

## Grues à griffe sur tourelle: sollicitation du rail et de la charpente du toit

### Faible différence de frais par rapport aux ponts roulants

Benoît Dudant et Ludo Van Caenegem, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricole (FAT), CH-8356 Tänikon

Les grues à griffe sur tourelle sont une solution appropriée pour des bâtiments existants à toit raide, mais elles exigent souvent un renforcement coûteux de la charpente du toit. Faute de spécifications exactes quant à la sollicitation réelle de celle-ci, une installation de ce genre implique certains risques. Afin d'éviter des accidents, d'une part, et des

frais inutiles, d'autre part, il ne faut ni sous-estimer, ni surestimer les forces effectivement transmises aux charpentes.

Le calcul exact de la sollicitation réelle du rail et de la charpente étant très compliqué et exigeant beaucoup de temps, une méthode de calcul simplifiée a été développée.

Les graphiques et les tableaux mon-

trrent la façon dont ces sollicitations peuvent être influencées favorablement par le choix du type de grue approprié et par modification de la voie et de l'empattement du chariot.

Pour une nouvelle construction, la grue à griffe sur tourelle et le pont roulant occasionnent des frais totaux (bâtiment et grue/pont roulant) du même ordre.

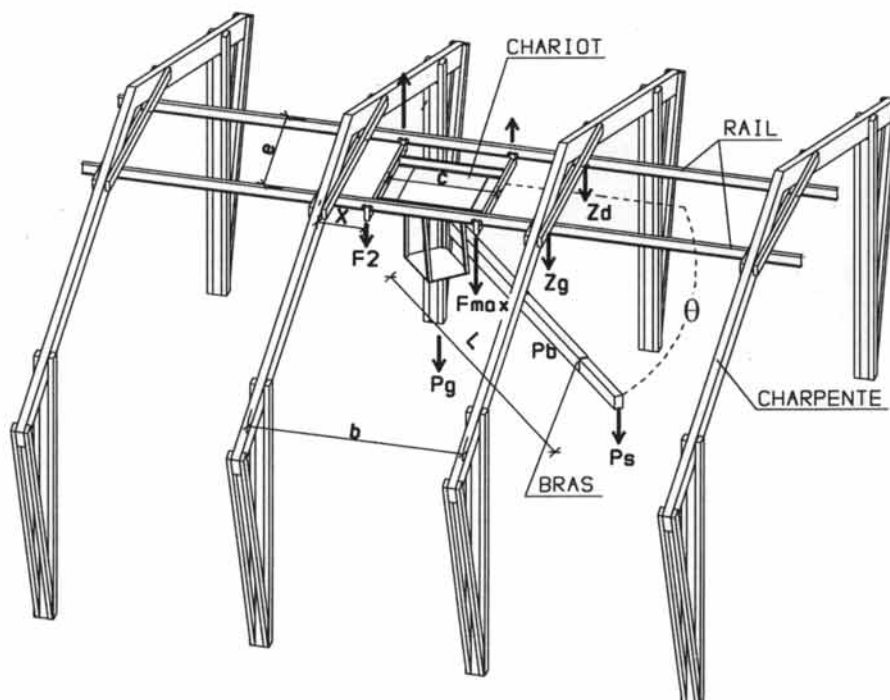


Fig. 1. Grue à griffe sur tourelle - forces exercées sur le rail et la charpente.

Contenu	Page
Problème	2
Galets du chariot	2
Profil du rail	3
Etriers de suspension	5
Forces exercées sur les charpentes	5
Voie et empattement du chariot	7
Renforcement de la charpente existante	7
Grue à griffe sur tourelle et pont roulant - comparaison des frais pour une nouvelle construction	8
Bibliographie	10

## Problème

Lors de l'installation d'une grue à griffe sur tourelle dans une grange existante, il faut se poser la question si la charpente du toit doit être renforcée. Il arrive souvent que le renforcement de la charpente existante est plus coûteux que la grue.

Puisque le calcul exact des forces réelles exercées sur le rail et la charpente est compliqué et exige beaucoup de temps, une méthode de calcul simplifiée a été développée. Elle permet de déterminer ces forces en peu de temps et avec un minimum de calculs. Le fabricant de la grue et le charpentier peuvent en tirer des conclusions quant à la façon de réduire les sollicitations par modification de paramètres relatifs au chariot et au rail.

Tableau 1. Principaux paramètres statiques et leur plage de variation (fig. 1)

Paramètre	Plage de variation
Poids propre $P_g$	11 000 - 25 000 N
Poids du bras $P_b$	500 - 1000 N/m
Capacité de levage $P_s$ à bras déplié	2000 - 10 000 N
Capacité de levage $P_s'$ à bras rentré	6000 - 14 000 N
Vitesse de levage	8 - 60 m/min
Rayon d'action L	5,30 - 11,30 m
Empattement c	1,50 - 4,00 m
Voie e	1,00 - 5,00 m

Les forces s'exerçant sur les quatre galets du chariot sont fonction du poids propre de la grue, de la charge utile ainsi que du moment (force x levier) résultant de la charge utile, de la griffe et du bras de la grue. Elles sont transmises à la charpente par l'intermédiaire des rails.

