

## MÉTHODES ET OPTIONS DE CONSTRUCTION

Coffrage autogrimpant, *Grégory GRANCOLAS*

### 1. POURQUOI UN TEL OUTIL ?



#### Hypothèses chantier :

- Un arrêté municipal borne les horaires journaliers à 8h00 - 19h00 soit 11 heure de travail/jour ouvré
- Emprise d'un niveau de plancher courant : 2 180 m<sup>2</sup>
- Nombre de grues = 2
- Cadence SHO par jour par grue : 272 m<sup>2</sup> soit 91 % du temps de grue pour les poteaux-poutres et planchers
- Temps de grues disponible pour le noyau 9 %

Nous sommes tenus de nous doter de moyens permettant de soulager les saturations de grues, tels que :

- Pompe à béton,
- Mât de bétonnage,
- **Coffrage autogrimpant**,
- Mannequins manportables,
- Outils spécifiques pour l'exécution des cycles bas...

### 2. SA CONCEPTION

- Rédaction de son cahier des charges
- Cages d'armatures préfabriquées à l'avance à l'extérieur du coffrage autogrimpant et posées à la grue
  - Limiter les arrêts de ferrailage
  - Réduire l'interdépendance et co-activités coffrage/armatures
- Hauteur coffrante unique = 3,91 m
  - Niveaux -4 à +8 réalisés en 17 levées
  - Niveaux +9 à +36 réalisés en 28 levées
  - Niveaux +37 à +38 réalisés en 3 levées
- Nombre de modifications limité
  - Reconfiguration coffrage pour lancement en cycle courants N+9 à N+36
  - Disparition gaines d'ascenseurs batterie basse
  - Disparition gaines d'ascenseurs batterie intermédiaire
- Réalisation d'une levée en 4 jours
  - Hissage des premières cellules du coffrage autogrimpant au plus tôt 12h00 après bétonnage de la levée n

- Limiter les structures provisoires nécessaires à la stabilité du coffrage autogrimpant

Les options ont permis d'industrialiser les tâches pour une meilleure efficacité et optimisation planning.

- Choix de la technique et du fournisseur : HUNNEBECK

Choix Ossatures métalliques suspendues latéralement

- Modularité des cellules favorables aux modifications
- Capacité hydraulique d'un vérin : 15 tonnes

Les autres fournisseurs possibles amenaient les contraintes suivantes :

- Ossatures métalliques et vérins de hispage en tête de voiles (mis en place sur Cœur Défense) => rédhibitoire pour la pose des cages à la grue
- Capacité hydraulique des vérins comprise entre 5 et 10 tonnes => multiplication des manipulations hydrauliques et foisonnement du nombre de fretage

- Conception de sa structure

- Prise en compte de la morphologie de l'ouvrage et variations
- Prise en compte de son environnement, exemple du vent

- Interface avec les méthodes constructives des autres ouvrages ou outils (cycles bas, grues...)

- Interface ferrailage entre les voiles réalisés dans le coffrage autogrimpant (1ère phase) et les structures réalisées en 2ème phase (poutres, consoles courtes, planchers, poutres)
- Mise en œuvre des escaliers du noyau au travers des plateformes du coffrage autogrimpant.



- Pose de dalles alvéolaires au droit du coffrage (ossature profilée pour le passage des élingues de grue) photo ci-dessous



