

Sécurité structurale des caillebotis en béton

Contrôles réguliers nécessaires

Ludo Van Caenegem, Alfons Schmidlin et Robert Szulc, Station fédérale de recherches en économie et technologie agricoles (FAT), Tänikon, CH-8356 Ettenhausen

Les caillebotis en béton placés au-dessus des canaux ou des fosses à lisier représentent un certain risque à long terme. Si l'on observe les vieilles poutres et les plaques par en dessous, on constate que le béton a éclaté par endroit et qu'il présente des fissures. Ces fissures ne sont pas dues uniquement à l'exercice continu de charges dynamiques, mais peuvent résulter de dommages causés par le transport ou remonter à la mise en place du caillebotis. Les gaz du lisier sont des gaz agressifs qui pénètrent à travers les fissures jusqu'aux barres d'armature et provoquent la corrosion. La rouille ronge l'armature et diminue lentement, mais sûrement, la portance de la

structure. Un effondrement soudain peut causer d'importants dommages aux hommes et aux animaux.

Dans la pratique, contrôler l'état des caillebotis exige beaucoup de temps et beaucoup de travail. Etant donné que les méthodes de contrôle indirectes, comme la mesure du fléchissement à charge réduite, ne peuvent déceler que les éléments qui menacent de s'écrouler, il est indispensable d'effectuer un contrôle visuel régulier de tous les éléments. Les essais de charge réalisés sur les vieilles plaques caillebotis montrent que la désolidarisation soudaine des barres d'armature et de leur enveloppe en béton peut avoir lieu avant que

la tension de rupture ne soit atteinte dans la barre d'armature proprement dite. De longues fissures horizontales parallèles à l'armature sont les signes avant-coureurs de ce danger.

La prudence est notamment recommandée pour les éléments de caillebotis en béton situés au-dessus des fosses à lisier et sur lesquels des véhicules sont amenés à circuler. Lorsqu'on utilise la surface du caillebotis comme lieu d'entreposage ou comme voie de passage pour l'épandage du fumier et du lisier ou encore pour le chargement des râteliers, on court le risque de dépasser la charge utile autorisée, notamment lorsque la portée est importante.

Ce rapport a été rédigé en collaboration avec le SPAA et le SAB.



Fig. 1: La rupture soudaine d'anciens éléments caillebotis peut entraîner des accidents mortels (photo Roman Euler, SAB).

Sommaire	Page
Problématique	2
Impacts	2
Principes de mesure des caillebotis en béton	3
Contrôle de l'état des anciens éléments caillebotis	5
Essais de charge	6
Plaques de 3 m (aire d'affouragement)	7
Dommages constatés et portance	9
Recommandations	9
Conclusions	10

Problématique

De nombreuses étales comportent des éléments de caillebotis qui ont 15 ans et plus. Généralement, ces éléments ne correspondent plus aux exigences actuelles. Leur armature est souvent insuffisamment recouverte de béton, les barres d'armature sont trop minces ou encore les éléments ne sont pas assez hauts. Au fil du temps, des fissures se sont formées, le béton a éclaté, notamment à cause d'un sous-dimensionnement. L'impact continu des gaz agressifs du lisier a corrodé les barres d'armature et réduit la portance de la structure dans son ensemble. Cette situation peut entraîner un effondrement soudain du caillebotis avec des conséquences qui peuvent s'avérer fatales.

La surcharge des éléments du caillebotis représente une deuxième source de risque. C'est le cas notamment lorsque des véhicules circulent sur les nouveaux caillebotis des aires d'exercice situées à proximité de la fosse à lisier. En cas de passage de véhicules lourds, la charge autorisée (indications du fabricant) peut être nettement dépassée, notamment lorsque la portée de la structure est importante.

Impacts

Les caillebotis en béton sont soumis à un processus de vieillissement plus important que les autres éléments en béton. Au fil du temps, des fissures se forment, le béton éclate. Ces modifications sont dues à des impacts divers.

- **Impact mécanique.** Lorsque l'élément a été mal dimensionné (hauteur trop faible ou diamètre de l'armature trop réduit), le fléchissement devient trop important en cas de charge et des fissures verticales apparaissent.
- **Manipulation incorrecte** lors du transport, de l'entreposage ou de la pose.
- **Couverture en béton insuffisante** pour l'armature. Si la couverture est trop réduite, la liaison entre le béton et l'armature ne suffit pas pour empêcher un glissement des barres d'armature. Le glissement des barres d'armature à nervures peut faire éclater l'enveloppe de béton et faire apparaître des fissures horizontales (fig. 2).



Fig. 2: Fissures horizontales très nettes, dessous, à l'extrémité de l'élément, signes avant-coureurs de la désolidarisation de la barre d'armature et du revêtement en béton.



Fig. 3: Revêtement en béton insuffisant pour un nouveau caillebotis.

La couverture enrobante en béton devrait mesurer au moins 20 mm. Les caillebotis anciens ne sont hélas pas les seuls endroits où l'on constate des couvertures en béton insuffisantes. On en trouve aussi sur de nouveaux éléments de certains fabricants (fig. 3).

- **Impact biochimique.** Les caillebotis en béton se trouvent dans un milieu extrêmement agressif. Les gaz qui émanent du lisier attaquent en permanence le ciment et l'agrégat. La décomposition anaérobie du lisier libère de l'acide sulfhydrique (H_2S). L'acide sulfhydrique peut se dissoudre en condensat en bas, au niveau des éléments du caillebotis, s'il n'est pas évacué par une aération suffisamment puissante. Le condensat contient des bactéries actives qui forment de l'acide sulfurique (H_2SO_4) à partir de l'acide sulfhydrique. L'acide réagit avec l'alu-

minate de tricalcium présent dans le ciment Portland et peut former le minéral Ettringite. Cette réaction s'accompagne d'une très forte augmentation de volume et entraîne l'éclatement du béton en surface. Lorsque la couverture en béton est insuffisante, les gaz pénètrent jusqu'à l'armature et l'attaquent. Le diamètre des barres d'armature augmente sous l'effet de la corrosion et fait éclater d'autres éléments en béton.

La rouille détruit l'armature et réduit lentement, mais sûrement, la portance du caillebotis en béton. Le temps écoulé avant d'atteindre le point critique (risque de rupture imminente) dépend essentiellement du diamètre des barres d'armature. Plus le diamètre est important, plus les barres en fer durent longtemps avant d'être rongées par la rouille.

