CHAPITRE 6
LES DALLAGES

TABLE DES MATIÈRES

Pages

1. GÉNÉRALITÉS 318

1.1 CONSTITUTION D'UN DALLAGE 318
1.2 PRÉPARATION DU SUPPORT 319
1.3 DALLAGE 319
1.4 COUCHE D'USURE 324
1.5 REVÊTEMENT 324
1.6 CONCEPTION D'UN DALLAGE 325

2. EXÉCUTION D'UN DALLAGE 328

2.1 BÉTON 328
2.2 ETAT DE SURFACE 328
2.3 JOINTS 329
2.4 TOLÉRANCES D'EXECUTION 333
2.5 DÉSAFFLEUR 334

3. RÈGLES DE CALCUL 335

3.1 GÉNÉRALITES 335
3.2 TASSEMENTS 338
3.3 DÉFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES 342
3.4 CONTRAINTE EN PARTIE COURANTE 343
3.5 CHARGES CONCENTREES DANS UN ANGLE 348
3.6 CHARGES CONCENTREES EN BORDURE DE DALLE 351
3.7 EXEMPLE DE CALCUL 353

4. DALLAGES DES CHAMBRES FROIDES 361

5. RECOMMANDATIONS 363

5.1 CAUSES DES DÉSORDRES 363
5.2 CONSÉQUENCES DES DÉSORDRES 364

ANNEXE - GLOSSAIRE 365

PRÉAMBULE

Un dallage est un ouvrage plan en béton de grandes dimensions par rapport à son épaisseur, éventuellement découpé par des joints, qui repose uniformément sur son support, éventuellement par l'intermédiaire d'une interface.

Un dallage peut intégrer une couche d'usure ou recevoir un revêtement.

Un dallage peut être armé ou non armé.

Le béton constitutif peut être additionné, ou non, de fibres.

Pour les dallages non armés (Cf. 2.3,6), un treillis soudé général est mis en place afin d'assurer la conjugaison des panneaux adjacents.

Les règles de conception, de calcul et d'exécution des dallages sont fixées par la norme NF P 11-213 (NF DTU 13.3) et un amendement A1 de mai 2007[1]. Cette norme comporte quatre parties. Chacune d'elles vise un type de dallage en fonction de l'usage des locaux. La partie 1 couvre les dallages les plus sollicités, est la plus contraignante et la plus détaillée. Les deux suivantes proposent des simplifications et des allègements. La quatrième définit les clauses administratives spéciales aux marchés de travaux de dallages.

Les formules simplifiées mènent à de résultats majorants, nettement dans le sens de la sécurité. Si les majorants conduisent à des valeurs inadmissibles (par exemple, des tassements dépassant les limites requises), il est toujours loisible de revenir aux formules de la partie 1 pour faire un calcul plus précis, donnant éventuellement un résultat moins défavorable.

Afin d'éviter les redites dans le présent chapitre, le Tab. 6.1 ci-après fait une synthèse des conditions d'application de chacune des parties de la norme en fonction de l'usage des locaux.

---

[1] DTU 13.3 (NF P 11-213) : *Dallages - Conception, calcul et exécution*. AFNOR (mars 2005) + Amendements A1(mai 2007).
Partie 1 : *cahier des clauses techniques des dallages à usage industriel ou assimilés*) + Amendements A1(mai 2007).
Partie 2 : *cahier des clauses techniques des dallages à usage autre qu'industriel ou assimilés* + Amendements A1(mai 2007).
Partie 3 : *cahier des clauses techniques des dallages de maisons individuelles* + Amendements A1(mai 2007).
Partie 4 : *cahier des clauses spéciales.*

Le domaine d'application de la norme DTU 13.3, partie 1.

La partie 1 du DTU définit les règles de conception, de calcul et d'exécution des dallages à usage industriel et assimilés en béton à base de liants hydrauliques réalisés pour les ouvrages tels que :

- les locaux industriels comme les usines, ateliers, entrepôts, laboratoires, quelle que soit leur superficie ;
- les surfaces commerciales, halls et assimilés, les chambres froides dont la superficie excède 1 000 m².

Ne sont pas visés par la partie 1 :

- les dallages courants dont les charges d'exploitation peuvent être fixées de façon générale, au sens de la norme EC1-1-1[2] qui sont visés dans la partie 2 de la norme ;
- les dallages préfabriqués, précontraints de types routiers ou aéroportuaires, de patinoire ;
- le dallage non armé soumis à un ensemble de charges concentrées statiques ou mobiles créant, sur le polygone enveloppant les centres d'application de chaque charge, à une distance de 4 fois l'épaisseur du dallage, une charge moyenne supérieure à 80 kN/m²;
- les parties de dallages concernées par des équipements industriels générateurs de vibrations, de chocs, ou imposant des tolérances de service plus sévères que les tolérances d'exécution combinées avec les tassements prévisibles ;
- les dallages soumis à des charges mobiles sur des roues exerçant des pressions supérieures à 7,5 MPa, notamment dans le cas de roues à bandage métallique ;
- les dallages devant assurer une fonction d'étanchéité.

