

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة سعد دحلب – البليدة 1

UNIVERSITY SAAD DAHLAB-BLIDA 1

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



## Mémoire

Pour l'obtention du diplôme master 2

Filière : génie-civil

## Thème

Le BIM et l'efficacité de la dépense publique

**Présenté par :**

Aboutaleb KAID

**Encadré par :**

Pr. Ferhat FEDGHOUCHE

Promotion 2019 /2020

## Remerciements

Toute ma gratitude, grâce et remerciement vont à dieu le tout puissant qui m'a donné la force, la patience, le courage et la volonté pour élaborer ce travail.

C'est avec une profonde reconnaissance et considération particulière que je remercie mon encadreur le professeur FEDGHOUCHE Ferhat, a qui j'ai beaucoup de respect, pour son encadrement, à son soutien incessant et à a son encouragement permanent. Je le remercie de m'avoir donné la chance de présenter ce travail à qui je tenais tant et par lequel un diplôme me serait décerné et, un travail intellectuel qui sera rajouté à mon expérience professionnelle.

Un grand remerciement très particulier à ma très chère épouse Haouam Louiza, « administrateur principale » à l'Ecole National Supérieur des Travaux Publics, qui est la source de ma démarche d'initiative pour ce travaille académique. Cet aboutissement lui reviens de grâce et ceci par le soutien moral incessant, sa vision des choses hors du commun et de part ses orientations intelligentes. Une personne exceptionnelle que ces mots ne pourront lui rendre sa valeur humaine et professionnelle.

Tout mes remerciement aux employés de l'Ecole National Supérieur des Travaux Publics en particulier ceux du service de Monsieur le professeur FEDGHOUCHE Ferhat pour leur contribution de loin ou de près à l'élaboration de ce mémoire.

Tout mes remerciements aux employés de l'Université SAAD DAHLEB de Blida en particulier ceux du département de Génie Civil pour leur aide et assistance à l'aboutissement de ce travail.

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	I
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## TABLE DES MATIERE

<b>Chapitre I</b>	<b>Historique, terminologie et définition.....</b>	<b>11</b>
I-1	<b>Généralités .....</b>	<b>12</b>
I-1-1	Modélisation et modèle	
I-1-2	Types de modélisation	
I-1-3	Étapes de la modélisation	
I-1-4	La technologie du CAO et son évolution	
Evolution du CAO		
Étapes du (CAO)		
<b>Chapitre II</b>	<b>Le cycle de vie d'un projet de construction.....</b>	<b>15</b>
II-1	<b>Introduction.....</b>	<b>16</b>
II-2	<b>Les différents intervenants du projet de construction.....</b>	<b>16</b>
II-2 -1	Maître d'ouvrage» d'un projet	
II-2 -2	Maître d'œuvre » d'un projet	
II-3	<b>Modes de financement des projets de construction.....</b>	<b>17</b>
II-4	<b>Hiérarchisation des projets de construction.....</b>	<b>18</b>
II-5	<b>Analyse des projets de construction.....</b>	<b>18</b>
II-6	<b>Les étapes de maturation d'un projet de construction.....</b>	<b>18</b>
II-7	<b>Différents sources d'inspiration des « projets de construction ».....</b>	<b>19</b>
II-8	<b>Etudes d'identification.....</b>	<b>19</b>
II-8-1	Elimination « des idées de projet » lors des études d'identification	
II-8-2	Contenu des études d'identification d'un projet	
II-9	<b>Etudes de faisabilité.....</b>	<b>21</b>
II-9-1	le contenu des études de faisabilité d'un projet de construction	
II-9-2	Méthodes et délais de réalisation des investissements	
II-9-3	Jugement d'ensemble sur l'opportunité et la faisabilité du projet	
II-9-4	Préparation des termes de référence et estimation du coût	
II-9-5	La différence entre un projet d'infrastructure sociale et économique	
II-10	<b>Etudes de préparation de la réalisation des investissements.....</b>	<b>24</b>
II-10-1	Le contenu des « études de préparation de la réalisation » d'un projet	
II-11	<b>La phase de réalisation d'un projet de construction.....</b>	<b>26</b>
II-11-1	Introduction	
II-11-2	Suivi de l'exécution du plan de passation des marchés (PPM)	
II-11-3	Suivi de l'avancement physique et délais de la réalisation	
II-11-4	Réévaluation et restructuration d'un projet	
II-12	<b>La phase exploitation ou l'évaluation rétrospective.....</b>	<b>26</b>
II-12-1	Introduction	
II-12-2	Objectifs principaux de l'évaluation rétrospective	
II-12-3	Description et réalisation du projet	
II-12-4	Définition des critères d'évaluation du succès du projet	
II-12-5	Evaluer le succès ou l'insuccès du projet	
II-12-6	Pour mesurer l'écart entre les prévisions et la réalité ultérieure	
II-13	<b>Introduction sur la méthodologie d'une étude autoroutière.....</b>	<b>28</b>
II-14	<b>Description du projet.....</b>	<b>28</b>
II-15	<b>Détails méthodologiques.....</b>	<b>28</b>
II-15-1	Etude d'avant projet sommaire	
II-15-2	Etude d'avant projet détaillé	
II-16	<b>Elaboration dossier d'appel d'offre de l'avant projet détaillé.....</b>	<b>37</b>
II-17	<b>Introduction sur la méthodologie d'un suivi d'une autoroute.....</b>	<b>37</b>
II-18	<b>Description et consistance physique du projet.....</b>	<b>37</b>
II-19	<b>Description générale des tâches.....</b>	<b>38</b>
II-20	<b>Description des principales tâches à exécuter.....</b>	<b>38</b>
II-21	<b>Approbation des études d'exécutions .....</b>	<b>38</b>
II-22	<b>Contrôle et surveillance pendant les travaux.....</b>	<b>38</b>
II-23	<b>Dossier de recollement et archivage.....</b>	<b>39</b>
II-24	<b>Contrôle de qualité.....</b>	<b>39</b>

<b>Chapitre III</b>	<b>Le processus BIM ou l'ingénierie de simultanéité .....</b>	<b>40</b>
III-1	Introduction générale .....	41
III-2	Différentes définitions du BIM.....	41
III-3	Un aperçu chronologique sur l'évolution du logiciel BIM .....	42
III-4	Objectifs du BIM .....	42
III-5	Les avantages et les limites du BIM .....	44
	III-5-1 Les avantages du BIM	
	III-5-2 Les limites du BIM	
III-6	Les phases du BIM .....	46
III-7	Les niveaux de maturité du BIM .....	47
III-8	Types de « maquettes numériques » du BIM .....	49
III-9	Les Outils du BIM .....	49
	III-9-1 Logiciels de modélisation en BIM	
	III-9-2 Outils de visualisation	
	III-9-3 Outils d'analyse et de vérification	
	III-9-4 Plateformes BIM et serveurs	
III-10	Les dimensions du BIM .....	51
III-11	Les niveaux de développement .....	52
	III-11-1 Comment choisir les LoD et LoI	
	III-11-2 Qui choisit les LoD et les LoI	
III-12	Le Management « d'information et humain » en BIM .....	55
	III-12-1 Manager BIM, coordinateur BIM et modelleur BIM	
	III-12-2 Dimensionnement de l'équipe	
III-13	La notion d'interopérabilité dans le processus BIM .....	57
	III-13-1 L'interopérabilité des logiciels	
	III-13-2 Open et closed BIM	
III-14	Les principaux formats d'échange BIM .....	57
	III-14-1 Format IFC – Industry Foundation Classes	
	III-14-2 Format COBie	
III-15	Maquettes numériques .....	58
	III-15-1 Intérêts de la maquette numérique	
	III-15-2 Limites de la maquette numérique	
III-16	Maquettes numériques et les phases du cycle de vie d'un projet .....	58
	III-16-1 Maquette numérique de programmation	
	III-16-2 Maquette numérique de construction	
	III-16-3 Maquette numérique d'exploitation et de maintenance	
	III-16-4 Déconstruction	
III-17	Convention BIM .....	60
III-18	La charte BIM du maître d'ouvrage .....	60
III-19	Cahier des charges BIM de l'opération .....	60
III-20	BIM et maîtrise d'ouvrage .....	60
III-21	BIM et maîtrise d'œuvre .....	61
III-22	BIM et entreprises de travaux .....	62
III-23	Aperçu d'utilisation du BIM dans le Monde .....	63

<b>Chapitre IV</b>	<b>Etude routière et dédoublement d'un pont selon process BIM.....</b>	<b>66</b>
IV-1	<b>Introduction .....</b>	<b>67</b>
IV-2	<b>Elaboration de la « maquette numérique de programmation ».....</b>	<b>67</b>
	Charte BIM	
	Cahier des charges BIM	
	Convention BIM	
IV-3	<b>Elaboration de la « maquette numérique de conception ».....</b>	<b>68</b>
	Situation de la région	
	Consistance physique du projet	
	Consistance Physique de l'ouvrage existant à dédoubler	
	IV-3-1 Maquettes numériques intégrées	
	IV-3-2 Elaboration des maquettes numériques métiers	
	Préparation du fichier	
	Arrêté le point de référence	
	Création des calques	
	Création d'une base de données	
	Informations relatives au projet	
	Modélisation 3D	
	Topographie	
	Modélisation d'éléments	
	Commencement du processus de Collaboration	
	Le Managment humain	
	Le « coordinateur BIM », Manger BIM et modeleur BIM	
	IV-3-3 Elaboration de la « maquette numérique fédérée » de conception	
IV-4	<b>La problématique du format d'échange entre maquettes.....</b>	<b>77</b>
IV-5	<b>Elaboration de la « maquette numérique de construction .....</b>	<b>78</b>
	IV-5-1 Elaboration de la « maquette numérique de réalisation »	
	IV-5-2 Elaboration de la « maquette numérique de réception »	
IV-6	<b>Elaboration de la « maquette numérique d'exploitation ».....</b>	<b>78</b>
	1- Introduction générale.....	<b>79</b>
<b>CONCLUSION</b>	2- Présentation de la source d'idée du master	
	3- Guide de maturation des projets d'infrastructure économique et social	
	4- l'impact financier considérable des projets d'investissements	
	5- Problématique	
	6- Sources et causes	
	7- Commentaires et discussions	
	8- La solution est le BIM	
	<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>83</b>
<b>ANNEXE</b>	Notes de calcul d'axe.....	<b>86</b>
	Note de calcul du pont en APS.	

## ACRONYMES, SIGLES et DEFINITIONS

BIM	Building Information Modeling
BIM	Building Information Model
BIM	Building Information Management
ANESRIF	Agence nationale d'études et de réalisation des infrastructures ferroviaires
AGL	Atelier de Génie Logiciel
API	Application Programming Interface
AIA	American Institute of Architect
ADAM	Automated Drafting And Machinery
APS	Etude d'Avant-projet Sommaire
APD	Avant-projet Détaillé
ANA	Agence Nationale des Autoroutes
AMO BIM	Assistance au Maitre d'Ouvrage BIM
AIMCC	Association des Industriels de la construction
AFNOR	Association Française de Normalisation
BREEAM	Building research establishment environmental assessment method
BEP	BIM Execution Plan
Building Smart	Organisation international pour échanges d'information entre logiciels
BDS	Building Description System
BDA	Building Design Advisor
BET	Bureau d'étude
BSI	British Standards Institution
CEV	Coûts d'Exploitation des Véhicules
CAD	Conception Automatisée par Ordinateur
CDE	Common Desktop Environment
CES	Corps d'Etat Secondaire
CAO	Conception Assistée par Ordinateur
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
CATIA	Conception Assistée Tridimensionnelle Interactive Appliquée
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DAO	Dessin Assisté par Ordinateur
DAO	Dossier d'Appel Offres
DP	Digital Project
DOE	Dossier Ouvrages Exécutés
DIUO	Dossier d'Intervention Ulérieure sur l'Ouvrage

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	5
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

EMA	Entreprise Métro Alger
EIE	Etude d'Impact sur l'Environnement
ES	Enduit Superficiel
ESQ	Etudes d'esquisse
EXE	Etudes d'exécution
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
GCS	Géométrie de Construction des Solides
GLIDE	Langage Graphique pour un Design Interactif
GC	Generative Components
GTB	Gestion Technique du Bâtiment
GTC	Gestion Technique Centralisée (bâtiment)
GSA	Services Généraux d'Administration
HQE	Haute Qualité Environnementale
HVAC	Heating , Ventilation and Air-Conditioning
IBM	International Business Machines
IDM	Information Delivery Manual
IFC	Industry Foundation Class
IFC4	La version 2013 d'IFC
IAI :	International Alliance for Interopérability
ITO	Information Take Out
IdO :	Internet des Objets
IFD:	International Framework for Dictionaries
LEED	Leadership Energy Environment Design
LCPC	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
LCC	Life Cycle Costing
LCA	Life Cycle Assesment
LOD	Level Of Development
LoI:	Level of Information
LoD	Level of Detail
MOE	Maitrise d'œuvre
MCD	Model Conceptuel de Données
MDE	Micro Deval Humide
MCO	Maintien en Conditions Opérationnelles
MVD	Model View Definition
MO	Maitre d'ouvrage
MOP	Loi relative à la Maitrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec MOE
NURBS	Non-Uniform Rational B-Spline

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	6
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

OPR	Opérations Préalables à la Réception
OGC	Open Geospacial Consortium
PAS	Publicly Available Specifications
PEC	Parametric Technology Corporation
PI	Passage Inférieur
PS	Passage Supérieur
PTC	Parametric Technology Corporation
PC	Personnel Computer
PAC	Plans d'Atelier et de Chantier
PAN	Pluviométrie moyenne Annuelle
PPBIM	Propriétés des Produits BIM
PTNB	Plan de Transition National du Bâtiment
PRONTO	Program for Numerical Tooling Operations
PPM	Plan de Passation des Marchés
PTF	Program Temporary Fix
PBS	Services des Bâtiments Publics
PNL	Programmation Neuro-Linguistique
QSCD	Qualified Signature Creation Device
RUCAPS	Really Universal Computer-Aided Production System
SAGEO	Spacial Analysis and GEomatics
STEP	Standard for the Exchange of Product
SDC	Service-oriented Device Connectivity
SDL	Strucured query language
SIG	Système d'Information Géographique
SPEOS	Logiciel de conception de systèmes optiques
SETRA	Service d'Etude sur les Transport, les Routes et Autoroutes
STR	Extension de fichier de logiciel structure
SGBDR	Système de Gestion de Base de Données Relationnelles
SQL	Structured Query Language (langage de requêtes structurées)
SSI	Système de Sécurité Incendie
SOD	Séparation des taches
TRI	Taux de Rentabilité Interne
UNIX	Système d'exploitation
VAN	Valeur Actualisée Nette
XML	Format d'échange sur internet

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	7
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## البيم في الأشغال العمومية

### ملخص:

إن العمل المقدم يسلط الضوء على طريقتين في مجال الهندسة وبالأخص في مجال البناء والأشغال العمومية. هذان النموذجين يتواجدان في آن واحد و في إطار تنافسي حيث النموذج الأول المتعامل بيه حاليا يعبر عن الهندسة التسلسلية التي تم تصنيفها على أنها طريقة تقليدية وكلاسيكية و النموذج الثاني يجسد هندسة التزامن أو طريقة المنافسة الموضحة ضمن البيم.

أن هذان الطريقتان تتسريان حول نفس الدورة الحياتية للمشروع سواء كان مشروع بناء أو مشروع للنقل و لكن ما ميز البيم كونه عملية تعاونية في إطار نموذج رقمي للبناء أو بنية تحتية إضافة إلى الطريقة الحديثة في إدارة المشاريع.

فظهر البيم كبديل عصري في عالم البناء أدى بالمناهج الأخرى أن باءت بالفشل وقد يطرح إشكاليات للجزائر في اتخاذه كمنهج والطريقة المثلى لتبنيه حيث العمل المنجز يعبر في حد ذاته طريقة للفت الأنظار حول النموذج وترسيخه في أذهان المجتمع العلمي, ميادين البناء و السلطات العمومية.

**مفتاح الكلمات :** البيم, الهندسة التسلسلية, هندسة التزامن, النموذجين, كبديل, إشكاليات, عملية تعاونية.

## LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

### RESUME :

Le travail présenté mis en évidence deux méthodes d'ingénierie de travail, dans le secteur de la construction notamment le bâtiment et les travaux publics ou disant, deux paradigmes qui coexistent en même temps et qui se présentent comme concurrents. Une « ingénierie de séquences » qu'on qualifié de « méthode traditionnelle ou classique » et, une méthode dites « ingénierie de simultanéité » ou concurrente illustrée par le processus BIM.

Cela dit, deux méthodes de travail qui tournent autour d'un même « cycle de vie d'un projet » qu'il soit un bâtiment ou un projet d'infrastructure de transport mais, ce qui distingue le BIM est qu'il désigne à la fois un processus collaboratif autour d'une maquette numérique d'un bâtiment ou infrastructure et, aussi une nouvelle méthode de management et gestion des projets.

Cette émergence du process BIM , qui présentement révolutionne et envahie le monde de la construction tout entier rendant pour ainsi dire obsolète toute autre méthode, ne fait qu'amplifier les problématiques ici en Algérie sur son adoption et la façon dont il faut se préparer. A cet effet, ce travail en lui-même répond à cette problématique en mettant en exergue ce process BIM dans les esprits de la communauté scientifique nationale, le monde de la construction et les pouvoirs publics.

**Mots clés :** BIM, ingénierie de séquences, ingénierie de simultanéité, deux méthodes, concurrents, un processus collaboratif, les problématiques.

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	9
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## THE BIM in PUBLICS WORKS

### ABSTRACT:

The work presented highlighted two engineering's methods in, construction sector especially in building and public works or in other words, two paradigms which coexist in the same time and which present themselves as competitors. A "sequence engineering" which is named as "traditional or classical method" and the other, a so-called "simultaneity engineering" or concurrent method illustrated by the BIM process.

Certainly, these two methods turn around the same "project life cycle" whether it is a building or a transport infrastructure project, but the BIM process is different. The thing which differentiate the BIM process than the other method, its means both a collaborative process around the digital model of a building, but also a new approach to supervising and project management.

This emergence of the BIM process, which is currently revolutionizing and invading the entire construction world making any other method obsolete, amplify these problematic here in Algeria on its adoption and the way in which we must be ready. In other words, this work in its self responds to this problematic by highlighting this BIM process in the national scientific community's, the world of construction's and publics authorities' minds.

**Keywords:** BIM, sequence engineering, simultaneity engineering, two engineering's methods, competitors, collaborative process, problematic.

# CHAPITRE I

## Historique, terminologie et définition

## I-1 Généralités

Présentement, l'informatique tend à guider la pratique architecturale et d'ingénierie au sens large du terme vers un scénario où le retour, à notre point de vue, s'avère irréversible. De récentes et nouvelles technologies ont vu le jour, le DAO (Dessin Assisté par Ordinateur) et la CAO (Conception Assistée par Ordinateur) qui nous assistent pour la production du travail à fournir et même dans le processus de conception. A ces deux technologies, vient s'ajouter le processus BIM (Building Information Modeling). Le BIM, apparu récemment, commence à prendre de l'ampleur dans le secteur de la construction moderne. De ce fait, ceci laisse à penser qu'il sera le moyen et l'outil indispensable quant à l'avenir de la pratique d'ingénierie dans le monde des travaux publics. Cette « nouvelle méthodologie de travail », qui intègre de nouvelles technologies appliquées au bâtiment et l'infrastructure, illustrée par le process BIM, rapproche les professionnelles de la construction sur plusieurs points de vue. Le BIM n'est pas seulement une « méthode de travail » ordinaire à suivre mais plus que cela, c'est un paradigme, une révolutions dans le secteur de la construction.

### I-1-1 Modélisation et modèle

Un modèle est une représentation schématique d'un objet ou d'un processus qui permet de substituer un système plus simple au système naturel. [8]

La modélisation est une représentation d'un système par un autre plus facile à appréhender. Il peut s'agir d'un système mathématique ou physique. Le model sera alors numérique ou analogique. On peut citer, a cet effet, les modélisations suivantes :

- **La modélisation analogique,**
- **La modélisation numérique,**
- **La modélisation géométrique,**
- **La modélisation paramétrique,**
- **La modélisation des données.**

### I-1-2 Types de modélisation

Le terme est employé dans plusieurs domaines :

- **En mathématiques appliquées,** et en pratique en chimie, en physique, en informatique, en météorologie ou en sciences de la vie et de la terre,
- **En ingénierie, la modélisation 3D** est un cas particulier du précédent qui consiste à produire ou créer, en utilisant des logiciels, un model tridimensionnel virtuel des images d'objet réel ;

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	12
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- **En informatique**, on parle de modélisation des données pour désigner une étape de construction d'un système d'information.

### **I-1-3 Etapes de la modélisation**

On peut identifier trois (3) étapes de la modélisation :

- **Le modèle interprétatif** : Il s'agit de décrire avec ses propres mots en langage naturel l'objet ;
- **Le modèle fonctionnel** : Il s'agit de la description atomique, de l'identification des éléments unitaires et des rapports précis. Le but est de rendre le modèle interprétatif calculable. On passe alors dans la calculabilité ;
- **Le modèle physique** : on implémente le modèle fonctionnel dans une machine pour calculer. Dans un ordinateur par exemple, qui est une machine de Turing réelle. [8]

### **I-1-4 La technologie du CAO et son évolution**

La conception assistée par ordinateur (CAO) comprend l'ensemble des logiciels et des techniques de modélisation géométrique permettant de concevoir, de tester virtuellement – à l'aide d'un ordinateur et des techniques de simulation numérique – et de réaliser des produits manufacturés et les outils pour les fabriquer. La CAO n'a pas pour fonction première l'édition du dessin. Il s'agit d'un outil informatique souvent lié à un métier et permettant l'organisation virtuelle de fonctions techniques. Cela permet la simulation de comportement de l'objet conçu. L'édition éventuelle d'un plan ou d'un schéma étant automatique et accessoire. [9]

### **Evolution du CAO**

- La conception assistée par ordinateur et la production assistée par ordinateur (puis la fabrication) sont deux technologies qui se sont brutalement développées de manière séparée, au même moment au début des années 60,
- **En 1861** en France, le chimiste français Alphonse Louis Poitouin découvre un processus basé sur les rayons du soleil et une substance présente dans la gomme qui permet de reproduire fidèlement des dessins d'architecture,
- **En 1936** : le déchiffreur de code britannique Alan Turing invente une machine du même nom, qui laisse entrevoir l'ordinateur moderne,
- **En 1957**, Pronto, le premier logiciel commercial de fabrication assistée par ordinateur,
- **En 1961**, c'est Douglas T.Ross qui sera le premier à utiliser le terme de CAO,

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	13
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- **En 1963**, “Sketchpad”, considérée comme la première conception assistée par ordinateur (CAO) dotée d’une interface utilisateur graphique,
- **En 1963** : C’est le début de l’interface graphique et de la modélisation 3D développé par Yvan Sutherland,
- **En 1971**, le logiciel CAO appelé «Automated Drafting And Machinery » (ADAM) dont 90% des logiciels de CAO commercialisés à ce jour ont un lien avec ADAM,
- **En 1981**, le premier **Personal Computer** par IBM, ouvre la voie à l'utilisation à grande échelle de la conception assistée par ordinateur,
- **En 1983** Autodesk, cré AutoCAD, le premier programme de CAD importante pour l'IBM PC,
- Enfin, la modélisation est introduite en 1985, ouvrant la voie au prototypage virtuel,
- **En 1989** : Jacques Delacour lance son entreprise de simulation de photométrie et propagation laser. Rapidement, son logiciel phare SPEOS séduit les grands noms de l'industrie. Ce dernier permet en effet de simuler la lumière dans un système optique. [9]

### **Etapas du (CAO)**

[1950-1970] **1re génération** de CAO 2D : Graphic-based

(Ex. : système graphique AutoCAD) ;

[1960-1980] **2e génération** de CAO 2,5D : Depth-based

(Ex. : systèmes de génie civil Micro Station, Cadwork),

[1970-1990] **3e génération** de CAO 3D : Geometry-based

(Ex. : système de CSG Euclid),

[1980-2000] **4e génération** de CAO 3,5D : Feature-based

(Ex. : système paramétrique Pro/Engineer),

[1990-2010] **5e génération** de CAO 4D1,2 : Rule-based

(Ex. : système à base de déductions Kadviser 3),

[2000-2020] **6e génération** de CAO 5D : Induction-based

(Ex. : système à base d'inductions KAD-Office)

### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	14
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

# CHAPITRE II

## Le cycle de vie d'un projet de construction

## II-1 Introduction

On distingue habituellement trois étapes dans ce qu'il est convenu d'appeler le « cycle du projet ».

- **La première étape, dite de maturation du projet**, consiste à conduire l'ensemble des études permettant :
  - De s'assurer que la réalisation du projet est faisable sur le plan technique, financier et environnemental et, est économiquement opportune du point de vue de la collectivité nationale ;
  - De définir les caractéristiques du projet au niveau de détail requis pour lancer auprès des entreprises de construction et/ ou des fournisseurs, les appels d'offres pour la réalisation des composantes physiques du projet ;
  - De définir les conditions dans lesquelles l'infrastructure sera exploitée et gérée et de préparer la mise en place des instruments de gestion.

