

## SOMMAIRE

DÉDICACE .....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
AVANT-PROPOS .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	ix
RÉSUMÉ .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS .....	4
CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL .....	5
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU PROJET .....	12
DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR .....	17
CHAPITRE 3 : LES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR : PRÉSENTATION.....	18
CHAPITRE 4 : ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE.....	41
TROISIÈME PARTIE : TECHNIQUE DE BÉTONNAGE EN HAUTEUR : CAS DE LA TOUR F.....	51
CHAPITRE 5 : MISE EN PLACE DU BÉTON .....	52
CHAPITRE 6 : DISTRIBUTION DU BÉTON DANS LA TOUR.....	70
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	86
BIBLIOGRAPHIE.....	87
WEBOGRAPHIE .....	88

## DÉDICACE

À mon père Kouadio N’Goran Alfred plus qu’un modèle...

À ma mère Gnamien Kossia Hélène, mon soutien.

À mon petit frère Kouadio Chris Yvan Axel et ma petite sœur  
Kouadio Leslie Affoué Marie Divine pour votre amour.

Merci de toujours m’encourager à me surpasser et à croire en  
mes capacités.

## REMERCIEMENTS

Le présent document résulte des efforts conjugués de plusieurs personnes que nous tenons à remercier.

Nous exprimons d'abord nos profondes gratitude envers le corps enseignant pour leurs encadrements. En particulier :

- Professeur **KONAN Denis**, Directeur de l'ESTP ;
- Monsieur **GNAN-KOUASSI**, Sous-directeur des enseignements ;
- Monsieur **TEHUA Kouabenan**, Sous-directeur chargé des études ;
- Monsieur **GOGO Alexandre** ; notre encadreur ;
- Monsieur **KOUAME Benjamin**, Inspecteur de filière ;

Nous ne pourrions continuer sans remercier toutes ces personnes qui nous ont accueillis au sein de l'entreprise et nous ont appris leur savoir-faire afin de parfaire nos connaissances. Ce sont entre autres :

- Monsieur **COULIBALY Kinapara**, Directeur Général du **BNETD** ;
- Monsieur **KOUAME Bertin**, Chef de Service Économie de bâtiment ;
- Monsieur **KONE Lassina**, Ingénieur de Conception en Bâtiment, Chef de Mission du **BNETD** sur la tour F pour toute sa disponibilité et son attention particulière à mon égard ;
- Monsieur **GOMENE Christian**, Ingénieur de Conception en Bâtiment, Chef de Mission adjoint du **BNETD** sur la tour F pour toute sa disponibilité ;
- Monsieur **COULIBALY ABOU**, **M. NGORAN Yao Jérémy**, **M. EHOUREAN**, **M. Gbaka KOUTOUAN Rémi**, **M. YAO Narcisse**, **Mlle. SOUMAHORO Karidjatou**, **Mme KOUAME Léa**, Agents du **BNETD** sur la tour F pour leur accueil, leur collaboration et l'aide qu'ils m'ont portée ;
- Monsieur **KOUADIO JOËL** Ingénieur projets de **BESIX CI**

## AVANT-PROPOS

La Côte d'Ivoire, dans son ambition de développement a placé la formation de cadres de haut niveau au centre de ses priorités. C'est ainsi que dans les années 1975, quatre (4) grandes écoles verront le jour à savoir : L'École Nationale Supérieure des Travaux Publics (**ENSTP**) ; L'École Nationale Supérieure d'Agronomie (**ENSA**) ; L'Institut National Supérieur de l'Enseignement Technique (**INSET**) ; Et l'Institut Agricole de Bouaké (**IAB**).

Pour harmoniser les politiques de formation et améliorer la qualité de l'enseignement pour les étudiants et les enseignants, ces quatre (04) grandes écoles seront remplacées par un seul institut. Ainsi, le 04 septembre 1996, par le décret 96-678, l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB) a été créé suite à la fusion de ces quatre (04) établissements. Cet institut regroupe désormais onze (11) grandes écoles à savoir :

- ❖ L'École Doctorale Polytechnique (**EDP**) ;
- ❖ L'École Doctorale Polytechnique des Sciences Agronomiques et Procédé de Transformation (**EDPSAPT**) ;
- ❖ L'École Préparatoire aux Grandes Écoles (**EPGE**) ;
- ❖ L'École supérieure d'Agronomie (**ESA**) ;
- ❖ L'École Supérieure de Chimie du Pétrole et de l'Énergie (**ESCPE**) ;
- ❖ L'École Supérieure de Commerce et d'Administration d'Entreprises (**ESCAE**) ;
- ❖ L'École Supérieure de Formation et du Perfectionnement des Cadres (**ESFPC**) ;
- ❖ L'École Supérieure d'Industrie (**ESI**) ;
- ❖ L'École Supérieure des Mines et Géologie (**ESMG**) ;
- ❖ L'École Supérieure du Pétrole et de l'Énergie (**ESPE**) ;
- ❖ L'École Supérieure des Travaux Publics (**ESTP**).

L'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP) vise à former des Techniciens Supérieurs et des Ingénieurs de Conception hautement qualifiés, dotés de solides compétences théoriques et pratiques en Génie Civil. Le cycle de Technicien Supérieur offre quatre (04) filières distinctes que sont Bâtiment et Urbanisme (BU), Géomètre et Topographe (GT), Hydraulique et Environnement (HE) et enfin Route et Transport (RT). En effet, dans le but de former des Techniciens Supérieurs capables de relever les défis futurs, l'École Supérieure des Travaux Publics (ESTP) s'efforce d'offrir un enseignement complet et de qualité à ses étudiants.

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Situation géographique du BNETD.....	10
Figure 2 Organigramme du BNETD .....	11
Figure 3 : vue architecturale de la tour F .....	13
Figure 4 : Plan de situation de la tour F et accès futur .....	15
Figure 5 : coffrage en bois.....	19
Figure 6: coffrage métallique .....	19
Figure 7: coffrage à béton isolant.....	20
Figure 8 Coupe d'un coffrage grim pant.....	20
Figure 9 : coupe détaillant les parties d'un coffrage grim pant .....	21
Figure 10 : assemblage d'ancrage.....	22
Figure 11 : troisième étape de hissage.....	22
Figure 12 : deuxième étape du hissage.....	22
Figure 13 : première étape du hissage .....	22
Figure 14 : cinquième étape de hissage.....	23
Figure 15 : quatrième étape de hissage .....	23
Figure 16 : vue 3D d'une fixation.....	24
Figure 17: vue 3D du déplacement d'une unité de coffrage .....	24
Figure 18 : Vue en 3D d'un coffrage glissant .....	25
Figure 19 : Coupe détaillant les éléments d'un coffrage glissant .....	26
Figure 20: Image d'un vérin hydraulique .....	27
Figure 21: Tiges de levage .....	28
Figure 22: Vue sur les armatures dans un système de coffrage glissant .....	29

Figure 23: Vue du dessus d'un coffrage glissant .....	29
Figure 24 : Vue du dessus d'un coffrage glissant .....	30
Figure 25: Image du coffrage auto grimpant de la tour F .....	32
Figure 26 : Vues 3D du coffrage grimpant .....	32
Figure 27: Détail sur les différents types de cônes.....	33
Figure 28 : Plan d’emplacement des cônes .....	33
Figure 29: Découpage des phases de bétonnage dans le coffrage grimpant .....	36
Figure 30: Résistance minimale du béton avant hissage selon le type de plateforme .....	37
Figure 31: Cycle d’un hissage .....	38
Figure 32 : principe de montage du coffrage auto-grimpant.....	40
Figure 33: Chemin de vie du béton utilisé sur LTF, entre production et mise en place .....	53
Figure 34: Centrale à béton du chantier .....	54
Figure 35: Toupies pour la centrale .....	54
Figure 36: Pompes à béton .....	55
Figure 37: Compresseur .....	55
Figure 38: Coffrage auto grimpant de la tour F.....	56
Figure 39: Grue GT2 .....	56
Figure 40: Aéromètre de pression .....	58
Figure 41 : Prise de la température avant le départ de la toupie .....	59
Figure 42 : Mesure de l'étalement .....	60
Figure 43: viscosimètre .....	61
Figure 44: Presse .....	62
Figure 45: Balance .....	63

Figure 46: Principes de la mise en œuvre du béton.....	68
Figure 47 Configuration du bétonnage.....	71
Figure 48:Trajectoire des conduites de béton.....	72
Figure 49: Pompe .....	73
Figure 50: Conduite de bétonnage .....	73
Figure 51: Trajectoire du conduite de la partie V1.....	74
Figure 52: Position des conduites de la partie H2.....	75
Figure 53: Zoom sur la position des conduitex dans les planchers du coffrage.....	76
Figure 54:Position des conduitex dans la partie V2.....	76
Figure 55 : Dalle du noyau bétonnée grâce aux conduitex de la partie 3.....	77
Figure 56: Procédé de nettoyage .....	78
Figure 57: Détail de raccordement .....	79
Figure 58: Fusée .....	79
Figure 59: Direction de pompage.....	80
Figure 60: Balles de nettoyage .....	80
Figure 61: Sens de nettoyage .....	81
Figure 62: Emplacements des grues.....	83
Figure 63: Photo du mât.....	84
Figure 64: Vue 3D du mât.....	84
Figure 65: pompe SCHWING SP7500D .....	85

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Sigles et abréviations .....	ix
Tableau 2 : Graphe montrant la progression du BNETD de 1978 à 1996.....	6
Tableau 3: les intervenants sur le projet de la tour F .....	16
Tableau 4: récapitulatif des données .....	45
Tableau 5: Comparaison.....	48
Tableau 6: Moyens humains.....	53
Tableau 7: Récapitulatifs des tests réalisés au laboratoire du chantier et les critères d'acceptation .....	64
Tableau 8: Dimensions des conduites et des coudes qui seront utilisés pour la distribution du béton.....	74
Tableau 9: Répartition des moyens de bétonnage .....	82
Tableau 10: Ordre de priorité dans le bétonnage du N35.....	82

## LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

Tableau 1 : Sigles et abréviations

SIGLES ET ABRÉVIATION	DÉFINITION
AM	Avant-Midi (matin).
AURA	Atelier d'Urbanisme de la Région d'Abidjan
BCET	Le Bureau central d'Études Techniques
BCI	BESIX COTE D'IVOIRE
BNETD	Bureau National d'Études Techniques et de Développement
DCGTX	Direction et Contrôle des Grands Travaux
EXE	Exécutant
GOT	Gros œuvre
GT1	Grues à Tour numéro 1
GT2	Grues à Tour numéro 2
HA	Haute adhérence
ITGH	Immeuble de très grande hauteur
LTF	La tour F
Mpa	Mégapascal (unité de mesure de pression ou de résistance mécanique)
NF	Norme française
OPC	Ordonnancement, pilotage et coordination

PLN	Plan
PM	Après-Midi (après-midi).
PFO	Pierre Fakhoury Organisation
RDC	Rez-de-Chaussée
RIE	Restaurant inter entreprise
SKE	Station keeping Equipment (Équipement pour la tenue de la station)
TOU	Tour
TOUR F	Sixième tour du projet de la Cité Administrative d'Abidjan
VIP	Very Important Person (Personnalité Très Importante).

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

## RÉSUMÉ

Dans le cadre de notre Projet de Fin d'Études (PFE), nous avons effectué un stage au sein de l'entreprise BNETD, sur la période allant du 17 octobre 2024 au 6 février 2025.

Le projet, objet de notre étude, portait sur la construction de la Tour F, un gratte-ciel de 75 étages situé à Abidjan, destiné à accueillir plusieurs ministères dans le but de rationaliser les coûts locatifs de l'État. Le BNETD y assure une mission d'Assistance Technique au Maître d'Ouvrage, en veillant au respect des normes de qualité et au bon déroulement des travaux.

Le thème de notre Projet de Fin d'Études est intitulé :

**« Étude comparative de trois systèmes de coffrage et techniques de bétonnage en hauteur : cas de la tour F ».**

Notre mission, durant ces quatre mois, consistait à identifier le système de coffrage le plus adapté à la construction de la Tour F et à analyser la méthode de bétonnage vertical choisie.

## ABSTRACT

As part of our Final Year Project (FYP), we completed an internship at the BNETD from October 17, 2024, to February 6, 2025.

The project we worked on focused on the construction of Tour F, a 76-story skyscraper located in Abidjan, designed to house several government ministries with the aim of optimizing the State's rental expenditures. BNETD was assigned a mission of Technical Assistance to the Project Owner, ensuring compliance with quality standards and the smooth progress of the construction work.

The theme of our Final Year Project is: "**Comparative study of three formwork systems and high-rise concrete placement techniques.**"

During these four months, our task was to identify the most suitable formwork system for the construction of Tour F and to analyze the vertical concrete placement method selected for the project.

# INTRODUCTION GÉNÉRALE

## ❖ CONTEXTE ET JUSTIFICATION

La Côte d'Ivoire s'inscrit dans une vision de modernisation et d'optimisation de ses infrastructures publiques, avec pour ambition de doter son administration d'un cadre fonctionnel, centralisé et adapté aux exigences contemporaines. C'est dans ce contexte que le gouvernement a lancé un vaste programme d'extension et de rénovation de son quartier administratif, situé au Plateau, cœur névralgique d'Abidjan. Face à l'accroissement des effectifs ministériels et à la dispersion des services publics dans des locaux souvent inadaptés et coûteux à la location, la construction de la Tour F s'impose comme une réponse stratégique et urgente. Cette tour de très grande hauteur a pour vocation de regrouper plusieurs ministères en un seul lieu, favorisant la synergie des services tout en allégeant la charge locative de l'État. Dans cette optique, le Ministère de la Construction, du Logement et de l'Urbanisme (MCLU), en sa qualité de maître d'ouvrage, a confié l'Assistance Technique à la Maîtrise d'Ouvrage (ATMO) au Bureau National d'Études Techniques et de Développement (BNETD), afin de garantir la qualité et la conformité technique du projet.

Cependant, ériger une tour de 75 étages dans un contexte local spécifique, avec des exigences de cadence et de sécurité, pose d'importants défis techniques, notamment en matière de mise en œuvre du béton et de choix de systèmes de coffrage. D'où notre thème : « **Étude comparative de trois systèmes de coffrage et techniques de bétonnage en hauteur : cas de la tour F** ».

Ce PFE vise donc à analyser les principaux systèmes de coffrage en hauteur afin d'identifier celui qui répond le mieux aux exigences techniques et structurelles de la Tour F. Il s'agit également d'examiner, dans un second temps, le procédé de bétonnage vertical mis en œuvre sur ce chantier de très grande hauteur, en explicitant les principes pour garantir la qualité, la sécurité et la continuité de l'exécution.

## ❖ FORMULATION DE LA PROBLÉMATIQUE

De ce qui précède nous pouvons dégager le problème suivant :

Quel système de coffrage convient le mieux à la construction de la Tour F et comment la méthode de bétonnage vertical adoptée garantit-elle la qualité et la performance du béton tout au long de la réalisation de la tour ?

## ❖ OBJECTIF DE L'ÉTUDE

- Objectif principal

Identifier le système de coffrage le plus adapté à la construction de la Tour F et évaluer l'efficacité de la méthode de bétonnage vertical choisie.

- Objectifs spécifiques
  - Comparer les différents systèmes de coffrage en hauteur en fonction des contraintes techniques, économiques et logistiques du projet.
  - Identifier les avantages et les inconvénients de chaque système de coffrage en fonction des spécificités du chantier de la Tour F.
  - Expliquer le procédé de bétonnage vertical utilisé pour la construction de la Tour F, en détaillant les techniques mises en œuvre pour garantir la qualité et la performance du béton.
  - Identifier les méthodes utilisées pour assurer la mise en œuvre et la distribution du béton dans la tour.

## ❖ MÉTHODOLOGIE ET PLAN DE TRAVAIL

- Méthodologie

Pour mener à bien notre étude, nous avons utilisé une méthodologie combinant des recherches documentaires, des séances de travail avec notre équipe et des entretiens avec des ingénieurs. Cette approche a permis de collecter et de traiter les informations nécessaires à une meilleure compréhension du sujet. Notre étude se structure en trois parties :

- la première partie qui est une généralité s'articulera autour de la présentation de notre entreprise d'accueil et du projet ;
- la deuxième partie portera sur l'étude comparative des systèmes de coffrage en hauteur ;
- la troisième partie sera consacrée aux techniques de bétonnage en hauteur.
  - Plan de travail

## PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS

### CHAPITRE 1 : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

### CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU PROJET

## DEUXIÈME PARTIE : ETUDE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR

### CHAPITRE 3 : LES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR : PRESENTATION

### CHAPITRE 4 : ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTEMES DE COFFRAGE

## TROISIÈME PARTIE : TECHNIQUE DE BETONNAGE EN HAUTEUR : CAS DE LA TOUR F

### CHAPITRE 5 : MISE EN PLACE DU BETON

### CHAPITRE 6 : DISTRIBUTION DU BETON DANS LA TOUR

## **PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS**

## CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

### I. HISTORIQUE ET STATUT JURIDIQUE DU BNETD

En 1960, le jeune État ivoirien devait se doter de moyens de conception pour stimuler et coordonner son développement dans le domaine des études, il créa alors le BNETD (Bureau National d'Études Techniques et de Développement), une grande innovation qui se révéla grâce aux hommes qui l'animèrent, un moyen puissant et très efficace de l'intervention de l'État. Créé par décret du 31 juillet 1964, le Bureau National d'Études Techniques et de Développement ne deviendra véritablement opérant qu'en 1966.

En effet, les études menées par le BNETD permirent à l'AURA (Atelier d'Urbanisme de la Région d'Abidjan) d'encadrer le développement rapide de la capitale économique, en s'appuyant sur un schéma directeur. Ce premier BNETD disparut suite au remaniement ministériel de 1977 où apparaissait un nouveau Ministère : celui des travaux publics, des transports, de la construction et de l'urbanisme.

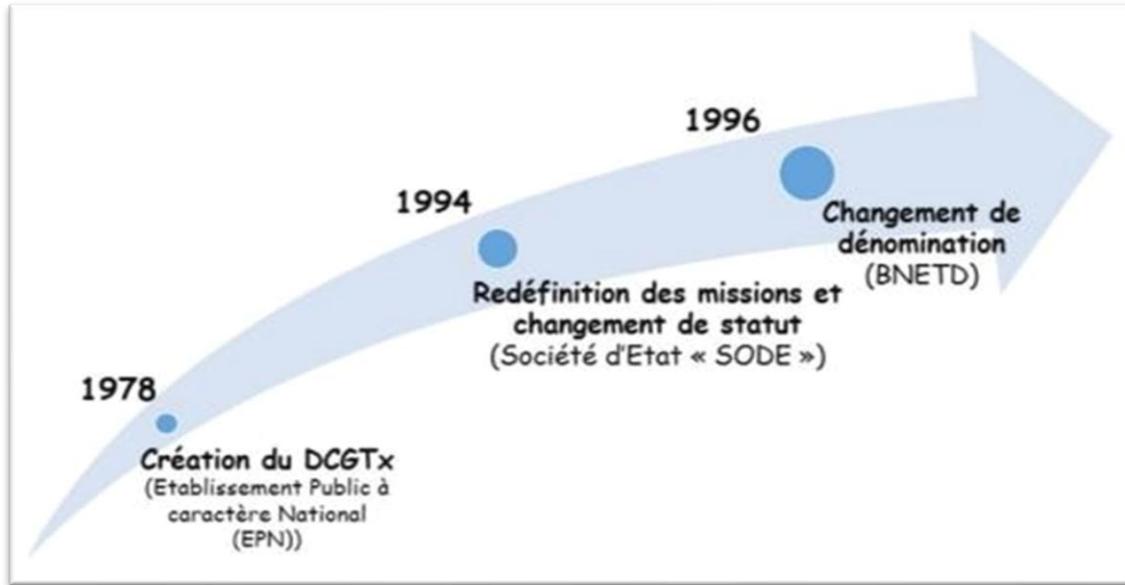
Ce ministère mit en place deux structures :

- ❖ Le Bureau Central d'Études Techniques (BCET) né des cendres du BNETD devrait assurer les mêmes objectifs ;
- ❖ La Direction et contrôle des Grands Travaux (DCGTX) qui donnera par la suite la monture définitive de l'actuel BNETD

La DCGTX voit donc le jour par décret N°78-660 du 04 août 1978, sous la forme d'un établissement public à caractère administratif. Le décret N°94-508 du 14 septembre 1994 la transforme ensuite en société d'État avec un capital de 2 000 000 000 FCFA compte tenu de la diversité de ses interventions et l'élargissement de son champ d'action.

Le 14 septembre 1996 un troisième décret N°96-676 est signé portant changement de sa dénomination et la plaçant sous la tutelle de la primature. Dès lors, la DCGTX devient le Bureau National d'Étude Technique et de Développement et s'impose comme un instrument privilégié du gouvernement en matière d'assistance, de conseil et de maîtrise d'œuvre des grands projets d'investissement, avec pour vocation de fournir un appui central en matière de programmation et de choix des investissements et également d'assurer la gestion d'une base de données techniques, économique et financière nationale.