Ces réflexions montrent que les caillebotis en béton à base de barres d'armature fines (6–8 mm) et nombreuses présentent plus de risques que les caillebotis en béton avec une seule barre d'armature, mais plus épaisse (12–16 mm). Il faut cependant relativiser cette affirmation. Les caillebotis peuvent casser, non seulement à cause de la rupture de l'armature, mais aussi à cause de l'éclatement des barres hors de leur enveloppe en béton.

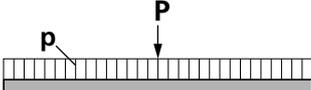
Principes de mesure des caillebotis en béton

La portance des poutres et des plaques caillebotis dépend essentiellement de la hauteur des éléments, de l'armature, de la qualité du béton et de la portée. Le fléchissement est inversement proportionnel à la puissance trois de la hauteur des éléments. Cela signifie qu'un élément de 20 cm de haut fléchit deux fois moins qu'un élément de 16 cm de haut, sous une charge équivalente. Plus le fléchissement est faible, plus le risque de formation de fissures est réduit.

Les poutres individuelles ne sont plus produites de nos jours. Elles ont été remplacées il y a plusieurs années par des plaques de 0,4 à 1,0 m de largeur. Ces plaques pourvues de fentes en long ou en large ou encore de trous sont pourvues de deux ou plusieurs poutres longitudinales à titre de charpente porteuse. Une hauteur de 16 cm suffit jusqu'à une portée de 3 m, dans la mesure où le caillebotis est uniquement sollicité par les animaux. Lorsque les portées sont supérieures, il est préférable d'utiliser des éléments d'une hauteur de 20 cm. Selon la norme DIN 18 908 – il n'existe aucune norme SIA – les caillebotis en béton doivent supporter des charges ponctuelles et linéaires bien définies selon la catégorie et le poids des animaux (tab. 1).

Les charges linéaires et ponctuelles représentent une combinaison de charges. Lorsque la largeur des plaques dépasse 0,5 m, resp. 0,65 m ou 0,8 m (suivant la catégorie d'animaux, cf. intervalle de charge dans le tab. 1), deux animaux peuvent se tenir l'un derrière l'autre sur un même élément. Dans ce cas, la charge de trafic par élément se compose de la charge linéaire et de la charge ponctuelle double. Le fléchissement ne doit pas dépasser $1/200$ de la portée (au maximum 15 mm).

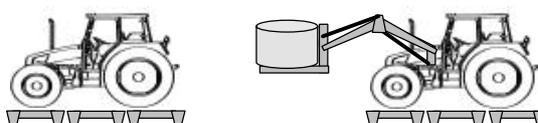
Tab. 1: Charges de trafic selon la norme DIN 18908, réparties en charge linéaire et en charge ponctuelle



Catégorie d'animaux	Poids des animaux kg	Charge linéaire p kN/m	Charge ponctuelle au centre P kN	Intervalle de charge m
Veaux	jusqu'à 250	2,3	1,25	0,5
Jeunes bovins	jusqu'à 450	3,6	2,25	0,65
Bovins	jusqu'à 720	4,5	3,6	0,8

1 kN ≈ 100 kg

Tab. 2: Valeurs indicatives en kN pour les charges statiques à la roue des tracteurs avec et sans charge (chargeur frontal avec balle d'ensilage)



	Charge à la roue arrière, tracteur sans charge	Charge à la roue, tracteur chargeur frontal + balle d'ensilage
Tracteur 50 kW	8 – 12	14 – 20
Tracteur 75 kW	12 – 16	18 – 25

Tab. 3: Valeurs indicatives en kN pour les charges à la roue des citernes à vide en acier pour le lisier avec essieu unique ou tandem (avec les essieux tandem, l'empattement est compris entre 1,05 et 1,25 m).

Volumes Essieu	4 m ³ Unique	5 m ³ Unique	6 m ³ Unique	7 m ³ Unique	8 m ³ Tandem	10 m ³ Tandem
Poids à vide	15	18	21	24	33	41
Charge utile	40	50	60	70	80	100
Poids total	55	68	81	94	113	141
Charge d'appui sur le tracteur	8	9	10	12	14	18
Charge à l'essieu	47	59	71	82	99	123

Les citernes à pompe avec réservoir en métal sont en général plus lourdes que les citernes à vide, les citernes à pompe avec tank en polyester sont en revanche un peu plus légères (Informations R. Frick, FAT)

Tab. 4: Valeurs indicatives en kN pour les charges à la roue des épandeurs à fumier et des distributeurs de compost à essieu unique (hypothèse: matériau épandu d'une densité de 7 kN/m³).

Volumes	4 m ³	5 m ³	6 m ³	7 m ³	8 m ³	10 m ³
Poids à vide	14	17	22	31	38	44
Charge utile	28	35	42	56	70	84
Poids total	42	52	62	87	108	128
Charge d'appui sur le tracteur	7	9	10	12	14	17
Charge à l'essieu	35	43	52	75	94	111

(Informations R. Frick, FAT)

Pour les caillebotis en béton sur lesquels des véhicules circulent, nous ne disposons d'aucunes normes. Les charges à la roue (arrière) des tracteurs traditionnels (50–75 kW) sont comprises entre 8 et 16 kN, dans la mesure où ils ne sont pas chargés (tab. 2). Si l'on transporte par exemple des balles d'ensilage (jusqu'à 1200 kg) à l'aide d'un chargeur frontal ou arrière, pour remplir le râtelier de l'aire d'exercice, la charge à la roue augmente jusqu'à 25 kN et le risque est grand de dépasser la charge utile.

A ces charges statiques s'ajoutent des charges dynamiques, qui peuvent s'exercer lors de la circulation ou du levage des balles d'ensilage. Ces charges dynamiques peuvent facilement dépasser les charges statiques de 50 %. Une surcharge n'entraîne pas forcément une rupture, mais peut causer des dommages (fissures et éclatement du béton), qui mettent l'armature à la merci de la corrosion et conduisent tôt ou tard à des problèmes. Il faut faire particulièrement attention lorsque le caillebotis sert de lieu de chargement ou de passage pour l'épandage du lisier et du fumier. Dans ce cas, notamment lorsque les éléments du caillebotis mesurent plus de 3 m, la charge utile autorisée peut rapidement être dépassée (tab. 3 et 4, moyennes de plusieurs fabricants). Il ne faut pas non plus oublier que les charges utiles indiquées par le fabricant s'appliquent à des éléments intacts. Une fois l'élément endommagé, il faut prendre en compte une réduction de la charge utile.

