

Rapport technique / domaine du bâtiment et génie-civil

Contenu : Etayage de grande hauteur au moyen de tours PAL

Rédaction : Dongiovanni Valerio / Ecole technique de la construction 3^{ème} année
Date : Décembre 2011



INTRODUCTION

La tour d'étayage de grande hauteur PAL, très utilisée dans le domaine de la construction est une invention Suisse ! J'ai eu l'occasion d'utiliser cet outil d'étayage pour grande hauteur sur un de mes chantiers, et j'ai été séduit par sa simplicité d'utilisation. La tour d'étayage PAL a été inventée par Jacques Alberti, un ingénieur civil suisse en 1960. Il donna le nom de PAL à son invention en hommage à son fils Patrick Alberti né à Lausanne cette année-là.

L'idée lui vient lorsqu'il cherche une variante d'étayage pour la réalisation d'un pont à Boudry. Il ne disposait à ce moment-là que de tubes et de raccords. Il réfléchit alors à une autre solution se basant sur un principe simple de l'ingénierie : les tours triangulées qui permettent d'éviter toutes déformations.

Il parvient à trouver le moyen d'emboîter des triangles pour former ces fameuses triangulées. L'extension, avec ce triangle, permet de former des tours carrées, rectangulaires ou de toutes formes hexagonales. Cela s'est avéré unique et ça l'est toujours aujourd'hui.



DOMAINES D'APPLICATIONS

En plus des ouvrages d'art qui ont inspiré leur création, les tours PAL se sont aussi révélées utiles pour des travaux de rénovations ou de transformations, où il est souvent nécessaire de démolir des dalles entières, et d'assurer la stabilité des murs ou de soutenir des charpentes en attendant la reconstruction des éléments définitifs.

La conception très stable des tours PAL permet en outre la réalisation d'étayages particulièrement sûrs lors de la réalisation de dalles en bétons lors de travaux de gros œuvre. L'utilisation de plus en plus fréquentes de techniques de bétonnage avec prédalles nécessite la mise en œuvre de systèmes d'étayages rationnels et aux dimensions spécifiques assurant la stabilité latérale de l'ensemble de la construction.

