

CSTC

UNE EDITION DU CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION



NOTE D'INFORMATION
TECHNIQUE **204**

SOLS INDUSTRIELS À BASE DE CIMENT (REPLACE LA NIT 122)

Juin 1997

SOLS INDUSTRIELS À BASE DE CIMENT

(REMPLACE LA NIT 122)

La présente Note d'information technique a été élaborée par un groupe de travail créé à l'initiative du Comité technique *Revêtements durs de murs et de sols*, en collaboration avec le Comité technique *Gros œuvre*.

Composition du groupe de travail

M. Van Isacker (s.a. Strabag - Benelux), qui assurait la conduite du groupe de travail, B. De Blaere (Febelcem), D. Descamps (s.a. Rocksol), X. Destrée (s.a. Trefil ARBED), J.M. Huberty (Febelcem), A. Kielemoes (s.a. Polybeton), A. Mommens (ancien collaborateur de la s.a. Silidur), E. Schmit (Bureau Seco), H. Thooft (s.a. Bekaert - Dramix), van Innis (s.a. Silidur), W. Van Laecke (CSTC), J. Vyncke (CSTC), M. Wagneur (CSTC)

Ingénieur-rapporteur : G. Carpentier (CSTC)

Messieurs Hoste et Montariol, responsables au CSTC de la guidance technologique *Sols industriels*, subsidiée par les Régions, ont également participé à l'élaboration de cette Note d'information technique.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION

CSTC, établissement reconnu en application de l'arrêté-loi du 30 janvier 1947

Siège social : rue de la Violette 21-23 à 1000 Bruxelles



Publication à caractère scientifique visant à faire connaître les résultats des études et recherches menées dans le domaine de la construction en Belgique et à l'étranger.



La reproduction ou la traduction, même partielles, du texte de la présente Note d'information technique n'est autorisée qu'avec le consentement de l'éditeur responsable.

1 INTRODUCTION

2 DÉFINITIONS, DOMAINE D'APPLICATION

2.1	Sols industriels	5
2.2	Types de sols industriels à base de ciment	5
2.2.1	Cas courants	5
2.2.2	Cas particulier des sols chauffants	6
2.3	Béton	7
2.3.1	Béton de structure	7
2.3.2	Béton non armé	7
2.3.3	Béton renforcé de fibres	7
2.3.4	Béton armé	7

3 EXIGENCES PERFORMANCIELLES

3.1	Stabilité	8
3.1.1	Capacité portante	8
3.1.2	Déformations du sol	14
3.1.3	Fissuration	15
3.2	Adhérence des sols rapportés	15
3.3	Résistance à l'usure	16
3.3.1	Utilisation du sol	16
3.3.2	Sollicitation à l'usure	16
3.3.3	Critères	17
3.4	Résistance aux chocs	17
3.5	Etanchéité aux liquides	17
3.6	Résistance chimique des sols industriels	17
3.6.1	Attaque du béton par des agents agressifs	18
3.6.2	Mesures favorisant la durabilité du béton	20
3.7	Résistance aux agressions thermiques	20
3.8	Caractère antidérapant du sol	21
3.9	Résistance électrique	21
3.10	Protection contre les nuisances acoustiques	21
3.11	Economie d'énergie et conservation de la chaleur	22
3.12	Exigences dimensionnelles	22
3.12.1	Tolérances sur l'épaisseur du sol	22
3.12.2	Niveaux à respecter	22
3.12.3	Horizontalité ou pente des sols industriels	24
3.12.4	Planéité des sols industriels	24
3.13	Aspect des sols industriels	26

4 CHOIX D'UN SOL INDUSTRIEL À BASE DE CIMENT

4.1	Exigences à formuler	28
4.2	Comment satisfaire aux exigences ?	29
4.2.1	Choix du type de sol	29
4.2.2	Dimensionnement de la dalle	29
4.2.3	Emplacement et type de joints	29
4.2.4	Caractéristiques du béton	30

5 TERRAIN ET FONDATION

5.1	Caractéristiques du terrain	31
5.2	Préparation du terrain	31
5.3	Fondation	32

6 MISE EN ŒUVRE DES SOLS INDUSTRIELS

6.1	Type de béton	33
6.2	Béton pour sols industriels	33
6.2.1	Performances des bétons certifiés	33
6.2.2	Béton pour sols rapportés	38
6.3	Préparation de l'infrastructure	39
6.3.1	Sols monolithiques	39
6.3.2	Sols rapportés	39
6.4	Armatures	39
6.5	Mise en place et serrage du béton	40
6.6	Finition de la surface	40
6.6.1	Saupoudrage	41
6.6.2	Finition par topping	41

7 MAÎTRISE DE LA FISSURATION ET DU CINTRAGE

7.1	Origine des fissures et du cintrage	42
7.1.1	Retrait	42
7.1.2	Mouvements d'origine thermique	43
7.1.3	Déformations du sol	43
7.1.4	Conséquences et remèdes possibles	43
7.2	Cure du béton	44
7.3	Joints	44

8 RÉCEPTION, ENTRETIEN

8.1	Contrôles et essais	49
8.1.1	Prescriptions du cahier des charges	49
8.1.2	Etat des lieux	49
8.1.3	Réception de l'ouvrage	49
8.2	Mise en service du sol	49
8.3	Nettoyage	49

ANNEXE 1	Aide-mémoire pour le choix d'un sol industriel à base de ciment	50
-----------------	---	----

ANNEXE 2	Charges par essieu admissibles pour les camions, géométrie des essieux et des roues	53
-----------------	---	----

ANNEXE 3	Caractéristiques d'un béton spécifié d'après la classe de résistance C selon la norme NBN B 15-002	55
-----------------	--	----

LEXIQUE	57
----------------	-------	----

BIBLIOGRAPHIE	61
----------------------	-------	----



1 INTRODUCTION

Le choix de sols industriels est relativement vaste, tant en ce qui concerne les matériaux que les procédés d'exécution. Il convient donc de faire une sélection judicieuse compte tenu de la destination prévue et des exigences qui en découlent.

La présente NIT se limite aux sols industriels à base de ciment coulés in situ et remplace la NIT 122 éditée en 1978, dont l'actualisation s'imposait essentiellement pour les raisons suivantes :

- ◆ *l'expression actuelle des exigences, généralement basées sur le principe des performances, comme la définit la Directive européenne "Produits de construction" (EC 89/106). Une telle approche n'était pas prévue dans la NIT 122*
- ◆ *l'approche qualité et la certification des produits pour le secteur de la construction, basées sur les normes ISO de la série 9000, et sur les marques de qualité BENOR et ATG*
- ◆ *l'évolution des matériaux et des techniques d'exécution qui s'est produite au cours des dernières décennies, permettant notamment d'augmenter l'entredistance des joints, etc.*

Cette publication est le fruit d'une étude de la littérature en la matière ainsi que de l'expérience acquise lors de l'examen de revêtements in situ et en laboratoire.



2 DÉFINITIONS, DOMAINE D'APPLICATION

2.1 SOLS INDUSTRIELS

Dans le présent document, les sols sont considérés comme des éléments de construction plans horizontaux ou à faible pente permettant la circulation de personnes et, éventuellement, de véhicules à l'intérieur des bâtiments. Parmi eux, on distingue les sols industriels destinés à résister à des actions spécifiques pouvant survenir dans des ateliers, des locaux affectés à la production industrielle et au stockage, etc. Les sols industriels jouent avant tout un rôle fonctionnel, leur aspect ne venant qu'au second plan.

En fonction des sollicitations prévues sur le sol, on sera généralement amené à faire un choix dans une gamme étendue de matériaux, parmi lesquels se retrouvent les produits à base de ciment ou de béton.

Les sols industriels à base de ciment peuvent être réalisés au moyen :

- ◆ de béton coulé et parachevé sur place, ne nécessitant après durcissement aucune finition supplémentaire ou
- ◆ de composants préfabriqués en béton, tels que carreaux, pavés et dalles de grand format (par exemple, dalles de quai).

Le terme "industriel" est à prendre au sens large et comprend notamment :

- ◆ les garages pour le stationnement et l'entretien de véhicules
- ◆ les locaux commerciaux faisant l'objet d'un nombre restreint d'exigences d'ordre esthétique
- ◆ les salles d'exposition (pour véhicules, par exemple)
- ◆ les entrepôts de marchandises en vrac et en palettes
- ◆ les entrepôts frigorifiques
- ◆ les locaux de production suivant différents procédés industriels
- ◆ les étables pour l'élevage, ...

A chaque cas s'appliquent des exigences spécifiques, traitées en détail au chapitre 3 (p. 8).

La présente Note d'information technique se limite aux sols intérieurs en béton coulés et parachevés

sur place. Sont donc exclus les carreaux, pavés et dalles de grand format, plutôt utilisés à l'extérieur, ainsi que les revêtements extérieurs en béton pour lesquels interviennent des facteurs supplémentaires, tels que exposition au rayonnement solaire, à la pluie, au gel et traitements éventuels au moyen de sels de déneigement.

L'éventuel parachèvement complémentaire du sol (par exemple, au moyen d'un coating ou d'une couche d'usure résineuse) et la préparation de la surface du béton nécessaire à ce genre de réalisation seront traités dans la version révisée de la NIT 139 relative aux sols industriels à base de résine [14]. Des spécifications pour la mise en œuvre des tuyauteries dans les sols chauffants sont quant à elles reprises dans la NIT 179 [13].

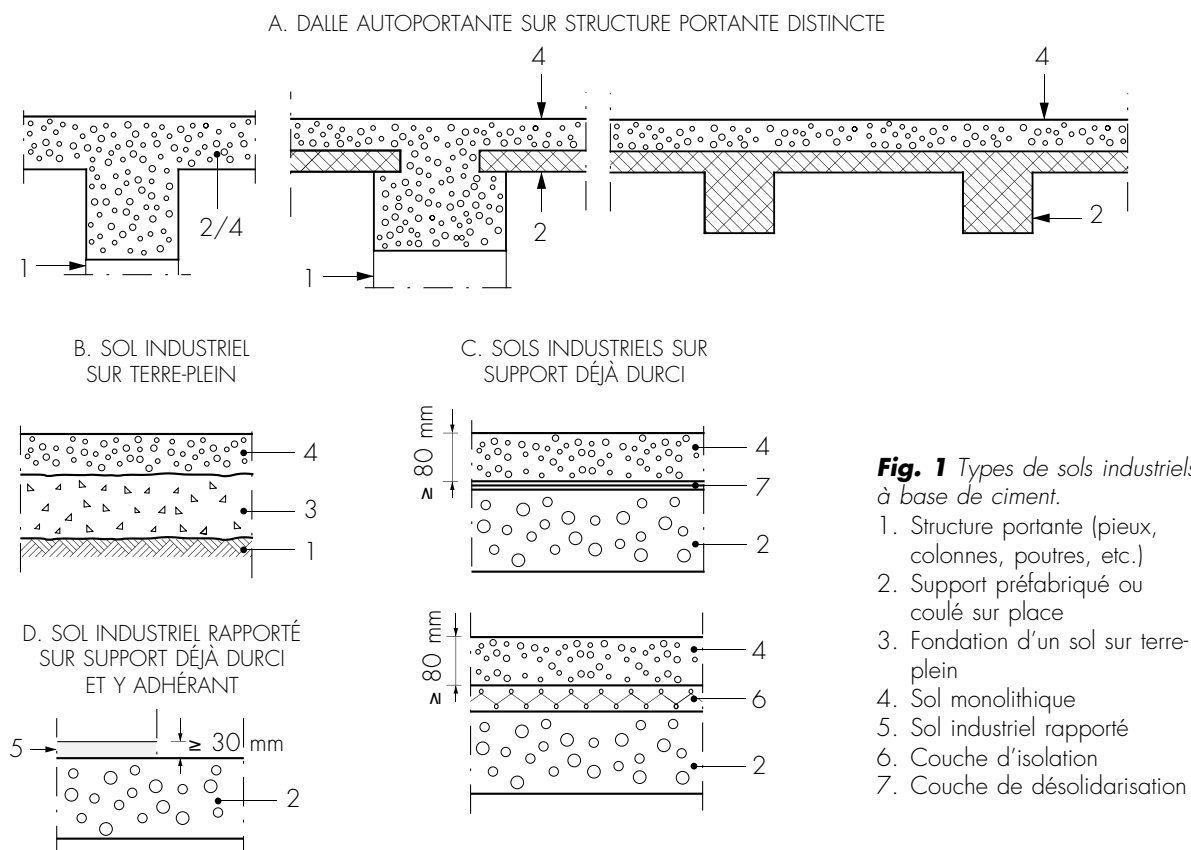
2.2 TYPES DE SOLS INDUSTRIELS À BASE DE CIMENT

2.2.1 CAS COURANTS

Selon la conception des sols industriels à base de ciment, on distingue :

- a. les dalles autoportantes s'appuyant sur une structure portante distincte (poutres, colonnes, pieux, etc.), les planchers préfabriqués avec couche de compression, y compris les prédalles, les dalles massives, etc. (figure 1A)
- b. les sols industriels sur terre-plein avec fondation (couche de sable stabilisé au ciment, empierrement, béton maigre, revêtement existant, etc.) (figure 1B)
- c. les sols industriels sur un support déjà durci et donc existant, mais séparés de ce support par une couche de désolidarisation et/ou d'isolation thermique ou acoustique (figure 1C)
- d. les sols industriels rapportés sur un support déjà durci et donc existant et y adhérant (figure 1D).

Les sols industriels des types a, b et c sont considérés comme des sols industriels monolithiques, ou simplement "sols monolithiques" pour autant qu'il n'y ait pas de confusion possible. L'épaisseur et



l'armature éventuelle de ces sols sont déterminées par calcul; toutefois, l'épaisseur minimale est de 80 mm.

Les sols industriels rapportés du type d, ou sols rapportés si toute possibilité de confusion est exclue, n'entrent pas dans le calcul de la structure portante; on considère qu'ils servent uniquement de finition. Leur épaisseur minimale est de 30 mm.

La surface des sols industriels est talochée et éventuellement lissée et la couche d'usure éventuelle est appliquée avant le durcissement du béton. La couche d'usure contient généralement des granulats spéciaux anti-abrasifs en fonction de la résistance à l'usure souhaitée. Elle est appliquée soit par saupoudrage du béton avant la fin de la prise, soit par coulage d'un mélange visqueux (*topping*) après la prise mais avant le durcissement.

Remarque : afin d'éviter toute confusion, le terme "sol" sera utilisé, dans la suite du texte, au sens

défini au § 2.1; il ne désigne donc pas le terre-plein ou le terrain.

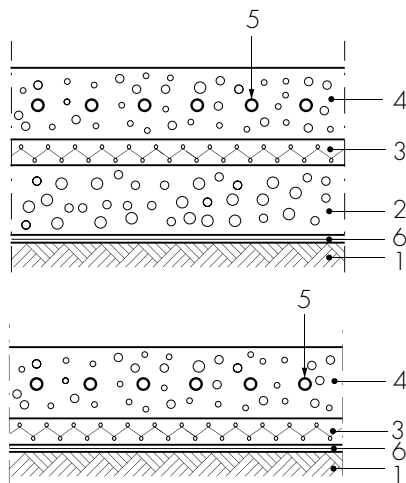
2.2.2 CAS PARTICULIER DES SOLS CHAUFFANTS

Les sols industriels chauffants sont réalisés comme des sols monolithiques. Les tuyauteries de chauffage sont incorporées :

- ◆ soit directement dans le sol industriel qui repose sur un isolant thermique si le système est destiné à chauffer le local (figure 2A)
- ◆ soit dans une couche de béton de fondation sur laquelle s'appliquent l'isolant thermique et le sol industriel si le circuit de canalisations a pour fonction d'empêcher le sol de geler (figure 2B).

La mise en œuvre de ce type de sol requiert une connaissance approfondie du système ainsi qu'une parfaite coordination entre l'installateur et l'entrepreneur du sol industriel. Le lecteur se référera à cet effet à la NIT 179 [13].

A. TUYAUTERIES DE CHAUFFAGE INCORPORÉES DANS LE SOL INDUSTRIEL



B. TUYAUTERIES DE CHAUFFAGE NOYÉES DANS LE BÉTON DE FONDATION

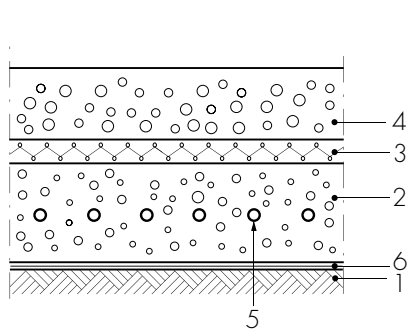


Fig. 2 Sols industriels chauffants.

1. Terre-plein
2. Support ou fondation
3. Isolation thermique
4. Sol industriel
5. Système de chauffage
6. Couche de désolidarisation

2.3 BÉTON

2.3.1 BÉTON DE STRUCTURE

Le béton de structure est obtenu après durcissement d'un mélange de ciment, d'eau, de granulats fins et gros. Outre ces composants de base, le béton peut contenir des adjuvants et/ou des additifs. La granulométrie des gros granulats dépasse 4 mm; il s'agit en général de gravillons ou de pierrailles, alors que, pour les granulats fins, on utilise du sable.

Le béton est à structure fermée; il est composé et compacté de manière à ne pas contenir une quantité appréciable d'air occlus, autre que l'air entraîné.

2.3.2 BÉTON NON ARMÉ

Il s'agit d'un béton de structure qui n'est ni précontraint ni armé ou dans lequel on prévoit moins d'armatures que le minimum prescrit au § 2.3.4, ou lorsque les mesures nécessaires pour maintenir l'armature en place ne sont pas prises.

2.3.3 BÉTON RENFORCÉ DE FIBRES

Le béton renforcé de fibres est un béton de structure auquel est additionnée une certaine quantité de fibres.

L'adjonction de fibres à module d'élasticité élevé (par exemple, fibres d'acier) dans le béton peut conduire à limiter la largeur des fissures, pour autant que la teneur en fibres soit suffisamment élevée (voir § 6.4, p. 39).

Les fibres à faible module d'élasticité par nature (fibres synthétiques, par exemple) ne deviennent actives que pour des retruits importants du béton, comme le retrait en phase plastique.

2.3.4 BÉTON ARMÉ

Suivant la définition de la norme NBN B 15-002 [33], le béton armé est un béton de structure dont l'armature principale a une section calculée d'au moins 0,15 % de la section du béton. Toutes les mesures nécessaires doivent avoir été prises pour maintenir l'armature en place.

Les sols autoportants sur structure portante sont toujours réalisés en béton armé ou précontraint.

Vu les actions permanentes et variables sur un sol industriel, notamment le retrait du béton, l'armature nécessaire est généralement supérieure au minimum défini.



3 EXIGENCES PERFORMANCIELLES

La Directive européenne ‘Produits de construction’ (DPC) et les documents interprétatifs définissent les six exigences essentielles auxquelles sont censés satisfaire tous les éléments de construction, en ce compris les sols industriels, à savoir :

- ◆ résistance mécanique et stabilité
- ◆ sécurité en cas d’incendie
- ◆ hygiène, santé et environnement
- ◆ sécurité d’utilisation
- ◆ protection contre le bruit
- ◆ économie d’énergie et isolation thermique.

Les sols industriels à base de ciment étant ininflammables (classe A0 selon la norme ISO 1182 [46]), l’aspect sécurité en cas d’incendie n’entre en ligne de compte que pour les dalles autoportantes. L’enrobage des armatures, important notamment pour la résistance au feu des dalles autoportantes, est prescrit par la norme NBN B 15-002.

Chacune des exigences énumérées ci-avant peut se subdiviser en un certain nombre de performances. Le présent chapitre aborde ces différentes performances en se référant aux exigences essentielles dont elles forment un aspect particulier.

3.1 STABILITE

3.1.1 CAPACITÉ PORTANTE

La capacité portante du sol doit être assurée compte tenu des actions prévisibles qui peuvent s’exercer durant la vie de l’ouvrage. Cette prescription se rapporte directement à l’exigence essentielle de résistance mécanique et de stabilité, et porte sur la durabilité de l’ouvrage, c’est-à-dire, par exemple, la résistance aux chocs, au déplacement de marchandises et au frottement de roues et de marchandises, au freinage, etc.

La capacité portante du sol est déterminée par calcul en tenant compte des tolérances admissibles sur l’épaisseur de la dalle qui découlent des possibilités d’exécution.

3.1.1.1 DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

A. SOLS AUTOPORTANTS SUR STRUCTURE PORTANTE

Le niveau de sécurité est déterminé par rapport à l’état limite de rupture sur la base des prescriptions suivantes :

- ◆ la fiabilité de la structure (principes généraux) : les normes NBN B 03-001 [26] et ISO 2394 + addendum [47]
- ◆ les structures en béton : la norme NBN B 15-002 (Eurocode 2) [33]
- ◆ les structures mixtes en acier et béton : ENV 1994-1 (Eurocode 4) [24]
- ◆ les structures métalliques : les normes NBN B 51-002 [39], ENV 1993-1 (Eurocode 3) [23] et NBN 1.50 [38].

B. SOLS SUR SUPPORT ÉLASTIQUE CONTINU

En attendant la parution d’une norme spécifique pour le calcul de la capacité portante des sols monolithiques en béton sur terre-plein, on appliquera l’une des méthodes suivantes (voir *CUR-Aanbevelingen* 36 [15]) :

- ◆ la théorie des dalles sur appui élastique
- ◆ la théorie des poutres de Hetényi
- ◆ la théorie “multicouche”.

Pour des informations plus détaillées à ce sujet, on consultera les ouvrages spécialisés.

L’application de ces méthodes nécessite le plus souvent l’introduction des paramètres suivants :

- ◆ capacité portante du terrain
- ◆ longévité prévue
- ◆ charges-poids, configuration et fréquence
- ◆ surface de contact des charges avec le sol
- ◆ pression des pneus ou pression de contact.

3.1.1.2 CHARGES EXERCÉES SUR LES SOLS INDUSTRIELS

Le choix du type de sol et son dimensionnement (y compris celui du plancher portant ou de la fondation) dépendent dans une large mesure de la nature

et de l'importance des sollicitations définies par le donneur d'ordre dans son programme exigenciel.

Les charges exercées sur un sol industriel peuvent être sensiblement supérieures aux valeurs prescrites dans la norme NBN B 03-103 [27].

On distingue :

- ◆ les actions permanentes dues au poids propre du sol et des éléments de construction reposant sur celui-ci
- ◆ les actions variables, c'est-à-dire :
 - les charges variables statiques exercées par les marchandises entreposées, les machines fixes et les véhicules à l'arrêt
 - les charges mobiles exercées par les personnes et les véhicules
 - les charges dynamiques générées par les machines en fonctionnement
 - les effets dus aux variations de température
 - les effets dus au retrait et aux tassements du sol ou de la structure portante.

3.1.1.2.1 Charges statiques

Les charges provenant des marchandises entreposées peuvent soit être réparties uniformément sur le sol ou sur certaines parties du sol, soit être transmises au sol de manière ponctuelle ou par bandes via les montants des rayonnages.

Les charges uniformément réparties peuvent, par exemple, être produites par le stockage de marchandises en vrac, mais aussi par les palettes de chargement, les rouleaux de papier et de câbles, les panneaux, etc., surtout s'ils sont empilés les uns sur les autres.

On peut se baser sur la norme NBN B 03-103 [27] pour déterminer la charge produite par l'entreposage de marchandises en vrac, dont la valeur peut atteindre jusqu'à 120 kN/m² ou plus selon la hauteur de stockage. Si la charge se répartit en zones ou en

bandes, on considérera la combinaison de charges la plus défavorable.

Le tableau 1 reprend quelques exemples de charges minimales applicables à l'industrie légère; faute de prescriptions, ces valeurs peuvent servir de base aux calculs.

Les marchandises sont généralement entreposées sur des rayonnages dont les montants transmettent les charges au sol, soit directement (charge ponctuelle) soit par l'intermédiaire de poutres de répartition (charge par bandes).

Les montants transmettent le plus souvent des charges comprises entre 30 et 60 kN, pouvant exceptionnellement atteindre plus de 100 kN, selon le nombre de niveaux d'entreposage, les dimensions des rayons et la nature des marchandises stockées. Les montants des rayonnages exercent des charges très concentrées sur le sol et leur influence est la plus défavorable lorsqu'ils reposent à la périphérie de la dalle ou dans les angles. Plusieurs charges concentrées proches l'une de l'autre peuvent intervenir simultanément, comme par exemple dans le cas des montants de rayonnages et des roues de véhicules. Il convient d'en tenir compte lors de l'élaboration du schéma d'implantation des joints (voir chapitre 7, p. 42), ce qui signifie que l'emplacement des rayonnages doit être adapté au schéma d'implantation des joints.

Les rayonnages et les machines peuvent exercer sur le sol des efforts de traction qui doivent être repris par les ancrages et l'armature adéquate à prévoir dans le sol.

Les pressions de contact générées par la charge sont parfois très élevées et sont de préférence limitées à 7 N/mm² en utilisant des plaques de répartition des charges sous les montants.