- Exécution de maçonneries séparatives depuis des plateformes suspendues au coffrage autogrissant.
  - **Interface avec l'ouvrage à exécuter :**
    - Validation du nombre de levées à exécuter,
    - Localisation des arrêts de ferrailage
    - Localisation des automates hydrauliques
    - Position des ancrages du coffrage
      - Validation des caractéristiques du béton en phase provisoire à jeune âge
      - Définition des frettages complémentaires
      - Création d'appuis provisoires en cas d'absence de béton
      - Prise en compte des réservations demandées en synthèse
    - **Analyse des risques :**
      - Présentation de la solution coffrage autogrissant aux organismes de sécurité
- Ce point reste important puisqu'il permet de confirmer les normes et règlements applicables dans la conception et surtout l'utilisation de ce genre d'outils (y compris entretien).
- En effet il n'existe pas de réglementation propre aux coffrages autogrissants, il faut donc compiler:
- NF ENV 1994-2-4 Eurocode 1 Actions du **vent** sur les structures
  - L'étude des vents fait sur la maquette de la Tour T1 pour prendre en compte l'effet de site
  - NF ENV 1992 Eurocode 2 Calcul de structures en **béton** + DAN français
  - NF ENV 1993 Eurocode 3 Calcul de structures en **acier** + DAN français
  - NF ENV 1995 Eurocode 5 Calcul de structures en **bois** + DAN français
  - NF EN 12810-1 (septembre 2004) : **Échafaudages** de façade à composants préfabriqués - Partie 1 : spécifications de produits (Indice de classement : P93-500-1)
  - NF EN 12810-2 (septembre 2004) : **Échafaudages** de façade à composants préfabriqués - Partie 2 : méthodes particulières de calcul des structures (Indice de classement : P93-500-2)
  - NF EN 12811-1 (août 2004) : Équipements temporaires de chantiers - Partie 1 : **échafaudages** - Exigences de performance et étude, en général (Indice de classement : P93-501-1)
  - NF EN 12812 (décembre 2004) : **Étalements** - Exigences de performance et méthodes de conception et calculs (Indice de classement : P93-502)
  - NF EN 74 Décembre 1988 **Raccords, goujons d'assemblage et semelles pour échafaudages** de service et d'étalement en tubes d'acier - Spécifications et méthodes d'essai - Spécifications et méthodes d'essai
  - NF EN 39 Juin 2001 **Tubes libres en acier pour échafaudages à tubes et raccords** - Tubes en acier pour structures en échafaudages à tubes et raccords - Conditions techniques de livraison
- Le coffrage autogrissant a été assimilé à un outil de chantier. Ce faisant son utilisation a été régie par un protocole d'utilisation mis au point entre le fournisseur et l'utilisateur. Les normes applicables aux monte personnels ou ascenseurs n'auront pas été retenues, car très contraignantes voire inapplicables.

- Vérification de la note de calculs du coffrage autogrimpant par un bureau de contrôle.
  - Vérification du montage sur site par un bureau de contrôle et fournisseur
  - Vérification des reconfigurations par un bureau de contrôle et fournisseur
  - Suivi de la maintenance (contrôle trimestriel)
  - Rédaction du protocole d'utilisation
  - Anticipation des alertes météorologiques
- Prise en compte de la sécurité et des conditions de travail des ouvriers
    - Localisation des accès au coffrage
    - Définition des circulations verticales et horizontales
    - Définition des protections collectives
- Vérification des accès aux postes de travail selon chacune des phases (hissage, coffrage ou décoffrage ferrailage)
  - Définition des cinématiques de coffrage et décoffrage
- Rédaction du phasage de travail pour l'ensemble des tâches

La création d'un tel outil est assimilable à la conception d'un petit bâtiment.