La durée de « la phase de maturation » peut varier de manière importante selon la nature et la complexité des projets. Elle se situe en général dans une fourchette de 18 à 36 mois et comporte trois phases (**identification, faisabilité, préparation de la réalisation**).

- **La seconde étape du cycle du projet est celle de la réalisation des investissements**, essentiellement la construction des infrastructures proprement dites et l'acquisition des équipements associés. Cette étape commence par la passation des contrats de travaux et fournitures et s'achève par la réception des ouvrages (infrastructures et équipements associés). La durée de la phase de réalisation varie également selon les types de projets ; elle est le plus souvent, pour les grandes infrastructures économiques et sociales, de quelques années.
- **La troisième étape est celle de la gestion (ou exploitation)** de l'infrastructure ainsi réalisée. Les infrastructures économiques et sociales ont une durée de vie longue, et leur gestion s'effectue souvent pendant plusieurs décennies, voire même parfois un siècle. Nous verrons toutefois plus loin que la période de gestion considérée pour l'analyse des projets est en général plus courte (le plus souvent une trentaine d'années, en ordre de grandeur).

Les étapes de maturation et de réalisation des investissements sont conduites sous la responsabilité du « maître d'ouvrage » du projet. La gestion de l'infrastructure est effectuée sous la responsabilité du « gestionnaire », qui peut être différent du maître d'ouvrage. [1]

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	16
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## II-2 Les différents intervenants du projet de construction

### II-2 -1 Maître d'ouvrage» d'un projet

Le maître d'ouvrage d'un projet est l'organisme pour lequel le projet (l'ouvrage) est construit ; il commande et il paie l'ouvrage. Le maître d'ouvrage effectue ou fait effectuer les études de maturation du projet. Après avoir ainsi confirmé l'opportunité et la faisabilité et avoir défini les caractéristiques définitives du projet, le maître d'ouvrage en arrête l'enveloppe financière prévisionnelle, mobilise les financements nécessaires, choisit le processus selon lequel le projet sera réalisé et conclut avec les entrepreneurs les contrats ayant pour objet l'exécution des travaux. Il suit l'exécution des travaux et procède à la réception des installations et équipements.

En Algérie, les maîtres d'ouvrage de la quasi-totalité des projets d'infrastructure économique et sociale sont les ministères dits « sectoriels » (par exemple le ministère chargé des travaux publics pour les projets routiers, le ministère chargé des ressources en eau pour les projets de barrages et de transfert d'eau, le ministère chargé de l'enseignement supérieur pour les projets d'universités). [1]

### II-2 -2 Maître d'œuvre » d'un projet

Le maître d'œuvre d'un projet est l'organisme (bureau d'études d'ingénierie ou architecte selon la nature des infrastructures) chargé par le maître d'ouvrage et pour le compte de celui-ci de réaliser les études du projet et/ou de suivre et contrôler l'exécution des travaux réalisés par les entreprises de travaux et de proposer leur réception et leur règlement. Le maître d'œuvre est lié au maître d'ouvrage par un contrat (contrat de maîtrise d'œuvre). [1]

## II-3 Modes de financement des projets de construction

Le financement peut provenir du budget d'équipement de l'Etat, à titre de concours « définitif », non remboursable. Il peut s'effectuer sous forme d'avances, remboursables, du Trésor. Il peut également être assuré pour partie par des emprunts souscrits auprès d'organismes de financement extérieurs (du type Banque mondiale, Banque africaine de développement, Banque européenne d'investissements, Fonds arabes, etc.), ces emprunts étant garantis par l'Etat. Les projets qui seraient mis en œuvre dans le futur au titre des partenariats public-privé bénéficieraient, en général pour partie, d'un financement mobilisé par le partenaire privé. [1]

## II-4 Hiérarchisation des projets de construction

- Deux projets sont dits **indépendants** lorsque la réalisation de l'un n'influe en rien sur l'intérêt économique de l'autre,
- Par contraste, deux projets sont dits **complémentaires** lorsque la réalisation de l'un influe positivement et de manière sensible sur l'intérêt économique de l'autre (et, en général, réciproquement),
- Deux projets sont dits **dépendants** (ou liés) lorsque la réalisation de l'un des projets est une condition absolue de l'intérêt économique de l'autre (et, en général, mais pas toujours, réciproquement),
- Deux projets sont dits **concurrents** lorsque la réalisation de l'un influe négativement et de manière sensible sur l'intérêt économique de l'autre (et, en général réciproquement),
- Enfin, deux projets sont dits **incompatibles** lorsque la réalisation de l'un entraîne l'impossibilité de réaliser l'autre. [1]

## II-5 Analyse des projets de construction

Ces notions suscités présentent un grand intérêt pour l'analyse des projets d'infrastructures économiques (son utilisation est moindre dans les projets d'infrastructures sociales). Le cas le plus simple est naturellement celui du projet indépendant de tout autre projet, mais ce cas est relativement rare. Lors de l'analyse d'un projet, on devra toujours identifier et ce dès la première étape des études de maturation s'il existe des projets complémentaires, dépendants, concurrents ou incompatibles. [1]

## II-6 les étapes de maturation d'un projet de construction

Les trois étapes sont : une première étape dite d'études d'identification du projet, suivie d'une étape d'études de faisabilité, et enfin, une dernière étape d'études de préparation de la réalisation (et le cas échéant, de la gestion) du projet. A chacune de ces étapes sont examinés les aspects techniques, financiers, économiques et organisationnels du projet, ainsi que son impact environnemental et social, cet examen étant fait de manière de plus en plus détaillée au fur et à mesure d'une étape d'études à l'autre. Le passage d'une étape de maturation à la suivante est conditionné par le résultat satisfaisant de l'étape en cause. [1]

## II-7 différents sources d'inspiration des « projets de construction »

Les schémas directeurs sectoriels, qui sont des documents élaborés et mis à jour lorsque nécessaire par les ministères sectoriels et approuvés par le gouvernement, constituent la source principale des « idées de projet » sur lesquelles les maîtres d'ouvrage lancent la première étape des études de maturation des projets d'infrastructure économique et sociale. [1], [2]

Les idées de projet relatives à certaines infrastructures proviennent d'autres sources que d'une exploitation « mécanique » des schémas directeurs sectoriels nationaux. Certaines idées de projet nées en dehors des schémas directeurs nationaux et ceci soit chez les responsables locaux des administrations ou entreprises du secteur concerné, soit chez les responsables politiques locaux. [1], [2]

## II-8 Etudes d'identification

Les études d'identification à réaliser par les départements ministériels en charge des secteurs ou les maîtres d'ouvrage délégués, première étape des études de maturation d'un projet, ont trois objectifs essentiels :

- Eliminer dès ce stade certains projets qui ne présentent manifestement pas d'intérêt pour l'économie nationale, projets désignés souvent sous le terme « d'éléphants blancs » ;
- Définir l'impact des projets concurrents et des projets complémentaires sur l'intérêt du projet;
- Pour les projets dont il est reconnu à l'issue des études d'identification qu'ils sont susceptibles de présenter de l'intérêt pour l'économie nationale.

### II-8-1 Elimination « des idées de projet » lors des études d'identification

Une idée de projet d'infrastructure ne présente de prime abord pas d'intérêt pour l'économie nationale (et mérite alors d'être immédiatement éliminée) lorsque la nature et les besoins susceptibles d'être satisfaits par cette infrastructure dépassent manifestement et de manière importante l'étendue des besoins à satisfaire à moyen terme, même évalués avec beaucoup d'optimisme. [1], [2]

### II-8-2 Contenu des études d'identification d'un projet

Le contenu précis des études d'identification d'un projet d'infrastructure économique et sociale dépend naturellement du secteur en cause. Pour l'essentiel, selon des modalités à affiner pour chaque secteur, ces études traiteront des aspects suivants :

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	19
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### ❖ Objectifs et orientations générales

On examinera si le projet s'inscrit bien dans la politique sectorielle du gouvernement et, notamment, s'il est cohérent soit avec le schéma directeur national de développement des services et infrastructures du secteur en cause soit, le cas échéant, avec le schéma d'aménagement de la région ou de la grande agglomération dans laquelle il est implanté. On examinera - et il s'agit en général d'une évidence - si le projet considéré est un projet dépendant d'un autre projet (projet d'infrastructure, ou projet agricole, minier ou industriel). [1], [2]

### ❖ Etudes dites de clientèle

Une évaluation prévisionnelle préliminaire de la demande de services susceptibles d'être satisfaits par l'infrastructure projetée sera effectuée. Cette évaluation sera conduite à partir de données statistiques existantes ou à partir de comparaisons nationales ou étrangères. [1], [2]

### ❖ Etude technique préliminaire

L'étude technique préliminaire, esquisse la solution technique envisageable pour l'infrastructure, présente les grandes options technologiques envisageables, la capacité de l'infrastructure et identifie les principales variantes à la solution « de référence ». Le contenu et les échelles d'étude des ouvrages de l'étude technique préliminaire dépendent de l'infrastructure considérée ; elles font en général l'objet d'une normalisation. [1], [2]

### ❖ Analyse financière préliminaire

L'analyse financière préliminaire donne une estimation préliminaire des flux de dépenses (investissement et exploitation) et de recettes associés au projet ; elle est conduite selon la méthode dite d'analyse financière «sommaire », y compris pour les infrastructures, dont la gestion sera effectuée par une entreprise à gestion autonome. L'étude technique préliminaire permettra de donner une première évaluation des coûts d'investissement. [1], [2]

### ❖ Analyse économique préliminaire

A chaque fois que les données disponibles le permettront, on mènera une analyse économique quantitative préliminaire sommaire du projet.

Cette analyse s'appuiera notamment sur les éléments de l'analyse financière mentionnés ci-dessus, ainsi que sur les retours d'expérience provenant d'autres projets équivalents ou sur les données généralement admises par les experts du secteur considéré. Elle s'efforcera de donner une évaluation de l'ordre de grandeur des indicateurs de rentabilité, notamment lorsqu'il y a à choisir entre grandes variantes de conception susceptibles de satisfaire les besoins auxquels le projet se propose de répondre.

❖ **Identification des impacts majeurs du projet en matière environnementale et Sociale**

Au stade des études d'identification, on se contentera de lister les impacts (ou risques) importants que le projet est susceptible d'avoir en matière environnementale et sociale. Il ne sera pas procédé à l'étude des mesures de mitigation de ces impacts, qui sera conduite au stade des études de faisabilité. [1], [2]

❖ **Préparation des termes de référence et évaluation du coût des études de faisabilité projet**

La préparation des termes de référence des études de faisabilité du projet constitue la dernière tâche à réaliser par le maître d'ouvrage au titre des études d'identification, lorsque le jugement d'ensemble porté sur le potentiel du projet est positif. [1], [2]

**II-9 Etudes de faisabilité**

Les études de faisabilité, deuxième étape des études de maturation, sont effectuées sur un projet dont les études d'identification ont montré qu'il présentait un intérêt potentiel pour la collectivité nationale. Ses objectifs essentiels, pour partie interdépendants, sont les suivants :

- Confirmer (ou, le cas échéant, infirmer) l'opportunité du projet pour la collectivité nationale et permettre ainsi à l'Etat de prendre en toute connaissance de cause une décision de principe quant à la réalisation des investissements ;
- Confirmer que le projet est viable (« faisable ») sur le plan technique, financier, économique, environnemental et organisationnel,
- Sélectionner, parmi les différentes variantes du projet, la variante la plus appropriée ;
- Définir et optimiser les caractéristiques techniques principales des ouvrages à réaliser au titre du projet. [1], [2]

### II-9-1 le contenu des études de faisabilité d'un projet de construction

Les aspects examinés par les études de faisabilité sont, pour la plupart, les mêmes que ceux examinés au titre des études d'identification. Mais là où les études d'identification se contentaient d'une analyse quantitative grossière, voire même d'une analyse essentiellement qualitative, menées souvent dans l'esprit du « bon sens sectoriel », les études de faisabilité présentent à chaque fois que possible des études quantitatives détaillées. Pour l'essentiel, les aspects traités sont les suivants :

#### ❖ Dispositions institutionnelles

Les études d'identification ont déjà déterminé les dispositions institutionnelles de principe pour la maturation, la réalisation des investissements et la gestion de l'infrastructure. Le maître d'ouvrage du projet a déjà été désigné et le futur gestionnaire de l'infrastructure a également déjà été identifié. Les études de faisabilité développeront alors les dispositions de principe relatives à la gestion de l'infrastructure.

#### ❖ Etudes de clientèle et la capacité des infrastructures de base des projets

La fiabilité des prévisions de services rendus par l'infrastructure (études de clientèle) constitue la clé du dimensionnement technique des ouvrages et de l'analyse financière et économique du projet. Au titre des études de faisabilité, une étude détaillée de la clientèle prévisionnelle du projet sera menée pour les infrastructures économiques et sociales, l'estimation des besoins faite au stade des études d'identification ne sera qu'affinée en tant que besoin. A partir des résultats des études de clientèle, l'étude de faisabilité définira le programme et la capacité des infrastructures de base et équipements associés du projet. [1], [2]

#### ❖ Etude technique d'avant-projet sommaire

L'étude d'avant-projet sommaire (APS) a pour objet de mettre au point la solution technique à retenir pour l'infrastructure (notamment après comparaison des variantes pour choisir la solution la plus appropriée), à déterminer le calendrier prévisionnel d'exécution, et à chiffrer le coût prévisionnel d'investissement et d'exploitation. L'APS développe et précise l'étude technique préliminaire élaborée au titre des études d'identification. Le contenu et les échelles d'étude de l'APS dépendent de l'infrastructure considérée et, comme pour les études techniques préliminaires, font en général l'objet d'une normalisation. [1], [2]

### ❖ Définition des caractéristiques des équipements associés

Dans le cas où les équipements associés à l'infrastructure de base sont à l'usage exclusif de l'infrastructure de base (par exemple le matériel roulant d'un projet de métro ou de tramway ou les équipements d'imagerie médicale pour un hôpital), les caractéristiques principales de ces équipements seront définies simultanément aux études d'avant projet sommaire de l'infrastructure de base proprement dite.

### ❖ Analyse financière

L'analyse financière menée au stade de l'étude de faisabilité donne une estimation détaillée des dépenses (investissement y inclus expropriation et indemnisation et exploitation) et des recettes associées au projet.

### ❖ Analyse économique détaillée

L'analyse économique est le déterminant prédominant de l'opportunité de la réalisation du projet du point de vue de la collectivité nationale. Une analyse économique détaillée du projet d'infrastructure économique sera conduite au titre des études de faisabilité. [1], [2]

### ❖ Etude d'impact environnemental et social

Ces études d'impacts sur l'environnement sont menées de façon plus détaillées.

## II-9-2 Méthodes et délais de réalisation des investissements

Au stade des études de faisabilité, on arrêtera les méthodes générales de réalisation des investissements, en particulier en ce qui concerne les principes d'allotissement des marchés (fera-t-on appel à une réalisation de type « clés en mains » ou, dans le cas contraire, quels seront les principaux lots retenus), sans toutefois entrer dans le détail de cet allotissement, qui sera examiné au stade des études de préparation de la réalisation des investissements. Un planning prévisionnel sommaire de réalisation des investissements sera également préparé. [1], [2]

## II-9-3 Jugement d'ensemble sur l'opportunité et la faisabilité du projet

A la lumière des résultats de l'ensemble des modules d'études décrits ci-dessus, le maître d'ouvrage portera un jugement d'ensemble sur l'opportunité et la faisabilité du projet et sur la nature de la variante du projet à retenir. [1], [2]

## II-9-4 Préparation des termes de référence et estimation du coût

La préparation des termes de référence des études de préparation de la réalisation des investissements et l'estimation de leur coût constituent la dernière tâche à réaliser au titre des études de faisabilité ; cette tâche n'est naturellement entreprise que lorsque les études

ont confirmé l'opportunité et la faisabilité du projet. Le canevas général des termes de référence découle directement du contenu des études de préparation à la réalisation qui sera évoqué plus loin. [1], [2]

### **II-9-5 La différence entre un projet d'infrastructure sociale et économique**

Les études de faisabilité des grands projets d'infrastructure sociale (équipements de santé et d'enseignement supérieur) diffèrent des études de faisabilité des grands projets d'infrastructure économique (transport et hydraulique) sur plusieurs aspects de principe importants. Ces différences découlent de la nature même des projets en cause :

- Les grands projets d'infrastructure sociale ne font pas l'objet d'étude de clientèle à proprement parler,
  - Les grands projets d'infrastructure sociale ne font pas l'objet d'analyse économique.
- [1], [2]

### **II-10 Etudes de préparation de la réalisation des investissements**

Les études de préparation de la réalisation des investissements d'un grand projet d'infrastructure économique et sociale sont effectuées sur un projet dont les études de faisabilité ont confirmé l'opportunité et la faisabilité de la réalisation. Ses objectifs essentiels sont les suivants :

- Arrêter la configuration technique détaillée définitive des ouvrages à réaliser ;
- Confirmer avec une incertitude n'excédant pas en général 10% le cout de réalisation des investissements du projet ;
- Préparer les dossiers d'appel d'offres relatifs aux principaux marchés de réalisation ;
- Identifier et délimiter les terrains à libérer et à acquérir pour la réalisation du projet ;
- Définir les structures et modalités de gestion de la réalisation du projet.

#### **II-10-1 Le contenu des « études de préparation de la réalisation » d'un projet**

Les études de préparation de la réalisation des investissements d'un grand projet d'infrastructure économique et sociale comprennent dans la plupart des cas les modules suivants :

##### **❖ Etude technique d'avant-projet détaillé**

L'étude d'avant-projet détaillé (APD) a pour but d'arrêter de manière définitive la configuration technique détaillée du projet ou sa conception architecturale et technique pour un bâtiment, à en chiffrer le coût prévisionnel avec une précision d'environ +/- 10%, à affiner le calendrier prévisionnel de réalisation, et de servir de base à la confection des

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	24
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

dossiers d'appel d'offres pour la réalisation et à l'identification et à la délimitation des terrains à libérer et à acquérir. [1], [2]

❖ **Préparation des caractéristiques des équipements associés**

Les caractéristiques des équipements associés à l'infrastructure de base (matériel roulant dans un projet de métro ou de tramway, équipements médico-sociaux dans le cas d'un hôpital, etc.) seront définies au niveau de détail nécessaire à leur acquisition. [1], [2]

❖ **Enquête parcellaire**

L'étude d'APD permettra de définir les terrains dont l'acquisition est nécessaire pour l'implantation des ouvrages du projet (infrastructure économique). Les terrains seront délimités et leurs propriétaires seront identifiés de manière à préparer le processus de libération et d'acquisition. [1], [2]

❖ **Allotissement des travaux et fournitures et préparation des DAO**

L'allotissement détaillé des travaux (infrastructure de base) et fournitures (équipements associés) sera arrêté en détail (les études de faisabilité s'étaient contentées de définir des principes d'allotissement). Pour chaque lot de travaux et de fournitures, les dossiers d'appel d'offres seront préparés. [1], [2]

❖ **Plan de passation des marchés**

Le plan de passation des marchés du projet est préparé à partir de l'allotissement. Le plan de passation des marchés comporte la liste exhaustive des marchés à passer au titre de la réalisation du projet (autres que les « petits » marchés, dont le montant prévisionnel est inférieur à un montant donné à définir projet par projet). Pour chaque marché sont notamment indiqués le montant prévisionnel du marché, le mode de passation (appel d'offres international ou national, ouvert ou restreint, consultation, négociation directe.), la date prévisionnelle de lancement de l'appel d'offres ou de la consultation, la date prévisionnelle d'entrée en vigueur du marché, la durée prévisionnelle d'exécution du marché. [1], [2]

❖ **Modalités de gestion de la réalisation des investissements**

Les structures chargées au sein de l'organisme assurant la maîtrise d'ouvrage (Ministère ou organisme public) de la réalisation des projets seront définies ; il s'agira le plus souvent d'une unité de projet, dirigée par un Chef (ou Directeur) de projet. Les attributions et l'organisation interne de l'unité de projet seront précisées. Les liens avec les autres structures du maître d'ouvrage seront définis. [1], [2]

❖ **Les études de préparation de la réalisation et l'analyse financière ou économique**

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	25
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

L'analyse financière et économique du projet a été conduite au stade des études de faisabilité. Il n'y a ainsi pas lieu de revenir sur ces études, sauf dans le cas où l'estimation des coûts d'investissement du projet tel qu'il découle de l'étude d'Avant-projet détaillé (APD) excéderait sensiblement l'estimation effectuée dans l'Avant-projet sommaire (APS).

## **II-11 La phase de réalisation d'un projet de construction**

### **II-11-1 Introduction**

La réalisation d'un grand projet d'infrastructure économique et sociale constitue, après la phase de maturation au cours de laquelle les caractéristiques du projet ont été définies, la seconde étape du « cycle du projet ». Elle consiste en la construction proprement dite du projet, l'acquisition des équipements associés, leur installation et mise en marche, ainsi que la formation du personnel à l'exploitation. [3]

### **II-11-2 Suivi de l'exécution du plan de passation des marchés (PPM)**

Pour chaque marché, le maître d'ouvrage prépare les différentes phases suivantes :

1. Préparation du dossier d'appel d'offres ;
2. Lancement de l'appel d'offres ;
3. Evaluation des offres ;
4. Mise au point du marché. [3]

### **II-11-3 Suivi de l'avancement physique et délais de la réalisation**

Le devis quantitatif et estimatif du marché spécifie le volume prévisionnel des travaux et prestations à exécuter. Au titre du suivi, le maître d'ouvrage suit l'avancement physique des travaux. Le maître d'ouvrage suit également l'état d'avancement et les difficultés éventuelles rencontrées dans la réalisation du projet. [3]

### **II-11-4 Réévaluation et restructuration d'un projet**

Par « réévaluation » d'un projet, on entend une augmentation du montant de l'autorisation de programme inscrite à la nomenclature des dépenses d'investissement public de l'État, sans que la configuration du projet ne soit modifiée de manière significative, tant en ce qui concerne la « clientèle » du projet que la configuration technique du projet telle que prévue par les études de maturation.

