

LES SOLS INDUSTRIELS

Les sols industriels, qu'ils soient extérieurs ou intérieurs, sont destinés à des circulations différentes des circulations routières classiques. Ils correspondent aux diverses catégories d'industries (lourde, légère ou alimentaire), mais aussi au commerce (halls d'exposition, entrepôts, parking) et au transport (hangars, quais de chargement, voies pour engins de maintenance).

A cette variété dans les domaines d'utilisation correspond une variété de sollicitations qui fait leur originalité. Ils doivent résister aux trafics lourds, aux charges ponctuelles fixes ou dynamiques, ainsi qu'aux agressions de produits chimiques.

Le grand développement que connaissent en France les sols industriels en béton coulé en place – environ 20 millions de m²/an – a permis la mise au point de solutions-types adaptées à chaque cas.



CONCEPTION

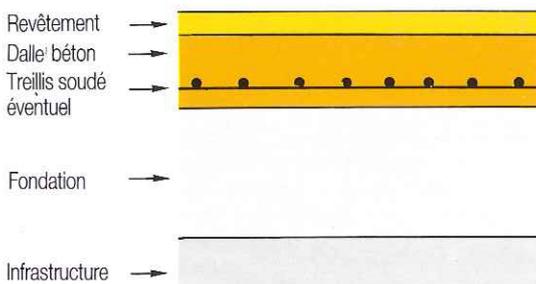
DÉFINITION D'UN SOL INDUSTRIEL

Un sol industriel est généralement composé d'une fondation, d'un corps de dallage et d'un revêtement.

La fondation est constituée d'une certaine épaisseur de matériaux, choisie et mise en œuvre de manière à obtenir une plate-forme homogène et stable apte à recevoir le corps de dallage.

Le corps de dallage a un rôle porteur. Il est donc destiné à recevoir les charges et à les transmettre. Il est constitué généralement d'une dalle en béton, armée ou non et reposant sur la fondation.

Le revêtement a un rôle protecteur. C'est la « peau » qui est directement en contact avec l'agressivité extérieure, qu'elle soit mécanique ou chimique. Il est donc destiné à donner au sol industriel les qualités de surface désirées.



Coupe transversale type d'un sol industriel

PRINCIPE

A partir des données de base relatives au sol en place, au trafic, aux charges et aux agressions, il sera possible de déterminer l'épaisseur de la dalle et les traitements à lui appliquer, contre l'usure et contre les poussières.

Le trafic

La diversité des engins utilisés et de leurs bandages, et la présence de charges fixes rendent impossible l'assimilation d'un trafic industriel à un trafic routier. Des études spécifiques sont donc nécessaires pour calculer avec exactitude le dimensionnement des dalles.

Le sol

Il faut distinguer deux cas :

Les sols intérieurs

A l'intérieur des bâtiments, les sols correspondent soit à des aires dégagées, soit à des espaces entre structures. Il est évident qu'il n'existe plus, dans ce cas, de sols en place au sens propre du terme : fondations et passage des réseaux ont déjà profondément modifié la nature du sol existant à l'origine.

Une grande attention doit donc être apportée à la qualité du remblayage. On recherchera des remblais très soignés, soit par des sables, soit, de préférence, par des graves-ciment ou par des bétons maigres, qui constituent un support convenable pour la dalle.



Les sols extérieurs

Les sols extérieurs – qui sont essentiellement des aires de stockage ou des voies de circulation – doivent obligatoirement tenir compte de la nature des sols en place : une étude préalable s'impose afin de déterminer le meilleur type de fondation nécessaire (voir rubriques « Infrastructure » et « Fondation »).

Dans tous les cas, pour les sols intérieurs ou extérieurs, avant la réalisation du corps du dallage, il est indispensable de vérifier que le module de réaction du sol (module de Westergaard) ou de la fondation éventuelle est au moins égal à la valeur qui a été prise en compte dans le calcul.

Si le module de Westergaard, mesuré à l'essai de plaque, est inférieur à la valeur considérée dans le calcul, il y a lieu alors :

- soit d'augmenter l'épaisseur du corps du dallage,
- soit d'améliorer les caractéristiques mécaniques du sol ou de la fondation éventuelle.

