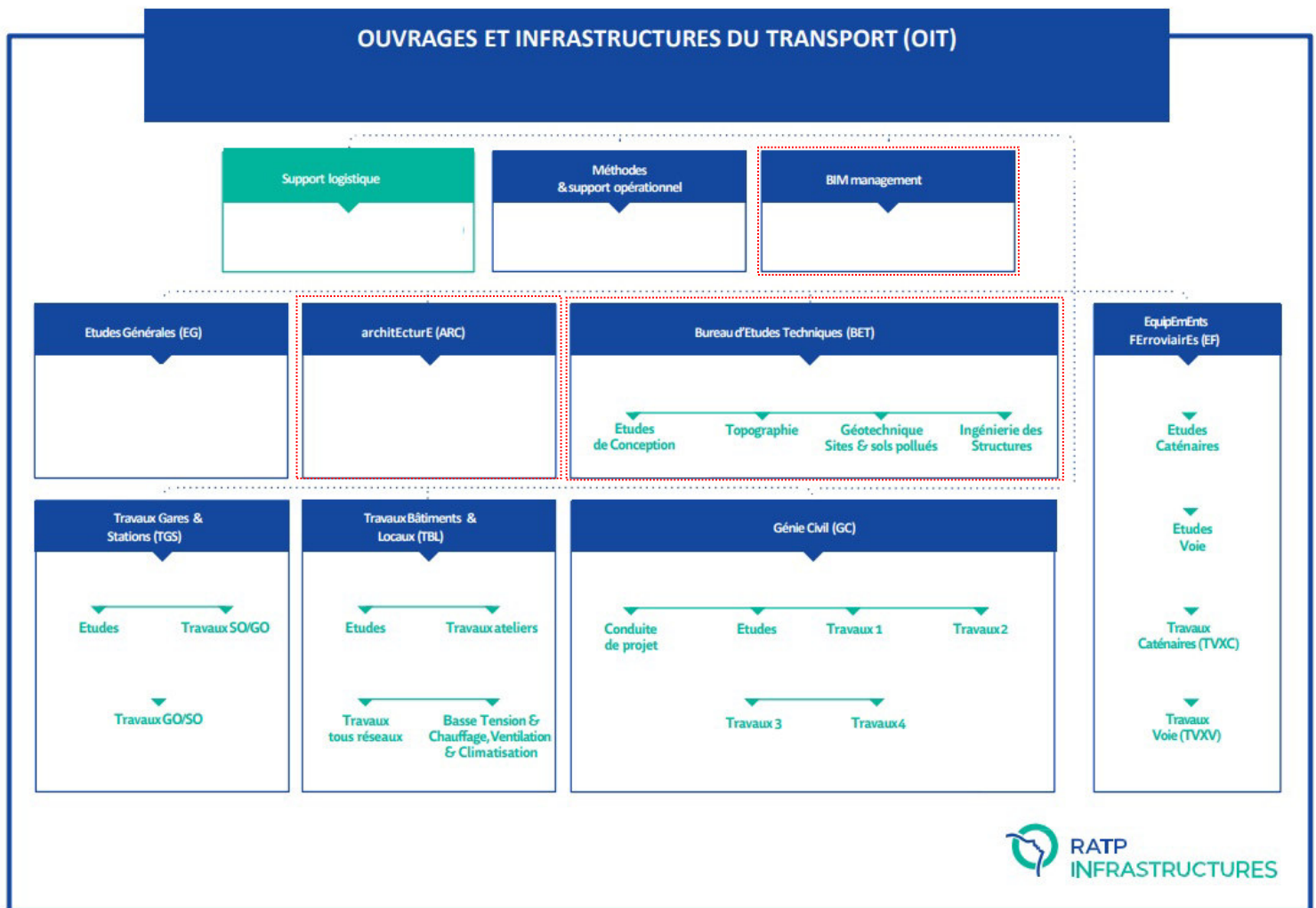
Présentation de l'unité « ouvrages et infrastructures du transport » OIT

L'unité ouvrages et infrastructures du transport (OIT) est organisée en sept entités. Elle constitue le socle des projets de construction d'infrastructures et elle assure l'accompagnement des projets de déploiement de systèmes et d'équipements.

Les concepteurs, projeteurs et maitres d'œuvre de l'unité interviennent dans les projets complexes et sont des contributeurs majeurs de l'ingénierie intégrée de la Direction projets et ingénierie (DPI).

Pour des projets de construction neuve ou de transformation du patrimoine existant, l'unité OIT se charge de la maîtrise d'œuvre, des études techniques et des prestations diverses d'assistance à la maîtrise d'ouvrage pour les Metro, RER, Tramway, avec une expérience confirmée d'intervention sur les réseaux maintenus en exploitation.

Pour les équipes d'intégration et de conduite de projets des autres unités ou départements, elle mobilise les compétences métiers maîtrise d'œuvre de ses domaines d'expertise et disciplines métiers.



Organigramme OIT

Présentation et contexte du projet

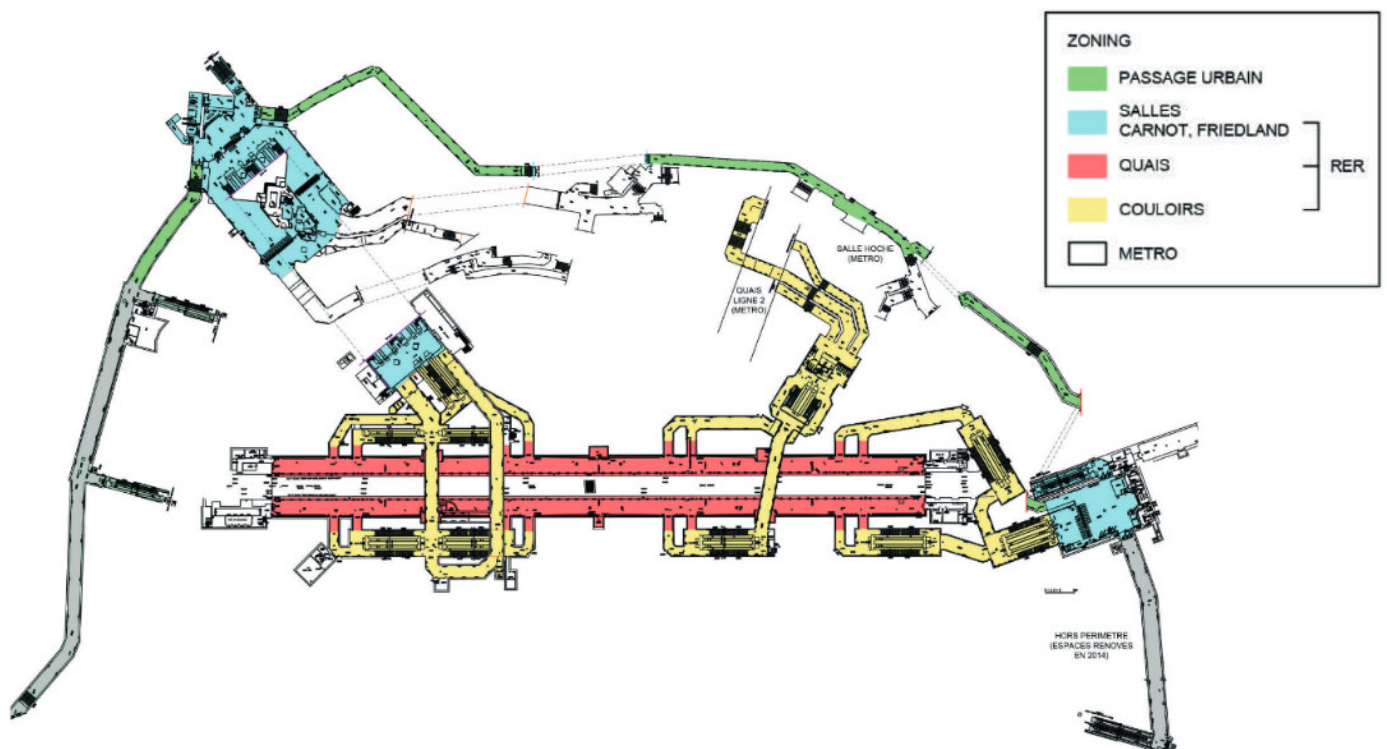
Rénovation de la station de RER A - Charles de Gaulle Etoile

La Gare Charles de Gaulle Etoile mise en service le 19/01/1970, est la 7ème gare du RER A et la plus fréquentée, elle n'a pas fait l'objet d'investissement significatif depuis son ouverture, elle est en correspondance avec trois lignes de métro : 1, 2 et 6, elle se développe sur 3 secteurs : Carnot, Wagram et Friedland sur une surface totale de 28 000 m².

Le projet de rénovation porte sur une surface d'environ 15500 m² comprenant : les salles, couloirs, les locaux sociaux et techniques du secteur RER uniquement.

