

SOLS INDUSTRIELS EN BETON DE CIMENT (2)

Mise en œuvre

Le bulletin n° 23 "Sols industriels en béton de ciment (1) – Conception - Dimensionnement" nous a montré que pour obtenir un revêtement industriel donnant entière satisfaction, il est très important de porter son attention sur les points suivants :

- la nature, la grandeur et la fréquence des sollicitations;
- le pouvoir portant du sous-sol;
- le choix et le dimensionnement de la structure complète du sol industriel;
- le choix entre béton armé ou non armé;
- les joints et leur disposition.

Le présent bulletin a pour objectif de dispenser une information sur les facteurs importants pour une exécution correcte et soignée:

- la qualité et la mise en œuvre correcte du béton;
- la protection convenable du béton contre la dessiccation;
- les types de joints appropriés;
- la mise en service, uniquement permise lorsque la résistance du béton est suffisante.



LE COFFRE

Le coffre comprend les couches comprises entre le revêtement en béton et le sol naturel en place. Il est constitué de haut en bas comme suit (fig.1) :



Fig. 1: Couches constitutives d'un sol industriel

• Membrane de glissement (voir également cadre 1)

La membrane de glissement est une feuille souple de polyéthylène d'au moins 1/10 mm d'épaisseur, ayant pour fonctions :

- d'empêcher la succion de l'eau du béton par l'assise, préjudiciable pour l'hydratation du béton jeune et pour le durcissement du matériau. Il s'agit donc également d'une barrière d'étanchéité.
- de limiter l'adhérence assise-béton au jeune âge afin de réduire le frottement. La pénétration locale du béton dans l'assise ou son 'collage' à cette dernière pourrait constituer des points d'accrochage augmentant les contraintes de traction par effet du retrait.

• Couche de nivellement et de propreté

Cette couche est constituée de 2 à 5 cm de sable compacté ou de sable-ciment. Elle a pour fonctions :

- d'éviter la perforation de la membrane de glissement par des pierrailles du sol naturel ou de la fondation;
- d'assurer une surface unie, aisément dressable, nivelant les irrégularités du sol en place qui pourraient constituer des points d'accrochage.

Cette couche n'est pas requise si, par sa nature, la fondation peut être surfacée (sable compacté, sable stabilisé au ciment,...).

• Fondation

La fondation a pour rôle de répartir la charge sur le sol. La répartition est d'autant meilleure que la couche est épaisse et que son angle de frottement interne est grand.

Les dallages industriels courants (classes de sollicitation I et II – cf. bulletin n° 23, tableau 2) sont généralement mis en œuvre sur une couche bien compactée de sable ou de pierres concassées, stabilisés ou non. Lorsque le sol industriel est soumis à des sollicitations sévères (classe de sollicitation III), la fondation se compose soit

d'une couche de matériaux liés tels que béton maigre, empierrement stabilisé au ciment ou mélange de sable et de ciment, soit d'une couche de pierres concassées à granulométrie continue (par exemple 0/20 ou 0/32).

En cas de variations importantes de la teneur en eau du sol, le choix d'une fondation à base de ciment s'impose afin de compenser au maximum les hétérogénéités locales.

Une fondation drainante composée de gravier ou de pierres concassées (par exemple 0/32 ou 0/63), d'une épaisseur de 15 cm au moins, peut également faire fonction de barrière anticapillaire. Cette dernière est exigée dans les cas suivants :

- niveau élevé de la nappe phréatique;
- dalles pourvues d'une finition entravant considérablement le transfert d'humidité;
- stockage de produits sensibles à l'humidité;
- sols de chambres frigorifiques.

Les pierres concassées 0/20 additionnées de 3 à 4 % (en masse) de ciment ou d'un mélange sable-ciment constituent une bonne composition pour réaliser des remblais divers. L'emploi de ce type de mélange est surtout indiqué au voisinage des canalisations, des chambres de visite, des avaloirs et à la périphérie des bâtiments. La fondation doit être plane et se situer au niveau prévu, afin de pouvoir y appliquer la dalle dans l'épaisseur prescrite et jusqu'au niveau exigé.

Le cadre 2 ci-contre fournit, à titre d'information, un certain nombre de caractéristiques des fondations stabilisées au ciment.

• Sous-fondation

Dans le cas de charges lourdes réparties ($p_{nom} > 30 \text{ kN/m}^2$), il y a lieu d'être attentif à la compressibilité du sol, qui seule régit le comportement du revêtement. Il ne faut pas perdre de vue le fait qu'un essai à la plaque ne renseigne que sur la compressibilité des couches de surface et non sur celle des couches plus profondes:

- Dans le cas de couches de surface trop compressibles, celles-ci doivent être compactées si leur nature et leur humidité le permettent. Le sol ainsi traité sera protégé par une sous-fondation faite de 10 à 15 cm d'empierrement ou de sable-ciment et la fondation sera préférentiellement constituée de béton maigre.
- Dans le cas de couches profondes révélées compressibles, les solutions sont plus complexes et sortent du cadre de ce bulletin.

Le fond de coffre peut également être renforcé par la pose d'une géogrille ou d'un géotextile. Ce dernier permet, en plus, d'éviter la remontée d'éléments fins indésirables dans la sous-fondation.

Il y a lieu de noter que les bandes de géotextile se posent avec un recouvrement minimal de 50 cm et que toute circulation sur les membranes est proscrite avant la mise en œuvre des matériaux de la sous-fondation afin d'éviter le percement.

L'utilisation d'une feuille de glissement est parfois controversée. Il est vrai qu'en sa présence, l'échange d'humidité avec l'assise est limité et qu'un mélange localisé du revêtement avec le coffre est évité. Cependant, étant donné que ce transfert d'humidité vers le bas du revêtement est limité, le risque de retrait différentiel sur la hauteur du revêtement augmente. Le raccourcissement spécifique dû au retrait est estimé à 1,5 fois plus au-dessus de la dalle qu'en-dessous, ce qui peut conduire au phénomène de "cintrage", appelé *curling* en anglais.



Toutefois, sur une fondation constituée d'un empierrement ouvert, il est déconseillé de supprimer la feuille de polyéthylène. En absence de celle-ci, il est indispensable d'humidifier préalablement la fondation, afin de limiter les pertes d'eau du béton de la dalle.

En général, des treillis Ø 8-150 mm sont utilisés. L'utilisation d'une telle nappe placée dans le bas de la dalle ne permet pas de reprendre la totalité des sollicitations de retrait mais est favorable pour un bon transfert des charges au droit des joints. Les fissures de retrait sont limitées lorsque le treillis d'armature se trouve 30 à 50 mm sous la surface du béton, mais ceci n'est généralement pas le cas.

Certains dallages sont conçus avec deux nappes d'armatures, une nappe inférieure et une nappe supérieure interrompue au droit du joint. Cette solution est intéressante car elle permet de réduire fortement l'amplitude des moments fléchissants dus aux charges lourdes.

La technique de la précontrainte peut également être utilisée. Par rapport à une dalle en béton armé, elle consomme moins d'acier, mais la délicatesse de cette application nécessite une grande compétence et de plus, la dalle ne peut plus, par la suite, être sciée ou perforée.

Addition de fibres

Les fibres d'acier sont additionnées au béton pour augmenter sa ductilité. Le béton obtient à l'état durci une plus grande capacité d'absorption d'énergie et l'ouverture des fissures est limitée. Les fibres d'acier ne remplissent leur rôle que lorsque l'ancrage est adapté et que le béton est donc suffisamment durci. Elles n'agissent quasiment pas dans la phase plastique.

Le concept du béton à fibres d'acier permet l'exécution sans armatures classiques de sols de grandes dimensions sur terre-plein. En même temps, le support reste libre pour permettre le mouvement des véhicules et des machines de compactage.

La composition du béton doit être adaptée afin de permettre une répartition homogène des fibres. Cela signifie une teneur en sable légèrement supérieure et une limitation de la teneur en gros granulats. Pour maintenir malgré tout une bonne ouvrabilité et durabilité, les teneurs en eau et en ciment devront être augmentées. L'utilisation d'un vibro-éjecteur pneumatique permet de souffler parfaitement séparées de grandes quantités de fibres dans le béton frais (camion malaxeur) ou en cours de préparation (malaxeur de la centrale). Les fibres peuvent ainsi être pulsées à grande vitesse et très loin, ce qui permet une intégration des fibres dans la totalité du volume de béton contenu dans un camion malaxeur. Il faut savoir que l'intégration de 25 kg de fibres par m³ de béton revient à intégrer de 60 000 à 120 000 fibres (en fonction du type).

Il est également possible d'intégrer celles-ci dans le malaxeur grâce à des sacs solubles.

A remarquer que dans le cas d'ajout de fibres au béton, celui-ci n'est plus couvert par la marque **BLNOR**.



Treillis d'armature reposant sur des "peignes"

Photo B. De Blaere



Intégration de fibres d'acier dans le camion malaxeur au moyen d'un vibro-éjecteur

Tableau 1 : Epaisseur d'enrobage minimum (en mm) des armatures supérieures en fonction de la classe d'exposition (NBN B15-002, 1999)

	Classe d'exposition									
	1	2a	2b	3	3S	4a	4b	5a	5b	5c
Béton armé	15	20	25	40	40	40	40	25	30	40
Béton précontraint	25	30	35	50	50	50	50	35	40	50

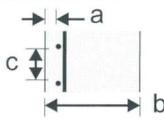
COMMENT PRESCRIRE UN BETON POUR SOL INDUSTRIEL ?