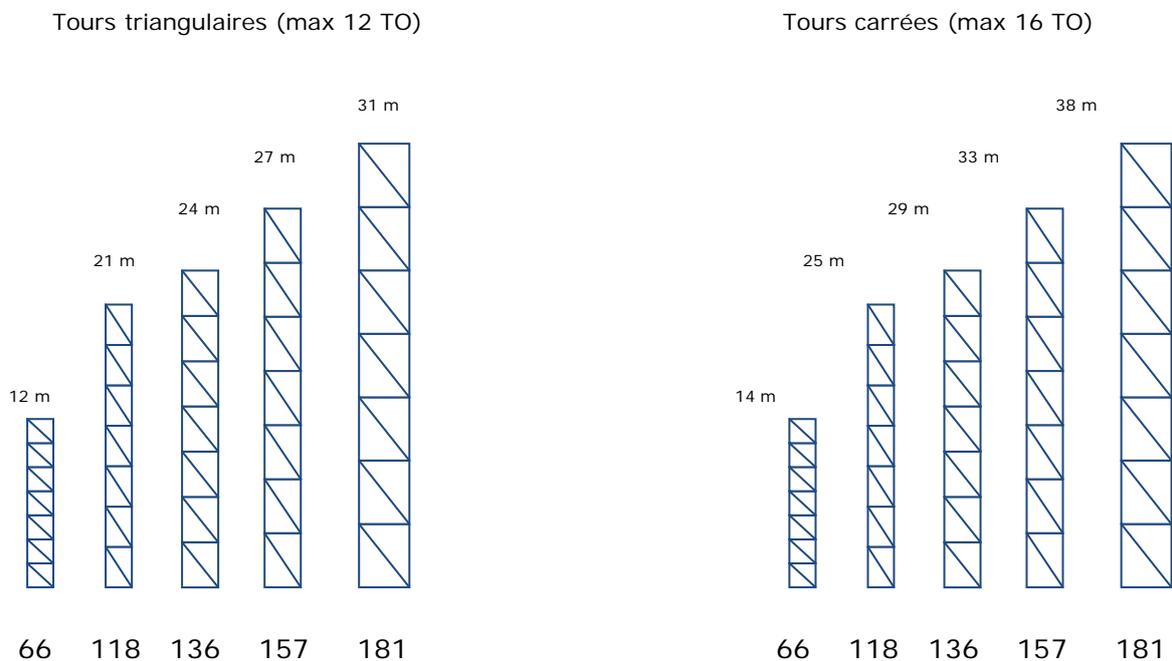
CARACTERISTIQUES DES TOURS PAL

Les tours PAL peuvent se monter de différentes manières suivant les besoins. La charge maximale pouvant être reprise est de 4 TO par pied. Elles peuvent être de forme carrée, rectangulaire et triangulaire. Dans les deux premiers cas, la tour reprend une charge maximale de 4 TO par pied, soit un total de 16 TO, tandis que pour la tour triangulaire, elle reprendra 4 TO par pied pour un total de 12 TO. Les tours ont un coefficient de sécurité au flambage de 3.

Différentes sections sont possibles. Les différentes sections des tours carrées sont les suivantes : 66 x 66, 118 x 118, x 136 x 136, 157 x 157, 181 x 181 cm. La section la plus utilisée est celle de 136 x 136 cm.

Deux hauteurs d'éléments triangulaires sont disponibles : 100 et 75 cm. Les différences de hauteurs peuvent être comblées au moyen des pieds réglables, soit ceux du haut, soit ceux du bas.

Le schéma ci-dessous représente la capacité des tours PAL à reprendre un maximum de 4 TO par pied en fonction de leur hauteur et section :



Bien que les tours PAL aient été créés pour pouvoir coffrer des dalles de grande hauteur, il est parfaitement imaginable de les utiliser pour des hauteurs de dalle standards comme c'est le cas pour le chantier du nouveau Marin Centre dans le canton de Neuchâtel.

Je trouve cette solution très intéressante pour le coffrage de sommiers où il n'est pas possible de s'appuyer latéralement contre les murs. Il permet un gain de temps et augmente la sécurité au coffrage et au décoffrage des ouvriers.

MATERIEL COMPOSANTS LES TOURS PAL



Plaque de tête plate



Éléments triangulaires



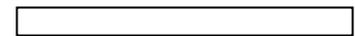
Barres de liaisons droites



Barres de liaison diagonales



Pieds



Bois PAL pour filières principales secondaires de section 16 x 24 cm et longueur de 2.50, 3.00, 4.50, et 5.00 m.

MESURES DE SECURITE A PRENDRE LORS D'UTILISATION DE TOURS PAL

- 1) A parti d'une hauteur de 6.00 m. il faut lier les tours par des tubes et des colliers afin d'assurer la sécurité pendant le montage.
- 2) Les vérins ne doivent pas être développés à plus de 30 cm.
- 3) Les bois de coffrage doivent être posés exactement dans l'axe des plaques de tête.
- 4) Les tours doivent être parfaitement verticales.
- 5) Avant le bétonnage, contrôler que tous les vérins soient parfaitement vissés sous les bois de coffrage.
- 6) Lors du décoffrage, le desserrage des vis doit être effectué progressivement et toujours à partir du centre de la dalle.