Avant de calculer les forces exercées sur la charpente, il faut déterminer celles qui agissent sur les galets du chariot (fig. 1). Ces dernières engendrent un moment s'exerçant sur le rail et occasionnant des contraintes de flexion. Le rail est souvent fait d'une seule pièce (éventuellement soudée) et doit donc être considéré comme «poutre» sur multiples appuis. Les points de suspension font ressort à cause du faible affaissement des charpentes. Les forces transmises à la charpente peuvent être déduites des forces agissant sur les galets du chariot et de l'évolution du moment le long du rail.

Les calculs s'effectuent en quatre étapes:

- calcul de la force maximale exercée sur l'un des galets du chariot; cette valeur sert au dimensionnement des galets et au calcul de la flexion transversale de l'aile inférieure du rail;
- calcul du moment maximal agissant sur le rail afin de déterminer le profil nécessaire;

- calcul de la force maximale s'exerçant sur la charpente; cette valeur est décisive quant à l'étrier de suspension du rail;
- calcul du couple maximal des forces agissant sur la charpente; pour le dimensionnement des charpentes, cette valeur doit être additionnée aux charges normales (poids propre, neige, vent).

## Galets du chariot

### Forces statiques

Lorsqu'une grue tourne autour de son axe, les forces exercées sur les quatre galets du chariot diffèrent les unes des autres. La force maximale pouvant s'exercer sur l'un des galets dépend de différents paramètres (tableau 1). Ceux-ci varient fortement d'une grue à l'autre.

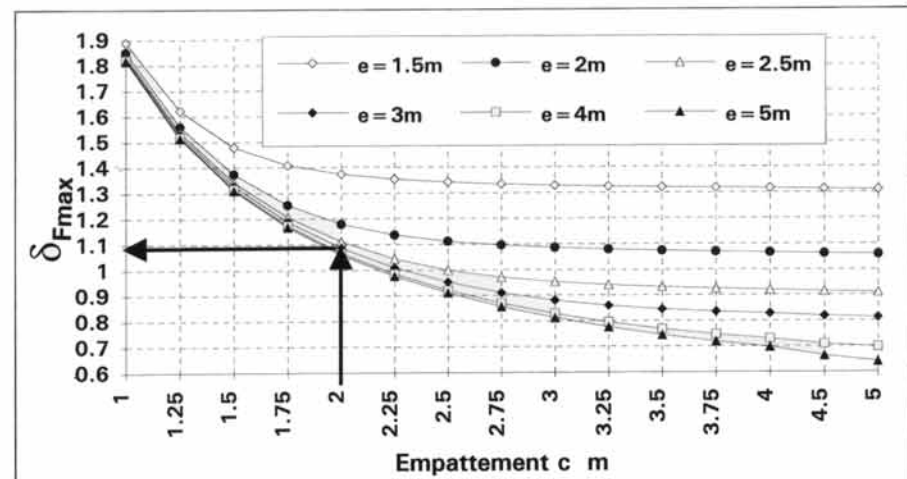


Fig. 2. Coefficient  $\delta_{Fmax}$  en fonction de la voie (e) et de l'empattement (c).

La force exercée sur le rail atteint son maximum lorsque le bras de la grue et la voie de roulement forment un certain angle  $\theta$  (voir Rapport FAT no 442). On commence par calculer la force maximale pour un chariot de référence. Celui-ci est de forme carrée (voie  $e =$  empattement  $c = 2,5$  m).

$$F_{st\ ref\ max} = \frac{P_g + P_s}{4} + L(P_s + P_b) \cdot 0,283 \text{ N (I)}$$

Ensuite, on corrige cette valeur en la multipliant par un coefficient qui se rapporte à la voie et à l'empattement de la grue examinée. On cherche la courbe qui représente la voie  $e$  réelle et relève le coefficient  $\delta_{Fmax}$  sur l'axe des ordonnées (fig. 2).

$$F_{st\ max} = F_{st\ ref\ max} \cdot \delta_{Fmax} \text{ N}$$

$\delta_{Fmax}$  et  $F_{st\ max}$  sont d'autant plus faibles que la voie et l'empattement sont élevés (voir Rapport FAT no 442, fig. 13 et 14).