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DU TERRAIN

Elle comprend deux phases :

- l'**enquête préalable**, menée sur place et s'appuyant sur les données connues (précédents, archives géologiques), permet d'orienter la reconnaissance normale,
- la **reconnaissance normale**, par sondages, met en évidence la structure du site devant recevoir la fondation ; des essais fournissent les caractéristiques chiffrées.

L'étude préliminaire décèle en particulier la présence éventuelle d'une couche compressible risquant d'entraîner des tassements, ou celle de points durs rocheux dans des sols meubles.

L'INFRASTRUCTURE

Pour être sûr qu'une dalle sur le sol supportera effectivement la charge pour laquelle elle a été calculée, il est très important de concevoir et de construire l'infrastructure aussi soigneusement que la dalle elle-même.

Grâce à la rigidité des dalles en béton, des charges concentrées sont réparties sur de grandes surfaces, et les pressions exercées sur l'infrastructure sont très faibles. Une dalle sur le sol n'a donc pas obligatoirement besoin d'une infrastructure très forte. Cependant, il est important que la capacité portante de l'infrastructure soit assez uniforme, sans changement brusque de capacité portante, et que la partie supérieure de l'infrastructure soit d'un matériau et d'une densité homogènes.

L'infrastructure peut, selon le type de sols en place, être constitué soit :

- par le sol naturel préalablement décapé de la terre végétale, nivelé, compacté, éventuellement consolidé et assaini par drainage et couche anticontaminante, si nécessaire,
- par le sol naturel préalablement décapé de la terre végétale, stabilisé en place à la chaux et/ou au ciment.

LA FONDATION

Elle est constituée d'une certaine épaisseur de matériaux choisis et mis en œuvre pour obtenir une plateforme stable et saine sur laquelle est exécuté le corps du dallage.

La fondation repose sur le sol préalablement décapé de la terre végétale, nivelé, compacté et éventuellement consolidé et assaini par drainage et couche anticontaminante. Celle-ci a pour but d'éviter les remontées de fines. Elle peut être réalisée par une couche de matériau perméable compactée, d'épaisseur 15 cm environ, ou par la mise en place d'un géotextile.

Sur cette couche anticontaminante, est disposé le matériau d'apport constituant la fondation proprement dite. Celle-ci peut être réalisée à l'aide d'une grave non traitée, d'un sable, d'un sable-ciment ou d'une grave-ciment. Le traitement au ciment se fait à raison d'environ 6 à 8 % pour le sable-ciment et de 3 à 4 % pour la grave-ciment.

La mise en place de la fondation se fait par compactage en couches successives d'épaisseur 20 cm environ. Il n'est pas inutile de rappeler que le compactage doit être soigné car c'est cette opération qui confère à la fondation des performances mécaniques meilleures. Il faut, dans le cas des fondations traitées, protéger la surface avec un produit de cure.

LE CORPS DU DALLAGE

Il est constitué d'une dalle en béton armé ou non, reposant soit directement sur l'infrastructure, soit sur la fondation.

Qualité du béton

Le béton doit avoir une bonne résistance à la traction. Sa résistance caractéristique à 28 jours doit être supérieure ou égale à 2,2 MPa (BAEL 80). A cet effet, la qualité des agrégats, la granulométrie doivent permettre d'obtenir un béton compact. Le dosage du ciment ne peut, en aucun cas, être inférieur à 300 kg/m³. Des plastifiants et des entraîneurs d'air sont recommandés pour diminuer la fissuration et la perméabilité du béton. Par ailleurs, le béton doit présenter un affaissement au cône d'Abrams compris entre 5 et 7 cm, sauf s'il est fluïdifié ou pompé. La plupart des ciments sont utilisables en dallage industriel (CPA ou CPJ - classe 35 ou 45). Pour des sols très sollicités (agressivités chimiques, chocs, etc.), on peut être amené à adopter un CPA 55 ou des ciments de type CLK ou CHF ou du ciment alumineux fondu, qui apportent aux bétons des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des bétons classiques.