Tableau 2 : Graphe montrant la progression du BNETD de 1978 à 1996



Source : KOFFI Kouadio François, ingénieur géomètre

Dirigé à sa création par des coopérants français, le BNETD va progressivement se tourner vers les compétences nationales pour assurer sa mission de développement national.

## II. MISSIONS ET OBJECTIFS DU BNETD

### 1. Missions du BNETD

Dans le cadre général de son fonctionnement, et dans le souci de répondre avec rigueur et efficacité aux besoins de ses clients, le BNETD a depuis toujours structuré ses activités en quatre (4) missions principales ; à savoir :

#### ➤ Mission de suivi et de contrôle

Le BNETD est chargé de réaliser le contrôle des projets d'intérêt public en vue de maîtriser les coûts, la qualité et les délais ; En effet, il s'agit de missions ponctuelles de durée variable pouvant aller jusqu'au détachement d'experts. Ces grandes missions peuvent être :

- le contrôle de l'exécution des projets en qualité de maître d'œuvre ;
- l'appui à la mise en œuvre des investissements ;
- la collecte, le traitement, l'analyse et la diffusion des informations techniques ;

- l'assistance-conseil aux structures publiques et parapubliques ;
- l'évaluation et le suivi physique et financier des investissements publics ;
- l'identification et la mise en œuvre d'actions correctrices sur les investissements publics ;

➤ Mission de conception

Il s'agit de la réalisation de diverses études. Une fois la décision d'investir prise par le client, il faut exécuter l'ensemble des études permettant de préciser les éléments, élaborer un programme de réalisation, et gérer les dossiers d'appel d'offres.

➤ Mission assistance et conseil

Le BNETD intervient sur demande pour apporter son expertise en tant que conseiller technique en vue d'une décision important à prendre dans le cadre d'un investissement ou pour défendre les intérêts de l'État dans les projets d'envergure.

➤ Mission d'étude

Le BNETD est chargé de réaliser les études des projets d'intérêt public en vue de maîtriser les coûts, la qualité et les délais.

## 2. Objectifs du BNETD

Au-delà de ses missions, le BNETD s'est assigné les objectifs suivants :

- la décentralisation des responsabilités au sein de son administration et l'accroissement de son autonomie de gestion ;
- le développement d'activités génératrices de revenus ;
- la bonne maîtrise des coûts et délais dans l'exécution des ouvrages

### III. DOMAINES D'INTERVENTION ET ORGANISATION

---

## 1. Domaine d'intervention

Les principaux domaines d'intervention du BNETD sont les suivants :

- **Infrastructures et transports**

- Réalisation des études topographique ;
- Études géodésiques ;
- Calculs de structures d'ouvrage d'art ...

- **Agriculture et développement rural**

- Identification de projets ;
- Élaboration et analyse de termes de référence ;
- Diagnostic et Expertise ...

- **Environnement, énergie et hydraulique**

- Études sociologiques ;
- Initiation des projets relatifs à la conservation de la forêt ;
- Réalisation des études d'impact environnemental...

- **Urbanisme et développement territorial**

- Assistance aux collectivités locales ;
- Appui institutionnel et technique ;
- Réalisation des plans d'urbanisme directeur ...

- **Information géographique et du numérique**

- Géodésie ;
- Photogrammétrie ;
- Prises de vues aériennes ;
- Télédétection et systèmes d'informations ;
- Marchés et affaires juridiques ;
- Réglementation (procédures, approbation) ;
- Passation des marchés de travaux et équipements (construction, aménagement/ infrastructures équipements/ publication des offres) ;
- Élaboration des prix (coûts et délais / indices et variations de prix).

- **Innovations et développement de projet**

- Diagnostic des organisations et fonctionnement des structures ;
- Réalisation d'études préalables et ou de faisabilité ;
- Optimisation et rédaction des procédures et ou de faisabilité...
  - **Industrie, énergie et mines**
    - Conseil d'achat et assistance à la maintenance ;
    - Diagnostic opérationnel ;
    - Appui à la mobilisation de financements...
  - **Construction et équipements publics**
    - Études architecturales ;
    - Études techniques ;
    - Maintenance des équipements et ouvrages...
  - **Communication et marketing**
    - Élaboration de plan d'affaires ;
    - Études de marché et de la concurrence...

En définitive, depuis plus de trente (30) ans, le BNETD a capitalisé une longue et riche expérience qui fait de lui, la structure privilégiée qui assiste le gouvernement Ivoirien dans ses réflexions stratégiques. Depuis quelques années, le BNETD intervient aussi dans des pays de l'Afrique occidentale et de l'Afrique centrale.

## 2. Organisation du BNETD

Situé à Abidjan dans la commune de Cocody, en bordure de la lagune Ebrié, avec une vue superbe sur la commune du plateau, le BNETD dispose d'un effectif total de plus de 1050 agents dont 509 cadres de haut niveau.

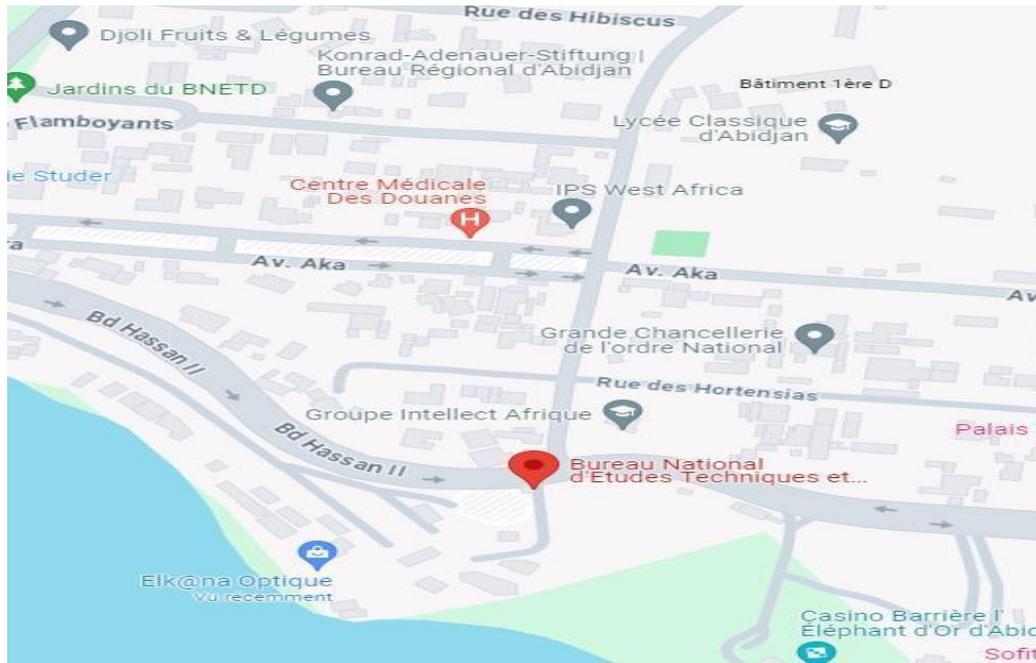


Figure 1 : Situation géographique du BNETD

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

À l'instar de toutes les sociétés d'État ivoiriennes actuelles, le BNETD est administré par une haute direction composée d'un conseil d'Administration, d'une Direction, d'un secrétariat, des Directeurs et des conseillers Techniques.

En termes d'organisation, le BNETD est subdivisé en pôles, Départements et services. Une mission bien déterminée est assignée à chacune de ces entités qui possèdent les compétences requises pour réaliser les objectifs du Bureau. Les pôles du BNETD sont au nombre de quatre (04) et comprennent :

- le pôle transports, infrastructures et environnement ;
- le pôle bâtiment et développement territorial ;
- le pôle agriculture, information géographique et numérique ;
- le pôle innovation et développement international.

Les Départements du BNETD, au nombre de seize (16) peuvent être classés en deux (02) grands groupes qui sont les Départements d'appuis au nombre de cinq (5) et les Départements d'opération au nombre de dix (10).

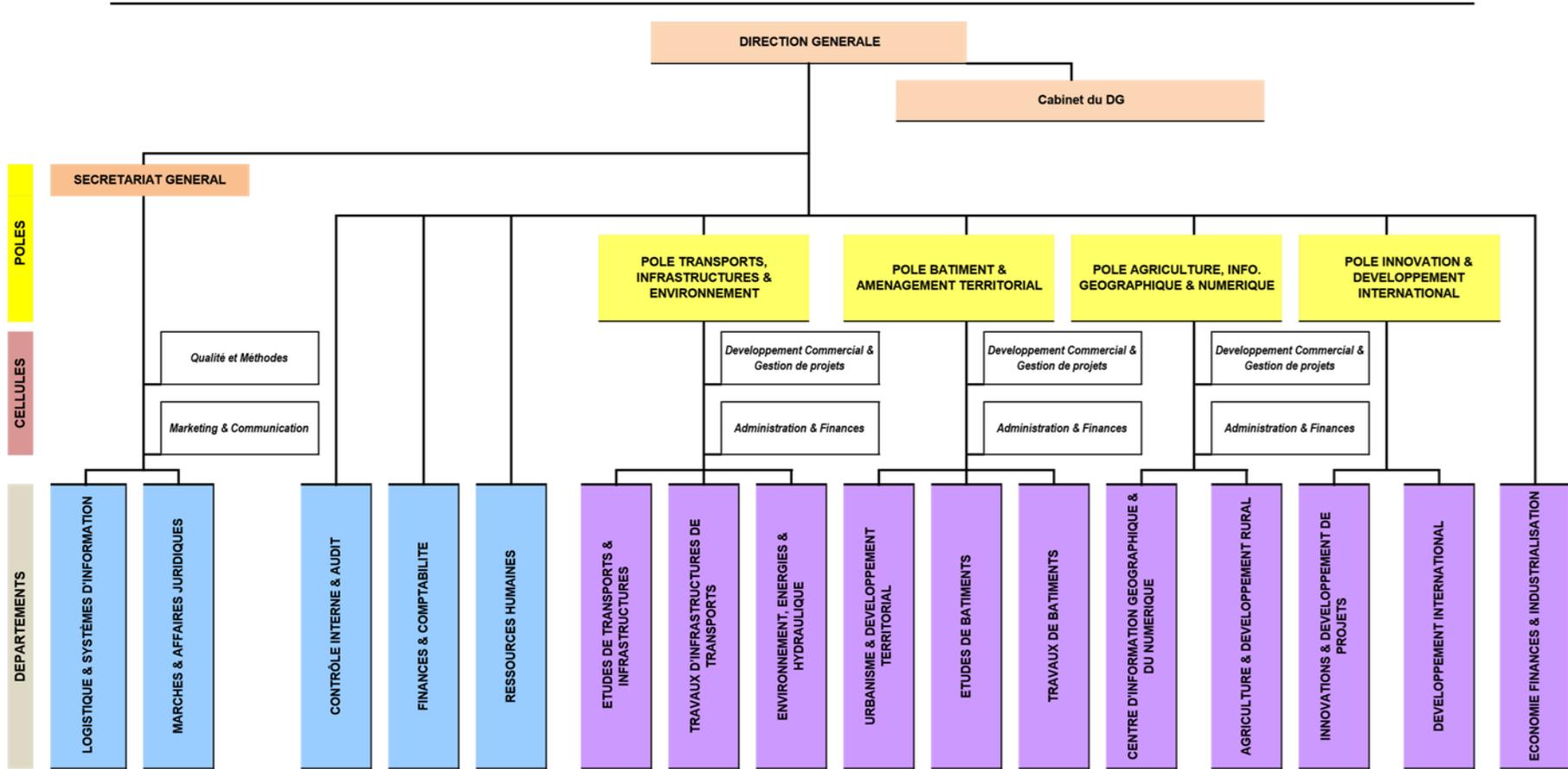


Figure 2 Organigramme du BNETD

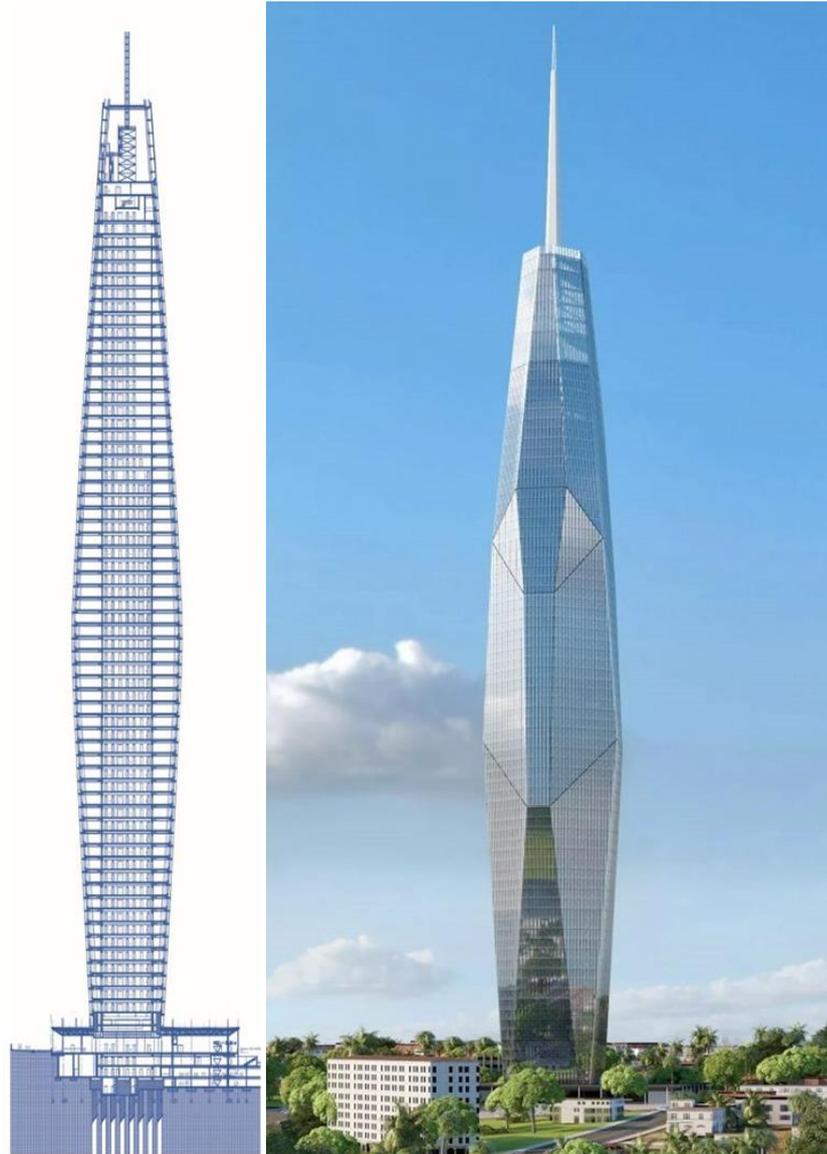
Source : BNETD

## CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU PROJET

### I. CONSISTANCE DU PROJET

#### 1. Contexte du projet

La Tour F est située dans la commune du Plateau à Abidjan en Côte D'Ivoire et représente la phase finale du projet de la Cité Administrative d'Abidjan. Prévues dans les plans d'urbanisme depuis les années 1970, elle est conçue comme la sixième et dernière tour de ce complexe administratif, succédant aux tours A, B, C, D et E. Elle s'intègre dans une initiative destinée à optimiser la structuration des services publics en Côte d'Ivoire. Au fil des décennies, l'augmentation du personnel administratif a entraîné une décentralisation des ministères dans différents édifices de la ville, ce qui a conduit à des frais de location élevés et à des problèmes de coordination. Face à cette problématique, la construction de la Tour F, commencée en 2020 vise deux objectifs principaux à savoir mettre à jour l'administration publique et maximiser l'usage de l'espace urbain.



*Figure 3 : vue architecturale de la tour F*

Source : Chantier

## 2. Description détaillée du projet

Prévue pour accueillir plus de 3.500 fonctionnaires, la tour F développe 120.000 m<sup>2</sup> de surface hors œuvre sur une parcelle de 1,3 ha soit 13.000 m<sup>2</sup> et comporte soixante-quinze (75) étages.

La transmission des charges dans le sol se fait via un radier de 3,5 m sur une surface de 1.080 m<sup>2</sup> qui s'inscrit dans un rectangle de 31x37 m, posé sur 70 barrettes de dimension 1,52 x2,80 m à des profondeurs variant de 59 à 64 m dans un sol sableux avec des passages argileux.

- ✚ C'est un ITGH (Immeuble de Très Grande Hauteur) comprenant :
- un socle abritant notamment le hall d'accueil, la grande salle (salle des fêtes), les locaux PC sécurité (niveau RDC) ;
  - une zone de locaux techniques aux niveaux SS01 et SS02 sous l'emprise de la tour ;
  - des réserves d'archives et des locaux de maintenance au niveau SS01 ;
  - une zone de restauration/food-court au SS01 de 850 m<sup>2</sup> (niveau rez-de-jardin) ;
  - une salle des fêtes au N00 à côté de la tour ;
  - une zone de locaux techniques aux niveaux N-1 et N-2 sous l'emprise de la tour ;
  - des réserves et archives au niveau N-2 ;
  - un ensemble de bureaux sur soixante (60) étages dont deux (2) niveaux de meeting center au N24 et au N42 ;
  - une salle de conférence de cent dix (110) places aux niveaux N04/N05 de la tour ;
  - des niveaux techniques N01 (pareil), N31, N44 (partiel), N60, N68, N70 (partiel) et N72 (partiel) ;
  - un espace de réceptions de double hauteur au niveau N66/N67 ;
  - un amphithéâtre de cent seize (116) places au niveau N69/N70 ;
  - un bar au niveau N71 ;
  - un espace panoramique, la lanterne, au niveau N75
  - une flèche de 74 mètres de haut qui pourra être surmontée d'un mât pour d'éventuels équipements de télécommunication.

Un bâtiment ERP jouxtant la tour et composé de :

- un parking de six cent quatre-vingt-huit (689) places plus dix-huit (18) places motos sur trois (3) niveaux (N-1, N-2, N-3) situé en dehors de l'emprise de la tour ;

La circulation verticale dans le bâtiment sera assurée par trente et un (31) appareils élévateurs et se décompose comme suit :

- une batterie basse : six (06) ascenseurs de 1.600 kg à 3,0 m/s desservant le premier tiers de la tour (du N00 au N24) ;
- une batterie moyenne : six (06) ascenseurs de 1.600 kg à 7,0 m/s desservant le tiers central du bâtiment (N24 au N42) ;
- une batterie haute : six (06) ascenseurs de 1.600 kg à 3,0 m/s :
  - quatre (4) desserviront les niveaux du 42<sup>ème</sup> au 59<sup>ème</sup> étage ;
  - deux (2) desserviront les niveaux du 42<sup>ème</sup> au 73<sup>ème</sup> étage.
- une batterie SKY LOBBY/VIP : trois (03) ascenseurs de 1.600 kg à 7,0 m/s :
  - un desservira les niveaux du SS2 au 73<sup>ème</sup> étage (pompiers) ;
  - un desservira les niveaux du SS1 au 73<sup>ème</sup> étage ;

- un desservira les niveaux rez-de-chaussée au 73<sup>ème</sup> étage.
- deux (02) monte-charges ;
  - un de 1.600 kg à 6,0 m/s desservant les niveaux SS2 au 73<sup>ème</sup> étage ;
  - un de 3.000kg à 6,0 m/s desservant les niveaux SS2 au 73<sup>ème</sup> étage.
- un socle (restaurant) : un monte-charge de cuisine de 900 kg à 1,00 m/s reliant le niveau SS1 au rez-de-chaussée ;
- un parking : quatre (04) ascenseurs PMR de charge 800 kg à 1,00 m/s reliant les niveaux SS3 au rez-de-chaussée ;
- un ascenseur panoramique reliant les deux (2) niveaux de la lanterne entre le 73<sup>ème</sup> et le 75<sup>ème</sup> étage, de charge 1 000 kg à 1.0 m/s ;
- deux (2) plateformes inclinées reliant la lanterne basse au toit terrasse, sommet entre le 73<sup>ème</sup> et le 76<sup>ème</sup> étage, entre les deux (2) peaux de façade, charge 2.000 kg à 12/minute.

### 3. Situation géographique

Le Projet se situe en Côte d'Ivoire, dans le District Autonome d'Abidjan dans la commune du Plateau sur une parcelle d'environ 1,3 hectare. Bordée par l'avenue de la Gendarmerie au Nord, à l'Est par l'avenue Camille Aliali et à l'Ouest par la Tour E distant de 70 mètres l'une de l'autre. Le relief de la zone accueillant la tour est un plateau.