Par « restructuration », on entend une modification de la configuration technique du projet, avec ou sans modification de l'autorisation de programme inscrite à la nomenclature des dépenses d'investissement de l'État. [3]

## **II-12 la phase exploitation ou l'évaluation rétrospective**

### **II-12-1 Introduction**

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	26
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

L'évaluation rétrospective clôt le cycle de maturation et de réalisation des grands projets d'infrastructure économique et sociale. Elle vise à examiner dans quelle mesure les objectifs arrêtés lors de l'inscription d'un projet au budget d'équipement de l'État ont été atteints, à confronter les réalisations aux prévisions, à évaluer de façon homogène les écarts et à expliciter les causes de ces écarts. L'évaluation vise aussi à tirer des leçons de portée générale permettant d'améliorer la préparation et la conduite des projets, dans un souci permanent d'efficacité de la dépense publique. [4]

### **II-12-2 Objectifs principaux de l'évaluation rétrospective**

De manière générale, l'évaluation rétrospective d'un projet entend :

- Constaté et évaluer les performances et résultats en matière de réalisation et d'exploitation du projet afin de juger dans quelle mesure le projet a contribué aux différents objectifs assignés ;
- Expliquer les écarts entre la réalité constatée et les prévisions ;
- Identifier et disséminer les leçons à tirer de la conception et de la réalisation du projet en vue de perfectionner les méthodes des études de maturation et de réalisation des grandes infrastructures. [4]

### **II-12-3 Description et réalisation du projet**

Les données de base permettant d'identifier le projet sont à rechercher essentiellement dans les dossiers des études de maturation (principalement les rapports des études de faisabilité), le cas échéant telles que modifiées en cours de réalisation de l'infrastructure quand des changements majeurs ont été apportés à la conception du projet et des compléments de financement ont été attribués à l'opération. La description sommaire se limitera aux grandes caractéristiques du projet tel que réalisé. Les numéros d'opération et d'inscription à la nomenclature sont ceux attribués par le ministère des Finances. [4]

### **II-12-4 Définition des critères d'évaluation du succès du projet**

Ces critères doivent d'abord permettre d'évaluer le succès ou l'insuccès du projet, et aussi (retour d'expérience) de mesurer l'écart entre les prévisions élaborées dans la phase de maturation et la réalité constatée ex-post sur le terrain. [4]

### **II-12-5 Evaluer le succès ou l'insuccès du projet**

Pour cet objectif, cinq critères seront utilisés :

- L'atteinte des objectifs généraux fixés au projet, indépendamment des coûts d'investissement et d'exploitation ;

- L'efficacité du projet, mesurée en comparant les avantages économiques du projet avec les coûts. Elle correspond donc à la rentabilité socioéconomique du projet ;
- La viabilité financière du projet. Elle dépend de la rentabilité financière qui mesure la couverture des dépenses par les recettes dans le cas d'une gestion publique et du taux de rentabilité ;
- La durabilité du projet. Elle correspondra notamment au respect des engagements environnementaux et sociaux ;
- L'impact sur le développement économique et l'aménagement du territoire. [4]

#### **II-12-6 Pour mesurer l'écart entre les prévisions et la réalité ultérieure**

Pour mesurer cet écart quatre critères seront utilisés:

- La comparaison des coûts de construction et d'exploitation ;
- La comparaison des clientèles prévues et constatées ;
- La comparaison entre la rentabilité financière attendue et celle réalisée ;
- La comparaison entre la rentabilité économique attendue et celle réalisée. [4]

#### **II-13 Introduction sur la méthodologie d'une étude autoroutière**

Ce sous-chapitre consiste à présenter la méthodologie d'exécution d'une étude autoroutière ainsi qu'un la méthodologie de suivi et assistance technique de réalisation. La section autoroutière choisie fait partie du projet de l'autoroute Est-Ouest « Limite Ouest Wilaya de Relizane (El Ghomri)-Echangeur Bretelle d'Oran (Zahana) sur 60 Km. [18]

#### **II-14 Description du projet**

Les données de l'étude préliminaire et les reconnaissances du site ont permis de retenir deux variantes de couloir. Les deux variantes sont situées au Nord de la RN 4 et au Sud du tracé autoroutier initial, elles prennent origine au niveau de la ville de Relizane sur 27 km et prennent fin au niveau de l'échangeur prévu au lieu dit la « mare d'eau » (début du tracé relatif à la section : Bretelle d'Oran sur 27 Km). [18]

#### **II-15 Détails méthodologiques**

Conformément aux termes de référence, la présente méthodologie définit la démarche globale de l'étude et la consistance des prestations attendues :

**Etude d'avant projet sommaire ;**

**Etude d'avant projet Détaillé (contenant) ;**

**Une étude Environnementale ;**

**Une étude Economique.**

## II-15-1 Etude d'avant projet sommaire

Sur la base du couloir de tracé de l'étude préliminaire, le bureau d'étude exécute pour la phase de « l'étude d'avant projet sommaire » et ce, conformément aux prescriptions des termes de références, les prestations suivantes :

- Etudes techniques ;
- Etudes d'impacts sur l'environnement ;
- Etudes de trafic ;
- Etudes économiques ;
- Comparaison technico-économique des variantes ;
- Elaboration et édition du dossier final des études d'APS. [18]

### ❖ Collectes de documents et données préliminaires.

Le bureau d'étude procède en premier lieu, à l'examen de tous les documents, plans, mémoire de l'étude préliminaire et prendra note de tous les aspects de l'étude après quoi une visite de site s'avère nécessaire pour une bonne localisation du projet. [18]

### ❖ Etude topographique sommaire

Au stade de cette phase d'étude d'avant projet sommaire et après avoir étudié les deux variantes de couloir par photo-interprétation au 1/25 000. Les travaux topographiques à effectuer ont pour objectif principal, la présentation et restitution de documents cartographiques à l'échelle 1/5 000 des deux variantes du couloir. [18]

### ❖ Etude géologique et géotechnique sommaire

Au début du projet l'équipe géotechnique effectuera une récolte d'informations, de documents géologiques et géotechniques existants avec interprétation de ces documents et des photographies aérienne et ceci pour les des deux variantes de couloir afin de :

Du point de vue géologique :

- Établir une carte géologique sommaire de région concernée par le projet ;
- Établir une carte géologique sommaire des variantes du couloir ;
- Définir les zones apparemment homogènes ;
- D'identifier les zones potentielles de gîtes de matériaux routiers.

Du point de vue Géotechnique :

- Déceler les zones difficiles (zones compressibles, zones de glissement etc.) ;
- De relever les points singuliers (écoulements de zones d'inondations) ;
- D'identifier les zones potentielles de gîtes de matériaux routiers ;
- D'identifier les principales difficultés géotechniques (portance des sols, stabilité des talus, érosion etc.). [18]

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	29
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

Un programme d'investigations géotechniques sera établi et soumis au laboratoire pour exécution en phase d'avant projet détaillé.

A l'issue de cette tâche, le bureau d'étude fournit et ce, conformément aux prescriptions du cahier des charges :

- La cartes géologique au 1/50 000 ou 1/25 000 pour la carte générale de chaque variante et au 1/5 000 pour les zones difficiles ;
  - D'identifier les zones potentielles de gîtes de matériaux routiers. [18]
- ❖ **Aspect environnement**

Pour les deux variantes de couloir :

L'analyse sommaire de l'état initial en l'absence de projet porte sur :

- Le milieu physique à travers le climat, la géologie, l'hydrographie et la pédologie ;
- Le milieu biologique notamment la faune et la flore ;
- Le milieu humain et son organisation.

L'analyse sommaire des impacts porte sur :

- L'identification des impacts primaires, impacts induits et de synergie ;
- La description de ces impacts (milieux touchés, mécanisme générateur, changement apporté par rapport à la situation sans projet) ;
- L'évaluation de ces impacts (ampleur, durée, périodicité, probabilité d'occurrence, sensibilité des milieux touchés, possibilité de solution de remplacement...).
- Le classement des ouvrages (sensibles, courants et neutres). [18]

❖ **Evaluation économique et financière des variantes de couloir**

1 Méthodologie de l'étude de rentabilité économique et financière.

1.1 Critère d'évaluation :

- Etude de rentabilité économique :

Le critère d'évaluation retenu est celui du taux de rendement interne pour la collectivité, c'est-à-dire le taux de d'actualisation qui annule le bénéfice actualisé généré par l'investissement envisagé au cours de la période d'étude. [18]

-Etude de rentabilité financière :

Le critère d'évaluation retenu est également le taux de rendement interne mais du point de vue du gestionnaire. Le principe d'évaluation est le même que dans le cas de la rentabilité économique si ce n'est que l'on ne s'intéresse, cette fois, qu'à l'ensemble des coûts supportés par le gestionnaire et à l'ensemble de ses revenus. [18]

## 2. Définition du cadre de l'étude :

2.1 Définition de la situation de référence (sans le projet)

2.2 Définition de la situation avec le projet :

2.3 Le trafic prévisible.

2.4 La période considérée. [18]

### ❖ Comparaison technico-économique avec détermination de la variante optimale

Le bureau d'étude aura à examiner les deux variantes situées dans le couloir du tracé arrêté lors de l'étude préliminaire. Une comparaison multicritère entre les deux variantes de tracé lors de la phase sus citée et basée sur méthode d'analyse universelle et fiable et au final cela permettra au bureau d'étude de proposer parmi les ces deux variantes celle qui répond au mieux aux critères cités ci-dessous:

**1. Analyse des aspects socio-économiques,**

**2. Analyse des aspects environnementaux.**

A l'issue de cette tâche, le bureau d'étude élaborera et ce, conformément aux prescriptions du cahier des charges :

- Une fiche regroupant pour chaque variante, et sous une forme synthétique les principales caractéristiques (les localités traversées, linéaire, contraintes..) ;
- Un plan de situation au 1/50 000.

### ❖ Recherche et détermination de variantes de tracé.

Les éléments constituant les caractéristiques du tracé sont les suivants :

- La conception géométrique,
- Les tracés en plan et profils en long,
- Profil en travers type,
- La conception des échangeurs,
- La conception du tracé autoroutier,
- La conception des ouvrages d'Art et ouvrages non courant,

A l'issue de cette tâche, le bureau d'étude élabore et ce conformément aux prescriptions du cahier des charges :

- Le tracé des variantes défini sur un plan générale au 1/5 000 et 1/ 2 000 en zone dense ;
- Les profils en long, dont les longueurs dressées à l'échelle du plan général et la hauteur à une échelle appropriée facilitant l'interprétation ;
- Les profils en travers types au 1/100 ou au 1/200 ;

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	31
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Les rétablissements des communications et échangeurs : les schémas des échangeurs représentés sur des plans 1/ 2000 avec les profils en long ;
  - Les installations annexes (haltes de repos, de restauration, centre d'entretien....) ;
  - Plans sommaire et descriptif, leurs espacements théoriques à proposer sur l'itinéraire, en fonction des sites. [18]
  - Ainsi qu'une étude sommaire sur les aires annexes autoroutières (aire de repos, aires de service, halte simple, halte avec restauration....) est à établir. [18]
- ❖ **Elaboration du dossier final des études d'avant projet sommaire**

L'étude d'APS traitant de tous les aspects techniques, est sanctionnée quant à elle par un dossier comprenant le rapport explicatif et descriptif et les pièces graphiques contenant tous ces derniers :

- Une fiche regroupant pour chaque variante, et sous une forme synthétique les principales caractéristiques (les localités traversées, linéaire, contraintes particulières.....) ;
- Un plan de situation au 1/50 000 eme ;
- Le tracé des différentes variantes défini sur un plan générale au 1/5 000 et 1/ 2 000 en zone dense ;
- Les profils en long, dont les longueurs dressées à l'échelle du plan général et la hauteur à une échelle appropriée facilitant l'interprétation ;
- Les profils en travers types au 1/100 ou au 1/200 ;
- Les rétablissements des communications et échangeurs : les schémas des échangeurs représentés sur des plans 1/ 2000 avec les profils en long ;
- Les installations annexes (haltes de repos, de restauration, centre d'entretien....) ;
- Plans sommaire et descriptif, leurs espacements théoriques à proposer sur l'itinéraire, en fonction des sites ;
- Ainsi qu'une étude sommaire sur les aires annexes autoroutières (aire de repos ; aires de service, halte simple, halte avec restauration....) est à établir. [18]

## **II-15-2 Etude d'avant projet détaillée**

### ❖ **Etude topographique**

Le bureau d'étude effectue un levé topographique détaillé pour chacune des sections de la route du cheminement sélectionné. Ce levé direct du terrain, selon le couloir du tracé arrêté en APS, est réalisé par le bureau d'étude comme suit :

- Implantation et l'observation d'une polygonale de base en NGA ;
- Cette polygonale servira au levé de détails à l'échelle 1/1000, sur ce dernier seront relevés les points obligés et obstacles conditionnant le choix de l'axe ;

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	32
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Le levé sera fait sur une bande d'environ 200 m pour l'étude APD ;
- La densité des points est de l'ordre de (30) points à l'hectare ou plus ;
- Le traitement, interprétation, calcul et sorties cartographiques (dessins et plans).

[18]

A l'issue de cette phase le bureau d'étude fourni et ce, conformément aux prescriptions des termes de référence du cahier des charges :

- Le listing des points de polygonations (x, y, z) ;
- Les plans au 1/1000 de la polygonale de base ;
- Le rapport d'interprétation.

#### ❖ Etude d'impact sur l'environnement

- Objectif de l'étude :

L'objectif d'une « étude d'impact sur l'environnement » pour construction des infrastructures d'une autoroute est d'intégrer les phases d'identification, de conception et d'exécution des travaux ainsi que pendant l'exploitation de la route. Ceci dans un but de garantir la durabilité des infrastructures ainsi réalisées dans le strict respect de l'environnement et des dispositions de la réglementation en vigueur. [18]

A) Une analyse de l'état initial ;

B) L'analyse des sensibilités ;

Une analyse des impacts sur l'environnement :

Phase de construction ;

Phase d'exploitation.

C) Les mesures envisagées :

Phase de construction ;

Phase d'exploitation.

D) Rapports des étapes de l'étude d'Impact sur l'environnement :

A la fin de chaque phase de l'étude d'impact sur l'environnement, le bureau d'étude remet à l'administration un rapport d'étude détaillé pour approbation :

- Le résumé de l'EIE (rapport de synthèse) qui comprend un rappel des éléments pertinents de l'étude qui illustrent comment la réalisation du projet tient compte des principes du développement durable ;
- Le bureau d'études inclut dans le rapport de synthèse, des recommandations claires et si possibles ne prenant à aucune équivoque pour les entrepreneurs en matière de protection de l'environnement ;

- rédige des recommandations à l'administration sous forme d'articles à insérer dans le futur contrat entre l'administration et l'entreprise en matière de protection de l'environnement. [18]

❖ **Etude économique**

Introduction :

L'étude autoroutière vise à atteindre les objectifs suivants :

- Offrir un niveau de service assurant la circulation des personnes, des biens et des marchandises en tout temps ;
- Désenclaver une zone de production agricole en assurant des accès permanents aux centres de commercialisation ;
- Eventuellement renforcer les échanges avec les pays riverains en offrant des facilités d'accès. [18]

L'objet de l'étude est la justification économique du projet autoroutier, par méthode coût/avantages. Analyse de trafic aura pour but de déterminer le trafic actuel et futur sur l'autoroute et de définir la structure des échanges, la nature et le volume des marchandises transportées. A cet effet, des comptages de trafic et des enquêtes Origine-Destination seront organisés durant une semaine, avec des postes d'enquêtes et de comptage répartis sur l'aire d'étude de manière à intercepter tout les flux de trafic empruntant l'autoroute en projet. [18]

❖ **Etudes géologiques**

Lot route :

Sur les documents topographiques levés spécialement pour les études de tracé, l'expert en géotechnique du bureau d'étude établit une carte géologique plus précise que celle établie à l'occasion de l'étude d'APS et donnera les éléments nécessaires à l'établissement d'un profil en long.

Lot ouvrages d'art :

Pour l'étude géologique, le bureau d'étude procède à des investigations au niveau des ouvrages d'art pour permettre de :

- Préciser la succession et la configuration des différentes couches de sols, notamment leurs continuités ;
- Préciser le réseau des fissures et de diaclases dans le cas d'une fondation sur sol rocheux et de déterminer leurs propriétés physiques et mécaniques significatives aux regards du problème posé (cas d'une fondation superficielle ou profonde) ;
- Apprécier la plus ou moins la grande hétérogénéité du site. [18]

❖ **Etudes géotechniques**

A) Lot route :

Au début du projet l'équipe géotechnique effectue une reconnaissance générale de la liaison en vue :

- D'établir un schéma itinéraire de l'état de l'autoroute ;
- D'écrire sommairement les sols du tracé ;
- De relever les points singuliers (écoulements zones d'inondation) ;
- D'identifier les zones potentielles de gîtes de matériaux routiers ;
- D'identifier les principales difficultés géotechniques (stabilité des talus, etc....).

Sur la base de cette reconnaissance et éventuellement des résultats des campagnes antérieures et sous la supervision du chef de mission du bureau d'étude, le programme d'investigations géotechniques initialement proposé lors de la première phase (études d'avant projet sommaire) est affiné et soumis au laboratoire pour exécution.

B) Lot ouvrages d'art :

Reconnaissance de carrières et de granulats pour béton.

C) Lot recherche de gites à matériaux

Reconnaissance des matériaux d'emprunt pour terrassement.

D) Etudes géotechniques spécifiques.[18]

❖ **Etudes hydrologiques, hydrauliques et assainissement**

Lors de la visite de site, l'ingénieur hydraulicien, appuyé par un ingénieur structure, recense et relève les caractéristiques suivantes des ouvrages projetés :

- Connaître le niveau de la nappe phréatique ainsi que les fluctuations saisonnières ou de mesurer les débits des écoulements ;
- L'existence éventuelle des cavités souterraines sous la fondation ;
- La présence d'eaux agressives dans le sol. [18]

A cet effet, L'étude hydrologique doit contenir comme suit :

- 1- Fichier pluviométrique pour les stations de la région d'étude et zones limitrophes ;
- 2- Fichier des caractéristiques climatologiques (températures ; humidité ; nébulosité ;
- 3- Fichier hydrologique (idem fichier pluviométrique) pour les stations représentatives ;
- 4- Fichiers des forages avec qualité des eaux ;
- 5-Délimitation des Bassins Versants ;
- 6-Traitement de l'information hydrologique existante. [18]

❖ **Etude géométrique**

A) Lot route :

Etude géométrique du tracé autoroutier :

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	35
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

Cette phase d'étude consiste à une étude du tracé autoroutier dont l'objectif est de faire, après une reconnaissance détaillée du site, d'effectuer, une évaluation du tracé en plan, profil en long et du profil en travers à retenir selon le volume et la nature des terrassements ainsi que l'évaluation des zones d'emprunts et de dépôts en relation avec les volumes de terrassement et des études d'impact. [18]

A l'issue de cette tâche, le bureau d'étude fournit et ce, conformément aux prescriptions des termes de référence du cahier des charges :

- Un rapport explicatif ;
- Un plan général au 1/25 000 ;
- Les tracés en plan au 1/1 000 ;
- Les profils en long au 1/1 000 et 1/100 ;
- Les profils en travers courants au 1/100 ;
- Les plans de côtes de revêtement (si nécessaire) ;
- Une liste des ouvrages d'art ;
- Le listing de piquetage ;
- Les Métrés ;
- L'estimation des travaux sur la base des prix unitaires en vigueur.

B) Etudes annexes au tracé :

Etude d'assainissement et de drainage des eaux pluviales,

Etudes de contraintes et réseaux divers ;

Etudes des ouvrages courants et dalots ;

Signalisation routière ;

Etudes détaillées des échangeurs ;

Etudes parcellaires.

C) Lot ouvrages d'art :

A partir des éléments géométriques fournis par l'étude routière, l'étude hydrologique et également géotechnique, le bureau d'étude arrête la conception des ouvrages d'art tels que : Murs de soutènements, ouvrages d'art non courants et viaducs et ceci en tenant compte de l'économie globale du projet. [18]

A l'issue de cette tâche, le bureau d'étude fournit et ce, conformément aux prescriptions des termes de références du cahier des charges :

- Un rapport de présentation des ouvrages (situation, type, portée etc...) ;
- Des plans de situation des ouvrages du tronçon à l'échelle 1/25 000 ;

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	36
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Un plan général pour chaque ouvrage au 1/1 000 et 1/50 ;
- Une vue en élévation au 1/100 ou 1/200 ;
- Une vue en plan au 1/100 ou 1/200 ;
- Une coupe longitudinale au 1/100 ou 1/200 ;
- Une coupe transversale du tablier niveau des appuis, poutres...) au 1/25 et 1/10 ;
- Les plans d'équipement (gardes corps, corniches...) au 1/50 ;
- Une note explicative (hypothèse de calcul, matériaux utilisés, type de fondation proposée, coupes lithologiques) ;
- La quantité des matériaux et les coûts d'exécution estimés sur la base des prix unitaires en vigueur ;
- Une justification de dispositions adoptées pour les fondations des ouvrages avec les coupes de sondage et les rapports géotechniques. [18]

### **II-16 Elaboration dossier d'appel d'offre de l'avant projet détaillé**

A cet effet, Les documents à fournir pour l'élaboration du dossier d'appel d'offre par le bureau d'étude sont les suivants [18] :

#### **Etudes techniques :**

Etude topographique ;

Etude géotechnique ;

Etude hydraulique ;

Etude économique et financière ;

#### **A) Pour le lot route :**

Pièces graphiques,

Pièces écrites.

#### **B) Pour le lot ouvrages d'art :**

Pièces graphiques,

Pièces écrites. [18]

### **II-17 Introduction sur la méthodologie d'un suivi d'une autoroute**

Cette méthodologie a été présentée dans le cadre du projet du contrôle et la surveillance des travaux du lot unique (routes et ouvrages d'art) relatif à la réalisation du tronçon autoroutier entre Zenouna et B.B.A sur 18 Km.

### **II-18 Description et consistance physique du projet**

L'objet de cette consultation sélective prévoit le contrôle et la surveillance des travaux du lot unique (routes et ouvrages d'art) entre Zennouna et BBA sur 18 Km qui fait partie intégrante du lot Est de l'Autoroute Est- Ouest. [18]

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	37
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## II-19 Description générale des taches

Le bureau d'étude, représenté par son équipe d'ingénieurs résidents, est responsable de la surveillance des travaux de construction afin de garantir que :

- ✓ Le travail soit exécuté en conformité avec le contrat ;
- ✓ La qualité de la prestation pour tous les travaux effectués soit conforme aux spécifications du contrat de réalisation ;
- ✓ Le travail soit exécuté par l'entrepreneur dans le respect des normes en vigueur ;
- ✓ Le personnel déployé et les moyens mobilisés ainsi que l'organisation mise en œuvre par l'entrepreneur soient adéquats pour l'exécution des travaux prévus ;
- ✓ Les normes de qualité soient respectées ;
- ✓ Les réglementations en matière de législation, de médecine et de sécurité du travail soient respectées. [18]

## II-20 Description des principales taches à exécuter

Les trois missions du bureau d'étude sont les suivantes :

- Mission 01 : Approbation des études d'exécution et contrôle statique des ouvrages d'art ;
- Mission 02 : Contrôle et surveillance pendant les travaux ;
- Mission 03 : Dossier de recollement et archivage. [18]

## II-21 Approbation des études d'exécution

Les tâches décrites ci-après consisteront à contrôler, vérifier, modifier et approuver les documents de l'étude d'exécution préparés par l'entrepreneur ou son groupement. Ces documents constitueront, après approbation, la base pour les travaux sur chantier :

- **Transmission des documents de l'étude d'exécution ;**
- **Evaluation et vérification des plans d'exécution ;**
- **Modifications et adaptation des plans d'exécution ;**
- **Approbation des documents.**

## II-22 Contrôle et surveillance pendant les travaux

L'équipe d'ingénieurs et d'experts résidents est sur le chantier en permanence afin d'assurer sa mission de surveillance des travaux. L'équipe a pour rôle d'assurer les tâches suivantes :

- **Conformité de l'exécution selon plans et recommandations ;**
  - Aspect topographique ;
  - Aspect structural ;
  - Aspect géotechnique et laboratoire.

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	38
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- **Organisation et gestion des chantiers ;**
- **Rapports de suivi et contrôle des travaux ;**
  - Etablissement des rapports mensuels,
  - Etablissement de rapports spéciaux :  
Le rapport de fin chantier  
Un rapport de clôture de chantier.

### **II-23 Dossier de recollement et archivage**

Les jeux de plans de recollement, en nombre requis, est mis à la disposition de l'administration au terme des travaux après leur contrôle par le bureau d'étude.

### **II-24 Contrôle de qualité**

Dans le cadre de la mission « contrôle et suivi des travaux », le laboratoire doit être doté du matériel approprié pour l'exécution de la mission de contrôle. [18]

# CHAPITRE III

## Le processus BIM ou l'ingénierie de simultanéité

### III-1- Introduction générale

Le BIM est une méthode de travail permettant de partager des informations fiables via une approche collaborative tout au long des phases d'un projet (conception, réalisation, exploitation, démolition). Ce processus de travail collaboratif se fait autour de la maquette numérique paramétrique 3D qui contient des données intelligentes et structurées. La maquette numérique est une représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles du bâtiment ou l'infrastructure. A la différence d'une simple représentation 3D, la maquette numérique permet grâce à un minimum d'informations sur les objets présents et leurs propriétés, de pouvoir analyser ou simuler certains comportements (performance énergétique, impact environnemental, estimation des coûts, modélisation des objets, détection anticipée de défauts de conception etc.). [6], [9]

La maquette numérique structurée permet une collaboration entre tous les intervenants d'un projet, soit par des échanges de données, soit en permettant une intervention sur un seul et même modèle. Avec le BIM, les analyses-contrôles-visualisation sont effectués très tôt dans l'étude d'un projet, permettant ainsi une conception de meilleure qualité et la détection des problèmes avant la mise en chantier.

### III-2- Différentes définitions du BIM

- **Building Information Modeling** : Méthode de travail basée sur la collaboration autour d'une maquette numérique ;
- **Building Information Model** : Ensemble structuré d'informations sur un bâtiment, existant ou en projet (c'est la maquette numérique) ;
- **Building Information Management** : C'est un processus de génération et d'exploitation des données pour concevoir, construire et exploiter le bâtiment sur tout son cycle de vie.

Le Building information modeling n'est pas:

- Un outil ;
- Une technologie ;
- Un logiciel de représentation visuelle en 3D ;
- Un format numérique réservé aux opérations d'envergure.

