

## Rapport technique / domaine des travaux spéciaux Coffrage glissant pour silos ronds

Rédaction : ETC 3<sup>ème</sup> année / route de Berne 64 / 1700 Fribourg / Cédric Torres Parente -  
Fabio Sabatino

Date : 15 mars 2022 / v2

### Introduction

Dans ce travail, nous présenterons la réalisation de silos ronds avec un coffrage glissant. Le principe consiste à bétonner ces éléments de grande hauteur d'une seule traite et sans arrêts de bétonnage. Similaire à des opérations coup-de-poing, ces interventions engagent beaucoup de moyens de l'entreprise et nécessitent une organisation technique et logistique sans faille. Une telle mobilisation comporte automatiquement des risques non négligeables et qui doivent être résolus en amont. Le but étant de réduire les coûts et les délais de bétonnage, l'intervention doit se dérouler sans équivoque car la moindre erreur mènerait à recommencer le tout.

Pour base d'exemple, nous avons utilisé la construction des silos ronds de la STEP de Lausanne réalisé en 2017. Pour cet ouvrage, l'entreprise adjudicataire a fait appel à un sous-traitant. Cette entreprise est spécialisée dans les coffrages glissant et les levages lourds. Cette pratique étant rarement utilisée en Europe, celle-ci est sollicitée dans le monde entier pour leur savoir-faire et main-d'œuvre spécialisée.



Fig. 1: Silo rond de la STEP de Lausanne

### Coffrage glissant technique

A la différence du coffrage traditionnel, le coffrage glissant monte de façon semi-continue pendant toute la durée du bétonnage. Aucune attache de coffrage n'est nécessaire.

La structure est soulevée par des vérins qui montent sur des tiges ou des tubes verticaux scellés dans la base en béton de l'élément à construire. Les vérins sont montés dans des ensembles en acier retournés en forme de U appelés collecteurs. La structure du coffrage glissant est fixée aux montants de collecteur et les consoles servant de support au pont de travail sont fixées sur les filières verticales du coffrage glissant.

La pression hydrostatique du béton est garantie par les collecteurs tandis que les charges d'échafaudage et de pont de travail sont supportées à travers les collecteurs vers les vérins.

Une fois que le bétonnage est lancé, le béton est mis en place dans le coffrage par couche de 10 à 25 centimètres de façon continue à un débit constant. L'armature verticale doit être mise en place avant la fermeture du coffrage ainsi que l'armature horizontale sur une hauteur de 1.80 mètre.

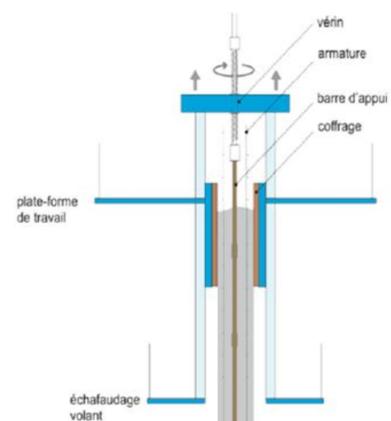


Fig. 2: Schéma de principe du coffrage glissant

La vitesse de levage va dépendre :

- Du béton (type de ciment, teneur en ciment, affaissement, taux de prise, etc.)
  - Exemple d'une recette de béton selon SN EN 206-1:
  - Classe de résistance : C30/37
  - Classe(s) d'exposition : XAA, XC4, XD1
  - Dmax granulats : 32 mm
  - Classe de teneur en chlorures : Cl 0.10
  - Classe de consistance : F3
  - Ciment : Robusto 4R-S
  - Spécifications complémentaires : Résistant à la RAG
- De l'armature horizontale
- De la Précontrainte (s'il y'en a)
- Des éléments à intégrer (ex. Réservations)
- Des conditions météorologiques (Température, soleil, humidité, vent)

Des retardateurs et accélérateurs sont souvent rajoutés dans le béton pour assurer un équilibre entre le taux de prise du béton et le taux de dépôt du matériau.