DONNEE DE BASE A : CHOISIR LA CLASSE DE RESISTANCE									
Classe	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ckcyl}	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ckcube}	15	20	25	30	37	45	50	55	60
f_{ckcyl} : résistance sur cylindre f_{ckcube} : résistance sur cube									
C20/25	Sols soumis à des charges relativement faibles, sols de grande épaisseur présentant un risque élevé de fissuration thermique en raison de la chaleur d'hydratation. Pas d'application d'une couche d'usure enrichie de ciment.								
C25/30	Sols soumis à des charges modérément lourdes (classe de sollicitation I) ayant une épaisseur suffisante (à partir de 130 mm) et non soumises à des sollicitations exceptionnelles. Pour ces sols, le saupoudrage d'une couche enrichie de ciment est conseillé pour l'obtention d'une résistance superficielle suffisante. Dans cette classe, le risque de fissuration due au retrait est habituellement bien maîtrisé.								
C30/37	Sols soumis à des charges plus lourdes (classes de sollicitation II et III) et/ou à des revêtements plus minces. Elle est également indiquée pour les sols qui ne sont pas finis au moyen d'une couche d'usure spécifique. La durabilité de la surface et la résistance à l'usure doivent en effet être obtenues par le béton lui-même. Béton renforcé de fibres d'acier.								

DONNEE DE BASE B1 : CHOISIR LE 'DOMAINE D'UTILISATION'	
BN	béton non armé
BA	béton armé
BP	béton précontraint

DONNEE DE BASE B2 : CHOISIR LA CLASSE D'EXPOSITION		
Classe d'exp.	Description	Domaine d'application
1	Environnement sec sans risque de corrosion ni agents agressifs	La classe 1 concerne les dallages qui ne sont jamais mouillés. S'ils sont généralement mouillés, la classe 2a est d'application. Si l'espace est à ce point ouvert que le climat extérieur y domine, ils sont classés dans la classe 2b. Les sols exposés à des cycles de gel-dégel et aux sels de déverglaçage appartiennent à la classe 3, pour laquelle la norme requiert une teneur en air minimale. A cet effet, un entraîneur d'air peut être utilisé. L'usage de cet adjuvant doit être évité en combinaison avec l'incorporation d'une couche de saupoudrage pour limiter le risque de désolidarisation par accumulation de bulles d'air sous la couche supérieure talochée. Afin d'obtenir malgré tout une résistance suffisante, la teneur en ciment doit être accrue. Il est également utile de reprendre dans la classe 3 les dallages soumis à un trafic venant de l'extérieur, susceptibles de véhiculer des sels de déverglaçage. Dans un environnement particulièrement agressif (classe 5c), il peut être nécessaire de protéger le sol en béton au moyen d'un revêtement approprié.
2a	Environnement humide sans gel	
2b	Environnement humide avec gel	
3	Environnement humide avec forte exposition à l'eau, gel et agents de déverglaçage	
3S	Environnement humide avec exposition modérée à l'eau, gel et agents de déverglaçage	
4a	Environnement marin sans gel	
4b	Environnement marin avec gel	
5a	Environnement chimiquement agressif – faible	
5b	Environnement chimiquement agressif – modéré	
5c	Environnement chimiquement agressif – fort	

DONNEE DE BASE C : CHOISIR LA CLASSE DE CONSISTANCE				
Classe	Affaissement (Slump) en mm	Classe	Etalement (Flow)	Domaine d'application
S1	10 – 45	F1	1,20 – 1,49	Mise en œuvre mécanisée utilisant des systèmes de vibration puissants (poutres vibrantes lourdes, etc...).
S2	50 – 95	F2	1,50 – 1,79	
S3	100 – 150	F3	1,80 – 2,10	
S4	> 150	F4	> 2,10	
Béton pompé. Mise en place manuelle du béton (surtout en combinaison avec des armatures), éventuellement vibré au moyen d'engins de compactage légers (aiguilles vibrantes, poutres vibrantes légères). Pour la mise en place au moyen d'un laserscreed (vibreuse mobile), on utilise la classe de consistance S3.				

DONNEE DE BASE D : CHOISIR LA DIMENSION MAXIMALE (Dmax) DU GRANULAT							
Dmax doit respecter les conditions suivantes:							
$D_{max} \leq 1,3$ fois l'enrobage des armatures (a) $D_{max} \leq 1/4$ de la plus petite dimension de l'élément à bétonner (b) $D_{max} \leq$ distance entre les armatures – 5 mm (c)							
							
Choisir Dmax dans la série suivante :	7	10	14	20	28	32	40
Epaisseur du dallage (mm)	50	70	100	200			
← Béton renforcé de fibres →							

STABILITE DU BETON FRAIS

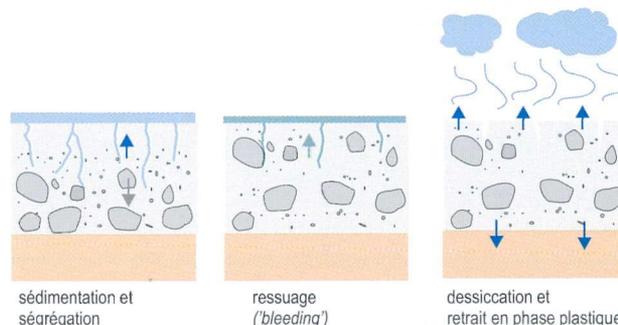
Un béton frais fluide dont la composition n'est pas optimale peut être à l'origine de phénomènes de ségrégation et de ressuage.

La *ségrégation* survient dans un béton qui comporte d'une part trop de sable et autres matériaux fins, et d'autre part trop de gros granulats. Les matériaux grossiers descendent par gravité tandis que les fins se rassemblent à la surface. D'où une répartition hétérogène des matériaux avec, dans la partie supérieure, une couche riche en eau et en ciment, et à résistance mécanique et durabilité limitées. Cette faible couche supérieure se rétracte davantage et provoque un retrait différentiel plus prononcé.

Le *ressuage* est dû à l'apparition d'un excès d'eau au niveau de la face supérieure. Des particules de ciment sont entraînées à la surface et des petits canaux se forment, qui peuvent constituer les endroits préférentiels pour une fissuration ultérieure.

Le ressuage et la ségrégation vont souvent de pair. Ils peuvent être évités par une optimisation de la composition en rapport avec sa stabilité. Celle-ci s'obtient par :

- une granulométrie continue,
- une quantité suffisante de particules fines ($\leq 0,250$ mm, ciment y compris):
 - 525 kg/m³ si Dmax = 7 mm
 - 450 kg/m³ si Dmax = 14 mm
 - 425 kg/m³ si Dmax = 20 mm
 - 400 kg/m³ si Dmax = 32 mm
- une limitation de la teneur en eau et l'utilisation d'adjuvants appropriés.



RAPPORT E/C

L'application d'un rapport E/C élevé ($> 0,60$) est déconseillée pour des raisons de durabilité, de stabilité et de ressuage. L'utilisation d'adjuvants superplastifiants est donc nécessaire dans la majorité des cas. Un faible rapport E/C ($\leq 0,45$) combiné à un dosage élevé de superplastifiant est uniquement applicable dans le béton mis en place mécaniquement et qui est d'emblée protégé contre la dessiccation, ce pour contrer un risque accru de retrait en phase plastique. Pour un béton mis en place manuellement (S3 et S4), il est préconisé d'appliquer un rapport E/C compris entre 0,50 et 0,55 et une dose normale de superplastifiant.

TENEUR ET TYPE DE CIMENT

Les teneurs en ciment prescrites sont souvent reprises de compositions de béton type classiques. Elles sont généralement supérieures aux minima indiqués dans la norme en fonction de la classe d'exposition, en combinaison avec un rapport E/C maximum. La spécification, non nuancée, d'une teneur en ciment minimum n'est pas sans danger car elle peut provoquer indirectement une incompatibilité avec les autres caractéristiques du béton.

La prescription de limites pour la teneur en ciment doit tenir compte de considérations relatives à la technologie du béton. Les facteurs déterminants sont, entre autres :

- la teneur en mortier dans le béton qui dépend à son tour du diamètre maximum des granulats, de la forme des granulats et de la granularité;
- la teneur en fines inertes qui doivent être liées par le ciment;
- le respect du rapport E/C maximum à la fluidité souhaitée;
- l'utilisation d'additions à caractère pouzzolanique pouvant être partiellement considérée comme substitués du ciment, conformément à la norme;
- le risque accru de retrait en cas de teneurs en ciment exagérément élevées,...

Le choix du type de ciment n'est pas strictement déterminé par la résistance finale souhaitée, mais plutôt par les conditions climatiques lors de l'exécution, la géométrie du sol, le mode de mise en œuvre et la technique de finition. La plupart des types de ciment permettent d'obtenir des résultats satisfaisants, à condition que la conception de l'ensemble, la finition et surtout la cure soient adaptées.

Le choix de la classe de résistance du ciment se fera en fonction de la température. En cas de températures moyennes (10 à 20°C), un ciment de classe 42,5 est préconisé. Ces ciments prennent et durcissent assez rapidement pour une finition dans un laps de temps acceptable. En cas de températures élevées, pour limiter les risques de fissuration sous l'effet de la chaleur d'hydratation ou pour de grandes surfaces de sols, on peut éventuellement passer à des ciments à durcissement plus lent de la classe 32,5. Par temps sec et en absence d'une couche de saupoudrage, il y a lieu de mieux protéger le béton et plus longtemps contre une dessiccation prématurée.

En cas de finition par saupoudrage, on utilisera un ciment plus rapide pour cette couche (de préférence du CEM I 42,5), afin de limiter le risque de dessiccation trop rapide.

En cas de faibles températures ambiantes, un ciment de classe 52,5 peut en principe être utilisé. Cependant, dans ces conditions d'environnement, il est préférable de ne pas mettre en œuvre le revêtement en raison du risque de dégâts dus au gel. En outre, la finition au moyen de ces types de ciment plus rapides est nettement plus compliquée.