Le projet est divisé en plusieurs zones :

- Quais
- Carnot
- Wagram
- Friedland
- Passage Urbain



Plan de repérage général

Les opérations envisagées dans le cadre du projet de rénovation ont pour objet :

Le renouvellement des espaces.

L'amélioration de l'offre et la qualité de services aux voyageurs.

Amélioration du TME

Accessibilité

Désaturation

La valorisation et rentabilisation des espaces.

Le projet de rénovation de la Gare Charles de Gaulle-Etoile a débuté en esquisse en 2015, puis esquisse 2 en 2017, l'avant-projet en 2019, les études PRO ont ensuite démarré en Juin 2020 jusqu'à ce jour elles sont en cours.

Définition des différents acteurs (échelles)

Hierarchisation des acteurs

Dans notre cas d'études nous allons hiérarchiser les différents intervenant dans le cadre du projet selon leurs position dans l'organigramme de l'entreprise comme suit :

- micro-échelle (équipe de conception)

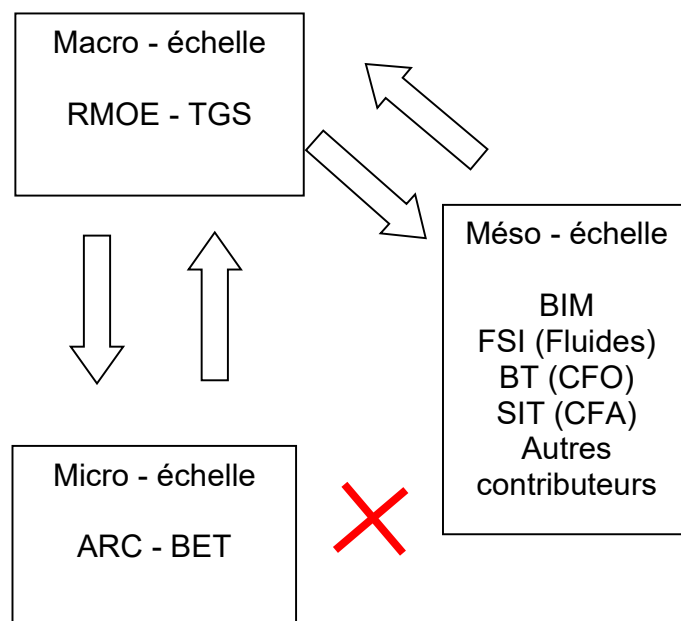
L'équipe d'architectes représenté par ARC, L'équipe du bureau d'étude BET,

- méso- échelle (contributeurs et intervenant)

L'équipe BIM Management, autres contributeurs et intervenant sur le projet tel que FSI (Fluides), BT (CFO), SIT (CFA)

- macro-échelle (équipe de réalisation et la maitrise d'œuvre)

L'équipe travaux TGS, Le RMOE (la maitrise d'œuvre)



A ce jour et suivant le schéma ci-dessus on remarque une relation directe entre l'équipe de conception et la maîtrise d'œuvre et une relation latérale avec le BIM management et les différents contributeurs et intervenant dans le projet

L'utilisation de la CAO / le rôle de l'assistance informatique (la médiation)

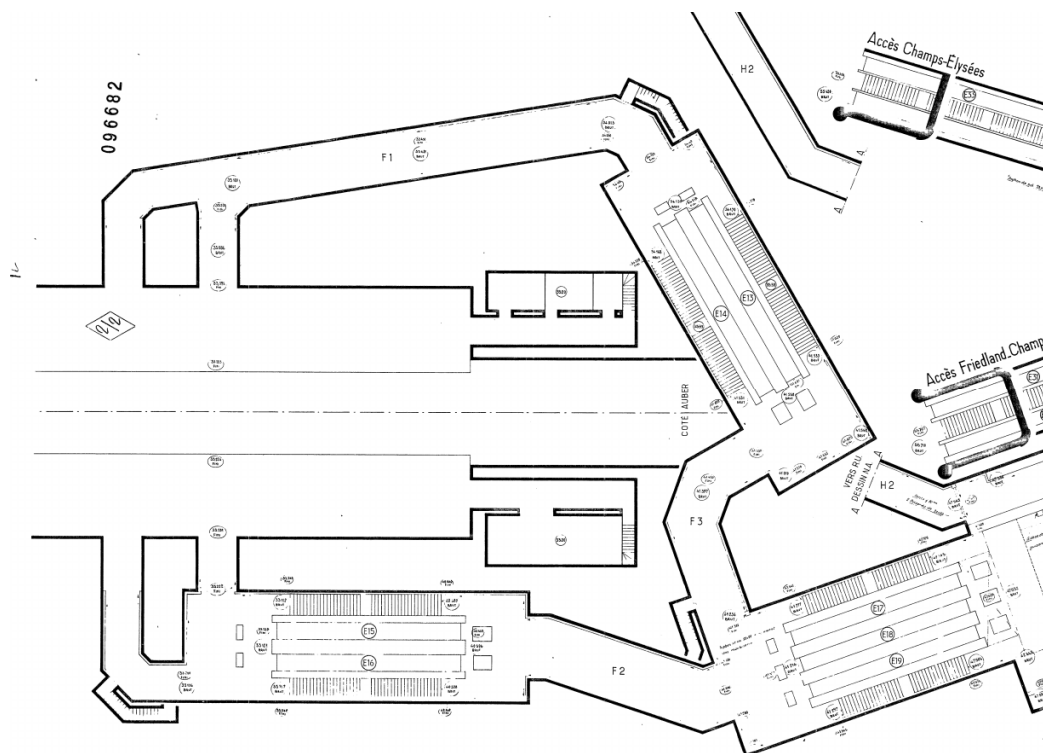
L'échéance des Jeux Olympiques 2024 à Paris est un enjeu très fort, qui va rythmer les travaux. Ainsi, il est attendu des travaux entièrement réalisés, espaces réceptionnés sur les quais, et descenderies (Escaliers de la zone Friedland et Wagram) avec repli du chantier.

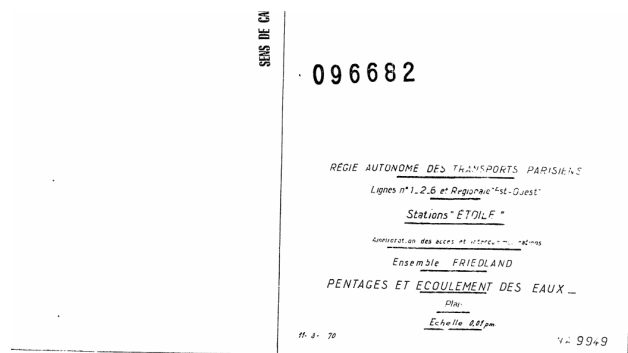
Cette contrainte nécessite une collaboration plus rapprochée entre les différents acteurs et surtout des prises de décisions précoces pour un gain de temps et la possibilité de livrer le chantier en temps en en heure

Premier cas a étudié : Pentage et écoulement.

Il nous a été demandé de revoir l'ensemble des pentes de la gare.

Le problème survenu dès le départ est que aucun plan ou état de l'existant n'a pu être transmis, de ce fait, l'équipe de conception a dû reconstituer le réseau et les pentes sur la base des plans d'archives et le relevé top 3D.