En général, les dallages relevant de la partie 1, sont bien totalement définis dans les Documents Particuliers du Marché (DPM).

Notations : Pour les propriétés des matériaux béton et acier, les notations sont celles de l'Eurocode 2.

[2] NF EN 1991-1-1 (Eurocode 1) : *Actions sur les structures*. Partie 1-1 – *Actions générales - Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation des bâtiments (désignée ci-après par* EC 1-1-1*).*

Tableau 6.1

USAGE DES LOCAUX	Parties à appliquer
Tout local à usage industriel, tel qu'usine, atelier, entrepôt, stockage, laboratoire quelle que soit sa surface et quelle que soient ses charges d'exploitation.	Partie 1
Local quelle que soit sa destination, s'il est soumis à une charge d'exploitation répartie supérieure à 10 kN/m^2 ou concentrée supérieure à 10 kN.	
Local commercial ou assimilé, tel que magasin, boutique, hall, réserve, chambre froide, dont la surface excède 1000 m^2 quelle que soit sa charge d'exploitation.	
Local commercial ou assimilé, tel que magasin, boutique, hall, réserve, chambre froide, dont la superficie n'excède pas 1000 m^2 et dont les charges d'exploitation n'excèdent 10 kN/m² réparties, ni 10 kN concentrées.	Partie 2
Local soumis à des charges d'exploitation inférieures ou égales à 10 kN/m² réparties et inférieures ou égales à 10 kN concentrées, et dont l'usage est le suivant : • habitation collective ou d'hébergement • administratif ou bureau • santé, hôpital, clinique ou dispensaire • scolaire ou universitaire • sportif, à l'exception des surfaces homologuées • spectacles, expositions ou lieux de culte • garages ou parcs de stationnement pour véhicules légers • agricole	Partie 2
Maisons individuelles	Partie 3

1. GÉNÉRALITÉS

1.1. CONSTITUTION D'UN DALLAGE

Dans un dallage, on rencontre de bas en haut (Fig. 6.1) :

1.1,1 - Un support, constitué par :

1/ le sol, naturel ou traité, et :

2/ éventuellement une forme réalisée par un traitement du sol en place, ou par une épaisseur de matériaux d'apport et/ou

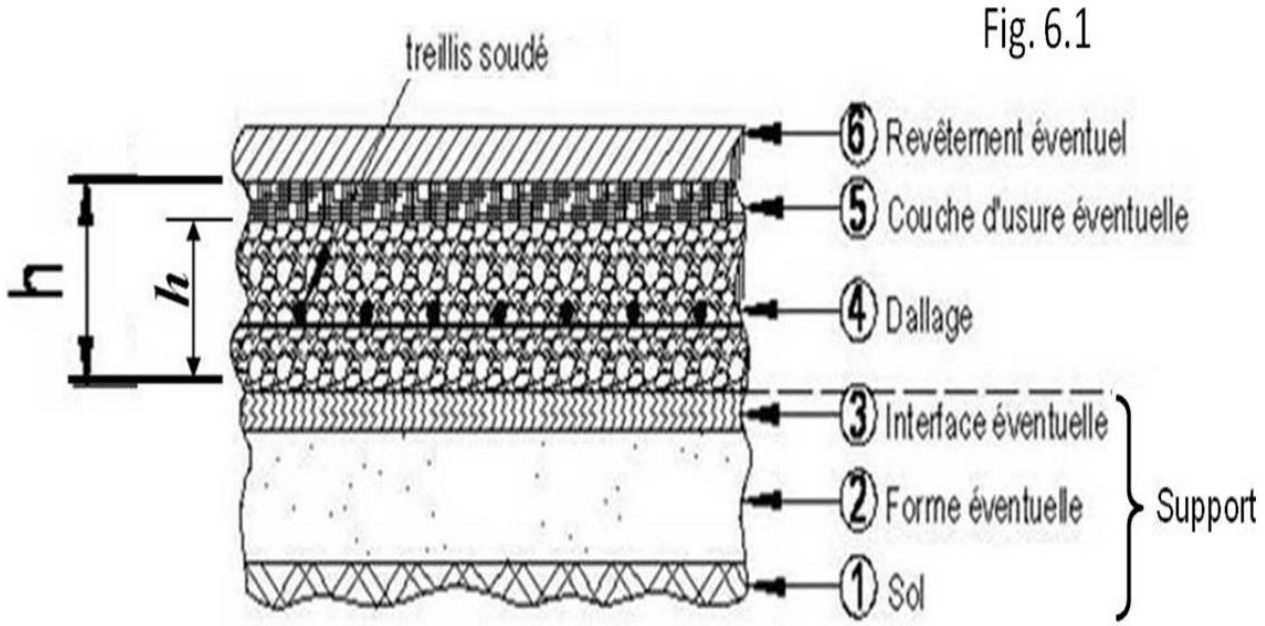
3/ également éventuellement une interface constituée par l'un au moins des composants suivants :

- **couche de fermeture**, en matériaux calibrés fins, destinée à combler les vides des parties sous-jacentes ;
- **couche de glissement** : un lit de sable sur 20 mm d'épaisseur environ ;
- **film** : polyéthylène (de 150 µm d'épaisseur minimale, recouvrements des lés ≥ 20 cm), géotextile ou géo synthétique (épaisseur au plus égale à 3 mm) ;
- **isolant thermique**, écran antipollution éventuel, etc.