### Forces dynamiques

Outre la force statique  $F_{st\ max}$ , il faut considérer la force dynamique verticale occasionnée par l'accélération du bras de la grue et de sa charge. Les normes existantes concernant les coefficients dynamiques ne se rapportent qu'aux ponts roulants. En les appliquant aux grues à griffe sur tourelle, on obtiendrait des forces dynamiques bien trop basses. Lors des essais pratiques effectués par la FAT, les forces dynamiques variaient entre 30 % et 100 % des forces statiques, suivant le type de grue et l'utilisateur (fig. 3). Dans le cas extrême, l'ensemble des forces exercées sur les galets (forces statiques et dynamiques) s'élevait donc au double des forces purement statiques. L'application de la norme DIN 15018 ne donne qu'un coefficient de 1,23, ce qui signifie: forces dynamiques = 23 % des forces statiques.

Compte tenu des facteurs de sécurité déjà existants, nous recommandons un coefficient dynamique ( $\psi$ ) de **1,5**.

La force maximale totale est donc:

$$F_{max} = F_{st\ ref\ max} \cdot \delta_{Fmax} \cdot \psi \text{ N (II)}$$

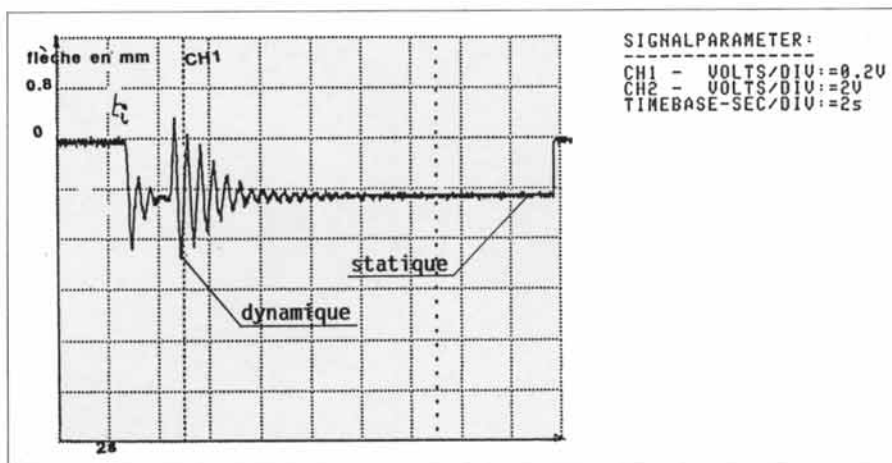


Fig. 3. Forces statiques et dynamiques – diagramme résultant d'un essai effectué par la FAT.

Tableau 2. Paramètres pour les exemples calculés

Poids propre $P_g$	20 000 N
Poids du bras $P_b$	800 N/m
Capacité de levage $P_s$ à bras déplié	5000 N
Rayon d'action $L$	8,00 m
Empattement $c$	2,00 m
Voie $e$	3,00 m
Ecartement des appuis $b$	4,40 m
Coefficient dynamique $\psi$	1,50

### Profil du rail

Le profil nécessaire est déduit du moment maximal agissant sur le rail. Etant donné qu'une force est exercée sur le rail par deux galets en même temps, la force maximale exercée par l'un des galets ( $F_{max1}$ , formule II) ne suffit pas, mais il faut également considérer l'effet du deuxième galet ( $F_2$ ). Lorsque le total des deux forces atteint son maximum, l'angle  $\theta$  est généralement

Tableau 3. Calcul de la force  $F_{max}$  (paramètres de la grue selon tableau 2)

$F_{st\ ref\ max}$ (formule I)	24,8 kN
$\delta_{Fmax}$ (fig. 2)	1,08
$F_{max}$ (formule II)	40,2 kN

le même que pour  $F_{max}$ . En l'occurrence, le galet supportant la charge maximale se trouve au milieu entre deux appuis.

Tout comme  $F_{max}$ , la force  $F_2$  est d'abord calculée pour le chariot de référence:

$$F_{2\text{ st ref}} = \frac{P_g + P_s}{4} \text{ N (III)}$$

La valeur obtenue est ensuite corrigée par le coefficient  $\delta_{F2}$  (fig. 4), se rapportant à la voie et à l'empattement réels, et par le facteur dynamique  $\psi$ :

$$F_2 = F_{2\text{ st ref}} \cdot \delta_{F2} \cdot \psi \text{ N (IV)}$$

Le coefficient  $\delta_{F2}$  et la force  $F_2$  diminuent lorsque la voie augmente et que l'empattement diminue.

Le moment maximal agissant sur le rail est calculé à partir des deux forces  $F_{max}$  et  $F_2$ , de l'empattement  $c$  et de l'écartement des appuis  $b$ . En une première phase, le rail est simplement considéré comme une «poutre isostatique». On calcule le moment maximal pour ce système de référence et le corrige ensuite par un coefficient ( $\delta_M$ ) afin de tenir compte du fait que le rail est en vérité une «poutre» sur multiples appuis élastiques. Un supplément tenant compte de la force dynamique est finalement ajouté à la valeur corrigée.