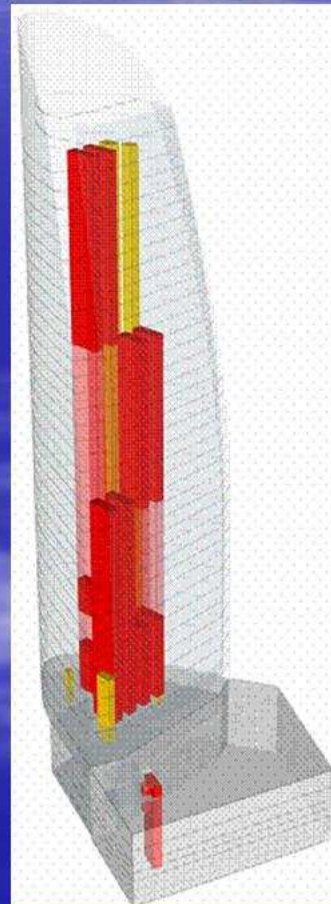
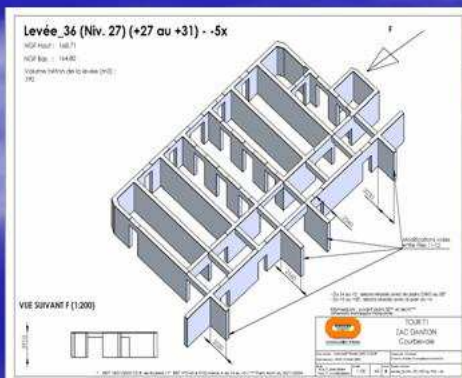
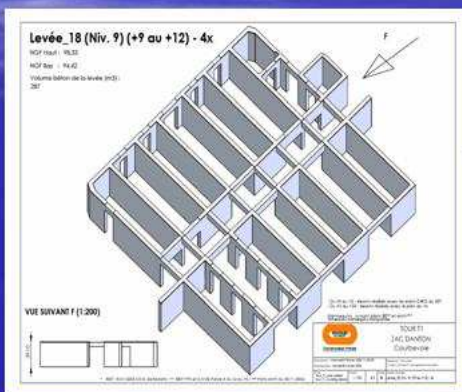
Les études démarrent très tôt à partir de plans d'avant projet.

Les délais d'études et fabrication d'un coffrage autogrimpant demandent un avant projet structure fiable.

### 3. OBJECTIF DU COFFRAGE AUTOGRIMPANT : 48 LEVÉES

#### 3. Objectif du coffrage autogrimpant : 48 levées

- 470 m<sup>2</sup> de voiles par jour à partir du PH+9 (cycle en 4 jours)
- 300 m<sup>3</sup> de béton par levée
- 45 tonnes d'HA par levée à mettre en œuvre (9 cages préfabriquées)
- 2 200 m<sup>2</sup> de coffrage à déplacer (1 100 tiges de serrage)
- 47 mannequins par levée
- 100 réservations



7

## 4. DESCRIPTIF TECHNIQUE

Le coffrage autogrimpant est constitué de 32 cellules indépendantes équipées de 1 à 2 automates hydrauliques d'une capacité de levage de 15 Tonnes chacun. La capacité globale des vérins permet de hisser 840 T pour un poids réel de 393 T hors surcharges de travail.

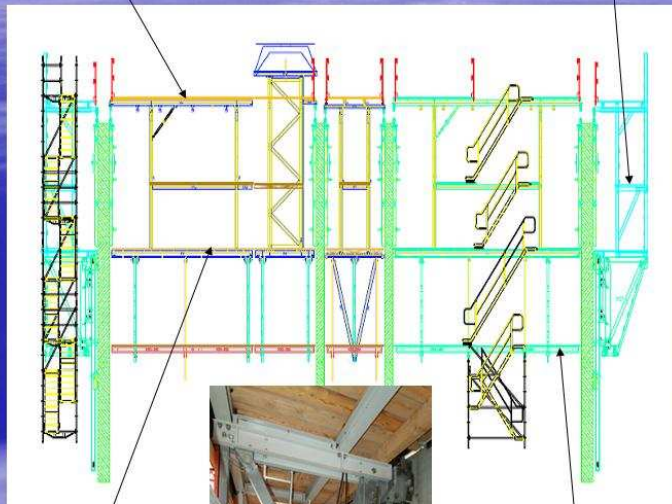
Selon les séquences de hissage, l'outil est déplacé par 1 ou 2 centrales hydrauliques synchronisées par les opérateurs. Chaque centrale permet de lever 120 T, elles sont au nombre de 5 dans le coffrage.