4/ le dallage en béton armé ou non armé, coulé en place et reposant sur le sol ou sur la forme, par l'intermédiaire de l'interface éventuelle.

5/ une couche d'usure obtenue par renforcement superficiel du béton avant son durcissement.

6/ un revêtement éventuel, permettant de satisfaire aux spécifications concernant les tolérances géométriques d'emploi et de donner au dallage les qualités de surface désirées, tout en assurant une certaine résistance aux actions mécaniques (telles que celles dues aux engins de manutention, aux actions chimiques éventuelles, etc.).



1.2. PRÉPARATION DU SUPPORT

La préparation du sol requiert normalement quatre opérations essentielles :

- **le décapage**, opération consistant à éliminer les végétaux, la terre végétale, les matières organiques, les déchets et les gravois ;

- **le nivellement et le dressage** selon un plan sensiblement horizontal ;

- **le compactage** dont le but est d'augmenter la force portante du sol et de réduire le tassement sous charge.
  Préalablement, il peut être nécessaire d'incorporer au sol un matériau d'apport (grave-ciment, grave ou grave-laitier) pour améliorer sa compacité ;

- **le drainage**, opération d'assainissement indispensable pour les formes en matériaux tout-venant où les risques de remontées capillaires sont importants.

Ces opérations ne sont pas toutes indispensables dans tous les cas. Cela dépend de la nature et des caractéristiques mécaniques du sol.

Dans certains cas, le sol en place peut constituer une assise suffisamment stable pour recevoir directement le dallage. C'est notamment le cas des sols dont le module de réaction K_w , déterminé (Cf. 1.6,2 – 2a), est supérieur à 50 MPa/m (plaque de diamètre égal à 75 cm).

En revanche, certains sols sont tout à fait impropres à la réalisation d'un dallage, sauf traitement spécifique. Il s'agit des sols sensibles à l'eau, gonflants ou constitués par des matériaux de récupération et par la plupart des sous-produits industriels.

1.3. DALLAGE

1.3,1. Epaisseur nominale

L'épaisseur nominale du dallage est au moins égale à :

- 15 cm pour les dallages relevant de la partie 1.
- 13 cm pour les dallages relevant de la partie 2 (Cf. aussi 1.3,3).
- 12 cm pour les dallages relevant de la partie 3.

La valeur retenue doit être justifiée par le calcul.

1.3,2. Béton

Pour les dallages relevant des parties n°1 et 2, la résistance caractéristique en compression spécifiée du béton, doit être au moins égale à la classe C25.

Pour les dallages relevant de la partie 1, et pour ceux relevant de la partie 2 comportant une couche d'usure, le dosage minimal en ciment est fonction de la classe de résistance du ciment :

- 280 kg/m^3, pour la classe de ciment 52,5, avec un rapport E/C maximal de 0,60.
- 320 kg/m^3, pour la classe 42,5, avec un rapport E/C maximal de 0,54.
- 350 kg/m^3, pour la classe 32,5, avec un rapport E/C maximal de 0,50.

Pour les autres dallages relevant de la partie 2, le dosage minimal en liant équivalent est de 280 kg/m^3, avec un rapport E/C maximal de 0,60 quelle que soit la classe de résistance du ciment.

Pour les dallages des maisons individuelles (partie 3), la résistance caractéristique spécifiée du béton doit être au moins égale à 20 MPa. Le béton peut être un Béton à Composition Prescrite, dosé à 400 kg/m^3 de ciment[3].

1.3,3. Armatures

Un dallage peut être armé ou non armé.

1.3,3.1. Dallage armé (parties 1, 2 et 3).

C'est lorsque les conditions d'exploitation imposent :

- une limitation de l'ouverture des fissures,
- ou si l'espacement des joints est supérieur aux valeurs données en 2.3,6 ;
- ou encore lorsque la nature des actions, les caractères mécaniques du support ;
- ou le mode de construction ne permet pas de concevoir un dallage non armé.

Le dallage doit aussi être armé lorsqu'il est prévu un revêtement de sol adhérent au dallage, directement ou par l'intermédiaire d'un produit autonivelant. Cela l'est également lorsque que des tirants parasismiques lui sont incorporés.