Armatures

Pour les dallages armés, la section des armatures devra être calculée conformément aux règles BAEL 80. Le ferrailage sera disposé à au moins 2 cm de la fibre tendue. Le diamètre des armatures doit vérifier : $\varnothing \leq \frac{h}{10}$ (h étant l'épaisseur du corps du dallage). Dans chaque sens, la section minimale des armatures tendues, exprimée en centimètres carrés, est au moins égale à 0,15 h au mètre linéaire de dalle. Cette section correspond à des aciers à haute adhérence de limite d'élasticité égale à 500 MPa.

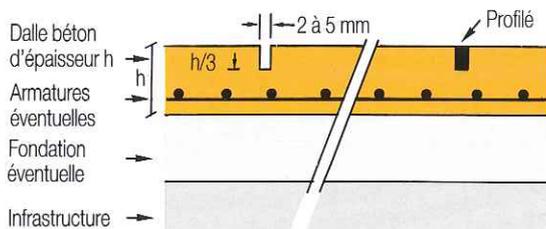
Joint

Un revêtement en béton, exécuté en continu, se fissure d'une façon anarchique sous l'action des contraintes provoquées par le retrait, les variations hygrométriques, le gradient de température, le trafic, etc. Les joints ont pour but de localiser cette fissuration, de manière précise et déterminée à l'avance. En fait, un dallage en béton se présente comme une succession de dalles séparées par des joints. La réalisation correcte des joints est donc une condition essentielle de la pérennité du dallage.

On peut classer les joints en plusieurs catégories : joints de retrait, joints de dilatation, joints de désolidarisation et joints de construction.

Joint de retrait

Ils délimitent des dalles d'environ 5 m x 5 m pour les dallages en plein air et 6 m x 6 m pour les dallages en zones couvertes. Ils sont moulés dans le béton frais par introduction d'un profilé, ou éventuellement sciés dans le béton durci. De la largeur la plus étroite possible (2 à 5 mm), ils découpent la dalle sur un tiers environ de son épaisseur.



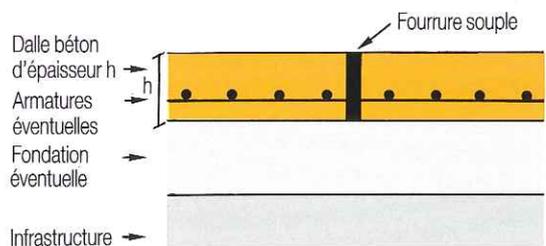
Exemples de joints de retrait : scié ou moulé

Joint de dilatation

Ils servent à compenser les variations dimensionnelles du dallage, dues essentiellement à l'élévation de température. Ces joints ont un rôle distinct de celui des joints de retrait et viennent en complément de ceux-ci.

Ces joints traversent toute l'épaisseur de la dalle et leur largeur est de 10 à 20 mm. A leur emplacement, les armatures éventuelles de la dalle béton sont coupées.

L'espacement entre deux joints de dilatation ne doit pas dépasser 25 mètres pour les dallages non couverts. Cette distance peut atteindre 40 mètres dans le cas d'un dallage en zone couverte.

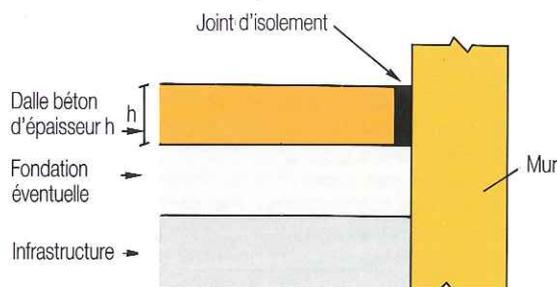


Exemple de joint de dilatation

Joint de désolidarisation ou d'isolement

Ils sont chargés de désolidariser la dalle de tous les éléments de construction fondés sur un sol autre que celui du dallage (poteaux, longrines, murs, assises de machines, etc.). Ils permettent, par conséquent, des mouvements horizontaux et verticaux du dallage par rapport à des éléments fixes contigus.