**Le rail comme «poutre isostatique»**

Le moment maximal se calcule selon l'une des formules suivantes (formule V si l'empattement [c] est inférieur à la moitié de l'écartement des appuis [b], formule V' s'il est supérieur):

pour  $c < b/2$ :

$$M_{\text{réf max}} = F_{\text{max}} \frac{b}{4} + \frac{F_2}{b} \left( \frac{b}{2} - c \right) \left( \frac{b}{2} + c \right) \text{ Nm (V)}$$

pour  $c \geq b/2$ :

$$M_{\text{réf max}} = F_{\text{max}} \frac{b}{4} \text{ Nm (V')}$$

$F_{max}$  et  $F_2$ : forces exercées par les galets sur le rail N

- c: empattement (m)
- b: écartement des appuis (m)

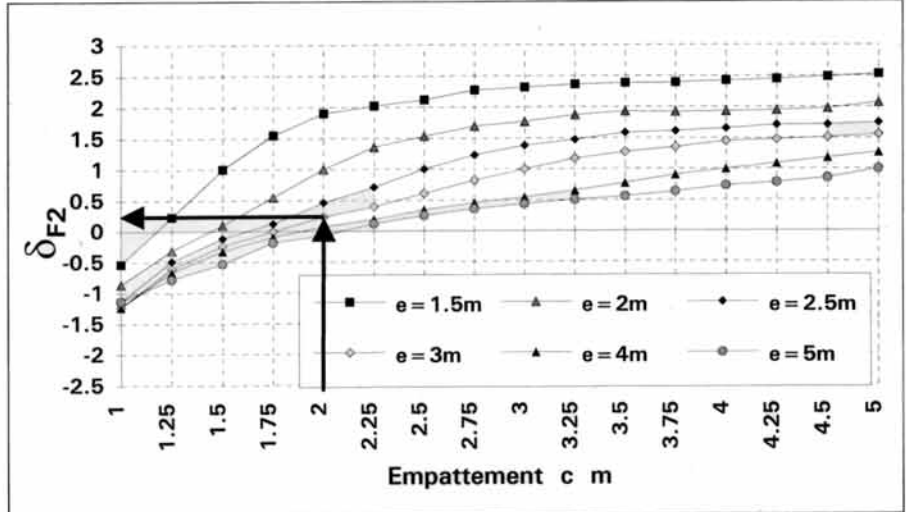


Fig. 4. Coefficient  $\delta_{F2}$  en fonction de la voie (e) et de l'empattement (c).

**Le rail comme «poutre» sur multiples appuis élastiques**

Le coefficient  $\delta_M$  (tableau 4) sert à transformer le rail d'une «poutre isostatique» en une «poutre» sur multiples appuis dont les points de suspension (charpentes) s'affaissent de pas plus de 1/700 de l'écartement des appuis. Le moment maximal réel exercé sur le rail est donc:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{réf max}} \cdot \delta_M \text{ Nm (VI)}$$

Le moment de résistance nécessaire et le profil du rail peuvent être déduits selon la formule suivante:

$$W_x > \frac{M_{\text{max}} \cdot 1000}{\sigma_{\text{adm}}} \text{ mm}^3$$

Si l'écartement des appuis est inférieur à 5 m et que la contrainte de flexion maximale est limitée à 160 N/mm<sup>2</sup>, il n'est pas nécessaire de calculer la flèche du rail.

**Tableau 4. Coefficient  $\delta_M$  en fonction de l'écartement des appuis (b)**

b en m	$\delta_M$
4	0,9
5	0,88
6	0,86

**Tableau 5. Calcul du profil du rail (paramètres de la grue selon tableau 2)**

$F_{\text{max}}$ (tableau 3)	40,2 kN
$F_{2\text{ st ref}}$ (formule III)	6,25 kN
$\delta_{F2}$ (fig. 4)	0,25
$F_2$ (formule IV)	2,34 kN
$M_{\text{réf max}}$ (formule V)	44,7 kNm
$\delta_M$ (tableau 4)	0,9
$M_{\text{max}}$ (formule VI)	40,2 kNm
<b>Profil</b> ( $\sigma_{\text{adm}} = 160 \text{ N/mm}^2$ )	IPE 220

### Etriers de suspension

Le rail est suspendu aux charpentes. Les étriers de suspension doivent résister à la force verticale maximale possible. En règle générale, la force verticale atteint son maximum lorsque le bras de la grue forme un angle de 90° avec la voie de roulement. Cette valeur se calcule selon la formule suivante:

$$F_{\text{étrier}} = \frac{(2b-c)}{b} \cdot A \cdot \delta_{\text{étrier}} \cdot \psi \text{ N (VII)}$$

$$A = \left[ \frac{P_g + P_s}{4} + \frac{L}{2e} \left( P_s + \frac{LP_b}{2} \right) \right]$$

Grâce au coefficient  $\delta_{\text{étrier}}$ , on obtient le résultat pour une «poutre» sur multiples appuis élastiques (charpentes). Ce coefficient est fonction de l'empattement c (tableau 6).