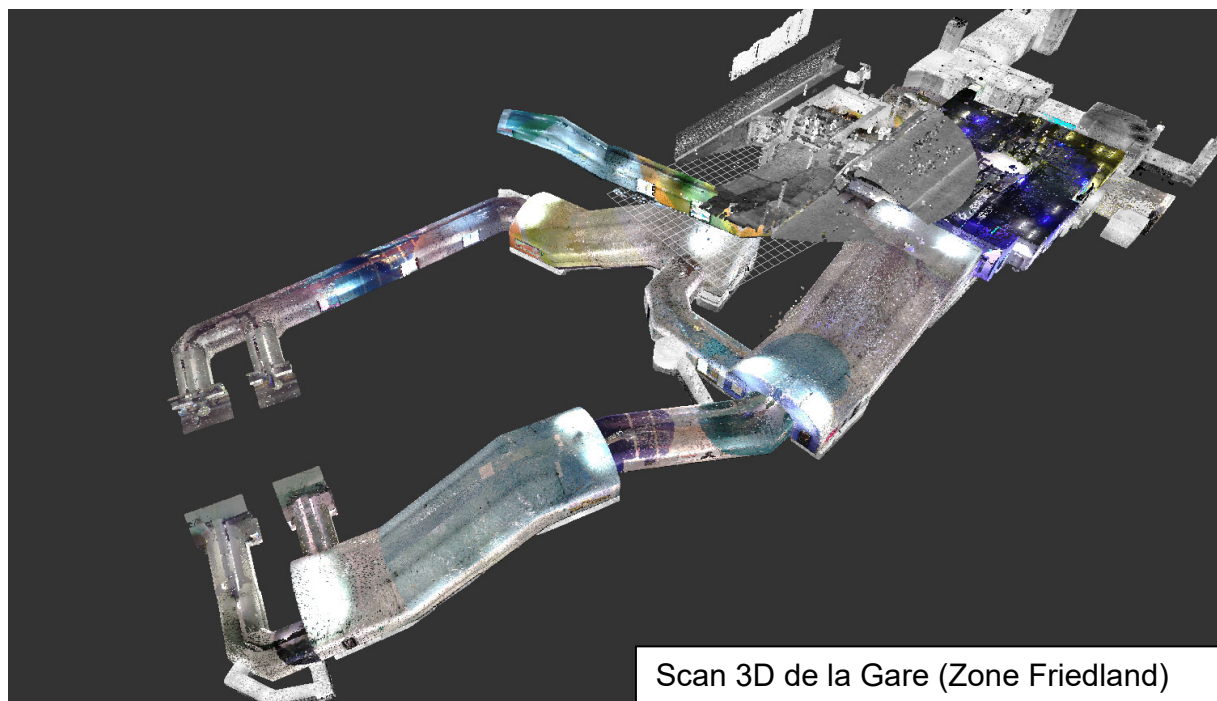




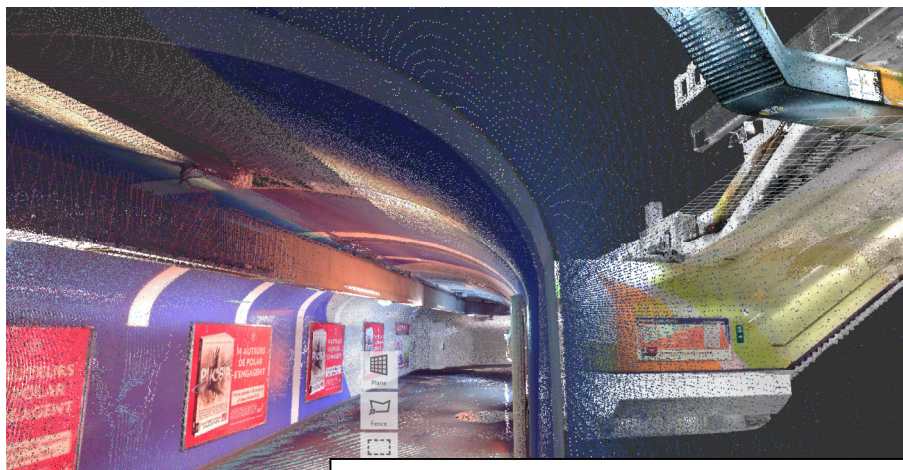
Plans d'archives de pentage de 1970

La demande est d'avoir une pente suffisante pour assurer un assainissement des espaces (2% préconisé notamment pour les cunettes)

L'amélioration des pentes demandée est difficilement atteignable sur l'ensemble de la gare et compte tenu de l'impossibilité technique de réaliser cette demande, l'équipe de conception a pris le parti, de conserver les pentes d'origine de la gare soit : 0,5 %, tout en apportant une amélioration de l'assainissement (zones de stagnation)



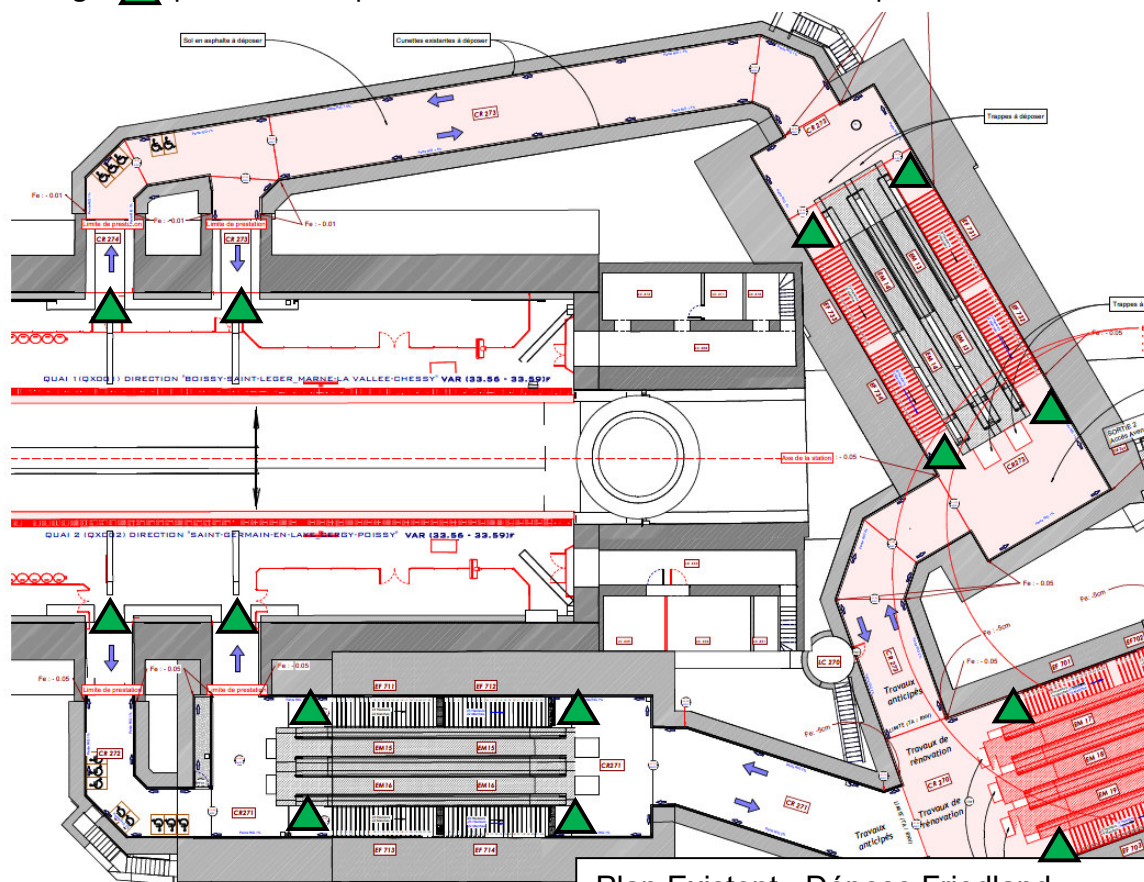
Scan 3D de la Gare (Zone Friedland)



Scan 3D de la Gare (Zone Friedland)

Vu que c'est un projet de réhabilitation, certains niveaux d'altimétries ne devront pas être modifiés comme par exemple, le niveau d'altimétrie du quai qui est lié aux rails ainsi qu'au train lui-même, le fait de bouger cette altimétrie engendrerai des travaux supplémentaires considérable et non prévu dans le cadre du marché et aussi le niveau d'altimétrie des paliers haut et bas des escaliers

Les triangles ▲ qu'on a sur les plans sont la contrainte d'altimétrie à ne pas modifier.