Si le béton est coulé par couche de 15 cm (la structure est remplie à chaque passage) et la structure soulevée de 45 cm/heure, une couche de béton doit être coulée en tout point toutes les 20 minutes. Chaque couche est alors plus ancienne de 20 min que la couche précédente. Avec la réaction eau-ciment, l'affaissement est réduit à zéro. En utilisant une sonde en acier à l'extrémité hémisphérique et d'un diamètre de 12,5 mm, le point d'affaissement zéro peut être identifié en sondant la structure depuis sa partie supérieure. Le point d'affaissement zéro est la "concrétion dure". La "concrétion dure" est généralement portée à 76 à 100 cm sous la partie supérieure d'une structure de 1,20m de profondeur. La profondeur de la "concrétion dure" ne doit pas excéder 1,20m, sinon le béton fluide s'écoulera sous la structure.

#### Les différents rendements par type de structure :

Niveau inférieur de structure d'enceinte de réacteur nucléaire	5-10 cm/heure
Silos à grains	20-46 cm/heure
Silos à charbon	25-50 cm/heure
Noyaux des immeubles de bureaux	38-64 cm/heure
Immeubles résidentiels soutenus par des murs de cisaillement	50-76 cm/heure
Revêtement de puits souterrain	50-127 cm/heure

L'étage du dessous de la structure de coffrage sert à rhabiller/talocher la surface bétonnée au fur et à mesure du levage.

Les aspects concernant la sécurité des systèmes de coffrage glissant sont également mis en évidence ci-après. Tous les ponts de travail, les échafaudages, les rampes, les échelles, les escaliers, etc., peuvent être construits comme structures semi-permanentes. Aucune manutention est nécessaire lors du bétonnage autres que l'installation initiale, le retrait final ou toute modification en cas de changement de section transversale. Toutes les opérations sont réalisées debout sur un pont ou un échafaudage fixe, pas besoin de monter sur une armature ou une barre de la structure.

Sur l'objet à construire adaptée, le coffrage glissant peut être le moyen de réduire considérablement les coûts de construction La structure doit avoir une section transversale relativement constante et la hauteur nécessaire pour réduire le coût unitaire de construction à un niveau compétitif.



Fig. 3: Modélisation du coffrage glissant

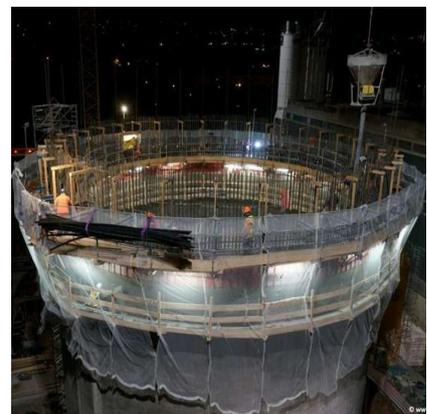


Fig. 4: Bétonnage d'un silo

## Ressources nécessaires

Personnel mobilisé à chaque relais de 8H :

- Responsable de secteur de l'entreprise adjudicataire
- 1 Conducteur de travaux
- 1 contremaîtres
- 1 chefs de chantier spécialistes du coffrage glissant (alpinistes/acrobates)
- 3 maçons spécialistes du coffrage glissant
- 4 maçons traditionnels
- 9 ferrailleurs
- 2 poseurs de précontrainte
- 1 grutiers
- 1 centralistes à béton

**Plus de 70 personnes en tout**

Inventaire nécessaire :

- Centrale à béton
- Grue pour bétonnage
- Coffrage glissant

Tiers :

- Précontrainte
- Ferrailage
- Coffrage glissant



Fig. 5: Montage du coffrage glissant

## Planning

Pour 1 silo rond de 20m de diamètre et 23.70m de hauteur :

6 jours de bétonnage en continu sans arrêt (24h/24h) d'après l'avancement du coffrage de 20cm/h.

Les contraintes imposées sont :

- 50h de travail par semaine
- 6 jours par semaine pour 4 semaines maximum
- 1/2h de pause de temps de travail supérieur à 7h
- 1h de pause si temps de travail supérieur à 9h
- 11h de repos minimum entre 2 postes
- 10h de travail maximum avec pause comprise
- 35h de repos d'affilée une fois par semaine
- Horaire de nuit 20h-6h

Il a donc fallu créer 3 équipes qui se relayent sur 3 horaires journaliers : 6h-14h, 14h-22h et 22h-6h.

Transfert du coffrage d'un silo à un autre d'environ 1 semaine.