L'indication d'un type de ciment obligatoire ne sera justifiée que dans des conditions particulières. Par exemple, pour prévenir un risque d'agression par les sulfates, il faudra utiliser un ciment HSR. En revanche, pour les sols qui sont mouillés en permanence, il est conseillé d'utiliser d'office un ciment à faible teneur en alcalis (LA).

• Mise en place et serrage du béton

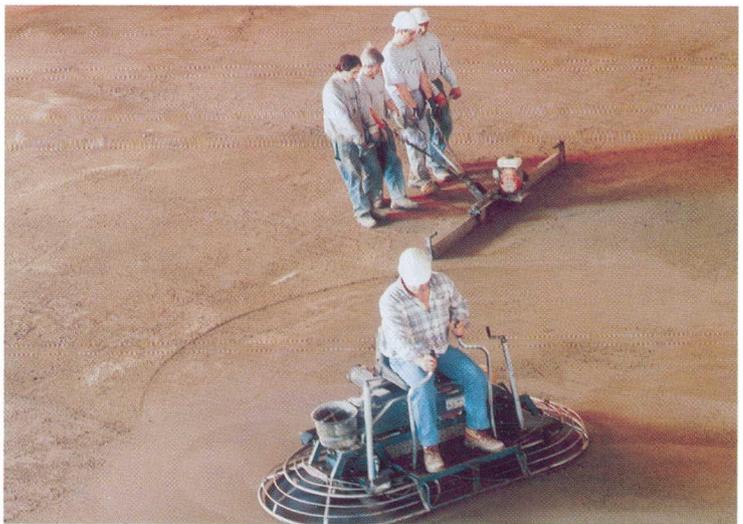
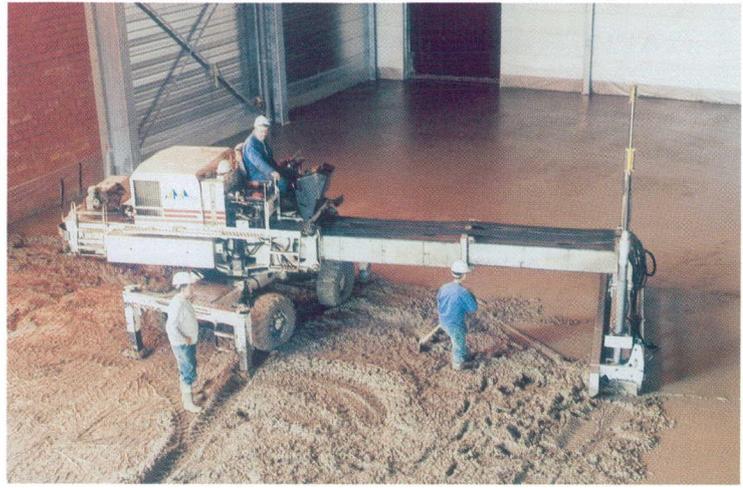
Le béton est généralement approvisionné par camion-malaxeur et goulotte de déversement ou par pompage. Le mélange, sauf s'il est destiné à un sol armé, peut également être déversé par tombereaux (*dumpers*), à condition que la fondation soit suffisamment stable.

Le béton doit être coulé de manière continue, toute interruption prolongée occasionne des joints de reprise intempestifs dans la dalle.

Après sa mise en place, le béton est étalé manuellement ou mécaniquement, mis à niveau et tiré à la règle. La hauteur est généralement vérifiée au moyen d'un appareil optique au laser ou d'une poutre vibrante (*laserscreed*).

L'énergie de serrage lors de la mise en œuvre du béton diminue à mesure que la fluidité augmente. Le béton armé et non armé est compacté par vibration sans toutefois provoquer de ségrégation. Le serrage par vibration est déconseillé pour le béton renforcé de fibres appartenant aux classes de consistance S3 et S4. L'emploi d'un béton additionné de superplastifiant ne nécessitera qu'un serrage de faible intensité.

Sauf précautions adéquates, le bétonnage par temps de gel est à éviter. Après achèvement du sol, les accès aux locaux sont fermés jusqu'à la maturité suffisante du béton afin d'éviter des dégâts liés à une circulation prématurée.



Déversement du béton au moyen d'un dumper

Mise en place du béton et finition de la surface:

- le béton est étalé mécaniquement au moyen d'un laserscreed (a) et tiré à la règle (b)
- talochage et polissage (poutre vibrante et "hélicoptère") (c)
- saupoudrage (d).

CARACTERISTIQUES DES FONDATIONS LIEES AU CIMENT

Empierrement traité au ciment

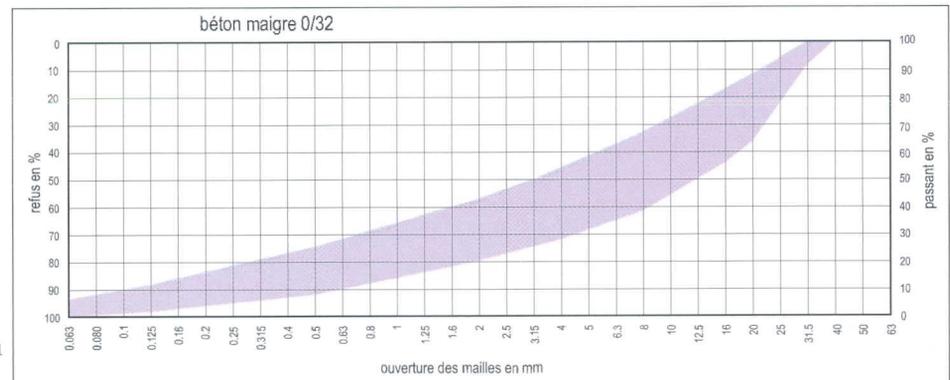
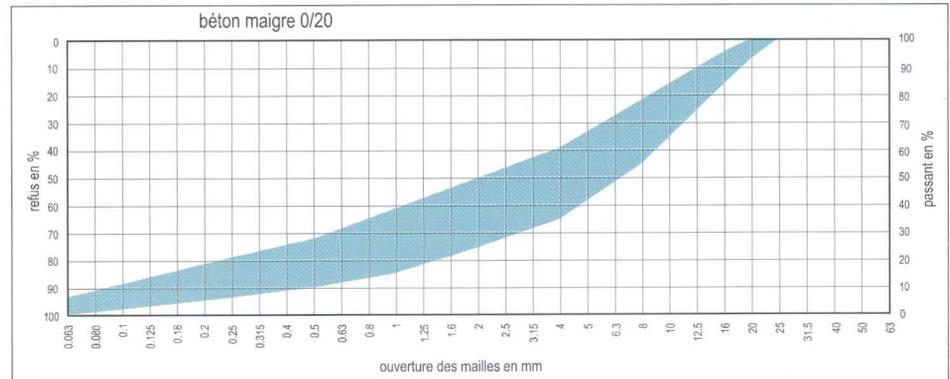
- Teneur en ciment :
 - en % de la masse des matériaux inertes: 2,5 à 4 %
 - en kg/m³ de mélange compacté: 50 à 90 kg/m³
- Quantité totale d'eau (y compris humidité des granulats et sables) voisine de 5 % de la masse des constituants, c'est-à-dire voisine de 100 litres/m³.
- Prescriptions de forme des granulats:
 - indice de forme $\geq 0,275$ pour les calibres dont $D \leq 20$ mm
 - indice de forme $\geq 0,350$ pour les calibres dont $D > 20$ mm
 - pourcentage de pierres rondes ≤ 7 %
 - pourcentage de pierres plates ≤ 10 % pour les calibres dont $D > 7$ mm
- Teneur en fines ($\leq 0,063$ mm) des sables est limitée à 12 %.
Une teneur en fines ≤ 15 % est permise si la perméabilité k à l'optimum Proctor modifié est $\geq 5.10^{-5}$ m/s et si la qualité des fines est telle que (type a selon la PTV 401 du CRIC):
 - équivalent de sable ES ≥ 60
 - valeur au bleu VB $< 1,0$
- Masse volumique à l'état sec: ≥ 2200 kg/m³
- Résistance à la compression à 90 jours (éprouvettes cylindriques): 5 à 10 N/mm²

Béton maigre

- Teneur en ciment :
 - en % de la masse des matériaux secs: 4 à 6 %
 - en kg/m³ de mélange compacté: ≥ 100 kg/m³
- Quantité totale d'eau (y compris humidité des granulats et sables): ≤ 8 % de la masse du mélange sec
- Teneur en fines ($\leq 0,063$ mm) des sables est limitée à 10 %
- Masse volumique à l'état sec: 2100 à 2200 kg/m³
- Résistance à la compression à 90 jours (éprouvettes cylindriques): 10 à 20 N/mm²

Sable-ciment

- Teneur en ciment:
 - en % de la masse des matériaux inertes: 6 à 10 %
 - en kg/m³ de mélange compacté: 90 à 180 kg/m³
- Quantité totale d'eau (y compris humidité du sable) comprise entre 6 et 11 % de la masse sèche
- Teneur en fines ($\leq 0,063$ mm) ≤ 20 %
- Masse volumique à l'état sec: 1700 à 2000 kg/m³
- Résistance à la compression à 90 jours (éprouvettes cylindriques):
 - sable fin de carrière avec teneur en fines limitée (≤ 3 %): 3 à 7 N/mm²
 - sable de concassage avec teneur en fines voisine de 15 %: 10 à 20 N/mm²



LA DALLE DE REVETEMENT

• Le béton

La composition du béton doit être déterminée en fonction d'une série de facteurs liés d'une part aux propriétés exigées à l'état durci et d'autre part aux conditions de mise en œuvre.