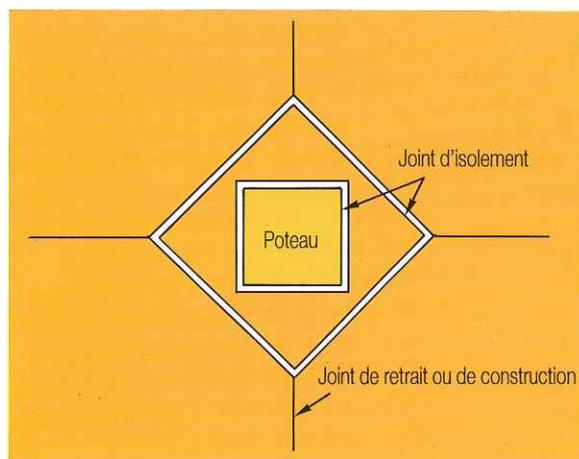
Leur largeur est de l'ordre de 10 à 20 mm. Ce type de joint doit être franc sur toute l'épaisseur du dallage et doit être essentiellement scellé.



Exemple de joint d'isolement entre un dallage et un mur

Exemple de joint d'isolement autour d'un poteau

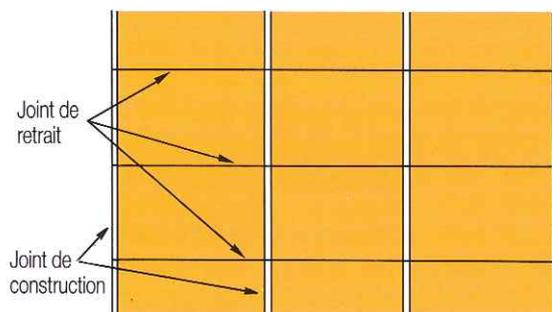
Le poteau est isolé par un joint en forme de losange exécuté autour de sa base et placé de biais, de façon à aligner ses points avec les joints de retrait ou de construction.



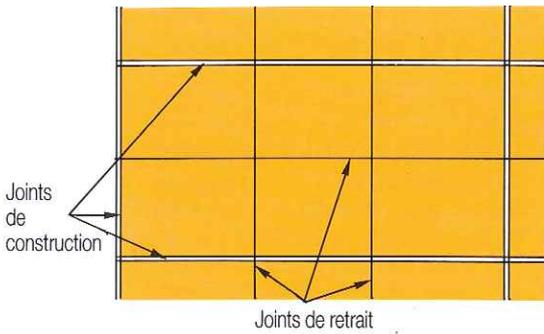
Joint de construction

Les joints de construction sont ceux qui délimitent l'ouvrage accompli chaque jour, ou ceux qu'on réalise quand les travaux de construction sont interrompus pour une durée supérieure à une demi-heure. Ils permettent la libre contraction de la dalle et correspondent aux coffrages dans lesquels sont coulées, par alternance, les différentes zones du dallage. Ils traversent la totalité de l'épaisseur de la dalle et comportent le plus souvent une clavette.

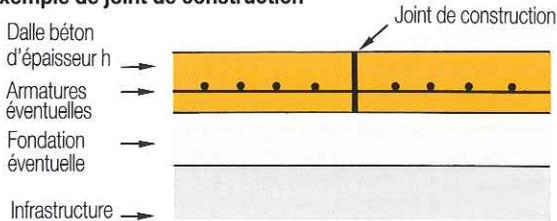
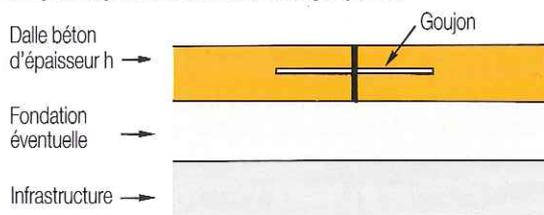
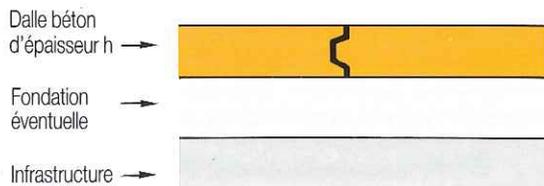
Il existe deux types de dispositions de joints suivant que le coulage du dallage se fait par bandes ou par panneaux.