Les charges et pressions de contact produites sur la dalle par des véhicules à l'arrêt sont traitées au § 3.1.1.2.2.

APPLICATION	CHARGE MINIMALE EXERCÉE SUR LE SOL (kN/m ²)
Locaux techniques	5,0 kN/m ²
Entrepôts de distribution	2,5 kN/m ² par m de hauteur d'entreposage
Imprimeries	12,5 kN/m ²
Entrepôts frigorifiques	5,0 kN/m ² par m de hauteur d'entreposage, avec un minimum de 15 kN/m ²
Entrepôts de livres et de papier	4,5 kN/m ² par m de hauteur d'entreposage, avec un minimum de 15 kN/m ²

Tableau 1
Exemples de charge minimale pour quelques industries légères.

Fig. 3 Charge uniformément répartie exercée par des panneaux entreposés.

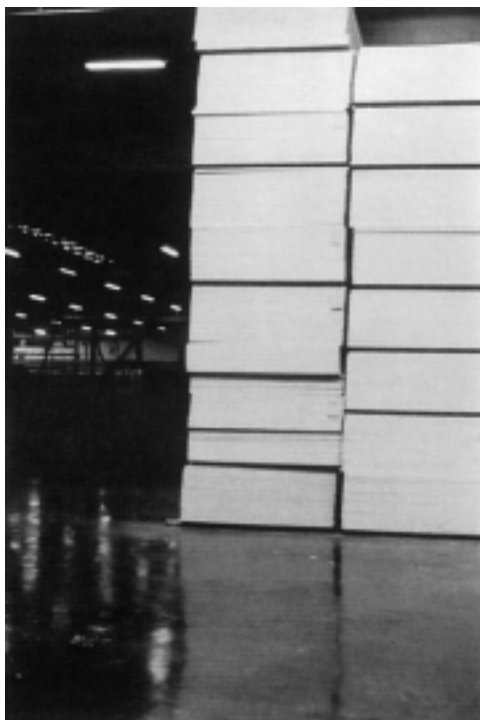


Fig. 4 Entreposage de marchandises dans de hauts rayonnages.



Fig. 5 Entrepôt de marchandises diverses.



Fig. 6 Charge exercée sur le sol par des palettes de chargement.

3.1.1.2.2 Charges mobiles

Les charges mobiles sont générées par :

- ◆ les véhicules normalement admis sur le réseau routier, tels que voitures particulières, véhicules utilitaires légers et camions. Dans certaines entreprises, le sol est accessible à de tels véhicules
- ◆ les véhicules utilitaires spéciaux tels que les élévateurs à fourche, les gerbeurs, les transpalettes, etc., servant à la manutention et à l'entreposage des marchandises.

Les véhicules de transport de conteneurs ne pénètrent généralement pas à l'intérieur des bâtiments et ne sont donc pas abordés dans ce document.

La charge est déterminée à partir du poids des véhicules autorisés et de leur fréquence de circulation. La charge de roue la plus lourde n'est pas nécessairement la plus néfaste, c'est sa fréquence qui est déterminante. Les charges répétées, produites par exemple par des élévateurs à fourche circulant de façon répétée selon un trajet déterminé, peuvent entraîner une fatigue du sol.

Outre les charges de l'essieu et des roues, les pressions de contact entre la roue et le sol jouent également un rôle important, puisqu'elles déterminent, en combinaison avec d'autres facteurs, le choix de la couche d'usure.

Pour les véhicules en mouvement, on tiendra compte des forces d'accélération et de freinage en multipliant la charge par un facteur dynamique.

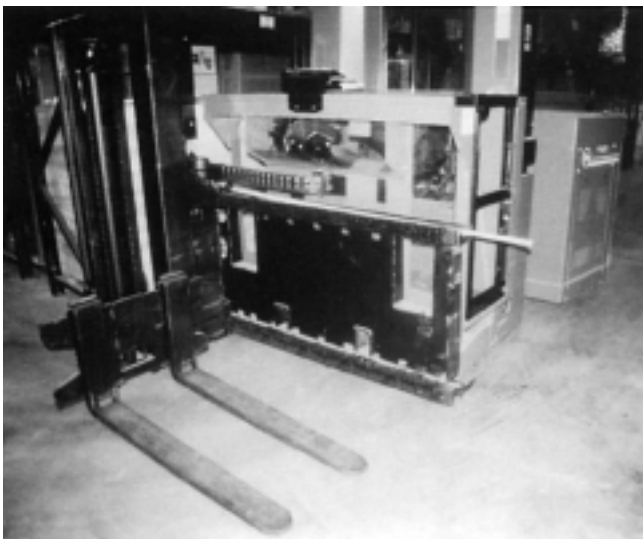


Fig. 7 *Elévateur à fourche guidé.*

Fig. 8 *Rayonnages élevés. Transport au moyen d'élévateurs à fourche guidés.*

3.1.1.2.2.1 CHARGES DE L'ESSIEU ET DES ROUES

A. VÉHICULES AUTORISÉS SUR LE RÉSEAU ROUTIER

Le règlement technique applicable aux véhicules (AR du 15.03.1968 [5]) définit les charges maximales par essieu ou par groupe d'essieux (voir Annexe 2, p. 53) pour les véhicules autorisés sur le réseau routier.

On constate cependant que les valeurs admises sont régulièrement dépassées, ce dont tient compte le projet d'Eurocode 1, 3^e partie "Charges de trafic sur les ouvrages d'art" [25] (voir Annexe 2, p. 53, qui donne également la définition géométrique des essieux et des roues).

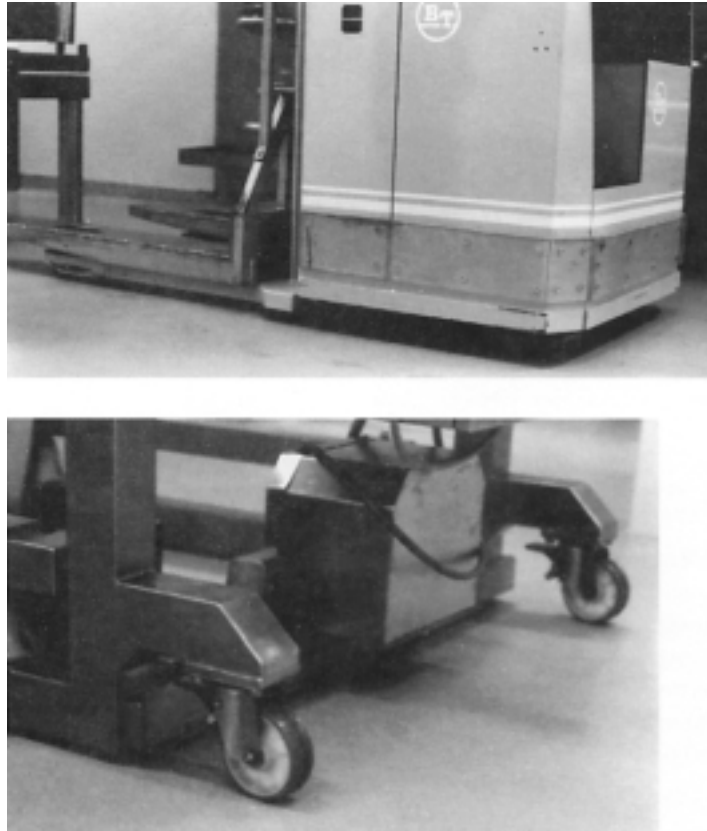
Les camions sont équipés de pneus d'une pression allant jusqu'à 10 bar environ, occasionnant une pression de contact de quelque 1,25 N/mm² au maximum, compte tenu du dessin du pneu.

B. VÉHICULES SPÉCIAUX

Les véhicules spéciaux diffèrent des camions de par la configuration des essieux et des roues, les types de roues, les charges, la pression des pneus et/ou les pressions de contact.



Fig. 9 Exemples de transpalettes à petites roues.



On distingue :

- ◆ les élévateurs à fourche, les gerbeurs, etc.
- ◆ les transpalettes manuelles et motorisées.

L'essieu avant des élévateurs à fourche porte environ 90 % du poids du véhicule chargé. La charge maximale de l'essieu équivaut à deux à trois fois la capacité d'élévation, qui est généralement de 100 kN pour les élévateurs normaux à usage intérieur et de 500 kN ou plus pour les engins lourds pourvus de 4 à 8 roues sur l'essieu avant et le plus souvent utilisés à l'extérieur.

Pour des raisons de stabilité, les élévateurs à fourche à usage intérieur peuvent être équipés de bandages pleins en caoutchouc ou en matière synthétique.

Les véhicules spéciaux étant susceptibles de circuler de manière répétée selon un trajet déterminé, par exemple dans les couloirs étroits entre des rayonnages, il convient de tenir compte du phénomène de fatigue lors du dimensionnement du sol.

Les transpalettes ont une capacité de chargement de 20 kN environ et sont équipées de 4 ou de 6 petites roues (de ± 100 mm de diamètre) en plastique dur ou en acier. Les charges des roues sont relativement faibles, mais les pressions de contact peuvent être élevées (voir § 3.1.1.2.2.2).

3.1.1.2.2.2 PRESSION DE CONTACT ROUE-SOL

On peut déterminer la pression de contact produite par les roues des véhicules en fonction, notamment, de la charge des roues, de leur diamètre et de leur bandage.

Pour les véhicules sur pneus, la pression de contact équivaut à la pression de gonflage des pneus (1 bar = $0,1 \text{ N/mm}^2$). Il faut cependant tenir compte du dessin de ces derniers. Si seulement 80 % du pneu sont en contact avec le sol, la pression de contact doit être augmentée proportionnellement (par exemple, $100/80 \times 10 \text{ bar} \rightarrow 1,25 \text{ N/mm}^2$).

De tels véhicules génèrent en général de faibles pressions de contact. Plus la dureté du bandage de la roue augmente, plus les pressions de contact s'accroissent rapidement. La pression de contact peut se calculer au moyen de la méthode de Hertz ou être déduite des données fournies par le fabricant des roues.

La figure 10, extraite de la référence 7, donne des informations sur les pressions de contact possibles en fonction de la charge par roue, pour des bandages en matériaux différents. Les données de la figure 10 s'appliquent aux véhicules à l'arrêt. Pour les véhicules en mouvement, la pression de contact peut être environ 1,5 fois plus élevée du fait des

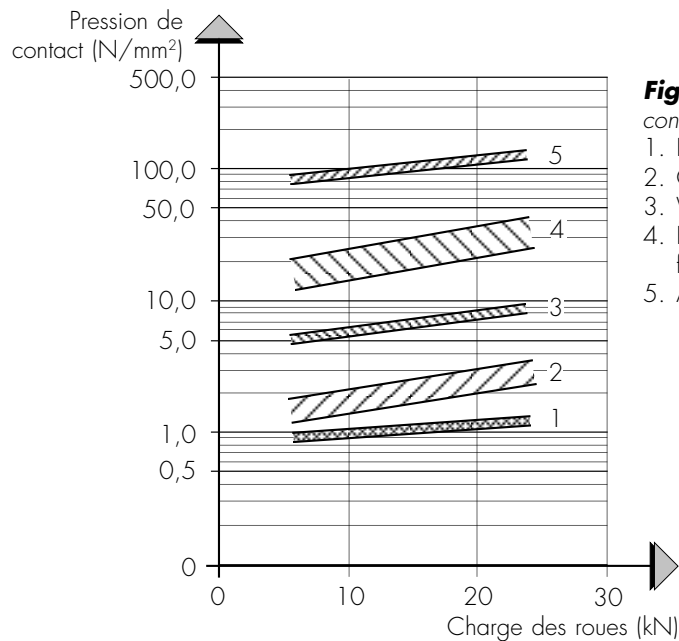


Fig. 10 Pression de contact roue/sol.

1. Pneus
 2. Caoutchouc massif
 3. Vulkollan (PUR dur)
 4. Polyamide en fonction de la dureté
 5. Acier
- BANDAGES EN CAOUTCHOUC (1-2)
BANDAGES DURS (3-5)

chocs dus à la présence de joints, d'irrégularités dans le sol, de souillures sur la dalle (par exemple, granules), etc. La pression de contact des véhicules à l'arrêt est limitée de préférence à 70 % de la résistance en compression caractéristique du béton mesurée sur cubes normalisés.

Les valeurs mentionnées révèlent que ce sont les roues en acier qui sont particulièrement problématiques; les transpalettes et certains petits véhicules en sont parfois équipés. Les roues en acier peuvent dégrader la couche d'usure et provoquer des dégâts, surtout au droit des joints, dégâts qui s'étendent ultérieurement par effrittement.

Lorsqu'on sépare les deux parties d'un ensemble tracteur/semi-remorque, la semi-remorque repose sur deux béquilles portant ensemble jusqu'à 190 kN et équipées de roues en acier ou de plaques d'appui. S'il s'agit de roues, la pression de contact peut être élevée.

3.1.1.2.3 Charges exercées par les machines

Les charges exercées par les machines ont le plus souvent un caractère dynamique. Si ces machines se trouvent à même le sol, on multiplie la masse en mouvement par un coefficient dynamique, afin de convertir l'effet dynamique en équivalent statique.

3.1.1.2.4 Classes de sollicitation

En phase de projet, les sollicitations qui seront effectivement exercées sur le sol industriel ne sont souvent pas suffisamment connues. C'est pourquoi on a défini trois classes de sollicitation sur lesquelles on peut se baser lors du calcul (voir tableau 2).

Il est toujours préférable, voire même obligatoire pour les sols soumis aux charges des classes II et III, de procéder à une étude détaillée du sol.

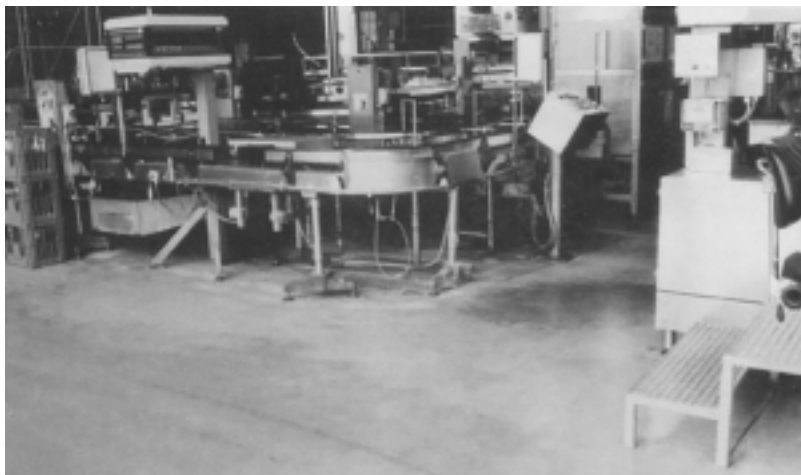


Fig. 11 Machines disposées à même le sol.

Tableau 2

Classes de sollicitation avec exemples d'application dans les locaux de stockage.

CLASSE	SOLLICITATION	EXEMPLES D'APPLICATION
I légère	$p_{nom} \leq 15 \text{ kN/m}^2$ $F_{nom} \leq 20 \text{ kN}$	<ul style="list-style-type: none"> – rayonnages de 5 m de haut maximum – élévateurs, capacité d'élévation $\leq 20 \text{ kN}$ – gerbeurs, capacité d'élévation $\leq 12 \text{ kN}$ <p>A cette classe appartiennent généralement les bâtiments destinés au stationnement de voitures et les ateliers pour l'industrie légère.</p>
II moyenne	$15 \text{ kN/m}^2 < p_{nom} < 50 \text{ kN/m}^2$ $20 \text{ kN} < F_{nom} < 100 \text{ kN}$	<ul style="list-style-type: none"> – rayonnages de 5 à 10 m de haut – élévateurs, capacité d'élévation de 20 à 90 kN – gerbeurs, capacité d'élévation de 12 à 50 kN <p>A cette classe appartiennent bon nombre d'entrepôts pour marchandises.</p>
III lourde	$p_{nom} \geq 50 \text{ kN/m}^2$ $F_{nom} \geq 100 \text{ kN}$	<ul style="list-style-type: none"> – rayonnages de plus de 10 m de haut – élévateurs, capacité d'élévation $\geq 90 \text{ kN}$ – véhicules spéciaux (p.ex. avions) <p>A cette classe appartiennent généralement les bâtiments pour le stockage en vrac, les entrepôts avec rayonnages élevés et les ateliers pour l'industrie lourde.</p>
p_{nom} : charge uniformément répartie, valeur nominale F_{nom} : charges ponctuelles, valeur nominale capacité d'élévation des élévateurs, gerbeurs, etc. charge des roues pour les autres véhicules		

3.1.2 DÉFORMATIONS DU SOL

Pour des raisons d'exploitation (fonctionnement normal des machines et des appareillages) ainsi que pour des motifs techniques propres à la construction (dégradation des éléments de construction reposant sur le sol, évacuation des eaux, etc.), il convient de limiter les déformations du sol à un niveau acceptable (flèches des sols autoportants, tassement différentiel des sols sur terre-plein).

Cette prescription est à mettre en rapport avec les exigences essentielles de résistance mécanique et de sécurité d'utilisation (ex. : chute de marchandises entreposées).

L'ampleur des déformations des sols sur terre-plein dépend de la charge exercée sur le sol, des tassements possibles du terrain et de la rigidité de l'ouvrage. Les tassements différentiels occasionnent des déformations irrégulières qui influencent la planéité et le niveau du sol, ce qui revêt une importance pour la transmission des charges (montants des rayonnages dans les entrepôts, par exemple).

Les déformations du sol sont déterminées par calcul conformément à la norme NBN B 15-002 pour les dalles autoportantes de structure, et par une méthode généralement reconnue pour les sols sur terre-plein (p. ex. la méthode de Terzaghi). Lors du

calcul, il est tenu compte des charges quasi permanentes comme défini par la norme NBN B 03-001 [26].

CRITÈRES

La valeur admissible :

- ◆ de la flèche calculée des dalles autoportantes
- ◆ du tassement différentiel calculé des sols sur terre-plein

est définie par le maître de l'ouvrage dans son programme exigenciel.

En l'absence d'exigences, le bureau d'étude se base sur les valeurs maximales suivantes :

- ◆ flèche admissible f :
 - lorsque le sol ne porte pas d'éléments de construction susceptibles de subir des dégradations : $f \leq 1/250$ de la portée de la dalle autoportante
 - lorsque le sol supporte des éléments de construction susceptibles de subir des dégradations : $f \leq 1/500$ de la portée de la dalle autoportante
- ◆ tassement différentiel admissible Z_d : suite au tassement différentiel du terrain, la planéité du sol sur terre-plein ne peut monter de plus d'une classe (voir tableau 11, p. 25), et doit rester dans la tolérance de 12 mm/2m pour les sols de la classe de planéité IV (voir § 3.12.4.2).

Le tassement du terrain est fonction de la nature des couches présentes et évolue progressivement dans le temps. La déformation des dalles autoportantes et le tassement différentiel des sols sur terre-plein ont un effet négatif sur la planéité du sol et peuvent dès lors être de nature à compromettre son utilisation.

L'étude des problèmes de tassement est généralement de la compétence du bureau d'étude chargé du comportement géotechnique de l'ouvrage; les données sont fournies au bureau d'étude du sol industriel qui en tient compte lors de l'étude du sol.

3.1.3 FISSURATION

La fissuration du béton est pratiquement inévitable sous l'action de charges directes et/ou de déformations contrariées (par exemple par le retrait). Les substances agressives éventuellement présentes peuvent s'infiltrer par les fissures et attaquer ainsi l'armature. Si les fissures traversent toute l'épaisseur du sol, il y a alors risque de pollution du terrain et de la nappe phréatique.

La fissuration est directement liée à la durabilité (résistance mécanique) et à la protection de l'environnement. La prescription ne concerne pas la fissuration superficielle (faïençage) qui n'influence que l'aspect esthétique. Elle est contrôlée par calcul conformément à la norme NBN B 15-002.

CRITÈRES

La fissuration et la largeur des fissures doivent être limitées compte tenu de l'exposition et de l'utilisation prévue de la dalle. Toute attaque des armatures éventuelles doit être exclue.

La largeur de fissuration calculée pour des dalles en béton armé appartenant aux classes d'exposition 1 à 4 (voir tableau 18B, p. 34) ne peut dépasser 0,3 mm. Les dalles en béton armé de la classe d'exposition 5 ainsi que celles dont l'étanchéité aux liquides est prescrite (voir § 3.5, p. 17) doivent répondre à des exigences particulières.

La largeur de fissuration pour les dalles en béton renforcé de fibres (définition, voir § 2.3, p. 7) doit être réduite compte tenu de l'utilisation prévue de la dalle.

Dans le calcul des ouvrages en béton armé, il est généralement tenu compte d'une largeur maximale des fissures de 0,3 mm. La largeur de fissuration dans les sols en béton renforcé de fibres peut être réduite par l'ajout d'une quantité adéquate de fibres, alors qu'elle n'est pas maîtrisable dans les sols en béton non armé.

Par ailleurs, l'armature et le renforcement de fibres ne sont pas les seuls critères de réduction de la largeur de fissuration; il y a aussi lieu de considérer la composition du béton, la mise en œuvre et le traitement de cure.

Dans le cas de sols sur terre plein, des fissures d'une largeur réelle de 0,5 mm sont généralement admises. Des fissures d'une largeur supérieure peuvent être réparées :

- ◆ par colmatage au moyen de résines fluides, lorsqu'il s'agit de sols en béton non armé ou renforcé de fibres
- ◆ par injection lorsqu'il s'agit de sols en béton armé.

L'expérience a révélé que le passage de roues dures sur des fissures larges peut donner lieu à un effrittement des bords des fissures, lesquels constitueront le siège privilégié de dégradations futures. Des épaufrures peuvent être réparées au moyen de mortiers résineux.

3.2 ADHÉRENCE DES SOLS RAPPORTÉS

Un sol rapporté adhérent transmet directement les charges au support. Le

retrait différentiel du sol rapporté et du support, les déformations éventuelles du complexe plancher (flèches, tassements différentiels) et les contraintes horizontales exercées sur le sol (freinage et démarrage, frottement des roues à l'arrêt, etc.) engendrent des efforts de cisaillement dans le plan d'adhérence, ce qui peut provoquer un manque d'adhérence local du sol rapporté, surtout en périphérie, où on peut alors constater un tuilage. En cas de passage d'un véhicule, les parties non adhérentes et principalement les bords soulevés risquent de se briser, mettant ainsi en péril l'utilisation du sol.

Cette exigence concerne la sécurité d'utilisation du sol rapporté.

L'essai d'adhérence du sol rapporté au support est effectué conformément aux prescriptions de la norme NBN B 14-210 [30].

L'adhérence des sols rapportés légèrement sollicités (classe de sollicitation I, voir tableau 2, p. 14) est au minimum de 0,8 N/mm². L'adhérence des sols rapportés des classes de sollicitation II et III est au minimum de 1,5 N/mm².

3.3 RESISTANCE A L'USURE

3.3.1 UTILISATION DU SOL

L'usure du sol et la formation de poussière qui en résulte sont influencées par :

- ◆ la nature des charges prévues :
 - circulation de véhicules ou de petit matériel roulant
 - charges traînées sur le sol
 - chute de corps durs (chocs)
- ◆ la fréquence d'apparition des sollicitations précitées
- ◆ la planéité et la rugosité du sol
- ◆ la nature de la couche d'usure.

L'usure du sol est particulièrement importante lorsqu'on utilise des véhicules à roues en acier ou en matière synthétique dure; elle est encore accrue par l'usage de roues pivotantes. Les véhicules à pneus en caoutchouc provoquent une usure du sol dans les virages serrés ou par le braquage des roues lorsque le véhicule est à l'arrêt.

La fréquence de circulation des véhicules dans un bâtiment varie généralement entre 10 et 200 passages au cours d'une journée de travail. Une usure accélérée peut se manifester en cas de trafic intense dans les mêmes zones (entre les rayonnages d'un entrepôt), surtout aux accès entre locaux. La circulation sur le sol encrassé de grains durs accentue le phénomène en raison des chocs induits.

Le fait de traîner des corps durs à même le sol peut occasionner des rayures plus ou moins profondes; en plus de la résistance à l'usure, il convient de veiller à la dureté de la surface.

Les prescriptions posées en matière de résistance du sol à l'usure entrent dans le cadre des exigences essentielles d'hygiène et de sécurité d'utilisation.

3.3.2 SOLLICITATION À L'USURE

On définit quatre classes de sollicitation à l'usure en fonction de l'utilisation du sol (voir tableau 3). Le donneur d'ordre définit la classe requise dans son programme exigenciel.