L'application d'une couche supérieure (couche d'usure) permet de répartir la performance du revêtement entre le béton de masse et la couche supérieure. En d'autres termes, la qualité de la dalle de revêtement est le résultat d'une combinaison harmonieuse du béton de base et de la couche supérieure, sachant que le béton de base peut répondre à des exigences un peu moins sévères. Lorsqu'il n'est pas prévu de traitement spécifique pour la finition, les exigences de qualité pour le béton de base sont alors nettement plus rigoureuses.

Les exigences relatives à l'ouvrabilité sont sensiblement plus sévères pour les bétons de dallages industriels que pour ceux de constructions ordinaires. La mise en œuvre de grandes surfaces impose au béton une ouvrabilité appropriée, souvent relativement élevée et la plus constante possible. Après la mise en place, le béton doit être rapidement indéformable et accessible pour permettre la finition.

Dans le cadre de la gestion de la qualité totale, il est recommandé d'utiliser un béton certifié BENOR. Un béton BENOR est spécifié d'après ses performances selon la norme belge *NBN B15-001 – Béton, production, mise en œuvre et critères de conformité*.

Les données de base pour la spécification du béton à performance sont :

A : la résistance à la compression, définie par une classe de résistance,

B1 : le domaine d'utilisation: béton armé, non armé ou précontraint,

B2 : les exigences en matière de durabilité, définies par une classe d'exposition,

C : l'ouvrabilité, définie par une classe de consistance,

D : la dimension nominale maximale des granulats (D_{max}).

Ces spécifications de base permettent, dans la majorité des cas, de garantir l'aptitude du béton à répondre aux applications les plus courantes. Si, comme ce peut-être le cas pour les sols, les propriétés du béton doivent être précisées davantage, une série d'exigences complémentaires peuvent être formulées mais celles-ci ne doivent pas se trouver en contradiction avec les exigences fondamentales.

Des informations plus détaillées concernant la prescription des bétons suivant la norme NBN B15-001 peuvent être trouvées dans le *bulletin n° 19*. Il est utile de s'y référer. Le *cadre 3* ci-après reprend plus en détail, pour le béton des sols industriels, les choix les plus judicieux pour les exigences fondamentales, en tenant compte de la collaboration de la couche de finition et du béton de base.

Les recommandations complémentaires spécifiques au béton de sol sont principalement liées aux attentes particulièrement sévères en matière d'ouvrabilité et de finition. La combinaison d'une fluidité élevée, de la possibilité de pomper le béton, de la stabilité et du temps de prise contrôlé requièrent la prise de mesures spécifiques concernant la composition du béton, qui ne sont habituellement pas fixées par les spécifications de base mais reprises de manière contractuelle dans les documents d'adjudication.

Les principales exigences et recommandations complémentaires sont:

- sur les propriétés du béton frais (*voir également cadre 4*):
 - la détermination plus rigoureuse de la granulométrie et de la teneur en particules fines (ciment, cendres volantes,...) pour assurer une bonne stabilité;
 - la limitation plus sévère du rapport E/C;
 - l'indication précise du type et du dosage des adjuvants plastifiants ou superplastifiants, entraîneurs d'air, retardateurs de prise, accélérateurs de durcissement ;
 - une indication précise d'un type de ciment spécial, en cas d'exposition particulière;
- sur le mode de mise en œuvre:
 - la méthode de mise en place: béton pompé, tombereau (*dumper*), directement du camion malaxeur... ;
 - le mode de compactage;
 - la cadence des livraisons;
- sur le mode de finition de la surface, si celle-ci est spécifique;
- sur le mode de protection complémentaire de la surface contre la dessiccation.

• Béton armé et béton renforcé de fibres d'acier

Un dallage industriel peut être réalisé en béton armé de barres ou de treillis, en béton précontraint ou encore en béton renforcé de fibres d'acier. A noter que le béton est généralement considéré comme non armé lorsqu'il comporte une armature dont la section est inférieure à 0,15 % de celle du béton ou lorsque aucune mesure n'a été prise pour maintenir les armatures à l'emplacement prévu.

Les armatures

Lorsque le sol est en béton armé, les armatures sont mises en place avant le bétonnage et sont maintenues par des dispositifs adéquats (écarteurs, supports d'armatures, etc.). La distance entre les supports d'armatures ne peut être supérieure à 80 fois le diamètre nominal de l'armature principale.

Dans un sol industriel en béton armé, l'armature principale (dans une seule direction) doit au moins correspondre à 0,15 % de la section du béton. Afin de réduire la largeur des fissures de retrait, le pourcentage nécessaire d'armature de retrait est généralement de l'ordre de 0,3 à 0,4 % de la section du béton.

L'armature de répartition aura une section égale à 20 % au moins de l'armature principale. En aucun cas, la distance entre les armatures principales ne peut dépasser la plus petite des valeurs suivantes, c.-à-d. 1,5 fois la hauteur effective du béton ou 350 mm.

Les armatures seront posées avec un recouvrement suffisant. Il est recommandé d'utiliser des treillis à 'peignes', afin d'éviter la superposition de trop grandes quantités d'armatures dans les zones de recouvrement.

L'épaisseur d'enrobage des armatures inférieures ne peut être inférieure à 40 mm. L'épaisseur d'enrobage minimum des armatures supérieures est fonction de la classe d'exposition du béton et est donnée au *tableau 1* extrait de la norme NBN B15-002 d'octobre 1999. Il faut néanmoins noter que si l'on prévoit la circulation de véhicules de transport avec commande à induction, l'enrobage doit être plus élevé (≥ 50 mm) afin d'éviter toute interaction.

Trois catégories de joints peuvent être distinguées:

- les joints de structure (joints de tassement et de dilatation);
- les joints de fractionnement (joints de désolidarisation et de retrait-flexion);
- les joints de reprise (joints de construction).

Les joints de structure

Les joints de structure découpent verticalement le revêtement en béton en plusieurs parties indépendantes les unes des autres, de sorte que les portions du sol situées de part et d'autre de ces joints soient susceptibles de reprendre les tassements différentiels du sol (joints de tassement) ou les mouvements thermiques (joints de dilatation).

Si les mouvements verticaux respectifs de chacune des deux portions du sol doivent être évités, il y a lieu de placer des profilés en acier ou des goujons ou encore une combinaison des deux dans ces joints. Ils sont pourvus d'une barrière d'étanchéité et/ou d'une finition de surface au moyen d'une matière de scellement (fig.5).

Les joints de structure peuvent également être pourvus de doubles profilés spéciaux en acier à tenon et mortaise assemblés au moyen de boulons à rupture en matière plastique (fig.6).