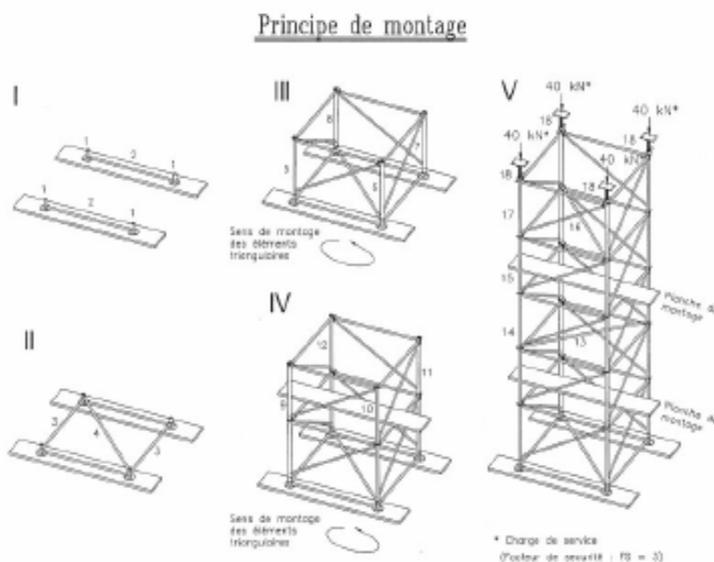
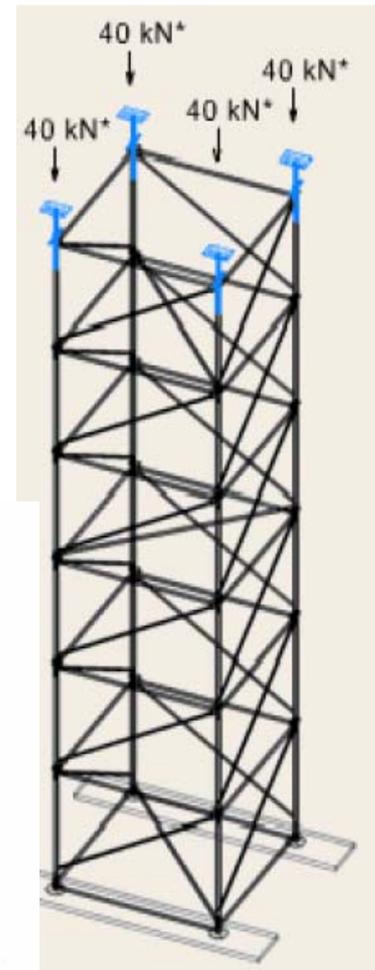


Semelles en béton pour appui des tours PAL.

En fonction de la qualité du terrain, il est parfois nécessaire de réaliser des semelles pour l'appui des tours PAL. J'ai rencontré cette situation sur un chantier d'un de mes collègues. Ces semelles avaient une largeur de 55 cm et une épaisseur de 20 cm. Ces travaux engendrent des coûts très importants que le conducteur de travaux se doit de revendiquer.

ETAPES DE MONTAGE D'UNE TOUR PAL

- 1) Disposer sur le sol des plateaux d'une épaisseur minimale de 4 cm, puis tracer sur les plateaux l'emplacement de chacun des pieds de la tourelle.
- 2) Commencer le montage en reliant les pieds au moyen de barres de liaison et joindre deux pieds opposés diagonalement au moyen d'une barre.
- 3) Emboîter les éléments triangulaires dans les pieds pour former le premier étage.
- 4) Poursuivre le montage des étages suivants en se maintenant au moyen d'un plateau à l'intérieur de la tourelle.
- 5) Relier deux côtés opposés diagonalement au moyen d'une barre de liaison chaque deux étages.
- 6) Lorsque la tourelle est à hauteur désirée, introduire les vérins et les plaques de tête. Le montage de la tourelle est terminé et est prête à recevoir les filières.



Remarque :

Des travaux supplémentaires peuvent être effectués pour le réglage des pieds. Sur un de mes chantiers, nous avons monté les tours PAL sur un radier en pente, ce qui a nécessité plusieurs heures pour le réglage fin des tours. Donc ne pas oublier de facturer une plus-value pour le réglage des pieds dans le cas de radier en pente !

POURQUOI UTILISER LE SYSTÈME D'ÉTAYAGE PAL ?

Le système d'étayage PAL offre de nombreux avantages dont voici les principaux :

1) **Simplicité d'utilisation**

Des ouvriers sans qualifications peuvent les monter aisément

2) **Rapidité d'exécution**

Deux ouvriers mettent seulement 30 minutes pour monter une tour de 7 mètres de haut.

3) **Facilité d'adaptation des tours.**

Grâce à leur réglage simple et double elles permettent de s'adapter à toutes les hauteurs.

4) **Grande résistance jusqu'à 4 TO par pieds pour des étayages de grande hauteur**

Les résistances ont été attestées par les essais du laboratoire de l'école polytechnique de Lausanne.