Les conditions d'exploitation décrites ci-après peuvent être groupées dans l'une des classes de sollicitation à l'usure précitées :

a. l'usure n'est pas un facteur dominant :

◆ sollicitation légère à l'usure (classe Ia) :

- véhicules équipés de bandages durs (fig. 10, p. 13) : charge par roue inférieure à 3 kN pour un usage faible à modéré
- transport de marchandises : déchargement ou roulement de marchandises légères

◆ sollicitation intense à l'usure (classe IIa) :

- véhicules équipés de bandages durs : charge par roue supérieure à 3 kN pour un usage fréquent à très fréquent
- transport de marchandises : déchargement ou roulement peu fréquent à fréquent de marchandises moyennement lourdes à lourdes

b. l'usure est un facteur dominant :

◆ sollicitation légère à l'usure (classe Ib) :

- circulation piétonnière dans les locaux privés
- circulation de véhicules sur bandages en caoutchouc : charge par roue inférieure à 10 kN pour un usage faible à modéré (par ex., garages et parkings privés pour voitures)
- entreposage de marchandises légères

◆ sollicitation intense à l'usure (classe IIb) :

- circulation piétonnière très fréquente (par exemple, locaux accessibles au public, zones autour d'un poste de travail, etc.)
- circulation de véhicules sur bandages en caoutchouc : charge par roue supérieure à 10 kN pour un usage fréquent, ou supérieure à 20 kN pour un usage faible à moyen
- transport de marchandises : déplacement à même le sol de marchandises légères à moyennement lourdes, usage moyen à fréquent.

Sur la base de l'essai d'Amsler (NBN B 15-223 [35]), on distingue deux classes de résistance à l'usure pour un parcours de 3000 m :

◆ classe de résistance à l'usure 1 : 2 mm < usure ≤ 3,5 mm

◆ classe de résistance à l'usure 2 : usure ≤ 2 mm.

APPRÉCIATION DE L'USURE	I SOLLICITATION LÉGÈRE À L'USURE	II SOLLICITATION INTENSE À L'USURE
a. L'usure n'est pas un facteur dominant	Ia	IIa
b. L'usure est un facteur dominant	Ib	IIb

Tableau 3

Classes de sollicitation à l'usure.

3.3.3 CRITÈRES

Selon la classe de sollicitation du sol à l'usure, on recommande les classes de résistance à l'usure reprises au tableau 4.

Tableau 4
Classes de résistance à l'usure recommandées selon la sollicitation.

CLASSE DE SOLLICITATION À L'USURE	CLASSE DE RÉSISTANCE À L'USURE
Ia	aucune exigence particulière
Ib et IIa	classe 1 (> 2 à $\leq 3,5$ mm)
IIb	classe 2 (≤ 2 mm)

COMMENTAIRES

Dans le cas de sols sans couche d'usure particulière, la laitance en surface est relativement tendre et s'use facilement. On obtiendra une bonne résistance à l'usure et une émission réduite de poussière si la surface présente un maximum de matériaux granuleux résistant à l'usure, c.-à-d. si le dosage en ciment du béton est suffisamment élevé et si l'on applique un traitement de cure adéquat.

L'application des mesures suivantes permet en général d'atteindre la classe de résistance à l'usure souhaitée :

- ◆ classe de résistance à l'usure 1 : utilisation de béton sans couche d'usure particulière
- ◆ classe de résistance à l'usure 2 : couche d'usure traitée par saupoudrage de quartz. L'emploi de corindon ou de granulats métalliques permet dans certains cas de limiter à environ 0,5 mm l'usure déterminée par l'essai d'Amsler.

3.4 RESISTANCE AUX CHOCS

En cas de sols exposés aux chocs dus à la chute de corps durs (par ex. dans l'industrie mécanique lourde), il est conseillé de choisir du béton à résilience améliorée.

CRITÈRE

La composition du béton et sa finition de surface résultent d'une étude spéciale et d'essais en laboratoire, partant des exigences du donneur d'ordre.

COMMENTAIRES

La résilience du béton dans la masse peut être améliorée par l'ajout de fibres d'acier au béton. La résilience en surface peut être améliorée soit par le

saupoudrage et l'incorporation de paillettes de fonte malléable ou d'acier doux, soit par l'application d'un *topping* contenant les paillettes précitées. Eventuellement, il y aura lieu de choisir un ciment à caractéristiques adéquates.

3.5 ETANCHÉITÉ AUX LIQUIDES

Dans les locaux industriels où l'on manipule des sub-

stances susceptibles de polluer le terrain et la nappe phréatique, l'étanchéité du sol aux liquides fera l'objet d'exigences conformément à la législation applicable en matière d'environnement. Sont concernés les entreprises de l'industrie (péto)chimique et du secteur agricole, les garages, les dépôts d'autobus, les entrepôts et centres de distribution, les stations-services, ...

Un sol étanche aux liquides est censé reprendre les fuites et les débordements accidentels de liquides, sans risque de pénétration dans le terrain.

L'étanchéité d'un sol aux liquides peut être assurée soit au niveau du sol, soit par la pose d'une géomembrane sous le sol, soit par la combinaison de ces deux solutions. En tous les cas, il convient de réaliser une étude spéciale et de respecter les conditions spécifiques de conception et d'exécution. Ainsi, on accordera notamment une attention particulière :

- ◆ à l'évacuation des liquides vers les caniveaux et les avaloirs, éventuellement raccordés à un système d'égout séparé
- ◆ à la conception des joints et des raccords
- ◆ à la formation de fissures dans le sol (voir § 7.1)
- ◆ à la qualité intrinsèque du sol industriel.

CRITÈRE

En ce qui concerne l'étanchéité des sols aux liquides, il n'existe pas à l'heure actuelle de dispositions performancielles précises et généralement reconnues. Il convient dès lors de suivre l'évolution des documents normatifs les plus récents en la matière.

3.6 RESISTANCE CHIMIQUE DES SOLS INDUSTRIELS

Si l'on prévoit que le sol industriel sera exposé régulièrement à

l'action de produits chimiques agressifs, il y a lieu d'en tenir compte lors du choix du type de sol. Selon le degré d'agressivité des produits, on peut opter pour une finition de surface spéciale, une

composition de béton spéciale ou, s'il y a lieu, pour un autre type de sol.

Le degré d'agressivité dépend de la nature des produits chimiques, de leur concentration, de la température et du débit ou du taux de renouvellement.

Les prescriptions en matière de résistance chimique du sol entrent dans le cadre des exigences essentielles de durabilité, d'hygiène et d'environnement.

3.6.1 ATTAQUE DU BÉTON PAR DES AGENTS AGRESSIFS

Les sols industriels à base de ciment sont en général sensibles aux acides, mais aussi aux graisses et huiles d'origine animale ou végétale lorsqu'elles peuvent s'acidifier, par exemple par stagnation. Les graisses et les huiles minérales, si elles n'affectent pas le béton, provoquent néanmoins la formation de taches indélébiles. Dans le cas de sols situés

dans des bâtiments exploités par des industries chimiques, des mesures de précaution particulières s'imposent, notamment lorsque les liquides manipulés sont susceptibles d'attaquer le béton.

La norme NBN B 15-001 [38] définit trois sous-classes d'exposition aux agents chimiquement agressifs (5a, 5b et 5c), selon la teneur en agents agressifs (voir tableau 5).

On notera que ces agents ne sont agressifs que s'ils sont dissous dans un liquide (à l'état ionisé).

Indépendamment de la présence d'agents agressifs vis-à-vis du ciment, certains sols industriels peuvent être humides en permanence ou de manière très fréquente (ex. : stations de lavage de voitures, ...), ce qui risque de provoquer dans le béton des réactions alcalis-granulats, responsables à plus long terme d'une dégradation profonde du matériau. Pour les exécutions spéciales de ce genre, on spécifiera l'état d'exposition du sol à la commande du béton. La centrale de béton peut opter soit pour du ci-

AGENT AGRESSIF		DEGRÉ D'AGRESSIVITÉ		
NATURE	UNITÉ DE MESURE	FAIBLE 5a	MODÉRÉ 5b	FORT 5c
Sulfates présents dans l'eau de mer et les eaux séléniteuses de très nombreuses nappes phréatiques ⁽¹⁾	SO ₄ ⁻⁻ dans l'eau (mg/ℓ)	200 - 600	600 - 3000	3000 - 6000
	SO ₄ ⁻⁻ dans le sol (mg/kg)	2000 - 3000	3000 - 12000	12000 - 24000
Acides surtout dans les eaux résiduaires et de traitements industriels ⁽²⁾	pH	6,5 - 5,5	5,5 - 4,5	4,5 - 4
Dioxyde de carbone dans les eaux pures aérées et surtout les eaux gazeuses ⁽²⁾	CO ₂ agressif dans l'eau (mg/ℓ)	15 - 40	40 - 100	> 100
Ammonium dans les eaux résiduaires industrielles ou chargées d'engrais azotés ⁽³⁾	NH ₄ ⁺ dans l'eau (mg/ℓ)	15 - 30	30 - 60	60 - 100
Magnésium dans l'eau de mer et les eaux chargées de certains engrais	MG ⁺⁺ dans l'eau (mg/ℓ)	300 - 1000	1000 - 3000	> 3000
⁽¹⁾ Les sulfates réagissent avec l'aluminat tricalcique hydraté et la chaux solubilisée du ciment durci pour former le sulfoaluminat de calcium hydraté, dit sel de Candlot, particulièrement expansif. ⁽²⁾ Les acides opèrent par extraction des ions Ca ⁺⁺ sous forme de sels le plus souvent très solubles; le ciment exclusivement constitué de composés de calcium disparaît ainsi par morsures successives. Le CO ₂ dissous et partiellement ionisé dans l'eau sous forme H ₂ ⁺⁺ CO ₃ ⁻ intervient à ce titre comme acide; c'est cette fraction qui est dite CO ₂ agressif. ⁽³⁾ L'ammonium et le magnésium remplacent simplement le calcium. L'ammoniaque produit présente une phase gazeuse (NH ₃) qui accroît la porosité, tandis que le sulfate de magnésium produit du sulfate de calcium.				

Tableau 5
Exposition aux agents agressifs.

ment LA (*low alkali*) soit pour des granulats insensibles aux alcalis. Etant donné qu'en pratique le contrôle de la résistance aux alcalis n'est pas chose évidente, il est recommandé, en cas de doute, de choisir un ciment LA.

Les §§ 3.6.1.1 à 3.6.1.3 proposent une liste non limitative de produits chimiques plus ou moins agressifs vis-à-vis du béton.

3.6.1.1 ACIDES

Voir tableau 6.

3.6.1.2 SELS

Les sels à l'état sec sont en général inoffensifs pour le béton. Ce n'est qu'à l'état de solution, voire par contact humide donnant lieu à une dissolution, que les sels peuvent se révéler nocifs (composants ionisés).

3.6.1.3 DÉRIVÉS DU PÉTROLE ET DU GOUDRON

Les dérivés du pétrole n'affectent généralement pas le béton. La créosote, les crésols et les phénols attaquent lentement le béton.

	PRODUIT	EXEMPLE	CLASSE D'AGRESSIVITÉ SELON LA CONCENTRATION
ACIDES INORGANIKES	acide sulfurique	batteries de voiture	5c
	acide nitrique	gravure	5c
	acide phosphorique	engrais	5b
	acide chlorhydrique	industrie chimique	5c
	acide sulfhydrique	eau d'égout en fermentation anaérobie	5c
	acide carbonique	eau gazeuse, brasseries (fermentation)	5a
ACIDES ORGANIKES (*)	acide lactique	laiterie, fromagerie, tannerie, raffinerie, teinturerie, fabrication de limonades	5b
	acide acétique	vinaigre, moutarde, vin	5b
	acide citrique et malique	jus de fruit, limonade, parfumerie	5b
	acide formique	tannerie	5b
	acide tannique	bacs pour lavage des peaux, tannerie, teinturerie, photographie, pharmacie	5b
	acide butyrique	beurre, tannerie, teinturerie	5b
	acide humique	eau d'égout, de marais, tourbières	5b
	acide phénolique	colorants, certaines huiles de goudrons et de houille	5b ou 5c
	acide urique	étables, urinoirs	5c
	acide oléique	huiles et graisses animales et végétales	5b
	glycérine		5b
	sucres et mélasse		sucres secs : 5a sucres en solution : 5b
(*) Provenant généralement de la fermentation de produits qui ne sont pas nécessairement nocifs au départ.			

Tableau 6
Agressivité des acides vis-à-vis du béton.

EXIGENCES	DEGRÉ D'AGRESSIVITÉ (CLASSE D'EXPOSITION)		
	FAIBLE 5a	MODÉRÉ 5b	FORT 5c
Facteur eau-ciment max.	0,55	0,50	0,45
Dosage minimum en ciment (kg/m³)	Béton non armé 200 Béton armé 280 Béton précontraint 300	300	300
Mesure de protection complémentaire du béton	superflue	superflue	indispensable (*)
Type de ciment	tous types	recours obligatoire au ciment HSR (<i>high sulfate resisting</i>) si présence de sulfates	

(*) L'application d'une finition complémentaire permettra d'améliorer la résistance chimique de la surface du béton; ainsi, la résistance aux acides peut être améliorée par une imprégnation ou une finition à base de résines synthétiques anti-acides (voir NIT 139 [14]).

Tableau 7
Mesures d'amélioration de la résistance aux sulfates.

Fig. 12 Dans un atelier de taille de pierres, le sol peut être régulièrement humide.



3.6.2 MESURES FAVORISANT LA DURABILITÉ CHIMIQUE DU BÉTON

La norme NBN B 15-001 prévoit des mesures préventives propres à assurer la durabilité du béton (voir tableau 7).

3.7 RESISTANCE AUX AGRESSIONS THERMIQUES

L'exposition du béton à une température dépassant 200 °C entraîne une diminution des caractéristiques mécaniques du béton et des armatures.

Lorsque la température monte davantage, d'une part la porosité du béton augmente suite à la libération de l'eau liée et, d'autre part, des microfissures peuvent apparaître suite à la différence de dilatation de la pâte de ciment et des granulats. A cause de ces deux phénomènes, la résistance mécanique du béton continue à diminuer lorsque la température dépasse 300 °C.

Entre 450 et 550 °C, la portlandite présente dans le ciment se décompose, ce qui conduit à une dégradation plus prononcée de la pâte de ciment. Le béton riche en ciment semble subir une dégradation plus prononcée que le béton moins riche. L'ajout de microsilice au béton (jusqu'à ± 10 % de la teneur en ciment) réduit la porosité du béton et améliore donc la résistance en compression et ce, indépendamment de la température.

Le béton à base de granulats calcaires présente une meilleure résistance à l'agression thermique. Si l'on réduit la dimension de ces granulats, l'influence est d'autant plus bénéfique. L'utilisation de ciment alumineux peut aussi conduire au résultat escompté.

Une étude spécifique s'impose pour des sols exposés à des températures supérieures à 200 °C.

3.8 CARACTERE ANTIDERAPANT DU SOL

L'antidérapance du sol (ou, à l'opposé, sa glissance) est fonction des facteurs suivants :

- ◆ la rugosité (ou le degré de lissage) de la surface, c'est-à-dire la présence d'aspérités (grains saillants, par exemple)
- ◆ la texture de la surface, qui peut être plus ou moins ouverte (enrobés drainants, par exemple)
- ◆ le profilage de la surface, obtenu notamment par broissage du béton frais ou par rainurage du béton durci ou du béton frais
- ◆ l'humidité de la surface. La présence d'une pellicule liquide en surface diminue généralement le coefficient de frottement; en cas de profilage ou de texture ouverte, la pellicule liquide qui se forme à la surface du sol n'est généralement pas continue, ce qui favorise le caractère antidérapant à l'état humide.

Les prescriptions relatives à l'antidérapance du sol entrent dans le cadre de l'exigence essentielle de sécurité d'utilisation.

L'appréciation du caractère antidérapant dépend de la nature du frottement produit sur le sol (glissement ou roulement).

Les sols industriels en béton présentent généralement une surface fermée; leur qualité antidérapante se définit sur la base du classement des coefficients de frottement dynamiques et statiques selon la norme ISO 10545 (17^e partie) [48].

Etant donné que le caractère antidérapant des sols industriels dépend essentiellement de la rugosité de la surface et de la présence éventuelle de petits cratères, on a le plus souvent recours à un classement d'après la rugosité. On distingue :

- ◆ la macro-rugosité (saillies et cavités de hauteur ou profondeur 'p') :
 - macro-rugosité grossière : $8 \text{ mm} \leq p \leq 40 \text{ mm}$
 - macro-rugosité fine : $2 \text{ mm} \leq p \leq 8 \text{ mm}$
- ◆ la micro-rugosité :
 - micro-rugosité râpeuse : $0,1 \text{ mm} \leq p \leq 2 \text{ mm}$ (cf. papier abrasif n° 40)
 - micro-rugosité fine : $p \leq 0,1 \text{ mm}$ (cf. papier abrasif n° 120).

Le degré de rugosité peut être déterminé soit par comparaison au papier émeri, soit par référence à des ouvrages exécutés antérieurement ou à des échantillons types.

CRITÈRES

La finition normale des sols industriels est celle à micro-rugosité fine. Ceci n'exclut pas qu'il y ait localement des rugosités plus grandes (par exem-

ple : à l'endroit d'une finition manuelle), étant donné qu'il n'est pas possible de garantir une rugosité constante.

COMMENTAIRES

Plus le sol est rugueux, plus l'usure des bandages du matériel roulant sera importante. Plus le sol est lisse, moins il sera sensible aux salissures et plus son nettoyage – par balayage à la sciure ou par nettoyage à l'eau – sera aisé. La facilité d'entretien peut également être une exigence importante.

Un manque d'entretien favorise l'encrassement des surfaces et influence l'antidérapance du sol.

Le caractère antidérapant peut augmenter ou diminuer dans le temps suivant la nature de l'usure; ainsi, l'emploi de couches d'usure à base de grains durs accroît en général les propriétés antidérapantes du sol au cours de l'usure.

Des appellations telles que 'poli miroir', 'surface parfaitement lisse', etc. ne répondent pas à des critères définis.

3.9 RESISTANCE ELECTRIQUE

Dans les locaux présentant un risque d'explosion

(certaines industries chimiques, par exemple), le sol doit posséder une résistance électrique limitée. Dans ces cas, la norme allemande DIN 51.953 prévoit que la résistance électrique R_A doit être inférieure à 10^6 ohms. Les armatures du béton doivent être mises à la terre.

La résistance électrique spécifique du béton peut être réduite par l'adjonction de carbone au mélange frais. Dans les cas particuliers, il est conseillé de réaliser des essais préalables.

3.10 PROTECTION CONTRE LES NUISANCES ACOUSTIQUES

Si la transmission des bruits pose problème,

par exemple dans certains parkings couverts, des mesures seront prises pour limiter les nuisances dans d'autres locaux. Une dalle flottante peut, à cet égard, apporter éventuellement une solution à la transmission des bruits d'impact.

Les sols industriels à base de ciment étant, faut-il le rappeler, des sols durs, le bruit peut se réverbérer dans le local où ils sont mis en œuvre. Un système

d'absorption acoustique adapté peut, le cas échéant, y être prévu.

3.11 ÉCONOMIE D'ÉNERGIE ET CONSERVATION DE LA CHALEUR

Dans certains cas, des mesures seront nécessaires pour limiter les déperditions calorifiques par le sol ou pour éviter que la terre ne gèle, par exemple dans les entrepôts frigorifiques. Étant donné la conductivité thermique élevée du béton, on prendra des mesures d'isolation spécifiques afin de satisfaire aux exigences posées.

3.12 EXIGENCES DIMENSIONNELLES

Certaines prescriptions dimensionnelles font partie des exigences essentielles; ainsi :

- ◆ les tolérances sur l'épaisseur du sol sont liées à la résistance mécanique et à la durabilité du sol
- ◆ les tolérances sur la planéité, l'horizontalité et la pente complètent les exigences essentielles en matière de sécurité d'utilisation, d'hygiène et d'environnement.

3.12.1 TOLÉRANCES SUR L'ÉPAISSEUR DU SOL

Aucune tolérance en moins n'est acceptée sur l'épaisseur moyenne du sol industriel sur terre plein. Pour les dalles autoportantes de structure, les tolérances prévues dans la norme NBN B 15-002 sont à respecter, c.-à-d. :

- ◆ lorsque l'épaisseur du sol ≤ 150 mm : ± 5 mm
- ◆ lorsque l'épaisseur du sol est égale à 400 mm : ± 15 mm
- ◆ pour les épaisseurs intermédiaires, la tolérance

est déterminée par interpolation linéaire entre les valeurs données.

L'épaisseur de la dalle est contrôlée sur cylindres forés dans le béton durci. Étant donné qu'il s'agit d'un essai destructif, les endroits de forage sont choisis judicieusement. Le nombre de forages à réaliser est précisé dans les documents contractuels et est en principe limité à un essai par tranche de surface de 1000 m². Chaque fraction de tranche dépassant 1000 m² est considérée comme tranche supplémentaire.

Lors du contrôle de l'épaisseur des cylindres forés dans une dalle sur terre-plein, une tolérance en moins égale à celle admise pour les dalles autoportantes de structure est autorisée par mesure individuelle, à condition que l'épaisseur moyenne de l'ensemble des éprouvettes réponde à la valeur prescrite.

COMMENTAIRES

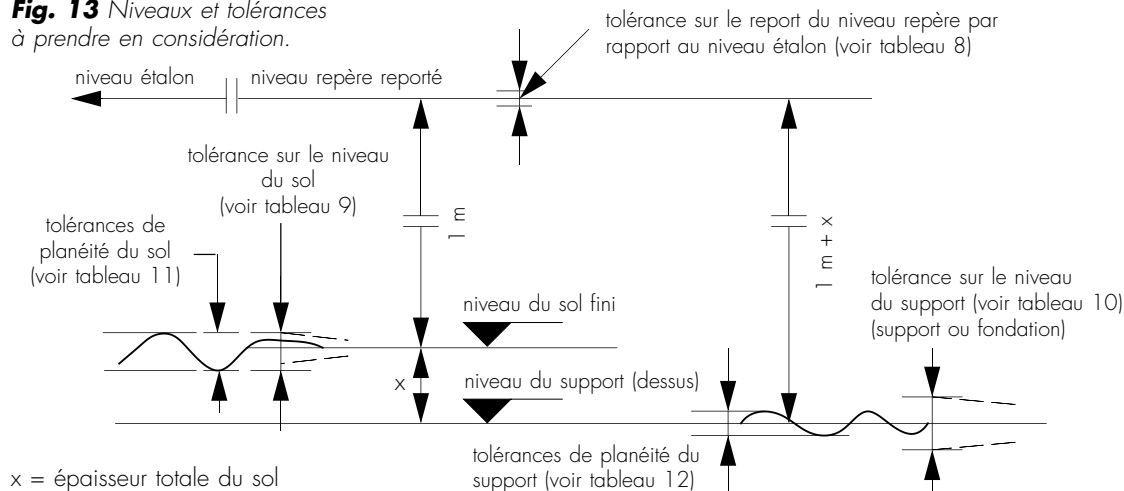
La combinaison des tolérances sur le niveau fini du sol industriel, sur le niveau de la fondation et sur la planéité du sol et de la fondation conduira souvent à une épaisseur moyenne de la dalle supérieure à la valeur prescrite

3.12.2 NIVEAUX À RESPECTER (définitions : voir figure 13)

3.12.2.1 NIVEAU DE DÉPART OU NIVEAU ÉTALON

Le maître d'ouvrage ou l'entrepreneur principal désigne et marque le niveau de départ (niveau étalon). Celui-ci se situe à un endroit qui n'est pas susceptible de modification.

Fig. 13 Niveaux et tolérances à prendre en considération.



3.12.2.2 NIVEAUX REPÈRES REPORTÉS

Le maître d'ouvrage ou l'entrepreneur principal reporte, à partir du niveau étalon, les niveaux repères, généralement tracés à 1 mètre au-dessus du niveau du sol fini. Si d'autres niveaux que les niveaux repères doivent être respectés, il convient de le spécifier clairement. Si le sol doit joindre des points fixes, tels des seuils de portes, des avaloirs, des couvercles de chambres de visite, etc., ces niveaux sont bien entendu déterminants.

Le nombre de niveaux repères et leur distance respective diffèrent selon l'importance des surfaces à mettre en œuvre, la disposition des lieux et les exigences propres à l'exécution.

Les tolérances sur le report des niveaux repères partant du niveau étalon sont indiquées au tableau 8.

REMARQUES

Les niveaux repères sont tracés avec précision par un moyen indélébile, parfaitement visible, par exemple sur les murs, les colonnes, les ébrasements de fenêtres ou tout autre endroit où ils ne sont pas susceptibles d'être supprimés avant la vérification du sol.

L'entrepreneur du sol industriel appose ses indications de niveaux nécessaires à partir des niveaux repères reportés. Les tolérances sur ces indications de niveau partant du niveau repère sont aussi indiquées au tableau 8.

Tableau 8 Tolérances sur les niveaux repères par rapport au niveau étalon et sur les indications de niveau par rapport au niveau de référence.