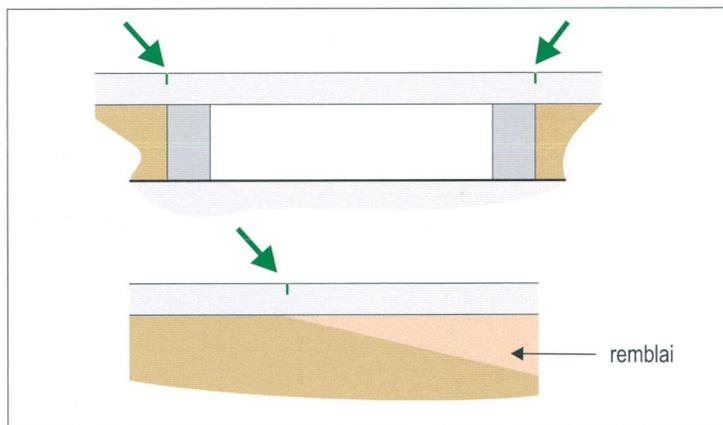


Fig. 4: Exemples d'emplacement de joint de structure

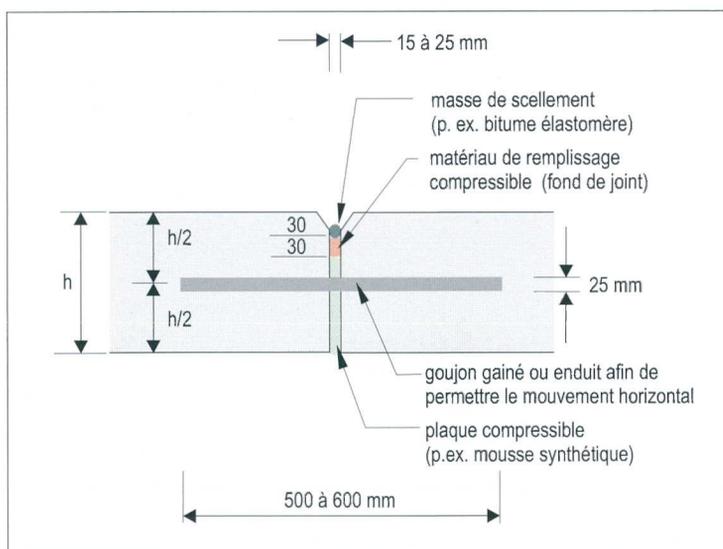


Fig. 5: Exemple de joint de structure – Goujon placé dans un joint de tassement

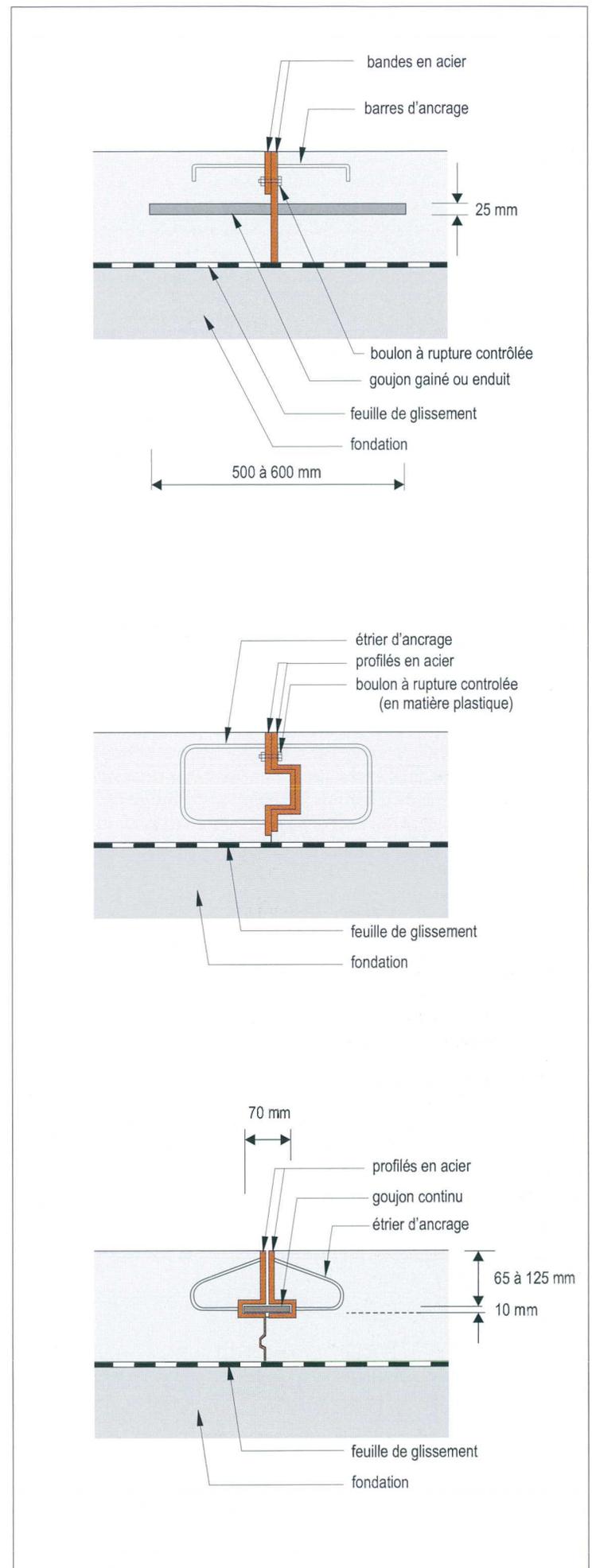


Fig. 6: Exemples de joint de structure – Profilé de joint en acier

Les joints de fractionnement

Les joints de fractionnement servent à séparer le sol des ouvrages adjacents (joints de désolidarisation) et à subdiviser les grandes surfaces en panneaux de plus petites dimensions (joint de retrait-flexion).

Les joints de désolidarisation (fig.7) servent à séparer le sol de tous les éléments portants de la construction (murs, poutres, colonnes) et de tous ceux disposant d'une fondation propre (socles de machine, ...) par des joints complètement libres permettant le mouvement des dalles et les tassements différentiels. Les dénivellations qui peuvent naître au droit de ces joints sont en principe sans importance car situées dans des zones en dehors de la circulation.

Ces joints sont complètement traversants. Ils sont minces (≤ 2 mm) à la périphérie du revêtement où le décollement par retrait s'opère toujours. Ils sont par contre larges (≥ 10 mm) et pourvus d'une fourrure résiliente compressible au pourtour des colonnes et socles intérieurs, endroits où les mouvements de sol sont moins contrôlables tant dans leur amplitude que dans leur sens.

Les joints de retrait-flexion (fig. 8) délimitent le revêtement en dalle de dimensions proportionnelles à l'épaisseur (cf. bulletin n° 23 - tableau 3) afin de réduire les sollicitations dues au retrait et au gradient de température, tout en évitant au maximum de rompre la continuité structurelle du sol. Ils sont habituellement sciés au diamant sur $1/4$ à $1/3$ de l'épaisseur de la dalle. Le sciage dans le béton durci intervient au plus tard 1 jour après le bétonnage. L'armature supérieure éventuelle est également sciée. Les joints ont une largeur de 3 à 4 mm. Les entailles ainsi pratiquées constituent des zones localement plus faibles où peuvent se concentrer les fissures de retrait, ce qui permet d'éviter une fissuration erratique.

Dans des cas particuliers, tels que les sols à planéité très stricte, les zones de sol à circulation très intense d'élevateurs ou encore des sols sur terrains à résistance mécanique faible, il peut être nécessaire de limiter le mouvement vertical des joints. Dans ce cas, il est conseillé d'incorporer des goujons dans les zones où l'on prévoit de pratiquer les joints de retrait.

Dans le cas du joint de retrait-flexion et en absence de goujons, le transfert des charges est assuré par engrenement des faces de la fissure et, le cas échéant, par cisaillement de l'éventuelle armature traversante. La section de cette dernière doit être limitée par la résistance à la traction de la section pleine de béton. En effet, il ne faut pas qu'après fissuration de la section entaillée, la résistance en traction développée par l'armature soit supérieure à celle de la section pleine de béton au risque d'entraîner la fissuration de la dalle (principe des revêtements en béton armé continu). C'est pour cette raison que dans le cas d'une double nappe d'armature, l'armature supérieure doit être interrompue au droit du joint.

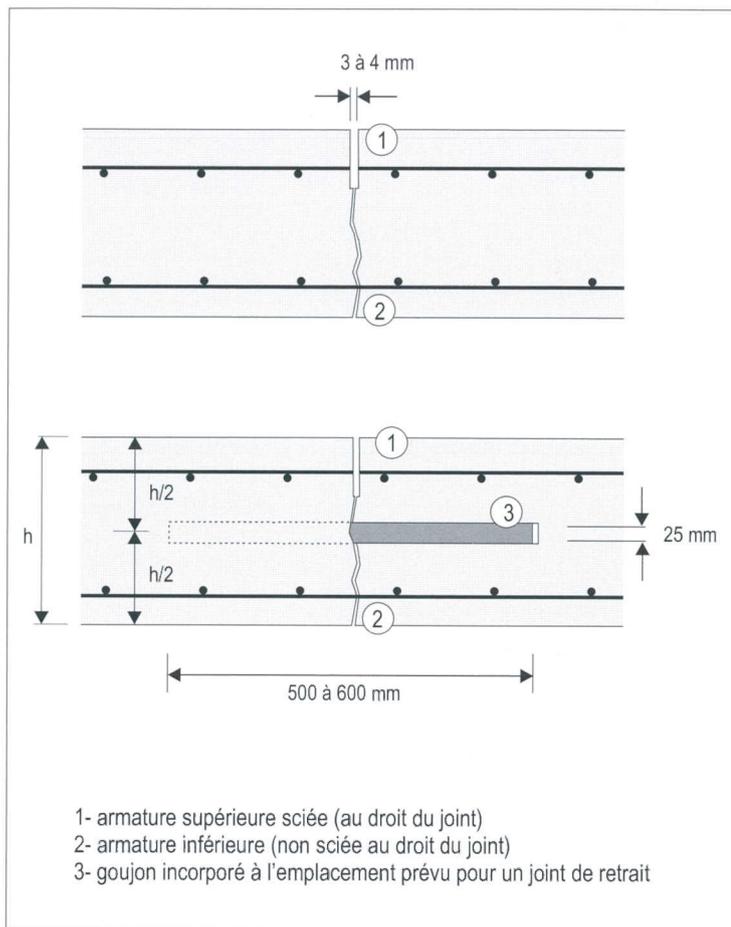
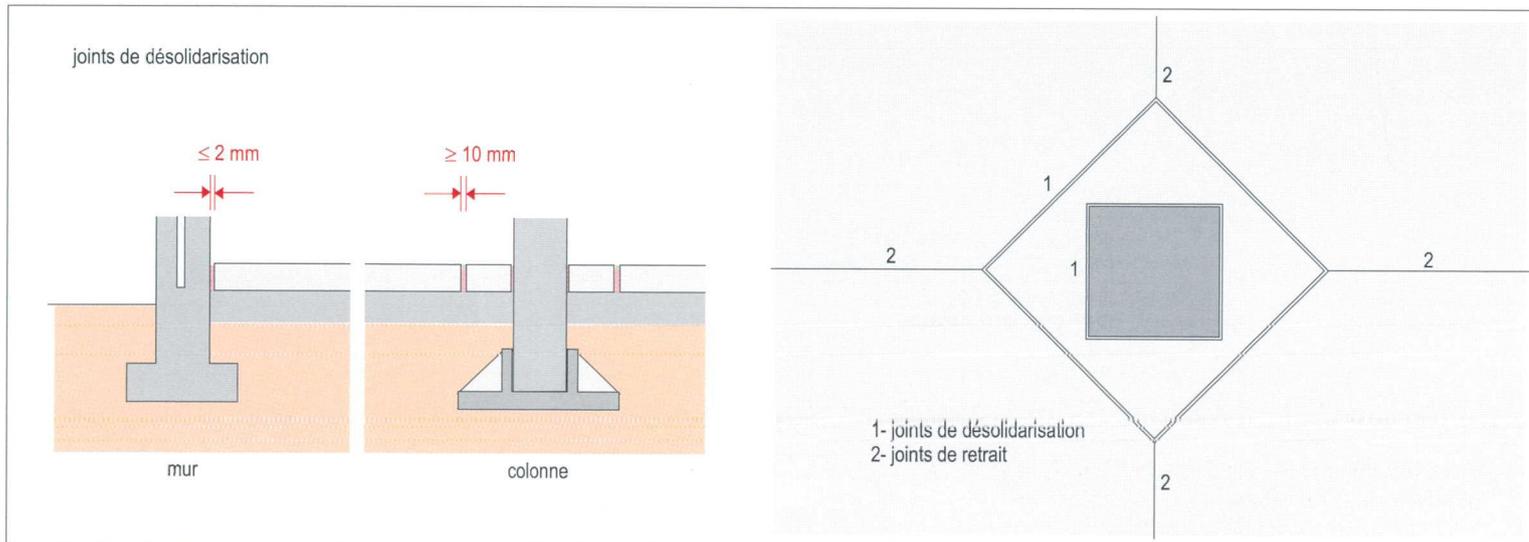


Fig. 8: Joints de retrait-flexion

Fig. 7: Emplacement de joints de désolidarisation



• Finition de la surface

Brossage

Le brossage est plutôt typique des sols extérieurs. Cette opération a lieu le plus vite possible après la mise en place du béton. La cure suit immédiatement. L'avantage de la méthode est que la composition du béton n'est pas influencée par la couche de finition et que la couche d'usure ne risque pas de se désolidariser. Par contre, le béton lui-même doit être suffisamment durable, ce qui entraîne automatiquement des teneurs en ciment plus élevées et un bon compactage.