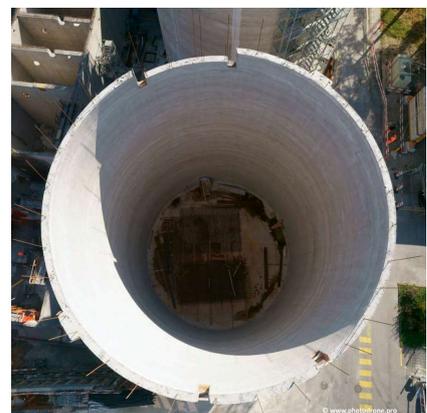


Fig. 6: Silo bétonné et décoffré

## Autorisations

Compte tenu des conditions et du rythme de travail, des autorisations doivent être demandées à l'autorité compétente. L'accord a été demandé à chaque ouvrier de chaque entreprise pour travail selon les conditions particulières de travail (nuit, week-end, fériés...). Après validation du Maître d'ouvrage les documents sont envoyés à la commission paritaire pour acceptation de l'avis de dérogation. Les documents à joindre sont : conditions salariales, conditions de travail, permis de travail et pièce d'identité. Un avis doit encore être envoyé aux riverains pour les nuisances causées et les syndicats valident aussi les travaux avant leur début.

## Mesures préventives

- Mise en place d'éclairage performant à LED
- Installation de groupes électrogènes de secours en cas de panne de courant
- Élaboration de différentes formules de béton certifiées permettant de répondre aux diverses conditions météorologiques (température, humidité)
- Démarches administratives auprès des autorités compétentes avant le début des travaux
- Mise à disposition d'une astreinte pour livraison du ciment
- Mise à disposition d'une astreinte pour livraison de béton en cas de panne de la centrale foraine
- Établissement d'un plan de livraison : pas de rechargement sur place
- Prévoir des solutions en cas d'intempéries
- Mise à disposition d'une autogrue proche du chantier qui puisse prendre le relais sur la grue du chantier
- Relevé de la paroi du silo toutes les heures
- Sonde de contrôle installée au centre du silo pour signaler le moindre faux aplomb

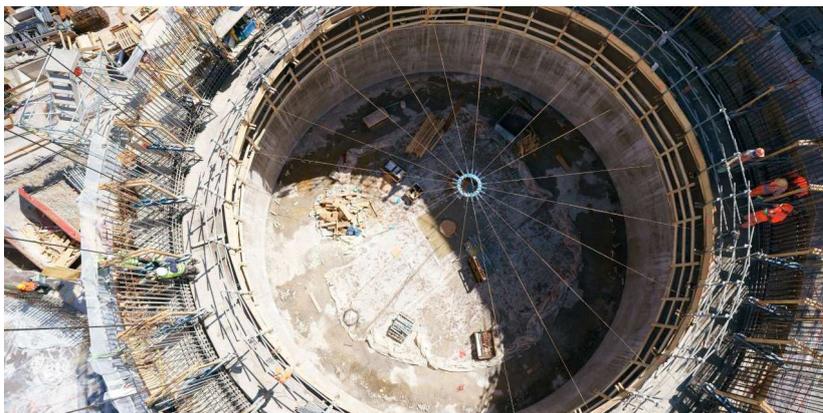


Fig. 7: Sonde de contrôle, arrimée à tous les bords de la paroi

## Conclusion

Nous pouvons en conclure, que ce système présente plusieurs avantages et doit être considéré dans les études de projet.

En contrepartie, il demande un effort de réflexion en amont considérable mais qui ne peut être négligé compte tenu des risques durant l'exécution. Les solutions apportées à ces dangers doivent être prévues à l'avance alors qu'on n'est pas surs de les engager. Ces coûts vont accroître le montant global et doivent donc être absorbés par l'économie que représente ce système.

On en déduit également qu'il est plus judicieux d'utiliser ces coffrages lors de la réalisation d'ouvrages élancés de part son principe de glissement. L'inexistence de joints de reprise ou de bétonnage représente aussi une économie du prix brut de la paroi.



Fig. 8: STEP de Lausanne après bétonnage des silos

## Bibliographie

Présentation du chantier de la part d'Implenia SA

Fiche Technique de Royam

## Remerciements

Monia Bettache Cheffe de projet chez Implenia SA