DISTANCE A (en m) ENTRE UN NIVEAU REPÈRE ET LE NIVEAU ÉTALON (MESURÉE HORIZONTALEMENT)	ECARTS ADMISSIBLES (en mm) ENTRE UN NIVEAU REPÈRE ET LE NIVEAU ÉTALON
$A \leq 10$	± 2
$10 < A \leq 50$	± 3
$A > 50$	± 5

3.12.2.3 NIVEAU DU SOL FINI

Les tolérances sur le niveau du sol fini par rapport au niveau prescrit sont indiquées au tableau 9.

DISTANCE d (en m) ENTRE TOUT POINT DU SOL ET LE NIVEAU REPÈRE LE PLUS PROCHE	ECART (mm)
$d \leq 1$	± 6
$1 < d \leq 3$	± 8
$3 < d \leq 6$	± 12
$6 < d \leq 15$	± 16
$15 < d \leq 30$	± 20
$d > 30$	± 25

Tableau 9

Tolérances sur le niveau du sol fini.

REMARQUES

- ◆ Pour contrôler le niveau du sol, on procède à l'implantation d'un quadrillage dont les mailles ont des dimensions de 4 m x 4 m et dont l'axe de départ est laissé à l'appréciation du donneur d'ordre. On détermine ensuite le niveau de chacune des intersections du quadrillage et on compare les résultats des mesures aux valeurs prescrites. Les points de mesure doivent se situer à plus de 0,20 m des obstacles (murs, colonnes, etc.).
- ◆ Le contrôle du niveau s'effectue au moyen d'un appareil de nivellement comme le niveau de topographe ou le théodolite.

3.12.2.4 NIVEAU DU SUPPORT OU DE LA FONDATION DEVANT RECEVOIR LE SOL INDUSTRIEL

Le maître d'ouvrage ou le donneur d'ordre vérifie si la hauteur comprise entre les niveaux repères et la surface du support ou de la fondation devant recevoir le sol industriel correspond à tout endroit à $(1 + x)$ m, x étant l'épaisseur totale prévue pour le complexe à réaliser au-dessus du support ou de la fondation (dalle, sous-couches et isolation éventuelles).

L'entrepreneur du sol industriel vérifie avant le début de ses travaux, si le niveau du support permet la réalisation du sol, compte tenu des diverses tolérances admissibles; il signale toute anomalie éventuelle.

Les tolérances sur le niveau du support ou de la fondation sont données dans le tableau 10.

Tableau 10

Tolérances sur le niveau du support ou de la fondation.

DISTANCE d (en m) ENTRE TOUT POINT DU SUPPORT OU DE LA FONDATION ET LE NIVEAU REPÈRE LE PLUS PROCHE	ECART (mm)
$d \leq 6$	± 16
$6 < d \leq 15$	± 20
$d > 15$	± 30

3.12.3 HORIZONTALITÉ OU PENTE DES SOLS INDUSTRIELS

Il y a lieu de préciser si le sol industriel doit être horizontal ou réalisé en pente (pour l'écoulement des liquides, le rachat de niveaux différents, etc.). Les pentes sont exprimées en mm/m.

3.12.3.1 SOL INDUSTRIEL HORIZONTAL

Un sol industriel est considéré comme horizontal lorsque les tolérances sur le niveau fini correspondent, en tout point, aux valeurs du tableau 9. Le niveau est contrôlé au moyen d'un niveau de topographe.

3.12.3.2 SOL INDUSTRIEL EN PENTE

Lorsque le sol industriel doit être exécuté en pente, les plans indiquent le sens et l'importance de la pente ainsi que les niveaux obligatoires comme les seuils de portes, les avaloirs d'égout, les grilles de fosses, etc.

La pente est contrôlée au moyen d'un niveau de topographe.

S'il s'agit de pentes prévues pour l'écoulement de liquides, il est conseillé, afin de limiter le risque de

stagnation, de ne pas prévoir de pentes inférieures à 20 mm/m, sous réserve des possibilités pratiques d'exécution et des tolérances de planéité admises.

Les contrôles s'opèrent sur une zone représentative, au moyen de la méthode utilisée pour les sols horizontaux, mais en tenant compte de la pente imposée.

Les tolérances sur les niveaux prescrits du sol en pente sont les mêmes que pour un sol horizontal.

3.12.4 PLANÉITÉ DES SOLS INDUSTRIELS

La planéité est la caractéristique d'une surface ne présentant ni aspérité, ni inégalité, ni courbure en aucun de ses points. Elle est indépendante de la pente et du niveau de la surface considérée. Le choix de la tolérance de planéité d'une surface dépend de l'utilisation envisagée.

3.12.4.1 NÉCESSITÉ D'UNE EXIGENCE DE PLANÉITÉ

Les exigences relatives au niveau du sol fini sont contrôlées à partir du niveau repère reporté le plus proche.

Si l'on mesure le niveau du sol en trois points proches les uns des autres, mais éloignés du niveau repère reporté (de 6 à 15 m, par exemple), les tolérances selon le tableau 9 sont de ± 16 mm. Cela signifie que l'on peut arriver à la situation représentée à la figure 14.

Bien que les tolérances sur le niveau du sol fini soient respectées, on comprend aisément que la situation schématisée ci-avant est inacceptable. C'est pourquoi il y a lieu de prévoir également des exigences en matière de planéité locale.

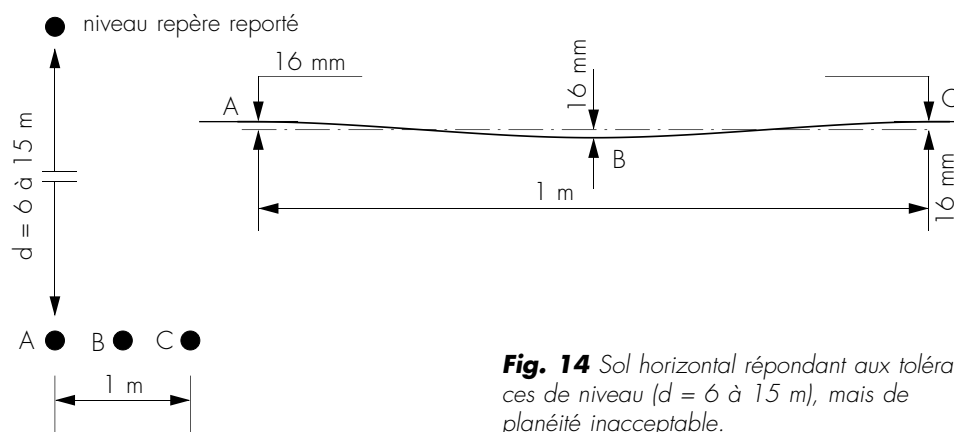


Fig. 14 Sol horizontal répondant aux tolérances de niveau ($d = 6$ à 15 m), mais de planéité inacceptable.

3.12.4.2 EXIGENCES DE PLANÉITÉ DES SOLS INDUSTRIELS

Pour la surface du sol fini, on distingue les quatre classes de planéité reprises au tableau 11.

Tableau 11
Tolérances sur la planéité des sols industriels (en mm).

CLASSE DE PLANÉITÉ	TOLÉRANCE (mm) SUR LA RÈGLE DE 2 m
I (très stricte)	3
II	5
III	7
IV	9

Dans le cas d'un sol industriel rapporté sur un support, ce dernier doit également présenter une planéité acceptable. A cet effet, on admet les classes de tolérances reprises au tableau 12.

Tableau 12
Tolérances sur la planéité des supports (en mm).

CLASSE DE PLANÉITÉ	TOLÉRANCE SUR LA RÈGLE DE 2 m	REMARQUES
I	10 mm	support pour sols industriels rapportés
II	20 mm	support pour autres sols industriels à base de ciment

COMMENTAIRES

Pour les sols industriels d'utilisation courante, on demande généralement la classe de planéité IV. En l'absence de prescriptions, le sol appartient à la classe de planéité IV. A cause des coûts supplémentaires de la réalisation d'une planéité améliorée, les classes de planéité I, II et III ne sont envisagées que dans des cas particuliers, par exemple : stockage à grande hauteur, machines de précision installées directement sur le sol, etc.

La réalisation de zones appartenant à des classes de tolérance différentes peut s'avérer une solution intéressante.

3.12.4.3 CONTRÔLE DE LA PLANÉITÉ DES SOLS INDUSTRIELS

On utilise une règle droite et rigide de 2 m de longueur (figure 15) portant à ses extrémités des taquets résistant à l'usure (carrés ou cylindriques, de 20 à 40 mm de côtés ou de diamètre) dont l'épaisseur est égale à la tolérance admise. Un troisième taquet mobile de mêmes dimensions et d'épaisseur égale à deux fois la tolérance doit également être disponible.

On pose la règle munie de ses deux taquets sur la surface à contrôler :

- ◆ cas 1 : un taquet et un point de la règle touchent le sol, alors que le deuxième taquet ne le touche pas; la planéité ne se situe pas dans les tolérances
- ◆ cas 2 : les deux taquets touchent le sol, alors que la règle ne le touche pas et que le taquet mobile ne passe pas sous la règle; la planéité est dans les tolérances
- ◆ cas 3 : les deux taquets touchent le sol, alors que la règle ne le touche pas et que le taquet mobile passe sous la règle; la planéité n'est pas dans les tolérances.

Le contrôle de la planéité s'opère toujours local par local et, sauf contre-indication, à une distance de 20 cm au moins des murs ou de tout autre obstacle. Dans cette zone de 20 cm, on accepte une planéité d'une classe moins sévère que celle prévue pour les parties courantes (tableau 11). Si le sol industriel appartient à la classe de planéité IV, la tolérance dans la zone précitée s'élève à 12 mm.

Le sol industriel appartient à la classe de planéité prescrite si, lors du contrôle, moins de 5 % des résultats sont situés hors des tolérances de planéité prévues mais les écarts restent dans les limites de la classe immédiatement supérieure (et restent inférieurs à 12 mm/2 m pour la classe IV). Si plus de 5 % des résultats sont situés hors des tolérances admises, comme décrit ci-avant, les rectifications éventuelles sont à charge de l'exécutant du sol industriel.

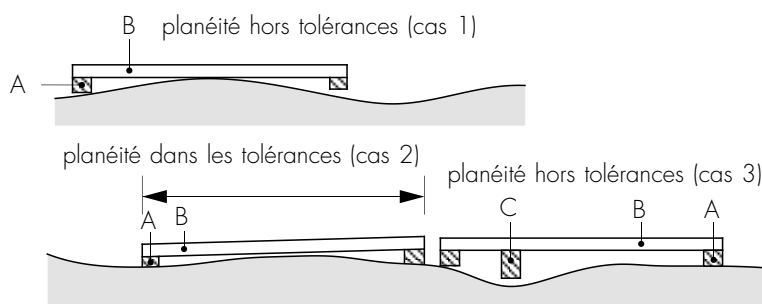


Fig. 15 Contrôle de la planéité d'un sol industriel.

- A. taquet dont l'épaisseur est égale à la tolérance
- B. latte de 2 m de longueur
- C. taquet mobile (épaisseur égale au double du taquet A)

Sauf spécifications contraires, le contrôle de la planéité se fait aux intersections d'un quadrillage dont les mailles ont des dimensions de 4 m x 4 m et dont l'axe de départ est laissé à l'appréciation du donneur d'ordre. Lors de l'établissement du quadrillage, il convient de tenir compte du fait que les points d'intersection se situent à plus de 20 cm des joints et des obstacles (murs, colonnes, chambres de visite, etc.) et qu'ils doivent appartenir à un même plan (ou à un même versant si le sol est exécuté en pente). Le milieu de la latte de contrôle doit correspondre à l'intersection de deux axes.

3.13 ASPECT DES SOLS INDUSTRIELS

Les sols décrits dans le présent document sont avant tout des dalles industrielles dont le caractère fonctionnel l'emporte sur le caractère esthétique. Il ne s'agit donc pas ici d'une exigence essentielle dans le sens où l'entend la Directive européenne "Produits de construction".

3.13.1 TEINTE ET BRILLANCE DE LA SURFACE

La teinte obtenue en surface est fonction du type de ciment et des granulats employés, des produits constituant la couche d'usure, des pigments éventuels, de l'intensité du lissage, des produits de cure utilisés et des conditions de durcissement. Les nuances de teinte dans les sols industriels à base de ciment sont inhérentes à ce type de sol.

Pour les surfaces non pigmentées, l'homogénéité de teinte dépend entre autres :

- ◆ de la régularité de teinte du ciment, liée à sa provenance et à sa nature (catégorie et classe de résistance)
- ◆ de la constance de la composition du béton et de la couche d'usure, en particulier du dosage en eau
- ◆ des conditions de durcissement (par exemple, protection des zones ensoleillées, suppression des courants d'air, etc.) et de la carbonatation du ciment
- ◆ des conditions de mise en œuvre, de l'efficacité et de l'épaisseur du produit de cure.

Pour les surfaces teintées, l'uniformité de teinte dépend en outre :

- ◆ de la bonne répartition du pigment dans la masse et/ou dans le saupoudrage
- ◆ de la qualité (stabilité, ...) du pigment et de sa teinte (le plus souvent : le rouge, le gris ardoise ou le vert).

Fréquemment, des exsudations blanchâtres apparaissent à la surface du sol. Le phénomène résulte de la

migration de l'eau du béton vers la surface, entraînant de la chaux $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ provenant du ciment. Il est plus accentué lorsque le béton reste saturé pendant une période prolongée (par exemple par des flaques d'eau). Après séchage, un voile ou un tâchage blanchâtre apparaissent; le phénomène est généralement plus prononcé là où le béton était saturé pendant une période prolongée. L'importance de ce phénomène peut être atténuée en protégeant la surface contre une dessiccation irrégulière et/ou en incorporant un réducteur d'eau au mélange, réduisant ainsi le risque de *bleeding*. Les exsudations disparaissent avec le temps grâce à l'usure par le trafic.

L'expérience montre que les sols colorés à l'aide de pigments organiques peuvent perdre à terme leur teinte originale sous l'action des rayons UV, de l'humidité, etc.

Que les surfaces soient pigmentées ou non, le produit de cure, une fois séché, subit généralement des variations de teintes, qui, en fonction du produit mis en œuvre, peuvent disparaître grâce à l'usure par le trafic.

Les produits de cure, une fois séchés, prennent généralement des teintes qui peuvent différer selon l'épaisseur du film. Comme ils s'éliminent sous l'effet de la circulation, leur disparition progressive peut également donner lieu à des nuances de teinte. Certains produits anti-évaporants peuvent en outre favoriser l'accrochage des salissures.

Des produits de cure à base de cire permettent, moyennant un entretien et un renouvellement réguliers de l'application, d'obtenir un aspect plus uniforme et brillant.

Les particules métalliques et/ou les fibres d'acier présentes dans la couche d'usure peuvent occasionner, au contact de l'humidité, la formation de taches de rouille en surface.

Au voisinage des obstacles, il peut y avoir des différences d'aspect à la suite d'un talochage d'intensité ou de nature différente dû à la difficulté d'accès (différence d'intensité et/ou de finition principalement dans le cas d'un talochage manuel).

3.13.2 IMPERFECTIONS DE SURFACE

Les imperfections dans l'état de surface du sol industriel peuvent être de nature différente :

- ◆ présence de fibres en surface, dans le cas d'un sol en béton renforcé de fibres
- ◆ présence de griffes, de petits cratères et de trous remplis de particules légères
- ◆ présence de microfissures ou faïençage.

3.13.2.1 PRÉSENCE DE FIBRES EN SURFACE

Lors de la mise en œuvre des fibres, il arrive qu'une partie d'entre elles restent visibles à la surface, ce qui est plus fréquent pour les sols industriels sans couche d'usure.

La classification retenue est indiquée au tableau 13; la classe à respecter est définie par le donneur d'ordre.

Tableau 13
Nombre de fibres apparaissant à la surface du sol (x = nombre de fibres visibles par m^2).

FINITION DE LA DALLE	BONNE	MOYENNE
Avec couche d'usure	$x < 3$	$3 \leq x < 6$
Sans couche d'usure	$x < 6$	$6 \leq x < 10$

Le contrôle des fibres en surface s'effectue comme suit :

- ◆ la surface est répartie selon un quadrillage dont l'axe de départ est laissé à l'appréciation du donneur d'ordre. Les carrés ont une surface de $100 m^2$. On sélectionne ensuite :
 - 5 carrés dans le cas d'une surface totale $\leq 10000 m^2$
 - 10 carrés dans le cas d'une surface totale $> 10000 m^2$
- ◆ par carré, on délimite, de façon quelconque, cinq fois $1 m^2$ et on compte le nombre de fibres en surface
- ◆ on calcule la moyenne.

3.13.2.2 PRÉSENCE DE GRIFFES ET DE PETITS CRATÈRES

Lors du talochage mécanique, il arrive que la taloche arrache des granulats et provoque des griffes ou des occlusions d'air qui prennent ensuite la forme de petits trous. La réparation ultérieure est souvent plus apparente que le défaut à corriger. L'intensité du phénomène est largement fonction du soin apporté à l'exécution.

De petits cratères, résultant de la présence de particules friables à la main, telles que particules de bois, d'argile, etc., sont admis, à condition que la surface du cratère ne dépasse pas $50 mm^2$ et que leur nombre ne dépasse pas les valeurs mentionnées au tableau 14.

Les petits cratères qui se sont formés par l'arrachement et la cassure des charges incorporées (grains) ne font pas partie de ces défauts.

SURFACE DE SOL CONSIDÉRÉE (m^2)	NOMBRE MAXIMUM DE CRATÈRES
10	6
100	20

Tableau 14
Nombre maximum de cratères autorisé.

3.13.2.3 MICRO-FISSURATION

Ce problème sera traité au § 7.1 (p. 42).



4 CHOIX D'UN SOL INDUSTRIEL A BASE DE CIMENT

4.1 EXIGENCES À FORMULER

Le choix d'un sol industriel dépend de la destination de l'ouvrage et des priorités qui en découlent.

Celles-ci seront consignées dans un programme d'exigences. Il est évident que le sol d'une salle de vente ou d'un show-room ne doit pas satisfaire aux mêmes exigences que celui d'un entrepôt de marchandises en vrac ou d'un hall d'usine chimique.

Il importe donc d'examiner attentivement les exigences à formuler en se basant sur les informations du chapitre 3 et de fixer un niveau acceptable pour chacune d'entre elles. Les possibilités techniques d'exécution et les considérations relatives aux coûts sont également des éléments à prendre en compte. Certaines exigences peuvent éventuellement être différentes d'une zone à l'autre (p.ex. la planéité).

A titre d'exemple, quelques exigences importantes sont reprises au tableau 15, compte tenu de l'utilisation prévue du sol industriel.

Remarque : dans le cas de sols en béton renforcé de fibres, la présence de fibres en surface peut être préjudiciable aux sols destinés aux étables, aires de

Tableau 15 Exigences importantes selon la destination du sol.

BÂTIMENT OU INDUSTRIE	EXIGENCES
Aire de stockage de marchandises en vrac	résistance mécanique résistance à l'usure rugosité
Entrepôts à rayonnages de grande hauteur	résistance à l'usure planéité
Entrepôts frigorifiques	résistance aux chocs à basse température isolation thermique ⁽²⁾ résistance aux alternances gel-dégel, surtout en cas de nettoyage à l'eau caractère anti-poussière
Industrie électronique	caractère anti-poussière résistance électrique facilité d'entretien
Industrie chimique, pharmaceutique et graphique	résistance chimique étanchéité aux liquides résistance à l'usure caractère anti-poussière résistance électrique planéité facilité d'entretien
Industrie alimentaire ⁽¹⁾	caractère anti-poussière résistance chimique étanchéité aux liquides facilité d'entretien résistance électrique pente
Show-rooms, grands magasins	résistance aux chocs facilité d'entretien planéité
Etables	étanchéité aux liquides antidérapance isolation thermique ⁽²⁾ facilité d'entretien pente
⁽¹⁾ Il y a lieu de vérifier si le sol préconisé est acceptable compte tenu des conditions d'emploi particulières. ⁽²⁾ L'isolation thermique n'étant pas une propriété intrinsèque du sol, elle doit faire l'objet d'une étude approfondie.	

Fig. 16
Entrée d'un show-room.



stockage en vrac de produits alimentaires, aires de parking pour avions et hélicoptères, etc., ou encore lorsque les fibres sont susceptibles de blesser les utilisateurs.

4.2 COMMENT SATISFAIRE AUX EXIGENCES ?

L'auteur de projet chargé de la conception détaillée du sol industriel définit :

- ◆ le type de sol à réaliser
- ◆ le dimensionnement du sol et de son support
- ◆ les pentes à réaliser et leur orientation
- ◆ la nécessité, l'emplacement et le type de joints à réaliser
- ◆ les niveaux de performances à atteindre.

L'entrepreneur est chargé :

- ◆ des travaux préparatoires en fonction du type de sol à réaliser (terrassements, fondation de la dalle sur terre-plein, préparation du support du sol rapporté, etc)
- ◆ la réalisation du sol industriel toutes fournitures comprises, compte tenu des tolérances dimensionnelles prévues
- ◆ de la finition de surface, compte tenu des exigences de résistance à l'usure et aux chocs et du niveau de planéité voulu
- ◆ de la protection de surface pendant le délai nécessaire (voir § 8.2, p. 49).

Les conditions climatiques lors de la mise en œuvre du béton et pendant la période de durcissement ont une grande influence notamment sur la vitesse d'évaporation et éventuellement le gel de l'eau de gâchage, ce qui influence le retrait de la couche superficielle du béton et donc la fissuration éventuelle.

Les conditions climatiques sont peu ou pas maîtrisables lorsque le sol est réalisé à ciel ouvert ou dans un hall ouvert; ce type d'exécution est à éviter dans la mesure du possible. Lorsqu'une telle réalisation s'impose, il est conseillé de se mettre d'accord au sujet de réparations pouvant découler des intempéries éventuelles.

Au niveau de la mise en service, des précautions doivent être prises pour éviter des sollicitations prématurées, par exemple par des véhicules amenant le matériel d'aménagement, les machines, etc.

4.2.1 CHOIX DU TYPE DE SOL

Les sols monolithiques ont une grande capacité de répartition des charges et peuvent être utilisés quelles que soient les sollicitations mécaniques, à condition d'être dimensionnés en conséquence. L'épaisseur et l'armature éventuelle sont déterminées par calcul; l'épaisseur minimale est de 80 mm.

Les sols rapportés sont de type adhérent; de ce fait, ils sont comparables aux dalles monolithiques du point de vue de leur comportement vis-à-vis des sollicitations. Cependant, l'adhérence du sol rapporté au support doit être déterminée en fonction des sollicitations prévues (§ 3.2, p. 15).

Les sols industriels chauffants, appliqués dans des cas particuliers, peuvent être conçus comme des sols monolithiques dans lesquels est incorporé un système de chauffage (§ 2.2.2, p. 6).

4.2.2 DIMENSIONNEMENT DE LA DALLE

La dalle est dimensionnée compte tenu de la classe de sollicitation prévue et des déformations admissibles.

Pour les sols industriels sur terre-plein, il y a lieu de tenir compte des caractéristiques mécaniques du terrain et d'adapter le type de fondation aux sollicitations prévues. Cet aspect est traité plus en détail au chapitre 5.

Les pressions de contact charge/sol doivent être limitées.

4.2.3 EMPLACEMENT ET TYPE DE JOINTS

L'emplacement et le type des joints dépend notamment :

- ◆ du type de sol : dalle autoportante, dalle sur terre-plein, sol rapporté
- ◆ des surfaces à réaliser
- ◆ de l'emplacement des fondations d'autres ouvrages (colonnes, murs, machines, etc.)
- ◆ des écarts de température possibles
- ◆ de la destination prévue du sol. Dans le cas d'un bâtiment de stockage, le schéma d'implantation des joints doit être adapté à l'emplacement des rayonnages.

Le problème des joints est traité en détail au § 7.3 (p. 44).

4.2.4 CARACTÉRISTIQUES DU BÉTON

Les caractéristiques du béton à mettre en œuvre et les méthodes de mise en œuvre et de protection afin d'obtenir les performances exigées sont envisagées au chapitre 6 (p. 33).

Une composition particulière s'impose lorsque le sol est soumis à des agressions chimiques ou thermiques ou lorsque des exigences relatives à l'étanchéité aux liquides ou à la résistance électrique sont d'application.



Tableau 16 Caractéristiques des terrains et corrélations approximatives.