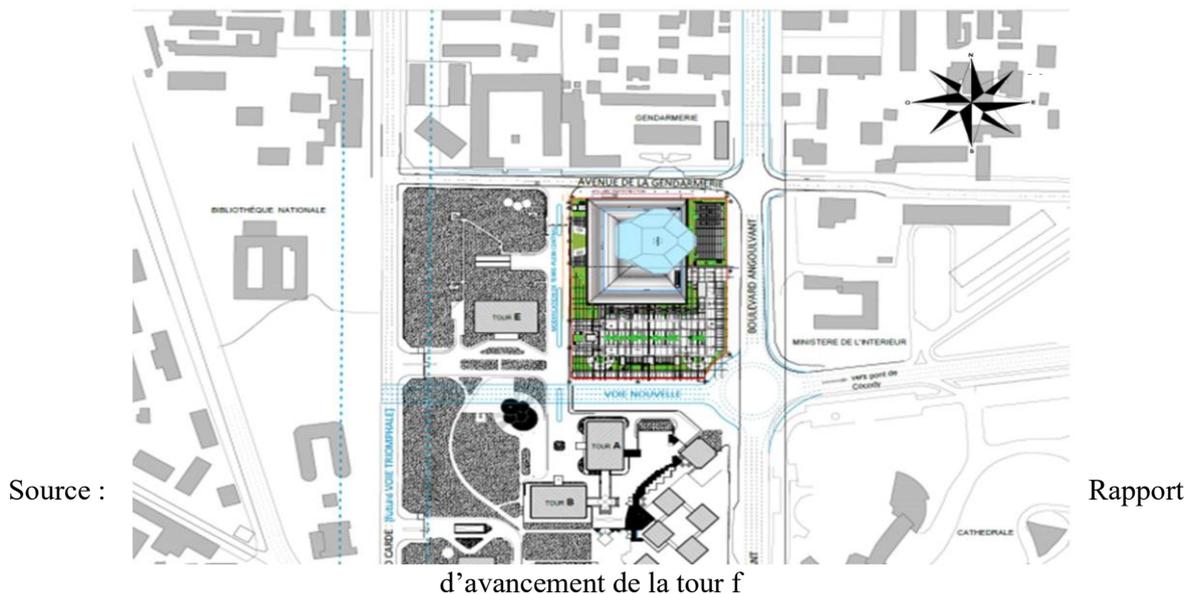


Figure 4 : Plan de situation de la tour F et accès futur

#### 4. Les acteurs du projet

Tableau 3: les intervenants sur le projet de la tour F

Maitre d'Ouvrage	ETAT DE CÔTE D'IVOIRE /MCLU
Maitrise d'œuvre	PFO AFRICA
Assistance Technique à Maitrise D'Ouvrage (ATMO)	BNETD
<b>ÉQUIPE DE CONCEPTION DU PROJET JUSQU'AU PRO - MAÎTRISE D'ŒUVRE ET CONTRÔLE EXTERNE</b>	
Architecte	PIERRE FAKHOURY
BET Structure	SARL ANDRÉ VERDIER
BET Façades	TESS
BET CET	INEX
Essais en soufflerie	RWDI
Sécurité incendie	SASTEC
ASCENSEUR	KONE
OPC / BIM & Synthèse	NV BESIX SA
<b>ÉTUDES D'EXÉCUTION</b>	
Fondations profondes	TERRASOL
Structure – Design EXE	GREISCH
Façade	METAL YAPI
CET	CEGELEC
Ascensoriste	KAYSYSTEMS (KONE)
Contrôleur technique et NR	SOCOTEC
<b>ENTREPRISES</b>	
Fondations profondes	SPIE BATIGNOLLES
Gros-œuvre	BESIX CI
Façade	METAL YAPI
CET	CEGELEC
Laboratoire	LBTP

Source : plan d'assurance qualité

## **DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR**

## CHAPITRE 3 : LES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR : PRÉSENTATION

### Introduction

Les travaux de coffrage ont une influence considérable sur les coûts de construction. Dans les bâtiments industriels et civils en général, on estime qu'un mètre cube de béton nécessite en moyenne 7,4 mètres carrés de coffrage, et quant au coût de coffrage, celui-ci représente environ 34 % du coût total des travaux de bétonnage. Ainsi, le choix judicieux du type de coffrage, de sa structure et de la méthode de mise en œuvre permet d'optimiser l'exécution des travaux de bétonnage et de réduire significativement les coûts de construction.

Cette partie a pour objet de fournir un aperçu technique des systèmes de coffrage utilisés dans les constructions en hauteur, tout en mettant l'accent sur les solutions les plus couramment utilisées pour les tours : le coffrage glissant, le coffrage grim pant et le coffrage auto grim pant.

### I. LE COFFRAGE

#### a. Définition

Le **coffrage** est une enceinte provisoire, un moule, destinée à maintenir en place un matériau de construction le temps que celui-ci devienne autoportant, soit par prise, séchage, soit par d'autres contraintes physiques. Le coffrage a pour but de réaliser des ouvrages aux formes définies par la surface interne du coffrage. Il se compose du moule, des éléments de soutien et des dispositifs de fixation. Un bon coffrage doit être résistant, rigide, étanche, facile à démonter et réutilisable afin d'optimiser le coût, le délai et la qualité de l'ouvrage.

#### b. Les coffrages traditionnels

- Le coffrage en bois, le plus répandu, est composé de panneaux de contreplaqué d'au moins 2400 mm de long et 600 mm de large, avec une épaisseur minimale de 15 mm afin de prévenir toute déformation. On peut aussi citer les coffrages constitués de panneaux DOKA et les contreplaqué baké lisé qui sont résistants à l'humidité, rigides et

offrent une solution durable et économique grâce à leur capacité de réutilisation multiple sur différents postes de travail, réduisant ainsi les coûts de coffrage.



*Figure 5 : coffrage en bois*

Source : google image

- Le coffrage métallique, préféré pour les travaux d'envergure et la construction de colonnes et de chevêtres. Son principal avantage est sa réutilisation, ce qui permet un montage plus rapide des structures.



*Figure 6: coffrage métallique*

Source : google image

- Le coffrage à béton isolant, Particulièrement adapté aux sous-sols, ce système utilise des coffrages modulaires rigides en polystyrène. Une fois le béton coulé, ces coffrages

restent en place, garantissant une isolation thermique intégrale du mur. Cette méthode améliore à la fois le confort et l'efficacité énergétique.



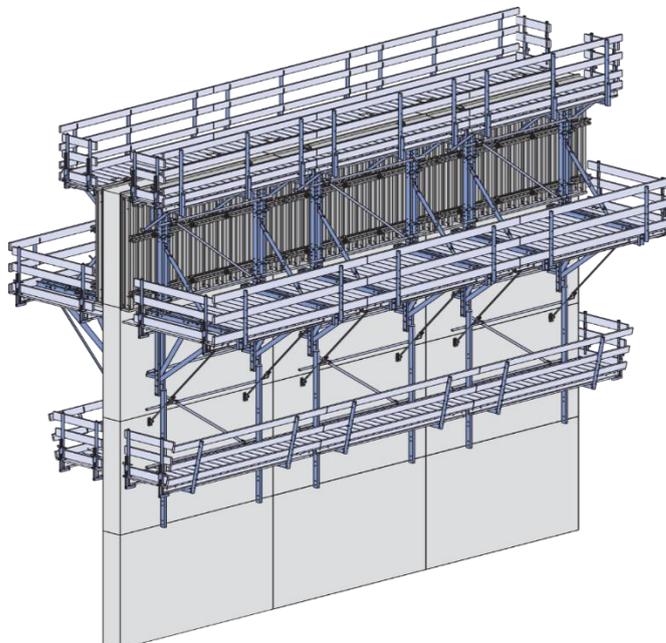
*Figure 7: coffrage à béton isolant*

Source : google image

On peut ajouter entre autres le coffrage en acier-bois, le coffrage en plastique, le coffrage en alliage d'aluminium moulé et le coffrage en acier vitrifié moins utilisé.

## II. TYPOLOGIES DES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR

### A. Coffrages grimpants



*Figure 8 Coupe d'un coffrage grimpant*

Source : Coffrage auto grimpant doka

## 1. Description du système

Un **coffrage grimpant** est un système de coffrage utilisé dans la construction de structures verticales en béton, telles que les noyaux centraux d'immeubles, les tours ou les piliers de ponts. Le coffrage grimpant est hissé après que le béton ait durci et à atteint une résistance suffisante pour supporter le coffrage. Ce système est particulièrement adapté pour les structures à géométrie peut variable ou lorsqu'il y a des reprises de bétonnage autorisées. Il accorde plus de flexibilité à la mise en place des réservations dans l'ouvrage.

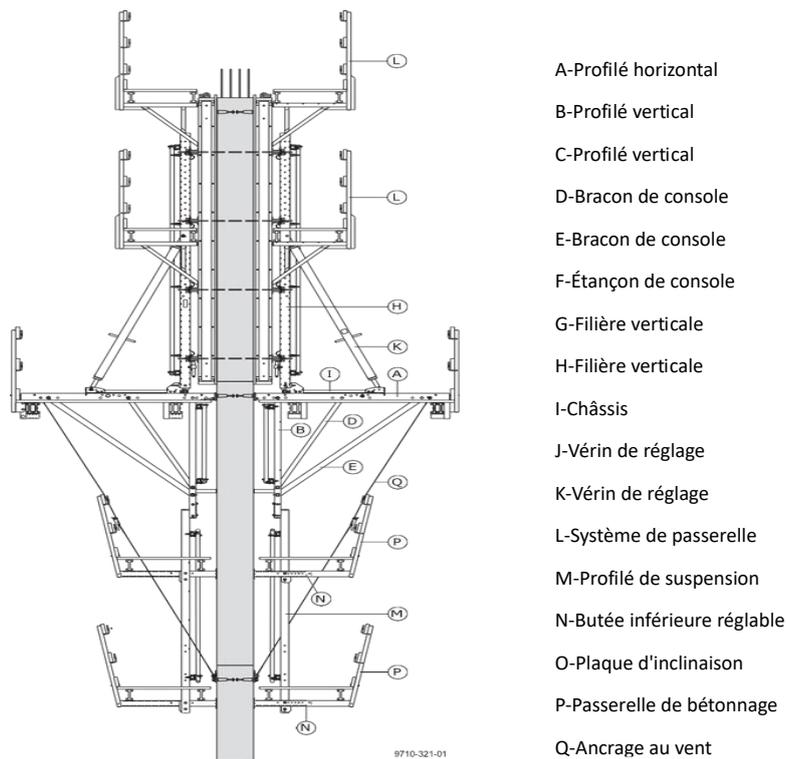


Figure 9 : coupe détaillant les parties d'un coffrage grimpant

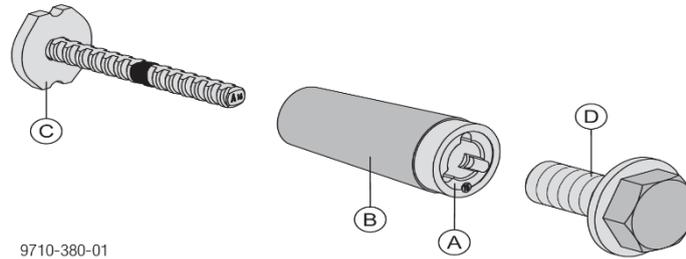
Source : Coffrage auto grimpant doka

Le coffrage grimpant permet de cadencer des rythmes de travail pour tous les ouvrages de construction de grande hauteur. Construit de façon extrêmement simple, il s'adapte à de nombreuses exigences dans un large domaine.

## 2. Fixation

Le cône d'ancrage est un élément essentiel dans le système de coffrage grimpant. Il est directement inséré dans le ferrailage et une fois le béton durci, il sert de point de fixation pour

le coffrage. Les cônes supportent les charges d'exploitation, le poids du coffrage et répartissent les forces de manière sécurisée dans le béton durci.



9710-380-01

A-Cône grim pant universel

B-Fourreau d'étanchéité

C-Ancrage à plaque

D-Boulon de cône

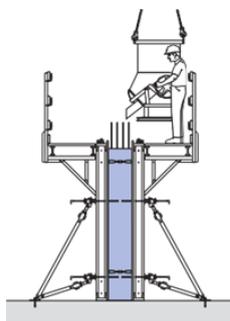
*Figure 10 : assemblage d'ancrage*

Source : google image

### 3. Hissage

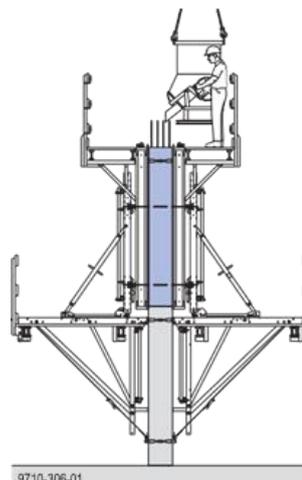
#### a. Cinématique des phases de levage

##### ❖ Phases de démarrage



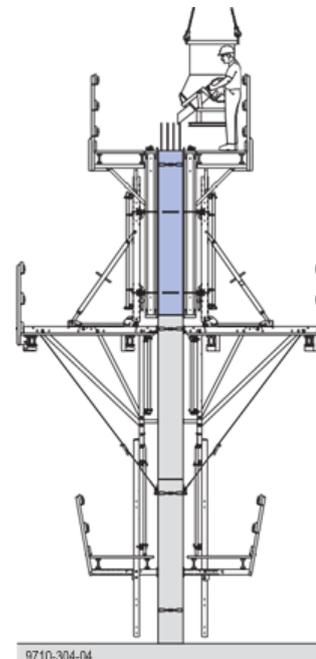
*Figure 13 : première étape du hissage*

Le 1er bétonnage se réalise sans module grim pant



*Figure 12 : deuxième étape du hissage*

Le 2ième bétonnage utilise déjà le module grim pant



*Figure 11 : troisième étape de hissage*

Monter la passerelle suspendue puis bétonner

❖ Phases courantes

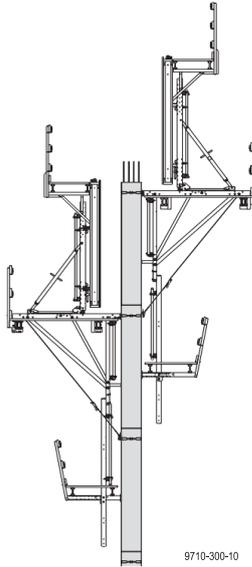


Figure 15 : quatrième étape de hissage

Hisser l'unité de translation avec la grue jusqu'à la levée suivante.

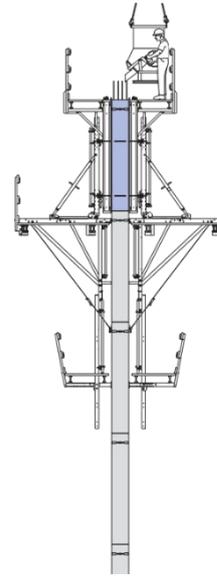


Figure 14 : cinquième étape de hissage

Bétonnage

Source : Coffrage auto grim pant doka

**b. Translation de l'ensemble de l'unité**

L'ensemble de l'outil grim pant est translaté selon le processus suivant :

 1<sup>er</sup> bétonnage

- Installation de la première peau de coffrage
- Mise en place de la cage d'armature
- Positionnement des cônes d'ancrage dans le ferrailage
- Installation de la deuxième peau de coffrage et fixation de l'ensemble afin de former un système rigide
- Bétonnage des voiles coffrés après réglage et vérification de l'aplomb

- Décoffrage après durcissement du béton. Généralement 24 à 36 heures après le coulage
- Nettoyage et traitement de la peau coffrant en vue de la réutilisation pour les prochains bétonnages.

✚ 2ème bétonnage

- Fixation de la plateforme aux points ancrages, puis préparation pour le bétonnage.

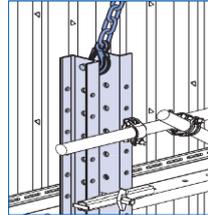


Figure 16 : vue 3D d'une fixation

Source : Coffrage auto grim pant doka

- Déplacement d'une unité de coffrage par une grue jusqu'à la plateforme de travail.

✚ 3ème bétonnage

- À l'aide d'une grue, on soulève et on déplace l'ensemble du coffrage pour le positionner à un niveau supérieur. On le fixe ensuite solidement à l'aide de broches.

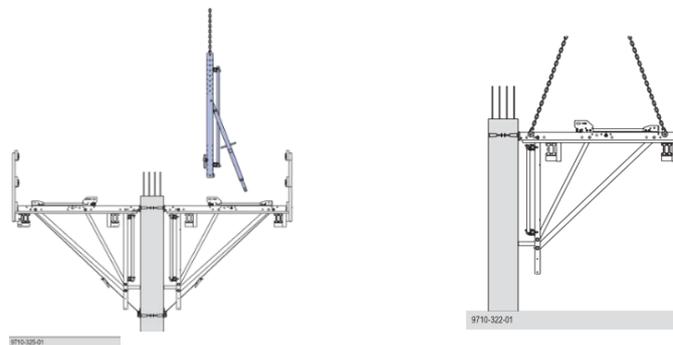


Figure 17: vue 3D du déplacement d'une unité

Source : Coffrage auto grim pant doka

- Après la vérification de la conformité de la résistance du béton, à l'aide de la grue, le coffrage est soulevé puis déplacé vers le voile nouvellement décoffré. Les pâtes d'ancrage sont fixées au niveau du cône suivi de l'insertion des broches.
- On remet en place les fixations qui assurent la stabilité du coffrage contre le vent.

## B. Coffrages glissants

### 1. Description du système

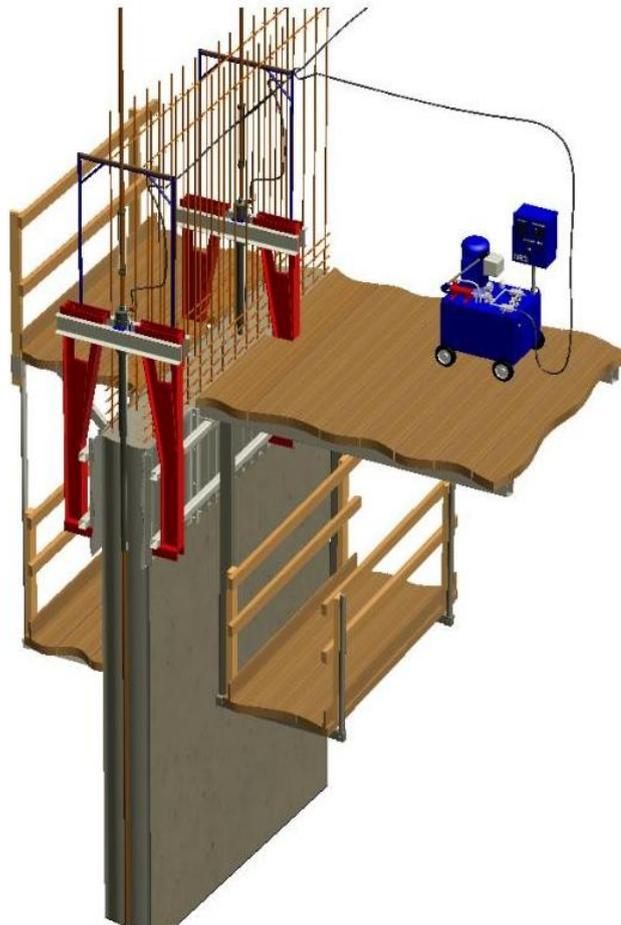


Figure 18 : Vue en 3D d'un coffrage glissant

Source : Google image

Le coffrage glissant hydraulique est un dispositif de construction permettant le coulage et l'élévation continue du béton lors de la réalisation de structures verticales. Il est constitué de trois principaux systèmes dont Le système de coffrage, qui comprend les panneaux de coffrage, les arceaux et les cadres de levage. Il assure le moulage et le maintien du béton frais jusqu'à son durcissement.

Le système de plateforme, composé de plateformes de travail, de plateformes auxiliaires et d'échafaudages suspendus internes et externes. Il offre un espace sécurisé pour les ouvriers et facilite les opérations de coffrage, de pose d'armature et de bétonnage.

Le système de coulissement, qui regroupe les tiges de support, les vérins hydrauliques et la console hydraulique. Ce mécanisme permet l'élévation progressive du coffrage à mesure que le béton est mis en place et durcit. Ce procédé est particulièrement adapté aux constructions de tours, silos, cheminées industrielles et noyaux d'immeubles de grande hauteur, où il garantit un avancement rapide et un bétonnage homogène.