Les indications fournies par les fabricants en ce qui concerne la charge maximale autorisée doivent être utilisées avec précaution. Ces données se réfèrent en général à une charge ponctuelle exercée au centre de l'élément. Or, la situation dans laquelle une roue se trouve au centre de la plaque n'est pas forcément celle où la charge est la plus défavorable. Lorsque la portée (L) de la plaque est supérieure à 1,71 fois la voie (e) du véhicule, la charge est maximale lorsque les deux roues reposent sur la même plaque et qu'une roue se situe à une distance de $0,5L - 0,25e$ par rapport à l'extrémité (fig. 4).

Dans ce cas, ce n'est pas la charge à la roue qui est décisive, mais la charge à l'essieu. Les fabricants indiquent en général la charge ponctuelle maximale autorisée au centre. Il est toutefois possible de calculer la charge autorisée à l'essieu à partir de cette charge ponctuelle. Pour les deux situations de charge (fig. 4), le calcul est le suivant:

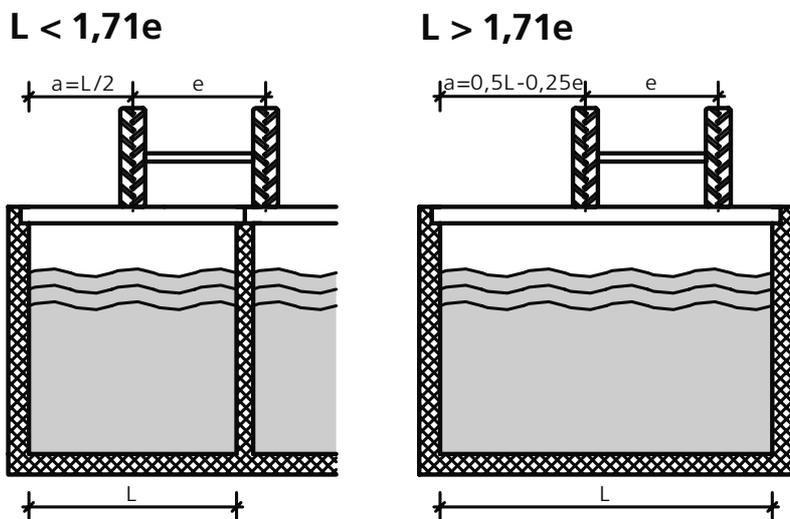


Fig. 4: Suivant le rapport entre la portée (L) de l'élément caillebotis et de la voie du véhicule (e), c'est la position gauche ou droite du véhicule qui représente le cas de charge la plus défavorable.

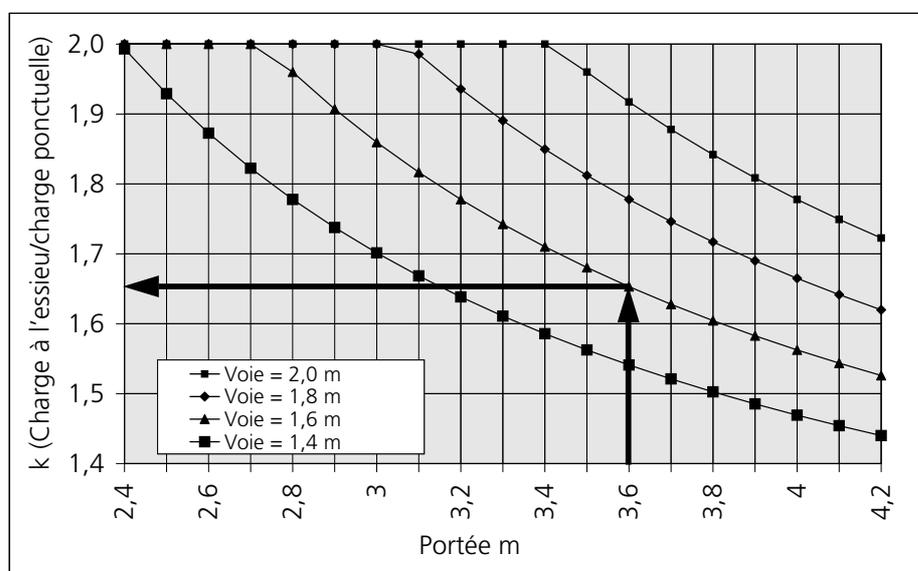


Fig. 5: La portée de la grille du caillebotis ainsi que la voie du véhicule déterminent le rapport (k) entre la charge autorisée à l'essieu et la charge ponctuelle au centre.

$L < 1,7e$:
charge autorisée à l'essieu =
 $2 \times$ charge ponctuelle au centre

$L > 1,7e$:
charge autorisée à l'essieu =
 $k \times$ charge ponctuelle au centre

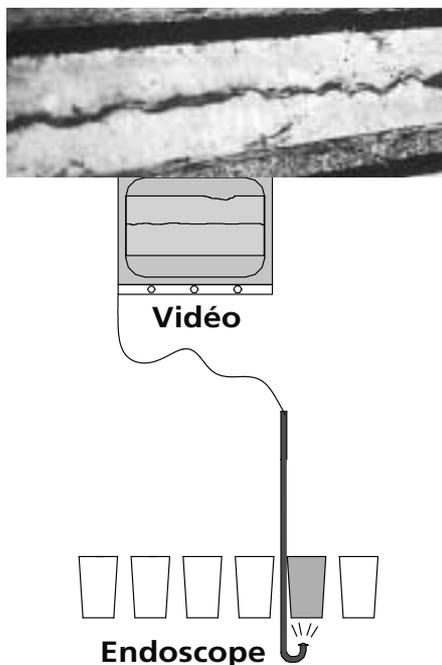
$$k = \frac{L^2}{2 \cdot (0,5L^2 - 0,5eL + 0,125e^2)}$$

avec: L = portée de la plaque (m)
e = voie du véhicule (m)

Exemple de calcul de la charge autorisée à l'essieu d'une plaque caillebotis:
Charge ponctuelle autorisée au centre (indications du fabricant):
25 kN (2500 kg)
Portée de la plaque: 3,6 m
Voie du véhicule: 1,6 m
 $k = 1,65$ (selon formule ou fig. 5)
Charge à l'essieu =
 $1,65 \times 25 \text{ kN} = 41,25 \text{ kN}$ (4125 kg)



Fig. 6: Contrôle de l'état du caillebotis à l'aide d'un endoscope. L'objectif flexible est placé entre les fentes et fournit une bonne vue de la partie inférieure du caillebotis et des surfaces latérales.