Chaque cellule est composée d'une structure métallique supportant dans un cas courant 4 plateformes bois telles que :

N+1 : Plateforme de ferrillage –  
bétonnage,

N Intermédiaire :  
Plateforme d'accès en  
tête de banches,



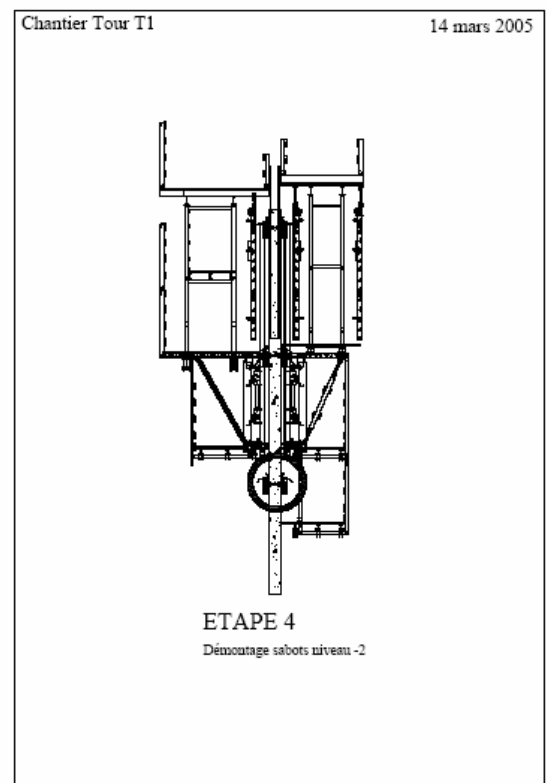
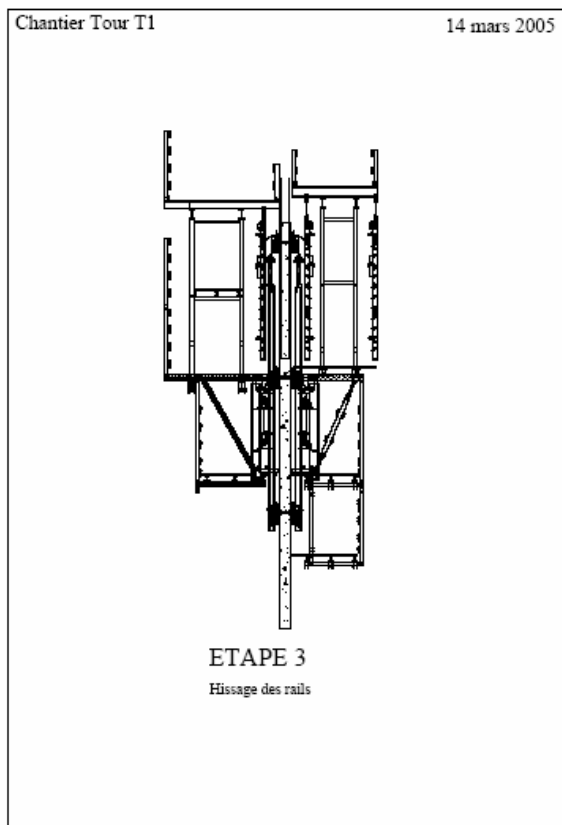
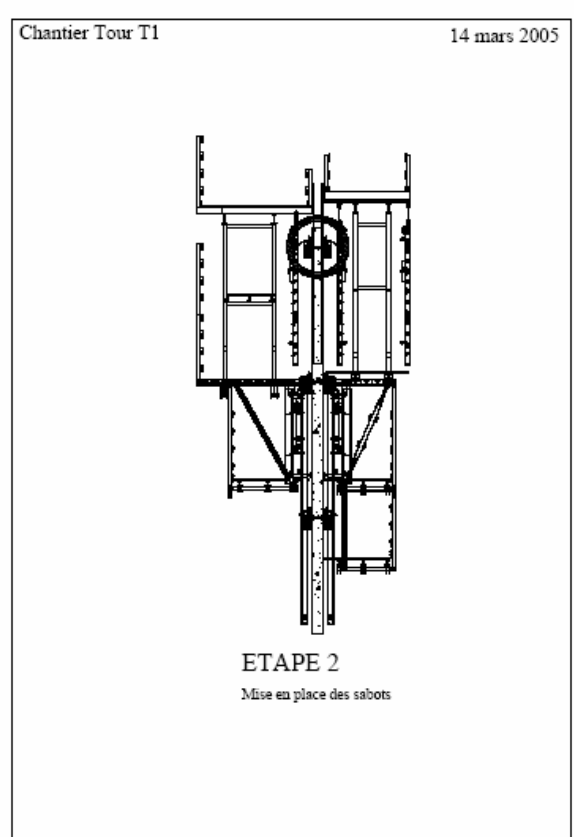
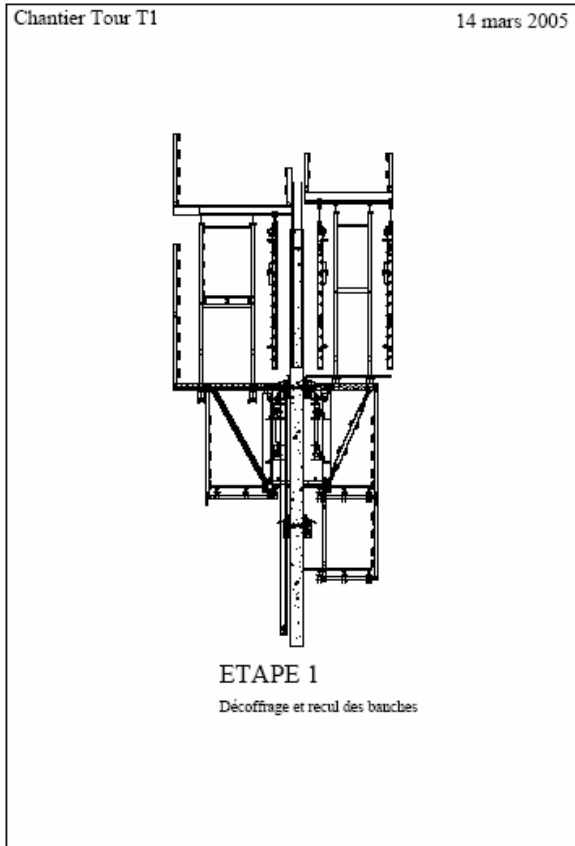
N+0 : Plateforme  
d'accès en  
pied de  
banches,