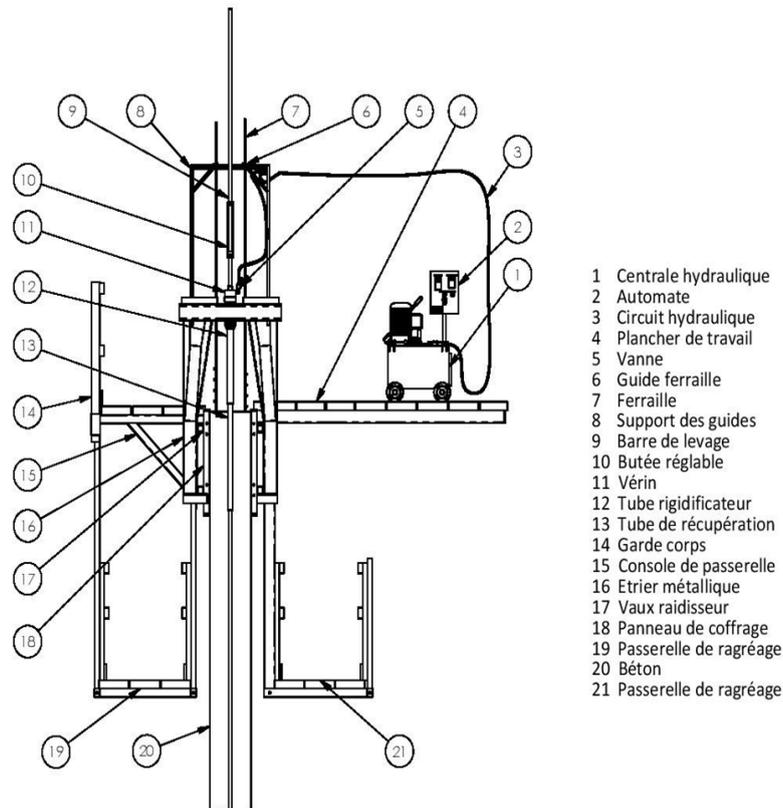


Figure 19 : Coupe détaillant les éléments d'un coffrage glissant

Source : Google image

## 2. Vérin

Les vérins utilisés en coffrage glissant sont généralement des vérins de 3 tonnes ou de 6 tonnes. Exceptionnellement, dans certains ouvrages ou après étude spéciale, on peut être amené à utiliser des vérins de 15 tonnes.

Le corps du vérin est constitué par un cylindre en acier de 95 mm de diamètre intérieur. La partie supérieure et le fond sont percés d'un trou pouvant laisser passer une tige en acier de 25

mm pour les vérins de 3 tonnes. Cette tige qui traverse le vérin et tous les organes intérieurs est la tige de montée. Elle prendra appui sur le plan de départ du coffrage.

Le vérin, sous l'action de la pression de l'huile, remontera la tige progressivement. Ce mouvement du vérin entraîne avec lui la structure à laquelle il est fixé, et donc le coffrage. À chaque impulsion d'huile, le coffrage s'élève de 15 à 45 mm, une distance qui peut être ajustée. Il est important de noter que ces vérins sont conçus pour fonctionner uniquement de bas en haut.



*Figure 20: Image d'un vérin hydraulique*

Source : Google image

### 3. Barres de levage

La tige de montée aussi appelée barre de levage prend appui sur le plan de départ par l'intermédiaire éventuel d'une plaque métallique de répartition. Pour les vérins de 3 tonnes le diamètre est de 25mm. Ces tiges seront environ, en éléments de 3 m de longueur pouvant se visser les unes dans les autres grâce à un goujon.

Lorsqu'une tige doit traverser une ouverture, il est nécessaire de la buter latéralement tous les 60 cm environ, afin d'éviter le flambage. Cet entretoisement peut se faire en prenant appui sur les montants du cadre de réservation de l'ouverture.

On peut encore maintenir cette tige grâce à un faux poteau en béton armé coulé dans l'ouverture et enrobant la tige (section du voile par 0,30 de largeur minimum). Ce poteau sera détruit par la suite. On prendra le soin de placer un joint sur la partie supérieure, et un sous la partie inférieure

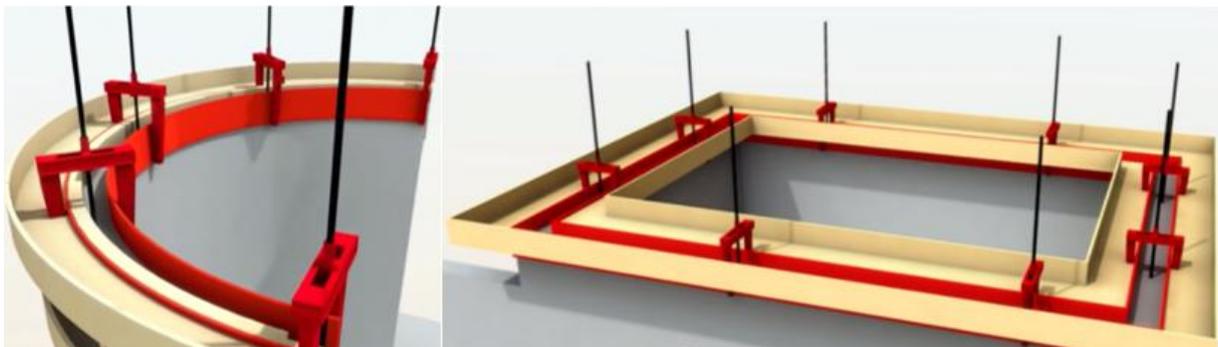
pour faciliter sa démolition. Lorsque le glissement est terminé, les tiges sont extraites de leur alvéole soit à l'aide de la grue, soit avec un extracteur mécanique ou hydraulique et cela est possible grâce à un tube de protection accroché au vérin qui empêche le contact du béton frais avec la tige.

Toutefois et principalement lorsqu'on utilise l'extracteur mécanique, on doit tenir compte du poids des tiges à extraire (4 kg au mètre linéaire).

En conséquence, pour une tige de 25 mm à extraire manuellement, on ne dépassera pas 50 m, ce qui représente un poids de 200 kg.

Mais actuellement l'extraction à l'aide de la grue est la plus pratiquée car elle entraîne un gain de temps.

Dans certains ouvrages, particulièrement lorsqu'on doit couler une paroi contre une autre paroi, par exemple contre un réservoir en tôle, on peut être amené à avoir des tiges suspendues et travaillant en traction. Dans ce cas de figure, il faudra vérifier la résistance des filetages au cisaillement.



*Source : Google image*

*Figure 21: Tiges de levage*

#### 4. Hissage

Le hissage d'un coffrage glissant est un processus continu et précis, nécessitant une coordination rigoureuse. Voici les séquences principales :

- a) Préparation du béton et du coffrage :
  - Le coffrage est vérifié et ajusté pour assurer sa verticalité et sa stabilité.

- Les armatures sont mises en place en continu, en suivant la progression du coffrage.



Figure 22: Vue sur les armatures dans un système de coffrage glissant

Source : Google image

b) Levage initial :

- Les vérins hydrauliques sont activés pour amorcer le levage du coffrage.
- Le mouvement est lent et contrôlé, permettant de vérifier la stabilité d'ensemble.
- Les tiges de guidage s'insèrent progressivement dans le béton frais.

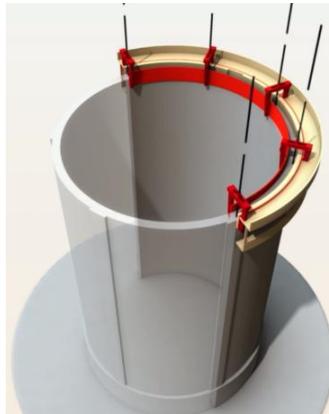


Figure 23: Vue du dessus d'un coffrage glissant

Source : Google image

c) Levage continu :

- Le levage se poursuit à une vitesse constante, adaptée à la prise du béton.
- Les vérins hydrauliques sont synchronisés pour assurer un mouvement uniforme.
- Les opérateurs surveillent en permanence la verticalité et la stabilité du coffrage.

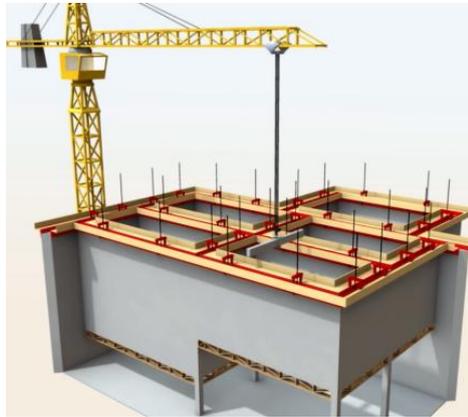


Figure 24 : Vue du dessus d'un coffrage glissant

Source : Google image

d) Bétonnage et ferrailage :

- Le béton est coulé en continu dans le coffrage, en couches successives.
- Les armatures sont ajoutées au fur et à mesure de la progression du coffrage.

e) Fin de levage :

- Le levage se poursuit jusqu'à atteindre la hauteur souhaitée.
- Le coffrage est arrêté et stabilisé.
- Le béton est laissé à durcir complètement.

## 5. Fonctionnement général

### ❖ Procédé

Contrairement au coffrage traditionnel qui est un coffrage fixe pendant le bétonnage, et qu'il faut monter, démonter et remonter sur la hauteur de l'ouvrage, le coffrage glissant est un coffrage qui, en principe, est toujours plein de béton et qui depuis la base de l'édifice jusqu'au

sommet ne s'arrête jamais. Sauf cas exceptionnel, il ne subit aucune transformation ni démontage pendant son ascension

### ❖ Principe

On établit sur la surface de départ de l'ouvrage (fondation, radier, plancher) un coffrage constitué par deux banches dont l'écartement est égal à l'épaisseur de la paroi à construire et qui, en plan, épouse le tracé de tous les murs constituant l'ouvrage.

Pour garantir la stabilité du coffrage, des chevalements métalliques en U renversé sont positionnés au sommet des banches à intervalles réguliers d'environ 1 mètres 45 environ l'un de l'autre.

Sur chaque chevalet est fixé un vérin hydraulique, lequel est traversé par une tige d'acier prenant appui sur le plan de départ. Cette tige est appelée tige de montée ou barre à vérin. Tous les vérins sont reliés à une pompe hydraulique via une canalisation.

Chaque fois que la pompe envoie l'huile sous pression aux vérins, ceux-ci grimpent le long de leur tige de montée de plusieurs centimètres, entraîne le chevalet, le coffrage et la plateforme de travail qui supporte le personnel et les matériaux qui sont introduits dans les coffrages. (expl: ferraille, mannequins ...).

Au fur et à mesure de l'ascension, le béton ainsi que les armatures et incorporations sont mis en place dans les coffrages par la partie supérieure des coffrages.

## C. Coffrage auto grim pant de la tour

### I. Présentation technique

L'outil est dit « auto-grimpant » car son fonctionnement permet le coffrage et le bétonnage des voiles d'un étage  $n+1$ , tout en se suspendant à ceux de l'étage  $n$  réalisé à une date antérieure, avant de se hisser sur ce même nouveau voile juste réalisé quand la résistance du béton le permet.

Le coffrage auto-grimpant est fabriqué sur mesure par la société DOKA pour le projet, mais les composants de base de l'outil sont standardisés au maximum afin de limiter les éléments «

atypiques ». DOKA réalise l'étude de calepinage, les notes de calculs, les plans d'implantation, de fabrication, ainsi que les procédures de montage et d'assemblage conformément au contrainte du site.

L'outil grim pant se compose de passerelles de travail en encorbellement réparties sur trois niveaux, avec des banches installées sur la passerelle supérieure. L'ensemble est déplacé verticalement de manière autonome grâce à un système de crémaillère et de vérins hydrauliques.



Figure 26 : Vues 3D du coffrage

Source : Maquette 3D de LTF



Figure 25: Image du coffrage auto grim pant de la tour F

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

## II. Cône d'ancrage



Documents DOKA de référence :

- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-COF-PLN-NSP-391204 - Notice d'instructions  
Ancrage avec cône grim pant universal 20,0 2G

Il y a deux types de cônes :

1. Les cônes destinés aux voiles de 200mm épaisseur : voiles intérieurs noyau
2. Les cônes destinées aux voiles d'épaisseur 350mm ou plus : voiles extérieurs noyau



Le plan d'implantation des cônes des plateformes est le suivant :



Plans de référence :

- LTF\_BCI\_EXE\_TOU\_GOT\_COF\_PLN\_NSP\_391002\_C – Plan d'emplacement des cônes

**Attention** : Dans le cas de la Tour F, le plan de DOKA constitue **toujours** l'unique référence pour la position des cônes et prévaut sur les plans stabilité.

Il y a aussi des tolérances d'implantation des cônes à respecter qui sont :



✚ Tolérance horizontale :  $\pm 10$  mm

✚ Tolérance verticale :  $\pm 10$  mm

✚ Tolérance de déviation :  $\pm 2$  degrés

Dans le cas d'une implantation hors tolérance, il faudra systématiquement en informer l'instructeur en coffrage du fournisseur DOKA qui définira au cas par cas, la solution à suivre.

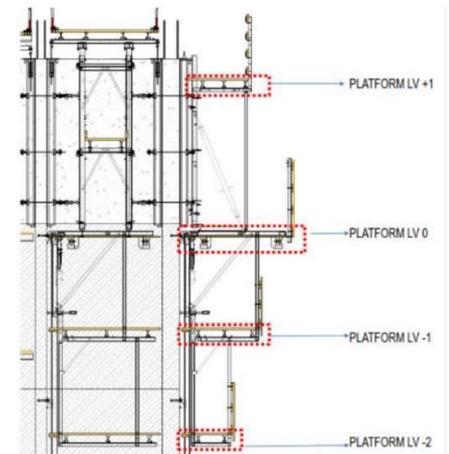
S'il s'avère nécessaire d'implanter un nouveau point d'ancrage, il faudra se référer au document ci-dessus.

### III. Procédure de hissage

#### 1. Prérequis

Il existe 4 niveaux de travail sur le coffrage auto grim pant

1. Niveau +1 : niveau de bétonnage
2. Niveau 0 (principal) : ferrailage et coffrage
3. Niveau -1 : circulation principale, hissage et mécanique
4. Niveau -2 : niveau technique (récupération sabots de hissage)



Au niveau opérationnel, le bétonnage d'un niveau du noyau sera découpé en deux fronts de travail :

- Zone 1 – OUEST – en bleu ;
- Zone 2 – EST – en rouge ;

Les 2 zones représentent une quantité de travail équivalente afin d'optimiser les rotations d'équipes (coffreurs, ferrailleurs, bétonneurs).

La flexibilité du coffrage auto grim pant permet de faire les découpages nécessaires en fonction des contraintes du chantier.

Ce même principe est applicable dès le montage.

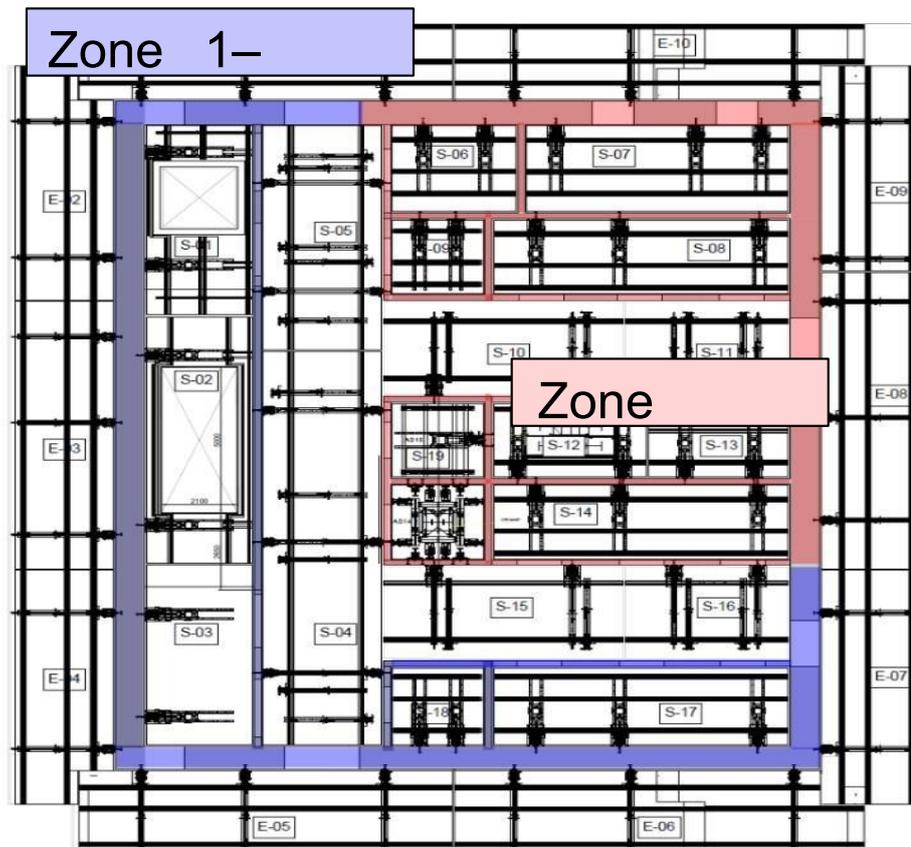


Figure 29: Découpage des phases de bétonnage dans le coffrage grim pant

Source : procédure de hissage du coffrage auto-grim pant

## 2. Résistance minimale du béton avant hissage

La résistance minimale nécessaire sur moule cubique ( $f_{ck,cube}$ ) est de 10Mpa, 15 Mpa ou 20 Mpa en fonction de la plateforme.

Par ailleurs, en vue de simplifier le contrôle qualité, le critère de résistance minimale du béton sera fixé à **20 Mpa** pour toutes les plateformes (**Charge de rupture > 450KN**). Cette résistance est obtenue généralement quelques heures après bétonnage (entre 24h et 36h après bétonnage), selon la formulation de béton.

Cette résistance est obtenue par écrasement d'un moule cubique ( $f_{ck,cube}$  [Mpa]), préalablement prélevé lors d'une phase de bétonnage des voiles du noyau.

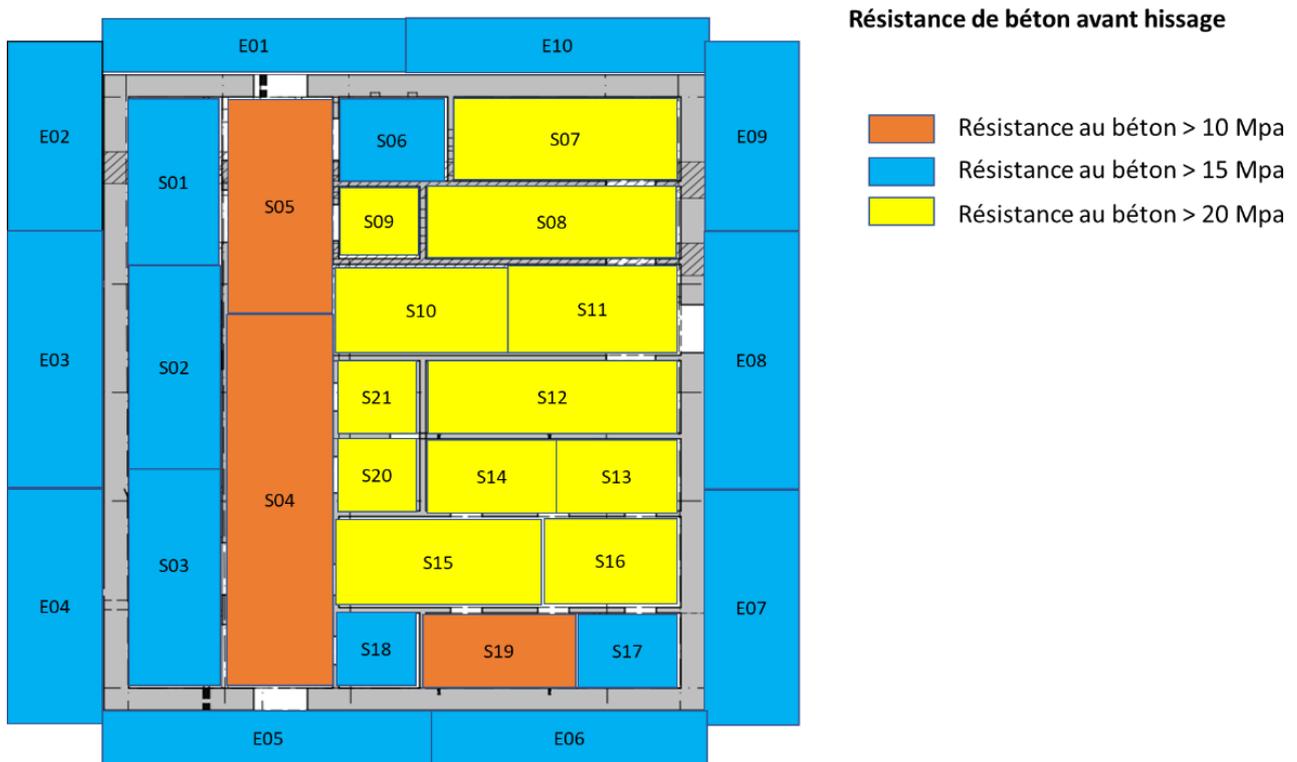


Figure 30: Résistance minimale du béton avant hissage selon le type de plateforme

Source : procédure de hissage du coffrage auto-grimpant

### 3. Définition et composition d'une séquence de hissage du coffrage auto-grimpant

La séquence de hissage du grim pant pourra se définir comme étant le hissage complet des dix (10) plateformes extérieures et des vingt et une (21) plateformes intérieures par set de plateforme suivant la capacité maximale des groupes hydrauliques ; un set de plateforme étant un ensemble de plateforme hissé en un bloc à partir d'un même groupe hydraulique. Par ailleurs, il est d'usage de faire monter toujours les plateformes extérieures avant les plateformes intérieures afin d'éviter que ces dernières soient exposées à l'effort de vent.