Exemple de coulage par bandes



Exemple de coulage par panneaux

Exemple de joint de construction**Exemple de joint de construction goujonné****Exemple de joint de construction claveté****LE REVÊTEMENT**

Le revêtement a un rôle protecteur. C'est la « peau » qui est directement en contact avec l'agressivité extérieure, qu'elle soit mécanique ou chimique. Il est donc destiné à donner au sol industriel les qualités de surface désirées.

Le revêtement à réaliser dépend du type de finition demandé. Il existe deux grandes catégories de traitements de surface :

- les traitements de surface anti-usure,
- les traitements de surface anti-poussière.

Les traitements de surface anti-usure

La résistance à l'abrasion est l'une des conditions essentielles de la durabilité d'un sol industriel. Quelle que soit la solution adoptée, son efficacité est fonction de la qualité de la mise en œuvre.

Nous nous contenterons de citer ici les principales formules existantes.

Le saupoudrage de granulats durs

Cette technique est la plus fréquemment utilisée pour les surfaces importantes. Elle consiste à incorporer au béton frais, du corps de dallage, un mélange à sec de granulats durs, de ciment (identique à celui de la dalle) et éventuellement de colorants. L'intervalle de temps à respecter entre le coulage du béton et le saupoudrage dépend de la prise du béton et des conditions climatiques (une à plusieurs heures suivant la température et le vent).

Le dosage en granulats varie de 2 à 6 kg/m². Les proportions du ciment, en poids, sont de :

- 40 % pour les mélanges de granulats naturels durs courants (silex, quartz, granit, basaltes, porphyre),
- 50 % pour les mélanges de granulats métalliques ou d'abrasifs (carbure de silicium ou carborundum).

La pénétration des granulats dans le béton est assurée par un talochage répété suivi à la fin d'un lissage pour fermer parfaitement la surface.

La chape incorporée

D'une épaisseur de 5 à 10 mm, la chape constitue un revêtement parfaitement lié à la dalle, sans risque de décollement si la mise en œuvre a été faite dans des délais normaux.

Appliquée à la surface du béton frais, elle est formée d'un mortier de ciment et de granulats identiques à ceux que l'on utilise pour le saupoudrage, et dont le choix s'effectue suivant les mêmes critères. Le dosage en ciment doit être au moins égal à celui du béton de la dalle, avec un minimum de 350 kg/m³ de CPA 45.

Avant mise en place de la chape, il est préférable, si elle ne l'est pas naturellement, de rendre la dalle rugueuse par griffage. La chape sera ensuite réglée, talochée et éventuellement lissée.

La chape rapportée

La technique de la chape rapportée est une variante de la précédente et répond aux mêmes exigences, en particulier dans le choix des granulats.

Dans les ouvrages neufs, elle est utilisée pour des sols ou parties de sols qui doivent répondre à des caractéristiques géométriques très précises – la planéité en particulier.

Lorsque la chape est rapportée sur des sols endommagés que l'on souhaite remettre en état, il est indispensable de vérifier si les sols à recouvrir ne sont pas imprégnés de produits chimiques risquant, à terme, d'entraîner une désolidarisation de la chape et de son support.

Suivant les cas, son épaisseur sera de 1 à 3 cm, et elle sera réalisée en mortier avec adjuvants – ou de plus de 3 cm, et l'on utilisera du béton fin. Dans les deux cas, le dosage en ciment ne doit pas être inférieur à 350 kg/m³.

La dissociation relative entre la dalle et la chape oblige à prévoir dans celle-ci des joints de fractionnement, qui seront réalisés à sec aux reprises de coulage, ou par sciage, ou par incorporation d'un profilé.