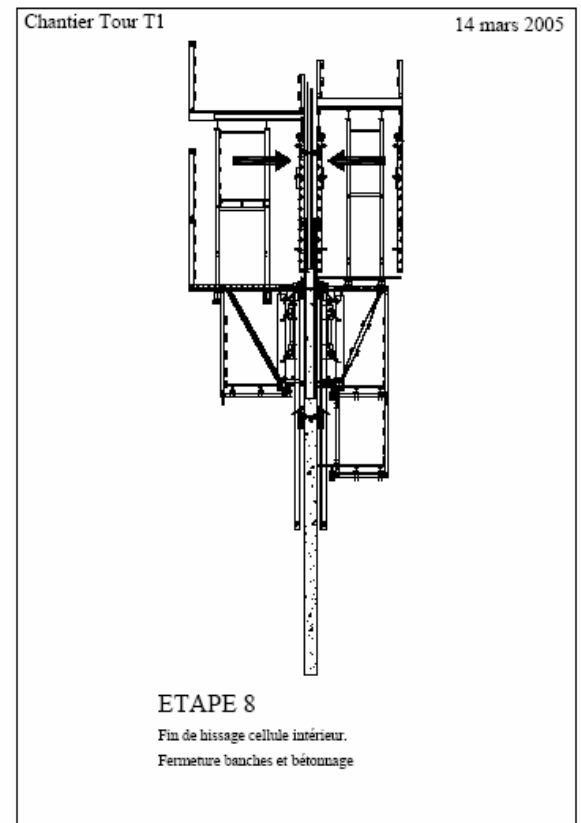
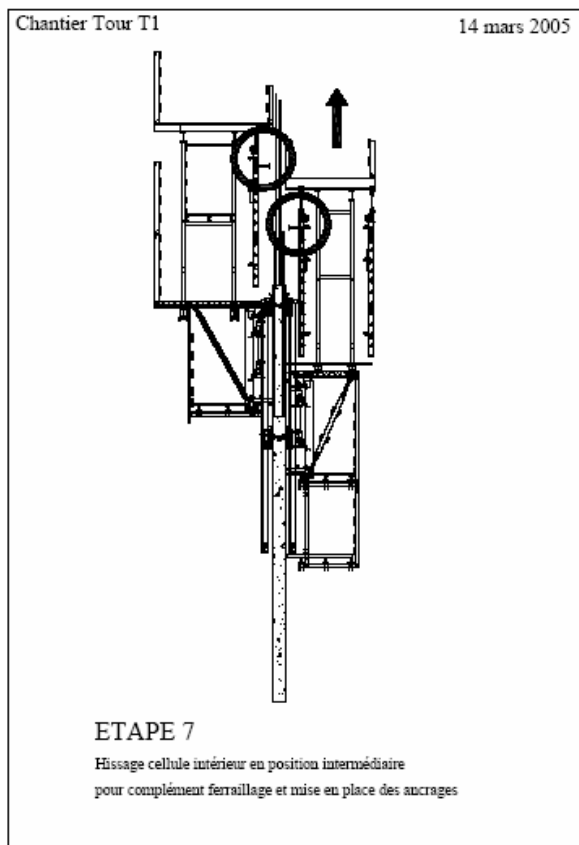
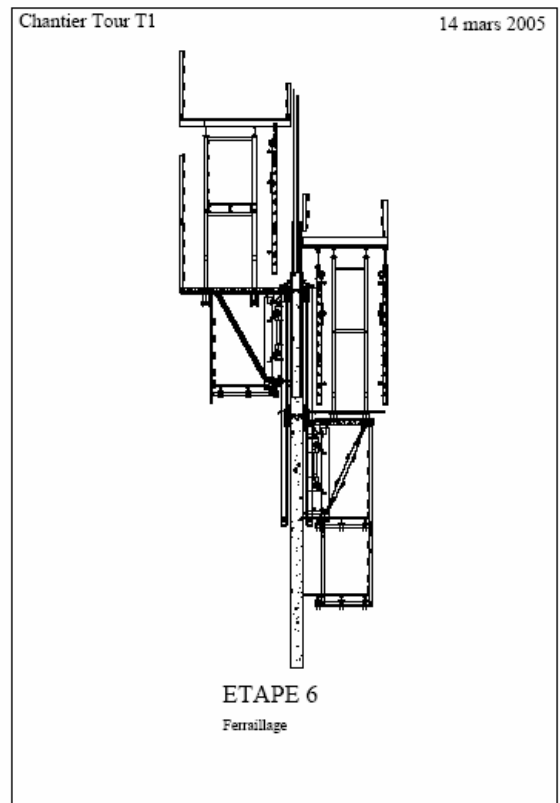
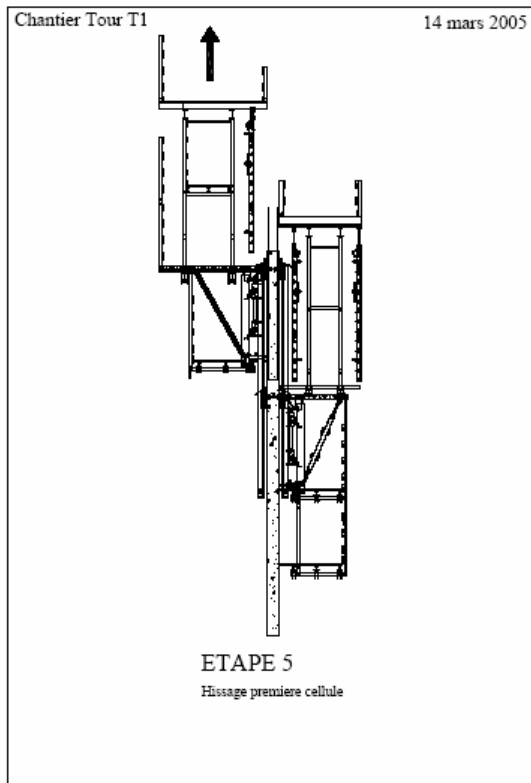
N-1 : Plateforme  
d'accès aux  
automates,