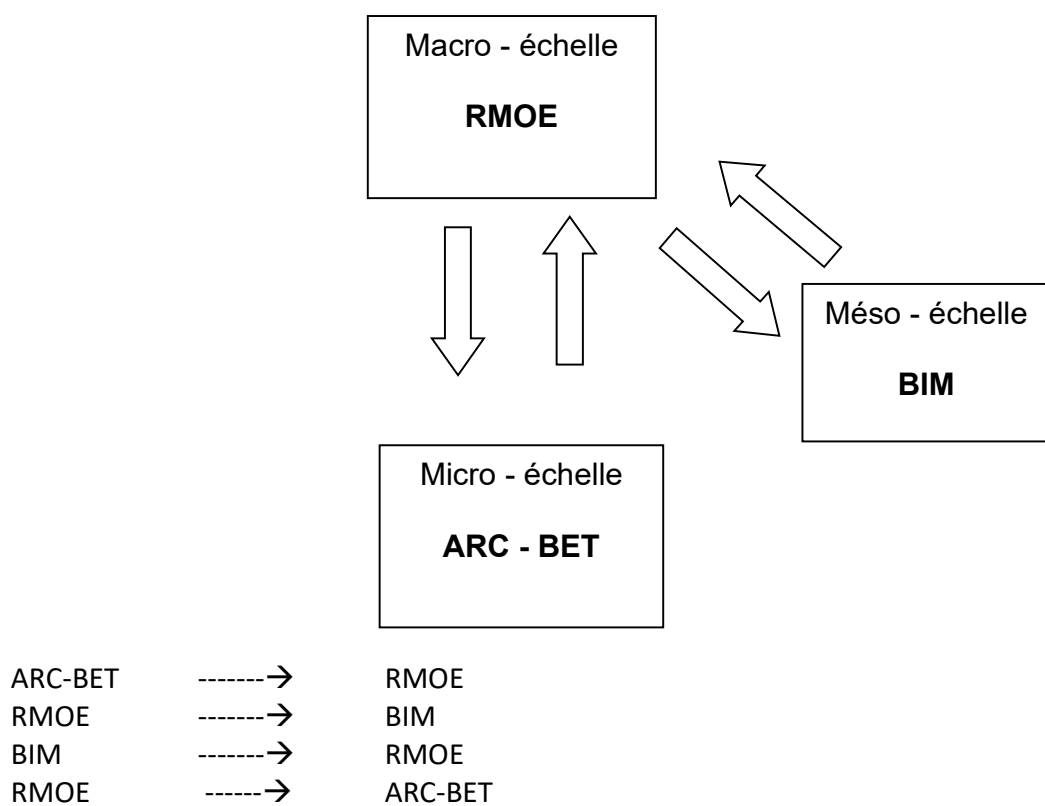


Plan Existant - Dépose Friedland

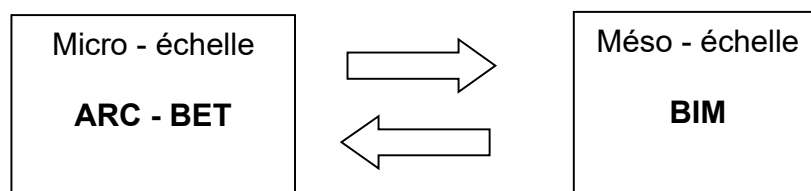
Naissance d'un script

Pour pouvoir vérifier si la proposition fournie par l'équipe de conception tenait compte des contraintes, il a été demandé à la cellule BIM de concevoir un script qui nous permet de comparer le sol projeté par rapport au sol existant en utilisant le nuage de point (Scan 3D), cela nous permettra de faire cette vérification des zones critiques rapidement sans pour autant établir plusieurs coupes.

Pour formaliser cette demande, la communication au sein de l'équipe du projet se fait comme suit :



Mais au fil des échanges, la communication entre les différents acteurs a changé pour ce type de connexion :



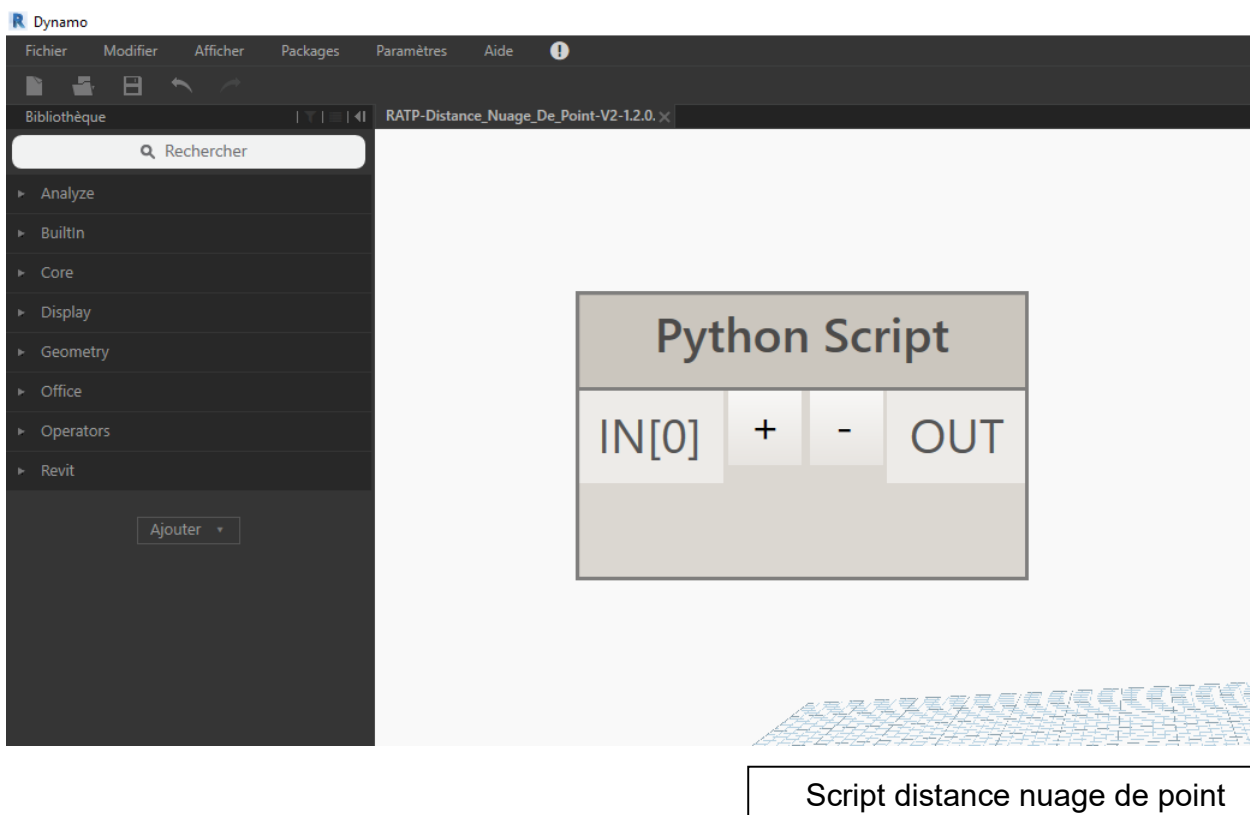
En premier lieu, ce qu'on voit ici c'est qu'un nouveau circuit de communication est né entre deux acteurs et cela pour le besoin du projet a une phase précoce de conception pour anticiper des prises de décisions future.

Script distance nuage de point :

La cellule BIM a conçu un script selon les besoins de l'équipe de conception

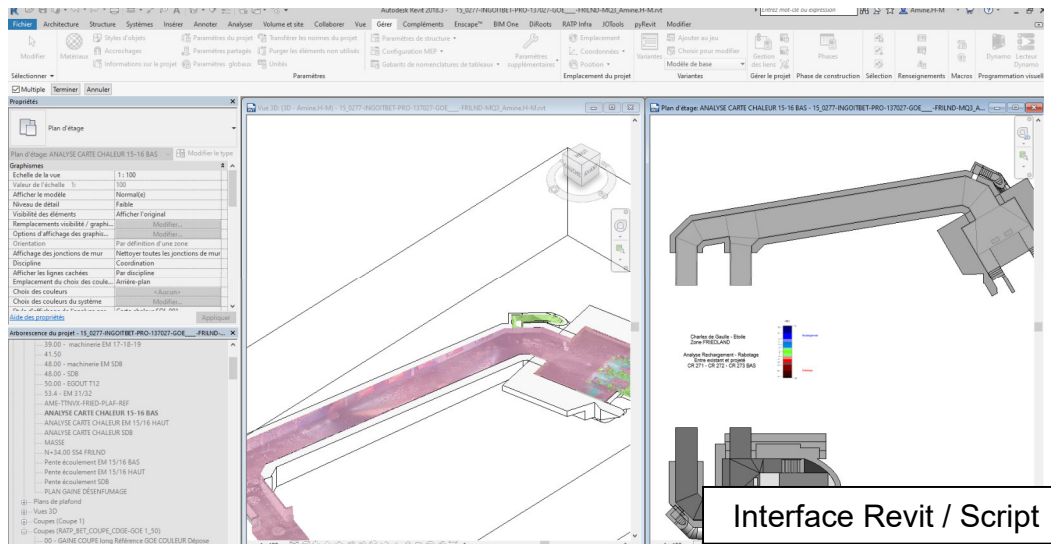
Ce script génère des cartes chaleurs qui représentent les distances entre le nuage de point (état existant) et les sols modélisés (état projeté)

Et dès les premiers test les résultats était concluant, ça nous a permis de vérifier l'ensemble des sols et procéder à des ajustements.



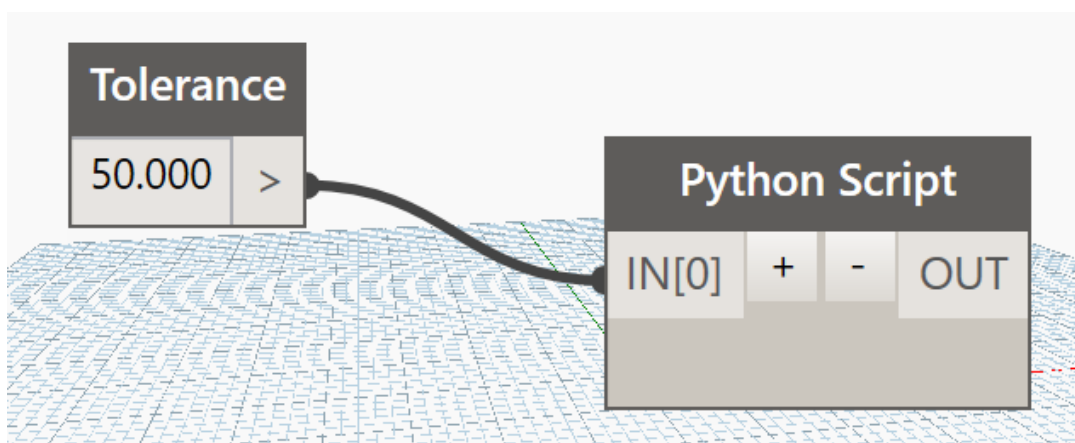
Fonctionnement du script

- 1 - Lancement du script
- 2 - Sélection des faces à analyser (Sols)
- 3 - Sélection du nuage de point à comparer