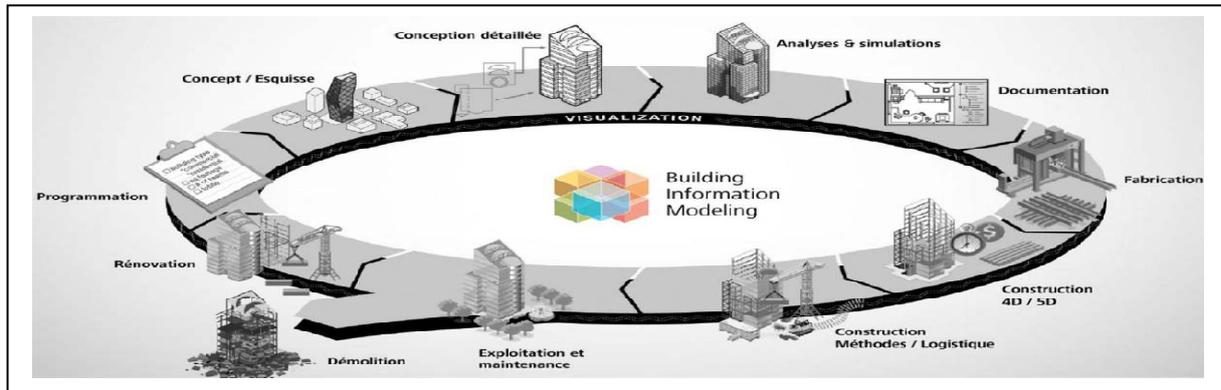
C'est plutôt :

- Un processus de travail et de collaboration ;
- Un processus de gestion et de production de données.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	41
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- C'est aussi l'ensemble des phases d'un projet : conception, exécution et exploitation mais aussi de sa démolition. [6]



### III-3 Un aperçu chronologique sur l'évolution du logiciel BIM

- 1975—Système de Description du Bâtiment (BDS) ;
- 1977—Langage graphique pour un Design Interactif (GLIDE) ;
- 1984—Radar CH;
- 1985—Vectorworks;
- 1986—Really Universal Computer-Aided Production System (RUCAPS);
- 1987—ArchiCAD ;
- 1988—Pro/ENGINEER ;
- 1992—Modélisation des Informations du Bâtiment comme désignation officielle ;
- 1993—Conseiller en Conception des bâtiments ;1994—miniCAD ;
- 1995—Format de fichier Industry Foundation Class (IFC);
- 1997—Equipe de travail d'ArchiCAD ;
- 1999—Onuma ;
- 2000—Revit ;
- 2001—NavisWorks ;
- 2002—Autodesk rachète Revit ;
- 2003—Generative Components ;
- 2004—Mise à jour de Revit 6 ;
- 2006—Projet Numérique ;
- 2007—Autodesk rachète NavisWorks ;
- 2008—Parametricist Manifesto ;
- 2012—formit.

### III-4 Objectifs du BIM

Le BIM facilite la gestion d'un projet dans tout son cycle de vie, par l'ensemble des parties prenantes, en générant et partageant des modélisations graphiques, physiques et fonctionnelles des ouvrages. Il permet donc aux différents métiers de travailler en parallèle le plus tôt possible vers un même but. On parle d'ingénierie simultanée (ou concourante) et non plus séquentielle. [12]

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	42
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

**L'ingénierie simultanée** est une méthode qui consiste à engager simultanément tous les acteurs d'un projet, dès le début de celui-ci, dans la compréhension des objectifs recherchés et attendus avec une vision claire des éléments à réaliser.

**L'ingénierie séquentielle** est un mode de fonctionnement au cours duquel chaque étape démarre lorsque la précédente est complètement achevée.

L'ingénierie simultanée (ou concourante) est une approche systématique pour concevoir un produit prenant en considération tous les éléments de son cycle de vie, depuis la conception jusqu'à la mise à disposition du produit. Le BIM a donc pour objectif de mettre en place le processus d'ingénierie simultanée. Pour ce faire les logiciels métiers doivent donc être plus collaboratifs et interopérables et nécessitent des données techniques standardisées pour alimenter ces logiciels (en termes de structuration, format, protocole d'échange). [12]

Le premier objectif est donc de pouvoir disposer d'une maquette interactive permettant de simuler divers scénarios de comportement du bâtiment en fonction de tel ou tel paramètre, environnemental ou énergétique. [12]

### **Plusieurs finalités**

#### **Fluidifier les échanges entre acteurs d'un projet :**

- Mieux concevoir ;
- Mieux construire ;
- Mieux rénover ;
- Mieux exploiter.

#### **Réduire les coûts et les délais :**

- Engagement de tous les acteurs dès le début ;
- Meilleure compréhension du projet ;
- Meilleure organisation du chantier ;
- Détection des problèmes, des interférences métiers mal négociées ;
- Optimisation des coûts. [12]

#### **Réduire les coûts d'exploitation des ouvrages, sur la totalité de leur durée de vie :**

- Centralisation des données ;
- Exhaustivité de l'information ;
- Faciliter les programmations pluriannuelles. [12]

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	43
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### III-5 Les avantages et les limites du BIM

#### III-5-1 Les avantages du BIM

Les avantages de la conception BIM sont multiples, pour tous les intervenants et à toutes les étapes d'un projet. Le BIM change la façon de travailler des maîtres d'ouvrage, architectes, ingénieurs et entrepreneurs. Il leur permet de collaborer et d'ajouter des informations pertinentes très tôt dans le projet, lorsque les modifications n'ont pas encore de conséquences financières graves.

Répartie en différentes catégories, voici la liste des principaux bénéfices liés à une conception BIM :

##### ❖ Avantages pour les maîtres d'ouvrage et les développeurs

- Durant les études de faisabilité et la conception, l'extraction des quantités du modèle virtuel BIM permet de vérifier très tôt si un projet respecte les critères financiers et les délais de construction ;
- Le modèle virtuel 3D aide à la vérification des critères fonctionnels et environnementaux d'un projet;
- Une meilleure collaboration entre les intervenants permet une meilleure compréhension des critères du projet ;
- Une estimation du coût en temps réel permet de vérifier immédiatement les incidences budgétaires des modifications de conception.

##### ❖ Avantages pour les bureaux d'étude, architectes et ingénieurs

- Le modèle virtuel 3D conçu avec un logiciel BIM permet d'effectuer des visualisations précises à toutes les étapes du projet, et est automatiquement consistant dans toutes les vues ;
- Le modèle composé d'objets paramétriques ne comporte pas d'erreur de géométrie, notamment suite à une modification ;
- Les logiciels BIM permettent à tout instant de générer des plans 2D, consistants entre eux, qui reflètent parfaitement le modèle virtuel à cet instant ;
- La collaboration entre les intervenants est facilitée grâce à l'utilisation d'un même modèle 3D, simultanément ou non ;
- Le modèle virtuel BIM permet la vérification du respect des normes en vigueur et des critères du projet tant au niveau quantitatif que qualitatif ;
- Les quantités et coûts de construction peuvent être extraits en temps réel, à tout moment durant la conception. Cela permet d'avoir un retour immédiat sur les conséquences budgétaires d'une modification ou d'une variante ;

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	44
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Les analyses et simulations des performances énergétiques et environnementales d'un bâtiment ou infrastructure, peuvent être réalisées très tôt dans l'étude, ce qui fournit l'opportunité de corriger la conception au besoin ;
  - De faciliter les échanges d'information ;
  - D'optimiser les temps de production documentaire (liaison 3D/2D).
- ❖ **Avantages pour les entrepreneurs et les fabricants**
- Le modèle 3D est la source de tous les dessins, ce qui permet donc d'éliminer toutes inconsistances entre eux ;
  - Découverte des erreurs et omissions avant le début des travaux. Les modèles provenant de toutes les disciplines peuvent être assemblés et vérifiés pour les éventuelles interférences. Les conflits et autres problèmes de construction sont visualisés au stade des études et non sur le chantier ;
  - Grâce aux objets paramétriques du modèle virtuel, les modifications sont reportées en temps réel et leurs conséquences peuvent être visualisées ;
  - La conception et la construction peuvent être synchronisées grâce au 4D, qui ajoute la dimension temps au modèle virtuel 3D ;
  - Le modèle 3D permet l'extraction de tous les matériaux et ressources nécessaires à chaque étape du projet. Il est beaucoup plus facile de planifier les livraisons des matériaux et des équipements. Les commandes aux sous-traitants peuvent être effectuées avec plus de précision et en temps opportun ;
  - Le modèle 3D permet une plus grande précision de fabrication ;
  - D'assurer un meilleur suivi et respect du programme ;
  - D'obtenir plus de facilité dans l'analyse des visas numériques et le suivi des entreprises qui travaillent ensemble sur le projet ;
  - D'assurer la traçabilité des matériaux/matériels afin de suivre la mise en œuvre;
  - De respecter les normes et les réglementations du milieu de la construction ;
  - Réduire délais de réalisation grâce à une préparation du chantier en amont;
  - De réaliser le partage des données avec les entreprises.
- ❖ **Avantages post construction pour les propriétaires et la gestion de patrimoine**
- Toutes les informations collectées durant la construction peuvent être insérées dans le modèle 3D et remises aux propriétaires ;
  - Le modèle 3D remis est une source d'informations indispensables pour la gestion et l'opération des installations, ainsi que lors des travaux d'entretien ;
  - De réduire les coûts de l'assurance construction;

- De rendre l'exploitation plus performante grâce à l'utilisation directe des résultats d'études et de calculs;
- De réduire les coûts dus aux malfaçons. [6],[12]

### III-5-2 Les limites du BIM

Le BIM paraît avoir un grand nombre d'avantages, pourtant, il reste faiblement utilisé au sein des bureaux d'architecture. Marin et Segura (2014) identifient deux limites d'ordre techniques et ergonomiques et quatre freins d'ordre juridique, économique, méthodologique et affectif. [19]

#### Limites techniques :

L'exportation en IFC engendre en effet des erreurs ou des pertes d'information.

#### Limites ergonomiques :

Un des avantages majeurs de la maquette numérique repose sur une 3D enrichie. Pourtant elle n'autorise pas une gestion documentaire plus large. De plus, chaque acteur modélise de son point de vue. Une des difficultés de la maquette numérique repose donc sur l'intégration de points de vue multiples et spécifiques dans cette unique base de données.

#### Freins juridiques :

Le principal frein juridique concerne la propriété intellectuelle d'un modèle numérique. Ce modèle est en effet partagé, ce qui induit un transfert de données confidentielles. [19]

#### Freins économiques :

Le coût financier que représente le passage d'un processus traditionnel à un processus BIM est important et l'investissement ne sera probablement pas rentable à court terme.

#### Freins méthodologiques :

Le passage de la méthode traditionnelle au BIM peut être long à mettre en place, allant de quelques mois à une année, parfois même plus longtemps. [19]

#### Freins affectifs :

Le BIM nécessite un changement de mentalité car il faut s'adapter à un tout nouveau processus de travail. [19]

### III-6 Les phases du BIM

Le BIM comporte trois phases :

- **Modélisation basée objet** : réalisation des modèles 3D dans les différentes disciplines sans avoir la possibilité d'échanger entre ces dernières ;

- **Collaboration basée modèle** : partage multidisciplinaire des modèles dans le but de les combiner dans un seul modèle 3D sous le format IFC avec l'ajout de la quatrième dimension (planification) et la cinquième dimension (estimation des coûts) dimension ;
- **Intégration basée réseau** : le modèle est créé, partagé et maintenu tout au long du cycle de vie du projet. Cette phase inclut la deuxième phase avec la centralisation des données dans un serveur qui est l'objectif du BIM. [6]

### III-7 Les niveaux de maturité du BIM

Les niveaux de maturité du BIM ont été théorisés par Mark Bew et Mervyn Richards en 2008. Voici les niveaux de maturité du BIM :

- BIM Niveau 1 = modélisation orientée-objet ;
- BIM Niveau 2 = modélisation orientée-modèle ;
- BIM Niveau 3 ou i-BIM = modélisation orientée-réseau. [6]

Ce schéma propose trois niveaux de maturité (ainsi qu'un niveau 0 qui serait le niveau pré-BIM) qui désignent trois degrés croissants de collaboration BIM. Le niveau 3 est le niveau ultime :

- **Le niveau 1** : ou le « BIM solitaire », correspond à l'usage de la maquette numérique uniquement pour soi. La maquette numérique n'est pas exploitée ici comme support de collaboration. Ce premier niveau de collaboration a peu d'impact sur les méthodes de modélisation et le contenu des objets. [6]

#### En résumé

Le BIM isolé (lonely BIM) **comprend** :

- La réalisation de la maquette numérique ;
- L'utilisation par un ou plusieurs acteurs.

**Ne comprend pas** :

- les échanges entre les modèles, chacun met à jour ses données individuellement.

**Doit intégrer** :

- Des données structurées (normées).

Si les données ne sont pas structurées, même si le bâtiment ou l'infrastructure est dessiné en 3D, on ne peut pas parler de BIM car il n'y aura pas de travail commun possible.

- **Le niveau 2** : le premier vrai niveau de collaboration pluridisciplinaire. La collaboration est ici basée sur des maquettes différentes liées entre elles, en format natif ou en IFC. Chaque intervenant va bénéficier de la maquette des autres (géométrie, informations) afin de développer sa propre maquette et son propre projet et que chacun reste propriétaire de sa maquette et des objets qu'elle contient.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	47
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

**En résumé :**

- Mise en place du travail collaboratif entre les acteurs ;
- Plusieurs modèles liés et mis en communs ;
- Permet de combiner tous les modèles en un seul modèle unique ou fédéré.

**Comprend :**

- Un modèle graphique ou maquette numérique 3D ;
- Des données non-graphiques (informations pour l'utilisation et la maintenance de l'ouvrage) ;
- Des données structurées ;
- De la documentation ;
- Un format de fichier natif (standard COBie ou IFC).

• **Le niveau 3** constitue le degré ultime de collaboration. C'est ici qu'intervient la notion de « maquette unique » mais pas un fichier unique. La collaboration s'effectue directement dans le ou les fichiers de manière pluridisciplinaire.

Chaque intervenant vient concevoir et modéliser dans la maquette unique les ouvrages et objets dont il est responsable. La maquette est mise à disposition des intervenants via un serveur informatique dédié. Il s'agit ici de la collaboration intégrée. L'avantage de ce niveau par rapport au précédent est que les objets de la maquette peuvent directement interagir entre eux ce qui en l'état des technologies est impossible en niveau 2. En niveau 3, les intervenants ont directement accès aux objets et peuvent donc théoriquement les modifier. Cette collaboration pose de nombreuses questions en matière de propriété des objets, des maquettes et bien entendu des responsabilités dans la mesure où chacun travaille dans une ou des maquettes communes. [6]

**En résumé**

**Objectif ultime du BIM (pour beaucoup, seul niveau du processus BIM) :**

- Modèle unique et partagé par tous les acteurs ;
- Intervention possible par tous et en même temps.

**Comprend :**

- Le « Niveau 2 » ;
- Un stockage sur un serveur centralisé ;
- Une accessibilité par tous les intervenants sur toute la durée de vie d'un ouvrage.

A ce stade, les données sont structurées dans un environnement commun et les processus de contrôle et d'échange sont clairement définis. Les technologies et savoir-faire actuels ne permettent pas encore l'accessibilité du niveau 3 à tous les acteurs. De

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	48
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

plus, ce niveau de collaboration totale n'est pas sans poser des problèmes de propriété intellectuelle, de responsabilité et de réglementation de l'accès/modification et enregistrement de la maquette numérique unique. [6]

### III-8 Types de « maquettes numériques » du BIM

Le projet BIM ne gravite pas autour d'une seule et unique maquette numérique intégrant toute information souhaitée du projet. Voici les caractéristiques de ces différents types de maquettes:

- ❖ **La maquette intégrée:** maquette unique, en un seul fichier, regroupant dans sa constitution tous les éléments du projet. Un exemple de projet en maquette intégrée au format natif peut être la maison individuelle.[5]
- ❖ **La maquette métier :** maquette spécifique à un métier, discipline ou lot de construction. La maquette métier est une partie de l'entité globale que constitue le projet (maquette structure, maquette CES, maquette architecturale etc...).. [5]
- ❖ **La maquette fédérée:** maquette globale de projet, regroupe l'aide à de liens informatiques plusieurs maquettes métiers. C'est la maquette d'assemblage de projet.

Ces trois types de maquettes peuvent coexister pour un même projet lors des différentes phases de son avancement. C'est le cas d'un bâtiment neuf ayant une maquette intégrée lors des phases d'esquisse et d'APS, car la majeure partie des informations sont à ce stade élaborées par l'architecte. [5]

### III-9 Les Outils du BIM

Les outils du BIM sont multiples et divers selon le type et le secteur d'activité. On peut les organiser en catégories afin de mieux comprendre de quels outils chaque intervenant a besoin dans le processus:

- **Outils de modalisations BIM**, plus ou moins spécialisés selon le domaine d'utilisation (conception, exécution, fabrication), nécessaires aux productions d'informations 3D et de métadonnées;
- **Outils d'analyse et vérification**, plus souvent appelés visionneuses (viewers), permettent des actions diverses selon leur configuration: assembler les maquettes métier, analyser la production (analyses de conflits et production de rapport de conflits), créer des tableaux de quantitatifs (réalisable également dans les logiciels de modélisation BIM), etc.;

- **Outils techniques spécifiques:** programmation 4D (liaison maquette- planning), calcul thermique, calcul structurel, coût, gestion du patrimoine, maintenance, gestion technique du bâtiment, gestion technique centralisée, etc.;
- **Plateformes BIM et serveur,** pour l'organisation globale du processus et la traçabilité des documents provenant du BIM, indépendamment de leur dimension et de leur format (.pdf, .dwg, .ifc, .dxf, 2D, 3D, etc.).

La quantité d'outils nécessaires pour mettre en place un processus BIM peut varier de façon importante selon les types de projet (dimensions, tâches à réaliser, utilisation des données de la part du client, etc.). [5]

### III-9-1 Logiciels de modélisation en BIM

Ces logiciels de « création d'information en BIM » permettant une modélisation paramétrique qui intègre des métadonnées propres à l'objet (matériau, références, fabricants, etc.) et qui permet d'exporter ces données vers d'autres logiciels de production.[5]

### III-9-2 Outils de visualisation

Cette catégorie de logiciels est destinée à la maîtrise d'ouvrage, des directeurs de projet ou de chantier. A la base, chaque outil de modélisation peut être utilisé comme une visionneuse. Cependant, certains logiciels ont été créés dans le but de faciliter la visualisation et l'analyse des maquettes BIM.

Ces outils permettent:

- L'assemblage des maquettes métier pour créer la maquette globale de projet ;
- La coordination des études : vérification des interfaces de projet et création de rapports d'analyse;
- L'analyse des quantitatifs : avec ces outils, il est possible d'exporter des tableaux récapitulatifs des données de type coût, métrés, volumes;
- Les simulations 4D: liaison de la maquette avec le planning du projet. [5]

### III-9-3 Outils d'analyse et de vérification

Il s'agit de tous ces outils propres aux métiers des bâtiments ou infrastructure qui ne sont pas destinés aux modélisations de projet et à la conception, mais a une analyse ou une étude technique spécifique. Pour cela, ces outils sont départagés en plusieurs grandes catégories :

- Les outils de calcul (thermique, structurel, feu...);
- Les outils de fabrication, qui lient géométrie et production industrielle;
- les outils de gestion (patrimoine, maintenance, GBT, GTC);

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	50
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Les outils d'opérations préalables à la réception, de levée des réserves.

Ces outils ne sont donc pas conçus pour produire de l'information géométrique ou modéliser un LoD (level of detail, niveau de détail géométrique), mais servent à une utilisation technique des données incluses dans la maquette. [5]

### III-9-4 Plateformes BIM et serveurs

Dans leur forme plus basique, ils permettent le travail collaboratif autour de la maquette BIM, pour modéliser, assembler, partager et vérifier. Dans la forme plus complète et complexe, ces tâches sont associées à une gestion électronique documentaire, des envois de mails pour informer leur mise à jour, des processus de validation avec bordereaux de suivi automatiquement), d'un (viewer) intégré dans la plateforme. [5]

### III-10 Les dimensions du BIM

La dimension de la modélisation est définie comme 3D, celle des plans, coupes et détails comme 2D, mais celles-ci ne sont pas les seules dimensions du BIM.

**2D:** C'est la dimension des documents graphiques (plans, coupes, détails) qui servent aux validations contractuelles, même si on travaille en 3D. Ces éléments sont encore la base contractuelle de validation pour la plupart des projets en BIM, cependant, ils doivent obligatoirement être extraits de la maquette numérique afin que la concordance soit la meilleure possible ;

**3D:** Les trois dimensions géométriques x,y,z qui facilitent la compréhension, des problématiques d'interface et d'organisation du projet ;

**4D:** La donnée du temps et de planification (travaux, logistique, facturation...) vient se greffer sur la 3D pour permettre de voir et analyser l'évolution d'un projet dans l'espace et dans le temps, en reliant la modélisation à des plannings spécifiques ;

**5D :** La donnée du coût vient elle aussi s'ajouter à la 3D. Elle peut d'ailleurs exister dans une maquette BIM indépendamment de la dimension temporelle. Cependant, reliée à la 3D et à la 4D, elle trouve une application dans, par exemple, l'analyse des coûts de construction à un instant (t) ou l'obtention d'un aperçu de la situation financière durant la vie de l'ouvrage construit,

**6D :** Ajout des notions de développement durable et environnement (analyses des émissions carbone...); traite de tout ce qui concerne le développement durable d'un bâtiment ou infrastructure ;

**7D :** C'est la dimension de la gestion, maintenance et intégration des informations du cycle de vie du bâtiment en exploitation (capitalisation et partage de données du projet pour la maintenance et l'exploitation). Concrètement, la 2D et la 3D permettent la création de la

[LE BIM en TRAVAUX PUBLICS](#)

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	51
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

géométrie à laquelle on associe les données, la 4D, la 5D et la 6D sont représentées par les données qu'on intègre dans le processus et dans les objets BIM.

Parfois on parle même de **8D** pour prendre en compte les notions de sécurité liées au projet. Un nombre presque infini de dimensions peut être ajouté au modèle de construction. [6]

### III-11 Les niveaux de développement

Les niveaux de développement et niveaux de détail définissent le contenu des maquettes numériques en fonction des phases d'avancement d'un projet. La version « développement » focalise davantage sur le contenu sémantique alors que la version « détail » s'intéresse plus à la géométrie. Une maquette numérique doit contenir une quantité croissante d'informations et de détails géométriques au fur et à mesure de l'avancement d'un projet.

Les deux concepts sont complémentaires dans le LOD :

- **Le niveau de détail (LoD, level of detail)** mesure essentiellement la quantité de détails graphiques inclus dans l'élément modélisé ;
- **Le niveau d'information (LoI, Level of Information)** concerne les données techniques, références, planning, correspondant au contenu non visible géométriquement et donc aux « attributs » ou « données » associées aux maquettes et à leur structuration ;
- **Le niveau de développement (LOD)** indique donc à la fois, l'évolution géométrique (LoD) de l'objet BIM mais également la quantité d'informations associée (LoI).

On peut donc dire que: **LOD=LoD+LoI**. [6]

**Tableau 1. Les niveaux de développement (LOD)  
selon la convention britannique  
(PAS 1192-2).**

Classification	Phase	Graphisme	Information
LOD 1	Dossier initial	Maquette ou ensemble graphique des informations existantes	
LOD 2	Concours	Diagrammes, volumétries, symboles 2D, représentation d'éléments génériques	Nomenclature générale
LOD 3	APS, APD	Définition des objets	Renseignements basiques permettant la sélection des produits et leur identification
LOD 4	PRO, DCE	Représentation 3D des objets detail liée selon les spécifiques du cahier des charges (la maquette rendue aux entreprises pour répondre a l'appel d'offre correspond au CCTP)	Ajout de renseignements spécifiques sur l'allocation des espaces, fonctionnement, accès et entretien (informations génériques)
LOD 5	Exécution	Les objets génériques sont remplacés à fur et mesure de l'évolution de la phase par les objets fabricants	Les informations génériques sont remplacées par les informations fabricants
LOD 6	DOE	La modélisation correspond géométrique au « tel que construit »	Toutes les informations nécessaires sont incluses dans les documents d'export, y compris la maintenance les dossiers de mise en service, la santé et les exigences de sécurité et ainsi de suite
LOD 7	Maintenance et gestion	Aucun ajout au niveau graphique	Exploitation des données de la maquette et leur réorganisation et mise à jour si nécessaire

## LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	53
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

**Tableau 2. Les niveaux de développement (LOD)  
selon la convention américaine  
(AIA G202-2013).**

Classification	Phase	Graphisme	Information
<b>LOD 100</b>	Concours	Diagrammes, volumétries, symboles 2D, représentation d'éléments graphiques	Nomenclature générale.
<b>LOD 200</b>	APS, APD	Définition des objets	Renseignements basiques permettant la sélection des produits et leur identification
<b>LOD 300</b>	PRO, DCE	Représentation 3D des objets détaillées selon les spécificités du cahier des charges (la maquette rendue aux entreprises pour répondre d l'appel d'offre correspond au CCTP).	Ajout de renseignements spécifiques sur l'allocation des espaces, le fonctionnement, l'accès et l'entretien (informations génériques).
<b>LOD 400</b>	Execution-DOE	Les objets génériques sont remplacés à fur à mesure de l'évolution de la phase par les objets fabricants	Les informations génériques sont remplacées par des informations fabricants
<b>LOD 500</b>	Maintenance et gestion	Aucun ajout de detail graphique	Toutes les informations nécessaires sont incluses dans les documents d'export, y compris la maintenance les dossiers de mise en service, la santé et les exigences de sécurité et ainsi de suite.les données pour l'exploitants ont toutes a disposition de l'utilisateur et leur réorganisation et mise a jour est possible si nécessaire.