Contrôle de l'état des anciens éléments caillebotis

Dans la pratique, il n'est pas facile de contrôler l'état des éléments caillebotis. Les fissures ou les éclatements du béton sont difficiles à observer d'en haut étant donné le fort encrassement. Sans moyen technique, la seule façon d'inspecter la partie inférieure du caillebotis consiste à descendre dans la fosse (canal) ou à enlever des éléments. La descente dans la fosse ne va pas sans risque (gaz). Mais d'un autre côté, en enlevant les éléments, on risque également de les endommager. Ce problème peut être résolu à l'aide d'un endoscope (fig. 6).

L'objectif flexible relié à une caméra par des fibres optiques, permet d'observer les parties latérales et la section inférieure. Au préalable, ces surfaces doivent être nettoyées à l'aide d'un appareil haute pression muni d'une buse spéciale. La bonne qualité de l'image permet d'identifier facilement les zones endommagées. Les images peuvent éventuellement être sauvegardées. Toutefois, le contrôle de l'état des caillebotis à l'aide d'un endoscope prend beaucoup de temps, étant donné notamment le nettoyage nécessaire. Il faut compter environ 15 min. par élément. C'est la raison pour laquelle on a cherché une méthode plus rapide.

S'il existait une relation évidente entre le fléchissement sous une charge relativement faible d'une part et la portance de l'élément caillebotis en béton d'autre part, il serait possible de contrôler l'état de l'ouvrage sans passer du temps à nettoyer la partie inférieure. Il suffirait de charger le centre de chaque élément du poids d'une ou deux personnes (environ 1,5 kN) et parallèlement, de mesurer le fléchissement avec un appareil de mesure électronique (précision $1/100$ mm) (fig. 7).

Pour contrôler cette méthode, peu de temps avant le remplacement des caillebotis dans une étable de vaches laitières, on a contrôlé le fléchissement de tous (97) les anciens éléments. La rupture d'un élément dans l'aire d'affouragement avait rendu nécessaire le changement de toutes les plaques. Les plaques contrôlées mesurent 0,5 m de large. Leur longueur est comprise entre 2,4 m et 3 m. Deux poutres latérales de 14 cm et une poutre centrale de 7 cm de haut forment la charpente porteuse. Entre ces poutres, la plaque présente des fentes longitudinales ondulées de 35 mm, interrompues par des traverses. L'armature principale (en dessous) est constituée d'une barre de 12 mm dans chaque poutre latérale.

Sur les 97 plaques, on a sélectionné 21 éléments après le changement (six de 2,40 m et 15 de 3 m). On les a placés

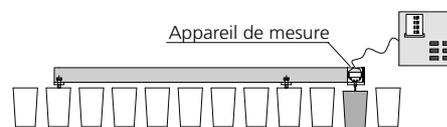


Fig. 7: Le fléchissement d'un élément sous le poids d'une ou deux personnes (environ 1,5 kN) peut être mesuré simplement à l'aide d'un appareil de mesure électronique (fixé en bas sur le profil métallique).



Fig. 8: Installation d'essai pour les essais de charges sur les éléments caillebotis en béton.

dans une installation spéciale à la FAT (fig. 8) et on a exercé des charges jusqu'à ce qu'ils rompent.

Essais de charge

Description de la méthode

L'installation se compose d'une presse hydraulique et d'un instrument pour mesurer la force de traction (précision 10 N), à partir de laquelle il est possible de mesurer la charge ponctuelle s'exerçant au centre. L'essai de charge s'est déroulé en phases de 2 kN (200 kg) par minute jusqu'à la charge maximale (valeur limite).

Un appareil de mesure électronique (précision 1/100 mm) indiquait le fléchissement. Avant chaque essai de rupture, les dommages étaient relevés sur la plaque pour identifier la relation entre les dommages existants d'une part, et le fléchissement (sous l'effet de la charge) et la charge de rupture d'autre part.

Plaques de 2,40 m (zone du couloir de circulation)

Les mesures effectuées dans l'étable (charge ponctuelle au centre = 1,6 kN = poids de deux personnes) ont donné des valeurs de fléchissement comprises entre 0,15 et 0,36 mm pour les 54 plaques de 2,4 m (fig. 9). Lors du remplacement des caillebotis, on a constaté des dommages sur la plupart des éléments. Les problèmes les plus fréquemment constatés étaient de légers éclatements du béton laissant apparaître des portions d'armature, des fissures horizontales au centre ou aux extrémités, ainsi que des fissures verticales au centre.

Pour les six éléments les plus endommagés, l'essai de charge réalisé dans l'installation d'essai a donné une charge ponctuelle maximale (au centre) comprise entre 24 kN (élément 19) et 33 kN (élément 20, tab. 5). Après dépassement de la charge limite, la portance a baissé par à coups. Grâce à l'armature supérieure, aucun élément ne s'est rompu complètement. Cinq des six éléments ont connu une défaillance suite à la désolidarisation des barres d'armature et du revêtement en béton.

Dans certains cas, les barres d'armature sont complètement sorties de leur logement en béton (éléments 18 et 19, fig. 10). La défaillance relativement précoce de l'élément 19 était prévisible, car la barre d'armature était déjà partiellement visible aux extrémités avant l'essai.