Des canalisations, câbles caloporteurs ou non (par exemple : gaines électriques ou câbles chauffants) peuvent être incorporées dans un dallage armé. Ces éléments peuvent être incorporés sous réserve de satisfaire aux dispositions constructives ci-après :

- leur diamètre ne doit pas excéder 0,2H (H : épaisseur du dallage dans la zone considérée),
- leur enrobage en partie supérieure doit être au minimum de deux fois leur diamètre sans être inférieur à 50 mm.

[3] NF EN 206-1/CN : *Bétons* - Partie 1 : *spécification, performance, production et conformité.*

L'ensemble du panneau-dallage doit être armé. Les joints sciés (Fig. 6.9) ne sont pas nécessaires. Les enrobages doivent respecter les valeurs minimales fixées dans l'EC2-1-1, (Cf. chapitre 1, titre 2.3,1).

Le diamètre des fils de treillis soudés employés ne doit pas excéder *H*/15. Leur écartement («e» ou «E») ne doit pas excéder 2*H*.

Le recouvrement des panneaux de treillis soudés dans chaque direction, doit être réalisé en sorte que l'ancrage total de chacun d'eux soit assuré (Cf. chapitre 1, titre 2.3,3).

Pour faciliter la mise en œuvre et le positionnement de l'armature, il est recommandé d'employer des panneaux, de préférence à des rouleaux.

Les panneaux à utiliser sont ceux à mailles carrées :

PAF 10, ST 15 C, ST 25 C, ST 25 CS, ST 40 C, ST 50 C ou ST 65 C

Ou

ceux dans lesquels E = e/2, qui conduisent à un maillage carré en les superposant perpendiculairement (2 ST 20 ; 2 ST 25).

Les sections de treillis soudé à prévoir, sont déterminées par application des clauses de l'EC 2-1-1 et de la norme DTU 13.3. On peut avoir recours aux panneaux sur devis afin de rechercher une optimisation du coût des aciers.

PARTIE 1 : Dallages à usage industriel ou assimilés

Pour un dallage de 15 cm d'épaisseur (épaisseur minimale), un panneau ST 65 C ou (ST 25 C + ST 40 C) superposés parallèlement fournissent la section minimale requise et il est admis de disposer les panneaux à mi-épaisseur.

Pour des épaisseurs supérieures, il faut recourir à des panneaux sur devis pour réaliser dans chaque sens une section (en cm^2/m) au moins égale à 0,4*H* , *H* étant l'épaisseur du dallage (en cm).

Cette section est répartie en deux nappes maintenues en position par des cales et des distanciers (Fig.6.2).

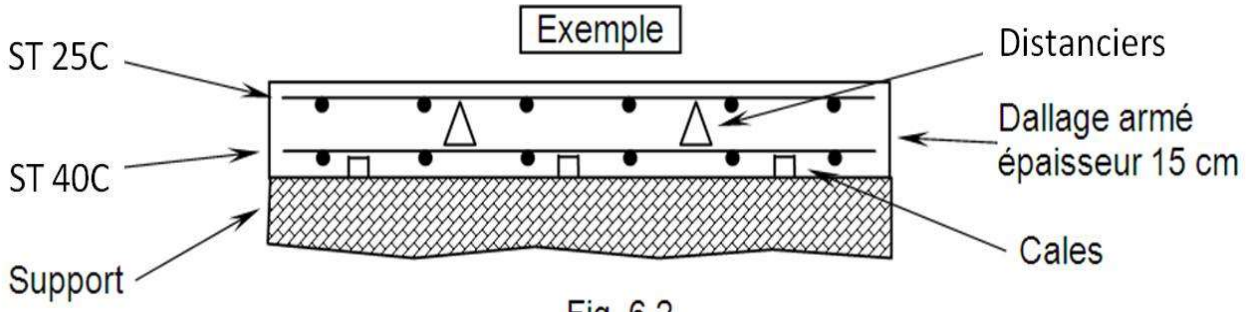


Fig. 6.2

PARTIE 2 : Dallages à usage autre qu'industriel ou assimilés

La section minimale dans chaque sens est de 5 cm^2/m : ST 50 C ou 2 ST 25 C (Fig. 6.3).

Cette section est ramenée à 3 cm^2/m (2 ST 20 superposés perpendiculairement ou un ST 40 C) lorsque les quatre conditions suivantes sont réunies :

- phasage délimitant des panneaux de superficie au plus égale à 50 m^2 ;
- coulage de deux panneaux adjacents à un mois d'intervalle ;
- épaisseur minimale du dallage : 15 cm ;
- plan de phasage et condition de mise en œuvre remis au maître d'œuvre.

Pour les dallages dont l'épaisseur *H* est inférieure ou au plus égale à 16 cm, il est admis de disposer une seule nappe à mi-épaisseur.