La classification anglaise et la classification américaine sont donc facilement comparables, comme on peut le voir dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 3. Comparaison entre  
convention britannique (UK) et convention américaine (US).**

CONVENTION UK = PAS 1192-2	CONVENTION US = AIA G202-2013
LOD 1	-----
LOD 2	LOD 100
LOD 3	LOD 200
LOD 4	LOD 300
LOD 5-6	LOD 400
LOD 7	LOD 500

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	54
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### III-11-1 Comment choisir les LoD et LoI

Les LOD, indépendamment de la classification de référence, impliquent plusieurs points critiques qui déterminent leur choix. Nous en avons listé certains ci-dessous :

- **L'évolution du projet** : la demande en LoD et LoI doit être compatible à la connaissance du projet et son évolution à une phase déterminée ;
- **L'utilisation des données selon la phase** : sur deux projets distincts, mais similaires, pour la même phase de projet on pourrait choisir d'exploiter dans un cas les données pour le suivi de l'évolution économique du projet et l'autre cas estimer cette analyse inutile pour la phase en question ;
- **La complexité du projet** : en phase de finalisation de conception, il est d'usage de demander un niveau de développement LOD 300. Pour cette phase il serait possible localement de demander un niveau de développement supérieur dans une zone noble, ou dans une zone à haute complexité technique ;
- **La demande du client** ;
- **Les besoins des différents intervenants au projet** : pour le développement de leurs études ou développements en fabrication. [6]

### III-11-2 Qui choisit les LoD et les LoI

Lors de la rédaction du cahier des charges, c'est le maître d'ouvrage qui rédige ses besoins et attentes en termes de niveau de développement pour les maquettes BIM et pour le rendu des livrables. Il est donc facilement compréhensible que les premières indications et décisions en termes de LOD soient imposées par le client.

## III-12 Le Management « d'information et humain » en BIM

### III-12-1 Manager BIM, coordinateur BIM et modéleur BIM

Dès le démarcage d'un projet, les décisions à prendre afin que l'organisation du processus BIM soit la plus avantageuse possible pour le projet sont multiples. Le manager BIM est un professionnel du bâtiment ou infrastructure, qui maîtrise un ou plusieurs logiciels de modélisation et d'intégration de données et qui possède une expérience dans le management de projets et d'équipes d'intervenants et ayant les tâches suivantes :

- Le manager BIM a un rôle de manager du processus ;
- Ce manager est donc le responsable du bon fonctionnement du processus dans sa globalité, mais il n'est pas expert dans toutes les étapes de la construction ni dans tous les logiciels métier du marché ;

- Le rôle du manager BIM n'est pas celui de décideur du projet, il a plutôt un rôle de facilitateur de la mise en place du processus BIM pour l'ensemble des intervenants ;
- Qu'il s'agisse d'un ingénieur ou d'un architecte, le manager BIM doit absolument avoir une vision globale du projet et des phases d'étude, de construction et de gestion d'un bâtiment ;
- Il doit être néanmoins capable de comprendre tous les besoins du projet et fédérer tous les intervenants autour des solutions choisies: c'est donc Le BIM leader ;
- L'étendue du rôle du manager BIM dépend du type de projet, de sa dimension, des contrats, etc.

Le coordinateur BIM est l'interface BIM entre l'équipe et le manager BIM de projet. Pour chaque projet, nous avons donc un ou plusieurs coordinateurs BIM qui sont les responsables des différentes maquettes métier :

- Un coordinateur BIM est souvent l'expert BIM d'une entreprise ou d'un BET, qui connaît les processus et les besoins de son équipe dans le métier qu'il exerce ;
- Il est le responsable de la maquette métier que son entité produit pour un projet ;
- Il est en relation directe avec le manager BIM afin que l'intégration des éléments dans la maquette fédérée se fasse selon les besoins du projet en suivant les règles établies entre les partenaires.

Le manager BIM et le coordinateur BIM ont donc des compétences de management à deux niveaux différents de responsabilité. Dans les équipes BIM, on retrouve également modéleur BIM, spécialiste de la modélisation à l'aide d'un outil spécifique. C'est à lui que revient la charge de créer les éléments BIM du processus. Le même schéma peut se reproduire en exécution avec « **manager BIM entreprises** », qui coordonne la production BIM des différents corps de métier et qui interagit directement avec le manager BIM AMO ou celui de la maîtrise d'œuvre afin de vérifier si les demandes du client sont bien respectées. [10],[13], [6]

### III-12-2 Dimensionnement de l'équipe

Selon la taille du projet, le nombre d'intervenants, les besoins en termes de logiciels, contrôles, livrables, l'équipe de management BIM sera dimensionnée de façon acceptable par rapport à l'économie du projet et aux attentes. Pour une maison individuelle, par mutualisation des tâches, l'architecte sera également le manager BIM. Pour des projets de grande envergure, il est par contre probable qu'une équipe de management BIM soit spécifiquement dédiée au développement de processus (elle peut être intégrée à la maîtrise d'œuvre, externe aux équipes de maîtrise d'œuvre rattachée à la maîtrise d'ouvrage, etc.). [10],[13]

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	56
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### III-13 La notion d'interopérabilité dans le processus BIM

#### III-13-1 L'interopérabilité des logiciels

Le processus BIM, qui est une méthode de travail collaborative autour d'une maquette numérique 3D paramétrique, nécessite un échange d'information permanent entre les différents intervenants du projet. D'où la nécessité d'une « interopérabilité des logiciels d'éditeurs différents » via des formats d'échanges. Actuellement les principaux formats d'échange de données BIM sont l'IFC et le XML. Ceci dit, l'interopérabilité est un des points clé et un pilier de réussite dans la démarche BIM.

#### III-13-2 Open et closed BIM

L'**open BIM** reflète la vision d'un marché de logiciels hétéroclites provenant de nombreux éditeurs et communiquant entre eux en utilisant un format commun d'échange de fichiers : le format IFC (Industry Foundation classes), combinant les données géométriques et les données alphanumériques. Le **closed BIM** représente un univers intégré de logiciels utilisant tous un format commun de fichiers. Ainsi, chaque logiciel peut lire et écrire ce format particulier, et les logiciels avec qui il communiquera devront en faire autant. L'open BIM est associé au concept **d'interopérabilité**, et le closed BIM celui de **compatibilité** entre logiciels : c'est le cas de ceux fournis sous forme de « suite » et qui appartiennent à un même éditeur. [5]

### III-14 Les principaux formats d'échange BIM

#### III-14-1 Format IFC – Industry Foundation Classes

C'est un format dérivé de la norme STEP (ISO 10303-11), qui a pour but de favoriser « l'interopérabilité des logiciels » dans le secteur de l'industrie du bâtiment et des travaux publics. Pour que l'IFC soit efficace, il faut que les principales applications de CAO en BIM soient capables d'importer et d'exporter au format IFC. [5] [7]

#### III-14-2 Format COBie

COBie est un format d'échange, basé sur les définitions des IFC, qui se concentre sur la transmission des informations majoritairement non-graphiques du bâtiment ou infrastructure. Il est utilisé principalement à certaines étapes bien définies de la conception et lors de la remise de l'ouvrage tel que construit au client. Il est obligatoire à partir du 01/01/2016 en Angleterre et dans le reste de la Grande Bretagne [12] , [5]

### III-15 Maquettes numériques

Une maquette numérique est une représentation géométrique d'un objet ou ensemble d'objets, généralement en 3D, réalisée sur ordinateur de façon à l'analyser, le contrôler et en simuler certains comportements. [11]

#### III-15-1 Intérêts de la maquette numérique

La maquette numérique permet d'abord de comprendre un produit avant qu'il n'existe physiquement, y compris par un prototypage virtuel ; voir le produit c'est commencer à le comprendre. En amont et durant la construction, les techniciens et ingénieurs qui définissent le produit peuvent échanger plus facilement des solutions et des différentes alternatives techniques possibles, afin de retenir la meilleure au regard de leurs critères ou de ceux du projet. Certains contrôles et simulations peuvent être réalisés sur le produit avant qu'il n'existe physiquement, permettant de détecter très tôt certains problèmes ou erreurs. [11]

#### III-15-2 Limites de la maquette numérique

La représentation du produit est toujours plus ou moins simplifiée et souvent idéalisée. Elle ne contient ni la description de la structure moléculaire interne des matériaux ni les dispersions possibles sur les états de surface. La maquette numérique n'est pas la réalité. [11]

### III-16 Maquettes numériques et les phases du cycle de vie d'un projet

La durée du cycle de vie des projets s'allonge et le nombre de participants ainsi que la quantité d'information échangée augmentent, ce qui rend plus difficile et coûteuse la communication entre les collaborateurs du projet. Dans ce contexte, la modélisation des données du bâtiment (BIM) est adoptée. Elle permet, à l'aide de la maquette numérique, d'optimiser le processus de conception, d'exécution et de gestion dès les premières étapes du projet. La maquette BIM simplifie la communication en partageant les données entre collaborateurs au sein du même model numérique. En conséquence, le BIM améliore la coordination et contribue à éviter les conflits inattendus, les modifications et les retards de planification, donc réduit les dépenses inutiles et permet la plus efficace et durable exécution du projet BTP. [15], [19]

#### III-16-1 Maquette numérique de programmation :

Maquette numérique utile pour l'établissement du programme du projet. Cette maquette est élaborée par le maître d'ouvrage ou sous sa responsabilité, elle contient les contraintes

programmatisques et réglementaires du projet. Elle peut servir à la consultation des maîtres d'œuvre. [15]

### **III-16-2 Maquette numérique de construction :**

Maquette numérique couvrant les phases conception, réalisation et réception :

#### **❖ Maquette numérique de phase conception**

C'est la maquette numérique élaborée sous la responsabilité de la maîtrise d'œuvre pour la conception de l'ouvrage. Elle est une compilation des « maquettes numériques métiers » de tous les intervenants constituant, pour ainsi dire une maquette globale (maquette fédérée) conformément au processus BIM. Les documents graphiques présentés sous forme de plans et prévus par le contrat de maîtrise d'œuvre sont issus de la maquette numérique. Elle peut servir à la consultation des entreprises. [15] [19]

#### **❖ Maquette numérique de phase réalisation**

Avant le commencement des travaux de réalisation, l'entreprise, à la base de la maquette fédérée (maquette en phase de conception) produit la maquette « as-built » (en Algérie c'est la maquette des études d'exécution). Cette maquette « as-built » est une compilation des « maquettes numériques métiers de l'entrepreneur combinées avec celles des sous-traitants ». Néanmoins, des changements peuvent survenir au cours de la mise en œuvre, et de ce fait, à la livraison des travaux, une révision du modèle « as-built » est réalisée contenant précisément ce qui est construit. [19]

#### **❖ Maquette Numérique de phase réception (c'est la maquette numérique DOE)**

Maquette numérique représente la construction telle qu'elle est au moment de la réception et de la livraison de l'ouvrage (Elle répond aux exigences des missions définies par la loi MOP française et ses textes d'application). Elle est remise par la maîtrise d'œuvre au maître d'ouvrage. Les Maquettes numériques des phases conception, réalisation et réception sont trois états successifs d'une même maquette qui gagne en précision au fur et à mesure de l'avancement des études et du chantier. [15] [19]

### **III-16-3 Maquette numérique d'exploitation et de maintenance**

En construction neuve, elle est issue de la « maquette numérique de construction » et incorpore de nouvelles données notamment liées à l'usage et, utile au maître d'ouvrage, au mainteneur ou à l'exploitant. Quoique l'utilisation du BIM lors de l'exploitation est encore peu répandue. [19] , [15]

### **III-16-4 Déconstruction**

Lorsqu'un bâtiment arrive à sa phase de déconstruction, il existe deux alternatives. La première possibilité est d'exploiter la maquette « as-built » complète maintenue à jour

#### **LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	59
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

tout au long du cycle de vie du bâtiment. La deuxième consiste à exploiter un « modèle BIM circulaire » qui est une maquette BIM « as built » simplifiée et qui ne contient que les informations pertinentes concernant la déconstruction, c'est-à-dire les passeports matériaux. [19]

### III-17 Convention BIM

C'est un document contractuel élaboré par le maître de l'ouvrage à l'encontre de la maîtrise d'œuvre et l'entreprise qui précise les points suivants :

- La convention BIM est un document qui définit précisément la manière dont les intervenants d'un projet lancé en BIM vont devoir modéliser, échanger, collaborer entre eux ;
- La convention BIM définit plus ou moins précisément la façon dont les objets de la maquette doivent être nommés, modélisés ainsi que le contenu et le niveau de détail de ces objets en fonction de chaque phase ;
- Il y est également précisé le rôle et les responsabilités de chacun, notamment en matière de renseignement de ces objets.

### III-18 La charte BIM du maître d'ouvrage

La charte BIM est un document générique élaboré par le maître d'ouvrage traduisant sa politique en objectifs de qualité et de performances attendues. Elle recense notamment les exigences et les objectifs à satisfaire pour que le processus BIM des opérations puisse alimenter son processus, exploitation et maintenance BIM, de son patrimoine. Lorsque le maître d'ouvrage dispose d'un outil de gestion technique de son patrimoine, la charte doit définir les objets ainsi que leurs caractéristiques pour qu'ils soient exportés dans le logiciel de gestion technique. La maquette numérique et le logiciel de gestion technique doivent donc être interopérables. [15]

### III-19 Cahier des charges BIM de l'opération

Le cahier des charges BIM de l'opération (Une programmation en mode BIM) est un document précisant pour le projet les exigences et objectifs des intervenants successifs du projet, incluant ceux de la charte BIM du maître d'ouvrage. Il constitue le volet BIM du programme. [15]

### III-20 BIM et maîtrise d'ouvrage

Les maîtres d'ouvrage qui n'ont pas encore défini une stratégie de gestion de leur patrimoine ou ceux à la tête d'un patrimoine très modeste peuvent s'engager dans une démarche BIM à l'occasion de la construction ou de la réhabilitation d'un ouvrage avec pour objectif essentiel l'amélioration de la qualité de réalisation de cet équipement. Les

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	60
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

maîtres d'ouvrage qui possèdent un patrimoine immobilier conséquent peuvent, outre les aspects qualitatifs, se donner pour objectif d'assurer une gestion optimisée de leur patrimoine. Le maître d'ouvrage établira une charte BIM à cet effet. [15]

#### ❖ Les assistants à maîtrise d'ouvrage BIM (AMO BIM)

Lorsque la maîtrise d'ouvrage n'a pas encore acquis une solide expérience en matière de BIM, peut faire recours à un professionnel aguerri en la matière qui aura à traiter de ce sujet spécifique. [15]

#### ❖ Analyse des termes de la convention BIM

Le maître d'ouvrage pourra se faire assister de son « AMO BIM » pour analyser les termes de la convention BIM proposée par la maîtrise d'œuvre en réponse au cahier des charges BIM avant validation de cette convention par la maîtrise d'ouvrage. Cet AMO veillera notamment à la bonne prise en compte dans cette convention des « cas d'usages » du BIM retenus par le maître d'ouvrage. [15]

#### ❖ Une adéquation programme /projet en mode BIM

Le maître d'ouvrage et ses AMO notamment le programmiste pourront en phase d'adéquation programme projet, lors de la remise des études d'APS et d'APD par la maîtrise d'œuvre, visualiser en 3D les propositions de la maîtrise d'œuvre. Cette visualisation de la maquette permettra de vérifier la cohérence intrinsèque du programme ainsi que la cohérence de la réponse apportée par le concepteur. Le BIM peut permettre un suivi dynamique des études de conception par la maîtrise d'ouvrage, si cette dernière a un accès à la maquette numérique. [15]

#### ❖ Usages du BIM

Médiconstruct a rédigé dans le cadre des travaux du « Plan de Transition Numérique dans le Bâtiment » un « Guide méthodologique pour des conventions de projets en BIM ». Ce guide identifie 23 usages BIM. A chaque usage est attaché un processus intégrant des pratiques BIM. Ces usages sont définis de manière générique, il convient de les adapter aux spécificités des projets et des acteurs. [15]

### III-21 BIM et maitrise d'œuvre

Le maître d'œuvre proposera dans le cadre de son offre une convention BIM en réponse au cahier des charges BIM intégré dans le dossier de consultation des concepteurs. Cette convention décrira les méthodes organisationnelles, de représentation graphique, la

gestion et le transfert des données du projet, ainsi que les processus, les modèles, les utilisations, le rôle de chaque intervenant, et l'environnement collaboratif du BIM.

Une fois la convention BIM conclue et l'opération d'étude et conception est entrepris, le maître d'œuvre remet à la maîtrise d'ouvrage la « maquette numérique de conception » avec des rendus traditionnels sous forme de documents graphiques et écrits (plans, notices, descriptifs...). La « maquette numérique de conception » développée et complétée par les études d'exécution devient la « maquette numérique de réalisation ». C'est cette « maquette numérique de réalisation » dans son état lors de la « réception des travaux », donc parfaitement représentative de la construction réalisée (as-built), qui devient la maquette numérique de DOE et qui est remise par la maîtrise d'œuvre à la maîtrise d'ouvrage. Ensuite, La démarche BIM renforce la nécessité d'une continuité entre la réception de l'opération et le démarrage de l'exploitation et de la maintenance. [15]

### III-22 BIM et entreprises de travaux

Le dossier de consultation des entreprises (DCE) comprendra les pièces administratives traditionnelles, la « **convention BIM** » proposée (qui intègre les études de maturation) et le dossier technique. Tous les plans du dossier technique seront extraits de la « maquette numérique de conception » dans son état au moment de la consultation des entreprises. La « maquette numérique de conception » dont ont été extraits les plans sera annexée au dossier technique, cette maquette étant communiquée aux entreprises à titre d'information. la « maquette numérique de conception » facilitera la compréhension du projet par les entreprises engagées dans la démarche BIM et maîtrisant l'utilisation de la maquette numérique, leur permettant ainsi d'optimiser leurs offres. [15]

L'élaboration de la « maquette numérique de réalisation » traverse une période de préparation dite de chantier qui permette, lors de l'élaboration des études d'exécution, aux maître d'œuvre et entreprises de vérifier la bonne interopérabilité entre la « **maquette numérique de conception** » et les « outils logiciels » utilisés par les entreprises pour élaborer leurs propres « **maquettes numériques métiers** ». Cette période de préparation du chantier est un moment clé pour la prise en compte par les entreprises de la démarche BIM mise en place par le maître d'ouvrage et dont les modalités organisationnelles sont décrites dans la « **convention BIM** » qui est une pièce contractuelle des marchés de travaux ». Quant aux plans d'exécution produit à partir de la « maquette numérique métier » de l'entreprise, soumis au visa du maître de l'œuvre, sont livrables en papier prévus dans le « marché travaux » et un complément de données relatives à ces études d'exécution sont transmis en « format interopérable à la maîtrise d'œuvre ».

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	62
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

A cet égard, il est précisé également que au-delà de l'utilisation de la maquette numérique pour produire des plans d'exécution, la maquette numérique permet à l'entreprise d'optimiser l'installation, l'organisation et le déroulement du chantier. [15]

### III-23 Aperçu d'utilisation du BIM dans le Monde

#### Etats-Unis

2003 : Etablissement du Programme National 3D-4D-BIM par le GSA à travers leurs PBS et l'Office de l'Architecte en Chef (OCA).

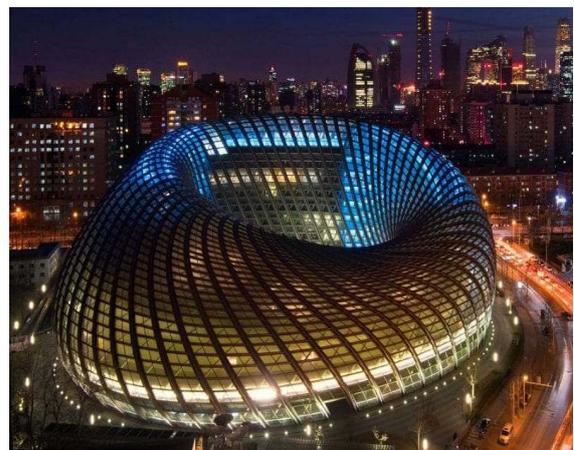
2006 : Le GSA décrète que les bâtiments construits par le PBS doivent désormais utiliser le BIM lors de la conception et en 2007, Le GSA exige un rendu BIM comme condition préalable à toute candidature pour une commande publique.

#### Chine

Depuis 2016, le taux d'utilisation du BIM par les architectes et la société chinoise a connu une croissance exponentielle. Le nombre d'architectes qui commence à utiliser cette méthodologie pour une partie de leurs projets a augmenté de 89 % et ce depuis 2016 à ce jour. [11]



Le projet « Shanghai Tower » totalement réalisé en BIM.



Le projet « Phoenix Media Center, Pékin » totalement réalisé en BIM.

#### Brésil

En Juin 2017, le Brésil a créé le Comité stratégique du bâtiment pour la mise en œuvre du BIM (EC-BIM) et le Groupe d'appui technique (GAT-BIM). Le Brésil ayant adopté le BIM, le rendra obligatoire à partir de 2021.

#### Pays-Bas

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	63
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

2012 : Le Ministère Néerlandais d'intérieur a rendu le BIM obligatoire sur des grands projets publics pour la conception ainsi que pour la gestion et la maintenance des bâtiments et infrastructures une fois construits. [11]

### Norvège

2007 : L'entreprise gouvernementale Statsbygg a décidé d'utiliser le BIM pour la totalité du cycle de vie des projets et en cette même année 2007 cinq projets pilotes ont été réalisés avec la méthode BIM.

### Royaume-Uni

2016 : Obligation d'utiliser le « BIM Niveau 2 » pour les bâtiments publics.



Le projet ordsall chord du programme Northern hub est ligne ferroviaire de 300 m qui vise a relier manchester oxford road a manchester victoria est réalisé entièrement en BIM.

### France

Alors que la France était dernière du classement en 2013, lors du premier baromètre d'adoption du BIM en Europe, elle est remontée à la 3ème place en 2017 avec plus de 30% des projets immobiliers réalisés en BIM. [11]



Le « philharmonie de paris » inauguré en 2015 et qui s'étend sur une surface de 19 800 m<sup>2</sup> est un projet réalisé en BIM.



Ce projet ci-après est la « fondation de louis Vuitton » réalisé en BIM.

### Belgique

L'utilisation du BIM a triplé en Belgique entre 2013 et 2017 la propulsant à la 4ème place du classement en europe.

### Allemagne

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	64
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

L'allemande a mis plus de temps à adopter le BIM qui est plutôt lente : seuls 20% des architectes allemands sont passés au BIM.

### Danemark

2007 : Les agences gouvernementales exigent qu'une méthode BIM soit employée dans les projets qu'ils réalisent.

### Finlande

2007 : L'Agence Gouvernementale des Services de Propriété, et les « Propriétés du Sénat » exigent l'utilisation du BIM dans leurs projets.

### Espagne

2015 : Le Gouvernement Espagnol, par la voix de sa ministre du développement (Fomento), Ana Pastor a annoncé la mise en place d'une commission pour le déploiement d'une méthodologie BIM en Espagne.

### Italie

Bon dernier du classement en Europe, le marché italien, à l'instar du marché allemand, est surtout concerné par des rénovations.

### Singapour

2008 : Le but du gouvernement de Singapour est de devenir l'autorité éditrice des permis de construire la plus rapide au monde. « L'autorité de Construction et du Bâtiment » (BCA) mène alors un effort entre agences gouvernementales pour implanter la première « e-soumission » BIM de permis de construire.

### Hong Kong

2014 : « L'autorité de Construction pour l'Habitation » de Hong Kong a rendu le BIM obligatoire pour tout nouveau projet de construction du marché public.

### Corée du Sud

2016 : Le « Service Public de Construction » rend le BIM obligatoire pour tout projet dont le budget dépasse 50 millions de dollars. [11]

### Emirats arabes Unis



Terminal midfield de l'aéroport I de d'Abou Dhabi réalisé en BIM



Opéra de Dubaï » réalisé en BIM

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	65
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

# CHAPITRE IV

## Etude routière et dédoublement d'un pont selon le process BIM

## IV-1 INTRODUCTION

Dans le cadre du développement du réseau routier de la wilaya de BOUMERDES, le maître d'ouvrage sectoriel présenté par la « Direction des Travaux Publics » a pu dégager le besoin d'une « Etude de dédoublement de la liaison entre Carrefour RN29 A/CW 121 et le carrefour RN29/CW 16 à Khemis El Khechna ainsi qu'un pont à poutre d'une longueur de 100 m ».

Quant à l'idée du projet, la source n'est pas du schéma directeur sectoriel ou d'autres schémas d'aménagement, du fait de la taille non considérable du projet, mais l'idée du projet provient chez les responsables locaux des administrations ou soit chez les responsables politiques locaux.

A cet effet, le maître de l'ouvrage qui est la Direction des Travaux Publics de la wilaya de BOUMERDES commence à établir le « programme du projet » en s'appuyant sur la « maquette numérique » dite de programmation ayant pour rôle, premièrement, de contenir tous les contraintes programmatiques et réglementaires du projet et par la suite ça va servir à la consultation des maîtres d'œuvres.

## IV-2 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE DE PROGRAMMATION »

### Charte BIM

Au départ, la Direction des Travaux Publics de la wilaya de BOUMERDES, instruit sa maquette numérique (de programmation) par un document (générique) dénommé « la Charte BIM » traduisant sa politique en objectif de qualité et de performances attendus en matière d'étude routière. Cette charte BIM, est l'équivalent dans l'ingénierie classique, d'une partie du cahier des charges mais en amont, c'est-à-dire les conditions générales applicables pour les études routières.