Les traitements de surface anti-poussière

La dalle en béton – ou sa chape – peut être une source de poussières, même avec un trafic moyen. Une telle pollution est incompatible avec de nombreuses industries : électronique, mécanique de précision, pharmacie, alimentation. Il en va de même dans tous les cas où l'activité industrielle fait appel à des robots ou à des ordinateurs.

(suite au verso)



C'est la raison pour laquelle ont été mis au point différents types de traitements anti-poussière. Dans tous les cas, un nettoyage très soigné de la dalle doit être effectué, éventuellement accompagné d'un lavage à l'eau acidulée.

Ces traitements anti-poussière, qui ont pour but d'améliorer l'état de surface, ont pour conséquence évidente d'accroître également la résistance à l'usure.

Nous en donnons ici l'énumération. Il convient de se référer aux fournisseurs pour le choix du procédé approprié et pour ses conditions d'application.

La silication

Ce procédé consiste à traiter la surface sèche du béton avec une solution chaude de silicate de soude ou de potasse. Cette solution transforme la chaux provenant de l'hydratation du ciment en silicate de calcium, à la fois insoluble et d'une plus grande dureté. En bouchant en partie les pores du béton, ce traitement accroît aussi l'étanchéité aux liquides.

La fluatation

C'est un procédé voisin du précédent, dans son principe et dans ses effets, faisant appel à des fluosilicates de magnésium, sous forme de cristaux, de poudres ou de solutions aqueuses. Ils sont en principe appliqués sur des bétons secs de fabrication récente.

Les huiles et les résines

Les huiles spéciales résultent de la combinaison d'huiles végétales et de diluants. Ces produits, en général prêts à l'emploi, peuvent s'appliquer sur tout béton ancien ou récent, à condition qu'il ne soit pas susceptible de remontées d'humidité.

Il est également possible d'utiliser des résines fluides (métacrylate de méthyle), qui agissent par fixation de la chaux ou par bouclage des pores.

Les peintures

Les peintures assurent aux dalles une forte résistance à l'usure, aux chocs et à l'arrachement et peuvent également jouer un rôle décoratif.

Les peintures s'appliquent sur un support finement taloché, sans être lisse, et bien entendu, propre et sec. Dans le cas d'une chape neuve, il est nécessaire d'enlever la laitance.

Les peintures à base de résines synthétiques sont le plus souvent formées de deux composants – la résine et le durcisseur –, avec ou sans adjonction d'un solvant.

Les peintures à solvant présentent une plus faible viscosité et peuvent être appliquées en couches minces, généralement deux, rarement trois.

Les peintures sans solvant, d'une viscosité élevée, s'appliquent en couches plus épaisses, au nombre de deux. Un ajout éventuel de solvant à la première couche permet d'obtenir un meilleur accrochage. Un accroissement de la résistance à l'usure ou au dérapage peut être obtenu grâce à des charges dures de granulométrie adaptée, appliquées par saupoudrage ou incorporées à la peinture.

Précisons que les peintures nécessitent un entretien et sont d'un prix plus élevé que les traitements anti-usure.

Les dispersions époxydiques sont des émulsions aqueuses qui se présentent sous forme de deux composants à mélanger au moment de la mise en œuvre. Elles s'appliquent en deux couches.

Les revêtements autolissants

Ces revêtements sont obtenus par application d'un mortier très fluide, à base de résines et de granulats fins, sur une couche d'apprêt encore visqueuse. Un saupoudrage d'éléments durs peut apporter une meilleure résistance à l'abrasion.

DIMENSIONNEMENT

CALCUL DE L'ÉPAISSEUR

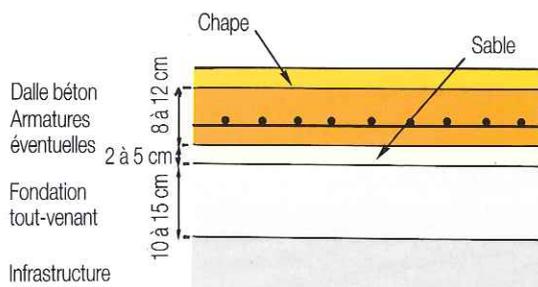
Lorsqu'on fait supporter une charge à un dallage, on provoque un fléchissement qui impose à la fois une compression et une flexion à la dalle en béton. L'effort de flexion est prépondérant, car à l'endroit où la charge est imposée, la contrainte de flexion est comparable à la contrainte de traction par flexion maximale du béton alors que la contrainte de compression demeure faible par rapport à la résistance à la compression admissible du béton. Par conséquent, on uti-

lise la contrainte en flexion et la résistance à la flexion du béton pour déterminer l'épaisseur du dallage.