Talochage et polissage

Le talochage débute dès que le béton est suffisamment durci pour être accessible sans déformation excessive. Par le premier mouvement de talochage, une quantité de pâte de ciment est attirée à la surface. Cette pâte est talochée de façon à fermer tous les trous en surface. Ensuite, les opérations de talochage sont poursuivies par intermittence jusqu'à l'obtention de l'égalité, voire, si nécessaire, de la brillance souhaitées (on parle en fait ici de polissage). Plus on attend avant d'entamer ces opérations, plus la prise déjà survenue sera rompue. En tout cas, il est déconseillé d'ajouter de l'eau à la surface pour faciliter le talochage, car cela diminue la qualité et accroît les risques d'écaillage. En revanche, la planéité sera moins perturbée.

La surface obtenue est très compacte. Ce mode de finition convient moins pour une application à l'extérieur vu les risques de gel accru.

La présence d'un excès d'eau de ressuage réduit la qualité de la couche supérieure. Si un ressuage surabondant s'est produit, l'eau doit être retirée avant le début de la finition.

Saupoudrage

Ce mode de finition est similaire au précédent pour ce qui concerne les opérations, à ceci près qu'une certaine quantité de mélange sec est incorporé durant le talochage de façon à renforcer la couche supérieure. Ce mélange comporte généralement une part de ciment (CEM I 42,5) pour deux parts de matériau résistant à l'usure ayant une granularité étudiée (quartz, carborundum,...). Parfois, des pigments sont additionnés (maximum 10 % de la masse de ciment). D'autres mélanges comportent des grains de métal qui augmentent la résistance aux impacts de la surface. Les mélanges sont soit livrés préfabriqués et prédosés, soit mélangés sur le chantier.

L'eau superflue dans la pâte de mortier talochée sert d'eau de gâchage pour le mélange saupoudré. Il en résulte une couche supérieure bien adhérente à faible rapport E/C. Plus le saupoudrage est entamé rapidement, plus le mélange s'intègre facilement dans le béton. Toutefois, il y a lieu de veiller attentivement au respect de la planéité. Moyennant une méthode de travail bien étudiée, on peut saupoudrer jusqu'à 6 kg de mélange minéral pour la couche d'usure par m², mais 4,5 kg de mélange par m² est plus courant et assure déjà une résistance satisfaisante à l'usure. Si des difficultés sont rencontrées, il est plutôt conseillé d'intégrer convenablement un minimum de 3 kg de mélange que d'essayer de travailler une couche moins bien adhérente de 4,5 kg par un mouillage ultérieur. En cas de saupoudrage de mélanges à base de grains de métal, on peut aller jusqu'à 8 kg.

Topping

Une alternative consiste à appliquer, 'frais sur frais', une pâte visqueuse (0,5 à 1,0 cm). Cette solution, plus onéreuse, est réservée aux applications visant une meilleure esthétique (application de pigments légèrement colorés) ou une résistance chimique particulière. Les mélanges présentent une granularité très précise, une teneur élevée en ciment et éventuellement des agrégats spéciaux (polymères,...). La finition s'effectue également par polissage. Parfois, un mélange sec pour la couche d'usure est également appliqué par talochage. Une bonne adhérence constitue un point essentiel pour cette solution. La stabilité du béton doit être excellente pour éviter l'apparition d'une couche adhérente faible sous l'effet du ressuage ou de la ségrégation.

Cadre 5

EXEMPLES DE GRANULATS DURS A TRES DURS

Granulats durs:

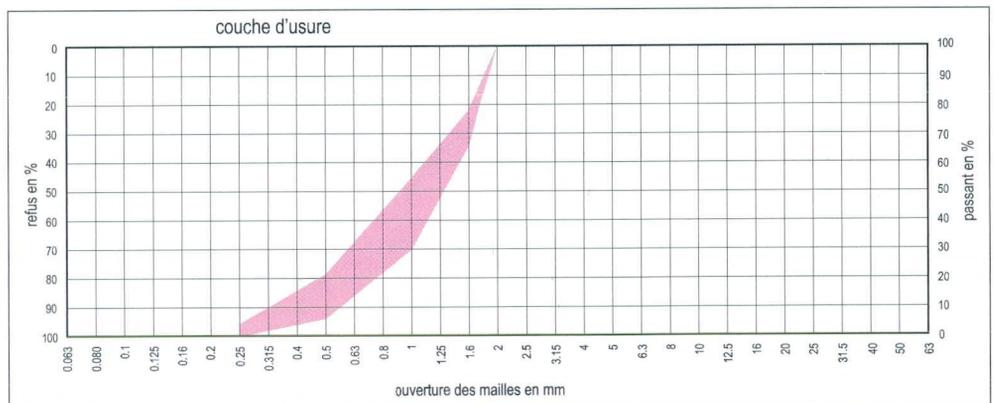
granulats concassés, lavés et calibrés de quartz, granit, porphyre, silex, basalte, ...

Granulats très durs:

- carborundum : carbure de silicium
- corindon : alumine
- émeri : alumine et oxyde de fer

Granulats métalliques:

pour sols sujets à la chute d'objets lourds et relativement fragiles



• Planéité et horizontalité

La planéité de surface est importante puisqu'elle régit:

- les dénivellations longues, génératrices de surcharges des engins de manutention par effet d'inertie;
- les dénivellations courtes, responsables de chocs.

Si les premières nommées sont nuisibles au seul revêtement, les secondes le sont et pour le revêtement et pour les charges transportées.

L'utilisation de systèmes de stockage de pointe combinée avec le stockage en hauteur nécessite des tolérances très strictes afin d'obtenir une efficacité optimale de l'ensemble. Le *tableau 2* donne à titre d'exemple les tolérances de planéité extraites de la norme allemande DIN 15 185. La *figure 2* donne le moyen de les contrôler. A remarquer que des tolérances de planéité très strictes vont de pair avec des exigences de résistance à l'usure du revêtement en béton également très strictes. En effet, passant toujours au même endroit dans les couloirs, les engins de manutention usent particulièrement le revêtement de sol. Il y a donc lieu de prescrire une couche d'usure à performance exemplaire. Ainsi, une usure de seulement 1,5 mm suivant l'essai Amsler à 3000 m (norme belge NBN B15-223) a lieu d'être exigée.

• Mise en service

En principe, le revêtement peut être mis en service dès que le béton a atteint une résistance mécanique suffisante. A remarquer qu'une partie du retrait s'effectue encore après que le béton ait atteint cette qualité, les entreposages lourds sont donc de nature à brider le retrait des dalles entre joints. Le caractère très sollicitant de ces charges fixes sur le plan des sollicitations de flexion se trouve ainsi encore accentué par l'effet du retrait empêché.

Nous estimons dès lors que la mise en service du revêtement en béton ne doit pas être autorisée avant 7 jours après la mise en œuvre. Un revêtement de moins de 7 jours peut être livré à la circulation si l'entrepreneur apporte la preuve que la résistance du béton a atteint 75 % de la résistance spécifiée.

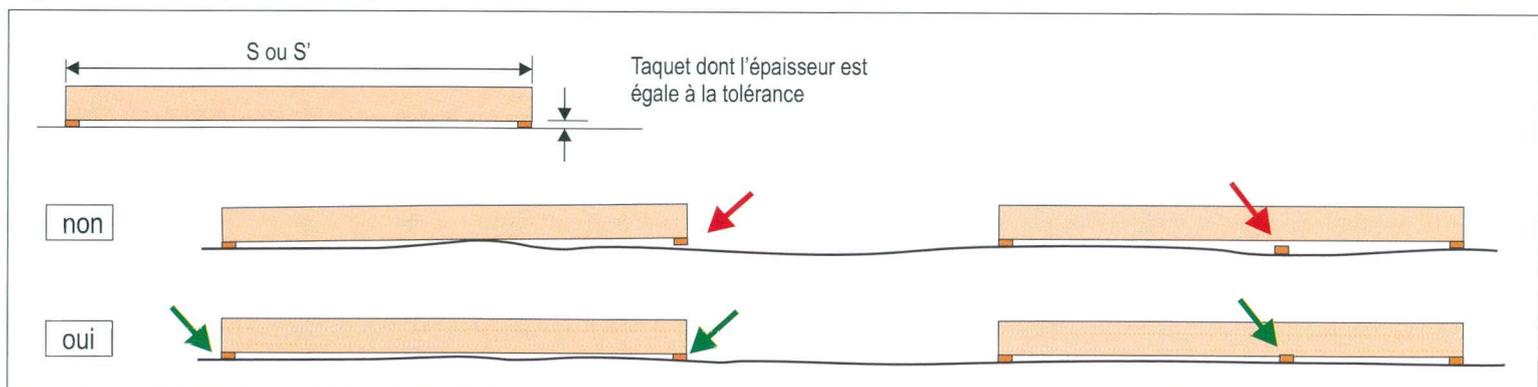


Tableau 2: Tolérances de planéité extraite de la norme DIN 15 185

	Différence de niveau dans le sens transversal (dans les couloirs)			
	Distance S entre les 2 roues avant des engins élévateurs			
	S ≤ 1,0 m	1,0 m < S ≤ 1,5 m	1,5 m < S ≤ 2,0 m	2,0 m < S ≤ 2,5 m
Hauteur de stockage ≤ 6,0 m	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm	3,5 mm
Hauteur de stockage > 6,0 m	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm

Tolérances de planéité dans le sens longitudinal (dans les couloirs)				
Distance S' entre les 2 points placés sur chaque trace de roues				
S = 1,0 m	S' = 2,0 m	S' = 3,0 m	S' = 4,0 m	
2,0 mm	3,0 mm	4,0 mm	5,0 mm	

Fig. 2: Contrôle de la planéité à la règle



MAITRISE DE LA FISSURATION ET DU CINTRAGE

• Origine des fissures et du cintrage

Le retrait, les mouvements thermiques et les déformations (tassements, flèches) peuvent engendrer la fissuration et/ou le cintrage du revêtement en béton

Le retrait

Le retrait résulte de l'évaporation de l'eau de gâchage, tant en phase plastique (retrait plastique) qu'à l'état durci (retrait hydraulique ou retrait de séchage). Il est fonction de la composition du béton, de la température et de l'humidité relative de l'air ambiant, des dimensions de l'élément en béton et de l'échange éventuel d'humidité avec le support.

Le retrait en phase plastique résulte d'un séchage rapide du mélange dans sa phase plastique à la surface sous l'effet du vent ou de l'ensoleillement ou sous l'effet de succion d'une couche inférieure sèche. Cette dessiccation provoque une diminution de volume considérable jusqu'à 10 fois supérieure au retrait du béton en phase de durcissement.

Ce changement de volume est compensé au début pour une grande partie par la déformabilité du béton frais. Durant la prise, le béton durcit progressivement. Tant que la surface reste humide, aucune contrainte capillaire et fissuration ne survient. En ce sens, le ressuage en soi n'est pas la cause de la fissuration due au retrait en phase plastique et agit même comme protection.

Lorsque la surface est entièrement séchée, des contraintes capillaires se développent progressivement, avec pour conséquence une fissuration erratique importante semblable à celle d'un terrain argileux aride.

Le béton comportant peu d'eau et séchant rapidement à la surface présentera donc plus tôt une fissuration due au retrait en phase plastique. Afin d'éviter ce dernier, une protection du béton par le maintien d'un environnement humide constitue la meilleure solution.

Il est par ailleurs important de souligner que les sols industriels qui sont finis en place ne peuvent subir de traitement contre la dessiccation (p.ex. par application d'un produit de cure) avant l'achèvement de la finition. Il reste donc une période très longue, dangereuse pour la survenance de fissures qui sont talochées lors de la finition mais qui sont fréquemment à l'origine d'une fissuration ultérieure par retrait de séchage. En effet, la perte d'eau du béton pendant le durcissement – période au cours de laquelle se développe la résistance mécanique – conduit à une diminution supplémentaire du volume du béton et donc à un retrait (de séchage).

Si le séchage progresse rapidement en surface, le retrait différentiel de la couche extérieure par rapport à la masse du béton (dû à une teneur en eau différente) augmente le risque de fissuration. Le retrait différentiel donne naissance à des contraintes dans le béton pouvant provoquer un faïençage en surface et un cintrage (curling) à la périphérie de la dalle. A remarquer que le faïençage est esthétiquement gênant mais souvent inoffensif.

Les conséquences du retrait peuvent être limitées :

- en appliquant un traitement de cure adéquat dès que l'état de surface le permet;
- en ne réalisant le sol qu'une fois le bâtiment fermé (à l'abri des courants d'air et du rayonnement solaire: locaux fermés !);
- en renonçant à la mise en œuvre du béton lorsque la température ambiante dépasse les 30 °C.

Les mouvements d'origine thermique

Les mouvements d'origine thermique résultent des variations de température, qui peuvent se traduire par un allongement ou un rétrécissement du revêtement. Si ces déformations sont contrariées, elles peuvent créer des contraintes dans la dalle susceptibles de conduire à une fissuration.

Les déformations du sol

Il est évident que les tassements et les déformations du sol sont susceptibles d'engendrer une fissuration. La déformation de la dalle est fortement influencée par sa raideur, en particulier par son épaisseur qui doit être adaptée aux charges appliquées, par son module d'élasticité et par sa résistance intrinsèque à la traction.

• La cure

Pour limiter les conséquences nuisibles de la dessiccation et du retrait, le sol doit être protégé le mieux possible, non seulement en phase plastique, mais également durant l'hydratation.

Le tableau 3 donne les méthodes de protection possibles ainsi que leur limite d'utilisation. Il est de plus préférable de fermer les locaux de façon à conserver une humidité relative élevée et à éviter les courants d'air.

La cure doit être poursuivie suffisamment longtemps en fonction de la composition du béton, des conditions d'environnement et de la qualité souhaitée. Les durées de cure sont données dans *le bulletin n°22* (tableau extrait de la norme NBN B15-001).

En cas de températures ambiantes très basses (≤ 5 °C) ou très élevées (≥ 30 °C), des mesures supplémentaires doivent être prises, respectivement pour la protection contre le gel et les fissures thermiques. Il y a toutefois lieu de garder à l'esprit qu'il est préférable de ne pas couler de béton sous ces températures.

Tableau 3: Méthodes de protection

	PHASE PLASTIQUE	PHASE DE DURCISSEMENT	REMARQUES
Application d'un film plastique	possible	oui	Laisse des traces sur le béton frais
Arrosage avec de l'eau	non	oui	Peut laisser des traces Pas en période froide Pas en cas de pente
Application d'une couche de sable mouillé	non	oui	Peut laisser des traces Pas en période très froide
Pulvérisation d'un produit de cure	oui	oui	Uniquement après finition de la surface – Attention à l'efficacité du produit de cure

• Les joints

Dans les revêtements industriels, comme dans les autres revêtements en béton, des joints sont nécessaires pour contrôler la fissuration. Lors de l'élaboration du schéma d'implantation des joints (cfr. figure 3), le concepteur veillera à :

- diviser dans la mesure du possible les surfaces en panneaux de forme carrée ou en panneaux dont le rapport longueur/largeur ne dépasse pas 1,5;
- éviter des dalles formant des angles aigus ($< 90^\circ$) ;
- éviter les angles rentrants, par exemple au droit des colonnes, ces angles étant le siège de concentration de contrainte, et donc de fissuration non contrôlée ;
- éviter les joints à proximité des charges concentrées (montants des rayonnages, par exemple), afin de se prémunir contre les tassements différentiels. Si ces précautions ne peuvent être prises, il y a lieu de prévoir des profilés spéciaux pour joints ou des goujons (voir cadre 6) dans les joints de retrait et des armatures dans les joints de structure. L'emploi de profilés spéciaux ou de goujons est d'ailleurs recommandé à partir d'une charge concentrée ≥ 60 kN à proximité des joints.
- dans la mesure du possible, éviter les joints à l'endroit présumé de passages fréquents de véhicules, sinon, prévoir l'emploi de profilés spéciaux pour joints ou des goujons;
- éviter le décalage des joints dans le plan.