TYPE DE TERRAIN	DÉFORMABILITÉ SOUS TRAFIC DE CAMIONS	VALEUR CBR (%)		MODULE DE RÉACTION DU SOL k (WESTERGAARD) (MN/m ³ = 10 ⁻³ N/mm ³)	MODULE DE DÉFORMATION DU SOL E_s (MPa)
		NAPPE PHRÉATIQUE PROFONDE (> 60 CM SOUS LE TERRAIN NATUREL)	NAPPE PHRÉATIQUE SUPERFICIELLE (≤ 60 CM SOUS LE TERRAIN NATUREL)		
Sol tourbeux, limoneux ou argileux	trafic quasiment impossible; très déformable	2 - 3	0 - 2	≤ 25	≤ 20
Argile plastique, sable argileux instable	profond orniérage; très déformable	3 - 5	2 - 3	25 - 40	20 - 40
Sable argileux, sable instable à granulométrie fine	léger orniérage; déformable	5 - 10	3 - 5	40 - 50	40 - 60
Sable argileux ou limoneux, gravillon	peu d'orniérage; légèrement déformable	10 - 20	5 - 10	50 - 75	60 - 120
Sable à granulométrie régulière, gravillon	très peu déformable	20 - 50	10 - 30	75 - 150	120 - 250
Gravillon compacté	pas d'orniérage; indéformable	> 50	30 - 50	> 150	> 250



5 TERRAIN ET FONDATION

Les caractéristiques du terrain (sol naturel ou remblai) recevant un sol industriel sur terre-plein sont déterminantes pour les fondations et la dalle à prévoir. Ce chapitre traite des fondations de dalles sur terre-plein, tant pour les sols monolithiques que pour les planchers destinés à recevoir une finition ultérieure par l'application d'un sol rapporté.

La terminologie suivante sera utilisée :

- ◆ terrain : surface sur laquelle on pose la fondation
- ◆ fondation : se compose d'une couche de sable, de gravier ou de pierres concassées, qui peut être ou non liée au ciment
- ◆ sol industriel : peut être tant un sol monolithique qu'un plancher muni d'un sol rapporté.

Pour assurer la bonne tenue d'un sol industriel, la capacité portante du terrain doit être la plus uniforme possible; cette caractéristique sera notamment fonction du choix des matériaux, du compactage et du taux d'humidité du support.

miné d'après l'essai de chargement à la plaque de Westergaard. La plaque utilisée à cet effet a un diamètre de 760 mm. Le module de réaction du terrain révèle le comportement du sol à brève échéance pour des couches d'une épaisseur d'environ 1,00 m.

Les données obtenues grâce à l'essai de chargement de la plaque peuvent suffire pour les sols de la classe de sollicitation I.

La connaissance des propriétés des couches profondes du sol et la réalisation de sondages en profondeur s'avèrent nécessaires lorsque la dalle est soumise à des sollicitations plus sévères (classes de sollicitation II et III, voir tableau 2, p. 14).

Le tableau 16 (p. 30) reprend les valeurs du module de réaction des différents types de terrain, ainsi que certaines autres de leurs propriétés qui sont en corrélation avec ce module et sont fréquemment utilisées en construction routière (*California Bearing Ratio* CBR et module de déformation E_s).

5.1 CARACTÉRISTIQUES DU TERRAIN

Les données nécessaires concernant la portance limite ultime du terrain, la tenue au tassement, le niveau de la nappe

phréatique et la sensibilité au gel seront déterminées par une étude géotechnique. L'eau étant susceptible de nuire à la capacité portante du sol, il y a lieu de connaître le niveau de la nappe phréatique et ses fluctuations.

Des sondages dynamiques peuvent être pratiqués en vue de déterminer l'hétérogénéité des sols sablonneux, mais ne suffisent pas pour définir la portance du sol.

Les sols peu portants et les remblais peuvent être sujets à des tassements importants; les tassements différentiels, en particulier, nuisent au comportement du sol.

Nombre de méthodes de dimensionnement sont basées sur le module de réaction du sol k , déter-

5.2 PRÉPARATION DU TERRAIN

Les sols industriels ne sont pas coulés directement sur terre-plein; la couche de terre arable

sera enlevée dans tous les cas.

Si le module de réaction k mesuré au fond de forme est inférieur à 30 MN/m³, on prendra des mesures propres à améliorer les caractéristiques du sol afin d'obtenir ce minimum, ou on envisagera une autre méthode de fondation (par ex. pieux, pieux de gravier, etc.). Dans le premier cas, l'une des techniques suivantes peut être adoptée :

- ◆ stabilisation du terrain, par exemple par compactage ou incorporation de chaux et/ou de ciment. Cette opération ne se justifie que pour des surfaces importantes
- ◆ remplacement des terres par du sable, du gravier, des matériaux légers de récupération, du béton cellulaire, du béton de polystyrène, etc., rapportés après avoir enlevé les terres de moin-

dre qualité; les matériaux remblayés sont compactés par cylindrage ou par vibration jusqu'à obtention du degré de compactage voulu (module de réaction du sol).

5.3 FONDATION

Selon les propriétés du sol, les dalles industrielles courantes (classes de sollicitation I et II) sont généralement mises en œuvre sur une couche bien compactée de sable, de gravier ou de pierres concassées, stabilisés ou non. L'épaisseur totale atteint 20 à 25 cm.

Etant donné la bonne aptitude des sols monolithiques à répartir les charges, les fondations suivantes peuvent être appliquées lorsque le sol industriel est soumis à des sollicitations sévères (classe de sollicitation III) :

- ◆ une couche de pierres concassées à granulométrie continue (par exemple, 0/20 ou 0/32), d'une épaisseur de 20 à 25 cm
- ◆ une couche de 15 à 25 cm d'épaisseur, composée de matériaux à base de ciment tels que béton maigre, pierres concassées à base de ciment ou mélange de sable et de ciment.

En cas de variations importantes de la teneur en eau dans le 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 munies d'une finition freinant fortement la vapeur
- ◆ stockage de produits sensibles à l'humidité
- ◆ sols de chambres frigorifiques.

Les pierres concassées 0/20 additionnées de 3 à 4 % (en poids) 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 tableau 17 présente un certain nombre de caractéristiques propres aux fondations à base de ciment.

Le mélange sable-ciment et les pierres concassées additionnées de ciment sont des mélanges relativement secs à compacter vigoureusement au moyen d'engins appropriés (ex. : rouleau vibrant). Le béton maigre sec est, quant à lui, un mélange plus fermé qui peut être serré soit au rouleau vibrant soit à la poutre vibrante.

Tableau 17

Propriétés des fondations à base de ciment.

CARACTÉRISTIQUES		MÉLANGE SABLE/CIMENT	EMPIERREMENT STABILISÉ AU CIMENT	BÉTON MAIGRE SEC
Teneur en ciment	% de la masse des matériaux inertes	6 à 10	3 à 4	4 à 6
	kg/m ³ de mélange serré	100 à 180	50 à 90	90 à 130
Résistance en compression à 90 jours sur éprouvettes cylindriques (N/mm ²)		5 à 7	5 à 10	> 10
Résistance moyenne en traction par flexion (N/mm ²)		0,8	1	1,5
Module moyen d'élasticité (N/mm ²)		8 000	12 000	15 000



6 MISE EN ŒUVRE DES SOLS INDUSTRIELS

6.1 TYPE DE BETON

Les sols monolithiques autoportants sont toujours réalisés en béton armé de barres ou de treillis ou en béton précontraint. Les sols sur terre-plein sont réalisés en béton armé, en béton renforcé de fibres ou en béton non armé.

Remarque : le béton est également considéré comme non armé lorsqu'il comporte une armature dont la section est inférieure à 0,15 % de celle du béton ou lorsqu'aucune mesure n'a été prise pour maintenir les armatures à l'emplacement prévu (voir § 2.3.4, p. 7).

6.2 BÉTON POUR SOLS INDUSTRIELS

Pour satisfaire aux exigences de résistance mécanique, le béton à mettre en œuvre doit répondre aux critères définis au § 6.2.1.

Les sols industriels monolithiques et les supports de sols industriels rapportés sont en béton de structure. Vu leur exposition au climat extérieur, aux sels de déverglaçage, etc., les bétons pour revêtements extérieurs doivent répondre à des exigences particulières que nous n'abordons pas dans la présente Note.

6.2.1 PERFORMANCES DES BÉTONS CERTIFIÉS

Dans le cadre de la gestion de la qualité totale, il est recommandé d'utiliser un béton certifié BENOR. Cette certification garantit la qualité du béton livré, mais non celle de la mise en œuvre. L'entrepreneur a donc tout intérêt à mettre sur pied ses procédures de qualité propres pour la mise en œuvre du béton. Des contrôles spécifiques s'imposent particulièrement lorsque l'entrepreneur prend l'initiative de modifier la composition du béton à la fourniture.

Un béton certifié BENOR est spécifié d'après ses performances selon la NBN B 15-001 [32]; autrement dit, il convient de préciser, dans l'ordre, les

données suivantes :

- ◆ la classe de résistance (C X/Y)
- ◆ la classe d'exposition (de 1 à 5c, y compris) avec mention de la destination du béton : armé, non armé, précontraint
- ◆ la classe de consistance : affaissement mesuré au cône d'Abrams (S1 à S4) ou étalement à la table à secousses (F1 à F4)
- ◆ le calibre nominal du gros granulat (D_{\max} en mm).

Le béton pour sols industriels devra généralement satisfaire à un certain nombre d'exigences complémentaires (notamment granulométrie, teneur en particules fines, nature et concentration des adjuvants, etc.) visant à réduire le ressuage, la ségrégation (cf. § 6.2.1.5, p. 35), le retrait en phase plastique (voir chapitre 7, p. 42), etc. Ces exigences complémentaires, de même que leur contrôle, font l'objet de dispositions contractuelles entre l'entrepreneur et le fournisseur du béton.

Les exigences minimales concernant le béton pour ouvrages non armés ne s'appliquent qu'aux ouvrages ne contenant pas d'acier à protéger contre la corrosion (armatures, fibres d'acier, ancrages, etc.) (NBN B 15-001).


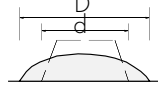
Pour les sols industriels en béton non armé, il est vivement conseillé d'utiliser une qualité de béton pour dalles armées, notamment pour satisfaire aux exigences concernant la résistance à l'usure et la réduction de la formation de poussière.

6.2.1.1 CLASSE DE RÉSISTANCE C DU BÉTON (NBN B 15-001)

La classe de résistance du béton sera choisie dans la série des 9 classes reprises dans le tableau 18, partie A (p. 34). Pour l'exécution des sols industriels, le choix porte généralement sur l'une des 3 classes figurant dans la zone sur fond vert. Les propriétés des bétons appartenant aux classes de résistance définies sont mentionnées à l'annexe 3, p. 55 (extrait de la norme NBN B 15-002 [33]).

Tableau 18
Prescriptions en
matière de
qualité du béton.

A	CLASSES DE RÉSISTANCE	C X/Y		
<p>X = $f_{ck, cyl}$ = résistance caractéristique à la compression (en N/mm²) sur cylindres Ø 150 mm et h 300 mm à 28 jours, 20 °C et HR ≥ 90 %</p> <p>Y = $f_{ck, cub}$ = résistance caractéristique à la compression (en N/mm²) sur cubes 150 mm à 28 jours, 20 °C et HR ≥ 90 %</p> <p>SÉRIE COMPLÈTE DES CLASSES DE RÉSISTANCE</p>				
C 12/15	C 16/20	C 20/25	C 25/30	C 30/37
C 35/45	C 40/50	C 45/55	C 50/60	

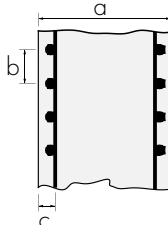
C	CLASSES DE CONSISTANCE			
BÉTON	Affaissement en mm au cône d'Abrams (<i>slump</i>)		Etalement D/d à la table à secousses (<i>flow</i>)	
				
	Sec	S1	10 à 45	F1 1,20 à 1,49
	Ferme	S2	50 à 95	F2 1,50 à 1,79
	Plastique	S3	100 à 150	F3 1,80 à 2,09
Mou	S4	> 150	F4	≥ 2,10
Les classes S3 ou F3 et supérieures assurent une mise en place et un serrage aisés.				

B		CLASSES D'EXPOSITION				
ENVIRONNEMENT			Exigences ⁽¹⁾ béton armé		Exig. béton non armé	
			E/C max.	kgC/m ³ min.	E/C max.	kgC/m ³ min.
1	Sec		0,65	260	–	150
2a	Humide sans gel		0,60	280	0,70	200
2b	Humide avec gel		0,55	280	0,55	200
3	Humide avec gel et agents de déverglaçage ⁽²⁾		0,50	300	0,50	300
4a	Env. marin sans gel		0,55	300	0,55	300
4b	Env. marin avec gel		0,50	300	0,50	300
5a	Environnement chimiquement agressif ⁽³⁾	faible	0,55	280	0,55	200
5b		modéré	0,50	300	0,50	300
5c		fort	0,45	300	0,45	300

⁽¹⁾ Impositions différentes pour béton précontraint.

⁽²⁾ Imposition complémentaire : teneur minimum en air entraîné de 4 à 6 % suivant le calibre maximum "D" du gros granulat.

⁽³⁾ Suivant la nature de l'agent agressif, recours éventuel aux ciments HSR (*high sulfate resisting*).

D	CALIBRE MAX. DU GROS GRANULAT						
La dimension max. "D" du gros granulat doit être inférieure à :							
1/4 de la plus petite dimension de l'élément à bétonner a/4							
l'écartement le plus petit des armatures moins 5 mm b-5							
1,3 x l'enrobage des armatures 1,3c							
"D" max. sera choisi parmi les dimensions suivantes (en mm) :							
7	10	14	20	28	32	40	56
N.B. La norme NBN B 11-101 [28] tolère 15 % de grains dont la dimension réelle est supérieure au "D" nominal.							

COMMENTAIRES

La classe de résistance du béton est spécifiée par le bureau d'études sur la base des hypothèses admises dans le projet. Il est conseillé d'opter pour une des classes de résistance suivantes :

- ◆ C 20/25 pour les sols non armés peu sollicités (classe de sollicitation I, voir tableau 2, p. 14) : petits ateliers sans manutention lourde, entrepôts pour produits légers, etc. Afin d'obtenir un sol où la formation de poussière sera réduite, le sol en béton de cette classe de résistance doit

être parachevé au moyen d'un saupoudrage

- ◆ C 25/30 pour les sols moyennement à fortement sollicités (classes de sollicitation II et III, voir tableau 2, p. 14) : grands ateliers, entrepôts pour produits lourds, etc.
- ◆ C 30/37 pour les situations particulières requérant de meilleures performances en raison du niveau de sollicitation ou des exigences de durabilité. Dans de tels cas, les effets plus accentués du retrait devront être pris en considération de manière explicite.

Les sols armés dimensionnés comme tels ainsi que les sols renforcés de fibres d'acier appartiennent au moins à la classe de résistance C 25/30.

6.2.1.2 EXIGENCES RÉSULTANT DE L'EXPOSITION DU BÉTON

Les exigences relatives à la durabilité du béton sont reprises dans le volet B du tableau 18. On trouvera au § 3.6 (p. 17) les valeurs approximatives du degré d'agressivité de certaines substances en fonction de leur concentration.

Si le sol est exposé à un environnement humide soumis à des cycles de gel-dégel, on utilisera des granulats résistants au gel conformément aux prescriptions de la norme NBN B 15-001. L'indice de forme de la pierre concassée est au moins de la catégorie B (NBN B 11-207 [29]).

COMMENTAIRES

Les sols qui, indépendamment des opérations de nettoyage, restent normalement secs appartiennent à la classe d'exposition 1. Les sols humidifiés régulièrement ou en permanence appartiennent à la classe d'exposition 2a; s'ils sont en outre exposés au gel, ils appartiennent à la classe d'exposition 2b.

Les parkings couverts susceptibles d'être exposés à la fois au gel et aux agents de déverglaçage déposés par les véhicules appartiennent à la classe d'exposition 3. Lorsque de tels sols sont parachevés par saupoudrage et talochage mécanique, l'utilisation d'un entraîneur d'air ne se justifie pas, ce qui doit être précisé au fournisseur du béton lors de la commande.

6.2.1.3 CONSISTANCE DU BÉTON AU MOMENT DE LA MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre rapide et aisée du béton, livré à grande cadence (pompage) implique une ouvrabilité particulière, caractérisée par une consistance exprimée conformément au volet C du tableau 18.

La consistance du béton à mettre en œuvre est cruciale pour un sol industriel; compte tenu de la simplicité de la méthode de contrôle, il est conseillé de vérifier régulièrement sur chantier la consistance du béton.

Si, au moment de la livraison du béton, la consistance ne correspond pas à la classe commandée, la fourniture est refusée. Cependant, pour le béton se

trouvant encore dans le malaxeur, le fournisseur peut décider, sous sa responsabilité, d'augmenter la fluidité (NBN B 15-001), à condition de ne pas dépasser les valeurs E/C admises et de disposer d'un appareillage de mesure permettant de contrôler la consistance.

COMMENTAIRES

Pour les applications courantes, on utilise généralement un béton de la classe de consistance S3 ou S4. Si l'entrepreneur décide d'incorporer de l'eau et/ou des adjuvants au mélange fourni, il devra tenir compte des critères énumérés ci-après, étant donné qu'il ne pourra plus faire valoir la garantie BENOR pour attester la qualité du béton :

- ◆ le facteur E/C maximum autorisé ne peut être dépassé (voir volet B du tableau 18); l'addition d'eau est toujours déconseillée
- ◆ en cas d'ajout d'adjuvants, ceux-ci doivent être compatibles avec le ciment utilisé ainsi qu'avec les adjuvants qui auraient déjà été incorporés au béton préalablement
- ◆ l'entrepreneur appliquera sa propre procédure de qualité pour contrôler les performances du béton.

6.2.1.4 CALIBRE MAXIMAL DU GROS GRANULAT

Cette caractéristique dépend de l'épaisseur de l'élément en béton à réaliser et de l'écartement des barres d'armature éventuelles. Elle est déterminée conformément au volet D du tableau 18.

COMMENTAIRES

Sauf stipulation contraire, D_{\max} sera égal à 20 mm pour les pierres concassées et à 28 mm pour le gravier. Le granulat doit avoir une granulométrie continue et satisfaire aux dispositions énoncées au § 6.2.1.5.

6.2.1.5 RECOMMANDATIONS COMPLÉMENTAIRES RELATIVES À LA COMPOSITION DU BÉTON

Pour réduire les phénomènes de ressuage (*bleeding*), de ségrégation, de retrait en phase plastique et pour améliorer la durabilité du béton, il est conseillé de prendre des mesures portant sur :

- ◆ la granulométrie du béton et la teneur en particules fines
- ◆ la nature du ciment utilisé.

A. Granulométrie et teneur en particules fines

Afin d'éviter autant que possible les phénomènes de ségrégation et de ressuage, il importe d'utiliser un béton stable, ce qui nécessite une attention particulière au niveau de la granulométrie et de la teneur en particules fines.

La granulométrie doit être continue. Selon le type de granulat (roulé ou concassé) et la dimension des grains les plus gros, la granulométrie des granulats inertes ($> 80 \mu$) doit se situer entre les limites représentées à la figure 17. Celle-ci montre que la fraction sableuse comprise entre 80 et 250 μ doit être limitée (teneur comprise entre 4 et 8 %), car elle demande de grandes quantités d'eau de gâchage et n'a qu'un faible effet stabilisateur.

En pratique, cela signifie par exemple que si l'on utilise des pierres concassées 7/20 en guise de granulats les plus gros, il faudra en remplacer une partie par du concassé de fraction 2/7 (250 kg/m³ maximum). En cas d'application de gravier roulé 4/28, on pourra remplacer jusqu'à 150 kg/m³ du total par la fraction plus petite 4/14.

Le teneur en fines particules ($d < 80 \mu$), dont le ciment fait partie, doit être suffisante pour garantir

Tableau 19

Teneur en particules fines en fonction du diamètre des granulats les plus gros.

D_{\max} (mm)	TENEUR MINIMALE EN PARTICULES FINES (kg/m ³)
10	450
20	375
28	350

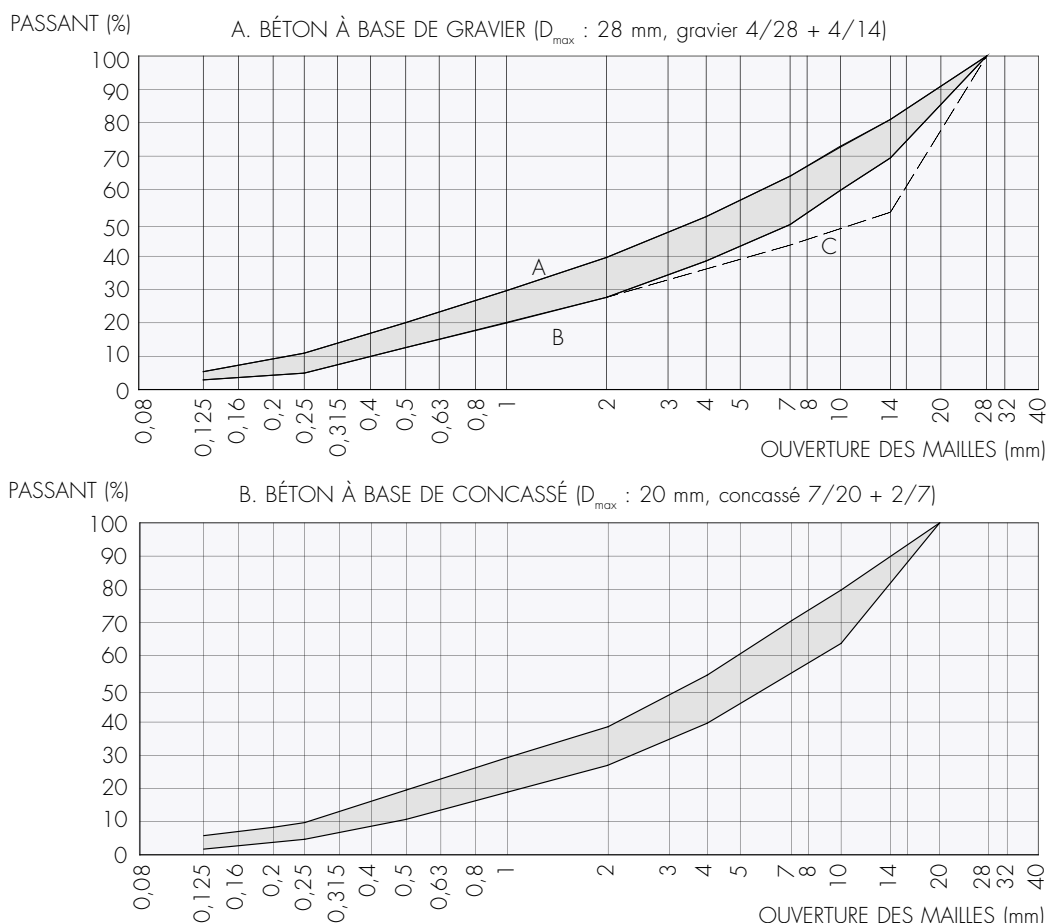
la stabilité. En fonction du diamètre le plus grand des granulats, elle variera comme indiqué au tableau 19.

La teneur minimale en ciment est fonction de la classe d'exposition. Afin de satisfaire à l'exigence de teneur minimale en particules fines, on peut ajouter du ciment ou des additifs qui seront soit inertes (type I), soit de la pouzzolane (type II), comme les cendres volantes. L'ajout de particules fines demande davantage d'eau de gâchage, qui accroît le facteur eau/ciment. Pour le calcul de ce facteur, on peut considérer la cendre volante comme un substitut au ciment, conformément aux restrictions de la norme NBN B 15-001 (§ 5.9). Le facteur de rendement s'élève à 0,3. La teneur en ciment ne peut cependant jamais être inférieure à celle mentionnée au tableau 18 et on respectera le facteur eau-ciment maximal autorisé.

Fig. 17

Granulométrie adéquate pour le béton.

- A. Plafond
- B. Limite inférieure (béton renforcé de fibres)
- C. Limite inférieure (béton non renforcé de fibres)



Les additifs inertes ne peuvent être considérés comme des substituts au ciment et n'exercent donc qu'un effet stabilisateur. Leur quantité sera de préférence limitée à 10 % maximum de la teneur en ciment.

B. Choix du ciment

Le recours au ciment LA (*low alkali*) est recommandé pour des sols humidifiés régulièrement ou en permanence.

L'utilisation de ciment HSR (*high sulfate resisting*) est indiquée dans le cas où le sol est exposé à l'action des sulfates (classe d'exposition 5).

C. Béton renforcé de fibres

À l'heure actuelle, le béton de fibres n'est pas livré avec la garantie BENOR; la pratique courante consiste à incorporer les fibres au mélange sur chantier. Cette opération est réalisée sous la responsabilité de l'entrepreneur.

Par souci d'une bonne gestion de la qualité, mais aussi pour compléter la garantie BENOR, l'entrepreneur a tout intérêt à appliquer ses propres procédures de qualité, en particulier pour le contrôle du dosage en fibres et de l'homogénéité de leur distribution.

Il est recommandé de suivre la procédure suivante :

- ◆ par malaxeur à contrôler, on prélève 2 échantillons de béton d'au moins 8 litres, le premier au début du déversement et le second à la fin du déversement
- ◆ on contrôle au minimum 6 malaxeurs. La répartition des contrôles sur les différents malaxeurs ainsi que le nombre total de prélèvements sont déterminés contractuellement.