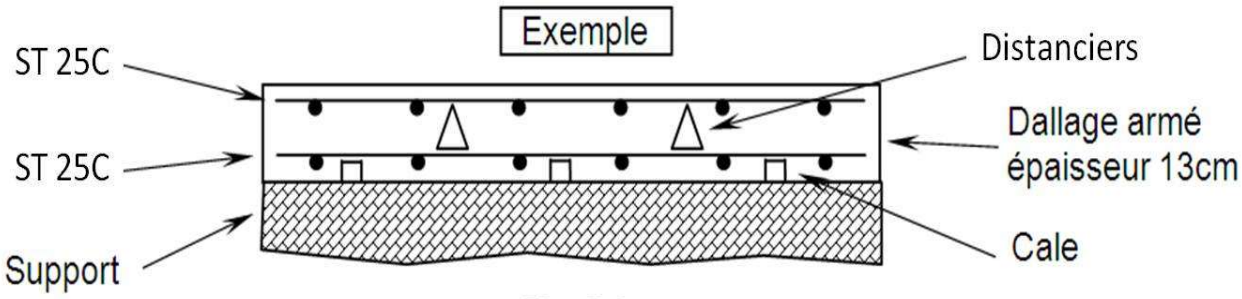
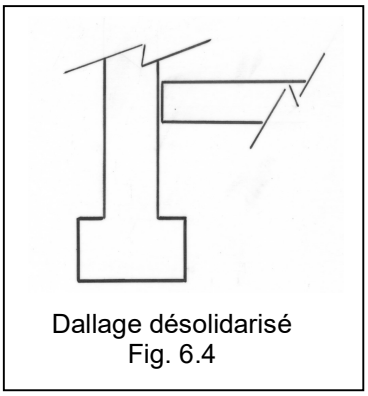


Fig. 6.3

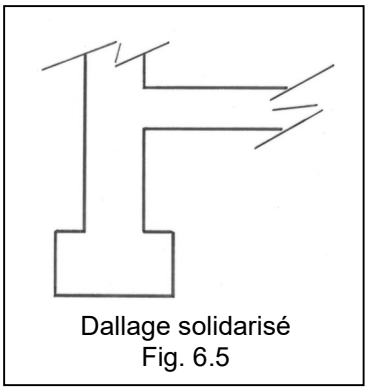
PARTIE 3 : Dallages de de maisons individuelles

En partie courante, le dallage comporte des armatures représentant 0,2 % de la section de béton dans chaque sens, soit un ST 25 C (ou un ST 25 CS) pour un dallage de 12 cm.

Il existe deux types de dallages :



Dallage désolidarisé
Fig. 6.4



Dallage solidarisé
Fig. 6.5

Les rives des dallages solidarisés doivent comporter des armatures de renfort en chapeaux de rive correspondant à une section minimale de 2,5 cm^2/m.

Les renforts de rive sont :

- soit des « U » de fermeture en acier de ϕ 8 HA tous les 200 mm et de 1,50 m de longueur développée (Fig. 6.6) ;

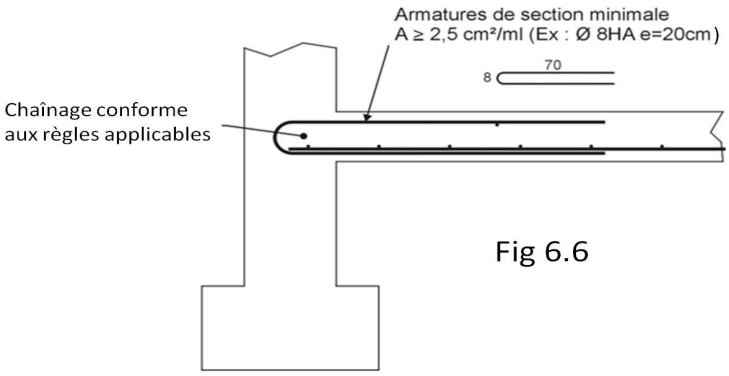


Fig 6.6

- soit des chapeaux en treillis soudé à maille carrée de ϕ 7/150x150 (Fig. 6.7).

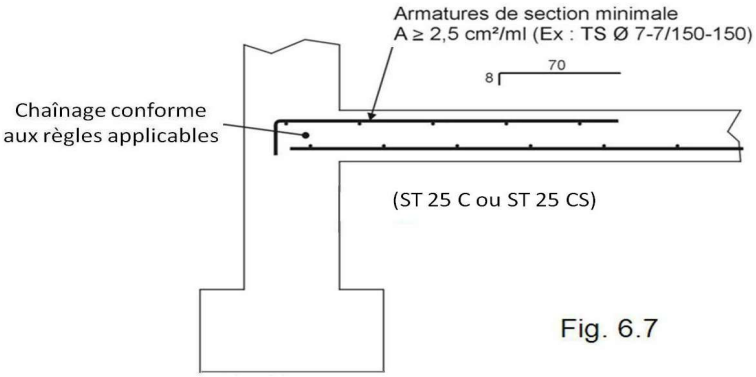


Fig. 6.7

L'ancrage des aciers de la nappe principale est alors assuré par une longueur au moins égale au tiers de leur longueur d'ancrage total ou par une soudure.

1.3,3.2. Dallage non armé (parties 1 et 2)

Dans les cas autres que ceux déjà énumérés ci-avant, un dallage peut être non armé, ce terme signifiant que les armatures qu'il peut contenir n'ont pas été prises en compte dans son dimensionnement.