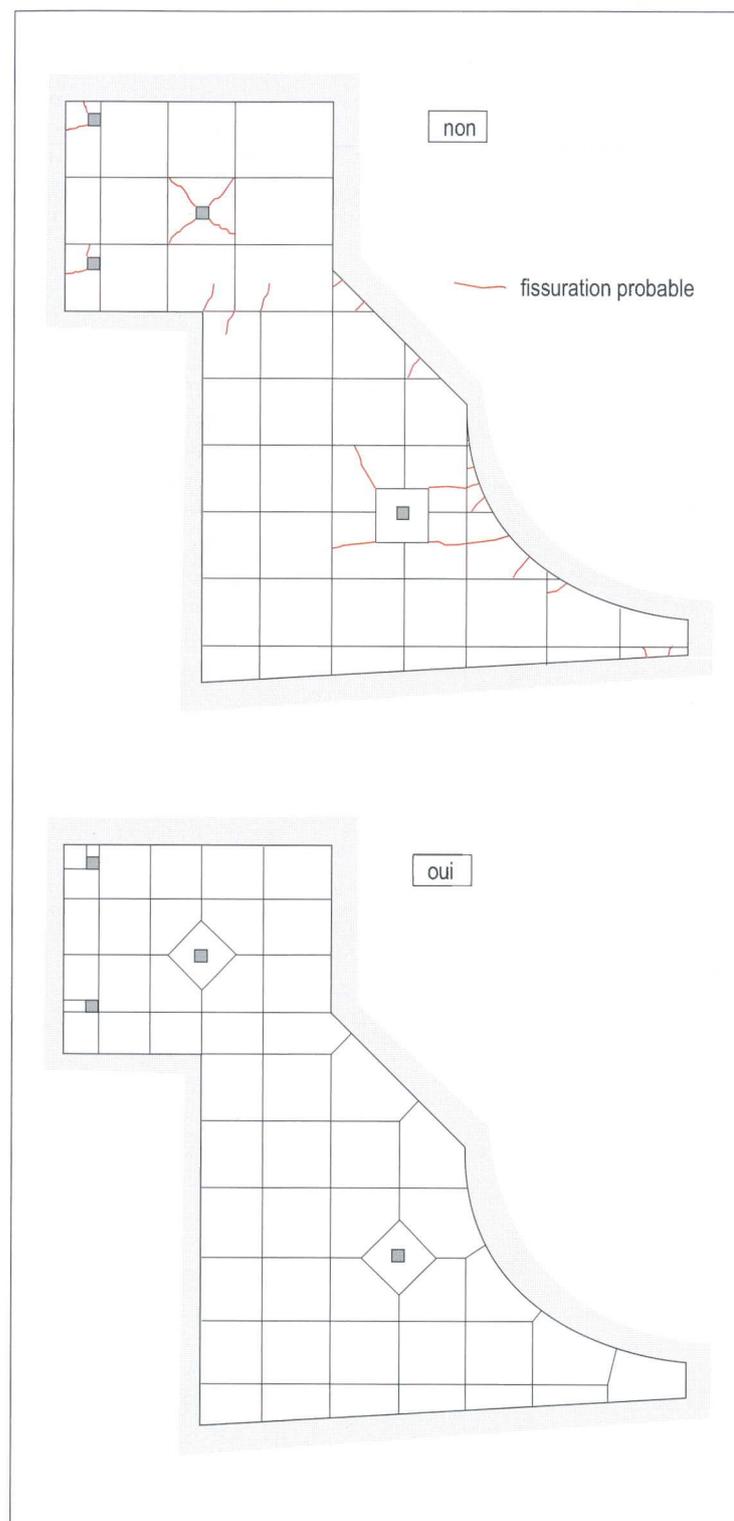
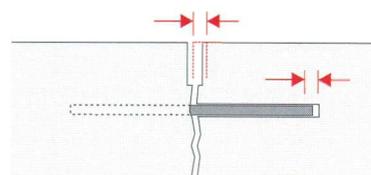
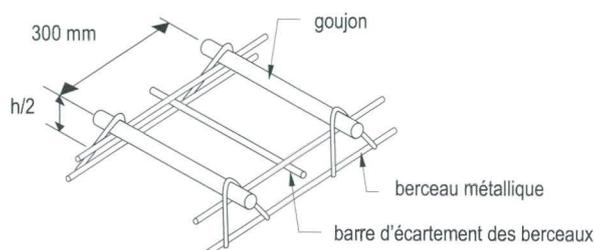


Fig. 3: Dispositions correctes et incorrectes des joints

Cadre 6

Les goujons sont des ronds à béton lisses, totalement enduits ou gainés sur la moitié de leur longueur, de façon que cette partie puisse coulisser dans le béton après fissuration de la section réduite. L'efficacité du goujonnage dépend de la précision de son positionnement (parallélisme absolu avec l'axe du mouvement). Il ne s'applique qu'à des revêtements d'épaisseur au moins égale à 15 cm.



Les joints de reprise

Les joints de reprise (ou joints de construction) relèvent du procédé de construction adopté : joints d'arrêt en fin de journée et joints séparant les bandes de bétonnage dans le cas où ce procédé est employé. Lorsque les travaux de construction sont interrompus pour une durée supérieure à deux heures entre le moment de fabrication du béton et la fin de la mise en œuvre, un joint de reprise est également nécessaire.

Situés dans les zones de circulation, ces joints doivent être pourvus d'un système efficace de transfert des charges:

- Pour les joints entre bandes, le transfert des charges peut être assuré par un profil adéquat donné par le coffrage (clavette) (fig.9). Après enlèvement de ce dernier, la tranche du revêtement sera enduite pour éviter toute adhérence de la bande contiguë.
- Les joints de fin de journée (fig.10), s'ouvrant en général assez fort, sont obligatoirement équipés d'un dispositif de transfert des charges tel que des goujons. Ils sont, de plus, plans et bien perpendiculaires à la surface du revêtement.



Bande compressible et armature locale pour joint de désolidarisation autour d'une colonne



Profilés en acier pour joint de structure

Fig. 10: Réalisation d'un joint de fin de journée avec incorporation d'un goujon

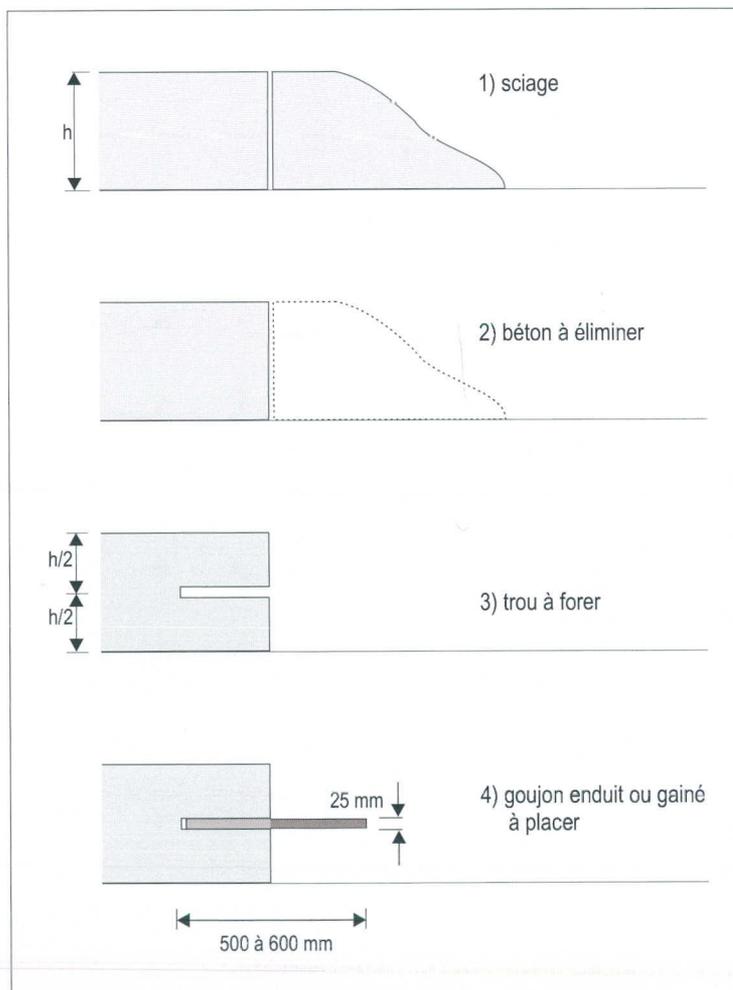
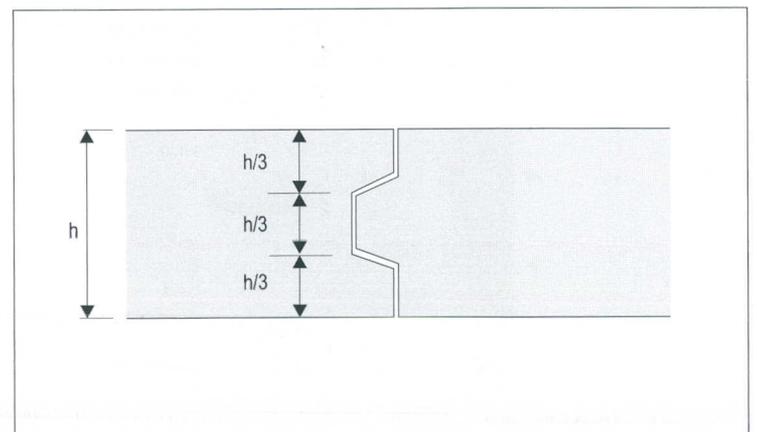


Fig. 9: Joint de construction claveté





ce bulletin est publié par :
FEBELCEM - Fédération de
l'Industrie Cimentière Belge
rue Volta 8 - 1050 Bruxelles
tél. (02) 645 52 11
fax (02) 640 06 70
<http://www.febelcem.be>
e-mail: info@febelcem.be

auteur:
Ir C.Ployaert

photos:
A.Nullens
(sauf mention contraire)

éditeur responsable :
J.P. Jacobs

dépot légal :
D/2000/0280/08

BIBLIOGRAPHIE

Sols industriels à base de ciment
Note d'information technique n° 204
Bruxelles : CSTC, juin 1997

RIGO J. M. (éd.)
Séminaire 'Sols industriels en béton : conception, dimensionnement, réalisation et pathologie'
Liège : CERES, janvier 1999

HENDRIKX L.
Revêtements industriels en béton
Bruxelles : FIC (FEBELCEM), 1990

BOUQUET G. Chr. ; FRENEY F.W.
Betonnen bedrijfsvloeren en bedrijfsverhardingen
's Hertogenbosch : VNC, octobre 1998

Concrete Floors on Ground (second edition)
Illinois : PCA, 1990

DE BLAERE B.
Beton voor cementgebonden bedrijfsvloeren
Bruxelles : novembre 1997
(Journée d'étude KVIV 'Sols industriels')

NBN B15-001 – *Béton : Performance, production, mise en œuvre et critères de conformité – 2e édition*
Bruxelles : IBN, mars 1992

NBN B15-002 – *Eurocode 2 : Calcul des structures en béton Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments*
2e édition
Bruxelles : IBN, octobre 1999

DIN 15 185, Teil 1 – *Lagersysteme mit leitliniengeführten Flurförderzügen, Anforderungen an Boden, Regal und sonstige Anforderungen*
Berlin : DIN, août 1991

Exemple de sol industriel réalisé dans un projet de rénovation:

- a- Remarquer les armatures locales au-dessus des gaines pour canalisation, les bandes compressibles autour des colonnes et les feuilles en plastique protégeant la maçonnerie contre les éclaboussures.
b- Aspect du sol après sciage des joints.