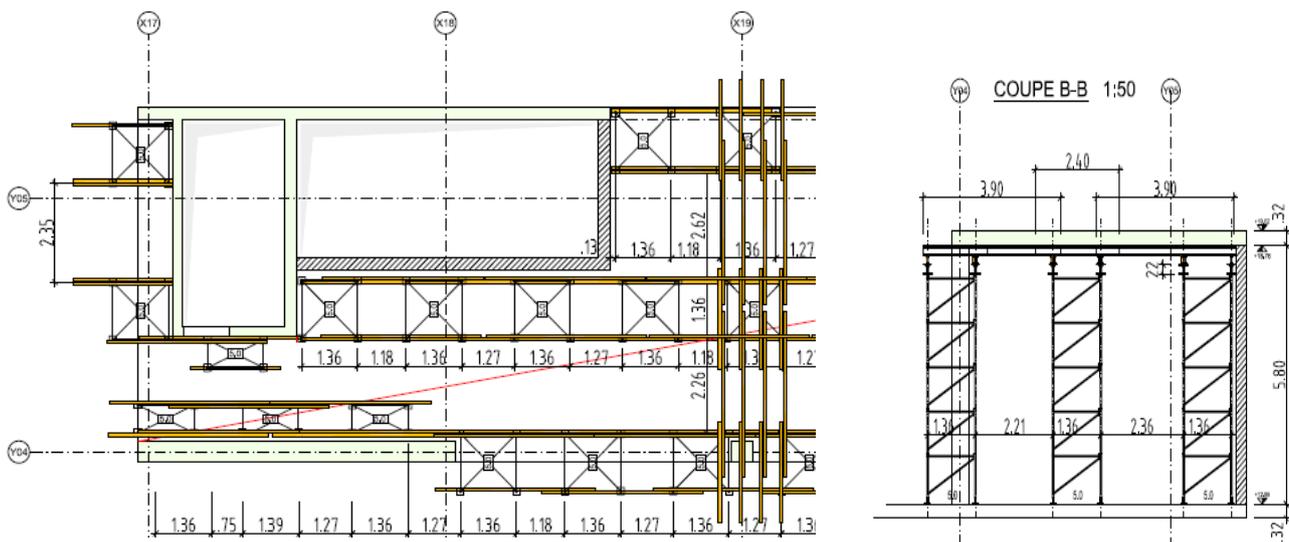
DEUX SOLUTIONS D'UTILISATION DES TOURS PAL POUR LES CONDUCTEURS DE TRAVAUX.

Le conducteur de travaux a la possibilité de louer ou d'utiliser les tours qui font partie de l'inventaire de son entreprise pour ses chantiers. La location peut être avantageuse pour de grandes quantités. Cependant je pense que chaque entreprise devrait posséder une certaine quantité de tours dans son inventaire. Elles se conservent parfaitement et prennent très peu de place.

PAL Solutions SA propose divers services aux entreprises, mis à part la location, dont voici les principaux :

- Solutions d'établissement et de soutien spécifique et rationnel
- Etablissement de plans de montage
- Calculs statiques
- Etablissement de listes de pièces et de composants
- Mise à disposition d'équipes de montage spécialisées

Voici un exemple de plan d'établissement établi par PAL solutions SA :



Sur le plan précédent, toutes les cotes nécessaires à l'emplacement des tours sont indiquées. On y trouve notamment la section des tours à utiliser, l'espacement entre les filières principales, ainsi que l'espacement entre chaque tour pal dans le sens inverse de la portée. Sur la coupe B-B, le chiffre au-dessous des tours indique le nombre d'éléments de 1.00 m. et 75 cm à utiliser. Par exemple, 5.0 indique que l'on devra utiliser 5 éléments de 1.00 m. et 5.1 indique que l'on devra utiliser 5 éléments de 1.00 m. et 1 élément de 75 cm.

Cependant, si le conducteur de travaux a des tours PAL à disposition dans son entreprise, il peut sans grandes difficultés établir lui-même le plan d'étaillage. Cette solution ne devrait être envisagée uniquement pour des coffrages de grande hauteur simple et pour une petite surface de dalle. Les valeurs obtenues permettent d'avoir une marge de sécurité au niveau de la résistance, mais ainsi nous n'avons pas une utilisation optimale du nombre de tour. Je vais utiliser une situation vécue sur un de mes chantiers pour expliquer la démarche à suivre pour concevoir son plan d'étaillage avec tours PAL

CONCEVOIR UN PLAN D'ETAYAGE AVEC TOURS PAL

1) DEFINIR L'ESPACEMENT MAXIMAL ENTRE LES TOURS PAL

Dans mon cas, j'avais une dalle avec une surface de 18.00 x 5.80 m à étayer, avec une épaisseur de 22 cm et une hauteur d'étaillage de 6.60 m. Pour définir l'espacement maximal, je dois tenir compte qu'en utilisant du bois PAL avec une section de 16/24 cm pour les filières principales, cela me permet d'avoir un espacement maximal de 2.25 m. entre celles-ci.