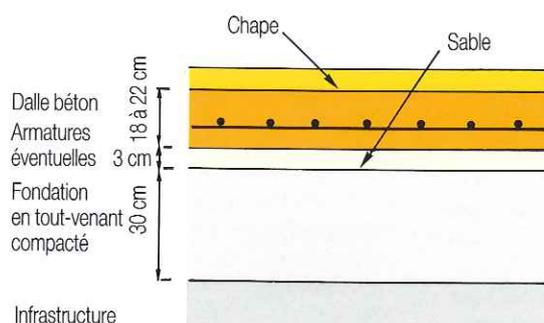
Les calculs pour déterminer l'épaisseur d'un dallage et la nécessité ou non de goudonner ou d'armer les dalles sont du ressort d'une étude longue et approfondie.

Nous nous contenterons de donner ici quelques exemples de solutions courantes, à titre indicatif.

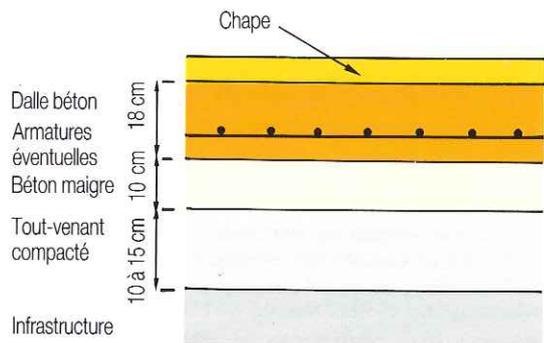
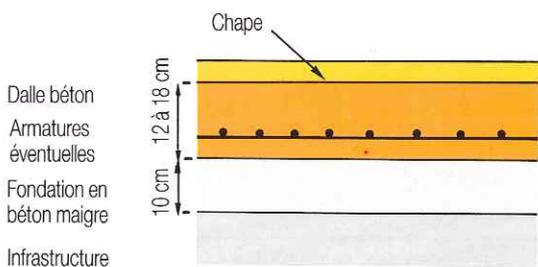
Dallages légers



Dallages supportant des charges élevées (> 1 t/m²)



Dallages supportant des charges moyennes (~1 t/m²)



BIBLIOGRAPHIE

Références

- ITBTP (Annales n° 424, mai 1984) : « Travaux de dallage - Règles professionnelles provisoires ».
- J.-W. Gery : « Méthode de calcul des dallages » (Eyrolles, 1983).
- CATED : « Sols industriels » (Documentation Française du Bâtiment / Le Moniteur, 1978).
- R. Bayon : « Les sols industriels » (Eyrolles, 1971) ; « Revêtements de sols » (Eyrolles, 1977).
- ADETS : « Les dallages ».

Publications

- C. Cordesse : « Les sols industriels à base de ciment » (Revue Technique du Bâtiment et des Constructions Industrielles, n° 39, novembre-décembre 1973).
- G. Gaillard : « Les sols industriels » (La Technique Moderne, n° 10, octobre 1973).
- M.-J. Mousty : « Les sols industriels » (Revue Technique du Bâtiment et des Constructions Industrielles, n° 40, janvier-février 1974).
- M. Venuat : « Sols industriels et semi-industriels » (Cahiers Techniques du Moniteur, n° 25, novembre 1979).



CENTRE D'INFORMATION DE L'INDUSTRIE CIMENTIÈRE
41, avenue de Friedland, 75008 PARIS - 43-59-08-93

Extrait de ROUTES 90
N° 36 - Décembre