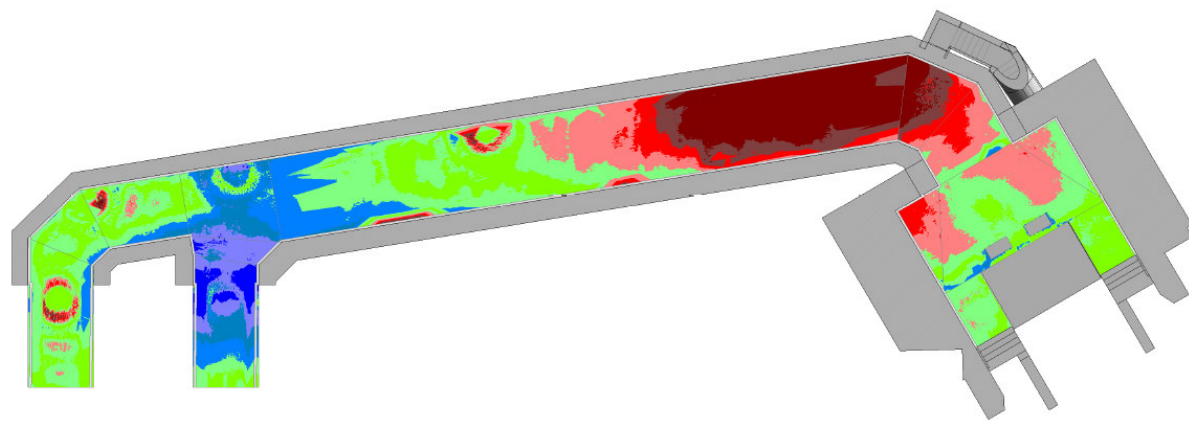


Dans la première version du script, il est configuré à donner des résultats avec une tolérance de + ou - 50 mm, puis un paramètre modifiable appelé tolérance a été ajouté pour qu'on puisse aller au-delà de cette valeur.

Cette demande a été faite de l'équipe de conception directement à la cellule BIM.



Résultat de l'analyse :



Graphisme du résultat de l'analyse

Interprétation de la légende et des résultats :

Couleur Verte signifie que le sol projeté est à + ou – 5 mm du sol existant (But atteint au points critique)

Couleur Rouge (dégradé) signifie qu'à ce niveau il y'aura un rabotage du sol entre 10 et 90mm

Couleur Bleu (dégradé) signifie qu'à ce niveau il y'aura un rechargement su sol entre 10 et 90mm

Ce script nous a permis d'avoir une lecture rapide, une analyse des travaux à entreprendre et confirmer le respect des contraintes

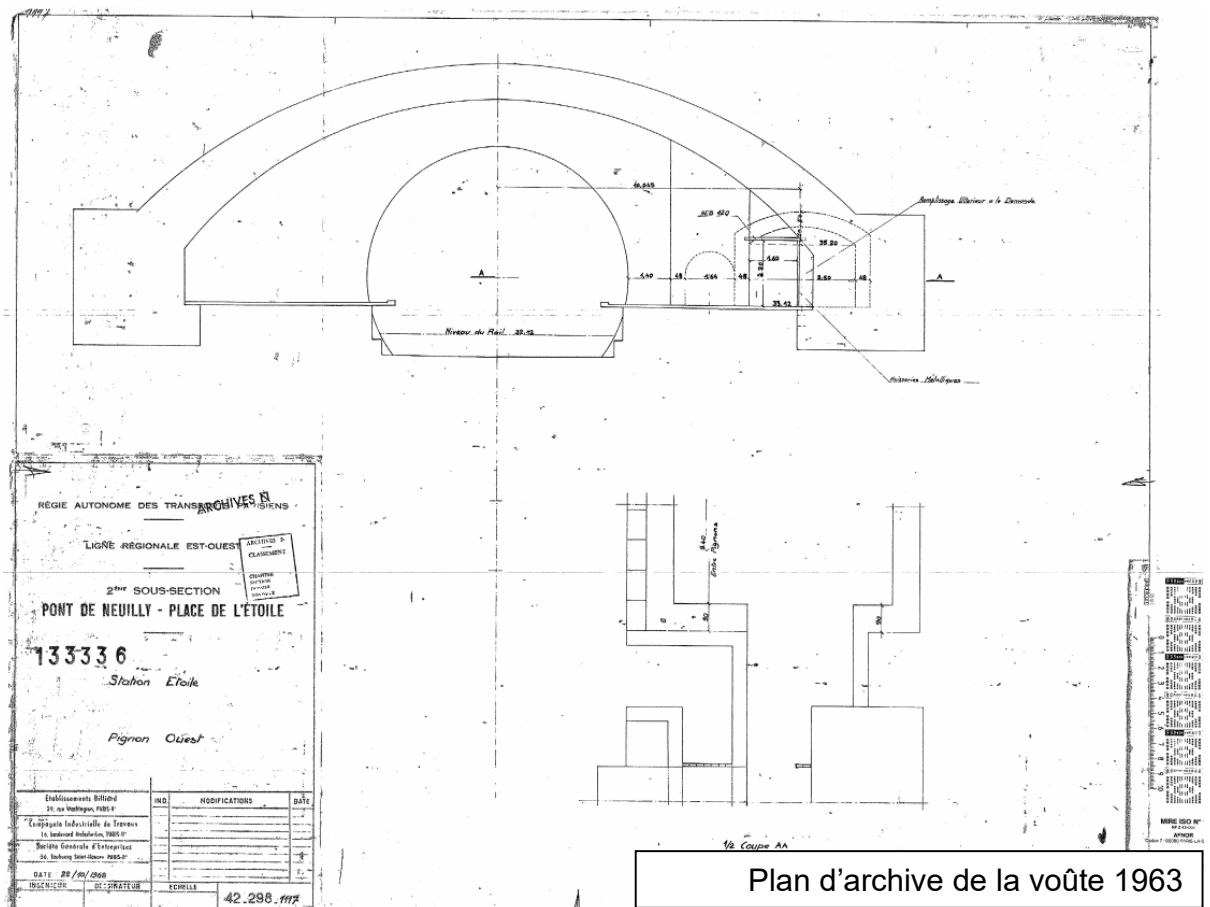
Cycle de vie : Réutilisation / Appropriation

Ce script initialement conçu pour l'analyse des sols a été réutilisé à plusieurs reprises :

Vérification Voûte modélisé / voûte existante

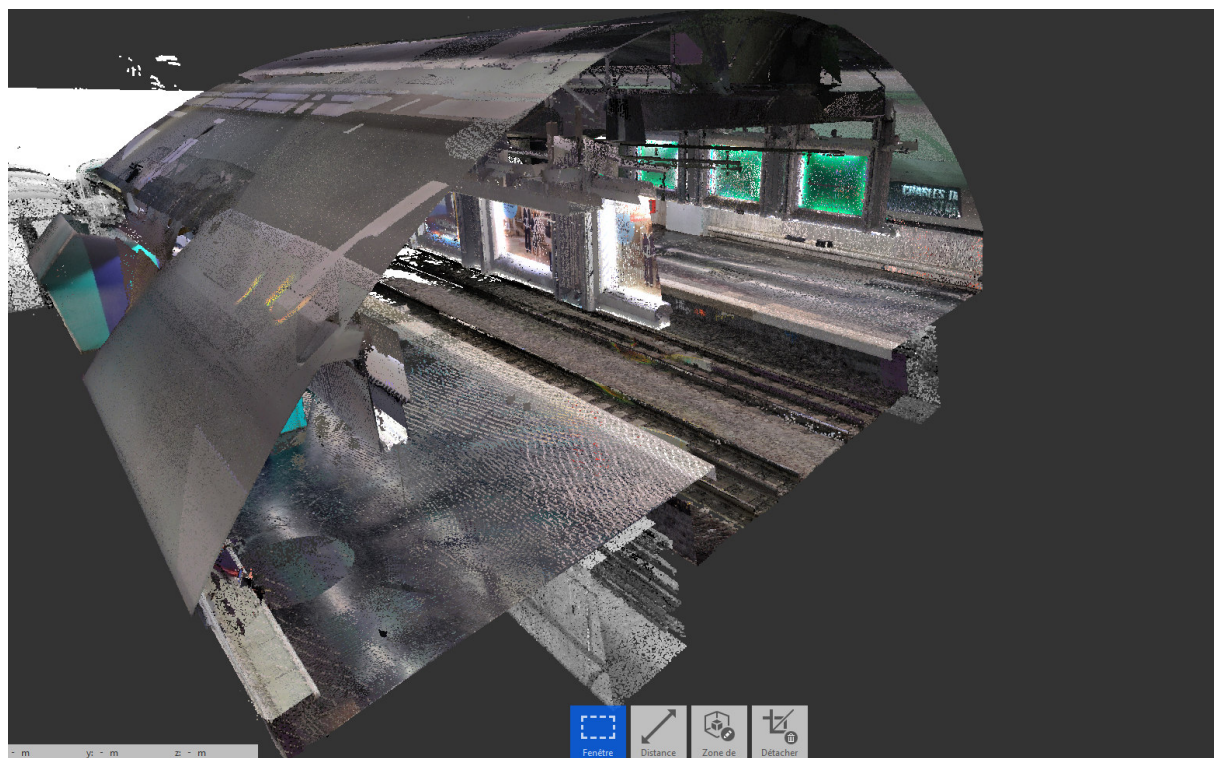
La voûte comme l'ensemble de la gare a été modélisé sur la base de plans d'archives et de scans 3D de la gare.