La concentration en fibres d'acier est contrôlée par lavage des échantillons de béton. Le dosage moyen en fibres, calculé sur six échantillons au minimum, ne peut être inférieur à la valeur prescrite diminuée de 4 kg/m³. Aucun résultat individuel ne peut être inférieur à la valeur prescrite diminuée de 9 kg/m³.

D. Exemple

Pour réaliser le sol sur terre-plein d'un bâtiment à destination de parking, on a opté pour une dalle non armée constituée par un béton certifié BENOR. Lors de la commande du béton, les données suivantes

doivent être fournies :

- ◆ classe de résistance du béton : C 25/30, qualité pour béton armé (§ 6.2.1)
- ◆ classe d'exposition : 3. Il est décidé de mettre en œuvre du béton exempt d'entraîneurs d'air (§ 6.2.1.2)
- ◆ classe de consistance : S3, vu les moyens de compactage disponibles (épandage manuel et dressage à la règle vibrante, voir § 6.5, p. 40)
- ◆ calibre maximum du granulat : 28 mm. il est convenu avec le fournisseur du béton de respecter le fuseau granulométrique de la figure 17A. Il est en outre convenu de garantir un dosage minimum en particules fines (ciment et additifs de même finesse, compte tenu des restrictions imposées au § 6.2.1.5A) de 350 kg/m³ et de limiter la fraction de 0,08 à 0,25 mm à 6 ± 2 %.

COMMENTAIRES

Dans le cas des sols appartenant à la classe d'exposition 3, la norme NBN B 15-001 prévoit, pour le béton armé, une teneur en ciment d'au moins 300 kg/m³. Le producteur du béton devra donc ajouter au mélange des additifs de même finesse, afin de répondre aux critères imposés. On tiendra toutefois compte du fait que la teneur en particules fines est limitée (voir § 6.2.1.5A). Dans le cas d'un dosage en ciment de 300 kg/m³, l'ajout de cendre volante est limité à 75 kg/m³ (25 % de 300 kg/m³); cette quantité est réduite à 30 kg/m³ (10 % de 300 kg/m³) lorsqu'il s'agit de filler inerte. Dans ce dernier cas, le dosage en ciment doit être porté à 320 kg/m³, afin de satisfaire à l'exigence concernant la teneur en particules fines de 350 kg/m³.

S'il a recours à cet effet à de la cendre volante certifiée, le dosage maximum en eau de gâchage s'élèvera à :

$$\begin{aligned} E &= 0,50 (C + 0,3 CV) \text{ (voir NBN B 15-001, § 5.9)} \\ &= 0,50 (300 + 0,3 \times 50) \\ &= 157,50 \text{ l/m}^3 \end{aligned}$$

(CV = dosage en cendres volantes en kg/m³ et E/C = 0,50).

Un tel dosage en eau de gâchage ne permet pas d'atteindre la classe de consistance S3. Le producteur de béton sera donc contraint d'adjuvanter le mélange.

L'incorporation en centrale d'un adjuvant de type plastifiant-réducteur d'eau (effet moyennement fluidifiant) permet de passer à une classe de consistance supérieure.

L'utilisation d'un adjuvant de type fluidifiant/hautement réducteur d'eau (également appelé super-

plastifiant SP à effet puissant mais éphémère) permet d'augmenter la consistance de 2 classes (c.-à-d. que la fluidité du béton augmente). Cet adjuvant est incorporé dans le malaxeur juste avant le déchargement sur chantier.

Le temps de remalaxage après ajout du SP est de 1 minute par m³ de béton, avec un minimum de 6 minutes pour un chargement complet ou incomplet du mixer. Le déchargement du mixer doit s'effectuer immédiatement après remalaxage.

6.2.1.6 SPÉCIFICATIONS POUR LE BÉTON DES SOLS INDUSTRIELS

Le tableau 20 résume, à titre d'exemple, les spécifications du béton applicables à quelques cas fréquents.

6.2.2 BÉTON POUR SOLS RAPPORTÉS

Vu leur faible épaisseur, les sols industriels rapportés adhérents sont généralement réalisés en béton dont le gros granulat a un calibre limité (10 à 14 mm). Ce type de béton est dénommé ci-après 'micro-béton' et peut en principe être spécifié

Tabel 20
Spécifications
pour le
béton.

FINITION DE LA DERNIÈRE COUCHE DU BÉTON FRAIS	CLASSE DE SOLlicitATION (voir tableau 2, p. 14)	BÉTON POUR SOLS INDUSTRIELS			
		CLASSE DE RÉSISTANCE (²)	CLASSE D'EXPOSITION (³)	CLASSE DE CONSISTANCE	D _{max} DES GRANULATS (mm) (⁶)
Tirage à la règle sans couche de saupoudrage	I	C25/30	2a 2b (⁷) (⁹) 3 (⁷) (⁹)	F2/S2 (¹⁰) + SP - F3/S3 + SP - F3/S3	20 ou 28 (¹¹)
	II/III	C25/30 C30/37 (⁵)	2a 2b (⁷) (⁹) 3 (⁷) (⁹)	idem	20 ou 28 (¹¹)
Talochage mécanique sans couche de saupoudrage	I	C25/30	2a 2b (⁸) (⁹) 3 (⁸) (⁹)	idem	20 ou 28 (¹¹)
	II/III	C25/30 C30/37 (⁵)	2a 2b (⁸) (⁹) 3 (⁸) (⁹)	idem	20 ou 28 (¹¹)
Talochage mécanique avec couche de saupoudrage	I	C20/25 (¹) (⁴) C25/30	2a 2b (⁸) (⁹) 3 (⁸) (⁹)	idem	20 ou 28 (¹¹)
	II/III	C25/30 C30/37 (⁵)	2a 2b (⁸) (⁹) 3 (⁸) (⁹)	idem	20 ou 28 (¹¹)

(¹) Uniquement d'application pour la classe de sollicitation à l'usure Ia (voir § 3.3.2, p. 16).

(²) Il est préférable d'utiliser du béton pouvant être armé (voir § 6.2.1, p. 33), voire même obligatoire si de l'acier est incorporé (armature, fibres métalliques, ancrages).

(³) Le facteur E/C maximum ne peut être dépassé et la teneur minimale en ciment doit être respectée (voir tableau 18B). Le ciment appartient de préférence à la catégorie 42,5 ou plus.

(⁴) Le béton de cette classe de résistance n'est pas appliqué pour les sols armés ou renforcés de fibres (voir § 6.2.1.1).

(⁵) L'effet de retrait du béton doit explicitement être pris en compte (voir § 6.2.1.1, Commentaires).

(⁶) En cas de béton à base de gravier, la courbe granulométrique de la figure 17A doit être respectée. S'il s'agit de béton à base de concassé, on suivra la courbe granulométrique de la figure 17B. La teneur en particules fines est en tous les cas limitée en fonction de D_{max} (voir § 6.2.1.5 A).

(⁷) Utilisation de béton avec entraîneur d'air, teneur en air de 4, 5 ou 6 % en fonction de D_{max}.

(⁸) Utilisation de béton sans entraîneur d'air.

(⁹) L'indice de forme du granulat doit appartenir à la catégorie B s'il s'agit de béton à base de concassé. On utilise de préférence du ciment LA.

(¹⁰) La classe de consistance du béton sera au maximum F2/S2. Si, pour des raisons d'ouvrabilité, on souhaite une classe de consistance plus élevée F3/S3 ou F4/S4, on additionnera au béton une quantité appropriée de superplastifiant (SP). L'adjuvant doit être compatible avec le ciment utilisé.

(¹¹) D_{max} = 20 mm en cas de concassé, 28 mm en cas de gravier.

d'après ses performances; dans ce cas, les données du § 6.2.1 sont d'application.

Les sols rapportés sont parfois réalisés au moyen de béton à consistance de terre humide gâché sur chantier et non pompable. On se conformera aux directives suivantes pour de telles compositions de béton :

- ◆ le dosage en ciment n'excédera pas 400 kg par m³ de béton; un dosage de 300 à 350 kg de ciment par m³ de béton est une composition courante
- ◆ les granulats auront une granulométrie continue et leur calibre maximal ne dépassera pas 1/4 de l'épaisseur de la couche. Pour la continuité de la granulométrie, le sable (sable du Rhin de préférence) est mélangé avec un granulat intermédiaire, éventuellement du gravier roulé 4/7 (kift) ou de la pierre concassée 2/7
- ◆ la consistance sera aussi sèche que le permettent les moyens de serrage.

Le béton peut éventuellement être additionné de fibres d'acier ou de fibres synthétiques et d'adjuvants (plastifiants, par exemple).

6.3 PRÉPARATION DE L'INFRASTRUCTURE

6.3.1 SOLS MONOLITHIQUES

Les sols monolithiques autoportants sur structure portante sont mis en œuvre sur un coffrage conformément aux prescriptions de la norme NBN B 15-001. Pour les sols monolithiques sur fondations directes, le béton peut être coulé directement sur la fondation après exécution du coffrage périphérique éventuel.

Une feuille en polyéthylène d'une épaisseur de 0,2 mm au moins peut être insérée entre la dalle et la fondation. Cette pratique est recommandée pour les dalles sur fondation non stabilisée au ciment et dans tous les cas pour les dalles à grands panneaux (voir chapitre 7, p. 42). En tout état de cause cette feuille ne peut pas être considérée comme une étanchéité.

Lorsque le béton est coulé directement sur la fondation, il est conseillé d'humidifier préalablement cette dernière, afin de limiter les pertes d'eau du béton de la dalle.

La couche d'isolation posée éventuellement entre la fondation et la dalle peut être en béton cellulaire, en béton de polystyrène ou être constituée par des panneaux isolants. Dans ce dernier cas, les panneaux seront recouverts d'une feuille en matière plastique.

6.3.2 SOLS RAPPORTÉS

Les sols rapportés à usage industriel sont exécutés en adhérence au support. Des mesures seront prises pour garantir une adhérence permanente. Les parties non adhérentes au support et les salissures seront enlevées par des moyens mécaniques, éventuellement un sablage ou un grenaillage peut s'avérer nécessaire.

Une couche d'accrochage est appliquée avant le coulage du sol rapporté; elle est constituée :

- ◆ soit par une émulsion d'adhérence appliquée conformément aux prescriptions du fabricant
- ◆ soit par un mortier légèrement plus riche en ciment que le mélange rapporté, et éventuellement additionné d'un adjuvant d'adhérence. Préalablement le support est humidifié à refus.

6.4 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. Les dispositifs spéciaux (par exemple, ancrages, profilés de joints, etc.) qui doivent éventuellement être incorporés seront clairement spécifiés.

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 (voir § 7.1.1, p. 42), le pourcentage nécessaire d'armature de retrait est généralement de l'ordre de 0,3 à 0,4 % de la section du béton. Dans le cas de béton renforcé de fibres métalliques, la quantité minimale de fibres 'p' doit répondre simultanément aux deux critères ci-après :

- ◆ le facteur de ténacité $T_{300,p} \geq 50 \%$, déterminé en conformité avec la norme NBN B 15-239 [37]
- ◆ la teneur en fibres $p \geq 20 \text{ kg/m}^3$.

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 : 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, elle est de 25 mm minimum. Elle sera cependant plus élevée (≥ 50 mm) si l'on prévoit la circulation de véhicules de transport avec commande à induction, ceci afin d'éviter toute interaction avec les armatures du béton. En cas d'emploi de tels véhicules, il sera préférable d'opter pour un béton non armé ou renforcé de fibres d'acier et de se référer aux prescriptions du fabricant de ces engins.

6.5 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.

L'énergie de serrage lors de la mise en œuvre du béton diminue à mesure que la fluidité augmente. Selon les moyens de serrage disponibles, le béton appartiendra à l'une des classes de consistance suivantes :

- ◆ S1/S2 (slump 10 à 95 mm) pour les bétons mis en œuvre au moyen d'un *slipform-paver*
- ◆ S2 pour les bétons vibrés au moyen d'un matériel puissant (réservé aux grands chantiers)
- ◆ S3 pour les bétons épandus manuellement, mais dressés à la règle vibrante. Dans certains cas, l'utilisation de l'aiguille vibrante en complément est possible
- ◆ S4 pour les bétons épandus et dressés manuellement.

Le béton doit être coulé de manière continue, toute interruption prolongée occasionnant 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 (*laser screed*).

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 à la classe de consistance S4. L'emploi d'un béton additionné de superplastifiant ne nécessitera qu'un serrage de faible intensité. Ce type d'adjuvant peut avoir certains effets secondaires tels que, par exemple, un ralentissement de la prise, un ressuage ou un brusque fléchissement de l'action fluidifiante.

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 suite à la circulation prématurée.

6.6 FINITION DE LA SURFACE

La finition de la surface peut se faire avec ou sans couche d'usure spéciale. Lorsqu'une couche d'usure spéciale est utilisée, celle-ci est constituée :

- ◆ soit d'un mélange pour couches d'usure, sec ou à consistance de terre humide, saupoudré sur le béton pendant sa prise
- ◆ soit d'un mélange visqueux pour couches d'usure (*topping*), appliqué sur la surface après la prise du béton.

Fig. 18 Poutre vibrante commandée par laser (*laser screed*).



Fig. 19 Serrage du béton à la règle vibrante.



On veillera à ne pas interrompre les opérations de finition de manière prolongée, afin d'éviter un durcissement du béton tel qu'il rende toute finition ultérieure impossible.

Un béton présentant un faible rapport eau/ciment possède une résistance élevée à la compression et une faible porosité le rendant relativement résistant à l'usure. Le talochage du sol à l'hélicoptère permet d'obtenir un bon serrage et de faire ressuer la laitance à la surface. Le mélange de cette laitance avec le produit de saupoudrage confère une couche de finition compacte et lisse. Le polissage produit un essorage intense de la surface et donne une couche de finition de quelques millimètres d'épaisseur présentant un faible rapport eau/ciment et donc une résistance mécanique élevée.

6.6.1 SAUPOUDRAGE

On procède au parachèvement de la surface quelques heures après la mise en place du béton, lorsque le mélange commence à raidir (en fonction de la température ambiante). La finition s'effectue par talochage mécanique (à l'hélicoptère) ou manuel, afin d'obtenir un bon compactage de la surface. L'eau remontée éventuellement en surface sera évacuée au préalable. Le frottement produit par cette opération confère au béton une finesse de surface qui permet l'incorporation du produit de saupoudrage. Le nombre de passages et les opérations complémentaires éventuelles dépendent de la finition exigée.

Compte tenu de la classe de résistance à l'usure prescrite, le mélange de saupoudrage se compose généralement :

- ◆ d'une part en masse de ciment du même type et de la même classe de résistance que celui utilisé pour le béton sous-jacent
- ◆ de deux parts en masse de granulats; à cet effet, on utilise traditionnellement :
 - 3 à 4 kg/m² de grains de quartz à haute teneur en silice; on peut également employer des grains de corindon ou de carborundum
 - 4 à 5 kg/m² de particules métalliques.

Si une coloration de la couche d'usure est prévue, on incorpore au mélange de saupoudrage des pigments (d'origine minérale de préférence) à raison de 10 % maximum de la masse de ciment.

Le saupoudrage s'effectue en une ou plusieurs passes. Chaque passe est suivie d'un talochage méca-

nique ou manuel, afin d'assurer une transition progressive, sans couche de séparation, entre le béton sous-jacent et la couche d'usure, qui ne peuvent se désolidariser.

Le talochage peut être suivi d'un polissage.

Le talochage et le polissage vigoureux de la couche de finition confèrent à cette dernière sa solidité et sa résistance à l'usure ainsi qu'une texture de surface fermée. Dans les zones non accessibles à l'hélicoptère (au droit des murs, colonnes, etc.), la surface est parachevée à la main, ce qui produit généralement un fini d'un autre aspect.

6.6.2 FINITION PAR TOPPING

Les produits pour couches d'usure par "*topping*" sont généralement des mélanges secs préfabriqués en usine. L'eau de gâchage nécessaire est ajoutée avant la mise en œuvre pour former une composition visqueuse. Ils sont utilisables aussi bien sur les sols monolithiques que sur les sols rapportés. Ils s'appliquent sur le béton en fin de prise.

Il sont appliqués en épaisseur d'environ 10 mm.

Le serrage s'effectue manuellement ou mécaniquement; dans ce dernier cas, il est nécessaire d'attendre le raidissement du *topping*. Le polissage peut, lui aussi, se faire manuellement ou mécaniquement, l'une et l'autre méthode conduisant à un aspect de surface différent.

Fig. 20 Dressage manuel du sol en périphérie.





7 MAITRISE DE LA FISSURATION ET DU CINTRAGE

7.1 ORIGINE DES FISSURES ET DU CINTRAGE

Le retrait hydraulique, les mouvements thermiques et les déformations (tassements, flèches) peuvent engendrer la fissuration et le cintrage du sol en béton.

7.1.1 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 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. La méthode décrite dans la norme NBN B 15-002 (Eurocode 2, Partie 1.1) permet de déterminer l'ordre de grandeur du retrait de séchage (cf. CSTC-Magazine, été 1996 [49]) et d'évaluer les contraintes de traction qui en résulteront. Ces contraintes peuvent être supérieures à celles provoquées par la charge exercée sur le sol.

Des mesures s'imposent en vue de prévenir l'évaporation rapide de l'eau de gâchage. Cependant, étant donné les particularités de l'exécution des sols industriels, des mesures de protection ne peuvent être prises qu'après finition de la surface du sol, qui n'est elle-même réalisée qu'à la fin de la prise du béton, c.-à-d. après un délai plus ou moins long selon les conditions climatiques, la classe de ciment, etc. Pendant ce délai, l'évaporation rapide de l'eau de gâchage (sous l'action du vent et/ou de l'ensoleillement) peut provoquer une fissuration du béton encore dans sa phase plastique.

Lors de la finition de surface, ces fissures se referment généralement sur une certaine épaisseur de la dalle. Les fissures partiellement refermées sont des zones de prédilection favorisant une nouvelle fissuration par retrait de séchage.

La perte d'eau du béton pendant le durcissement – période au cours de laquelle se développe la résistance mécanique – conduit à une diminution 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) augmentera le risque de fissuration. Ce retrait différentiel donne naissance à des contraintes dans le béton pouvant provoquer un faïençage en surface et un cintrage à la périphérie de la dalle.

Une dessiccation rapide détermine souvent de grandes fissures à larges mailles (30 cm et plus), contrairement à un durcissement dans des conditions humides, donnant plutôt lieu à un réseau peu dérangeant de microfissures à mailles serrées.

Tant les barres d'armature – dimensionnées et placées correctement – que les fibres métalliques ont la propriété de répartir la fissuration et donc de réduire l'ouverture des fissures.



Fig. 21
Fissure apparue à proximité d'un joint de retrait scié, suite au cintrage de la dalle en périphérie.

On peut restreindre le phénomène de retrait de différentes façons :

- ◆ en utilisant un béton contenant une quantité de ciment aussi réduite que possible et un faible rapport eau/ciment, tout en respectant les critères du § 6.2.1 (p. 33)
- ◆ en veillant à la stabilité du mélange (granulométrie continue, pas de ségrégation, ressuage réduit). Cette mesure permet de réduire le retrait différentiel entre le cœur et la surface du béton, et donc de limiter le risque de cintrage (*curling*) de la dalle.

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)
- ◆ en renonçant à la mise en œuvre de l'ouvrage lorsque la température ambiante dépasse les 30 °C.

Il est pratiquement impossible de réduire l'évaporation de l'eau de gâchage au cours de la période comprise entre la mise en place du béton et la finition de surface. C'est pourquoi il est vivement conseillé de réaliser les dalles dans des locaux fermés, à l'abri de l'ensoleillement et du vent.

7.1.2 MOUVEMENTS D'ORIGINE THERMIQUE

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

Les risques d'allongement ou de rétrécissement notables de la dalle ne doivent être envisagés que dans des situations particulières, comme dans les chambres frigorifiques ou au voisinage de sources de chaleur intermittentes (fours, etc.).

Le béton à base de granulats calcaires possède un coefficient de dilatation plus réduit qu'un béton confectionné avec d'autres granulats. Hormis cette mesure, on dispose de peu de moyens technologiques permettant d'agir sur la dilatation.

Si les variations de température ne dépassent pas les 15 °K, l'effet de la dilatation est inférieur à celui du retrait. Il convient donc de limiter les fluc-

tuations de température dans les locaux en prenant éventuellement des mesures d'isolation adaptées.

7.1.3 DÉFORMATIONS DU SOL

Il est évident que les tassements et les déformations du sol sont susceptibles d'engendrer une fissuration. Des données à ce sujet sont reprises au § 3.1.2 (p. 14).

7.1.4 CONSÉQUENCES ET REMÈDES POSSIBLES

Nous avons vu, dans les paragraphes qui précèdent, que le retrait et les mouvements thermiques pouvaient occasionner la fissuration et le cintrage de la dalle. Les mesures proposées permettent de limiter les phénomènes, mais non de les éviter.

L'évaporation de l'eau du béton jeune peut être réduite par l'application d'un traitement de cure adéquat (voir § 7.2, p. 44), alors que la neutralisation des effets du retrait et des mouvements thermiques exige la présence de joints (voir § 7.3, p. 44).

Un réseau de microfissures se présentant sous forme de faïençage n'a aucune incidence sur le plan structural. C'est l'ouverture des fissures et non leur présence qui est déterminante selon l'utilisation du sol.

Pour limiter l'ouverture des fissures, on dispose des possibilités suivantes :

- ◆ cas des sols monolithiques : permettre une libre déformation, ce qui exige l'exécution de joints. La présence d'armatures ou de fibres de renforcement permet un espacement plus grand des joints, mais y induit des mouvements plus importants. De plus, le frottement entre la dalle et sa fondation doit être aussi faible que possible, ce qui suppose un support plan et l'emploi de feuilles de glissement
- ◆ cas des sols rapportés : limiter autant que possible les déformations sur l'ensemble de la surface grâce à un ancrage efficace du sol industriel au support. Cette méthode s'applique aux sols rapportés adhérents.

Dans les deux cas précités, des mesures peuvent être prises afin de répartir uniformément les fissures à la surface de la dalle; ceci conduit à la mise en œuvre d'une dalle armée soit au moyen d'un grand nombre de barres minces incorporées à une profondeur de 30 à 50 mm de la surface, soit avec des fibres d'acier.



Fig. 22 Cure à l'aide de bâches.

7.2 CURE DU BÉTON

Pour que le béton atteigne la qualité escomptée, en particulier dans la zone superficielle, une protection efficace contre la dessiccation prématurée (due par exemple aux courants d'air, au rayonnement solaire, à une température ambiante élevée, etc.) est d'une importance primordiale.

La cure est appliquée aussi rapidement que possible après la finition de surface. Le principe consiste à isoler le béton des facteurs atmosphériques en appliquant l'une des techniques suivantes :

- ◆ pulvérisation de produits de cure à la surface du sol. Le produit doit former un film continu d'une épaisseur suffisante pour limiter l'évaporation de l'eau de gâchage
- ◆ pose de bâches en général directement sur le béton en évitant les plis, ceux-ci étant susceptibles de favoriser des nuances de teintes suite à des exsudations de chaux. Les bâches sont lestées de façon à éviter le soulèvement par le vent, posées avec un recouvrement suffisant et de manière à éviter par ailleurs toute circulation d'air sous les bâches
- ◆ recouvrement du sol d'une couche de sable humide d'une épaisseur minimum de 25 mm
- ◆ mise sous eau de la surface; cette mesure est réservée aux sols horizontaux en dehors des périodes de gel. La surface doit être maintenue sous eau dans son ensemble et en permanence pendant le délai prescrit. La projection d'eau ne peut endommager la surface du béton. Cette technique de cure conduit généralement à une structure de béton plus fermée.

Le tableau 21 indique la durée minimale de cure des bétons frais des classes d'exposition 2 et 5a, conformément aux prescriptions de la norme NBN B 15-001. Ces valeurs peuvent s'appliquer aussi à la classe d'exposition 1. Si le sol est susceptible d'être exposé à un environnement plus sévère (classes d'exposition 3, 4, 5b et 5c), les durées mention-

nées dans le tableau sont à augmenter considérablement (de 3 à 5 jours). Si une résistance à l'usure élevée est exigée (classes de sollicitation Ib et IIb, voir § 3.3.2, p. 16), les durées de cure reprises au tableau doivent être doublées.

En période hivernale, des précautions de protection contre le gel peuvent s'avérer nécessaires.

7.3 JOINTS

7.3.1 TYPES DE JOINTS, DÉFINITIONS

7.3.1.1 DÉFINITIONS

D'une manière générale, on distingue trois catégories de joints :

- ◆ les joints de structure
- ◆ les joints de fractionnement
- ◆ les joints de reprise.

Les joints de structure découpent verticalement un ouvrage de construction en plusieurs parties indépendantes les unes des autres; ils sont destinés à reprendre :

- ◆ les tassements différentiels de l'infrastructure ou du sol
- ◆ les mouvements thermiques des éléments de construction.

Compte tenu de leur fonction spécifique, les premiers sont appelés 'joints de tassement' (de la structure) et les seconds 'joints de dilatation'.