### Cahier des charges BIM

Le cahier des charges BIM élaboré par la Direction des Travaux Publics de la wilaya de BOUMERDES est le complément de la charte BIM, mais à la différence, c'est spécifique à chaque projet. Dans notre cas, l'étude suscitée. Ce document est inséré bien évidemment dans la maquette numérique de programmation. Cette charte BIM accompagnée d'un cahier de charge BIM constitué « le volet BIM du programme ».

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	67
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

Le maître d'ouvrage, la Direction des Travaux Publics de la wilaya de BOUMERDES a lancé « un appel d'offre national ouvert » aux soumissionnaires avec un « cahier des charge BIM » par lequel mon bureau d'étude BET GENIVAR a soumissionné et décroché l'opération d'étude.

### Convention BIM

Une fois mon « bureau d'étude GENIVAR » a été retenu par la maîtrise d'ouvrage suite à une évaluation technique et financière, le maître d'ouvrage m'a sollicité de rédiger la « convention BIM ». Cette convention BIM, est l'équivalent dans l'ingénierie classique de « contrat d'étude » qui lie le bureau d'étude et le maître de l'ouvrage lorsqu'il s'agit d'un montant non significatif et « marché d'étude » lorsque il s'agit d'un montant important.

Cette convention BIM définit plus ou moins précisément la façon dont les objets de la maquette doivent être nommés, modélisés ainsi que le contenu et le niveau de détail de ces objets en fonction de chaque phase. Il est précisé également, que cette convention BIM sera insérée dans la « maquette de programmation » du maître de l'ouvrage.

### IV-3 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE DE CONCEPTION »

Un « ordre de service de commencement des travaux d'étude » m'a été notifié deux mois après « l'ouverture des plis des soumissionnaires » et un mois après l'évaluation et jugement ou avis d'attribution. En ma qualité de maître de l'œuvre, j'ai commencé à élaborer la « maquette numérique de conception ».

Voici les caractéristiques techniques du projet :

#### Situation de la région

Le site du projet est la ville de Khemis El Khechna qui se trouve à 30 Km au Sud Ouest du chef lieu de la wilaya de BOUMERDES et, est située à 30 Km de la capitale. Khemis El Khechna est limitée :

- Au Nord par la Boumerdes Réghaïa, et Ouled Moussa,
- Au Sud Ouest par la commune de Larbaa,
- Au Sud Est par la commune de Lakhdaria,
- A l'Ouest par la commune de Meftah.

Quand la section étudiée est limitée au Nord par le CW 121 et à l'Ouest par la CW 16 et à l'Est par le CW36 et au Sud par la RN 29.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	68
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### Consistance physique du projet

La liaison de la Route Nationale « R 29 A/RN 29 » à dédoubler en 2x2 voies, objet de notre étude s'étale sur un linéaire de 1,8 Km en ayant un profil en travers existant d'une largeur 6 à 07 m avec un accotement de part et d'autre d'une largeur de 1 à 2 m selon les sections traversées.

Le Linéaire totale	.....	03 Km
Nombre des Routes revêtues Secondaires	.....	02U
Nombre des Pistes Secondaires	.....	02U
Nombre de Pont	.....	01U
Nombre des Ouvrages Dalots Cadres	.....	01U
Nombre des Ouvrages Buses	.....	02U

### Consistance Physique de l'ouvrage existant à dédoubler

La liaison de la Route Nationale « R 29 A/RN 29 » à dédoubler en 2x2 voies, qui s'étale sur un linéaire de 1,8 Km présente sur son itinéraire un ouvrage d'Art non courant qui franchis l'oued el Hamiz en ayant un profil en travers existant d'une largeur 07 m avec un trottoir de part et d'autre d'une largeur de 1,50 m .

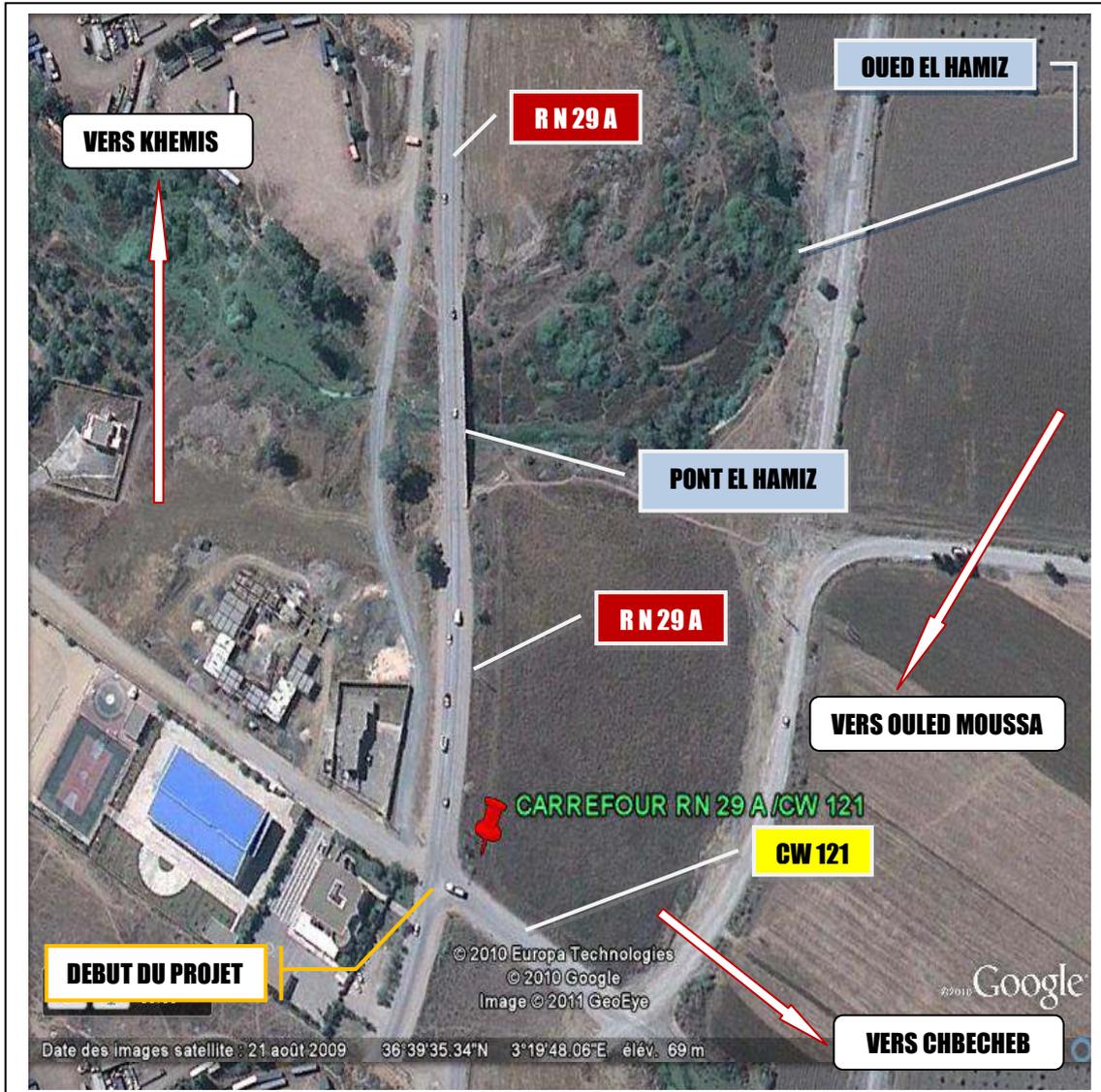
La longueur totale	.....	100 m.
Longueur travée	.....	20 m.
Nombre de travées	.....	04 U.
Nombre de futs par pile	.....	02 U.



#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	69
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

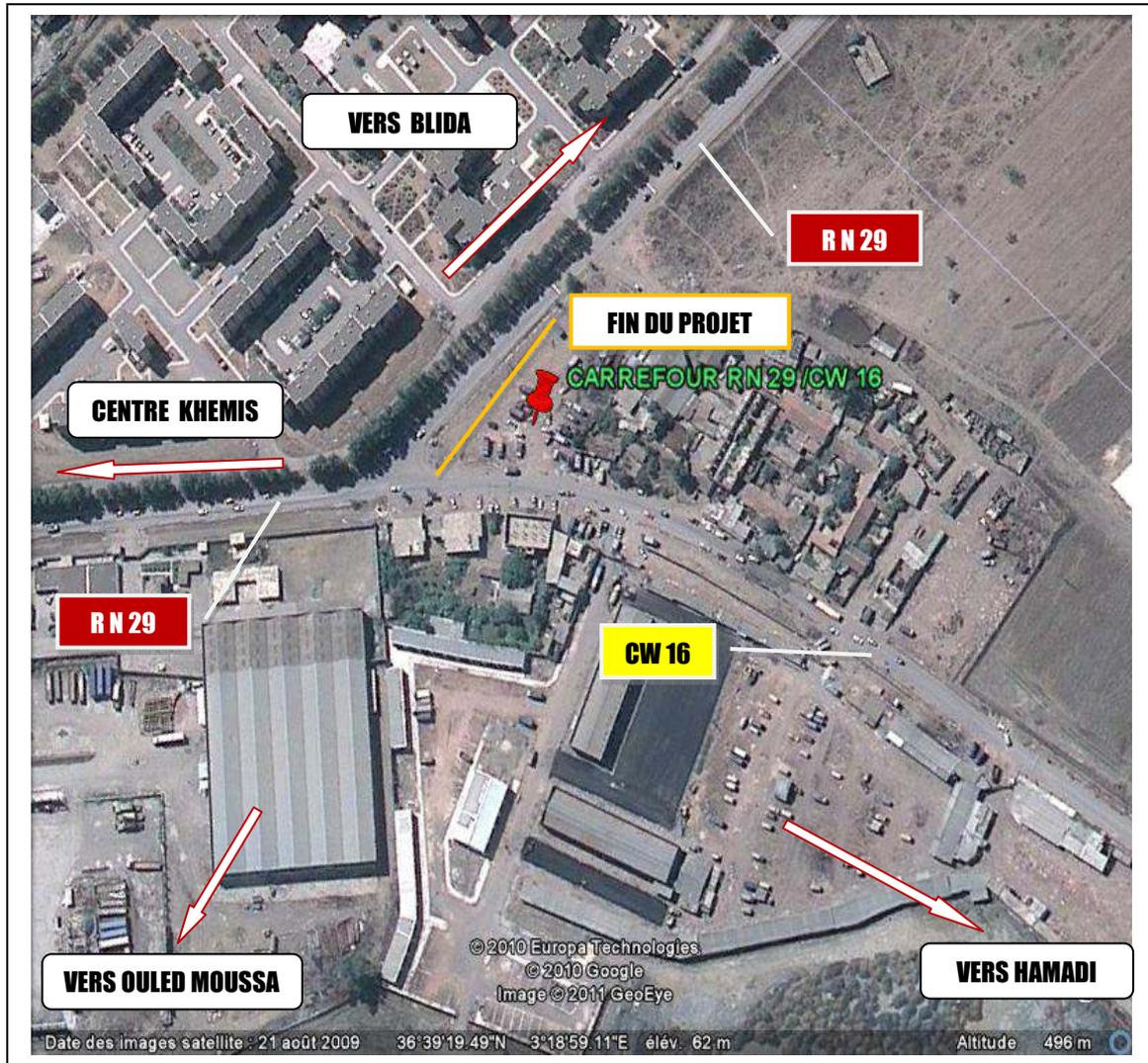
Etat des lieux de la liaison à dédoubler



Cette photo ci -dessus représente le DEBUT DU PROJET au niveau du carrefour RN 29 A et CW 121.

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	70
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	



Cette photo ci -dessus représente la FIN DU PROJET au niveau du carrefour RN 29 / CW 16.

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	71
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### IV-3-1 MAQUETTES NUMERIQUES INTEGREES

La nature du projet traité élimine l'élaboration des « maquettes numériques intégrées » qui sont en principe les premières maquettes à concevoir dans le process BIM. Ceci est du au fait que la maquette intégrée ou maquette unique est destinée pour des phases en amont du cycle de vie d'un projet comme la phase esquisse dans le cas d'un projet d'architecture ou bien en phase préliminaire ou il y a seulement un seul acteur de l'élaboration de l'étude.

### IV-3-2 ELABORATION DES MAQUETTES NUMERIQUES METIERS

Le projet routier ainsi confié est composé d'une étude de tracé ; incluant (les études d'assainissement, multi-réseaux, parcellaire) ainsi qu'une étude topographique et une étude d'un pont à poutre d'une longueur de 100 m. Mon bureau d'étude GENIVAR prend en charge l'aspect tracé par contre le volet topographique sera à la charge d'un autre « cabinet de géomètre » et celui de l'étude du pont sera donné à un autre bureau d'étude dénommé Gramah spécialisé dans les ouvrages d'art. Selon La Convention BIM, les phases demandées sont l'avant projet sommaire (APS) et l'avant projet détaillé (APD) qui correspond au LOD 200 selon la norme américaine et le (LOD 3 selon la norme britannique).

Les deux bureaux d'étude qui sont GENIVAR et Gramah ainsi que le « cabinet géomètre » ne commencent pas le travail au même moment et travailleront chacun de son côté sur des parties distincts. Mon bureau d'étude s'occuper de la partie tracé de la route à dédoubler et le bureau d'étude Gramah prends en charge l'étude du pont en phase avant projet sommaire (APS) alors que le « cabinet géomètre » s'occupe de tout ce qui est topographie notamment le levé topographique avec interprétation et mise en plan dans le bureau. Voila les étapes de la conception que nous allons suivre :

#### Préparation du fichier

Nous allons créer une « **maquette numérique générale** » qui contiendra les différentes sous-maquettes qui sont les « **maquettes numériques métiers** ». Pour cela, on a trois « maquettes numériques métiers » qui sont respectivement, la « maquette numérique métier » de tracé et la « maquette numérique métier » du pont ainsi que la « maquette numérique métier » topographie. Cette « **maquette numérique générale** » contiendra un point de référence qui servira pour le système d'axes et les limites du projet.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	72
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### Arrêté le point de référence

Du moment que les deux bureaux d'étude ainsi que le « cabinet géomètre » travaillent chacun de leur coté, il faudra avoir une même référence géométrique pour que au moment de l'assemblage des maquettes, la cohérence géométrique sera respectée. A cet effet, nous nous sommes accordés sur « un point de référence choisi par le géomètre » en  $(x, y, z)$  situé sur la route à dédoubler plus exactement entre le pont et la fin du tronçon routier.



### Création des calques

Nous avons créé dans la « **maquette numérique générale** » toute une série de calques qui sera commun entre les trois acteurs de la conception c'est-à-dire des listes de calques contenant les préfixes pour chaque métier. On utilise, par exemple, STR pour la structure qui est dans notre cas le pont et on utilise ASS pour tout ce qui est assainissement dans le volet tracé.

### Création d'une base de données

On a crée par la suite, une base de données (un dossier avec les composants et qui on aura besoin dans le reste du projet) accessible pour tous ce qui modélisent sur le même fichier. Ce sont les ingénieurs des trois bureaux de conception suscités.

Ce « dossier avec les composants » est complété au fur et à mesure de la modélisation et constituera à la fin, l'ensemble des objets utilisés. Le dossier existe par défaut sur le logiciel de modélisation mais n'est accessible que par l'utilisateur de l'ordinateur.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	73
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

Pour cela, et comme nous avons décidé de travailler en collaboration nous avons créé le dossier sur « un cloud » pour qu'il soit accessible pour le BET GENIVAR chargé des études de tracé et le BET Gramah chargé de l'étude de pont ainsi que le « cabinet géomètre » chargé de l'aspect topographique du projet.

Pour qu'il soit le plus efficace possible, nous avons rangé les différents composants dans des sous-dossiers correspondants à ceux des calques. Il suffit ensuite d'affecter ce dossier comme base de données dans notre fichier du « logiciel de modélisation ».

### Informations relatives au projet

La « maquette numérique générale » va contenir tout le site, il est donc légitime que ce soit elle qui contienne les informations relatives au projet. On retrouve généralement l'auteur de la modélisation, la géolocalisation du projet (position, altitude, orientation par rapport au nord), l'emplacement du fichier mais aussi des données plus techniques comme les unités utilisées, les styles de mise en forme.

### Modélisation 3D

#### Topographie

La modélisation de la topographie sur le « logiciel de modélisation », pour la réalisation du terrain en 3D, passe par le passage de deux opérations primordial qui sont les suivants :

- Un levé du terrain par un géomètre qui fourni un fichier de points ;
- Présenter un fichier type CAO avec les courbes de niveau.

Résultat, à partir de notre terrain créé :

- Modéliser un solide dont la face supérieure sera notre topographie ;
- Extraire de la topographie le tracé de la route.

### Modélisation d'éléments

Il s'agit ici de modéliser l'entièreté de la « maquette numérique » grâce aux éléments qui la composent. Nous distinguons trois sortes d'éléments :

- **Les éléments paramétriques** : Il s'agit des composants (ou objet) que l'on va beaucoup utiliser dans notre projet et dont il est possible de définir des paramètres pour qu'ils s'adaptent à nos besoins ;  
Par exemple, nous allons modéliser une poutre d'un pont en indiquant les dimensions de son profil et sa longueur. Cela nous évitera par la suite de devoir modéliser un nouveau composant si la poutre ne fait pas la même taille ;
- **Les éléments d'usage unique** : ce sont principalement des masses comme les murs ou les dalles qui peuvent être réalisées très rapidement et dont la forme ne permet pas un usage paramétrique ou s'ils sont uniques ;
- **Les éléments organisationnels** : on entend ici tous les éléments qui ne représentent pas une réalité constructive.

### Commencement du processus de Collaboration

Nous avons créé pendant la préparation du fichier « **une maquette numérique de base** » ou une « **maquette numérique générale** » reprenant les informations essentielles (topographie, point de référence, niveaux, géolocalisation, orientation...).

Cette maquette va servir de « **Master Maquette** » (qui va devenir plus tard « maquette numérique fédérée ») pour les BET. Nous avons donc une maquette initiale avec les informations de base, et chaque collaborateur se sert de cette maquette de base pour créer la sienne. Ensuite chacun des BET fait une copie de la « **Master Maquette** » au départ pour et c'est ainsi que les sous-maquettes sont créées. A ce moment, il existe présentement trois (03) « maquettes numériques métiers » de tracé, structure (pont) et topographie. A cet instant, nous avons donc une « **Master Maquette** » dont personne ne travaille dessus, du moins pour le début.

### Le Management humain

#### Le « coordinateur BIM », Manager BIM et modelleur BIM

Le « **coordinateur BIM** », qui est pour ce projet de petite taille le « **Manager BIM** », place alors les maquettes numériques créées sur la Master-Maquette qui, évoluera en fonction des avancées des sous-maquettes. Mais l'intérêt est également pour chacun de voir l'avancée de l'autre pour s'adapter ou se questionner au moment opportun et non lorsque la maquette est finie ou bien avancée.

Pour cela, nous avons d'abord désigné, comme « **Manager BIM** » un ingénieur du BET GENIVAR. Ce choix est du essentiellement du au fait que GENIVAR est le chef de file. Quant à la suite du personnel technique choisi, on a trois (03) coordinateurs BIM chacun des bureaux d'étude suscités qui sont respectivement, un « coordinateur BIM tracé » ayant sous sa coupe trois modeleurs, un « coordinateur BIM pont » ayant sous sa coupe deux modeleurs et un « coordinateur BIM topographie » ayant sous sa coupe un modeleur.

Nous avons mis en place une situation où le bureau d'étude GENIVAR chargé du tracé et le bureau d'étude Gramah chargé de l'étude de pont commencent leur travail bien après le « cabinet géomètre ». La première chose à faire pour le « cabinet géomètre » est de commencer sa « **maquette numérique métier** » par la copie de la « **maquette de base** » et de venir placer la maquette en cours du bureau d'étude GENIVAR chargé du tracé et le bureau d'étude Gramah chargé de l'étude de pont sur la sienne.

Ensuite la chose à faire pour le bureau d'étude GENIVAR chargé du tracé est de commencer sa « **maquette numérique métier** » par la copie de la « **maquette de base** » et de venir placer la maquette en cours du bureau d'étude Gramah chargé de l'étude de pont sur la sienne. A cet effet, Il faut verrouiller la maquette de du bureau d'étude GENIVAR chargé du tracé et le bureau d'étude Gramah chargé de l'étude de pont pour que le « cabinet géomètre » ne puisse pas la modifier de manière fortuite.

Nous avons mis en évidence les différentes étapes de collaboration :

- Création de la sous-maquette du « cabinet géomètre » à partir de la maquette de base (présence des axes, topographie, point de référence...);
- Insertion dans le modèle de la sous-maquette du BET GENIVAR (Fichier/importer);
- Visualisation de la maquette du BET GENIVAR depuis le modèle du « cabinet géomètre » ;
- Mise à jour du modèle du BET GENIVAR ;
- Visualisation de la modification du BET GENIVAR pour que le « cabinet géomètre » puisse s'adapter.

Le principe reste le même entre le BET GENIVAR chargé du tracé et le BET Gramah chargé de l'étude du pont avec une avance du BET GENIVAR car il faudra que l'ingénieur tracé de

GENIVAR arrête le tracé de la route et son profil en long pour que son confrère l'ingénieur structure ou ouvrage d'art puisse asseoir son ouvrage et modélisé sa maquette.

#### IV-3-3 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE FEDEREE » DE CONCEPTION

Au final, les (03) trois « maquettes numériques métiers » sont assemblées, à l'aide de liens informatiques, en maquette globale du projet dénommé « **maquette numérique fédérée** » de **conception**.

#### IV-4 LA PROBLEMATIQUE DU FORMAT D'ECHANGE ENTRE MAQUETTES.

« LandXML » est aujourd'hui le seul format d'échange disponible pour les infrastructures. Cependant, il n'est pas, pour le moment, un standard officiel normalisé. C'est un format d'échange de données relative à « **la géométrie d'infrastructure linéaire** ». Les outils numériques ne l'implémentent pas entièrement : il n'y a pas de processus de certification. Il n'est pas basé sur organisation des données en objet ; les coordonnées des objets sont en 3D mais pas leur représentation. Par ailleurs. Il n'est pas basé sur un model conceptuel explicite et ne comporte pas non plus de dictionnaire ; ces deux éléments absents du LandXML sont indispensable à l'utilisation d'un model conceptuel interopérable. Par conséquent, LandXML correspond plutôt à un standard de facto et non de jure. Toutefois, LandXML fournit un model sémantique pour les parcelles, l'occupation du sol est les réseaux de transport et de canalisation.

Il intègre également les axes en plan et profils en travers des infrastructures linéaires. Actuellement, un model conceptuel plus complet, LandInfra ou InfraGML, est en cours de développement avec une première version draft proposée en décembre 2014. [7]

Concernant notre projet, le problème d'interopérabilité ne se pose pas car nous avons choisi un logiciel BIM qui est un logiciel de conception des routes et autoroutes « sierra Soft Roads » dont le partage et la modélisation BIM s'effectuent via les fonctionnalités « BIM Exchange » et « BIM Modeling » qui font partie de la plateforme logicielle « M3 framework ». Ceci dit, le partenaire « cabinet géomètre » chargé du volet topographie travaille sur la plateforme logicielle « M3 framework » qui crée des applications BIM pour la topographie. Quant au bureau d'étude Gramah chargé de l'étude de pont, le logiciel utilisé fait parti du même « éditeur de logiciel de GENIVAR », de ce fait, le problème d'interopérabilité ne se pose pas également et la « compatibilité » est assurée.

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	77
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

#### IV-5 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE DE CONSTRUCTION » :

##### IV-5-1 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE DE REALISATION »

Au préalable, et après l'achèvement de la conception, la direction des travaux publics de la wilaya de Boumerdes, a lancé un « Appel d'offres national » suite à lequel une entreprise a été retenue. Le dossier de consultation ayant servi pour la sélection de l'entreprise contenait la « maquette numérique de conception ». Avant le commencement des travaux de réalisation du projet de « **dédoublement de la liaison entre carrefour RN2A/CWI2I et le carrefour RN 29/CW 16 a khemis el khechna** », l'entreprise, à la base de la maquette fédérée (maquette en phase de conception) produit la maquette « as-built » (en Algérie c'est les études d'exécution). Cette maquette « as-built » est une compilation des « maquettes numériques métiers de l'entrepreneur combinées avec celles des sous-traitants ».

##### IV-5-2 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE DE RECEPTION »

L'entreprise continue à instruire sa maquette numérique, avec tous les modifications éventuelles, jusqu'au moment de la réception. Elle est remise par la maîtrise d'œuvre au maître d'ouvrage.

##### IV-6 ELABORATION DE LA « MAQUETTE NUMERIQUE D'EXPLOITATION »

Cette « maquette numérique de construction » qui inclue la maquette numérique de réalisation et de réception, incorpore de nouvelles données notamment liées à l'usage et, utile au maître d'ouvrage, au mainteneur ou à l'exploitant.