Concernant la voûte ; elle a été modélisée suivant les plans d'archives et d'attachement de travaux, en respectant la section du profil (extrusion).

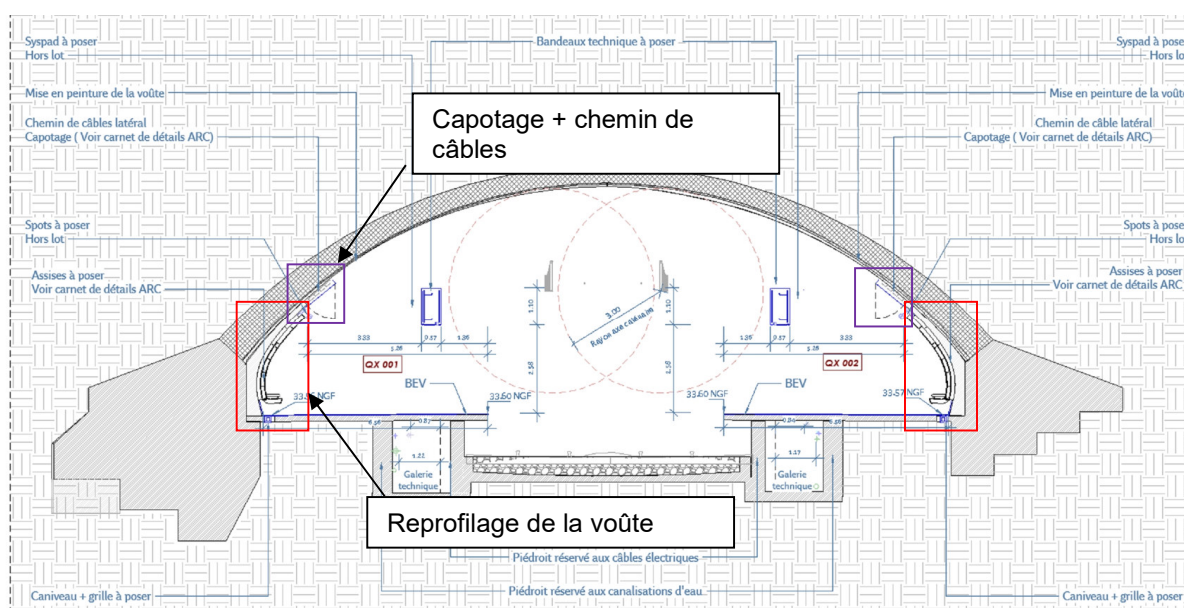


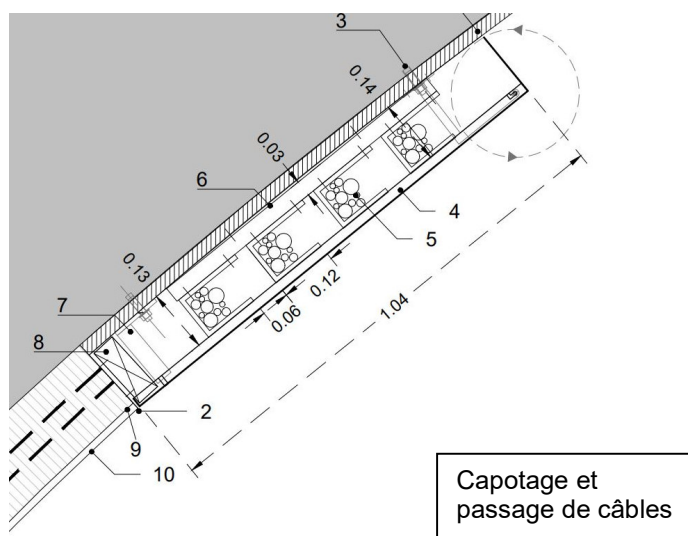
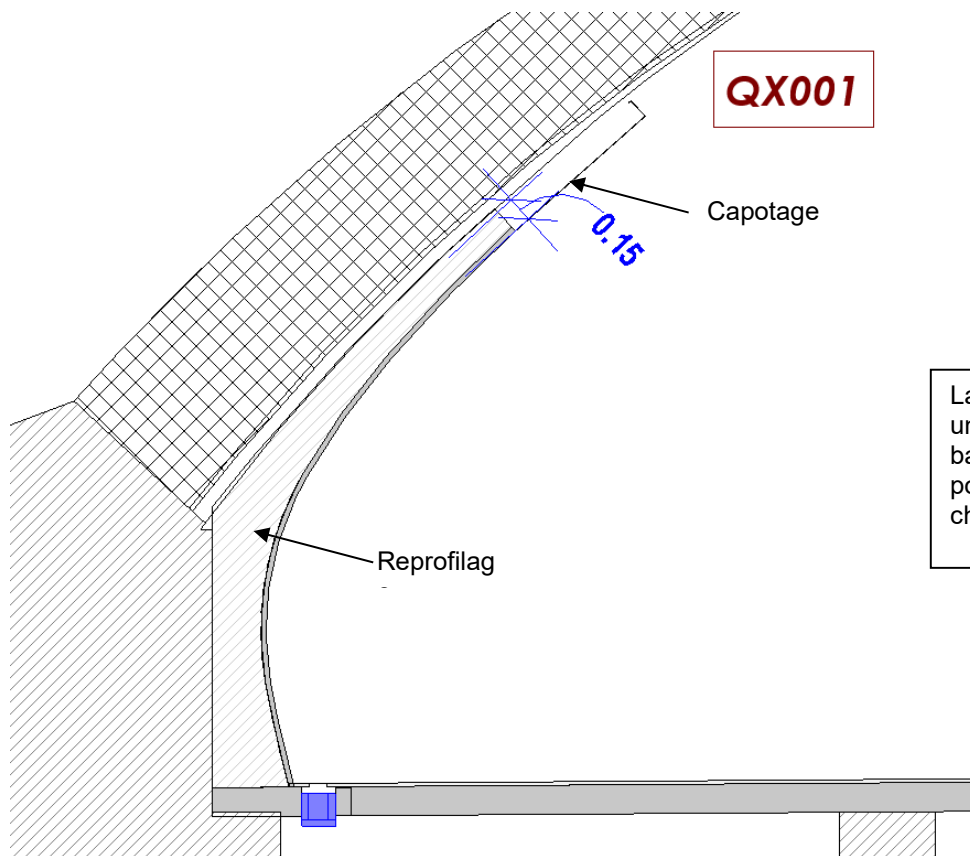
Mais avec plus de 50 ans de vie, cette voûte a subi des déformations à la suite des mouvements du sol, interventions ponctuelles etc.

Ces déformations ne peuvent être relevées que par un Scan 3D qui a été réalisé en 2019.



Dans la proposition d'aménagement de l'équipe de conception, il est prévu d'effectuer un Reprofilage de la voute ainsi qu'un capotage latéral qui abrite des chemins de câbles.