Une barre d'armature ne s'est rompue que dans un seul cas (élément 17) (dans

Tab. 5: Résultats de l'essai de charge sur six anciennes plaques caillebotis de 2,4 m de long et 14 cm de haut

Élément	Fléchissement en mm suite à une charge ponctuelle de:				Charge de rupture kN
	2 kN	6 kN	10 kN	14 kN	
19	0,34	1,19	2,44	5,86	24
21	0,35	1,24	2,32	4,19	30
18	0,32	1,09	2,23	3,71	30
17	0,29	1,04	2,20	3,64	30
1	0,29	1,12	2,21	3,69	32
20	0,31	1,14	2,37	3,73	33

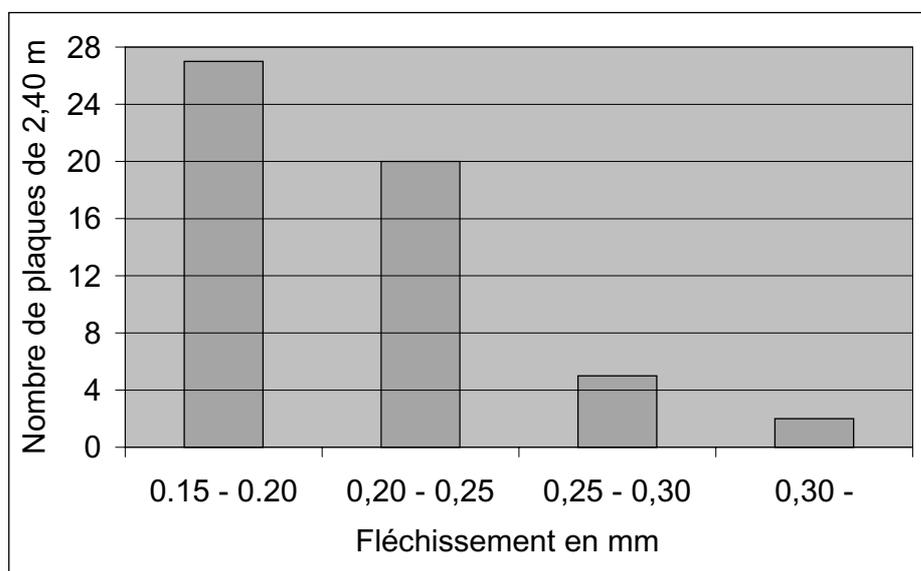


Fig. 9: Sur 47 des 54 plaques en béton de 2,4 m de long, le fléchissement sous une charge de 1,6 kN était compris entre 0,15 et 0,25 mm.



Fig. 10: Vue de dessous des éléments 18 (à gauche) et 19 (à droite) après l'essai de charge. Sur les deux éléments, la barre d'armature est arrachée dans la poutre gauche.

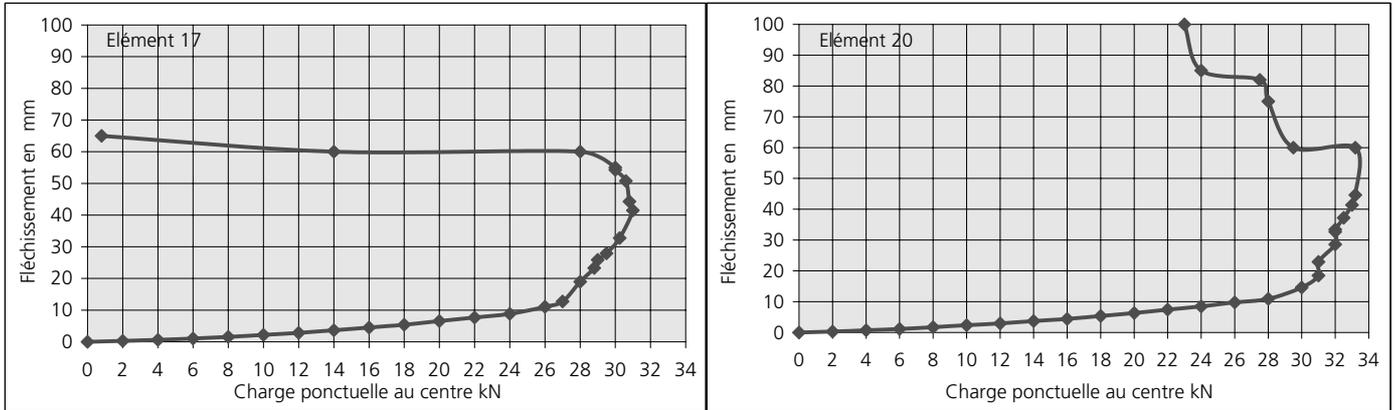


Fig. 11: Résultats de l'essai de charge sur les éléments 17 et 20.

la poutre gauche, tandis que la barre a été arrachée de la poutre droite). Cette barre d'armature était très attaquée par la corrosion. Au point de rupture, son épaisseur n'était plus que de 8 mm environ. La section efficace était réduite à 44 %. Sur tous les autres éléments, on a seulement constaté une corrosion superficielle de l'armature. Il est étonnant que l'élément 17 ait pu supporter une charge aussi élevée (30 kN) malgré la corrosion avancée de l'armature. La portance élevée ne peut s'expliquer que par une résistance élevée du béton à la traction-flexion. En général, la résistance élevée du béton à la traction-flexion n'est pas prise en compte pour le dimensionnement des pièces en béton. Le calcul part du principe que les forces de traction sont absorbées exclusivement par l'armature.

Une comparaison entre les éléments 17 et 20 montre que l'élément 17 présente certes une charge à la rupture presque aussi élevée que l'élément 20 pour un fléchissement de 60 mm, mais qu'il ne peut pratiquement plus absorber de charge supplémentaire alors que l'élément 20, après dépassement de la charge limite pour un fléchissement de 60 mm, peut encore supporter une charge de 23 kN (fig. 11).

Au départ, le fléchissement évolue de la même façon pour tous les éléments caillebotis. Pour une charge de 2 kN, il s'élève à 0,34 mm pour l'élément 19 contre 0,31 mm pour l'élément 20. La différence très faible n'est pas en rapport avec la différence de charge limite (24 kN pour l'élément 19 contre 33 kN pour l'élément 20). La mesure précédente du fléchissement dans l'étable a également donné un résultat légèrement plus élevé pour l'élément 19 (0,36 mm). Certes, il faut relativiser l'importance de différences si infimes étant donné la précision

atteinte lors des mesures réalisées dans les conditions pratiques. Des imprécisions dues à une disposition instable (l'élément basculant) peuvent rapidement entraîner des erreurs de mesure de cet ordre.