**Tableau 6. Coefficient  $\delta_{\text{étrier}}$  en fonction de l'empattement (c)**

Empattement c	$\delta_{\text{étrier}}$
1 m < c < 2,0 m	1,03
2 m < c < 2,5 m	1,06
c > 2,5 m	1,09

**Tableau 7. Calcul de la force  $F_{\text{étrier}}$  (paramètres de la grue selon tableau 2)**

$\delta_{\text{étrier}}$ (tableau 6)	1,03
$F_{\text{étrier}}$ (formule VII)	41,0 kN

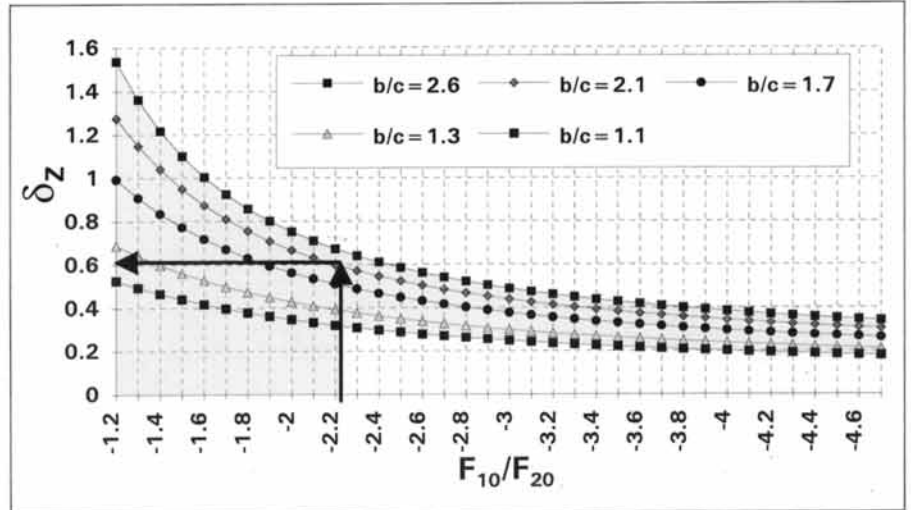


Fig. 5. Coefficient  $\delta_z$  en fonction de l'empattement (c), de l'écartement des appuis (b) et du rapport  $F_{10}/F_{20}$ . Cette valeur sert à déterminer la position la plus défavorable du chariot.

### Forces exercées sur les charpentes ( $Z_g$ et $Z_d$ )

Les deux rails transmettent une force à chacune des charpentes ( $Z_g$  et  $Z_d$ ). L'effet total de ces forces est déterminant pour la sollicitation de la charpente. Il atteint généralement son maximum lorsque les deux forces sont égales, c'est-à-dire lorsque le bras de la grue est parallèle aux rails:

$$Z_g = Z_d = \frac{1}{15b^3} [A+B+C+D] \cdot 0,75 \cdot \psi \text{ N (VIII)}$$

avec:

$$A = 15 F_{10} b^2 (b-X)$$

$$B = 15 F_{20} b^2 (b-X-c)$$

$$C = 9 F_{10} X (b-X) (2b-X)$$

$$D = 9 F_{20} (b-X-c) (X+c) (2b-X-c)$$

$$F_{10} = \frac{P_g + P_s}{4} + \frac{L}{2c} \left( P_s + P_b \frac{L}{2} \right) \text{ N (IX)}$$

$$F_{20} = \frac{P_g + P_s}{4} + \frac{L}{2c} \left( P_s + P_b \frac{L}{2} \right) \text{ N (X)}$$

(la valeur  $F_{20}$  étant généralement négative)

0,75 = coefficient tenant compte de l'affaissement des charpentes

$$X = \delta_z \cdot c \text{ m (XI)}$$

X représente l'écart le plus défavorable ( $Z = \max.$ ) entre la charpente et le galet

**Tableau 8. Calcul des forces maximales ( $Z_g = Z_d$ ) s'exerçant sur la charpente (paramètres de la grue selon tableau 2)**

$F_{10}$ (formule IX)	22,65 kN
$F_{20}$ (formule X)	-10,15 kN
b/c (tableau 2)	2,2
$F_{10}/F_{20}$	-2,23
$\delta_z$ (fig. 5)	0,61
X (formule XI)	1,22
$Z_g = Z_d$ (formule VIII)	18,93 kN

gauche ( $F_{20}$ ). Le coefficient  $\delta_z$  (axe des ordonnées, fig. 5) tient compte des rapports entre l'écartement des appuis b et l'empattement c du chariot, d'une part, et entre  $F_{10}$  et  $F_{20}$  (abscisse), d'autre part.

Exemple (tableau 8): avec pleine charge utile et à bras déplié de la grue, deux forces de 18,93 kN s'exercent sur la charpente, la voie e étant la distance entre les deux forces.