Un treillis soudé général est cependant indispensable dans certains cas (Cf. 2.3,6).

A défaut de justification, les dallages non armés doivent être désolidarisés de tous les éléments de structure, tels que tirants, chaînages, poteaux, murs de refend et autres éléments de liaison susceptibles d'entraver les déformations de dilatation et de retrait.

Les dallages non armés peuvent être liaisonnés aux seuils et quais ou ouvrages similaires sous réserve d'être calculés en dalle de transition avec un pourcentage minimal d'armatures de 0,2% dans chaque direction en nappe inférieure, régnant sur la totalité du panneau concerné.

Un dallage en béton additionné de fibres est assimilé à un dallage non armé et peut comporter des armatures. Si les calculs de dimensionnement du dallage les prennent en compte, leur pourcentage minimal doit être celui fixé ci-dessus pour les dallages armés.

1.4. COUCHE D'USURE

Le choix de la couche d'usure[4] est primordial et ne doit en aucun cas être sous-estimé.

Il est basé sur une étude minutieuse des diverses contraintes liées au type d'utilisation du dallage. Son choix est conditionné par la nature des actions physiques, chimiques et thermiques que le dallage est appelé à supporter.

La couche d'usure doit être constituée de granulats de dureté au moins égale à celle des granulats du béton, incorporés à la surface du béton frais.

Les liants hydrauliques courants ne résistent ni aux chocs thermiques élevés ni aux attaques chimiques, notamment celles des acides et des sucres.

Les principaux granulats durs utilisés en saupoudrage manuel, mécanique ou en coulis sont des granulats :

- naturels : quartz, silex, basalte, porphyre ;
- métalliques : fer doux, fonte, grenaille d'acier ;
- abrasifs : corindon naturel ou synthétique, carbure de silicium, émeri.

A titre d'exemple, les couches d'usure de sols industriels le plus couramment utilisées sont réalisées par intégration, à la couche superficielle du béton du dallage ayant à peine commencé sa prise, d'un mélange de granulats durs et de ciment, soit par saupoudrage à sec de granulats durs, soit par étalement d'un coulis.

La quantité de mélange à mettre en œuvre est comprise entre 3 et 8 kg/m^2 dans le cas de saupoudrage à sec, et entre 10 et 60 kg/m^2 dans le cas de coulis.

Un dallage avec couche d'usure doit être exécuté à l'abri des intempéries.

1.5. REVÊTEMENT

Les revêtements scellés ou collés sur le béton durci, ne font pas partie du dallage et ne sont pas traités par la norme.

[4] Cahier n° 3232 du CSTB : *Revêtements de sols industriels – Classement performanciel* …

1.6. CONCEPTION D'UN DALLAGE

1.6,1. Généralités

Les données essentielles qu'il faut connaître pour la conception d'un dallage sont notamment :

- les caractéristiques mécaniques du béton (et, éventuellement, des fibres) ;
- les caractéristiques du support (modules de déformation E_s de l'interface, de la forme et des couches de sol) ;
- la définition des actions qu'il aura à supporter ;
- les tolérances d'exécution hors charges ;
- les déformations admissibles sous charges.

1.6,2. Données relatives au sol

Pour toute étude d'un dallage, il est indispensable d'effectuer une étude géotechnique comportant *une étude préliminaire de faisabilité* et une *étude de faisabilité et de projet*, afin de caractériser les différentes couches du sol. Pour ce faire, il est fait appel à un géotechnicien.

L'importance de la reconnaissance du sol doit être proportionnée au problème posé.

Pour les dallages relevant des parties n°1 et 2, la norme fournit en annexe :

- une classification des sols ;
- définit les caractéristiques minimales d'un support de dallage ;
- précise le contenu de la reconnaissance géotechnique ;
- et décrit les techniques d'amélioration des sols.

Pour les dallages relevant de la partie 3 (maisons individuelles), la norme indique que le constructeur :

- peut s'affranchir d'études techniques approfondies, à condition de prendre un certain nombre de précautions ;
- et détaille les principaux points qu'il convient d'examiner (contexte local, morphologie du terrain, régime des eaux, nature du sol, homogénéité du sol, végétation).

La reconnaissance géotechnique est cependant indispensable pour les maisons jumelées ou en bande ou pour des réalisations comportant plusieurs maisons.

Avant toute réalisation du dallage, il est indispensable de déterminer le module de réaction du support K_w (ou module de Westergaard, Cf. 2a ci-après).

Si la valeur de K_w est inférieure à la valeur minimale exigée par la norme (50 ou 30 MPa/m selon la partie concernée du DTU 13.3, Cf. 2a ci-après), il faut interposer entre le terrain en place et le dallage une forme d'au moins 20 cm d'épaisseur. Elle sera constituée de cailloux, graviers, sables, mélangés ou non, ou de matériaux tout-venant à granulométrie régulière, afin d'obtenir sous le dallage un support ayant un module de réaction supérieur à celui du terrain en place.