Les premiers écarts importants constatés dans le fléchissement des différents éléments ont été relevés dans le cadre de l'essai de charge réalisé à la FAT, à partir d'une charge ponctuelle de 12 kN (1,2 T). Une telle charge ne convient pas pour effectuer un contrôle rapide et aisé de l'état du caillebotis dans l'étable. Par ailleurs, on court le risque de réduire la durée de vie d'éléments déjà défailants en exerçant une charge ponctuelle supérieure à la charge normale des animaux (formation de fissures supplémentaires).

Comme la charge limite s'élevait au moins à 24 kN pour toutes les plaques de 2,4 m, on peut partir du principe qu'au moment du remplacement des caillebotis, les éléments étaient encore fonc-

tionnels, malgré des dommages très nets. En ce qui concerne l'élément 17, il fallait toutefois s'attendre à ce que la barre d'armature de la poutre gauche se rompe dans les années à venir.

Plaques de 3 m (aire d'affouragement)

Les mesures réalisées dans l'étable (point de charge au centre = 1,6 kN = poids de deux personnes) ont donné des valeurs de fléchissement comprises entre 0,31 et 0,70 mm pour les 43 plaques de 3 m de long (fig. 12). Lors du remplacement du caillebotis, on a constaté des dommages plus sérieux que sur les éléments plus courts. Sur certaines plaques, la barre d'armature était complètement à nu sur de longues portions (jusqu'à 0,5 m). On n'a constaté aucune corrosion profonde des barres d'armature par ailleurs.

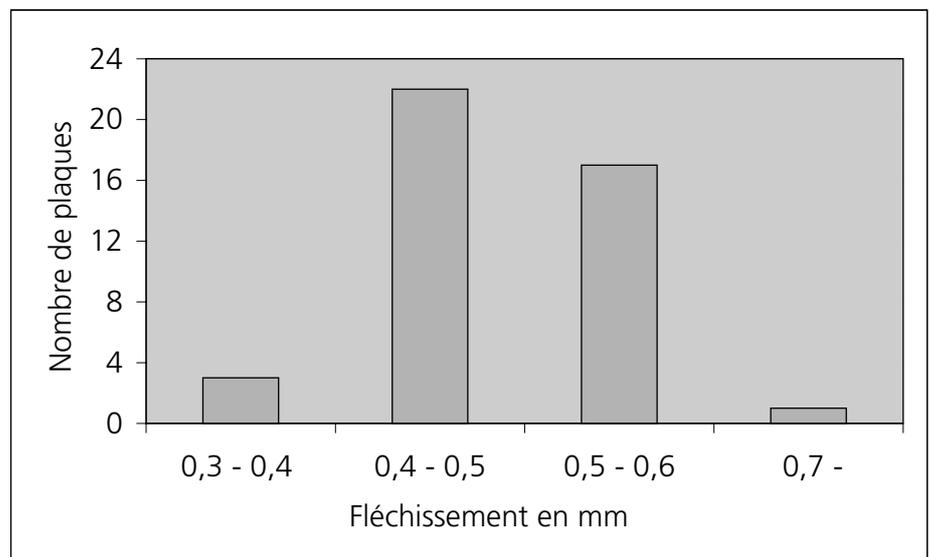


Fig. 12: Sur 39 des 43 plaques de 3 m de long, le fléchissement sous une charge de 1,6 kN était compris entre 0,4 et 0,6 mm.

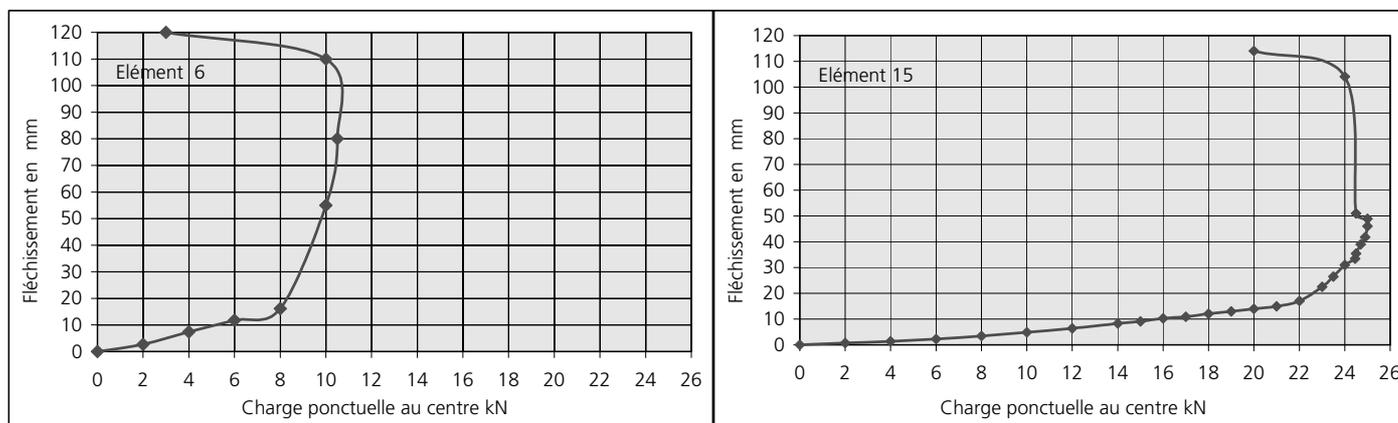


Fig. 13: Résultats de l'essai de charge sur les éléments 6 et 15.

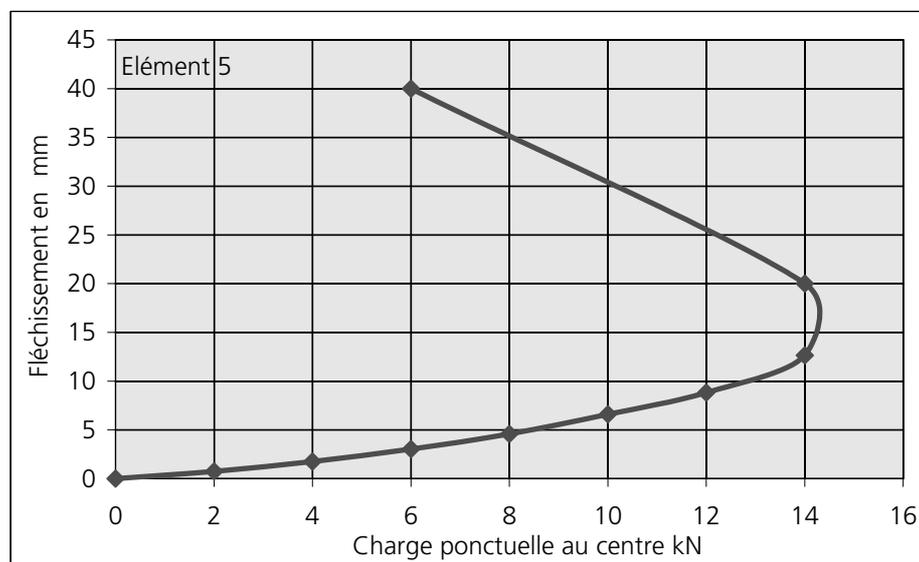


Fig. 14: Résultats de l'essai de charge sur l'élément 5.