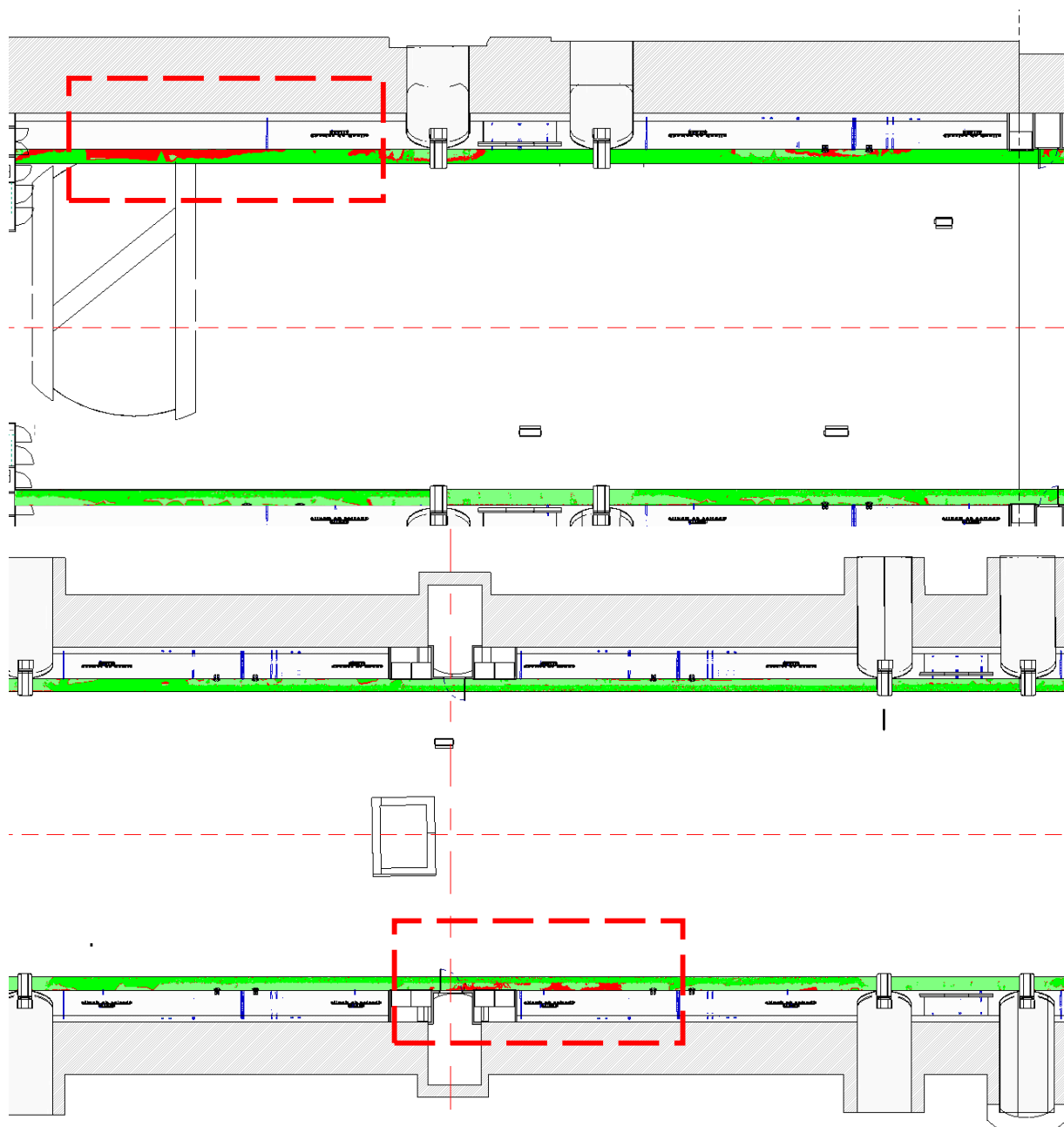




Les quais font 225 mètres linéaire et pour pouvoir vérifier cette contrainte il aurait fallu un nombre incalculable de coupes, pour pouvoir garantir une analyse fiable.

Alors, l'équipe de conception a eu l'idée d'utiliser le scripte distance nuage de point initialement prévu pour vérifier les sols de la gare, cette fois ci pour vérifier la faisabilité du capotage latéral des quais

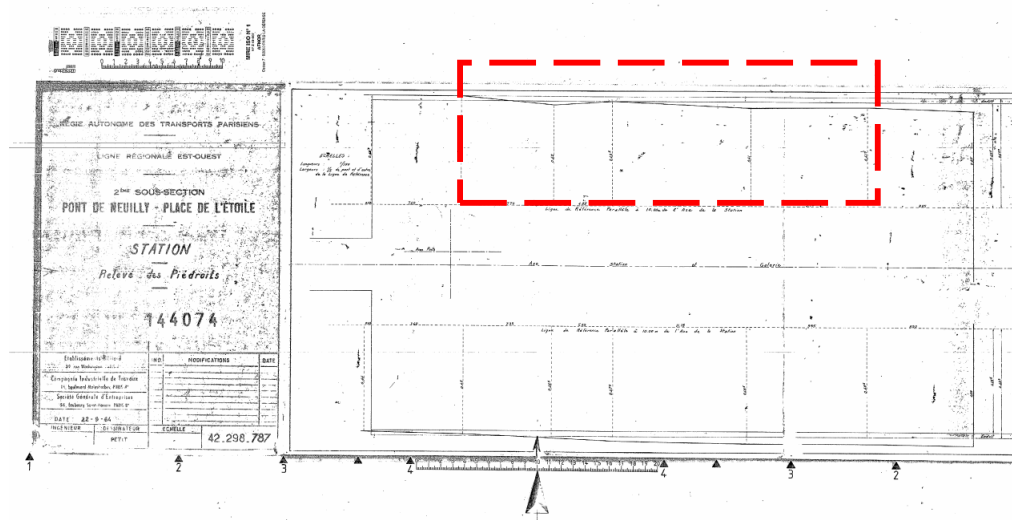
Après analyse du nuage de point par rapport au capotage modélisé on est arrivée à ce résultat :



Interprétation de la légende et des résultats :

L'analyse a fait ressortir deux zones problématiques nécessitant un traitement spécifique (grattage ponctuelle) qui a pu être quantifié à une phase précoce du projet et éviter d'avoir des coûts supplémentaires durant la phase d'exécution des travaux.

Concernant la première zone problématique, après des recherches poussées dans les archives, nous avons retrouvées un relevé datant de 1964 qui mentionne une déformation de la voute précisément aux endroits mis en alerte par le script.



Vérification de travaux réalisées

Comme indiqué au début de l'étude de cas, l'échéance des Jeux Olympiques 2024 à Paris est un enjeu très fort et les travaux des Quais sont actuellement en cours, en parallèles des études.

Les travaux de reprofilage de la voute des quais sont en cours de réalisation par phase et par zones d'emprises de chantier et cela pour ne pas arrêter le trafic de la Ligne A.

A chaque tronçon réalisé et avant la réception provisoire des travaux, l'équipe travaux « TGS » doit vérifier si le profile correspond aux attentes de l'équipe de conception.

Pour cette tache il y'a eu collaboration entre « TGS » Travaux et « ARC-BET » Conception pour procéder à cette vérification.