Elle se fait en quatre grandes étapes :

- Etape 1 : Le décoffrage
- Etape 2 : Le hissage des profilés (après atteinte de la résistance de 20MPa du béton + pose de sabot)
- Etape 3 : Le hissage des plateformes

- Etape 4 : Repositionnement des panneaux après hissage

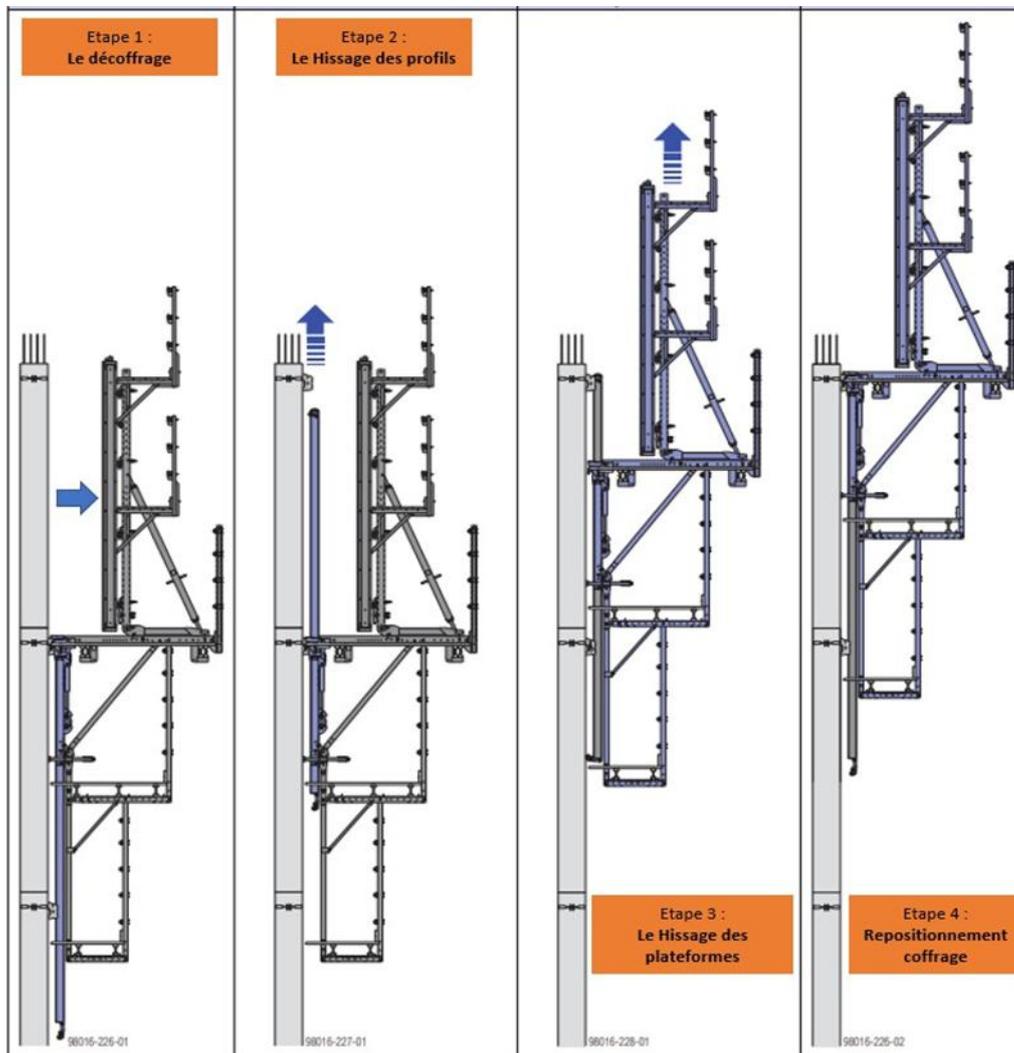


Figure 31: Cycle d'un hissage

Source : procédure de hissage du coffrage auto-grimpant

La Durée totale d'une séquence de hissage de l'ensemble de plateformes, conditionné par le planning des travaux est de 45 minutes environ.

#### 4. Fonctionnement général

##### 1. Installation initiale :

- Les panneaux décoffrage sont montés et fixés au sol, comme pour un coffrage traditionnel. Lors de ce premier bétonnage, des cônes d'ancrage sont intégrés dans le béton pour préparer les futures étapes de grimpage ;
- Lors du deuxième bétonnage, on réalise la Fixation des plateformes « Niveau 0 » et « Niveau -1 » sur les premiers cônes d'ancrage, le remontage ou la réinstallation des panneaux de coffrage sur des rails coulissants installés sur les plateformes et la mise en place des vérins de hissage et du système hydraulique complet ;
- Le troisième bétonnage constitue la fin de l'installation effectif du grim pant. Au cours de celui-ci on réalise la suspension des plateformes « Niveau -2 » ;
- Installation du mât de bétonnage dès que le tirant d'air le permet.

2. Levage autonome : Une fois le béton atteint sa maturité, le système de coffrage, équipé de vérins hydrauliques, se hisse de manière autonome le long de rails fixés à la structure tout au long des travaux.

3. Cycles répétés : Hissage et bétonnage deviennent donc des cycles typiques. À chaque nouvelle position, le coffrage est sécurisé, le béton est coulé, et une fois durci, le système se hisse à nouveau pour la levée suivante. Ce cycle se répète jusqu'à l'achèvement de la structure.

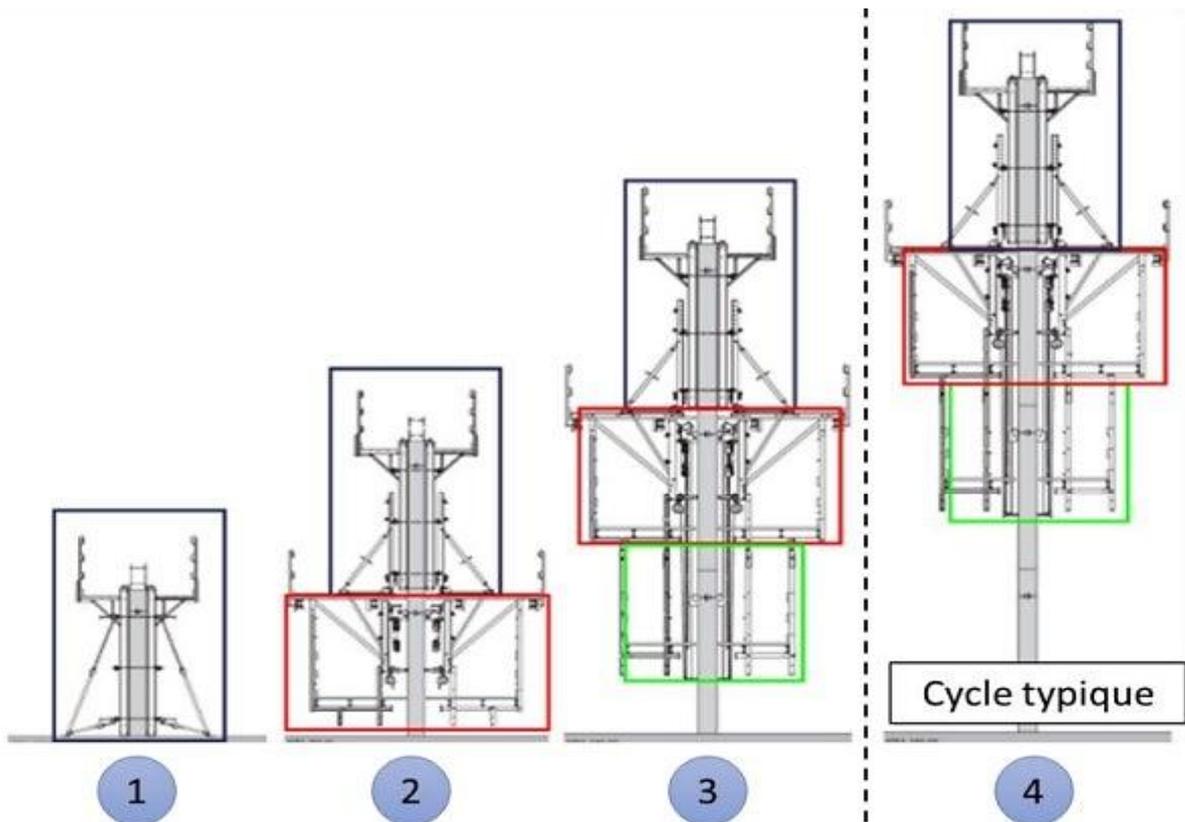


Figure 32 : principe de montage du coffrage auto-grimpant

Source : Chantier

## Conclusion

Cette première étape a consisté à présenter les principaux systèmes de coffrage en hauteur, en mettant en lumière leurs principes de fonctionnement.

Chacun de ces procédés présente des caractéristiques propres en termes de conditions d'utilisation, de cadence d'exécution, de sécurité et de logistique de chantier.

Ces éléments techniques posent les bases d'une étude comparative approfondie, présentée dans le chapitre suivant, en vue de déterminer le système le plus efficace pour l'édification du noyau central de la Tour F, au regard des contraintes spécifiques du projet.

## CHAPITRE 4 : ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE

### Introduction

La réalisation de structures verticales de grande hauteur, telles que les gratte-ciels, les tours et les silos, repose sur l'utilisation de systèmes de coffrage performants et adaptés. Les coffrages grimpants, auto grimpants et glissants sont parmi les solutions les plus couramment employées, chacune présentant des caractéristiques, des avantages et des limites spécifiques.

Cette troisième partie a pour objectif de réaliser une analyse comparative approfondie de ces trois systèmes de coffrage, afin de déterminer leurs performances respectives dans différents contextes de construction. Nous examinerons les critères clés tels que l'efficacité, le coût, la sécurité et l'adaptabilité entre autres.

L'objectif principal de cette analyse est de déterminer le système de coffrage le plus adapté aux exigences de construction de la tour. Nous chercherons à identifier les situations où chaque type de coffrage excelle, et à mettre en évidence les facteurs à prendre en compte pour un choix efficace de coffrage en hauteur.

### I. ÉTABLISSEMENT DES CRITÈRES DE COMPARAISON

L'établissement des critères de comparaisons est une partie essentielle du travail. Elle revient à déterminer les points les plus pertinents sur lesquels vont porter notre analyse.

#### 1. Critère technique

##### a) Vitesse d'exécution

La rapidité d'exécution est un critère essentiel dans la construction des ouvrages de grande hauteur. Une cadence de coulage élevée permet de réduire la durée globale du chantier, ce qui a un impact direct sur les coûts et l'organisation des travaux. Une vitesse trop lente peut entraîner des retards et une augmentation des coûts indirects comme la mobilisation de la main-

d'œuvre. Aussi Un coffrage facile et rapide à installer et à désinstaller réduit les délais entre les phases de travail et optimise la gestion des ressources.

### **b) Flexibilité**

La capacité d'un système de coffrage à s'adapter aux différentes formes et hauteurs de l'ouvrage est essentielle, car cela peut s'avérer problématique pour des bâtiments où la forme et la hauteur des murs varient. Un système rigide ou peu adaptable peut nécessiter des ajustements coûteux ou limiter les possibilités architecturales.

### **c) Complexité de mise en œuvre**

La facilité d'installation et d'utilisation du coffrage impacte directement la productivité du chantier. Un système trop complexe peut entraîner une augmentation des coûts de main-d'œuvre et des risques d'erreurs. Un coffrage nécessitant peu de personnel qualifié et d'équipements spécifiques est plus économique et réduit le risque de pénurie de main-d'œuvre spécialisée.

### **d) Poids du coffrage**

Le poids du coffrage influence la logistique du chantier. Un coffrage trop lourd peut nécessiter des équipements de levage puissants, augmentant ainsi les coûts et la complexité des opérations.

### **e) Parement à obtenir**

L'aspect final du béton est un critère crucial, notamment pour les constructions où le béton reste apparent (béton architectonique). La qualité du parement dépend du type de coffrage utilisé et de la maîtrise du processus de coulage. Un bon état de surface réduit les reprises et améliore l'esthétique de l'ouvrage.

## **2. Critères économiques**

### **a) Coûts d'installation et d'exploitation**

Le choix d'un système de coffrage doit prendre en compte son coût global, incluant l'achat ou la location, ainsi que les dépenses associées à son utilisation sur le chantier.

Un coffrage plus facile et rapide à mettre en œuvre réduit les besoins en main-d'œuvre, ce qui diminue les coûts salariaux. À l'inverse, un système complexe nécessitant des ouvriers qualifiés peut entraîner des dépenses supplémentaires. Par ailleurs, un système de coffrage

dont les pièces de rechange ne se trouvent pas sur le marché local pourrait également entraîner des surcoûts et augmenter le délai des travaux.

### **b) Besoin en main-d'œuvre**

Le nombre d'ouvriers nécessaires pour installer, manipuler et entretenir le coffrage impacte directement la rentabilité et l'organisation du chantier. Un système nécessitant une main-d'œuvre importante pour le montage et le démontage peut ralentir le chantier et générer des coûts supplémentaires.

### **3. Critères liés à la sécurité**

La sécurité des ouvriers est une priorité sur les chantiers de grande hauteur, et le choix du coffrage influence directement le niveau de risque. Un coffrage bien conçu doit offrir des dispositifs de sécurité intégrés afin de réduire les risques de chute.

Un système de coffrage facile à manipuler réduit les risques de blessures liés aux efforts physiques excessifs et aux mauvaises postures. Un coffrage trop lourd ou difficile à ajuster peut exposer les travailleurs à des dangers, comme des chutes d'éléments ou des accidents lors des manipulations

## **II. ANALYSE DES DONNÉES**

### **1. Récapitulatif des données**

Le tableau récapitulatif suivant montre les différences entre les coffrages grimpants, auto grimpants et glissants. Il sert de base pour comprendre les distinctions essentielles entre ces trois systèmes de coffrage. En rassemblant les informations clés dans un format structuré, il permet de visualiser clairement les caractéristiques de ces outils. Cela facilite la comparaison directe et permet d'identifier rapidement les forces et les faiblesses de chaque option en fonction de critères susmentionnés.



Tableau 4: récapitulatif des données

Critères	Coffrage Grim pant	Coffrage Auto-Grim pant	Coffrage Glissant
<b>fonctionnement</b>	Une fois le béton d'un niveau durci, la grue soulève le coffrage vers le niveau supérieur.	Après durcissement du béton, des vérins hydrauliques fixés sur ancrages soulèvent le coffrage à la hauteur suivante.	Le béton frais est coulé en continu à la base du coffrage, qui monte lentement (2 à 4 cm/min) pendant que le béton prend.
<b>béton utilisé</b>	Béton classique.	Béton classique mais parfois avec une prise adaptée au cycle de levage.	Béton fluide à prise rapide pour assurer la cohésion lors du déplacement.
<b>Vitesse d'exécution</b>	Modérée : nécessite des cycles de levage et des temps de durcissement du béton entre chaque levée.	Plus rapide que le coffrage grim pant, car il ne dépend pas de la grue et réduit les temps d'attente.	Très rapide : travail en continu sans interruption, avec un avancement quotidien pouvant atteindre plusieurs mètres.
<b>main-d'œuvre</b>	Moyenne : intervention de grutiers et d'ouvriers spécialisés.	Réduite par rapport au coffrage grim pant : moins de besoin de grues et d'ouvriers en hauteur.	Faible une fois le processus lancé : quelques opérateurs surveillent le coulage et le déplacement.
<b>besoin en grue</b>	Indispensable pour déplacer le coffrage.	Non nécessaire après l'installation initiale.	Non nécessaire après le démarrage.
<b>Coût</b>	Relativement économique, mais nécessite une grue.	Coût plus élevé en raison des vérins et de l'installation technique.	Coût élevé au départ, mais rentable sur des structures très hautes.

<b>Sécurité</b>	Risques liés à la manipulation par grue et au travail en hauteur.	Sécurisé grâce aux plateformes intégrées et au contrôle hydraulique.	Très sécurisé une fois en fonctionnement, mais exige une mise en place rigoureuse.
<b>Flexibilité</b>	Bonne adaptabilité aux formes variées et aux hauteurs  Assez flexible	Adaptabilité limitée aux formes très complexes	Faible flexibilité, adapté aux structures régulières
<b>Complexité</b>	Montage et démontage nécessitant une grue et de la main-d'œuvre qualifiée	Plus simple à utiliser grâce au système hydraulique autonome	Demande une planification rigoureuse et une surveillance continue
<b>Poids du coffrage</b>	Lourd, nécessite des grues pour le déplacement	Plus léger que le grim pant, avec son propre système de levage	Très lourd, nécessite une structure robuste et des vérins puissants
<b>Parement à obtenir</b>	Bon parement, possibilité d'obtenir un béton soigné	Parement de bonne qualité, adapté au béton architectural	Risque de traces de reprise et de défauts sur le parement
<b>Contraintes et limites</b>	Dépendance à la grue et aux conditions météorologique/ Adapté aux structures répétitives en hauteur.	Nécessite des vérins performants et un système bien calibré/ Adapté aux très grandes hauteurs.	Demande une gestion précise du béton (dosage, prise, fluidité). /Moins flexible que les autres méthodes.

*Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024*

## 2. Comparaison

Afin d'évaluer l'adéquation des systèmes de coffrage aux exigences spécifiques de la Tour F, un projet complexe avec des contraintes particulières telles que la hauteur, la complexité architecturale, l'environnement et les délais de construction, nous affecterons des notes allant de 1 à 5 (1=faible, 5=excellent) aux différents coffrages pour chaque critère précédemment choisi. Cette approche est pertinente parce qu'elle simplifie la comparaison, rend l'analyse plus intuitive et permet de justifier de manière convaincante le choix du coffrage auto grim pant, en mettant en évidence ses performances supérieures dans les domaines clés.

Tableau 5: Comparaison

Critères	Coffrage Grimpant	Coffrage Auto-Grimpant	Coffrage Glissant
Vitesse d'exécution	3	4	5
Besoin en main-d'œuvre	3	4	4
Utilisation d'une grue	2	5	5
Coût (location/usage)	4	3	4
Sécurité	3	5	2
Flexibilité	4	4	2
Complexité de mise en œuvre	3	4	2
Poids du coffrage	4	3	5
Parement à obtenir	4	4	3
<b>TOTAL</b>	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>32</b>

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

### 3. Analyse

#### ✓ Coffrage Auto-grimpant : Solution Optimale

Le coffrage auto-grimpant s'impose comme la solution la plus adaptée pour la Tour F, en raison de sa capacité à assurer une montée rapide et autonome, sans recours à une grue. Cette caractéristique est cruciale pour un projet de cette envergure, où la vitesse de construction est primordiale. De plus, il offre une sécurité renforcée en réduisant les interventions humaines en altitude, et garantit un parement béton de haute qualité, répondant aux exigences architecturales élevées de la tour. Bien que son coût initial soit plus élevé, il est rapidement compensé par les gains de productivité et de sécurité sur un projet de cette ampleur. Par ailleurs, ce coffrage s'adapte aux réductions de l'épaisseur du noyau qui passe de 80, 60 à 35cm.

#### • Coffrage Glissant : Option Limitée

Le coffrage glissant, bien qu'extrêmement rapide et rentable pour les structures régulières, présente des limitations pour la Tour F. Son manque de flexibilité le rend peu adapté aux parties complexes du gratte-ciel, ce qui compromet son efficacité globale.

#### - Coffrage Grimpant : Solution Inadaptée

Le coffrage grimpant est le moins adapté pour la Tour F, en raison de sa dépendance à une grue, ce qui ralentit considérablement la progression de la construction. De plus, il est plus approprié pour les bâtiments de hauteur moyenne et aux formes variées, ce qui ne correspond pas aux caractéristiques de la Tour F.

En conclusion, le coffrage auto-grimpant se révèle être la meilleure solution pour répondre aux exigences du projet de la Tour F, en offrant un équilibre optimal entre rapidité, sécurité, qualité et rentabilité.

### 4. Recommandations

◆ Optimisation des coûts : Bien que l'auto-grimpant soit coûteux, il permet un gain de temps important, réduisant ainsi les frais généraux du chantier. L'investissement est justifié par la rapidité d'exécution et la réduction des reprises sur le béton.

- ◆ Anticipation des conditions climatiques : Intégrer des solutions pour le refroidissement du béton en altitude, car les températures élevées peuvent influencer le processus de durcissement.
- ◆ Coordination avec la logistique du chantier : Minimiser l'utilisation des grues pour le coffrage en priorisant des systèmes autonomes afin d'optimiser leur disponibilité pour d'autres tâches essentielles.
- ◆ Formation des équipes : Assurer une formation spécifique au coffrage auto-grimpant et glissant pour garantir une mise en œuvre efficace et sécurisée.
- ◆ Un contrôle périodique de l'état des panneaux et des planchers de circulation est à mettre en place en vue de leur remplacement sans accident.

### **Conclusion**

Ce chapitre a permis de réaliser une analyse comparative approfondie des systèmes de coffrage grimpants, auto grimpants et glissants, en mettant en évidence leurs avantages et leurs limites. Pour la Tour F, le coffrage auto grim pant s'est imposé comme la solution optimale. Le glissant convient aux structures régulières, et le grim pant aux bâtiments moins grand. Le choix dépend donc des spécificités du projet.