# CONCLUSION

## 1- INTRODUCTION GENERALE

Depuis l'indépendance, l'Algérie a lancé de grands projets économiques pour mettre en place une assise industrielle dense. cependant, en dépit des réalisations importantes (routes, métro, autoroutes, universités, usines, etc.), qui ont été réalisées, l'économie algérienne, passant par divers stades de turbulences, n'arrive toujours pas à trouver ses repères et à tirer les leçons des échecs précédents.

Dans les années 1980, l'économie algérienne a connu des difficultés importantes. En effet, le contre-choc pétrolier de 1986 a porté un coup dur à une économie quasiment rentière, c'est la période des plans anti-pénurie et de stabilisation. Aux débuts des années 1990, l'Algérie a engagé des réformes structurelles concrétisant ainsi le passage à « **l'économie de marché** ».

Présentement, l'économie algérienne demeure très fortement dépendante de la rente des hydrocarbures, qui représentent la principale source de revenus du pays, sans être parvenue à se diversifier et à mettre en place une industrialisation compétitive au niveau international.

Avec une très forte dépendance aux hydrocarbures, le secteur privé ne se développe pas et l'économie semble condamnée à rester une économie rentière.

## 2- PRESENTATION DE LA SOURCE D'IDEE DU MASTER

Il est très important de citer un organisme qui joue présentement un rôle important pour l'économie du pays, et qui est « **la source même de ce Master** », non en tant qu'une entité étatique mais de part sa contribution à l'amélioration de l'économie algérienne à travers les grands projets d'infrastructures de transport et social. La Caisse Nationale d'Équipement pour le Développement (C.N.E.D) est un établissement public à caractère industriel et commercial, sous tutelle du Ministre des Finances, créé en vertu des dispositions de l'article 70 de la loi n°03-22 du 28 décembre 2003 portant loi de finances pour 2004.

En application des dispositions de la loi suscitée, le décret exécutif n°04-162 du 05 juin 2004, portant statut, organisation, missions et attributions, a fixé à la CNED l'objectif général d'« **accroître l'efficacité de la dépense publique d'équipement de l'Etat** », d'améliorer le processus d'évaluation, de réalisation et de suivi des grands projets d'infrastructure économique et sociale, nécessitant la mobilisation de moyens financiers et humains importants, de diversifier les sources de financement et d'optimiser le coût de financement des grands projets.

### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	80
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

### 3- GUIDE DE MATURATION DES GRANDS PROJETS D'INFRASTRUCTURE ECONOMIQUE ET SOCIAL

Elaboré par la Caisse Nationale d'Equipement pour le Développement, ce guide est d'abord un instrument destiné aux maîtres d'ouvrage des grands projets d'infrastructures économique et sociale. Il a pour ambition de les aider à mieux structurer, préparer et conduire les études de maturation des grands projets. Le guide concerne également la Caisse Nationale d'Equipement pour le Développement, qui doit « **expertiser et donner un avis motivé sur les études de maturation des grands projets** ».

Les dispositions préconisées par le guide ont été élaborées en référence, d'une part, à l'expérience nationale et, d'autre part, aux meilleures pratiques internationales en matière de maturation des projets. Il est attendu de l'application des dispositions de ce guide une amélioration significative de la maturation des grands projets d'infrastructures économique et sociale.

### 4- L'IMPACT FINANCIER CONSIDERABLE DES PROJETS D'INVESTISSEMENTS

L'Algérie comme tout autre pays est engagé dans un vaste effort de développement et d'amélioration de la gestion de ses infrastructures économiques et sociales, notamment dans les secteurs des transports, de l'hydraulique, de l'équipement hospitalier et universitaire ; ces opérations mobilisent d'importantes ressources financières du budget d'investissement de l'Etat. Aussi, leur concrétisation, dans les meilleures conditions de coût, de délai et de qualité, nécessite une préparation et un suivi rigoureux.

### 5- PROBLEMATIQUE

L'expérience dans le passé montre que les grands projets de ce type ont souvent connu de nombreux problèmes en phase de réalisation, se traduisant par l'allongement des délais et une augmentation importante des coûts d'investissements et par conséquent, entre autres, une perturbation de la planification budgétaire de l'état. Par ailleurs, l'impact économique et social de plusieurs de ces grands projets, parfois mal adaptés à la satisfaction des besoins, reste insuffisant eu égard aux efforts financiers considérables consentis par l'état.

## 6- SOURCES ET CAUSES

Une des causes importantes des difficultés rencontrées tient au fait que les « études de maturation » ensemble des études menées entre « l'idée de projet » et le lancement de la réalisation des investissements connaissent fréquemment de « graves insuffisances ». L'amélioration de la maturation des grands projets devient ainsi un des leviers essentiels permettant de rationaliser l'utilisation de l'argent public et d'en améliorer l'efficacité.

## 7- COMMENTAIRES ET DISCUSSION

Le guide publié sous l'égide de la Caisse Nationale d'Équipement pour le Développement (CNED), établissement public destiné, parmi d'autres fonctions, à apporter son concours à l'amélioration de la « maturation des grands projets d'infrastructure » s'avère, à notre avis, lui-même incapable de résoudre toutes ces insuffisances quant à la maturation des études qui sont la source même de ces problèmes rencontrés lors de la réalisation de ces projets de construction et ceci par leur graves insuffisances et les erreurs de conception engendrés.

Cet échec, à notre point de vue, de ne pas pouvoir palier à tous ces problèmes rencontrés lors de la réalisation engendrant pour ainsi dire, un véritable souci pour les pouvoirs publics, trouve son explication sur « la méthode classique d'ingénierie adoptée dans l'élaboration des « études de maturation ».

## 8- LA SOLUTION EST LE BIM

Au final, je tiens à préciser que la présentation de la méthode d'ingénierie BIM n'est pas une fin en soi ou une publicité commerciale de produits issus, mais, comme la « solution idéale » d'éliminer tous les problèmes rencontrés, durant la réalisation de ces projets, qui ruinent les caisses de l'état.

La qualité des études de maturation, traitée par la méthode de simultanéité ou process BIM est le meilleur garant de réussite de tout projet.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Ministère des finances, caisse nationale des équipements pour le développement, « **Guide de maturation des grands projets d'infrastructure économique et sociale** », partie 1- Méthodologie générale, Décembre 2008 ;

[2] : Ministère des finances, caisse nationale des équipements pour le développement, « **Guide de maturation des grands projets d'infrastructure économique et sociale** », partie 2- Dispositions spécifiques au secteur des Transports, Décembre 2008 ;

[3] : Ministère des finances, caisse nationale des équipements pour le développement, « **Guide de suivi des grands projets d'infrastructure économique et sociale** », Décembre 2008 ;

[4] : Ministère des finances, caisse nationale des équipements pour le développement, « **Guide d'évaluation rétrospective des grands projets d'infrastructure économique et sociale** », Décembre 2008 ;

[5] : Eric Lebègue, José Antonio Cuba Sgura ; « **conduire un projet de construction à l'aide du BIM** »; CSTB Eyrolles novembre 2015 ;

[6] : Annalisa De Maestri ; « **Premiers pas en BIM** » ; afnor Eyrolles 2017 ;

[7] : Eric Lebègue et olivier celnic « **BIM et maquette numérique** » CSTB Eyrolles novembre 2014, 2015 ;

[8] : L- Albert ; « **la Modélisation en science de la terre** » ; Master SVT 2011,2012 ;

[9]: Michael S BERGIN; « **History of BIM** », -journal: Architecture Research Lab-2011;

[10] : François PELEGRIN ; « **BIM, bouleversement interprofessionnel majeur** » ; éditions Eyrolles et CSTB, 2017 et 2018 ;

[11] : « **Maquette numérique** » Wikipédia marque déposée Wikimedia fondation, inc, 2020

Documents utilisé comme source :

- Thèses du Le2i [archive], Laboratoire d'électronique, Informatique et Image, est associé aux départements INSIS (principal) et INS2I (secondaire) du CNRS (FRE CNRS 2309 en janvier 2001 puis UMR CNRS 5158 depuis janvier 2003) ;

[LE BIM en TRAVAUX PUBLICS](#)

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	83
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Souheil Soubra, La ville numérique, un outil innovant pour faciliter la mise en débat [archive], PPT, 18 pages ;
  - Plan Bâtiment Durable ; Rapport groupe de travail BIM et Gestion du patrimoine ; Un avatar numérique de l'ouvrage et du patrimoine au service du bâtiment durable : le «Bâtiment et Informations Modélisés » [archive] (BIM), PDF, TOME 1, rapport et propositions 64 pages ;
  - Un outil de construction et de gestion transversal : La décomposition de la maquette numérique communicante. [archive] (document PDF de 13 pages produit pour le groupe de travail BIM et Gestion du patrimoine, 2013) ;
  - Almadea et Cluster éco-habitat-Poitou-Charente (2014) Livre blanc « Maquette numérique et gestion patrimoniale ; Préparer la révolution numérique de l'industrie immobilière » [archive] (en 12 points-clé), écrit dans le cadre du « plan Bâtiment durable [archive] »; Avril 2014, PDF, 100 pages ;
  - Merlhiot X (2009) Une contribution algorithmique aux outils de simulation mécanique interactive pour la maquette numérique industrielle (Doctoral dissertation, Paris 6),
  - De Luca L (2006) Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural ; définition d'une approche hybride de reconstruction 3D d'édifices [archive] ; Doctorat Conception, Paristech> ENSAM 2006ENAM0009 p.217.
- Le Magazine électronique du BIM « BIM MANAGER » et [www.bimbt.com](http://www.bimbt.com).

[12] : Fonds de Dotation Cercle Promodul / INEF4, Avril 2019 :

- Celnic Olivier, Eric Lebègue « **BIM et Maquette Numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction** », CSTB Editions, Editions Eyrolles, 16/09/14.
- Lebègue Eric « **Travail collaboratif autour du BIM** », SMABTP, CSTB, 12/02/14.
- « **L'essentiel maquette numérique, bâtiment, BIM-IFC** », Building Smart, Novembre 2011 ;
- « Rapport d'Etape », Plan Transition Numérique dans le Bâtiment, Mars 2017 ;
- « Rapport Bilan », Plan Transition Numérique dans le Bâtiment, Décembre 2018 ;
- Normes « NF EN ISO 19650-1 » et « NF EN ISO 19650-2 », AFNOR, Décembre 2018 ;
- Livre Blanc Maquette Numérique et gestion patrimoniale, « **Préparer la révolution numérique de l'industrie immobilière** », Caisse des Dépôts et des Consignations, Mai 2014 ;

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	84
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- Rapport du Groupe de travail BIM et Gestion du patrimoine, « **Un avatar numérique de l'ouvrage et du patrimoine au service du bâtiment durable : le « Bâtiment et Informations Modélisés » (BIM) »**, Plan Bâtiment Durable, Mars 2014 ;

[13] : Serge K. Levan : « **Management et collaboration BIM** » : éditions Eyrolles, 2016 ;

[14] : Colloque SAGEO 2015, Sirong MAO et Yong YUAN, Faculté de l'Ingénierie Géotechnique, l'Université Tongji à Shanghai, Chine ;

-Rahim AGUEJDAD, Laboratoire Image, Ville, Environnement, Strasbourg, France

-Jean-Lou LEBRUN et Omar DOUKARI, Institut de Recherche en Constructibilité, ESTP Paris, 94234, Cachan, France.

[15] : PTNB-Plan de transition numérique dans le bâtiment, « Guide de recommandations à la maîtrise d'ouvrage, BIM et maquette numérique », juillet 2016 ;

[16] : David, Damien Thème : Mémoire de fin d'études « **L'accès au BIM pour les petites et moyennes agences d'architecture : méthodologie et interopérabilité** », Faculté des Sciences appliquées université de liège Belgique, promoteur : Leclercq, Pierre ; Diplôme: Master ingénieur civil architecte option ingénierie architecturale et urbaine, Année académique : 2017-2018 ;

[17] : Vincent Bleyenheuft avec la contribution de Julien Blachère et Christophe Onraet , « **Les familles de REVIT pour le BIM** », éditions Eyrolles 2017.

[18] : Méthodologie d'étude et suivi élaborée par le bureau d'étude « SAETI » puis développée par Aboutaleb KAID au sein d'un bureau d'étude international et présentée dans le cadre d'une soumission d'appel d'offre national et international d'un projet autoroutier.

[19] : Halbach, Amélie Thème : Mémoire de fin d'études : « **Le BIM as-built comme outil d'aide à la décision entre démolition ou déconstruction** », Faculté des Sciences appliquées université de liège Belgique, promoteurs : Jancart, Sylvie, Année académique : 2018-2019 ;

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	85
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

# **ANNEXE** Notes de calcul

**CALCUL D'AXE**

Elém	Caractéristiques	Longueur	Abscisse	X	Y
			0	529555,48	4057263,8
D1	G = 219.108g	202,961			
			202,961	529495,48	4057069,9
C1	XC= 528549.737				
	YC= 4057362.579				
	R = -990.000	85,222			
			288,183	529466,81	4056989,6
D2	G = 224.588g	2,293			
			290,475	529465,95	4056987,5
C2	XC= 528220.950				
	YC= 4057493.807				
	R = -1344.000	172,51			
			462,985	529390,9	4056832,3
D3	G = 232.760g	39,499			
			502,484	529371,46	4056797,9
C3	XC= 525018.976				
	YC= 4059258.815				
	R = -5000.000	127,524			
			630,008	529307,28	4056687,7
D4	G = 234.383g	34,375			
			664,383	529289,61	4056658,3
CL4	A = 72.000				
	Rf= 214.000				
	L = 24.224				
			688,608	529277,55	4056637,3
	XC= 529467.018				
	YC= 4056537.773				
	R = 214.000				
	L = 53.429				
			742,036	529258,84	4056587,4
	Rd= 214.000				
	A = 72.000				
	L = 24.224	101,877			
			766,261	529254,12	4056563,6
D5	G = 211.283g	79,268			
			845,528	529240,15	4056485,6
CL5	A = 20.000				
	Rf= -40.000				
	L = 10.000				
			855,528	529237,98	4056475,8

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	87
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

LE BIM ET L'EFFICIENCE DE LA DEPENSE PUBLIQUE

	XC= 529199.790				
	YC= 4056487.725				
	R = -40.000				
	L = 55.503				
			911,031	529195,04	4056448
	Rd= -40.000				
	A = 20.000				
	L = 10.000	75,503			
			921,031	529185,25	4056450
D6	G = 315.533g	104,525			
			1025,556	529083,82	4056475,3
CL6	A = 43.000				
	Rf= 128.000				
	L = 14.445				
			1040,002	529069,74	4056478,5
	XC= 529045.876				
	YC= 4056352.737				
	R = 128.000				
	L = 22.418				
			1062,42	529047,47	4056480,7
	Rd= 128.000				
	A = 43.000				
	L = 14.445	51,309			
			1076,865	529033,03	4056480,4
D7	G = 297.199g	24,102			
			1100,967	529008,95	4056479,3
CL7	A = 30.000				
	Rf= -90.000				
	L = 10.000				
			1110,967	528998,95	4056479
	XC= 528999.994				
	YC= 4056569.042				
	R = -90.000				
	L = 38.011				
			1148,979	528962,16	4056487,4
	Rd= -90.000				
	A = 30.000				
	L = 10.000	58,011			
			1158,979	528953,25	4056491,9
D8	G = 331.160g	5,398			
			1164,376	528948,48	4056494,5
C8	XC= 528812.139				

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	88
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

LE BIM ET L'EFFICIENCE DE LA DEPENSE PUBLIQUE

	YC= 4056238.506				
	R = 290.000	68,48			
			1232,857	528884,82	4056519,3
D9	G = 316.127g	546,301			
			1779,158	528355,95	4056656,2
CL9	A = 15.000				
	Rf= 44.000				
	L = 5.114				
			1784,271	528350,98	4056657,4
	XC= 528342.444				
	YC= 4056614.186				
	R = 44.000				
	L = 41.247				
			1825,518	528312,7	4056646,6
	Rd= 44.000				
	A = 15.000				
	L = 5.114	51,474			
			1830,632	528309,07	4056643
D10	G = 249.049g	1,849			
			1832,481	528307,78	4056641,7
<b>LONGUEUR DE L'AXE 1832.481</b>					
<b>TABULATION DE L'AXE EN PLAN</b>					
Profil	Elément	Abscisse	X	Y	Gisement
1	D1	0	529555,48	4057263,8	319.108g
2	D1	25	529548,09	4057239,9	319.108g
3	D1	50	529540,7	4057216	319.108g
4	D1	75	529533,31	4057192,1	319.108g
5	D1	100	529525,92	4057168,2	319.108g
6	D1	125	529518,53	4057144,3	319.108g
7	D1	150	529511,14	4057120,5	319.108g
8	D1	175	529503,74	4057096,6	319.108g
9	D1	200	529496,35	4057072,7	319.108g
TANG	D1	202,961	529495,48	4057069,9	319.108g
10	C1	225	529488,73	4057048,9	320.525g
11	C1	250	529480,51	4057025,3	322.133g
12	C1	275	529471,69	4057001,9	323.741g
TANG	C1	288,183	529466,81	4056989,6	324.588g
TANG	D2	290,475	529465,95	4056987,5	324.588g
13	C2	300	529462,33	4056978,7	325.039g
14	C2	325	529452,53	4056955,7	326.224g
15	C2	350	529442,31	4056932,9	327.408g
16	C2	375	529431,66	4056910,3	328.592g

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	89
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

LE BIM ET L'EFFICIENCE DE LA DEPENSE PUBLIQUE

17	C2	400	529420,6	4056887,9	329.776g
18	C2	425	529409,12	4056865,6	330.960g
19	C2	450	529397,23	4056843,7	332.145g
TANG	C2	462,985	529390,9	4056832,3	332.760g
20	D3	475	529384,98	4056821,9	332.760g
21	D3	500	529372,68	4056800,1	332.760g
TANG	D3	502,484	529371,46	4056797,9	332.760g
22	C3	525	529360,33	4056778,4	333.046g
23	C3	550	529347,87	4056756,7	333.365g
24	C3	575	529335,31	4056735,1	333.683g
25	C3	600	529322,64	4056713,5	334.001g
26	C3	625	529309,86	4056692	334.320g
TANG	C3	630,008	529307,28	4056687,7	334.383g
27	D4	650	529297	4056670,6	334.383g
TANG	D4	664,383	529289,61	4056658,3	334.383g
28	CL4	675	529284,18	4056649,1	333.691g
TANG	CL4	688,608	529277,55	4056637,3	330.780g
29	CL4	700	529272,52	4056627	327.391g
30	CL4	725	529263,44	4056603,8	319.954g
TANG	CL4	742,036	529258,84	4056587,4	314.886g
31	CL4	750	529257,13	4056579,6	312.906g
TANG	CL4	766,261	529254,12	4056563,6	311.283g
32	D5	775	529252,58	4056555	311.283g
33	D5	800	529248,17	4056530,4	311.283g
34	D5	825	529243,77	4056505,8	311.283g
TANG	D5	845,528	529240,15	4056485,6	311.283g
35	CL5	850	529239,32	4056481,2	312.874g
TANG	CL5	855,528	529237,98	4056475,8	319.240g
36	CL5	875	529227,97	4056459,3	350.230g
37	CL5	900	529206,04	4056448,2	390.019g
TANG	CL5	911,031	529195,04	4056448	7.575g
TANG	CL5	921,031	529185,25	4056450	15.533g
38	D6	925	529181,4	4056451	15.533g
39	D6	950	529157,14	4056457	15.533g
40	D6	975	529132,88	4056463,1	15.533g
41	D6	1000	529108,62	4056469,1	15.533g
42	D6	1025	529084,36	4056475,1	15.533g
TANG	D6	1025,556	529083,82	4056475,3	15.533g
TANG	CL6	1040,002	529069,74	4056478,5	11.941g
43	CL6	1050	529059,86	4056480	6.968g
TANG	CL6	1062,42	529047,47	4056480,7	0.791g
44	CL6	1075	529034,89	4056480,4	397.259g

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	90
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

LE BIM ET L'EFFICIENCE DE LA DEPENSE PUBLIQUE

TANG	CL6	1076,865	529033,03	4056480,4	397.199g
45	D7	1100	529009,92	4056479,3	397.199g
TANG	D7	1100,967	529008,95	4056479,3	397.199g
TANG	CL7	1110,967	528998,95	4056479	0.735g
46	CL7	1125	528984,99	4056480,3	10.662g
TANG	CL7	1148,979	528962,16	4056487,4	27.623g
47	CL7	1150	528961,23	4056487,8	28.309g
TANG	CL7	1158,979	528953,25	4056491,9	31.160g
TANG	D8	1164,376	528948,48	4056494,5	31.160g
48	C8	1175	528939,02	4056499,3	28.828g
49	C8	1200	528916,09	4056509,2	23.340g
50	C8	1225	528892,4	4056517,2	17.851g
TANG	C8	1232,857	528884,82	4056519,3	16.127g
51	D9	1250	528868,22	4056523,5	16.127g
52	D9	1275	528844,02	4056529,8	16.127g
53	D9	1300	528819,82	4056536,1	16.127g
54	D9	1325	528795,62	4056542,3	16.127g
55	D9	1350	528771,41	4056548,6	16.127g
56	D9	1375	528747,21	4056554,9	16.127g
57	D9	1400	528723,01	4056561,1	16.127g
58	D9	1425	528698,81	4056567,4	16.127g
59	D9	1450	528674,61	4056573,7	16.127g
60	D9	1475	528650,4	4056579,9	16.127g
61	D9	1500	528626,2	4056586,2	16.127g
62	D9	1525	528602	4056592,5	16.127g
63	D9	1550	528577,8	4056598,7	16.127g
64	D9	1575	528553,59	4056605	16.127g
65	D9	1600	528529,39	4056611,3	16.127g
66	D9	1625	528505,19	4056617,5	16.127g
67	D9	1650	528480,99	4056623,8	16.127g
68	D9	1675	528456,79	4056630,1	16.127g
69	D9	1700	528432,58	4056636,3	16.127g
70	D9	1725	528408,38	4056642,6	16.127g
71	D9	1750	528384,18	4056648,9	16.127g
72	D9	1775	528359,98	4056655,1	16.127g
TANG	D9	1779,158	528355,95	4056656,2	16.127g
TANG	CL9	1784,271	528350,98	4056657,4	12.427g
73	CL9	1800	528335,34	4056657,6	389.670g
74	CL9	1825	528313,09	4056647	353.499g
TANG	CL9	1825,518	528312,7	4056646,6	352.748g
TANG	CL9	1830,632	528309,07	4056643	349.049g
75	D10	1832,481	528307,78	4056641,7	349.049g

LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	91
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

*ETUDE de DEDOUBLEMENT de la LIASON entre le CARREFOUR  
RN29/CW121 et le CARREFOUR RN29/CW16 A KHEMIS EL  
KHECHNA sur 03 Km*



*NOTE de CALCUL*

*OUVRAGE D'ART en APS*

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	92
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

## SOMMAIRE

I-PRESCRIPTIONS GENERALES.....	03
II- REGLEMENTS UTILISES.....	03
III-CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	03
IV-CHARGEMENTS.....	04
V-COMBINAISONS DES CHARGES.....	10
VI-DIMENSIONNEMENT DES APUIS (PILE et CULEE).....	11
VII-DIMENSIONNEMENT DU TABLIER EN BETON ARME .....	14
VIII-CONCLUSION.....	18

### I- PRESCRIPTIONS GENERALES :

La présente note à pour but le dimensionnement :

L'ouvrage est composée de 04 portée de 20.00 m chacune en Poutres béton Armé :

- Soit une longueur totale de 100 m
- Deux trottoirs de 1.50 m chacun.
- Largeur de la voie  $02 \times 3.50 \text{ m} = 7.00 \text{ m}$

Les dimensions retenues pour les ouvrages respectent trois critères :

- la situation de l'ouvrage existant,
- le tracé projeté (tracé en plan ,profil en long, profil en travers type),
- Le dimensionnement hydraulique des ouvrages projetés.