Ce sont alors les conditions économiques locales qui fixent la constitution de la forme. Les matériaux d'apport doivent être compactables et contrôlables.

1.6,2.1. Point de reconnaissance

Un point de reconnaissance est un emplacement où sont effectués un sondage et/ou des essais adaptés au sol.

Le choix et le nombre des points de reconnaissance, varient en fonction de l'importance de l'opération. Le nombre minimal de points de reconnaissance prescrit par la norme est de :

- pour les dallages relevant des parties 1 et 2 : trois, plus un point tous les 2000 m^2 ;
- pour les dallages relevant de la partie 3 : deux, plus un point tous les 500 m^2.

Les sondages doivent être adaptés au terrain. Ils consistent en (Cf. Annexe) :

- des carottages pouvant être complétés par des essais œnométriques ;
- des sondages pressiométriques ;
- des sondages au pénétromètre.

Le niveau de la nappe peut être déterminé par la pose de tubes piézométriques.

Dans le cas d'un dallage à usage industriel fortement sollicité, ces sondages peuvent être le cas échéant complétés à la demande du géotechnicien, par une étude en laboratoire portant sur :

- les densités sèche et humide,
- la teneur en eau,
- les limites d'Atterberg.

1.6,2.2. Evaluation du module de réaction du sol

Les essais à la plaque permettent d'évaluer la déformabilité et la compacité, sous des charges concentrées de courte durée, de la couche de terrain située immédiatement sous le dallage, sur une profondeur de l'ordre du rayon de la plaque d'essai. Mais ils ne fournissent aucune indication ni sur les propriétés du sol en profondeur, ni sur le comportement différé du terrain, et ne permettent pas d'évaluer la déformation d'un sol uniformément chargé.

On distingue différents modes d'essai :

a) <u>Essai à la plaque de Westergaard</u>

L'essai standard consiste à mesurer l'enfoncement e' d'une plaque circulaire en acier de 25 mm d'épaisseur et de 75 cm de diamètre sous une charge de 30 kN développant sur le support une pression moyenne de 0,07 MPa.

Le module de réaction du support K_w ou module de Westergaard, se déduit de l'enfoncement mesuré par la formule :

$$K_w = \frac{0{,}07.10^3}{e'} \quad \left(\text{unités : } \frac{\text{MPa}}{\text{m}}\text{; mm}\right)$$

Selon la norme DTU 13.3, le module K_w ne peut pas être inférieur à :

- 50 MPa/m, soit $e' \leq 1{,}4$ mm, pour les dallages relevant des parties 1 et 2,
- 30 MPa/m, soit $e' \leq 2{,}3$ mm, pour les dallages des maisons individuelles (partie 3).

Le module de déformation E_s (MPa) de la couche d'épaisseur (en m) égale au diamètre ϕ (m) de la plaque, peut être évalué à $E_s = 0{,}54\phi.K_w$ (DTU 13.3, 5.1.2.3).

Soit pour l'essai à la plaque de Westergaard ($\phi = 0{,}75$ m) : $E_s = 0{,}405.K_w$.

b) Essai L.C.P.C.

L'essai est destiné en fait à contrôler le compactage des remblais.

Il s'agit d'un essai de chargement à vitesse constante sur une plaque circulaire rigide de 0,60 m de diamètre, sous une pression initiale de 0,25 MPa qui donne un premier module $EV1$ et, après déchargement et nouveau chargement sous 0,2 MPa, un second module $EV2$, avec mesure de tassement.

Cet essai permet d'évaluer le module de réaction K_W si l'on prévoit un palier de charge intermédiaire à 0,07 MPa, et que l'on mesure l'enfoncement e' correspondant.

Compte tenu de ce que l'essai est fait avec une plaque de 60 cm de diamètre, on peut admettre :

$$K_w = \frac{0{,}07.10^3}{e'}.\frac{0{,}6}{0{,}75} = \frac{0{,}056.10^3}{e'} \quad (\frac{\mathrm{MPa}}{\mathrm{m}};\mathrm{m})$$

L'essai doit donner :

$e' \leq 1{,}1$ mm pour les dallages relevant des parties 1 et 2,

$e' \leq 1{,}9$ mm pour les dallages des maisons individuelles (partie 3).

c) Indice portant C.B.R.

L'indice portant C.B.R. (Californian Bearing Ratio) est déterminé in situ ou en laboratoire à partir d'un essai consistant à évaluer la résistance au poinçonnement d'un sol soumis à l'action d'un piston mû à vitesse constante. On mesure les pressions $p_{2,5}$ et p_5 (en MPa) pour 2,5 mm et 5 mm d'enfoncement du piston.

L'indice CBR correspond au maximum des deux valeurs (p en MPa) :

$$\frac{p_{2,5}}{0{,}07} \text{ et } \frac{p_5}{0{,}105}$$

La valeur du module K_w s'en déduit au moyen de l'abaque empirique ci-après (Fig. 6.8).