Le tableau 9 présente les résultats pour les grues examinées par la FAT.



Tableau 9. Grues examinées par la FAT: forces, moments et sollicitation de la charpente

Firme Type	Poids, griffe non comprise N	Empattement cm	Voie cm	Rayon d'action cm	Capacité de levage N	Profil du rail $M_{max}$ kNm	Suspension du rail $F_{détier}$ kN	Sollicitation de la charpente $Z_g = Z_d$ kN
ASCO DKL-1AF	16 150	290	250	530	10 000	32,0	40,4	18,7
ASCO DKH 2 DT 250	17 550	180	250	780	2150	26,6	31,5	14,0
Bücheler HS duplo 900	22 150	260	250	740	4050	30,1	39,8	18,0
BUOB HWD-2-16.5	19 800	224	400	740	4600	30,9	31,2	18,3
FAMA	15 380	200	250	672	3790	25,4	31,7	13,8
STEPA HDK 57 W	14 600	255	250	752	5600	31,0	39,5	17,1
SUMAG DKH 18 S	22 450	162	250	837	5570	49,9	55,8	23,3
BUOB HWD-F1-15	15 850	224	280	658	4000	24,3	29,2	14,1
SUMAG DKH 12 S 250	19 010	180	250	537	6860	33,6	39,3	17,8
MARATON HDK 500 III W	20 020	262	250	1135 (mesures effectuées à 600 cm)	7360	34,7	45,2	20,2
MARATON HDK 500 III L	18 520	262	250	1135	4000	41,3	52,2	22,7
STEPA HDK 510 S	15 150	180	250	1000	3250	37,2	42,1	17,6

### Voie (e) et empattement (c) du chariot

L'élargissement de la voie a particulièrement pour effet de réduire la force exercée sur l'étrier de suspension (tableau 10). Cela permet également de choisir un plus petit profil du rail (réduction du moment). Les forces  $Z_g$  et  $Z_d$  agissant sur les charpentes ne diminuent pas, mais elles s'éloignent du milieu de la charpente et ont ainsi un effet plus faible.

L'augmentation de l'empattement (de 2 à 3 m) a pour effet de réduire les forces  $Z_g$  et  $Z_d$ .

Tableau 10. Forces ( $F_{max}$ ,  $F_{étrier}$ ), moment exercé sur le rail ( $M_{max}$ ) et sollicitation de la charpente ( $Z_g$ ,  $Z_d$ ) en fonction de la voie et de l'empattement du chariot

	Voie = 2 m Empattement = 2 m	Voie = 3 m Empattement = 2 m	Voie = 4 m Empattement = 2 m	Voie = 4 m Empattement = 3 m
$F_{max}$ kN	43,92	40,20	39,83	30,89
%	100	92	91	70
$M_{max}$ kNm	45,09	40,20	39,59	30,59
%	100	89	88	68
$F_{étrier}$ kN	55,66	41,03	35,51	31,14
%	100	74	64	56
$Z_g, Z_d$ kN	18,93	18,93	18,93	17,82
%	100	100	100	94

### Renforcement de la charpente existante

La question si la charpente existante du toit résiste à la charge supplémentaire occasionnée par une grue à griffe sur tourelle doit être décidée d'un cas à l'autre. Les charpentes déjà construites de façon à résister à de lourdes charges de neige (région de montagne), ne doivent guère être renforcées (fig. 6). Dans des cas pareils, il ne faut souvent qu'un entrain moisé supplémentaire. En renforçant la charpente, il faut veiller à ne pas trop limiter le rayon d'action de la grue. Les contre-fiches (fig. 7) ne doivent pas entrer dans le tas de foin ventilé. Il faut en tout cas les entourer d'une cloison afin d'éviter des pertes d'air. Le remplacement des charpentes d'un bâtiment existant est coûteux (fig. 8 et 9). Il n'est à envisager qu'à l'occasion d'une rénovation de la toiture.