### II- REGLEMENTS UTILISES :

- BAEL 91
- EUROCODE EN1991-2
- RPOA 2007

### III- CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

#### Béton Arme

- Le béton utilisé est un béton de ciment CPA325 dosé à  $350 \text{ kg/m}^3$ .
- La résistance caractéristique du béton à la compression à 28 jours notée  $f_{c28} = 25 \text{ Mpa}$ .
- La résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours notée  $f_{t28} = 1.98 \text{ Mpa}$ .
- La contrainte à l'ELU  $f_{bc} = 0.85 f_{cj} / \gamma_b$  avec:
  - $\gamma_b = 1.5$  Situation durable
  - $\gamma_b = 1.15$  Situation accidentelle
- La contrainte limite à l'ELS
  - $\bar{\sigma}_{bc} = 0.6 f_{cj} = 13.80 \text{ Mpa}$

#### Acier :

- Barres à haute adhérence Fe 400 limite d'élasticité  $F_e = 400 \text{ MPa}$
- Module d'élasticité :  $E_s = 2.10^5 \text{ Mpa}$
- Contrainte limite à l'ELU  $\sigma_s = f_e / \gamma_s$  avec :
  - $\gamma_s = 1.15$  Situation durable
  - $\gamma_s = 1$  Situation accidentelle

#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	94
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

- *Contrainte limite à l'ELS :  $\bar{\sigma}_a = \min [ 2 f_e/3 ; 110 \sqrt{\eta \cdot f_{tj}} ]$*

*Fissuration préjudiciable , Acier HA  $\phi > 6 \longrightarrow \bar{\sigma}_a = 200 \text{ Mpa}$*

*$\eta = 1,6$  (acier haute adhérence)*

#### IV-CHARGEMENTS

*Les différents cas de chargement sont appliqués pour obtenir le cas le plus défavorable pour pouvoir dimensionner les éléments de la structure : tablier, Piles, culées, fondations.*

##### Systeme de charge A(l)

*C'est une charge uniforme appliquée sur une ou plusieurs voies avec l unité  $\text{kN/m}^a$  par la formule :*

$$A2(l) = a1.a2.A(L)$$

$$A(L ; L < 200m) = 2.30 + 360 / (L + 12) \text{ kN/m}^2$$

**Tableau 4.2. Les coefficients  $a_1$  et  $V_0$  pour le calcul du système A**

Nombre de voies chargées (N)		Les coefficients $a_1$					largeur conventionnelle $V_0$ (m)
		1	2	3	4	5	
Classe du pont	Première...	1	1	0.9	0.70	0.75	3.50
	Deuxième...	1	0.9	-	-	-	3.00
	Troisième ...	0.9	0.8	-	-	-	2.75

*Les coefficients  $a_2 = V_0 / V$*

*$V_0 =$  largeur conventionnelle*

*$V =$  largeur d'une voie =  $W$*

##### Systeme de charge B

###### Charge Bc :

*Un camion type Bc comporte trois essieux tous trois roues simples munies de pneumatique et*

- Masse totale **30 tonnes**
- Masse portée par chacun des essieux arrière **12 tonnes**
- Masse portée par l'essieu avant **6 tonnes**
- Longueur d'encombrement **10.50 mètres**
- Largeur d'encombrement **2.50 m**
- Distance des essieux arrière **1.50 m**

*répond aux caractéristiques suivantes.*

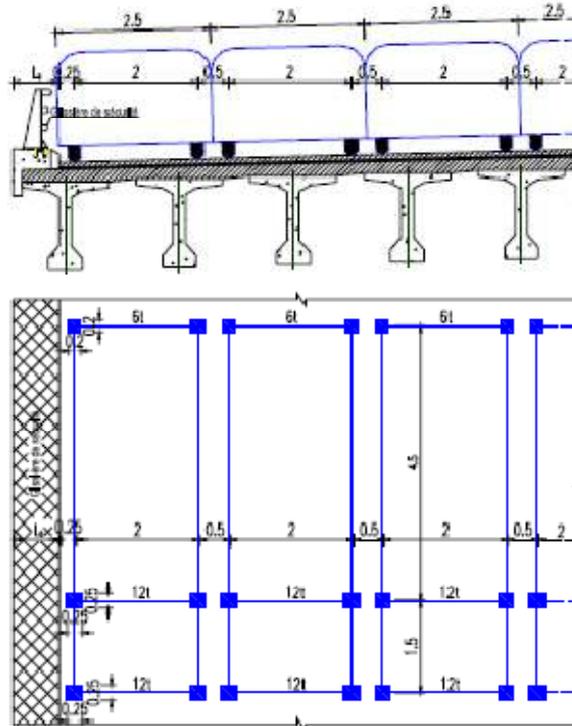
#### LE BIM en TRAVAUX PUBLICS

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	95
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

Tableau 4.7. Les coefficients bc pour le calcul du système Bc

Nombre de voies chargées (N)		Les coefficients bc				
		1	2	3	4	5
Classe du pont	Première...	1.20	1.10	0.95	0.80	0.70
	Deuxième...	1.00	1.00	-	-	-
	Troisième ...	1.00	0.80	-	-	-

Fig 4.2. La répartition du système de charge Bc

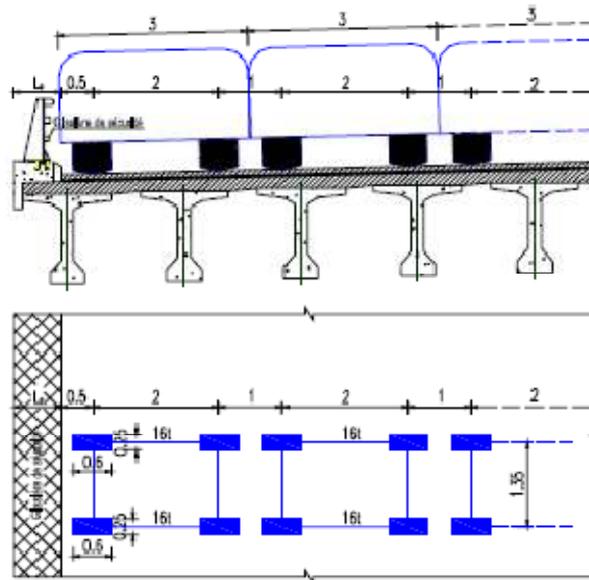


**Charge Bt**

Un tandem du système Bt comporte deux essieux tous deux à roues simples munies de pneumatiques et répondant aux caractéristiques suivantes :

- Masse portée par chaque essieu .... **16 tonnes**
- Distance des deux essieux ..... **1.35 mètres**
- Distance d'axe en axe des deux roues d'un essieu.... **2.0 mètres**

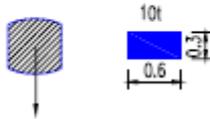
**Fig 4.3. La répartition du système de charge Bt**



**Charge Br**

La roue isolée qui constitue le système Br porte une masse de 10 tonnes sa surface d'impact sur la chaussée est un rectangle uniformément chargé dont le côté transversal mesure 0.60 m et le côté longitudinal 0.30 m

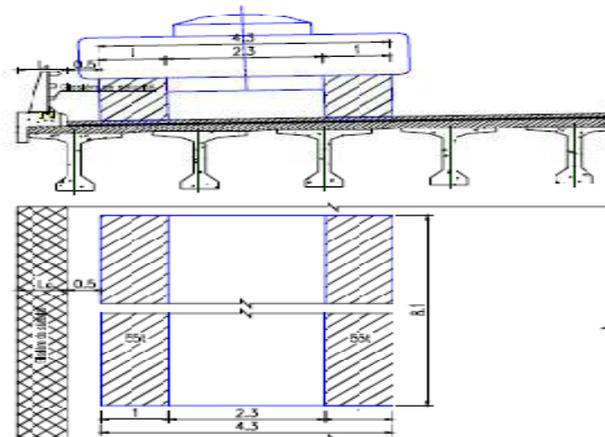
**Fig 4.4. La répartition du système de charge Br**



**Charge Militaire MC120**

Ce véhicule dont la masse totale est de 110 tonnes est composé de deux chenilles de 6.1m de longueur et de 1.0 m de large avec entraxe de 3.3 m.

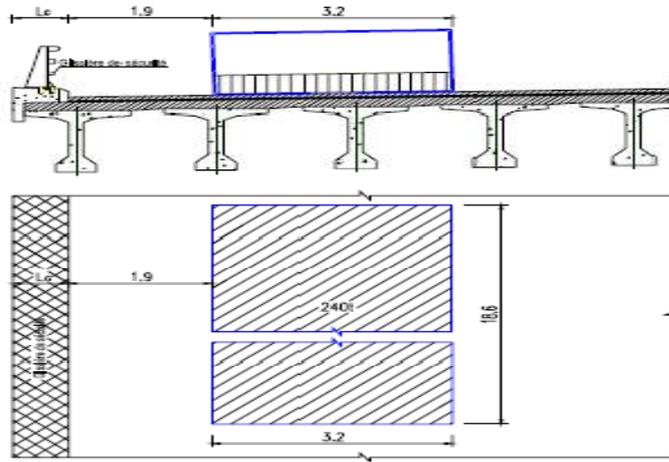
**Fig 4.5. La répartition du système de charge militaire Mc120**



**Charge Exceptionnelle type D240**

Le convoi exceptionnel type D a une charge totale de 240 tonnes distribuée uniformément sur une longueur de 18.6m et une largeur de 3.2m.

**Fig 4.6. La répartition de la charge exceptionnelle type D240**



**Surcharge de Trottoirs**

La surcharge du trottoir est prise à  $qfk = 150kg/m^2$

**Coefficient de majoration dynamique**

Les charges du système B et charges militaires sont frappées de majorations dynamiques.

Coefficient  $\delta$  de majoration dynamique donnée dans l'article 5.5 Fascicule 61-titre II .

$$\delta = 1 + \alpha + \beta = 1 + \frac{0.4}{1 + 0.2L} + \frac{0.6}{1 + 4G/S}$$

L = longueur de l'élément chargé en mètres

G = charge permanente de l'élément chargé

S = charge d'exploitation considérée

**Effort de freinage et force centrifuge**

**Effort de Freinage :**

Ces efforts n'interessent generalement pas La stabilité des tabliers mais les appuis (piles & culées)

- L'effort de freinage correspondant à la charge A est égale à la fraction suivante du poids de cette dernière. (Expression dans laquelle S désigne en mètre carré la surface chargée.)

$$F = \frac{L}{20 + 0.0035S}$$

### Effort Centrifuges

En se référant aux articles 7 et 5.2.2 du Fascicule 61-Titre II, l'action transmise au tablier par les charges type Bc et A sera pondérée par :

$$\begin{cases} k_c = \frac{80}{R} & (R > 400m) \\ k_c = \frac{(R+150)}{(6R+130)} & (R \leq 400m) \end{cases}$$

Avec :

R = Rayon de courbure

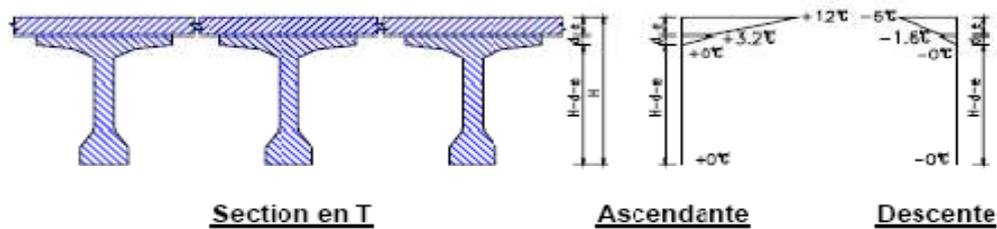
### Effets Thermiques

Variation linéaire : la différence de température prise en compte et comme suit :

$$\Delta T = \pm 40^\circ C^{-1}$$

Gradient Thermique :

Fig 4.7. Gradient thermique



### V-COMBINAISONS AUX ETATS LIMITES

Etats Limites Ultimes :

#### 4.5.1.1. Combinaisons Fondamentales

- Combinaisons en cours de construction

$$P_n + 1.35 (G_{max} + Q_{pre}) + (G_{min} + Q_{pre})$$

- Combinaisons en cours de service

$$P_n + 1.35 G_{max} + G_{min} + \begin{cases} 1.50 Q_r + 1.3(0.615T) \\ 1.35 Q_p \end{cases}$$

#### 4.5.1.2. Combinaisons accidentelles

$$P_n + G_{max} + G_{min} + F_A + \begin{cases} 0.2(1.07 Q_r) \\ 0.5T \\ 0.5 \Delta \theta \end{cases}$$

**Etats Limites de Services :**

**4.5.2.1. Combinaisons Quasi-permanents**

$$P_d + G_{max} + G_{min}$$

**4.5.2.2. Combinaisons Rares**

- Combinaisons en cours de construction

$$P_d + (G_{max} + Q_{prc}) + (G_{min} + Q_{prc})$$

- Combinaisons en cours de service

$$P_d + G_{max} + G_{min} + \begin{cases} Q_r + (0.6T + 0.5\Delta\theta) \\ Q_{rp} \end{cases}$$

**4.5.2.3. Combinaisons Fréquentes**

$$P_d + G_{max} + G_{min} + \begin{cases} 0.6Q_r \\ 0.5\Delta\theta \end{cases}$$

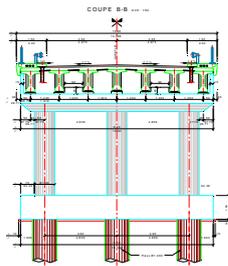
**Tableau 4.9. Valeurs nominales des charges d'exploitation**

Nature de l'état limite	Ultime de résistance (E.L.U)	de service (E.L.S)
Charge de chaussée et effets annexs. Charges sur remblais.	1.07	1.20
Charges militaires et exceptionnelles	1.00	1.00
Charges sur trottoirs, passerelles piétons et garde-corps	1.07	1.00

**VI-DIMENSIONNEMENT DES APPUIS**

La pile est composée de chevetre supportant le tablier et ce dernier repose sur des futs circulaires encastres sur une semelle filante au sol .La culée est composée d'un mur de front supportant le tablier et des murs en retour encastres aux murs de fronts formant generalement un U. Dans cette phase APD le calcul des éléments porteurs et tablier se limite au dimensionnement de ces derniers et les différentes vérifications quand aux phénomènes de stabilité (renversement, glissement, flambements, cisaillement). Pour le calcul de résistance (ferraillage et autres ) sera mené dans la phase détail (exécution).

**Dimensionnement de la pile**



Sollicitations Horizontales :

- Séisme,
- Effort de freinage,
- Effort centrifuge s'il ya une courbure,
- Variations thermiques.

Sollicitations verticales :

- Poids propre du tablier,
- Poids propre chevêtre,
- Surcharges routières pour les cas défavorables.

La pile composée de chevêtre et futs statiquement sera modélisé comme une console encastree au sol.

Calcul des efforts horizontaux

Poids propre tablier  $G1 = 1700 t = 17000 kn.$  ( $A = 0.15$  coefficient d'amortissement sismique).

Poids propre chevêtre  $G2 = 50 t$

Poids propre des futs  $G3 = 30 t$

$F1 =$  effort sismique du au poids propre tablier  $= A.G1 = 0.15 \times 1700 = 255 t$

$F2 =$  effort sismique du au poids propre Chevetre  $= 0.1 G2 = 0.1 \times 50 = 5.00 t$

$F3 =$  effort sismique du au poids propre des futs  $= G3 = 0.1 \times 30 = 3.00 t$

Les bras de leviers  $X1 = 4.00 m$   $X2 = 3.00m$   $X3 = 1.2 m$

**LE BIM en TRAVAUX PUBLICS**

Encadré par : le professeur	UNIVERSITE SAAD DAHLEB DE BLIDA - DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL	Présenté par	101
Pr. Ferhat FEDGHOUCHE	OBTENTION du DIPLOME MASTER en GENIE CIVIL	Aboutaleb KAID	

$$M \text{ renversement} = F1 X1 + F2X2 + F3X3 = 255 \times 4,00 + 5 \times 3,00 + 3,00 \times 1.20 = 1040 \text{ t.m}$$

Combinaison a l'Etat Limite Ultime

$$ELU = 1.35 G + 1.5 Q \quad G = \text{charge permanente}, \quad Q = \text{charge D240}$$

$$M \text{ stabilisant} = 1.35 (1700 \times 1.00 + 50 \times 1.00 + 30 \times 1.00) + 1.5 (700) = 3453 \text{ t}$$

Vérifications au Renversement :

$$Kr = 3453/1040 = 14.42 \quad \text{pas de risque de renversement.}$$

Vérification au Glissement

$$Kg = 1780/263 = 6.7 \quad \text{pas de risque de glissement.}$$

Combinaison a l'Etat Limite de Service

$$ELS = G + Q \quad G = \text{charge permanente}, \quad Q = \text{charge D240}$$

$$M \text{ stabilisant} = (1700 \times 1.00 + 50 \times 1.00 + 30 \times 1.00) + 700 = 2480 \text{ t}$$

Vérification au Renversement

$$Kr = 2480/1040 = 2.38 \quad \text{pas de risque de renversement.}$$

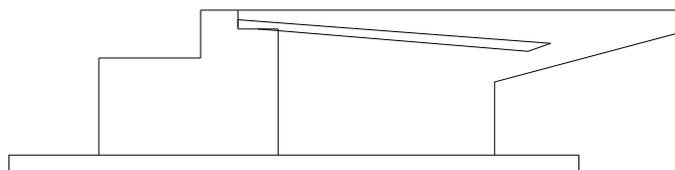
Vérification au Glissement

$$Kg = 2480/263 = 9.42 \quad \text{pas de risque de glissement.}$$

Comme les fondations sont de types profonds (sur pieux) la stabilité des piles à savoir : renversement, glissement, tassement est assurée par l'encastrement au sol. Les vérifications aux phénomènes d'instabilité sont très suffisantes pour cette phase d'avant projet détaillé et le dimensionnement de la pile est judicieux.

Dimensionnement de la Culée

La culée est composée de deux murs en retour encastres dans un mur de front vertical aux deux murs en retour l'ensemble forme un U encastre au sol sur un radier. sur le mur de front s'appuie la partie de rive du tablier. A cette phase d'étude APD il est suffisant de vérifier la stabilité de la culée au renversement et au glissement, ce qui confluera le bon dimensionnement des éléments constituant cette dernière.



**Vérification au Renversement : Par rapport au point extrême de la fondation**

$$K_r = M_s / M_r$$

$$M_s = 3600 \text{ kn} \times 8/2 \text{ (poids semelle)} + 250 \text{ kn} \times (0.75+0.5)/2 \text{ (poids mur de front)} + 280 \text{ Kn} \times (2.75+1.5+0.5) / 2 \text{ (poids Mur en retour)} + 378 \text{ Kn} \times (2.75+1.5+0.5) \text{ (poids des terres sur semelle)} = \underline{15000 \text{ kn.m}}$$

$$\underline{M_s = 15\ 000 \text{ kn.m}}$$

$$M_r = M_{rt} \text{ (poussée des terres)} + M_{r \text{ frein}} \text{ (force de freinage)} + M_{r \text{ dy}} \text{ (poussée dynamique du sol)}.$$

$$* \text{ Poussée des terres } M_{rt} = 1/6(\gamma.K_a.H^3) = 27 \text{ kn.m}$$

$$\underline{M_{rt} = 27 \text{ kn.m}}$$

$$* \text{ Pousse dynamique du sol } M_{r \text{ dy}} = 0.15 \times \text{poids des terres} \times H/2 = 85 \text{ kn.m}$$

$$\underline{M_{r \text{ dy}} = 85 \text{ kn.m}}$$

$$* \text{ force freinage } M_{r \text{ frein}} = 6 H / (0.25 + 2.H) . \delta = 2.95 \times 1.6 = 47 \text{ kn.m (roue de 6t)}$$

$$\underline{M_{r \text{ frein}} = 47 \text{ kn.m}}$$

$$\underline{M_r = M_{\text{renversement total}} = 27 + 85 + 47 = 159 \text{ kn.m}}$$

$$K_r = M_s / M_r = 15000 / 159 > 1.5 \text{ aucun risque de renversement}$$

**Vérification au Glissement : Par rapport au point extrême fondation**

$$\Sigma F_s = 3600 + 250 + 280 + 378 = 4508 \text{ kn}$$

$$\Sigma F_r = 8.5 + 27 + 10 = 45.5 \text{ kn}$$

$$K_g = \Sigma F_s / \Sigma F_r = 4508 / 45.5 > 1.5 \text{ aucun risque de glissement.}$$

**Conclusion:**

Suite à ces vérifications de stabilité de la culée est bien dimensionnée est le calcul de résistance (ferraillage) fera l'objet du dossier d'exécution

**VII- DIMENSIONNEMENT DU TABLIER EN BETON ARME**

Le tablier est constituée de quatre travées isostatiques d'une longueur de 20.00 m chacune composée de poutres en béton armé.

**4.3.1.2. Module de la déformation élastique**

Selon l'article 2.1.4 du Fascicule 62-Titre I (Section II), pour les charges dont la durée d'application est inférieure à 24 heures (tel que charge routière), le module de déformation instantané du béton est:

$$E_{ij} = 11000\sqrt[3]{f_{cj}}$$

Pour les charges de longue durée (tel que PP, superstructure, précontrainte...), et en tenant compte des effets du fluage, le module de déformation élastique du béton est .

$$E_{ij} = 3700\sqrt[3]{f_{cj}}$$

Tableau 4.2. Module de la déformation élastique du béton

Béton	Module d'élasticité transversal	Module de déformation instantané du béton (MPa)					Module de déformation différé du béton (MPa)				
	G = 0.4E <sub>b</sub>	$E_{ij} = 11000\sqrt[3]{f_{cj}}$					$E_{ij} = 3700\sqrt[3]{f_{cj}}$				
	(MPa)	J=10	J=12	J=14	J=16	J≥28	J=10	J=12	J=14	J=16	J≥28
RN27	13200	30188	30827	31319	31707	33000	10154	10369	10534	10665	11100
RN35	14393	32918	33612	34145	34570	35982	11072	11306	11485	11628	12103
RN40	15048	34417	35143	35702	36145	37610	11577	11821	12000	12158	12654

**4.3.1.3. Le coefficient de poisson est pris égal à :**

• États Limites de Service

= Pour le calcul des sollicitations :

$$\nu = 0.20 \text{ (R.P)}$$

$$\nu = 0.15 \text{ (B.A)}$$

= Pour le calcul de déformations :

$$\nu = 0.0 \text{ (B.P et B.A)}$$

• États Limites Ultimes

$$\nu = 0.0 \text{ (B.P et B.A)}$$

#### 4.3.1.6. Résistance sous sollicitations tangentes

##### ♦ États Limites de Service

Selon la prescription de l'art 7.2 et 7.3 du Fascicule 62-Titre I (Section II), les justifications sont conduites à partir des contraintes  $\sigma_x$  et  $\tau$ , calculées au niveau du centre de gravité de la section, dans l'hypothèse de déformations élastiques et linéaires des matériaux et en supposant le béton non fissuré.

Les contraintes  $\sigma_x$  et  $\tau$ , calculées sous l'effet des sollicitations de service, doivent satisfaire les conditions suivantes :

$$\begin{cases} \tau_1^2 \leq 0.4 f_y \left[ f_y + \frac{2}{3} \sigma_x \right] \\ \tau_2^2 \leq 2 \frac{f_y}{f_{cj}} \left[ 0.6 f_{cj} - \sigma_x \right] \left[ f_y + \frac{2}{3} \sigma_x \right] \end{cases}$$

Avec :

$\sigma_x$  est la contrainte normale à la section, calculée à partir de la section nette de la poutre.

$\tau$  est la contrainte tangente (ou de cisaillement) de l'élément, calculée à partir de l'épaisseur nette  $b_n$  définie ci-dessus.

Les contraintes normales  $\sigma_x$  et  $\tau$  sont comptées positives quand il s'agit de compressions.

Ces conditions définissent pour  $|\tau|$  une valeur limite notée  $\tau_{lim}$ .

$$|\tau| \leq \tau_{lim}$$

Avec :

$\tau_{lim}$  est la contrainte limite de cisaillement résultant de l'application des conditions ci-dessous.

$$\tau_{lim} = \text{Min} (|\tau_1|; |\tau_2|)$$

Géométrie de la poutre :  $L = 20.00m$

Le calcul automatique de la poutre béton armé a été mené par le logiciel STAAD pro Version 2007. Pour cette phase de calcul on se limite juste à la vérification de la flèche admissible qui définira le choix judicieux de cette poutre. La flèche  $U(a)$  dans une section quelconque soumise à un moment de flexion  $M(x)$  est égale à l'influence du cisaillement, au moment de flexion fictif qui serait produit dans cette même section dans la travée isostatique équivalente soumise à une charge répartie fictive qui est généralement  $A(l)$  s'écrit :

$$M(x)/EI = 1/r$$

$$U(a) = f_i = (L^2/384) \sum K_{ij} \cdot 1/r_j \quad \text{formule générale}$$

Cette méthode appelée " **Inertie Fissure** " le flèche due à l'application simultanée des charges permanentes et d'exploitation.

On considère la charge défavorable dans ce cas est  $A(l)$ .

$$A(L; L < 200m) = 2.30 + 360 / (L + 12) \text{ KN} / m^2 = 13.55 \text{ KN} / m^2$$

Largeur revenant à la poutre la plus chargée est  $l = 1.23 \text{ m}$

$$Q = A(l) \cdot 1.23 = 16.66 \text{ Kn/ml}$$

$$f = 3QL^2 / (384EI) = 0.21 \text{ cm} < f_{\text{admissible}}$$

### CALCUL DU PLATELAGE (Hourdis)

Le platelage est une dalle en béton armé destinée à recevoir la couche de roulement et une chape d'étanchéité, dont l'épaisseur de la dalle est de 20 cm. Dans notre cas la dalle joue le rôle d'entretoisement, elle assurera la répartition transversale des efforts.

### VIII- CONCLUSION

On suppose que le pont est rigidement entretoisé c'est-à-dire dans une section transversale les poutres restent dans un même plan et les moments correspondants sont données par l'effet local (flexion local) il y a lieu d'étudier deux flexions

- a) Flexion locale
- b) Flexion transversale de la dalle

A cette phase de calcul il n'est pas nécessaire de calculer la partie résistance (Ferrailage) donc on a pas besoin de faire les calculs des efforts.