Tab. 6: Résultats de l'essai de charge sur huit anciennes plaques caillebotis de 3 m de long et 14 cm de haut

Élément	Fléchissement en mm suite à une charge ponctuelle de:				Charge de rupture kN
	2 kN	6 kN	10 kN	14 kN	
6	2,70	11,82	55,10	-	10
5	0,75	3,04	6,60	12,64	14
10	0,77	2,89	6,36	10,5	18
14	1,11	3,87	7,23	11,36	22
12	0,78	2,94	5,89	10,03	22
9	0,75	2,72	5,72	9,65	24
4	0,73	2,68	5,62	9,23	24
15	0,68	2,29	4,90	8,3	25

Comme pour les éléments de 2,4 m, on a ensuite sélectionné 15 éléments sur la base des dommages constatés. Dans le cadre de l'installation d'essai de la FAT, ces éléments ont ensuite été soumis à des charges allant jusqu'à la valeur limite.

Une comparaison (tab. 6) de 8 de ces 15 plaques montre que la charge ponctuelle maximale au centre varie de manière nettement plus forte qu'avec les éléments plus courts (élément 6: 10 kN, élément 15 : 25 kN). La rupture complète de l'élément 6 à environ 10 kN était prévisible étant donné les dommages massifs constatés sur l'élément avant l'essai de rupture. D'un côté, on pouvait en effet voir la barre d'armature à l'extrémité dans les deux poutres. L'élément 6 aurait pu se rompre sous le poids des animaux s'il avait continué à être utilisé (fig. 13).

L'élément 5 (charge de rupture 14 kN) doit lui aussi être considéré comme non fonctionnel (fig. 14).

Au début de l'essai de charge (jusqu'à la charge ponctuelle de 12 kN), l'évolution des valeurs de fléchissement est la même pour toutes les plaques sauf pour l'élément 6 et l'élément 14. Etant donné la valeur de fléchissement à 2 kN, l'élément 6 peut de toute évidence être considéré comme sur le point de rompre. Le fléchissement trois fois plus élevé pendant l'essai de rupture (2,7 mm à 2 kN) par rapport aux mesures effectuées précédemment dans l'étable (0,7 à 1,6 kN) est sans doute dû à des dommages causés lors du démontage de l'élément.

Par contre, il n'est pas possible de prévoir la charge de rupture plus faible (14 kN) de l'élément 5 à partir du fléchissement mesuré dans l'étable. La rupture a eu lieu soudainement sans signe avant-coureur alors que le fléchissement était seulement de 20 mm. La rupture était due à

Tab. 7: Répartition des plaques testées de 3 m, en fonction des dommages constatés et de la portance

Dommmage avant l'essai	Dommmage après l'essai	Charge de rupture kN	Portance après dépassement de la charge de rupture kN
Petits éclatements du béton, aucune longue fissure aux extrémités	Eclatement du béton au centre. Fissures verticales isolées	23 – 25	20
Longues fissures horizontales sur une poutre (aux extrémités)	Armature sortie de son logement sur une poutre	22 – 24	10 – 14
Longues fissures horizontales sur les deux poutres (aux extrémités)	Armature sortie de son logement sur les deux poutres	10 – 14	3 – 6



Fig. 15: Sur les deux plaques 5 (à gauche) et 6, la barre d'armature a été arrachée dans les deux poutres.

l'arrachage soudain de l'armature des deux poutres (fig. 15).

On peut donc se demander si l'on peut encore considérer une portance de 14 kN comme fiable. Selon la norme DIN 18908 (tab. 1), les éléments caillebotis pour vaches laitières doivent supporter simultanément une charge linéaire de 4,5 kN/m et une charge ponctuelle de 3,6 kN au centre. Cette combinaison de charge correspond à une charge ponctuelle unique de 10,4 kN au centre. La charge de rupture de 14 kN dépasse certes la charge ponctuelle, le facteur de sécurité de 1,35 (14/10,4) est toutefois insuffisant.

Avant l'essai de rupture, l'armature de l'élément 14 était déjà à nu au centre des deux poutres sur une longueur d'environ 60 cm. Ceci explique que la valeur de fléchissement soit plus importante lorsque la charge est faible.

Dommmages constatés et portance

Sur la base des dommages constatés avant et après l'essai, les plaques de caillebotis de 3 m de long ont pu être réparties en trois catégories (tab. 7).

L'essai de charge a montré clairement que les éclatements locaux du béton au centre étaient moins dangereux que les fissures horizontales aux extrémités, parallèles à l'armature (fig. 2).

Recommandations

Vieux caillebotis en béton

- Se faire expliquer le facteur de sécurité (rapport entre la portance de l'élément à l'état neuf et la charge effective) des éléments de caillebotis par le fabricant ou par un spécialiste. La portance à l'état neuf se calcule à partir du profil, de la portée et de l'armature. Plus le facteur de sécurité est faible, plus le contrôle doit être effectué tôt et fréquemment.
- Estimer les conséquences possibles d'un effondrement. Tous les éléments de caillebotis en béton situés au-dessus d'une fosse à lisier doivent être nettoyés au plus tard au bout de dix ans et doivent être contrôlés visuellement par un spécialiste. Les éléments endom-

magés (armature visible, fissures horizontales aux extrémités) doivent être remplacés immédiatement ou être étayés jusqu'à la date prévue pour remplacer la structure.

- Les poutres uniques ou les plaques de faible hauteur doivent être contrôlés plus fréquemment. Cette règle est également valable lorsque l'armature est constituée de fers minces.