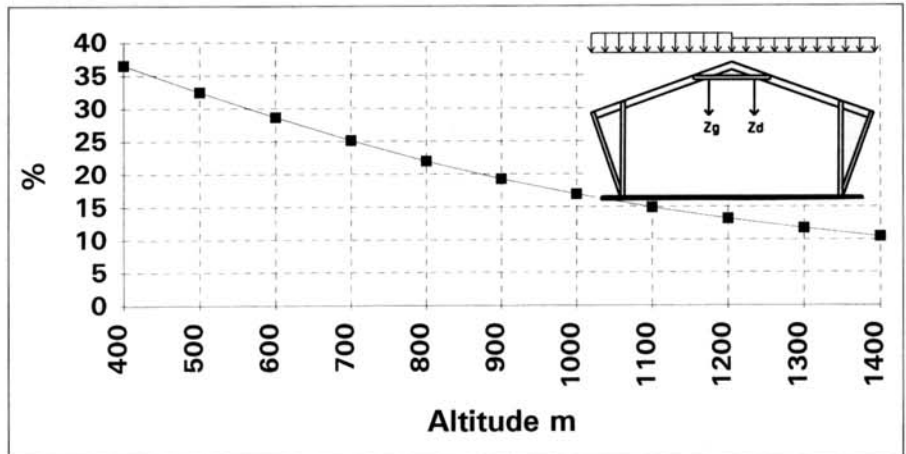


Fig. 6. Forces exercées par la grue en pour cent de la sollicitation totale de la charpente, en fonction de l'altitude (plus supplément éventuel, suivant la région). Paramètres de la grue: voir tableau 2, portée de la charpente: 14,0 m, hauteur latérale: 5 m, inclinaison du toit: 30°; portiques à trois articulations en bois avec contre-fiches.



Fig. 7. Grue à griffe sur tourelle installée dans une grange existante. Outre un entrain moisé supplémentaire, les charpentes ont été renforcées jusqu'au sol au moyen de contre-fiches. Si celles-ci entrent dans le tas de foin ventilé, elles doivent être entourées d'une cloison afin de prévenir des pertes d'air.



Fig. 8. Les charpentes existantes ont été remplacées par des portiques en bois lamellé collé – une solution coûteuse.



Fig. 9. L'entrait moisé sur lequel la grue est montée repose des deux côtés sur une poutre longitudinale en bois lamellé collé. Celle-ci s'étend par-dessus le tas de foin (12 m).

### Grue à griffe sur tourelle et pont roulant – comparaison des frais pour une nouvelle construction

Lors d'une nouvelle construction, il faut considérer le poids total de la grue et choisir des charpentes plus fortes. Cela implique des frais supplémentaires pour la toiture. Le pont roulant n'a, par contre, qu'une faible influence quant à la sollicitation de la charpente. En plus, il permet de monter des tirants en fer rond, ce qui rend la construction plus légère.

En revanche, il faut, dans le cas du pont roulant, des parois latérales et des parois de pignon plus hautes pour le même volume de stockage, ce qui renchérit l'enveloppe du bâtiment et les appuis.

Les coûts d'une grue à griffe sur tourelle et d'un pont roulant ainsi que les frais de construction des parois et de la toiture d'un bâtiment fermé et d'un bâtiment ouvert ont été calculés pour une charpente en bois et une charpente métallique (tableaux 11 et 12).

Dans le cas d'un bâtiment entièrement fermé avec une charpente en bois (portiques en bois lamellé collé avec contre-fiches, fig. 10), le coût total est quelque peu inférieur pour la grue à griffe sur tourelle (tableau 11). Le pont roulant permet une charpente bien plus légère, mais exige des appuis plus hauts. Son prix un peu plus avantageux ne peut pas compenser le coût supplémentaire des parois.

Les ponts roulants sont une bonne solution pour les bâtiments fermés, particulièrement pour ceux avec des charpentes de portée importante (> 18 m) et dans lesquels la capacité de levage maximale est exigée sur tout le rayon d'action. Pour les constructions en bois, il importe avant tout que les charpentes ne se déforment pas (affaissement), car une modification de la voie peut entraver le roulement.

Pour les bâtiments entièrement ouverts et les constructions où les parois latérales font défaut à cause d'un apentis, le pont roulant occasionne généralement des frais moins élevés.

Dans le cas d'un bâtiment fermé avec une charpente métallique (fig. 11), la grue à griffe sur tourelle et le pont rou-



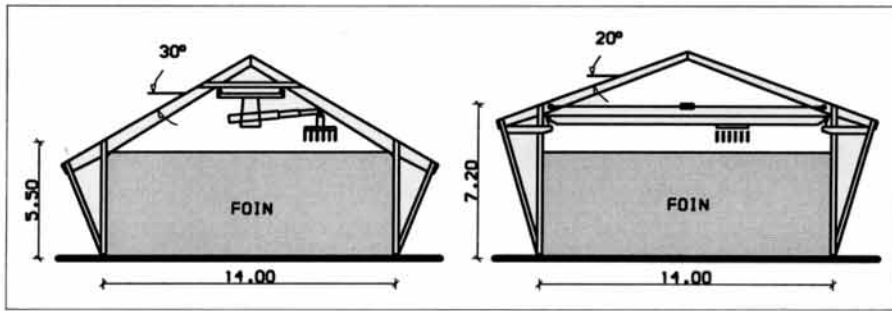


Fig. 10. Bâtiment de stockage du foin, construction en bois (portiques en bois lamellé collé avec contre-fiches), avec grue à griffe sur tourelle (a) ou pont roulant (b)

**Tableau 11. Comparaison des coûts entre un bâtiment avec grue à griffe sur tourelle et un bâtiment avec pont roulant (fig. 10a et b); portiques en bois lamellé collé avec contre-fiches**