## **TROISIÈME PARTIE : TECHNIQUE DE BÉTONNAGE EN HAUTEUR : CAS DE LA TOUR F**

## CHAPITRE 5 : MISE EN PLACE DU BÉTON

### Introduction

La mise en place du béton est une étape déterminante pour la qualité et la durabilité des ouvrages. Ce chapitre détaille les procédés essentiels, du transport à la cure, garantissant une réalisation conforme et performante.

## I. GÉNÉRALITÉ

### 1. Présentation

Pour le bétonnage du projet de la Tour F, le béton est produit par une centrale à béton installée au chantier, en cas de panne, d'attente de mise en service ou de surcharge, le béton est commandé d'une centrale externe. La maîtrise du chemin de vie du béton utilisé est cruciale pour assurer une bonne qualité d'ouvrage au final. En somme, deux cas se présentent pour le béton utilisé sur chantier, dont le schéma de principe de son chemin est le suivant :

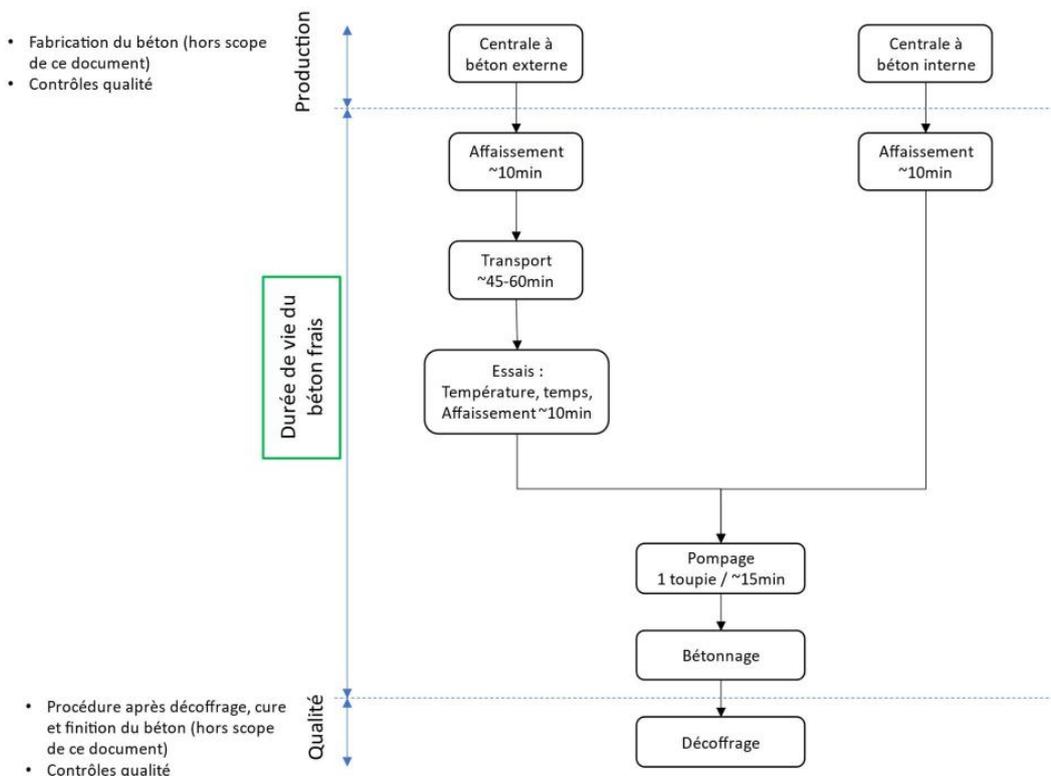


Figure 33: Chemin de vie du béton utilisé sur LTF, entre production et mise en place

Source : Procédure de mise en place du béton dans la tour

## 2. Moyens humains et équipements

### ❖ Moyens humains

Le personnel impliqué dans les tâches se répartissent comme suit :

Tableau 6: Moyens humains

Construction manager	Bétonneur chef d'équipe
Superviseurs	Coffreurs ouvriers
Chefs de chantier	Ferrailleurs ouvriers
Contremaître	Bétonneurs ouvriers
Responsable HSE	Conducteurs de pelles mécaniques hydrauliques
Animateurs HSE	Fournisseurs de béton / pompistes
Responsable Qualité	
Superviseurs Qualité	
Techniciens de laboratoire	
Grutiers	
Conducteurs de camions	
Conducteurs de camions toupies	

Source : Chantier

### ❖ Équipements

Les équipements suivants ont une place importante dans le processus de bétonnage

- Centrale à béton du chantier/externe



Figure 34: Centrale à béton du chantier

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

- Toupies pour la centrale



Figure 35: Toupies pour la centrale

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

- Pompes à béton



Figure 36: Pompes à béton

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

○ Compresseur



Figure 37: Compresseur

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

- Coffrage



Figure 38: Coffrage auto grim pant de la tour F

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

- Grue Tour et mât de bétonnage



Figure 39: Grue GT2

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

Les moyens humains et matériels peuvent être renforcés au besoin.

## II. ESSAIS SUR LE BETON

### 1. Teneur en air (NF EN 12350-7)

Ici on Contrôle la résistance au gel-dégel. Une teneur en air adéquate est cruciale pour la durabilité du béton, surtout en hauteur. Il est impératif de s'assurer de cette propriété avant le pompage, car elle ne peut être corrigée une fois le béton en place.

L'air occlus influence la maniabilité du béton frais. Une mesure préalable permet d'ajuster la formulation si nécessaire pour faciliter le pompage.

- Principe :
  - Mesure du volume d'air occlus dans le béton frais en appliquant une pression.
  - L'air occlus se comprime, et la diminution de volume est liée à la teneur en air.
- Procédure :
  - Préparation de l'appareil : Vérifier l'étanchéité et le bon fonctionnement de l'appareil à pression.
  - Échantillonnage : Prélever un échantillon représentatif de béton frais.
  - Remplissage : Remplir le récipient de l'appareil par couches, en compactant chaque couche.
  - Nivellement : Araser la surface du béton au niveau du bord du récipient.
  - Fermeture : Fermer hermétiquement le couvercle de l'appareil.
  - Application de la pression : Pomper de l'air jusqu'à atteindre la pression de référence.
  - Lecture : Lire directement la teneur en air sur le manomètre.
  - Vidange : dépressuriser l'appareil et vider le béton.



Figure 40: Aéromètre de pression

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

## 2. Température (NF EN 12350-1)

- La température affecte la vitesse d'hydratation du ciment. Une température trop élevée peut accélérer la prise et rendre le pompage difficile, tandis qu'une température trop basse peut la ralentir. Principe :
  - Mesure directe de la température du béton frais à l'aide d'un thermomètre ou d'une sonde.
- Procédure :
  - Préparation : Vérifier le bon fonctionnement du thermomètre ou de la sonde.
  - Insertion : Insérer le thermomètre ou la sonde au centre de la masse de béton frais.
  - Stabilisation : Attendre que la température se stabilise.



Figure 41 : Prise de la température avant le départ de la toupie

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

### 3. Essais d'étalement (NF EN 12350-5)

Cet essai évalue la capacité du béton à s'écouler et à remplir les coffrages tout en gardant son homogénéité. Une maniabilité adéquate est indispensable pour un pompage efficace et une mise en place homogène. Les résultats de ces essais permettent de choisir le type de pompe et les paramètres de pompage adaptés à la consistance du béton.

- Principe :
  - Mesure du diamètre de la galette de béton formée.
- Procédure :
  - Préparation : Humidifier la plaque de base et l'intérieur du cône.
  - Remplissage : Remplir le cône par trois couches successives, en compactant chaque couche.
  - Arasement : Araser la surface du béton au niveau du bord du cône.
  - Retrait : Lever verticalement le cône en un temps constant.

- Mesure deux diamètres perpendiculaires de la galette de béton formée et faire la moyenne.



Figure 42 : Mesure de l'étalement

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

#### 4. Viscosité (NF EN 12350-12)

La viscosité mesure la résistance du béton à l'écoulement. Une viscosité trop élevée peut rendre le pompage difficile, voire impossible. La plage de viscosité admissible variait entre 7 et 20 secondes.

- Principe :
  - Mesure de la résistance du béton frais à l'écoulement à l'aide d'un viscosimètre. (Le V-Funnel).
- Procédure :
  1. Vérifier le bon fonctionnement du viscosimètre.
  2. Nettoyer et humidifier l'intérieur pour éviter l'adhérence du béton.
  3. Vérifier que la vanne située à la base est bien fermée.
  4. Remplir le viscosimètre avec du béton frais sans compacter.
  5. Laisser le béton s'écouler à travers l'orifice du viscosimètre.

6. Mesurer le temps nécessaire pour que le béton s'écoule complètement.
7. Calculer la viscosité à partir du temps d'écoulement.



Figure 43: viscosimètre

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

## 5. Essai de compression (NF EN 12390-3)

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes prélevées lors de la mise en place du béton, après le pompage. Il permet de s'assurer que le béton a atteint la résistance spécifiée.

- Principe :
  - Mesure de la résistance du béton durci à la compression.
  - La résistance à la compression est une caractéristique fondamentale du béton.
- Procédure :
  - Préparation des éprouvettes cylindriques ou cubiques normalisées.
  - Conserver les éprouvettes dans des conditions contrôlées (température, humidité).
  - Placer l'éprouvette dans la presse à compression.
  - Appliquer une charge croissante à une vitesse constante.

- Noter la valeur atteinte avant la rupture de l'éprouvette.



Figure 44: Presse

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

## 6. Densité (NF EN 12350-6)

L'essai de densité permet de vérifier si le béton a été correctement dosé et mélangé. Il assure que la composition du béton est conforme aux spécifications du projet. Le but est de s'assurer que le béton a la composition attendue et que le dosage est conforme

- Principe :
  - L'essai de densité consiste à déterminer la masse d'un volume unitaire de béton frais.
- Procédure :
  1. Un récipient de volume connu est rempli de béton frais, puis peser
  2. La masse du récipient vide, la tare est mesurée.
  3. Après avoir rempli le récipient de béton, la masse brute est mesurée.
  4. La masse nette du béton est obtenue en soustrayant la tare de la masse brute.

5. La masse volumique est ensuite calculée en divisant la masse nette par le volume du récipient.



Figure 45: Balance

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

Tableau 7: Récapitulatifs des tests réalisés au laboratoire du chantier et les critères d'acceptation

FORMULES BETON							
	Formules	Parties d'ouvrage	Tests		Prélèvement	Nbre Cub/Cyl	
			Frequénces	Criteres d'acceptations			
TOUR	Mix 46 A1 C50/60	Poutres radiales CCL	Test sur toutes les toupies avec prélèvement <b>NB :Température et étalement sur toute les toupies</b>	Etalement : 700 - 800 mm Température $\leq 31.5^\circ$ Teneur en air $\leq 3\%$ Viscosité : 7s à 20s Rhéologie $\leq 2h$ (120min) Densité : $\geq 2,29$	1 prélèvement tous les 50 m <sup>3</sup>	09 cylindres 03 cubes <b>+ 03 cubes pour mise tension</b>	
	MIX 47 A1 C50/60	Eléments verticaux : Noyau	Test sur toutes les toupies avec prélèvement <b>NB :Température et étalement sur toute les toupies</b>	Etalement : 700 - 800 mm Température $\leq 31.5^\circ$ Teneur en air $\leq 3\%$ Viscosité : 7s à 20s Rhéologie : 1,5h (90min) Densité : $\geq 2,29$		12 cylindres <b>+ 03 cuibes pour hissage</b>	
		Eléments Horizontaux : Couvrant extérieurs; Coursives in situ + poutres de rive + chapiteaux; Escalier préfabriqué.				06 cylindres 06 cubes <b>+ 03 cubes pour decoffrage</b>	
	MIX 34 A1 C50/60	Colonnes.	Test sur toutes les toupies avec prélèvement <b>NB :Température et étalement sur toute les toupies</b>	Etalement : 650 - 750 mm Température $\leq 31.5^\circ$ Teneur en air $\leq 3\%$ Rhéologie $\leq 2h$ (120min) Densité : $\geq 2,31$			06 cylindres 06 cubes.
	MIX 50 A1 C30/37	Eléments Horizontaux : Couvrants interieurs (CHC, paliers d'escaliers, locaux, techniques).	Test sur toutes les toupies avec prélèvement <b>NB :Température et étalement sur toute les toupies</b>	Etalement : 600 - 700 mm Température $\leq 35^\circ$ Teneur en air $\leq 4\%$ Viscosité : 9s à 25s Rhéologie $\leq 2h$ (120min) Densité : $\geq 2,25$			09 cylindres <b>+ 03 cube pour decoffrage</b>
	MIX 53 A1 Hydrofuge C30/37	baches à eau.	Test sur toutes les toupies avec prélèvement <b>NB :Température et étalement sur toute les toupies</b>	Etalement : 160 - 210 mm Température $\leq 35^\circ$ Teneur en air $\leq 4\%$ Rhéologie $\leq 2h$ (120min) Densité : $\geq 2,25$			09 cylindres

Source : Chantier

### III. SPÉCIFICATIONS DES TRAVAUX

#### 1. Prérequis

Avant toute commande de béton, les prérequis suivants doivent être satisfaits :

- Fiches techniques du béton : validées par le client
- Condition météo compatible pour le coulage du béton (température, pluie...)
- Trafic : moins dense permettant de respecter la rhéologie du béton prévue

#### 2. Organisation

Lorsque les éléments prérequis sont satisfaits, l'organisation pour le bétonnage peut être réalisée. Afin de préparer le bétonnage les éléments suivants doivent être pris en compte :

- La commande de béton avec spécification de quantité et de qualité.
- La prévision des bétonneurs et équipes de suivi sur le chantier.
- La prévision d'un briefing des tâches.
- La prévision de l'équipement sur le chantier ainsi que la vérification de l'état d'ordre du matériel.

#### 3. Béton provenant d'une centrale extérieure

Le temps de cycle de chaque mélangeur de la centrale au site est environ :

1. Temps de chargement = 10 minutes ;
2. Affaissement / étalement = 5 minutes ;
3. Vérification et émission du bon de livraison = 2 minutes ;
4. Transport vers le site = 45 à 60 minutes (centrale externe) ;
5. Vérification du béton sur chantier (Affaissement / Etalement, température et temps) = 10 minutes ;
6. Mise en œuvre du béton = 10 à 15 minutes ;

La durée totale depuis la centrale jusqu'à la mise en œuvre sera d'environ 90 minutes.

La durée maximale d'utilisation du béton frais est définie par les critères d'acceptation.

### **a) Production à la centrale**

La production du béton à la centrale est faite en suivant le processus qualité et suivant les essais de convenance par toutes les parties, cette description fait l'objet d'un plan de contrôle qualité approuvé.

### **b) Affaissement / étalement avant le départ de la centrale**

Avant le départ au lieu de livraison, un test d'affaissement / d'étalement est obligatoirement réalisé pour s'assurer du respect des critères d'acceptation prévus, dans le cas contraire, le camion est considéré refusé. Cette opération dure environ 10min.

Les valeurs optimales d'affaissement / d'étalement souhaitées seront décrites dans le plan de contrôle qualité approuvé de fabrication de béton.

### **c) Transport : Départ du central**

Une fois un affaissement/étalement concluant, le camion prend la route vers le point de livraison.

Un bon de livraison sera remis par le conducteur du véhicule au chef de chantier. Ce bon mentionnera notamment :

- La désignation du béton (n° de formule annotée préalablement) ;
- Sa composition nominale
- Le n° de la gâchée de fabrication
- La date et le lieu précis de livraison ainsi que l'heure de départ de la centrale et l'arrivée sur chantier

### **d) Transport et essais : Point de livraison**

Après l'arrivée sur chantier, des essais sont obligatoirement réalisés pour s'assurer de la bonne mise en forme du béton souhaité après transport (Critères d'acceptation) :

- Vérification du bon de livraison.
- Vérification des quantités avec les tolérances.
- Vérification du temps de transport.

- Vérification de la rhéologie avec un essai d'affaissement / d'étalement suivant la norme NF EN 12350-8.

Cette opération dure environ 10min. Les valeurs souhaitées seront décrites dans les critères d'acceptation du béton sur chantier.

#### 4. Centrale sur site

Le temps de cycle de chaque mélangeur est environ :

- 1) Temps de chargement = 10 minutes ;
- 2) Affaissement / étalement = 10 minutes ;
- 3) Vérification et émission du bon de livraison = 2 minutes ;
- 4) Transport sur chantier = 5 minutes.
- 5) Mise en œuvre du béton = 10 à 30 minutes ;

Après le chargement, un affaissement / étalement est obligatoirement réalisé pour s'assurer de la fluidité et la maniabilité du béton avant son durcissement. Cette opération dure environ 10min. Le transport sur site est autorisé, après validation du mélange en sortie de centrale.

Les valeurs optimales de l'affaissement/étalement souhaitées seront décrites dans le plan de contrôle qualité approuvé de fabrication de béton.

#### 5. Pompage et bétonnage

Pour le bétonnage de la tour, une fois tous les tests concluants, le béton est déversé dans le coffrage ou zone de bétonnage, via une pompe à béton (fixe, mobile) ou un godet. Il est placé directement dans sa position sans séparation ni déplacement des armatures, des éléments incorporés, et du coffrage. Le béton est bien compacté et mélangé au béton précédemment mis en place à l'aide de vibreurs.

L'ensemble des phases de bétonnage sera réalisé en respectant les règles de bonnes pratiques, notamment en apportant une attention particulière à :

- a) Éviter la détérioration du béton pendant son transport et sa mise en place

- Godet - hauteur de chute ( $\leq 1,5\text{m}$ );
- Pompe - longueur/hauteur de la conduite ( $\leq 1,5\text{m}$ ) ;
- Temps entre la fabrication et la mise en place (au plus selon critères d'acceptation).

b) Organiser la mise en œuvre du béton.

- Éviter hors les délais, lors de la livraison,
- Éviter les joints froids, et les joints secs ;
- Si le béton n'est pas autoplaçant, le béton doit être vibré afin d'assurer son bon placement ainsi que l'évacuation des bulles l'air ;
- Adapter la taille des aiguilles vibrantes au ferrailage ;
- Éviter le contact des aiguilles vibrantes avec le coffrage/les armatures.

Sont à proscrire pour éviter la détérioration du béton pendant sa mise en place :

- Chute libre supérieure à 1,5m afin d'éviter la ségrégation ;
- Chute sur parois obliques ;
- Déversement du béton sur les aciers directement ;
- Tous déversements obliques.

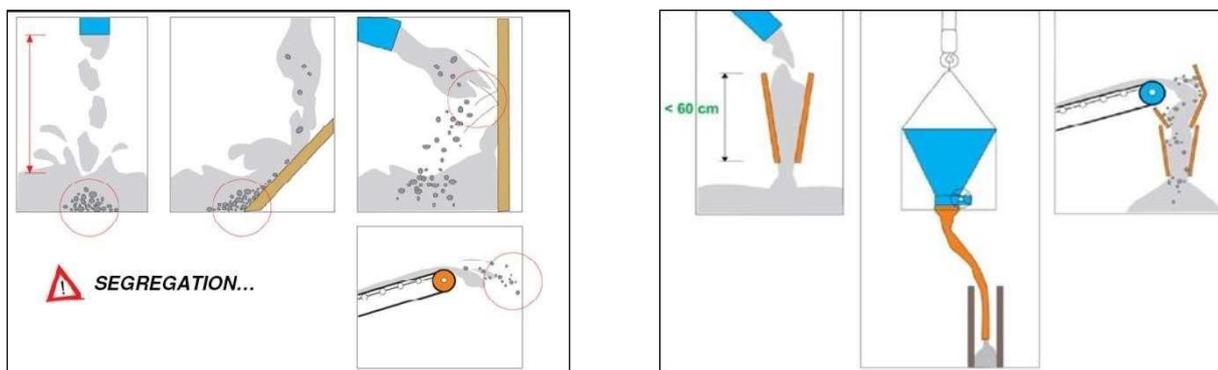


Figure 46: Principes de la mise en œuvre du béton

Source : Chantier

Le compactage du béton se fera à l'aide d'aiguilles vibrantes avec diamètre suivant l'encombrement des cages d'armatures et le rayon d'action requis par l'épaisseur du voile, tout en veillant à ne pas déranger les armatures.

Lors d'utilisation d'aiguilles vibrantes, il faut notamment suivre les recommandations suivantes, illustrées ci- dessous :

- Respecter la zone d'influence du vibreur pour béton : placer le vibreur de façon à ce que tout le béton soit vibré (recouvrement de la zone d'influence).
- Vérifier le respect de l'épaisseur des couches de béton ; l'épaisseur ne doit pas excéder 50 cm en général.
- Vérifier l'homogénéité entre les couches de béton :
  - Le vibreur doit pénétrer dans la couche précédemment coulée sur au moins 10 cm afin d'assurer l'adhérence des 2 couches mais ne doit pas descendre dans la couche inférieure.
- Contrôler la durée de vibration : la vibration doit être arrêtée dès que :
  - Le béton ne se tasse plus.
  - Il n'y a plus de remontée de bulle d'air.
  - La laitance apparaît en surface (surface qui commence à briller).
  - Le bruit du vibreur se stabilise sinon on risque la ségrégation.
- Vérifier la manipulation correcte du vibreur :
  - L'aiguille doit être plongée rapidement à la verticale mais remontée lentement pour laisser le béton se refermer.
  - L'aiguille ou la règle ne doit pas être utilisée pour pousser le béton.
  - L'aiguille n'entre pas en contact avec les armatures ou le coffrage (risque d'apparition de fantômes d'armatures, risque de ségrégation et de ressuage, traces).