Caillebotis neufs en béton

- Choisir le type d'éléments caillebotis en tenant compte de l'impact des charges, après discussion avec le fabricant.
- Contrôler que les éléments caillebotis n'aient subi aucun dommage du fait du transport (fissures, éclatements du béton) et contrôler – si possible – que l'armature soit suffisamment recouverte de béton.
- Entreposer les éléments caillebotis correctement, sur une surface plane et en dur. Les bois intermédiaires doivent être parfaitement superposés.
- Éviter les dommages lors de la pose en utilisant des instruments adaptés.
- Prendre les mesures nécessaires pour éviter à tout prix que les éléments caillebotis en béton soient utilisés comme des surfaces de circulation. Lorsque le passage des véhicules sur le caillebotis est autorisé, prévoir un panneau de signalisation bien visible indiquant la charge à l'essieu maximale.

Conclusions

Comparés aux autres structures en béton, les caillebotis en béton sont soumis à un vieillissement accéléré dû au milieu extrêmement agressif dans lequel ils se trouvent. La durée de vie des poutres ou des plaques dépend de nombreux facteurs. La qualité du béton, de l'armature, du revêtement en béton de ladite armature sont des points essentiels. Les éléments caillebotis composés de deux ou trois poutres longitudinales offrent une plus grande sécurité que les poutres individuelles. Il est en effet extrêmement rare que deux poutres défailent en même temps. Plus les éléments sont hauts, moins ils fléchissent, et moins la charge entraîne de fissures. Les fissures ne sont toutefois pas uniquement causées par les charges mécaniques. Elles peuvent également être dues à des mani-

pulations incorrectes lors du transport et de la pose.

Les fissures ou les éclatements du béton peuvent attaquer l'armature. Plus la barre d'armature est fine, plus elle rouille rapidement. Les essais de rupture ont montré d'une part que les barres plus épaisses (≥ 12 mm) ne se rompaient pas en règle générale, mais qu'en cas de charges élevées, elles glissaient, faisaient éclater le béton et finissaient par s'arracher complètement. Sur les éléments neufs, ce problème pourrait être résolu grâce à un meilleur ancrage des barres d'armature aux extrémités.

Lors du contrôle de l'état du caillebotis, il faut tenir compte des points suivants. Si l'armature est composée de barres fines (6,8 mm), le risque de défaillance de l'élément par rupture de l'armature est élevé. De tels éléments doivent surtout être contrôlés au centre, là où la tension de traction est la plus forte. Avec les éléments qui présentent des barres d'armature épaisses (10-16 mm), il faut surtout rechercher les fissures longitudinales aux extrémités. Si l'on constate des fissures en longueur parallèlement à l'armature, cela signifie que l'amalgame entre le béton et l'armature est abîmé et qu'il faut s'attendre à ce que le fer de l'armature s'arrache d'un moment à l'autre.

Les essais de charge ont montré que le fléchissement à faible charge (poids d'une ou deux personnes) ne pouvait apporter que peu d'éléments pour évaluer les dommages et la portance résiduelle de l'élément. Seuls les éléments sur le point de se rompre présentent un fléchissement plus important. C'est pourquoi la méthode de fléchissement à faible charge ne convient pas pour détecter les signes avant-coureurs en cas de contrôles sporadiques. Jusqu'à présent, la manière la plus efficace de prévenir l'effondrement du caillebotis reste encore le contrôle visuel effectué par un spécialiste.

L'utilisation d'un endoscope permet d'effectuer un contrôle visuel sans descendre dans la fosse, ni dans le canal. Certes, de tels contrôles prennent beaucoup de temps et ne conviennent donc que pour un contrôle sporadique. Pour un contrôle complet, il est indispensable de descendre dans la fosse ou dans le canal. A ce propos, il est impératif de respecter les consignes de sécurité du SPAA «Dangers dus aux gaz dans l'agriculture». Les masques avec filtre à air peuvent être empruntés auprès de la plupart des écoles d'agriculture.

Outre le risque d'effondrement dû au vieillissement des caillebotis en béton, il faut également tenir compte du risque d'effondrement lié à la circulation de véhicules sur les plaques caillebotis placées au-dessus des fosses à lisier. Les charges autorisées indiquées par le fabricant ne doivent en aucun cas être dépassées. Il faut toujours partir du cas de charge le plus défavorable. Pour des raisons de sécurité, mais aussi pour éviter d'endommager la surface, il est donc recommandé d'éviter de circuler sur les caillebotis.

Des demandes concernant les sujets traités ainsi que d'autres questions de technique et de prévention agricoles doivent être adressées aux conseillers cantonaux en machinisme agricole indiqués ci-dessous. Les publications peuvent être obtenues directement à la FAT (CH-8356 Tänikon). Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90,
E-Mail: info@fat.admin.ch, Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

BE	Furer Willy, Ecole d'Agriculture, 2732 Loveresse	Tél. 032 481 42 71
FR	Berset Roger, Institut agricole, 1725 Grangeneuve	Tél. 026 305 58 49
GE	AGCETA, 15, rue des Sablières, 1217 Meyrin	Tél. 022 341 35 40
JU	Knobel Beat, Institut agricole, 2852 Courtemelon	Tel. 032 420 74 39
NE	Bendel Etienne, SNVA, 2053 Cernier	Tél. 032 854 05 30
TI	Müller Antonio, Office de l'Agriculture, 6501 Bellinzona	Tél. 091 814 35 53
VD	Patrick Munier, Ecole d'Agriculture, Marcelin, 1110 Morges	Tél. 021 801 14 51
	Hofer Walter, Ecole d'Agriculture, Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 57
VS	Roduit Raymond, Ecole d'Agriculture, Châteauneuf, 1950 Sion	Tél. 027 606 77 70
SRVA	Mouchet Pierre-Alain, CP 128, 1000 Lausanne 6	Tél. 021 619 44 61
SPAA	Grange-Verney, 1510 Moudon	Tél. 021 995 34 28

Les «Rapports FAT» paraissent environ 20 fois par an. Abonnement annuel: Fr. 50.–. Commandes d'abonnements et de numéros particuliers: FAT, CH-8356 Tänikon. Tél. 052 368 31 31, Fax 052 365 11 90.

E-Mail: info@fat.admin.ch – Internet: <http://www.admin.ch/sar/fat>

Les Rapports FAT sont également disponibles en allemand (FAT-Berichte).– ISSN 1018-502X.