	Grue à griffe sur tourelle Fr.	Pont roulant Fr.
Construction de la charpente	24 900.--	23 500.--
Enveloppe du bâtiment (sol non compris)	90 000.--	96 700.--
Grue/pont roulant	46 600.--	44 600.--
Coût total, parois comprises	161 500.-- 100,0 %	164 800.-- 102,0 %
Coût total, parois non comprises	116 400.-- 100,0 %	109 500.-- 94,1 %

Base de calcul: Système de prix par modules unitaires, édition 1994; portiques en bois lamellé collé: Fr. 1500.-/m<sup>3</sup>, montage non compris

lant occasionnent des frais totaux du même ordre. Sans parois, les frais sont d'environ 10 % moins élevés pour le pont roulant (tableau 12). Les frais moins élevés par comparaison à la charpente en bois s'expliquent en partie par l'absence d'un auvent.

### Recommandations pour l'installation d'une grue à griffe sur tourelle dans un bâtiment existant

Pour les bâtiments existants, il faut en premier lieu choisir le type de grue le mieux adapté à la forme de la toiture. La grue doit répondre aux exigences

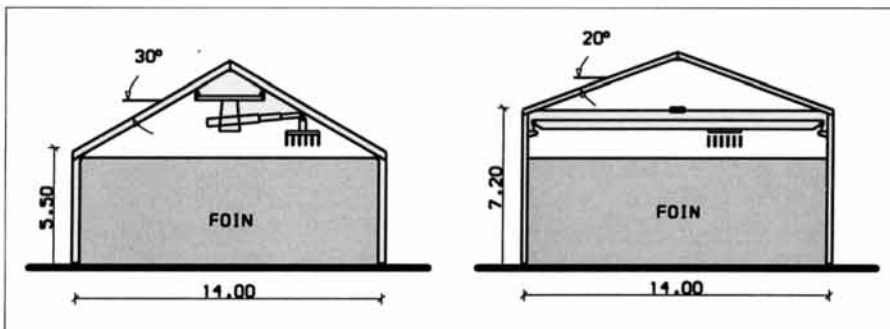


Fig. 11. Bâtiment de stockage du foin, charpente métallique, avec grue à griffe sur tourelle (a) ou pont roulant (b)

**Tableau 12. Comparaison des coûts entre un bâtiment avec grue à griffe sur tourelle et un bâtiment avec pont roulant (fig. 11a et b); charpente métallique**

	Grue à griffe sur tourelle Fr.	Pont roulant Fr.
Charpente métallique	16 600.--	12 800.--
Enveloppe du bâtiment (sol non compris)	81 000.--	88 400.--
Grue/pont roulant	46 600.--	44 600.--
Coût total, parois comprises	144 200.-- 100,0 %	145 800.-- 101,1 %
Coût total, parois non comprises	99 200.-- 100,0 %	90 500.-- 91,2 %

Base de calcul: Système de prix par modules unitaires, édition 1994; charpente métallique: Fr. 3.-/kg, montage compris

réelles et non pas être surdimensionnée (longueur du bras, charge utile). Le poids du chariot et celui du bras dépendent normalement de la longueur du bras et de la charge utile. Outre le poids propre, la charge utile et la portée de la grue, c'est avant tout l'empattement du chariot qui importe. Plus celui-ci est élevé, plus les forces agissant sur la charpente sont faibles. Compte tenu du type de grue choisi (rayon d'action, voir Rapport FAT no 442, fig. 9) et de la place disponible, la voie doit être aussi large que possible. Après avoir déterminé le type de grue et la voie selon ces exigences, on peut calculer ou faire calculer les forces  $Z_g$  et  $Z_d$  s'exerçant sur la charpente (for-

mule VIII). Ensuite, il faut faire vérifier par un expert si la charpente doit être renforcée ou non.

La sollicitation de la charpente peut encore légèrement être réduite par le choix d'un profil de rail plus fort qu'effectivement nécessaire. Un rail IPE 240 réduit la sollicitation de la charpente d'environ 5 % par rapport à un rail IPE 220.

Dans certains cas, on peut éviter un renforcement coûteux de la charpente en choisissant le type de grue approprié ou en faisant adapter le chariot (voie, empattement). Il est généralement bien moins coûteux de faire adapter un chariot lors de la fabrication que d'adapter des charpentes existantes après coup.

### Bibliographie

Dudant, B. [1993]: Incidences des appareils de manutention des fourrages sur la structure des bâtiments de stockage. Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux (B). Travail de fin d'études.

Nydegger, F. [1994]: Quelles prestations offrent les ponts-roulant à griffe sur tourelle? Rapport FAT no 442.

SIA-Norm 160, Ausgabe 1989: Einwirkungen auf Tragwerke.

SIA-Norm 161, Ausgabe 1990: Stahlbauten.