Les joints de fractionnement servent à désolidariser le sol des ouvrages adjacents et à subdiviser les grandes surfaces en panneaux de plus petites dimensions. Leur appellation peut être précisée selon leur fonction ou leur emplacement; ainsi, on parlera par exemple :

Tableau 17

Durée minimum de cure (jours) du béton frais pour les classes d'exposition 2 et 5a.

CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT	DÉVELOPPEMENT DE LA RÉSISTANCE DU BÉTON								
	I RAPIDE			II MOYEN			III LENT		
	TEMPÉRATURE MINIMALE DU BÉTON (°C)								
	5°	10°	15°	5°	10°	15°	5°	10°	15°
Pas d'exposition directe au soleil et humidité relative > 80 %	2	2	1	3	3	2	3	3	2
Ensoleillement modéré et vent moyen, humidité relative > 50 %	4	3	2	6	4	3	8	5	4
Ensoleillement important et vent fort, humidité relative < 50 %	5	4	3	8	6	5	10	8	5
Colonne I : – facteur E/C = < 0,5 – classe de résistance du ciment = 42,5 Colonne II : – facteur E/C = 0,5 à 0,6 – classe de résistance du ciment = 42,5 Colonne III : – facteur E/C = > 0,6 – classe de résistance du ciment = 32,5 - 42,5									

- ◆ de joints de retrait, de désolidarisation, etc., lorsqu'on évoquera leur fonction
- ◆ de joints périphériques ou de pourtour, si l'on fait référence à leur emplacement.

Les joints de reprise découlent des contraintes d'exécution. Il est vivement conseillé d'organiser l'exécution de la dalle de façon à prévoir les joints de reprise à l'endroit prévu pour les joints de fractionnement et de structure.

7.3.1.2 JOINTS À PRÉVOIR

Les sols monolithiques sur terre-plein peuvent être réalisés :

- ◆ soit à panneaux de dimensions réduites : la surface des panneaux est généralement limitée à 50 m² maximum, l'intervalle entre les joints ne dépassant pas 50 fois l'épaisseur de la dalle. Le panneautage de la surface est réalisé en sciant des joints. L'exécution de joints de structure ne se fait qu'à titre exceptionnel
- ◆ soit à grands panneaux : les dimensions des panneaux peuvent atteindre 30 m x 30 m ou davantage si une étude détaillée des déformations imposées (par exemple par les mouvements thermiques et le retrait) le justifie (voir Eurocode 2 [33]) ou lorsque le donneur d'ordre admet un plus grand risque de fissuration erratique. Ce type de sol exige le recours au béton renforcé de fibres métalliques ou au béton armé.

Quelle que soit la solution retenue, des joints de désolidarisation sont toujours à prévoir au contact des éléments de construction fixes (fondations du bâtiment et des machines, puits, caniveaux, etc.).

Les dalles autoportantes prenant appui sur une structure portante sont réalisées en béton armé ou précontraint. Ces ouvrages sont pourvus uniquement de joints de structure espacés de 30 m ou plus selon les résultats de l'étude détaillée des déformations imposées.

Dans les sols rapportés adhérents, seuls les joints de structure présents dans le plancher portant sont répercutés dans le sol rapporté. Un joint périphérique est réalisé lorsqu'un mouvement relatif vis-à-vis d'une paroi adjacente est possible.

Les joints de structure et de retrait provoquent des discontinuités dans le sol. Une charge concentrée au voisinage d'un joint peut engendrer des tassements qui induisent des chocs lors du passage des roues d'un véhicule. Il s'ensuit des dégâts aux joints (surtout en cas de circulation intense) qui peuvent, à terme, se propager dans la dalle. Les joints constituent donc des points faibles, qui se révèlent parfois plus néfastes que des fissures, surtout en cas de trafic de véhicules à bandages durs de petit diamètre.

7.3.2 JOINTS DANS LES SOLS MONOLITHIQUES À PANNEAUX DE DIMENSIONS RÉDUITES

Les sols monolithiques à panneaux de dimensions réduites (surface des panneaux jusqu'à 50 m², intervalle entre les joints jusqu'à 50 fois l'épaisseur de la dalle) sont réalisés exclusivement sur terre-plein ou comme dalle flottante.

7.3.2.1 SCHÉMA D'IMPLANTATION

L'implantation des joints dans un sol à panneaux de dimensions réduites en béton non armé ou en béton renforcé de fibres d'acier est fonction de la géométrie et des dimensions du sol. Si l'on prévoit des sollicitations sévères, il est souhaitable de disposer d'un plan d'installation des machines, rayonnages, couloirs de circulation, etc., afin d'établir un schéma d'implantation des joints aussi rationnel que possible (voir § 3.1.1.2.1, p. 9). Il est vivement conseillé de soumettre le schéma d'implantation des joints pour approbation au bureau d'études, avant la réalisation du sol.

Lors de l'élaboration du schéma d'implantation des joints, on veillera à :

- ◆ répartir les surfaces si possible en panneaux de forme carrée ou en panneaux dont le rapport longueur/largeur ne dépasse pas 1,5
- ◆ éviter les angles rentrants, par exemple au droit des colonnes
- ◆ éviter les joints à proximité des charges concentrées (montants des rayonnages, par exemple), afin de prévenir les tassements différentiels. Si ces précautions ne peuvent être prises, il y a lieu de prévoir des profilés spéciaux pour joints ou des goujons dans les joints de structure et des armatures dans les joints de retrait. L'emploi de profilés spéciaux ou de goujons est d'ailleurs recommandé à partir d'une charge concentrée ≥ 60 kN à proximité des joints
- ◆ éviter les joints à l'endroit présumé de passages fréquents de véhicules, comme par exemple dans les couloirs de circulation entre des rayonnages. L'emploi de profilés spéciaux pour joints ou de goujons peut, ici aussi, s'avérer nécessaire
- ◆ éviter le décalage des joints (appareillage à joints continus).

7.3.2.2 EXÉCUTION

7.3.2.2.1 Joints de structure

Les joints de structure éventuels forment une coupure totale dans la dalle, de sorte que les portions du sol situées de part et d'autre du joint sont sus-

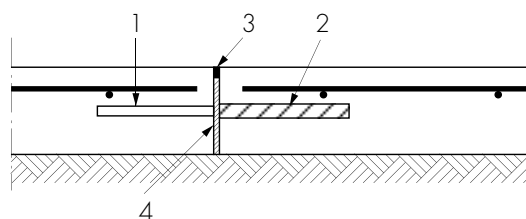


Fig. 23
Exemple de joint de structure. Goujon placé dans un joint de tassement.

1. Goujon ($\varnothing 20$ mm x 500 à 600 mm)
2. Gaine permettant le mouvement horizontal
3. Remplissage éventuel au moyen d'un mastic approprié
4. Plaque compressible (mousse synthétique par exemple)

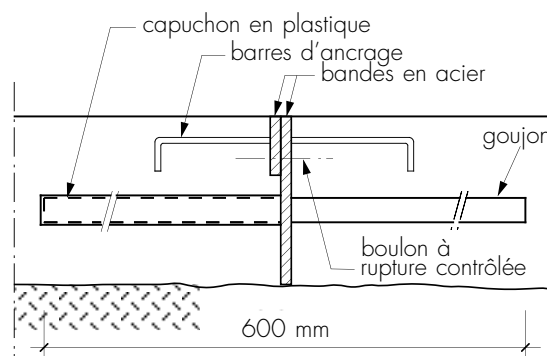


Fig. 24
Joint de structure. Profilé de joint en acier avec goujons ($\varnothing 20$ mm x 600 mm).

ceptibles de se déplacer de manière autonome l'une par rapport à l'autre. Dans les sols industriels sur terre-plein, ce type de joint est utilisé :

- ◆ si des joints de tassement doivent être exécutés
- ◆ lorsque le sol est destiné à recevoir une circulation lourde et intense (classe de sollicitation III, voir tableau 2, p. 14).

Si les mouvements verticaux respectifs de chacune des deux portions du sol doivent être évités, il est recommandé de placer des profilés en acier pour joints (p. ex. des cornières avec ou sans plaque de recouvrement de joint) ou des goujons dans les joints de structure (fig. 23). Dans les sols sur terre-plein, on peut éventuellement prévoir des plaques de répartition des pressions en dessous des joints. Avant bétonnage, les goujons sont maintenus en place au moyen de supports adéquats. Le type et les dimensions des profilés de joints sont choisis en fonction du trafic prévu.

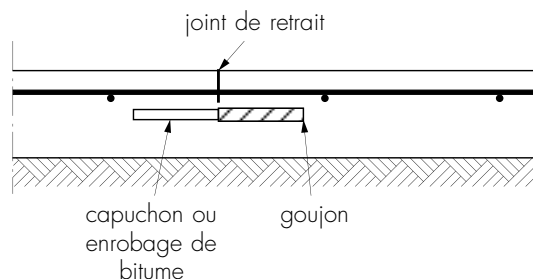
Compte tenu des exigences fixées, les joints de structure sont pourvus d'une barrière d'étanchéité et/ou d'une finition de surface au moyen d'un mastic approprié.

7.3.2.2.2 Joints de fractionnement - Joints de retrait dans les sols sur terre-plein et dans les dalles flottantes

Pour que le rétrécissement occasionné par le retrait des sols en béton puisse se produire sans trop de contraintes, on réalise, 1 à 2 jours après le bétonnage, un panneautage de la surface en sciant des joints de retrait sur 1/4 à 1/3 environ de l'épaisseur du

Fig. 25

Goujons (\varnothing 12 à 16 mm x 400 mm) incorporés à l'emplacement prévu pour un joint de retrait.



sol. L'armature supérieure éventuelle est également sciée. Les joints ont une largeur de 3 à 5 mm. Les entailles ainsi pratiquées constituent des zones localement plus faibles où peuvent se concentrer les fissures de retrait, ce qui permet de limiter une fissuration erratique. En cas de trafic intense, ces joints de retrait sont souvent plus sensibles aux dégradations que des fissures.

Dans des cas particuliers, tels que :

- ◆ les sols à planéité très stricte (classe de planéité I),
- ◆ des zones de sol à circulation très intense d'élévateurs,
- ◆ des sols sur terrains à résistance mécanique faible, il peut être nécessaire de limiter le mouvement vertical des joints de fractionnement fissurés. Dans ce cas, il est conseillé d'incorporer un treillis d'armature ou éventuellement des goujons dans les zones où l'on prévoit de pratiquer les joints de retrait (fig. 25).

7.3.2.2.3 Joints de désolidarisation

Les joints de désolidarisation sont des joints de structure spéciaux pratiqués le long des éléments fixes d'une construction (murs, colonnes, etc.), en vue de les protéger des efforts de compression dus aux sollicitations exercées sur le sol. Il est pratiquement impossible de munir ces joints de goujons. La largeur de ces joints est définie par le bureau d'études compte tenu des mouvements prévus.

Le joint est rempli d'un matériau compressible (mousse de polystyrène par exemple) et peut éventuellement être parachevé à l'aide d'un mastic approprié.

7.3.2.2.4 Joints de reprise

Les joints de reprise se forment au droit d'une interruption momentanée de l'exécution du sol en béton (en fin de journée, par exemple). A la reprise du travail, on applique le béton à l'endroit où l'exécution avait été interrompue et on procède au raccordement des deux parties du sol.

Sur un sol en béton non armé ou en béton renforcé de fibres d'acier, on place un treillis d'armature ou des goujons au droit du joint de reprise. Celui-ci est

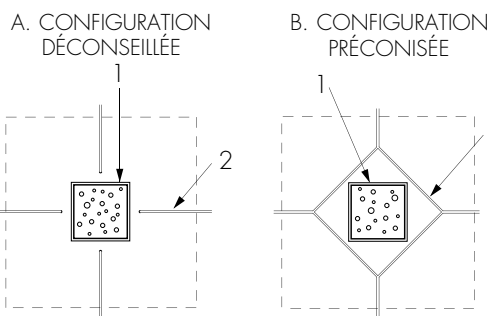


Fig. 26 Joints de retrait au voisinage des colonnes.

1. Joints de désolidarisation
2. Joints de fractionnement

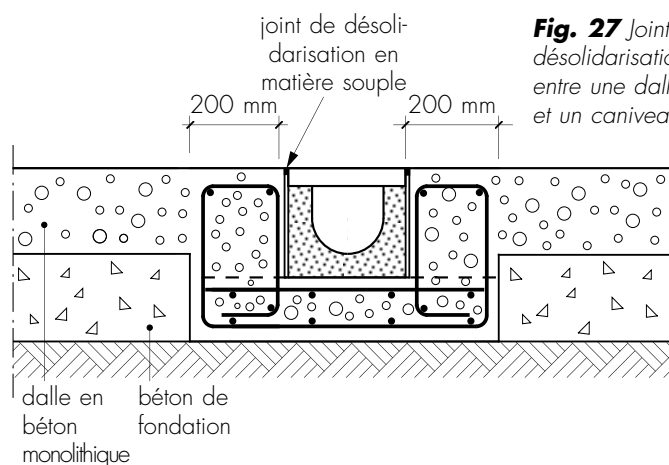


Fig. 27 Joint de désolidarisation entre une dalle et un caniveau.

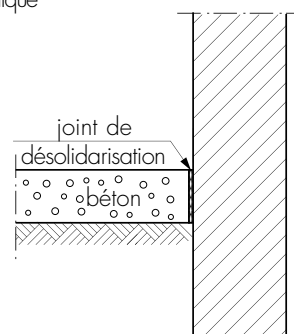


Fig. 28 Joint de désolidarisation pratiqué contre un mur.

parachevé de préférence comme un joint de retrait (cf. § 7.3.2.2.2). Il importe de bien raccorder les deux côtés du joint dans la hauteur, afin de limiter les chocs dus à la circulation.

7.3.3 JOINTS DANS LES SOLS MONOLITHIQUES À GRANDS PANNEAUX

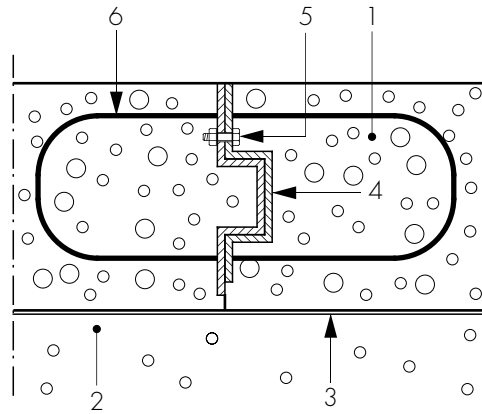
Dans les sols monolithiques à grands panneaux, seuls des joints de structure sont à prévoir. Lors de l'élaboration du schéma d'implantation des joints, on veillera à :

- ◆ répartir les surfaces si possible en panneaux de forme carrée ou en panneaux dont le rapport longueur/largeur ne dépasse pas 1,5
- ◆ éviter les angles rentrants et le décalage des joints.

Les joints de structure seront pourvus de doubles profilés spéciaux en acier à tenon et mortaise (fig. 29), assemblés au moyen de boulons à rupture contrôlée en matière plastique. L'emploi de goujons n'est ad-

Fig. 29 Double profilé en acier à tenon et mortaise.

1. Sol monolithique
2. Fondation
3. Feuille de glissement
4. Profilé en acier
5. Boulon à rupture contrôlée en matière plastique
6. Etrier d'ancrage



mis en aucun cas. Les profilés sont ajustés en hauteur avant la mise en place du béton.

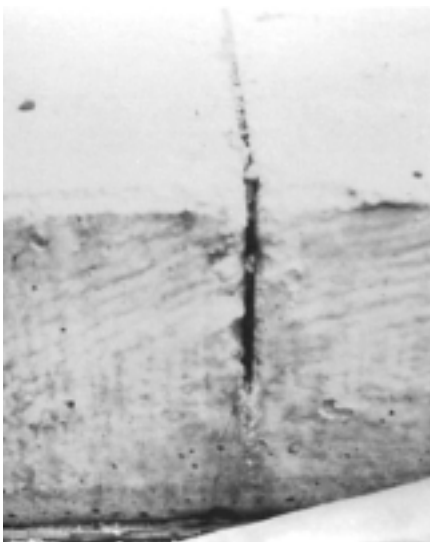
7.3.4 JOINTS DANS LES SOLS RAPPORTÉS

7.3.4.1 TYPES DE JOINTS À PRÉVOIR

Les sols rapportés étant obligatoirement adhérents à leur support, ceux-ci ne peuvent se déformer indépendamment de ce dernier. Dans ce contexte, la création de joints de fractionnement et de retrait s'avère moins justifiée. Toutefois, des variations brusques d'épaisseur et des joints de reprise peuvent être le siège d'un retrait différentiel et donc constituer des amorces de décollement. Dans la mesure où de telles situations ne peuvent être évitées, on créera à ces endroits des joints de retrait au droit desquels on assurera la continuité du sol en incorporant une armature.

Des joints de fractionnement peuvent également être créés pour des raisons d'esthétique ou encore dans l'espoir d'y localiser le retrait hydraulique qui évolue toujours sensiblement plus rapidement dans la partie supérieure du revêtement; dans ce cas cependant, il faut s'attendre à ce que le sol rende un son creux lorsqu'on le sonne au voisinage du joint.

Fig. 30 La fissure sous le joint de retrait scié témoigne de la mobilité du joint.



7.3.4.2 EXÉCUTION DES JOINTS

La réalisation des joints de retrait dans les sols rapportés s'effectue au moyen d'un outil spécial, avant la prise de la couche d'usure et concerne uniquement l'épaisseur de cette dernière. Ces joints ne sont pas sciés.

7.3.5 DÉGRADATIONS AU VOISINAGE DES JOINTS

Ces désordres sont fréquents et peuvent être attribués à divers facteurs, à savoir :

- ◆ un serrage insuffisant du béton au droit des joints, en raison de la présence de profilés
- ◆ une dessiccation trop rapide du béton
- ◆ l'absence de renforcement (armatures ou goudjons) des joints sur les sols sollicités par un trafic intense et/ou lourd induisant des mouvements verticaux sur les arêtes des joints.

Dans les sols rapportés adhérents, les contraintes dues au retrait se transforment en efforts de cisaillement dans le plan d'adhérence entre le sol et son support. Si l'adhérence est insuffisante, les efforts de cisaillement peuvent occasionner un décollement. Les bords désolidarisés sont susceptibles de se cintrer et de se rompre en cas de charge exercée à ces endroits. Une bonne adhérence est une nécessité absolue, surtout lorsque le passage des roues provoque des sollicitations importantes.

Fig. 31 Fissuration du joint de retrait scié jusqu'à la paroi.





8 RÉCEPTION, ENTRETIEN

8.1 CONTRÔLES ET ESSAIS

8.1.1 PRESCRIPTIONS DU CAHIER DES CHARGES

Les essais à réaliser, le nombre de prélèvements et d'essais par unité de surface du sol ou par m³ de béton à mettre en œuvre, le moment des prélèvements, la personne responsable du prélèvement des éprouvettes, de leur préparation et de leur transport vers le laboratoire chargé des essais, ainsi que la personne qui en assumera les frais seront spécifiés dans le cahier des charges et feront l'objet d'un poste du métré. Le moment de la réception sera également précisé dans le cahier des charges ou fixé de commun accord lors de la commande.

Sauf stipulations contraires, les essais et les contrôles seront effectués conformément aux méthodes décrites au chapitre 3 (p. 8).

La confection et la conservation des éprouvettes, le carottage éventuel du béton durci et la réalisation des essais (résistance à la compression, consistance, etc.) s'opèrent selon les dispositions des normes de la série NBN B 15 [31].

Le contrôle de la qualité du béton certifié (BENOR) livré sur chantier n'est pas exigé. Si l'entrepreneur fait procéder, sous sa responsabilité, à des ajouts au béton, ce dernier perd sa certification BENOR. Dans ce cas, on confectionnera des cubes d'essai sur chantier ou on procédera au forage d'éprouvettes dans le béton durci.

8.1.2 ETAT DES LIEUX

L'entrepreneur du sol industriel peut demander au donneur d'ordre de procéder à l'état des lieux de ses travaux. Le cas échéant, cette procédure a lieu avant l'admission d'autres intervenants sur le sol et au plus tard 3 semaines après l'achèvement du sol industriel.

8.1.3 RÉCEPTION DE L'OUVRAGE

Lors de la réception, on vérifie si le sol industriel répond aux exigences spécifiées dans les documents contractuels et ce, compte tenu des modifications éventuelles convenues de commun accord entre parties et confirmées par écrit.

8.2 MISE EN SERVICE DU SOL

Il y a lieu de distinguer :

- ◆ le moment de la mise à la disposition du sol à d'autres entreprises pour les besoins de leurs travaux
- ◆ la mise en service industriel, c.-à-d. pour les activités pour lesquelles le bâtiment est conçu.

Le sol est souvent un des derniers éléments réalisés dans le bâtiment, de sorte que le maître d'ouvrage souhaite procéder au plus vite à l'aménagement des lieux.

Aussi bien la mise à la disposition du sol à d'autres intervenants que la mise en service ne peuvent se faire que lorsque le béton a atteint une résistance mécanique suffisante à définir par l'auteur de projet en accord avec l'entrepreneur du sol.

La circulation piétonnière sans charges peut être envisagée 3 jours après le bétonnage.

8.3 NETTOYAGE

Les sols industriels à base de ciment doivent être nettoyés régulièrement à sec ou à l'eau. Le nettoyage des sols rapportés adhérents à l'eau très chaude ou à la vapeur peut occasionner des décollements par la dilatation de la couche de finition.

ANNEXE 1

AIDE-MÉMOIRE POUR LE CHOIX D'UN SOL INDUSTRIEL À BASE DE CIMENT

Le principe de sélection d'un sol peut se résumer comme suit :

- ◆ le maître d'ouvrage formule une série de desiderata et/ou d'exigences et/ou de performances
- ◆ l'architecte et/ou le bureau d'étude en première instance, puis l'entrepreneur général en concertation avec le sous-traitant chargé de l'exécution du sol définissent les techniques de mise en œuvre qui correspondent le mieux aux exigences formulées.

Il est donc indispensable de spécifier clairement et correctement les exigences; de même, il est nécessaire de vérifier si la solution préconisée est bien une solution valable (compte tenu, par exemple, des sollicitations mécaniques, chimiques, etc.).

L'utilisation du sol entraîne des exigences mécaniques, chimiques et physiques ainsi que des exigences relatives à la finition, auxquelles il convient de satisfaire.

Les exigences concernant la composition du sol sont liées notamment à l'état de la structure porteuse (degré d'humidité, état de surface, propreté, présence de joints, ...) et/ou aux caractéristiques du terrain.

1. INFORMATIONS PERSONNELLES

1.1 Nom, adresse, numéro de téléphone et/ou numéro de fax du donneur d'ordre :

– maître d'ouvrage (*) :

.....

.....

– entrepreneur général (*) :

.....

.....

1.2 Nom, adresse, numéro de téléphone et/ou numéro de fax de l'auteur de projet, de l'architecte (*) et/ou du bureau d'étude (*) :

.....

.....

2. LIEU ET DESTINATION

2.1 Adresse et lieu d'exécution des travaux :

.....

.....

2.2 Destination précise et complète des locaux dans lesquels le sol industriel est à réaliser :

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. TYPE DE SOL INDUSTRIEL ET SURFACE À RÉALISER

Le sol industriel est en béton monolithique sur terre-plein (*), sur une structure portante (*), sur une couche d'isolation (dalle flottante) (*). Le sol est un sol industriel rapporté (*).

Le sol est à réaliser au niveau :

– sous-sol : m x m = m²

– rez-de-chaussée : m x m = m²

– n° étage : m x m = m²

(*) Biffer les mentions inutiles.

4. PÉRIODE D'EXÉCUTION

Approximativement de à
 Délai demandé :

5. CONDITIONS D'UTILISATION

5.1 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Le sol est destiné à être utilisé dans (*) :

- un entrepôt de marchandises en vrac
- un magasin
- une chambre frigorifique
- un hall de fabrication; préciser la nature de la production :
- une salle d'exposition, une grande surface
- une étable
- autre, à préciser :

Si la température d'utilisation des locaux dépasse la fourchette de + 10 °C à + 25 °C, mentionner sa valeur : °C.

5.2 CHARGES PRÉVUES (un schéma détaillé des charges est hautement souhaitable)

- charges statiques : kN/m² et surface de contact :
- charges mobiles :
 - . charge par essieu : kN
 - . charge par roue : kN
 - . charges ponctuelles : kN

- . géométrie des essieux et des roues :

- à défaut des données précitées, spécifier la classe de sollicitation (*) : I, II ou III (voir tableau 2, p. 14)
- types de roues ou de pneus (*) :
 - bandages pneumatiques
 - bandages pleins : caoutchouc, synthétique, métal
 - pneus à clous
 - dimensions des roues :
 - . diamètre : mm
 - . largeur : mm
- zone de circulation à hautes performances : oui/non (*). Si oui, indiquer sur plan en mentionnant les tolérances et les charges spécifiques.