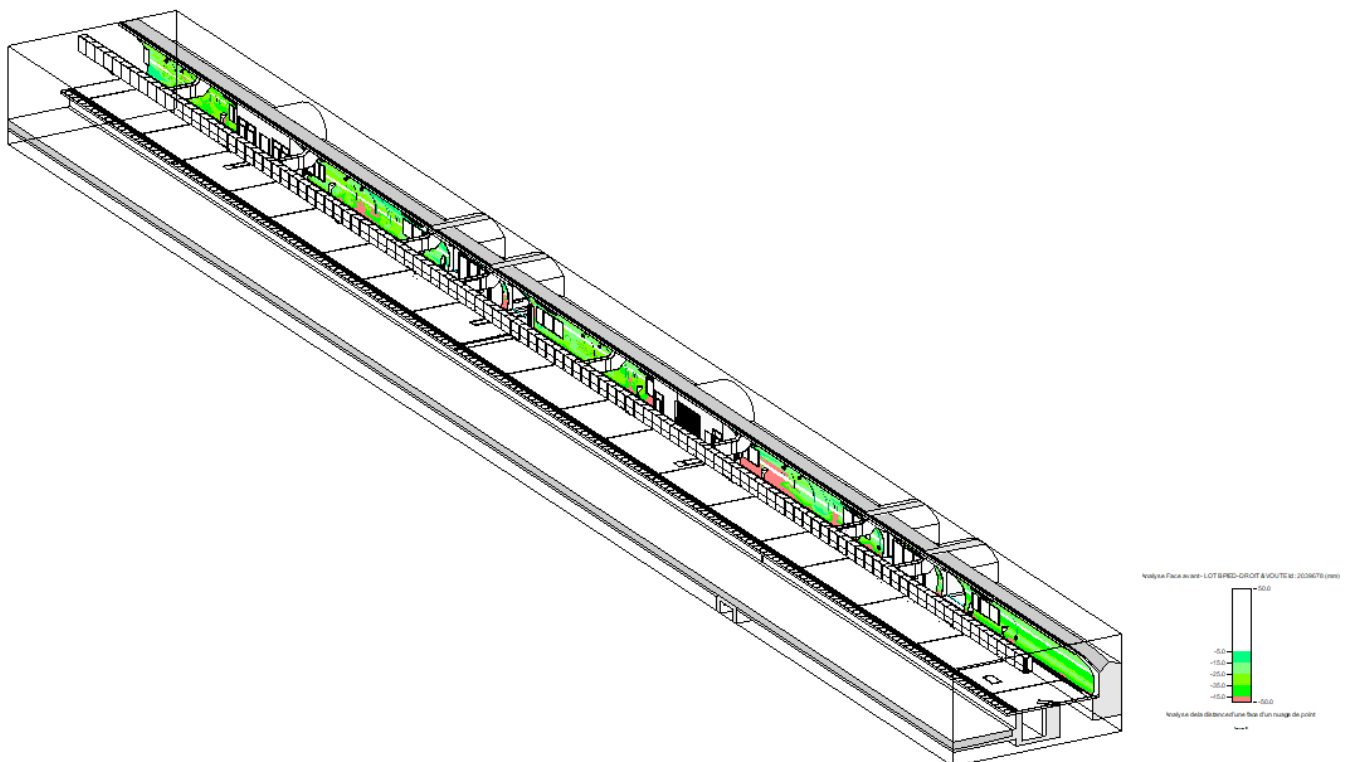


Reprofilage

Photos du chantier en cours

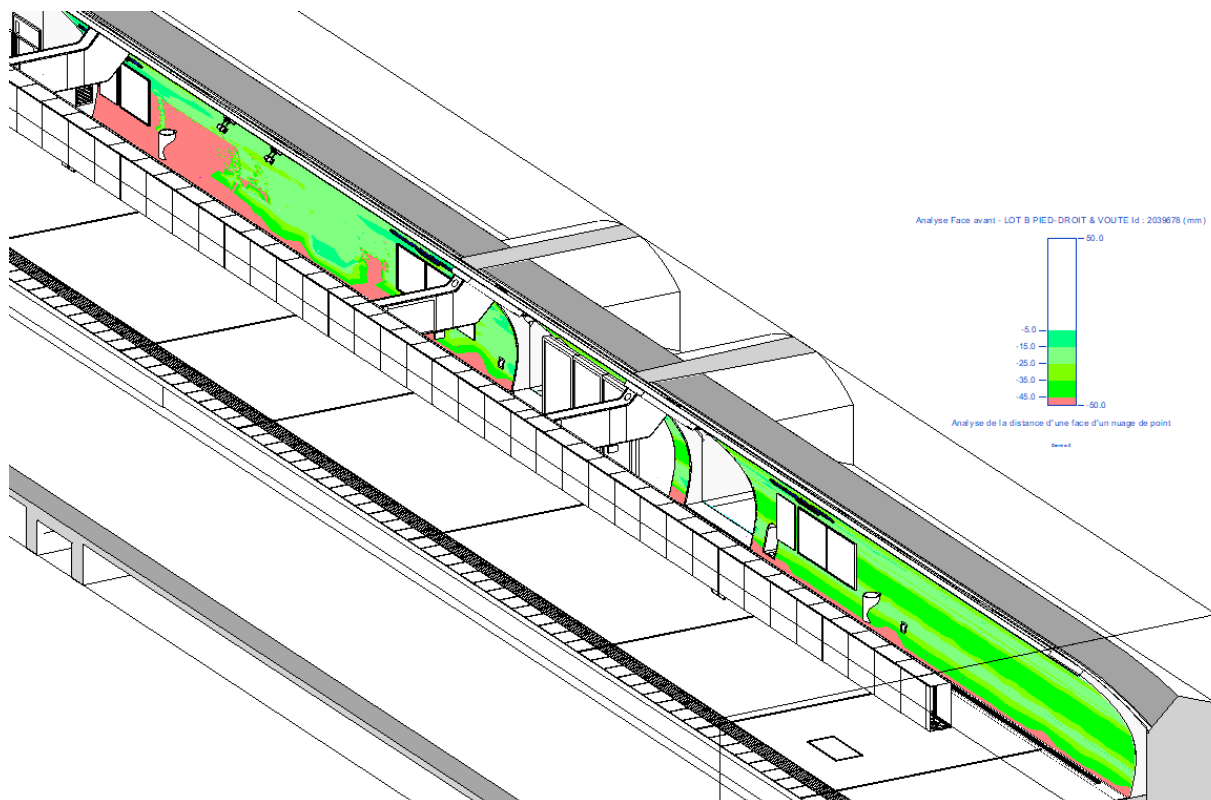
Un nouveau nuage de points (Scan 3D) qui couvre la partie des travaux réalisés a été établie et transmis à l'équipe de conception pour faire cette vérification en utilisant le script.

Il nous a été demandé de vérifier si les travaux réalisés sont conformes au modèle 3D de la maquette BIM



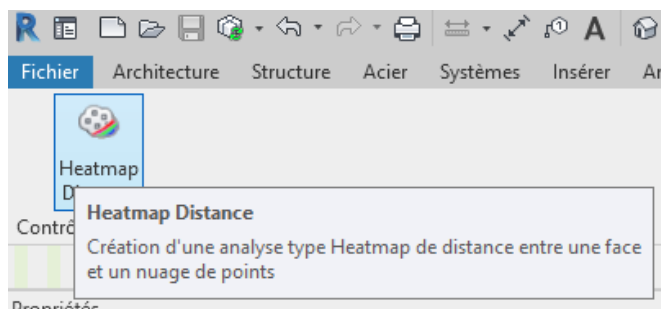
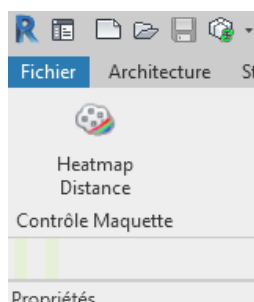
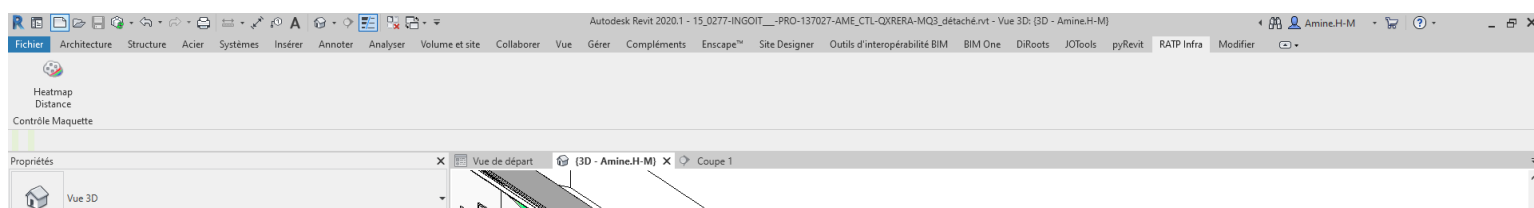
Interprétation de la légende et des résultats :

On remarque que dans l'ensemble le profil du reprofilage correspond à la modélisation et aux attentes de l'équipe de conception selon les tolérances établies, sauf quelques zones où il a été demandé à l'entreprise de les reprendre, cette tâche de vérification a été réalisée rapidement avec un résultat précis grâce au script et a permis une collaboration étroite entre trois différents acteurs au sein du projet.



De script à plugin

Après des mois d'utilisation, de tests concluants, d'aller-retour entre l'équipe de conception et la cellule BIM, et surtout le succès du Script, cette dernière a procédé à la création d'un plugin, qui est le premier plug-in de la RATP sur Revit, qui s'ajoute au menu directement pour utiliser ce nouvel outil sans passer par dynamo.



CONCLUSION

A la suite de ces expérimentation menée dans un cadre pratique pour déterminer comment l'utilisation et la mise en œuvre de la CAO aujourd'hui impacte sur le processus de conception et les rôles dans ce processus au sein du projet de construction, cette étude de cas a permis :

1. Préciser le rôle d'un acteur latéral au processus de conception (Cellule BIM) qui devient très influents dans le processus architectural : architecte, maîtrise d'œuvre.
2. Conclure à la nécessité de la participation d'autres disciplines au processus architectural, de leur assistance à l'architecte dans le processus.

Les résultats obtenus sur un seul script on aboutis à la création du premier plug-in RATP et à automatiser plusieurs taches chronophages, plusieurs autres scripts sont en ce moment utilisés pour des recherches plus approfondies ; la structure et l'organigramme du département Ratp Infrastructures est en phase d'être requestionné au vu de l'importance de la cellule BIM dans le processus de conception ce qui lui donne une position centrale – connexe ou tout gravite autour au lieu d'être un acteur latéral et ponctuel.

En passant de l'apprentissage à la pratique, j'ai mis à jour et structuré mes connaissances dans le domaine du BIM, des communications professionnelles d'un architecte et des fondements techniques et technologiques de l'activité, qui serviront de base fiable à l'avenir pour mon travail dans le domaine de l'architecture et de la construction, et m'aidera également à communiquer avec d'autres spécialistes.

De nos jours un architecte compétent doit être capable de développer la partie architecturale et constructive des projets sur la base de la science et des technologies les plus récente et aussi la pratique de l'utilisation d'outils d'automatisation et de conception.

Aussi, l'architecte participe à la préparation de ces outils techniques tout en continuant l'élaboration du projet.

Ce mémoire représente une possibilité d'aborder le vaste éventail d'impact qu'a la CAO sur le domaine complexe du processus de conception architecturale, sur la façon dont l'utilisation et la mise en œuvre de ces outils impact aujourd'hui sur le processus de conception architecturale, avec une attention particulière sur le travail de l'équipe de conception et ces interactions avec les autres acteurs du projet.