Grâce au tableau ci-dessous, il est possible de déterminer l'espacement maximal entre les tours PAL dans le sens inverse de la portée de la dalle.

Voici la démarche à suivre :

- 1) Déterminer l'épaisseur de la dalle. Dans notre cas il s'agit de 22 cm.
- 2) On prend la colonne de la portée des poutres secondaires correspondant à 2.25 m qui est l'espacement maximal des poutres principales obtenues avec le bois PAL
- 3) On lit la valeur qui est de 1.26 m d'espacement entre les tours PAL dans le sens inverse de la portée de la dalle pour une épaisseur de dalle de 22 cm

Epaisseur de la dalle mm	Poids propre du béton KN/m ²	Espacement des poutres secondaires (m)			Portée des poutres secondaires (m)									
		0,50	0,625	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	3,00	3,50	
100	2,60	3,55	3,30	3,10	2,82	2,62	2,40	2,22	2,08	1,96	1,86	1,59	1,36	
120	3,12	3,37	3,13	2,95	2,68	2,48	2,28	2,11	1,97	1,86	1,71	1,43	1,22	
140	3,64	3,23	2,99	2,82	2,56	2,38	2,17	2,01	1,88	1,73	1,56	1,30	1,11	
160	4,16	3,10	2,88	2,71	2,46	2,27	2,08	1,92	1,78	1,58	1,42	1,19	1,02	
180	4,68	2,99	2,78	2,61	2,38	2,18	1,95	1,84	1,64	1,46	1,31	1,09	0,94	
200	5,20	2,90	2,69	2,53	2,30	2,10	1,92	1,74	1,52	1,65	1,22	1,01	0,87	
220	5,72	2,82	2,61	2,46	2,23	2,03	1,85	1,62	1,42	1,26	1,13	0,94	0,81	
240	6,24	2,74	2,55	2,39	2,18	1,97	1,77	1,52	1,33	1,18	1,06	0,89	0,76	
260	6,76	2,67	2,48	2,31	2,12	1,91	1,67	1,44	1,28	1,11	1,00	0,83	0,71	
280	7,28	2,61	2,43	2,28	2,07	1,85	1,58	1,35	1,18	1,05	0,94	0,79	0,67	
300	7,80	2,56	2,37	2,23	2,02	1,80	1,49	1,28	1,12	0,99	0,89	0,74	0,64	
350	7,90	2,44	2,26	2,13	1,87	1,54	1,28	1,10	0,96	0,85	0,77	0,64	0,55	
400	10,40	2,34	2,17	2,02	1,69	1,35	1,12	0,96	0,84	0,75	0,67	0,56	0,48	
450	11,70	2,25	2,09	1,91	1,51	1,21	1,00	0,86	0,75	0,67	0,60	0,50	0,43	
500	13,00	2,17	1,99	1,82	1,36	1,09	0,91	0,78	0,68	0,60	0,54	0,45	0,39	
		portée admissible des poutres secondaires (m)			écartement des étais - portée admissible des poutres principales (m)									
Abaque pour une flèche à mi-travée limitée au 1/500														
La longueur admissible des poutres correspond à la portée admissible majorée de 25 à 35cm de chaque côté afin de garantir la stabilité des poutres sur leurs appuis														

2) DEFINIR LA LISTE DE MATERIEL

A présent, nous avons toutes les données nécessaires pour définir la liste de notre matériel et déterminer le nombre de tours PAL à mettre en place. Les entreprises possèdent en général des tours de section 136 x 136 cm. Tel était aussi mon cas. Sachant que la longueur de la pièce mesure 18.00 m, que les tours de chaque extrémité tour doivent se trouver à maximum 40-50 cm du mur, que nos tours PAL ont une longueur de 136 cm, nous pouvons établir le calcul suivant :

$$16.20 \text{ m} - (2 \times 40 \text{ cm}) = 15.40 \text{ m}$$

$$15.40 \text{ m} : (1.36 \text{ de tour PAL} + 1.46 \text{ d'espacement entre tour PAL}) = 5.46 \text{ admis } 6 \text{ tours.}$$