### **Conclusion**

La mise en place du béton, bien que paraissant simple, est une étape cruciale qui requiert une attention méticuleuse. Chaque phase de cette étape contribue à la qualité et à la durabilité de l'ouvrage. Les erreurs à ce stade peuvent entraîner des défauts structurels, des fissures et une détérioration prématurée du béton. Il est donc impératif de respecter les normes et les bonnes pratiques pour garantir la réussite du projet.

# CHAPITRE 6 : DISTRIBUTION DU BÉTON DANS LA TOUR

## INTRODUCTION

La hauteur et la complexité de la tour exigent des méthodes de transport spécifiques pour assurer un approvisionnement continu et uniforme du béton. Ce chapitre explore les différentes techniques utilisées pour distribuer le béton dans les tours, en mettant l'accent sur les aspects techniques.

### I. PRÉSENTATION TECHNIQUE

Le bétonnage de la tour se fait au moyen d'une pompe à béton et d'un mât de bétonnage situé dans la cage d'ascenseur du noyau. Le mât est également situé dans le coffrage grim pant et monte avec celui-ci. Il y a également une grue à tour, à l'extérieur de la tour qui sert au bétonnage.

Le mât et la grue permettent de bétonner les éléments suivants de la tour :

- Voiles du noyau
- Poteaux
- Clavetage des coursives
- Dalle à l'intérieur du noyau
- Dalles à l'extérieur du noyau

Il est important de préciser que le bétonnage du noyau du niveau appelé NB se déroule en parallèle du bétonnage du niveau NB-5, c'est-à-dire cinq étages en dessous du niveau où le noyau est en train d'être bétonné. Au niveau NB-5, les activités de bétonnage concernent la dalle, les poteaux, la dalle du noyau ainsi que les clavetages entre les coursives. Le bétonnage du noyau précède donc de cinq étages le bétonnage des dalles, poteaux et clavetages.

Les appellations des étages de la Figure suivante seront utilisées dans ce document afin d'expliquer la procédure de distribution de béton.

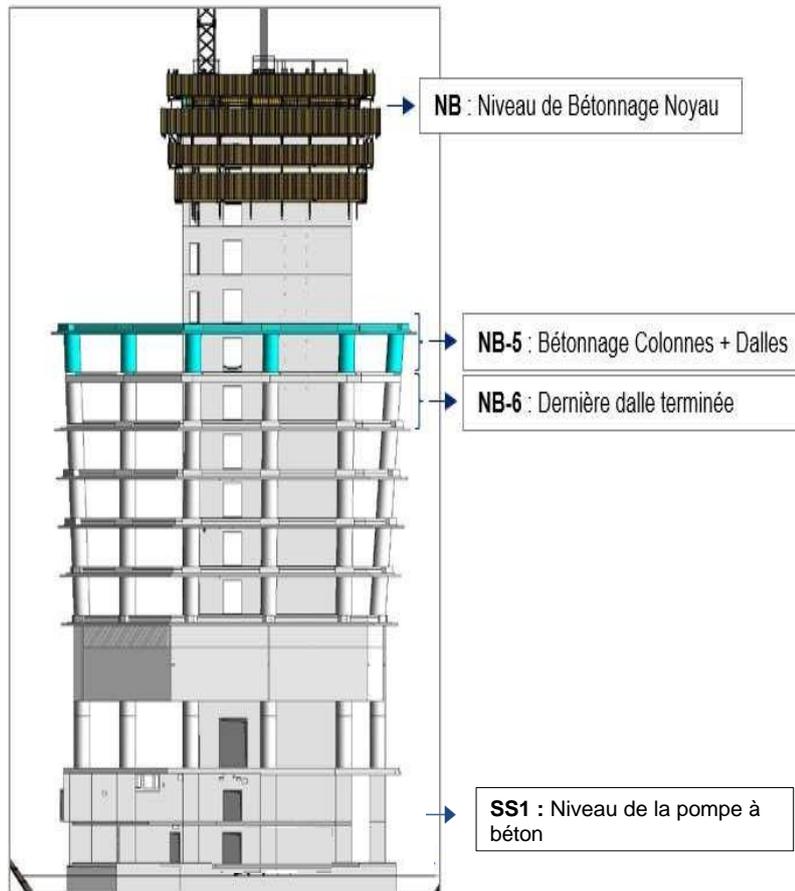


Figure 47 Configuration du bétonnage

Source : Chantier

La trajectoire des conduites de béton est divisée en trois parties principales.

- **Partie 1** : elle comprend une partie horizontale appelée **H1** qui relie la pompe à la réservation prévue dans le noyau pour les conduites de béton et une partie verticale **V1** qui monte jusqu'au niveau NB-6.

**Note** : Tant que les paliers de la cage d'escalier ne sont pas bétonnés, la trajectoire des conduites de béton ne correspondra pas exactement à la figure reprise ci-dessous. En effet, les hauteurs des parties verticales V1 et V2 sont à prendre à titre indicatif et théorique et pourront varier en fonction de l'avancée de la construction des paliers des cages d'escaliers.

- **Partie 2** : elle est composée d'une partie horizontale **H2** partant de la conduite qui arrive au NB-6 et d'une partie verticale V2 rejoignant le mât de bétonnage, situé

dans le noyau.

- **Partie 3** : V3 part de la conduite qui arrive au NB-6 et rejoint le niveau NB-5.

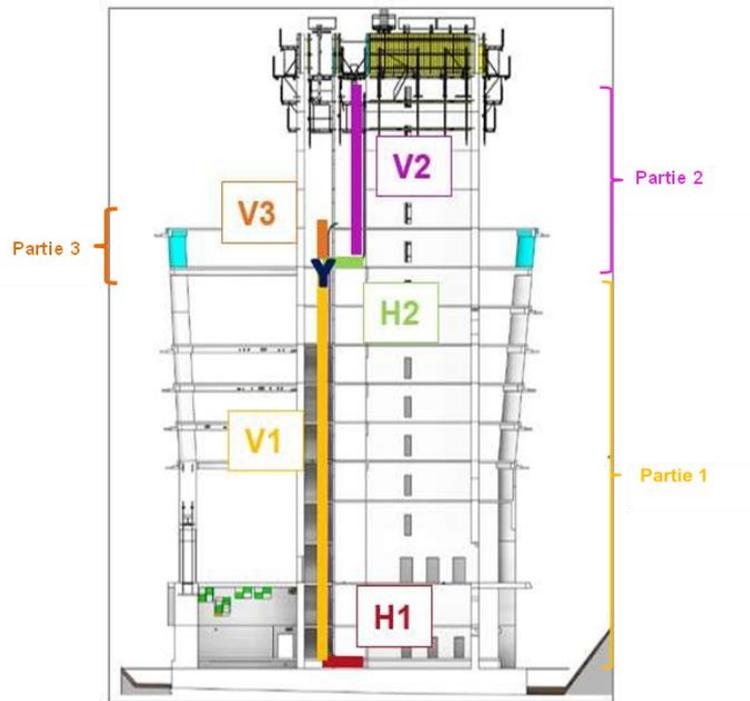


Figure 48: Trajectoire des conduites de béton

Source : Chantier

Comme le mât est situé dans le noyau, la dalle du noyau ne pourra pas être bétonnée par le mât. Il faudra donc diviser la distribution du béton en deux conduites, une pour le bétonnage par le mât et une pour le bétonnage à l'intérieur du noyau. C'est pour cette raison au niveau NB-6 il y aura le choix d'alimenter le NB-5 ou le bras de bétonnage. A ce jour la longueur développée par la conduite est de 447m.

## A. Partie 1 : H1 - V1

### 1. Position et orientation de la pompe

La pompe est positionnée à l'ouest de la tour, au niveau du couvrant SS2 ; niveau N00.



Figure 49: Pompe



Figure 50: Conduite de bétonnage

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

La pompe possède une trémie qui permet l'alimentation par des camions toupies. Celle-ci doit être orientée vers la piste afin de faciliter l'accès vers la pompe des camions qui arrivent en marche arrière. La position choisie permet de faciliter l'alimentation de la pompe mais nécessite un coude à la sortie de la pompe pour réorienter le béton vers la tour.

Il faut également noter qu'une réduction à la sortie de la pompe est nécessaire. En effet, le diamètre des cylindres de refoulement, à la sortie de la pompe, sont supérieurs à ceux des conduites. Dans ce cas-ci, il faudra passer d'un diamètre DN150 à des conduites de diamètre DN125. Les conduites de réduction doivent pouvoir être démontés aisément en cas d'obstruction par un corps étranger. De plus, on remarque que la réduction ne peut pas être placée directement à la sortie de la pompe car celle-ci nécessite un espace minimal d'un mètre à la sortie de la pompe qui n'est pas disponible en raison de l'alimentation. En effet, le camion doit pouvoir être proche de la trémie pour l'alimenter. La réduction a donc été placée après le coude.

## 2. Conduites de béton horizontales H1

Les dimensions des conduites et des coudes qui seront utilisés pour la distribution du béton sont référencés dans le tableau suivant :

Tableau 8: Dimensions des conduites et des coudes qui seront utilisés pour la distribution du béton

Conduites disponibles				
Droit		Coude		
Longueur [m]	Pressions maximales [ba]	Rayons [m]	Angles [°]	Pressions maximales [ba]
1 ; 2 ; 3	160 ; 200	0.5 ; 1	45 ; 90	160 ; 200

Source : Chantier

Il faudra veiller à utiliser les conduites de 200 bars dans les niveaux les plus bas car la pression y est plus élevée. Inversement, les conduites de 160 bars devront être utilisés en haut de la tour, là où la pression est plus basse.

### 🚧 Conduites de béton verticales V1

Pour effectuer la transition à la fin de la partie horizontale, on utilise un coude de 90 degrés pour rejoindre la partie verticale V1 dans la réservation prévue, au niveau de la dalle SS1.

Les conduites suivront ensuite une trajectoire verticale dans le noyau jusqu'au niveau NB-. Les conduites verticales peuvent être fixés soit au moyen de fixations verticales dans le voile au-dessus de la porte (linteau) soit à des étauçons placés dans l'ouverture de la porte. En effet, le mur en maçonnerie prévu de l'autre côté ne sera pas encore construit à ce stade et les conduites ne pourront donc pas encore être accrochées sur ce dernier.

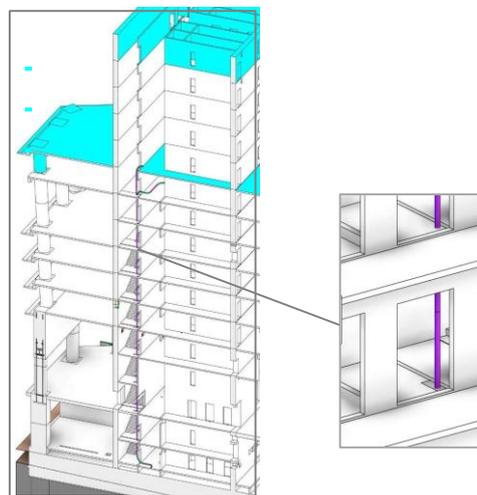


Figure 51: Trajectoire du conduit de la partie V1

Source : Chantier

## B. Partie 2 : H2-V2

### 1. Conduites de béton horizontales H2

Les conduites de la partie horizontale sont positionnées sur la dalle du noyau et elles sont fixées sur le plancher de la CHC via les fixations car les conduites vibrent lors du pompage de béton.

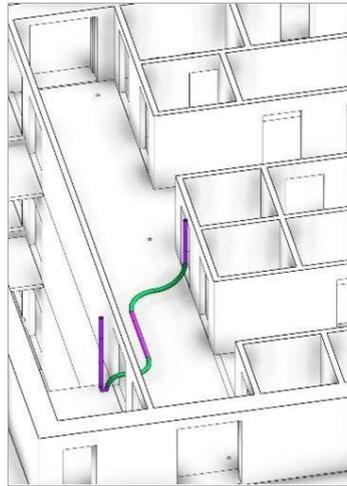


Figure 52: Position des conduites de la partie H2

Source : Chantier

### 2. Conduites de béton verticales V2

Après le coude, les conduites partent vers la verticale V2 pour rejoindre le mât. Les conduites seront fixées dans la CHC pour réduire les risques lors de l'installation et du démontage des conduites. Cela implique donc que lors du coulage du noyau, la partie de coffrage du plancher NB-5 ne sera placée qu'une fois le noyau NB coulé et la conduite démontée.



Figure 54: Position des conduitex dans la partie V2

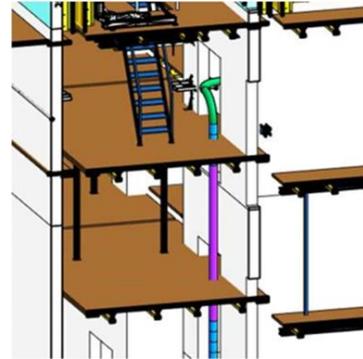


Figure 53: Zoom sur la position des conduitex dans les planchers du coffrage

Source : Chantier

Il est important de préciser que les conduites qui constitueront cette partie seront des conduites d'un ou deux mètres de long afin d'éviter de devoir manipuler les conduites les plus lourds dans le noyau.

Du point de vue montage de V2, les conduites verticales seront posées et attachées au préalable depuis les plateformes du coffrage et détachés depuis la dalle une fois que celle-ci sera coulée. Cette approche permet d'assurer l'aspect sécuritaire.

### C. Partie 3 : V3

La partie verticale V3 qui monte jusqu'au niveau NB-5 pour bétonner la dalle à l'intérieur du noyau. Cette partie ne peut pas être bétonnée au mât car il est à l'intérieur du noyau. Elle sera alors bétonnée à partir de la conduite et à l'aide de flexibles raccordés les uns à l'autres et démontés au fur et à mesure que le coulage se rapproche de la colonne de bétonnage

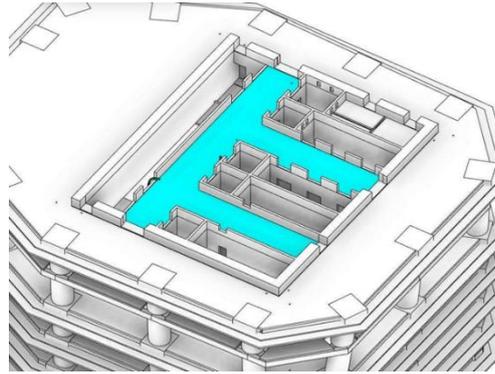


Figure 55 : Dalle du noyau bétonnée grâce aux conduitex de la partie

## II. NETTOYAGE

### 1. Nettoyage conventionnel

Les systèmes classiques de nettoyage avec une pompe et un mât impliquent toujours un gaspillage d'une certaine quantité de béton (12 litre par mètre linéaire de béton). En effet, le nettoyage se fait du haut vers le bas. Lorsqu'une section a été bétonnée, à la fin du pompage, les conduites sont remplies de béton qui a été pompé mais qui n'est plus nécessaire pour le bétonnage. Ce béton va alors retourner dans le camion mixeur et devra être jeté. Voir ci-après les étapes clairement détaillées

1. Activer la vanne d'arrêt sur la conduite en sortie de pompe à béton
2. Vider le béton de la trémie de la pompe à béton
3. Déconnecter le coude en sortie de pompe à béton et le raccorder au mat de décharge
4. Nettoyer la pompe à béton
5. Positionner une toupie sous le mat de décharge
6. Insérer 2 balles bien humidifiées ou bout du bras de bétonnage
7. Installer la pièce à l'extrémité du bras de bétonnage pour pouvoir connecter le compresseur
8. Raccorder le compresseur au bout du bras
9. Envoyer la pression d'air pour pousser les balles et le béton vers le bas
10. Maintenir la pression d'air jusqu'à ce que les balles arrivent dans le panier de

récolte en sortie de mat de décharge

11. Évacuer la toupie avec le béton
12. Reconnecter le coude à la pompe à béton

## 2. Nettoyage méthode « Go to Devil »

La méthode du « go to devil » a pour but de limiter la perte en béton à l'aide d'un « train de nettoyage » composé de balles de nettoyage humidifiées et de « fusée » poussée par de l'eau sous pression venant de la pompe à béton. Une fois les fusées arrivées au bout du bras, dans le panier de récolte, elles sont alors enlevées puis des balles humides sont repoussées dans l'autre sens (vers le bas) à l'aide d'air comprimé. Voir ci-après les étapes plus clairement détaillées

1. Activer la vanne d'arrêt sur la conduite en sortie de pompe à béton
2. Vider le béton de la trémie de la pompe à béton
3. Déconnecter le coude et la réduction de conduite en sortie de pompe à béton
4. Nettoyer la pompe à béton, le coude et la réduction de la conduite
5. Nettoyer la section de conduite avant la vanne d'arrêt

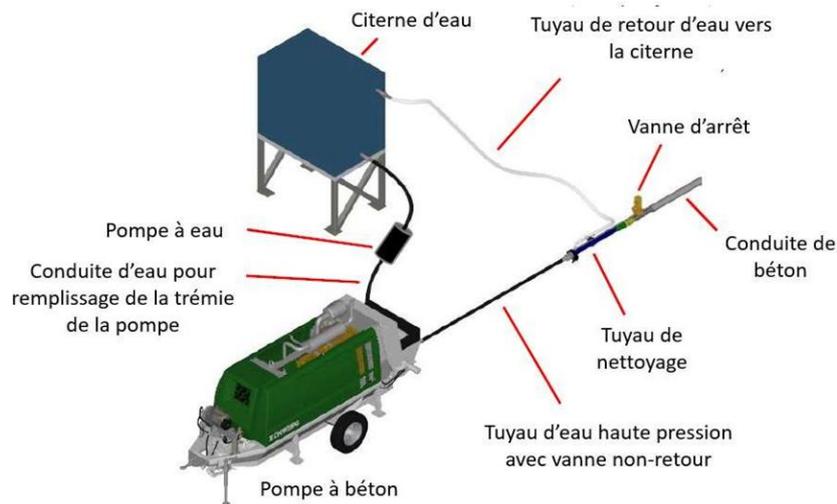


Figure 56: Procédé de nettoyage

6. Connecter la conduite de nettoyage sur la section de conduite juste avant la vanne d'arrêt et y mettre 2 fusées et 4 balles humides
7. Raccorder le flexible haute pression d'eau entre la pompe et la section de

conduite de nettoyage

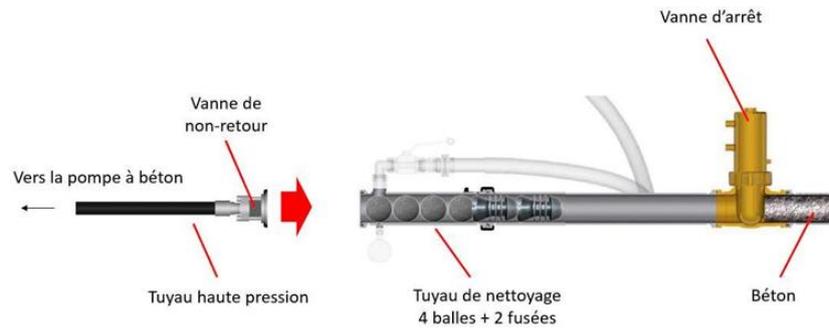


Figure 57: Détail de raccordement

8. Raccorder la citerne d'eau à la trémie et démarrer son remplissage à l'eau par activation de la pompe à eau



Figure 58: Fusée

9. Ouvrir la vanne d'arrêt
10. Positionner le bras de bétonnage au-dessus de la zone de décharge du béton
11. Démarrer le pompage à l'eau avec la pompe à béton
- 12.