1

## 5. FONCTIONNEMENT





Après achèvement de l'étape 5, les tâches se succèdent comme suit :

- Remontée des traits de niveaux (référentiels)
- Fermeture de la 1ère peau coffrante
- Traçage des réservations, baies, planchers, escaliers...
- Pose des mannequins

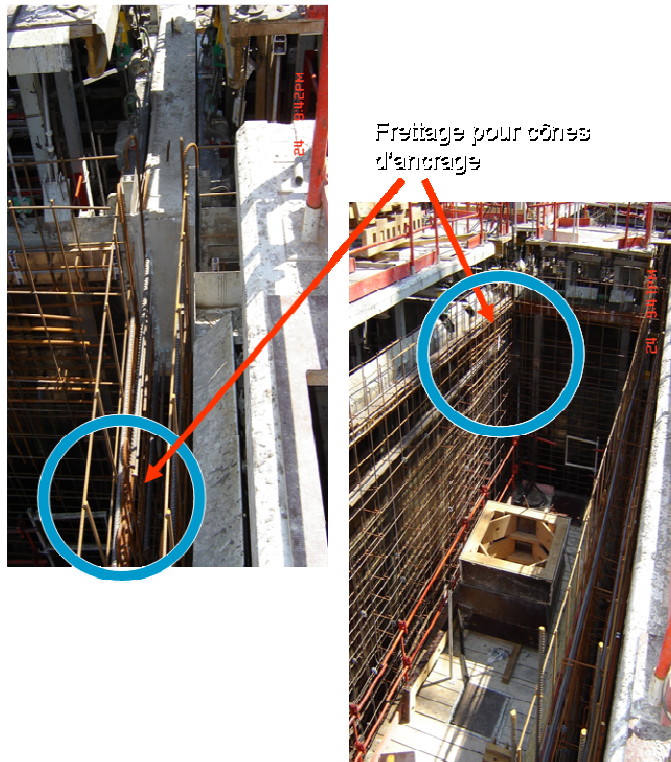


Vue intérieure après hissage des cellules 1ère face coffrante

- Pose des cages d'armatures à la grue
- Pose des linteaux
- Raccordement des cages



- Cages et linteaux posés



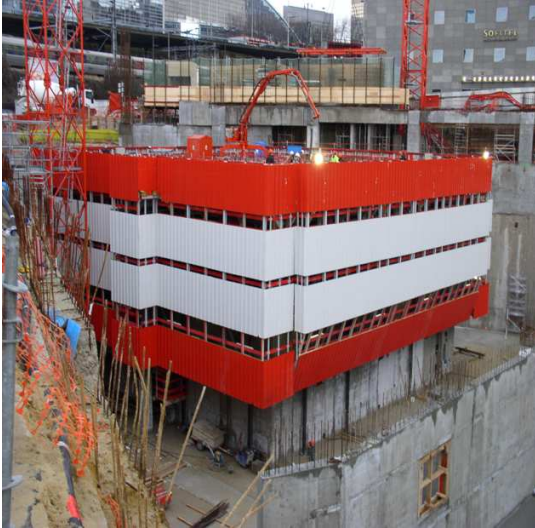
Après la pose des cages :

- Pose des réservations et mise en place des mannequins
- Incorporations électriques
- Pose des cônes d'ancrage du coffrage autogrimpant
- Pose des entretoises pour tiges de serrage
- Hissage des cellules 2ème phase
- Fermeture de la 2ème peau coffrante
- Vérification géométrique du coffrage
- Bétonnage de la levée



Phase bétonnage avec Mât M3.15





## 6. CRITÈRES DE FONCTIONNEMENT

On entend par critères de fonctionnement, les paramètres permettant le déclencher le hissage du coffrage.