Nous aurons donc **6 tours PAL** dans le sens inverse de la portée

Pour le sens de la portée, nous avons 6.00 m. de longueur.

$$5.70 \text{ m} - (2 \times 40 \text{ cm}) = 4.90$$

$$4.90 : (1.36 \text{ de tour PAL} + 2.25 \text{ d'espacement entre filières principales}) = 1.35 \text{ admis } 2 \text{ tours}$$

A présent nous pouvons établir notre liste de matériel pour la commande au dépôt.

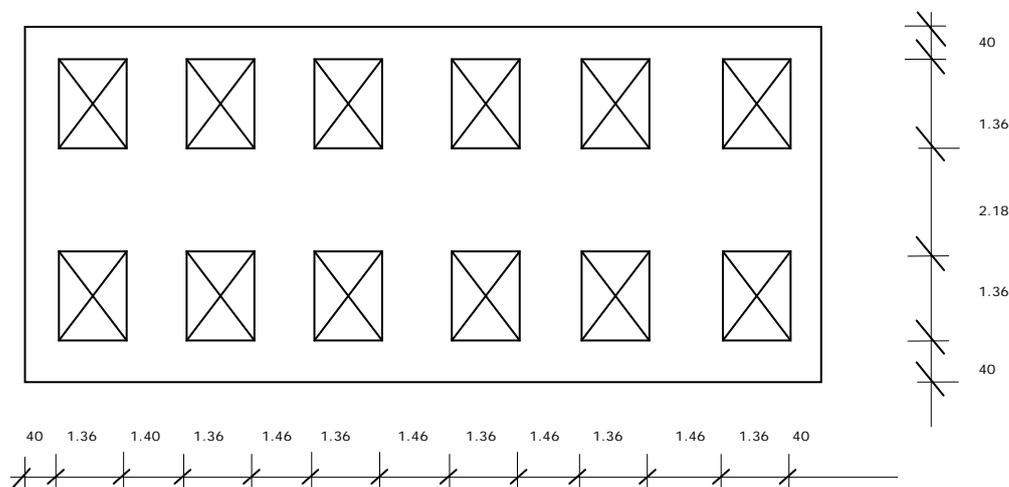
Nous savons que nous aurons $6 \times 2 = 12$ tours PAL. A présent, nous devons calculer combien d'éléments triangulaires seront nécessaires pour composer une tour. Notre hauteur à coffrer est de 6.60 m. En déduisant l'épaisseur des panneaux 3 plis de 2.7 cm et les filières principales et secondaires d'une épaisseur de 2×24 cm, nous obtenons 6.09 m. Nous utiliserons donc 6 éléments de 1.00 m et le reste sera comblé au moyen des pieds réglable.

Ce qui nous fait une quantité totale d'éléments triangulaires de

$$4 \text{ éléments triangulaires par étage} \times 6 \text{ étages} \times 12 \text{ tours} = \mathbf{288 \text{ éléments triangulaires}}$$

3) DESSINER SON PLAN D'ETAYAGE

A présent que nous avons toutes les données nécessaires, nous pouvons dessiner le plan d'étalement, ce qui permettra un gain de temps pour les ouvriers.



EXEMPLE DE CHANTIERS REALISES AU MOYEN DE TOURS PAL



CAVE DUBUIS ET RUDAZ, SION



SALLE DE SPECTACLE, FRIBOURG



CENTRE COMMERCIAL WESTSIDE BERN



NESSPRESSO, AVENCHES



NOUVEAU MARIN CENTRE, MARIN



PMI R&D Campus Neuchâtel

CONCLUSION

Pour avoir moi-même utilisé les tours PAL sur un de mes chantiers, j'ai été très séduit par la simplicité d'utilisation et surtout la rapidité de montage et de démontage. Ce système apporte une solution très intéressante pour le coffrage de grande hauteur.

SOURCE

www.palsolutions.ch