13. Une fois la fusée arrivée dans le panier de récolte en bout de bras de bétonnage, arrêter le pompage et retirer les fusées

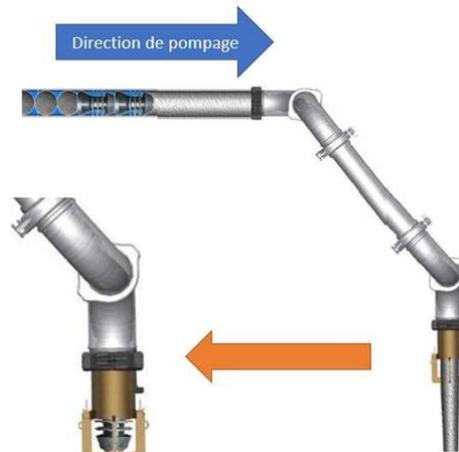


Figure 59: Direction de pompage

14. Installer la pièce à l'extrémité du bras de bétonnage pour pouvoir connecter le compresseur
15. Raccorder le compresseur au bout du bras
16. Ouvrir la vanne de retour d'eau vers la citerne au niveau du morceau de conduite de nettoyage en sortie de pompe
17. Envoyer la pression d'air pour pousser les balles et l'eau vers le bas



Figure 60: Balles de nettoyage

18. Maintenir la pression d'air jusqu'à ce que les balles arrivent en bas et que l'eau ne s'écoule plus dans la citerne
19. Arrêter le compresseur et ouvrir la vanne de dépression au niveau de l'extrémité du bras de bétonnage

20. Déconnecter le compresseur de l'extrémité du bras de bétonnage

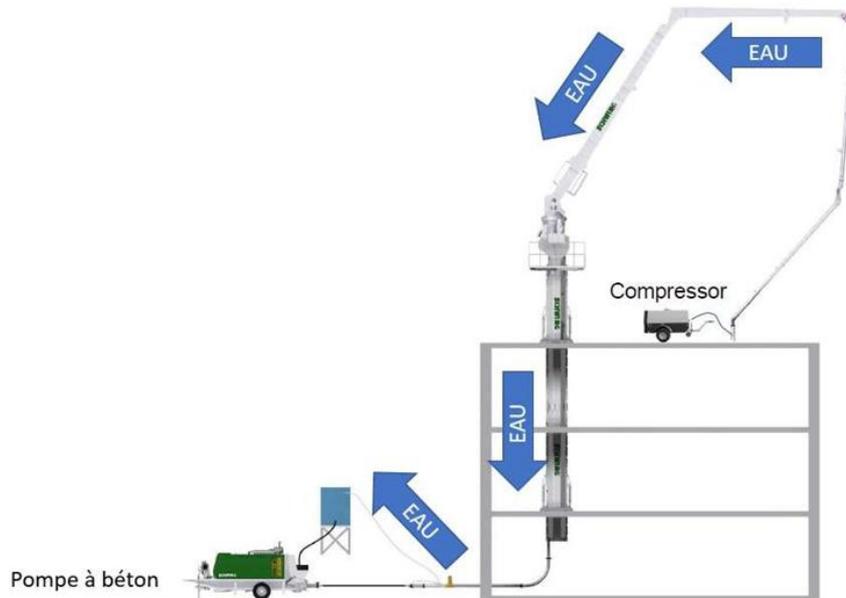


Figure 61: Sens de nettoyage

Source : Chantier

21. Déconnecter la pièce permettant le raccord du compresseur au bras de bétonnage
22. Déconnecter la conduite haute pression d'eau et sortir les 4 balles
23. Reconnecter la conduite entre la pompe et la vanne d'arrêt

### III. PHASAGE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION

#### 1. Phasage de bétonnage

L'objectif au fil de l'avancée de la construction de la tour est de bétonner un étage en 9-12 jours. Les différents éléments de chaque étage seront bétonnés soit via une pompe stationnaire et son mât de bétonnage soit via une grue à tour et une benne à béton (voir Figure).

Notons que les dalles du noyau sont bétonnées à partir du béton de la pompe depuis la conduite V3 raccordée à des flexibles.

Tableau 9: Répartition des moyens de bétonnage

Répartition du bétonnage	
Mat	Grue
Voiles du noyau *Poteaux Dalle du noyau Dalles	Clavetages des coursives *Poteaux

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

(\*) En fonction de la différence de niveau entre le noyau et le plancher, les poteaux seront soit bétonnés à la pompe via le mât de distribution, soit à la benne à béton à l'aide d'une grue à tour.

Les qualités de bétons utilisés sont les suivantes :

- Voiles du noyau et poteaux : C50/60
- Dalles extérieur et dalles du noyau : C30/37
- Clavetages : C50/60

On remarque sur les Figures que certains jours de la semaine, des bétons de différentes qualités devront être coulés. Il faudra faire attention à couler les bétons de plus gros volume en premier pour éviter de devoir nettoyer deux fois les conduites le même jour (tout comme la centrale).

Tableau 10: Ordre de priorité dans le bétonnage du N35

C30/37	ORDRE DE PRIORITE DANS LE BETONNAGE N35							
C50/60	Priorité	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
AM	1	/	Voiles	/	/	Clavetages	Voiles	/
PM	1	/	Voiles	/	/	Dalle noyau	Voiles	/
	2	/	/	/	/	/	Dalle noyau	/
Nuit	1	Poteaux	Poteaux	Poteaux	Clavetages	Dalle	Dalle	

Source : Chantier

## 2. Équipements

### a. Manutention générale et transport vertical

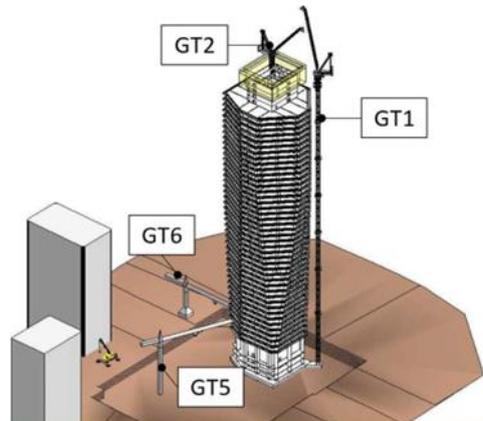


Figure 62: Emplacements des grues

Source : Chantier

La tour est assistée par 2 grues à tour à flèche relevable type « Luffing crane ». La GT1 est extérieure à la tour et la GT2 intérieure au noyau. Toutes les deux sont MCR295-20, avec la même capacité nominale mais les longueurs de flèches et la hauteur sont différentes (45m et 35m). Les grues sont télescopables afin de suivre l'évolution de la construction. Dans les tâches, ces grues sont aidées par les grues GT4 ET GT5 dans le cadre du rapprochement du matériels au pied de la tour.

### b. Équipement de bétonnage

#### Mât

Le mât de bétonnage se trouve dans le noyau et se déplace vers le haut au fur et à mesure du bétonnage. Le mât qui a été choisi est de type SCHWING SPB 35. Il possède une flèche compacte équipée de quatre bras, repliable hydrauliquement, pouvant atteindre un rayon maximal de 36 mètres. La flèche peut être commandée soit par un levier à main soit par une télécommande électrique. La flèche est montée sur une colonne pivotante. Le groupe d'entraînement moteur, y compris le réservoir d'huile hydraulique et l'armoire de commande, est installé à côté de la colonne pivotante

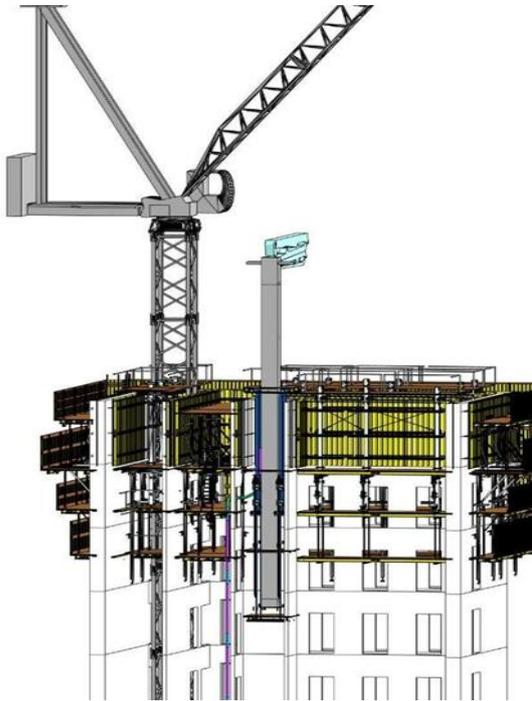


Figure 64: Vue 3D du mât

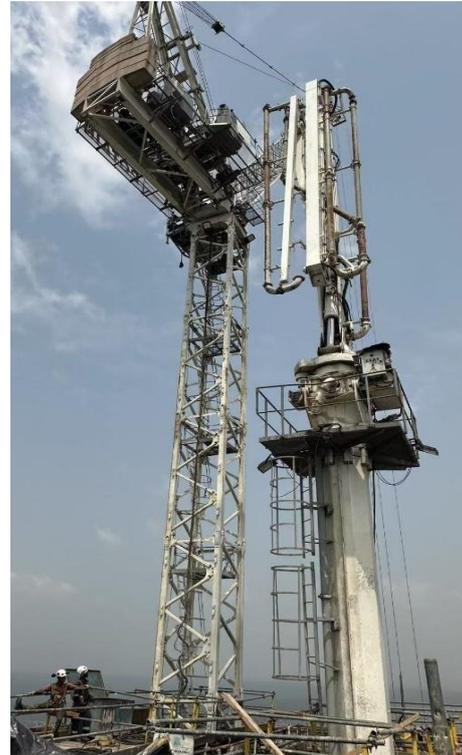


Figure 63: Photo du mât

Source : Chantier

Source : KOUADIO N'GUESSAN WILLIAMS, projet de fin d'étude 2024

#### Pompe

La pompe choisie est de type SCHWING SP7500D. Le débit maximal de la pompe est de 67 m<sup>3</sup>/h et la pression maximale du béton de 243 bars. La pression utilisée à l'état actuelle pour propulser le béton au niveau N70 est de 200 bars. Elle fonctionne avec un moteur diesel et est entièrement hydraulique. Elle a également l'avantage d'être déplaçable sur chantier.

## SP 7500

### Pompe à béton stationnaire



Débit	max. 67 m <sup>3</sup> /h
Pression de pompage	max. 243 bar
Puissance d'entraînement	250 - 298 kW
Poids de la machine	8 900 - 9 400 kg

Figure 65: pompe SCHWING SP7500D

## CONCLUSION

En somme, la distribution du béton dans la tour représente un défi technique et logistique majeur nécessitant une planification rigoureuse. C'est une opération qui requiert une expertise technique et une coordination sans faille. Le succès de cette étape est essentiel pour la qualité, la durabilité et la sécurité de l'ouvrage final.

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le Projet de Fin d'Études réalisé au sein du BNETD, sur le chantier de la Tour F à Abidjan, nous a offert une expérience technique et professionnelle précieuse. Ce projet, parmi les plus ambitieux d'Afrique, nous a permis de mieux comprendre les enjeux de la construction en grande hauteur, notamment à travers l'étude du coffrage et du bétonnage.

Dans un premier temps, nous avons mené une analyse comparative de trois systèmes de coffrage utilisés pour la réalisation des ouvrages verticaux. Cette étude a montré que le coffrage auto-grimpant, utilisé dans le cadre de la réalisation du noyau central de la Tour, représente le choix le plus adapté. Il offre des avantages notables en matière de sécurité, de rapidité d'exécution, de flexibilité et d'autonomie.

Dans un second temps, nous avons décrit les techniques utilisées pour la mise en place et la distribution du béton dans cette tour de plus de 400 mètres de hauteur, en tenant compte des contraintes liées à la pression dans les conduites, à la perte de consistance du béton, ainsi qu'au maintien de sa qualité jusqu'au point de coulage. Ce qui a permis de montrer que les méthodes adoptées sur la Tour F ont garanti une mise en œuvre continue, maîtrisée et efficace du béton.

Ce stage nous a permis de confronter nos connaissances théoriques à la réalité du chantier, d'acquérir des réflexes d'analyse technique, et de mieux appréhender les méthodes constructives modernes. Il marque une étape importante dans notre parcours, en renforçant notre capacité à intervenir sur des projets complexes et innovants.

## BIBLIOGRAPHIE

- LTF\_BCI\_EXE\_NSP\_GOT\_NSP\_MET\_NSP\_380071\_PDF\_A\_Procédure de mise en place du béton
- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-NSP-MET-NSP-390041-B-PDF-Procédure de hissage du coffrage auto grim pant
- LTF\_BCI\_EXE\_TOU\_GOT\_NSP\_MET\_NSP\_390035\_PDF\_A\_Procédure de distribution de béton dans la tour
- LTF\_BCI\_EXE\_TOU\_GOT\_NSP\_MET\_NSP\_390018\_PDF\_A\_Procédure d'utilisation et de maintenance du coffrage auto-grimpant
- LTF\_BCI\_EXE\_TOU\_GOT\_NSP\_MET\_FON\_390017\_PDF\_A\_Procédure d'assemblage et de montage du coffrage auto grim pant.
- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-NSP-MET-NSP-390014-B\_Procédure générale de l'exécution du Gros-œuvre Tour
- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-COF-PLN-NSP-391215\_PDF\_Automatic Climbing SKE 50 plus- Structural analysis
- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-COF-PLN-NSP-391216\_PDF\_Automatic climbing SKE 50 plus - Structural analysis
- LTF-BCI-EXE-TOU-GOT-COF-PLN-NSP-391217\_PDF\_A\_Automatic climbing SKE 100 plus - Structure analysis
- Rapport de stage de projet de fin d'étude 2022-2023 rédigé par SOUMAHORO Karidjatou : SUIVI DE LA RÉALISATION DES ÉLÉMENTS DE STRUCTURES DE LA TOUR F : CAS DES ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS
- Rapport de stage de projet de fin d'étude 2022 rédigé par M'BRA Koffi Rodolphe : CONTROLE QUALITE DU COFFRAGE AUTO GRIMPANT DE LA TOUR
- Cours d'art de la construction de bâtiments par ZHAO Zihan, professeur a l'école d'ingénierie de la construction, Shenzhen polytechnique.

## WEBOGRAPHIE

- <https://www.doka.com/>
- <https://www.travaux-gros-oeuvre.com/coffrage-glissant-rapidite-et-efficacite-dans-la-construction/#:~:text=Le%20coffrage%20glissant%20est%20une%20m%C3%A9thode%20de%20construction,poutres%2C%20les%20piliers%20et%20les%20tableaux%20de%20pont.>
- <https://www.gleitbau.com/fr/projets/silos-de-de-gsellmann>
- [https://www.btpdeutsch.com/wp-content/uploads/2020/05/04\\_04\\_coffrage\\_glissants-4.pdf](https://www.btpdeutsch.com/wp-content/uploads/2020/05/04_04_coffrage_glissants-4.pdf)
- <https://sarlzuccolo.onlc.fr/5-PRINCIPE-DU-COFFRAGE-GLISSANT-ou-DES-COF.html>
- <https://www.bouadjenk.com/?p=1>
- <https://www.fg-ing.ch/glissant/>

## TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE.....	i
DÉDICACE .....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
AVANT-PROPOS .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS .....	ix
RÉSUMÉ .....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCTION GÉNÉRALE .....	1
PREMIÈRE PARTIE : GÉNÉRALITÉS .....	4
CHAPITRE I : PRÉSENTATION DE LA STRUCTURE D’ACCUEIL .....	5
I.    HISTORIQUE ET STATUT JURIDIQUE DU BNETD .....	5
II.   MISSIONS ET OBJECTIFS DU BNETD .....	6
1. <i>Missions du BNETD</i> .....	6
2. <i>Objectifs du BNETD</i> .....	7
III.  DOMAINES D’INTERVENTION ET ORGANISATION .....	7
1. <i>Domaine d’intervention</i> .....	8
2. <i>Organisation du BNETD</i> .....	9
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DU PROJET .....	12
I.    CONSISTANCE DU PROJET.....	12
1. <i>Contexte du projet</i> .....	12
2. <i>Description détaillée du projet</i> .....	13
3. <i>Situation géographique</i> .....	15
4. <i>Les acteurs du projet</i> .....	16
DEUXIÈME PARTIE : ÉTUDE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR .....	17
CHAPITRE 3 : LES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR : PRÉSENTATION.....	18
I.    LE COFFRAGE.....	18

a.	<i>Définition</i> .....	18
b.	<i>Les coffrages traditionnels</i> .....	18
II.	TYPOLOGIES DES SYSTÈMES DE COFFRAGE EN HAUTEUR .....	20
A.	Coffrages grimpants.....	20
1.	<i>Description du système</i> .....	21
2.	<i>Fixation</i> .....	21
3.	<i>Hissage</i> .....	22
a.	<i>Cinématique des phases de levage</i> .....	22
b.	<i>Translation de l'ensemble de l'unité</i> .....	23
B.	Coffrages glissants.....	25
1.	<i>Description du système</i> .....	25
2.	<i>Vérin</i> .....	26
3.	<i>Barres de levage</i> .....	27
4.	<i>Hissage</i> .....	28
5.	<i>Fonctionnement général</i> .....	30
C.	Coffrage auto grim pant de la tour.....	31
I.	Présentation technique .....	31
II.	Cône d'ancrage .....	32
III.	Procédure de his sage.....	34
1.	<i>Prérequis</i> .....	34
2.	<i>Résistance minimale du béton avant his sage</i> .....	36
3.	<i>Définition et composition d'une séquence de his sage du coffrage auto-grim pant</i> .....	37
4.	<i>Fonctionnement général</i> .....	39
CHAPITRE 4 : ANALYSE COMPARATIVE DES SYSTÈMES DE COFFRAGE.....		41
I.	ÉTABLISSEMENT DES CRITÈRES DE COMPARAISON .....	41
1.	<i>Critère technique</i> .....	41
a)	<i>Vitesse d'exécution</i> .....	41
b)	<i>Flexibilité</i> .....	42
c)	<i>Complexité de mise en œuvre</i> .....	42
d)	<i>Poids du coffrage</i> .....	42
e)	<i>Parement à obtenir</i> .....	42

2.	<i>Critères économiques</i> .....	42
a)	<i>Coûts d'installation et d'exploitation</i> .....	42
b)	<i>Besoin en main-d'œuvre</i> .....	43
3.	<i>Critères liés à la sécurité</i> .....	43
II.	<b>ANALYSE DES DONNÉES</b> .....	43
1.	<i>Récapitulatif des données</i> .....	43
2.	<i>Comparaison</i> .....	47
3.	<i>Analyse</i> .....	49
4.	<i>Recommandations</i> .....	49
<b>TROISIÈME PARTIE : TECHNIQUE DE BÉTONNAGE EN HAUTEUR :</b>		
<b>CAS DE LA TOUR F</b> .....		51
<b>CHAPITRE 5 : MISE EN PLACE DU BÉTON</b> .....		52
I.	<b>GÉNÉRALITÉ</b> .....	52
1.	<i>Présentation</i> .....	52
II.	<b>ESSAIS SUR LE BETON</b> .....	57
1.	<i>Teneur en air (NF EN 12350-7)</i> .....	57
2.	<i>Température (NF EN 12350-1)</i> .....	58
3.	<i>Essais d'étalement (NF EN 12350-5)</i> .....	59
4.	<i>Viscosité (NF EN 12350-12)</i> .....	60
5.	<i>Essai de compression (NF EN 12390-3)</i> .....	61
6.	<i>Densité (NF EN 12350-6)</i> .....	62
III.	<b>SPÉCIFICATIONS DES TRAVAUX</b> .....	65
1.	<i>Prérequis</i> .....	65
2.	<i>Organisation</i> .....	65
3.	<i>Béton provenant d'une centrale extérieure</i> .....	65
a)	<i>Production à la centrale</i> .....	66
b)	<i>Affaissement / étalement avant le départ de la centrale</i> .....	66
c)	<i>Transport : Départ du central</i> .....	66
d)	<i>Transport et essais : Point de livraison</i> .....	66
4.	<i>Centrale sur site</i> .....	67
5.	<i>Pompage et bétonnage</i> .....	67
<b>CHAPITRE 6 : DISTRIBUTION DU BÉTON DANS LA TOUR</b> .....		70
I.	<b>PRÉSENTATION TECHNIQUE</b> .....	70

A.	<i>Partie 1 : H1 - V1</i> .....	72
1.	<i>Position et orientation de la pompe</i> .....	72
2.	<i>Conduites de béton horizontales H1</i> .....	73
B.	<i>Partie 2 : H2-V2</i> .....	75
1.	<i>Conduites de béton horizontales H2</i> .....	75
2.	<i>Conduites de béton verticales V2</i> .....	75
C.	<i>Partie 3 : V3</i> .....	76
II.	NETTOYAGE .....	77
1.	<i>Nettoyage conventionnel</i> .....	77
2.	<i>Nettoyage méthode « Go to Devil »</i> .....	78
III.	PHASAGE GÉNÉRALE DE CONSTRUCTION.....	81
1.	<i>Phasage de bétonnage</i> .....	81
2.	<i>Équipements</i> .....	83
a.	<i>Manutention générale et transport vertical</i> .....	83
b.	<i>Équipement de bétonnage</i> .....	83
	CONCLUSION GÉNÉRALE.....	86
	BIBLIOGRAPHIE .....	87
	WEBOGRAPHIE .....	88

## ANNEXES

## **ANNEXE 1 : ANALYSE DE RISQUES**

## **ANNEXE 2 : MATRICE D'ACCES DANS LE** **COFFRAGE GRIMPANT**

## **ANNEXE 3 : PLAN D'EVACUATION**

## **ANNEXE 4 : PLANNING DE REALISATION**

### **DU NOYAU**

**ANNEXE 5 : PLANNING DE**  
**CONSTRUCTION – COLONNES DU SOCLE /**  
**POSE PRÉFAB**

**ANNEXE 6 : PLANNING DE**  
**CONSTRUCTION –COUVRANTS EXTERIEURS**  
**DE LA TOUR**

**ANNEXE 7 : PLANNING DE**  
**CONSTRUCTION –DALLES INTERIEURES**  
**NOYAU / ESCALIERS**