6. EXIGENCES PERFORMAN- CIELLES IMPOSÉES AU SOL INDUSTRIEL

Le sol doit satisfaire à l'un ou plusieurs des critères repris dans le tableau 1.1. L'importance du critère est spécifiée dans la colonne 1; on écrit 0 pour importance secondaire, I pour important, II pour très important. Ces critères ont un caractère fréquent ou occasionnel. Dans la colonne 2, on indique 0 pour rare, I pour fréquent, II pour très fréquent. Dans la colonne 3, on spécifie s'ils s'appliquent à tout ou partie du sol et on écrit 100 % s'il s'agit de l'ensemble du sol et X % s'il s'agit d'une partie.

6.1 EXIGENCES ESSENTIELLES

Voir tableau 1.1.

Tableau 1.1
 Critères
 essentiels.

EXIGENCE	IMPORTANCE	FRÉQUENCE	% SURFACE CONCERNÉ
Déformations admissibles du sol autoportant sur structure portante (§ 3.1.2) : – si la dalle ne porte pas d'éléments de construction susceptibles de subir des dégradations : 1/250 – si la dalle supporte des éléments de construction susceptibles de subir des dégradations : 1/500 – autres exigences :			
Classe de sollicitation à l'usure (§ 3.3) : Ia Ib IIa IIb			
Etanchéité aux fuites et débordements accidentels de liquides (§ 3.5) : oui / non (*)			
Caractère antidérapant du sol (§ 3.7) : – micro-rugosité râpeuse – micro-rugosité fine			
Caractère anti-électricité statique : oui/non (*)			

(*) Biffer les mentions inutiles.

NATURE	CONCENTRATION	TEMPÉRATURE	DURÉE	FRÉQUENCE

Tableau 1.2
Agents
agressifs.

6.2 EXIGENCES SPÉCIFIQUES QUANT AUX AGENTS AGRESSIFS

- a. Le sol industriel sera soumis à l'action de produits chimiques : répartis de manière homogène (*) ou locale (*). Dans ce dernier cas, joindre un plan détaillé.

Les agents agressifs sont précisés dans le tableau 1.2.

Si deux ou plusieurs types de produits chimiques sont proposés simultanément, l'indiquer avec une accolade.

Préciser si la température du support sur lequel les produits chimiques seront susceptibles de s'écouler est anormale.

- b. Le sol industriel sera soumis en permanence (*) ou fréquemment (*) à des écoulements d'eau répartis de manière homogène (*) ou locale (*). Dans ce dernier cas, joindre un plan détaillé.

6.3 ASPECT ET TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES

- texture de surface :
- coloration requise : oui/non (*); si oui, laquelle : (référence)
- brillant ou mat (*)
- monochrome ou polychrome (*)
- pente prévue : oui/non (*); si oui, mm/m (à spécifier sur plan)
- fibres apparentes en surface : classe bonne/moyenne (*)
- tolérances :
 - classe de planéité : I, II, III, IV (*)
 - horizontalité, pente :

7. SOL INDUSTRIEL À RÉALISER

- à couvert ou à ciel ouvert (*)
- dans un bâtiment fermé ou ouvert (*)

- dans une ambiance hygrothermique normale : oui/non (*)
- spécifier les anomalies éventuelles :

7.1 DALLE SUR STRUCTURE PORTANTE

- âge de la structure porteuse au moment de l'exécution du sol :
- composition du sol (plusieurs couches) :
- présence d'une membrane d'étanchéité : oui/non (*)
- humidité du support :
- état de la structure porteuse (présence de produits chimiques, de déchets laissés par d'autres corps de métier, de graisses, etc.) (*)
- adhérence : N/mm²
- tolérance de planéité de la structure porteuse :
- structure porteuse comportant des agrégats dans la masse ou en surface :
 - pour l'étanchéité à l'eau (*)
 -
 - produits de cure (*)
 -
- degré de finition de la structure porteuse : égalisée, lissée, talochée, brute (*)
- distance entre les joints de structure : m
- situation de la structure portante à revêtir :
 - en cave (*)
 - au rez-de-chaussée (*)
 - à l'étage (*)

7.2 SUR TERRE-PLEIN

- nature du terrain :
- composition du sol (plusieurs couches) :
- tolérance de planéité de la fondation :


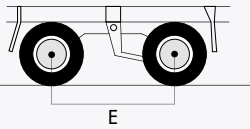
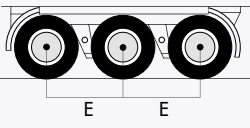

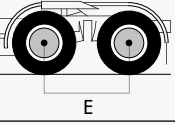
(*) Biffer les mentions inutiles.

ANNEXE 2

CHARGES PAR ESSIEU ADMISSIBLES POUR LES CAMIONS, GÉOMÉTRIE DES ESSIEUX ET DES ROUES

1. Charge maximale autorisée par essieu ou groupe d'essieux selon le règlement technique relatif aux véhicules (AR du 15.03.68 [5])

Tableau 2.1

ESSIEUX PORTEURS		ENTR'AXE (mm)	BELGIQUE		BENELUX		UE
			10 t		10 t		10 t
		$1000 \leq E < 1200$ $1200 \leq E < 1300$ $1300 \leq E < 1800$ $1800 \leq E$	⁽¹⁾ 16 t 17 t 18 t 20 t	⁽²⁾ 17 t 18 t 20 t 20 t	16 t 16 t 18 t 20 t		16 t 16 t 18 t 20 t
		$1000 \leq E < 1140$ $1140 \leq E < 1300$ $1300 \leq E < 1800$	20 t 21 t 24 t	22 t 24 t 27 t	⁽¹⁾ 21 t 21 t 24 t	⁽²⁾ 27 t	21 t 21 t 24 t
ESSIEUX MOTEURS			12 t		11,5 t		11,5 t
		$E < 1300$ $1300 \leq E < 1800$	19 t 20 t		16 t 18 t		16 t 18 t ⁽¹⁾ ; 19 t ⁽²⁾
⁽¹⁾ Avec suspension mécanique. ⁽²⁾ Avec suspension pneumatique.			E = distance entre les roues d'un groupe d'essieux				

2. Charges courantes par essieu, géométrie des essieux et des roues selon l'Eurocode 1

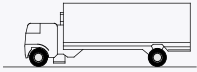
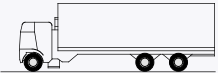
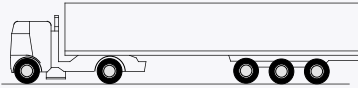
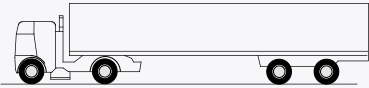
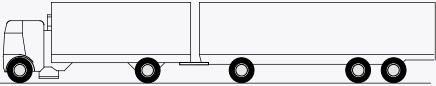
SCHÉMA DE PRINCIPE	ENTR'AXE (m)	CHARGES COURANTES D'ESSIEUX (kN)	TYPE DE ROUES (voir tableau 2.3)
	4,5	90 190	A B
	4,20 1,30	80 140 140	A B B
	3,20 5,20 1,30 1,30	90 180 120 120 120	A B C C C
	3,40 6,00 1,80	90 190 140 140	A B B B
	4,80 3,60 4,40 1,30	90 180 120 110 110	A B C C C

Tableau 2.2

Types de
camions
courants.

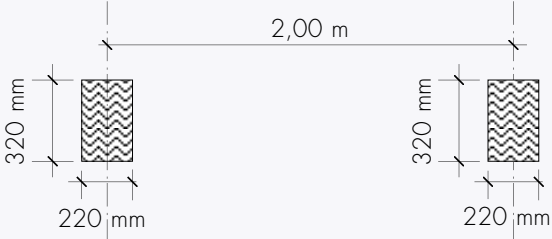
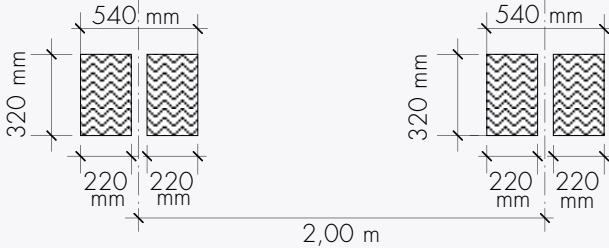
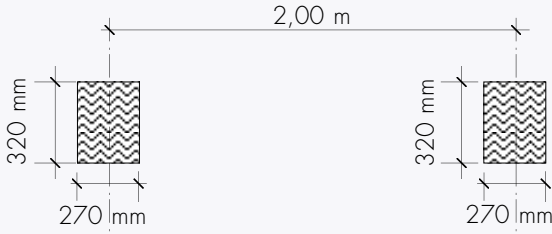
ROUE/ESSIEU	DEFINITION GÉOMÉTRIQUE
A	
B	
C	

Tableau 2.3

Définition des
roues et des
essieux.

ANNEXE 3

CARACTÉRISTIQUES D'UN BÉTON SPÉCIFIÉ D'APRÈS LA CLASSE DE RÉSISTANCE C, SELON LA NORME NBN B 15-002

CLASSE DE RÉSISTANCE C	C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60
f_{ck} (N /mm ²)	12	16	20	25	30	35	40	45	50
f_{ctm} (N /mm ²)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1
$f_{ctk 0,05}$ (N /mm ²)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9
$f_{ctk 0,95}$ (N /mm ²)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3
E_{cm} (kN /mm ²)	26	27,5	29	30,5	32	33,5	35	36	37
f_{ck} : résistance caractéristique du béton à la compression, mesurée sur cylindres (valeur de X dans le tableau 18A, p. 34) f_{ctm} : résistance moyenne du béton à la traction f_{ctk} : résistance caractéristique du béton à la traction $f_{ctk 0,05}$: limite de 5 % de f_{ctk} $f_{ctk 0,95}$: limite de 95 % de f_{ctk} E_{cm} : module d'élasticité sécant									

NB : La résistance du béton en traction par flexion représente environ 20 % de sa résistance caractéristique à la compression.

LEXIQUE

B - C

Béton de structure *Constructiebeton*

Matériau résultant du durcissement d'un mélange de ciment, de granulats gros et fins et d'eau. Outre ces composants de base, le béton peut aussi renfermer des adjuvants et/ou des additifs. La granulométrie des gros granulats dépasse 4 mm; on utilise généralement à cet effet du gravier ou du concassé. Le sable sert quant à lui de granulat fin.

Cendre volante *Vliegias*

Fraction légère et pulvérulente des composants minéraux anorganiques, qui, après combustion du charbon, est emportée par les gaz de fumée. Pour éviter les émanations des centrales thermiques, le produit est recueilli dans des dépoussiéreurs (filtres). Les cendres volantes se composent surtout de particules sphériques de structure principalement vitreuse. Elles présentent deux propriétés intéressantes :

- un pouvoir plastifiant, rendant le béton et le mortier plus ouvrables. En outre, une quantité moindre d'eau est nécessaire pour obtenir une ouvrabilité identique
- une action pouzzolanique; en présence d'eau, elles se combinent à la chaux qui se libère au cours du processus d'hydratation du ciment portland.

Cintrage *Schoteling, curling*

Soulèvement des bords des dalles de béton suite au retrait différentiel.

Couche de saupoudrage *Strooilaag*

Couche d'un sol industriel monolithique en béton ou d'un sol rapporté résultant de l'incorporation par polissage d'un produit de saupoudrage sec dans la surface du béton non encore durcie.

Couche d'usure *Slijtlaag*

Couche superficielle sur laquelle s'opère directement la circulation.

Cure *Nabehandeling*

Traitement destiné à empêcher l'évaporation trop rapide de l'eau contenue dans le mélange de béton frais et le béton jeune. Il consiste à isoler le béton des influences atmosphériques.

D

Durcissement *Verharding*

Phénomène faisant suite à la prise au cours duquel le mélange ciment-eau se transforme en pierre de ciment. Il amorce le développement de toutes les propriétés attendues du produit final, soit le mortier ou le béton.

Durée de cure *Nabehandelingstijd*

Durée pendant laquelle le traitement de cure doit être maintenu.

F

Faïençage *Craquelé*

Réseau de microfissures superficielles disposées en mailles plus ou moins fermées.

Farine *Filler*

Voir *Filler*.

Filler *Filler*

Poudre dont les grains ont un diamètre inférieur à 80 microns et obtenue par broyage fin ou concassage de la pierre calcaire, du grès ou du porphyre. Les fillers sont inertes lorsqu'ils ne réagissent pas avec le ciment en présence d'eau. Ils sont actifs lorsqu'en présence de ciment et d'eau, ils possèdent, même partiellement, des propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques. Tout comme les cendres volantes, les fillers interviennent dans la composition du ciment ou sont additionnés au béton.

P

Prise *Binding*

Réaction chimique du ciment avec l'eau au cours de laquelle la pâte de ciment commence par perdre sa plasticité et son ouvrabilité.

Produit de saupoudrage *Strooimateriaal*

Mélange d'agréats résistant à l'usure, de ciment et éventuellement d'agents colorants, utilisé pour réaliser une couche de saupoudrage.

Produit pour topping *Toppingmateriaal*

Mélange d'agréats résistant à l'usure, de ciment, d'eau et éventuellement d'agents colorants et d'adjuvants, appliqué sur le béton après sa prise mais avant son durcissement.

Protection *Bescherming*

Ensemble de précautions destinées à prévenir la dégradation du béton frais et du béton jeune par exemple par la circulation, le lessivage par la pluie, les basses températures ou le gel, etc.

R

Ressuage *Uitzweten, bleeding*

Migration vers la surface de l'eau de gâchage du béton frais. La ségrégation se manifeste souvent par un ressuage superficiel de l'eau.

Retrait de séchage *Uitdrogingskrimp*

Retrait dû à l'évaporation, pendant le durcissement, de l'eau non utilisée pour l'hydratation.

Retrait hydraulique *Hydraulische krimp*

Voir *Retrait de séchage*.

Retrait plastique *Plastische krimp*

Retrait du béton qui se trouve encore en phase plastique, c.-à-d. le stade qui précède la prise, provoqué par le retrait de la pâte de ciment. Plus le processus est rapide, plus des fissures se forment. Le climat (effet de dessiccation) influence dans une large mesure la vitesse du retrait. Une protection filmogène efficace peut considérablement limiter le retrait plastique. En cas d'ouvrages de grande superficie principalement (par exemple, les dalles), une dessiccation importante peut engendrer une fissuration prononcée, due à la faible résistance du béton encore en phase plastique.

S

Ségrégation *Ontmenging, segregatie*

Migration vers le fond du béton encore en phase plastique des granulats les plus denses sous l'ac-

tion de la gravité, provoquée par la diminution des forces de frottement et de cohésion maintenant les granulats en place, diminution elle-même due, par exemple, à un excès d'eau ou à l'utilisation de plastifiants. L'eau de gâchage et les granulats plus légers remontent quant à eux vers la surface. Les vibrations intenses peuvent accélérer ce phénomène.

Sol industriel *Bedrijfsvloer*

Sol destiné à résister directement à certaines actions spécifiques exercées dans des ateliers, des locaux de production industrielle et de stockage, etc. Il a avant tout un caractère fonctionnel, alors que son aspect est généralement secondaire.

Sol industriel à base de ciment *Cementgebonden bedrijfsvloer*

Sol industriel réalisé :

- au moyen de béton coulé sur place puis fini, qui ne nécessite, après durcissement, plus aucune finition supplémentaire ou
- à l'aide de composants en béton préfabriqués, tels que des dalles, des blocs de pavage ou des panneaux.

Sol industriel monolithique *Monolietbedrijfsvloer, monolitisch afgewerkt bedrijfsvloer*

Sol en béton qui, après coulage et serrage, subit un traitement de surface et sur lequel la circulation est possible directement après le durcissement.

Sol industriel rapporté *Industriële dekvloer*

Chape adhérente mise en œuvre sur un support et subissant un traitement de surface immédiatement après coulage et serrage. La circulation y est possible immédiatement après durcissement.

T

Tuilage *Schoteling, curling*

Voir *Cintrage*.

BIBLIOGRAPHIE

1. Aberdeen Group
Concrete floors : design and construction. Addison, Illinois USA, Aberdeen Group, août 1989.
2. American Concrete Institute
ACI 302. 1 R-89 Guide for concrete floor and slab construction. Detroit, ACI, 1990.
3. American Concrete Institute
ACI 305R-91 Hot weather concreting. Detroit, ACI, 1992.
4. American Society for Testing and Materials
ASTM C 309-95 Standard specification for liquid membrane-forming compounds for curing concrete. West Conshohocken, ASTM, Annual Book of ASTM Standards (section 4 construction, vol. 04.02 Concrete and Aggregates), 1996.
5. ...
Arrêté royal du 15 mars 1968 portant règlement général sur les conditions techniques auxquelles doivent répondre les véhicules automobiles et leurs remorques. Bruxelles, Moniteur belge, 28 mars 1968.
6. Association française de normalisation
NF P 18-371 Adjuvants - Produits de cure pour bétons et mortiers - Détermination du coefficient de protection. Paris, AFNOR, octobre 1995.
7. Asztély Jan
Flooring Manual 1. Floor Design. Stockholm, ABS Byggsystem AB, février 1994.
8. Barnbrook G.
Concrete ground floor construction for the man on site. Part 2 : For the floorlayer. Wexham Springs (Slough), Cement and Concrete Association, Publication 48.036, 1974.
9. Centre d'information de l'industrie cimentière
Les mortiers pour chapes. Paris, Cimbéton, Fiches techniques, M 3 Mortiers.
10. Centre scientifique et technique de la construction
Choix d'une chape. Bruxelles, CSTC, Digest n° 2, 1994.
11. Centre scientifique et technique de la construction
Les chapes. 2^e partie : Mise en œuvre. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 193, septembre 1994.
12. Centre scientifique et technique de la construction
Les chapes pour couvre-sols. Matériaux - Performances - Réception. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 189, septembre 1993.
13. Centre scientifique et technique de la construction
Les revêtements durs sur sols chauffés. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 179, mars 1990.
14. Centre scientifique et technique de la construction
Sols industriels à base de résine. Code de bonne pratique. Bruxelles, CSTC, Note d'information technique, n° 139, décembre 1981.
15. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
Ontwerpen, berekenen en detailleren van bedrijfsvloeren van constructief beton. Gouda, Stichting CUR, Aanbeveling 36, février 1994.
16. Civieltechnisch Centrum Uitvoering Research en Regelgeving
Nabehandeling en bescherming van beton. Gouda, CUR-Aanbeveling 31, Redactionele bijlage bij Cement, n° 2, 1993.
17. Deacon R.C.
Concrete ground floors, their design, construction and finish. Wexham Springs (Slough), Cement and Concrete Association, Publication 48.034, 3^e édition, 1986.
18. Deutsches Institut für Normung
DIN 51953 Prüfung von organischen Bodenbelägen; Prüfung der Ableitfähigkeit für elektrostatische Ladungen für Bodenbeläge in explosionsgefährdeten Räumen. Berlin, DIN, août 1975.
19. Fédération de l'industrie cimentière
Sols industriels. Bruxelles, FIC, 1972.

20. Fédération de l'industrie cimentière
Sols industriels à base de ciment (1). Généralités, conception. Bruxelles, FIC, Bulletin du ciment, n° 23, novembre 1985.
21. Fédération de l'industrie cimentière
Sols industriels à base de ciment (2). Exécution. Bruxelles, FIC, Bulletin du ciment, n° 24, décembre 1985.
22. Hendrickx L.
Conception et exécution de revêtements industriels extérieurs en béton : revêtements monolithes, dalles préfabriquées, et revêtements en pavés de béton. Bruxelles, Fédération de l'industrie cimentière, 1990.
23. Institut belge de normalisation
ENV 1993-1 (Eurocode 3) Calcul des structures en acier - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments (avec erratum). Bruxelles, IBN, 1992.
24. Institut belge de normalisation
ENV 1994-1 (Eurocode 4) Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Bruxelles, IBN, 1992.
25. Institut belge de normalisation
Eurocode 1, 3^e partie : Charges de trafic sur les ouvrages d'art. Bruxelles, IBN, Document d'application national, 1995.
26. Institut belge de normalisation
NBN B 03-001 Principes généraux de détermination de la sécurité et de l'aptitude au service des structures. Bruxelles, IBN, 2^e édition, 1988.
27. Institut belge de normalisation
NBN B 03-103 Actions sur les constructions - Actions directes - Charges d'exploitation des bâtiments. Bruxelles, IBN, 1976.
28. Institut belge de normalisation
NBN B 11-101 Pierres concassées et graviers - Calibres. Bruxelles, IBN, 2^e édition, 1975.
29. Institut belge de normalisation
NBN B 11-207 Pierres concassées - Prescriptions de forme. Bruxelles, IBN, 1982.
30. Institut belge de normalisation
NBN B 14-210 Essais des mortiers - Adhérence par arrachement. Bruxelles, IBN, 1969.
31. Institut belge de normalisation
NBN B 15 : série de normes sur les matériaux et éléments de construction - Béton. Bruxelles, IBN, dd.
32. Institut belge de normalisation
NBN B 15-001 Béton - Performances, production, mise en œuvre et critères de conformité. Bruxelles, IBN, 2^e édition, 1992.
33. Institut belge de normalisation
NBN B 15-002 (Eurocode 2) Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. Bruxelles, IBN, décembre 1995.
34. Institut belge de normalisation
NBN B 15-219 Essais des bétons - Produits de cure - Efficacité contre l'évaporation. Bruxelles, IBN, 1970.
35. Institut belge de normalisation
NBN B 15-223 Essais des bétons - Usure. Bruxelles, IBN, 1990.
36. Institut belge de normalisation
NBN B 15-238 Essais des bétons renforcés de fibres - Essai de flexion sur éprouvettes prismatiques. Bruxelles, IBN, 1992.
37. Institut belge de normalisation
NBN B 15-239 Caractérisation d'une fibre d'acier au départ de la résistance conventionnelle à la flexion. Bruxelles, IBN, 1992.
38. Institut belge de normalisation
NBN 1.50 Charpentes métalliques - Charpentes en alliages d'aluminium. Bruxelles, IBN, 1968.
39. Institut belge de normalisation
NBN B 51-002 Charpentes en acier - Calcul par la méthode des états-limites. Bruxelles, IBN, 1988.
40. Leewis M., Monster H. et Van Der Vlist A.
Bedrijfsverhardingen en bedrijfsvloeren van beton. 's Hertogenbosch, Vereniging Nederlandse Cementindustrie, 1991.
41. Lohmeyer G.
Betonböden in Industrie bau : Hallen- und Freiflächen. Bundesverband der Deutschen Zementindustrie, Beton-Verlag, 4^e édition, 1993.
42. Marx, Hans Günter
Verlegetechnik : mechanisch beanspruchte Bodenbeläge. Cologne, Fliesen und Platten, vol. 41, n° 4, avril 1991.

43. Ministère des Communications et de l'Infra-structure
STS 44 Chapes de nivellement et sols industriels. Bruxelles, MCI, Spécifications techniques unifiées, novembre 1975.
44. Nederlands Normalisatie-instituut
NEN 2741 Met cement gebonden dekvloeren - Kwaliteit en uitvoering. Delft, NNI, 1982.
45. Nederlands Normalisatie-instituut
Ontwerp NEN 2743 Oppervlak van monolitisch afgewerkte betonvloeren. Uitvoering en kwaliteitsbeoordeling. Delft, NNI, janvier 1994.
46. Organisation internationale de normalisation
ISO 1182 essais au feu - Matériaux de construction - Essai de non-combustibilité. Genève, ISO, 3^e édition, 1990.
47. Organisation internationale de normalisation
ISO 2394 Principes généraux de la fiabilité des constructions (1986). Addendum 1 (1988). Genève, ISO.
48. Organisation internationale de normalisation
ISO/DIS 10545-17 Ceramic tiles - Part 17 : Determination of coefficient of friction. Genève, ISO, 1997.
49. Pollet V. et Vyncke J.
Valeurs de retrait et de fluage du béton. Calcul selon la norme NBN B 15-002. Bruxelles, Centre scientifique et technique de la construction, CSTC-Magazine, n° 2, 1996.
50. Stichting Beton Prisma
Bedrijfsvloeren van beton. 's Hertogenbosch, Stichting Beton Prisma, Cement, Vol. 46, n° 2, février 1994.

éditeur responsable : Carlo De Pauw
CSTC, rue de la Violette 21-23
1000 BRUXELLES

imprimerie : Claes Printing SA
lay out : Meersman I.D.



B R U X E L L E S

Siège social



Rue de la Violette 21 - 23
B-1000 Bruxelles

direction générale



02/502 66 90



02/502 81 80

publications



02/511 33 14



02/511 09 00

Z A V E N T E M

Bureaux



Lozenberg I, 7
B-1932 Sint-Stevens-Woluwe
(Zaventem)



02/716 42 11



02/725 32 12

avis techniques - communication - qualité
informatique appliquée construction
techniques de planification
développement & innovation

L I M E L E T T E

Station expérimentale



Avenue Pierre Holoffe 21
B-1342 Limelette



02/655 77 11



02/653 07 29

recherche
laboratoires
formation
documentation
bibliothèque