Les cellules critiques lors du hissage sont celles équipant la périphérie du noyau car :

- Elles sont hissées en premier pour des raisons de sécurité, (barrière naturelle au risque majeur : chute de grande hauteur) et vont donc solliciter le béton à jeune âge (compression dans le béton inférieure à 12Mpa)
- Elles sont dimensionnées pour prendre en compte les effets du vent (dimensionnement des frettages).

En l'absence de réglementation, le hissage du coffrage autogrimpant est effectué si le vent est inférieur à 72 Km/h (règle de fonctionnement des grues à tour).

Nota : L'activité du chantier est par conséquent suivie selon les bulletins météorologiques transmis.

Ces paramètres sont alors vérifiés vis-à-vis :

- du diagramme des activités menées dans le coffrage
- du délai par levée
- Des caractéristiques mécaniques du béton exigées dans le dimensionnement du projet
- Budgets d'heures d'exécution alloués

Les études structures et méthodes faites en phase d'avant projet ou pas, peuvent tendre vers des bétons différents. Dans notre cas le béton mis en place C60/75 s'est avéré approprié. Dans le cas contraire la diminution de la résistance du béton aurait conduit à la

multiplication de points d'ancrage pour permettre la validation de la contrainte béton.

## 7. BILAN DE LA SOLUTION RETENUE

### Point positif :

- Mise en œuvre de 100 % de l'armature à la grue
- Rapidité de pose des cages d'armatures
- Rapidité de hissage des automates (12 m/hr)
- Qualité et fiabilité de fabrication du produit HUNNEBECK
- Optimisations possibles
  - Escaliers préfabriqués posés au travers de trappes aménagées dans les plateformes
  - Pose des dalles alvéolaires prise en compte pour passage des élingues
  - Pose de pièces préfabriquées dans le coffrage

### Contraintes de l'autogrimpant

- Coût d'amortissement nécessitant une répétitivité importante
- Délai d'études
- Durée de montage longue et assemblages complexes
- Procédure de mise en fonctionnement extrêmement rigoureuse
- En phase d'exécution : contrôle de la géométrie
- Acceptation difficile de la part des organismes de sécurité (Inspection du Travail, CRAMIF, Coordonateur SPS...)
- Dimension du local à réaliser > 2.5 x 3.0 m
- Épaisseur des voiles > 30 cm

## CONCLUSIONS DE LA JOURNÉE

L'AFGC a remercié l'équipe de Bouygues Bâtiment pour la qualité des exposés, le respect des horaires malgré le programme ambitieux et l'intérêt de a visite guidée pour la cinquantaine de personnes, parmi les 70 participants inscrits, qui est restée l'après midi et a bravé le temps pour visiter le chantier qui était en intempérie.

Nombre de participants ont indiqué avoir trouvé les exposés dynamiques et ont apprécié :

- la présentation des problématiques techniques, très actuelles (cf. projet de tours).
- le fil conducteur sur l'anticipation (études-préparation de chantier).
- la mise en lumière de l'imbrication études-méthodes-travaux Tous Corps d'Etat.
- la reconnaissance de la participation active de partenaires comme Soletanche Bachy (Fondations Spéciales), ou Permasteelisa (Façades) qui a d'ailleurs participé à la présentation.

Certains ont découvert à l'occasion la capacité de l'entreprise à mobiliser des compétences multiples en interne tout en associant des partenaires et ont fait part de leur « surprise » quand aux délais nécessaires à la préparation d'un tel chantier.