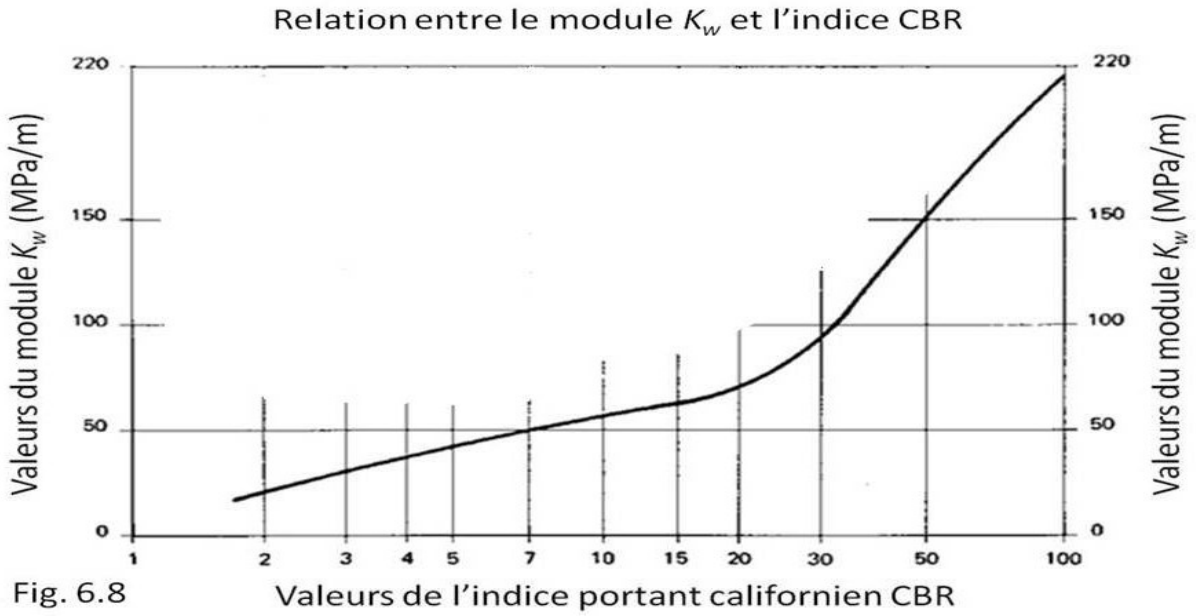


Fig. 6.8

2. EXÉCUTION D'UN DALLAGE

2.1. BÉTON

Lors de la mise en place du béton, la température ambiante doit être au moins égale à 3°C. Le support ne doit pas être gelé.

La consistance du béton doit être adaptée à la mise en œuvre. Elle doit permettre un serrage efficace. Le béton peut être vibré en employant une règle vibrante ou une poutre vibrante.

En l'absence de vibration, il faut employer un béton de la classe de consistance S4 au cône d'Abrams (selon NF EN 206-1, Tab. 3 [3], l'affaissement au cône d'Abrams est au moins égal à 160 mm et inférieur à 210 mm). La consistance fluide doit être obtenue par utilisation d'un plastifiant ou d'un superplastifiant et non par un ajout d'eau.

Il faut veiller à avoir une bonne compacité du béton le long des joints de construction munis ou non de profilés incorporés. Elle exige normalement que le béton soit vibré correctement.

2.2. ETAT DE SURFACE

On distingue les états de surface suivants :

- ***brut de règle***, réalisé par dressage à la règle, manuellement ou mécaniquement, pour les dallages destinés à recevoir des revêtements scellés adhérents ou des chapes rapportées,
- ***lissé***, mécaniquement, pour les dallages destinés à recevoir une couche d'usure, un revêtement collé, une couche d'isolation ou un revêtement scellé désolidarisé,
- ***surfacé***, par un talochage manuel ou mécanique,
- ***balayé***, (passage au balai sur le béton frais) ou *peau de mouton* (passage d'un rouleau moleté), après talochage de la surface.

Afin d'éviter une dessiccation trop rapide du béton, il est obligatoire d'effectuer une *cure*.

2.3. JOINTS

Les principales causes des désordres rencontrés dans un dallage sont dues au retrait et aux effets thermiques.

Pour lutter contre ces phénomènes, il est indispensable de fractionner le dallage par des joints. Les dispositifs de chargement du dallage ne doivent pas en empêcher le fonctionnement. Les joints reçoivent un *remplissage initial* pour prévenir l'intrusion de corps durs.

Les joints sont classés en plusieurs catégories :

- joints de retrait
- joints de dilatation (uniquement pour les dallages non couverts)
- joints d'isolement
- arrêts de coulage (pouvant jouer le rôle d'un des trois types de joints précédents).

Les joints doivent faire l'objet d'un calepinage. Les joints en quinconce ne sont pas admis.

Les schémas de la Fig. 6.9 montrent les différents types de joints.

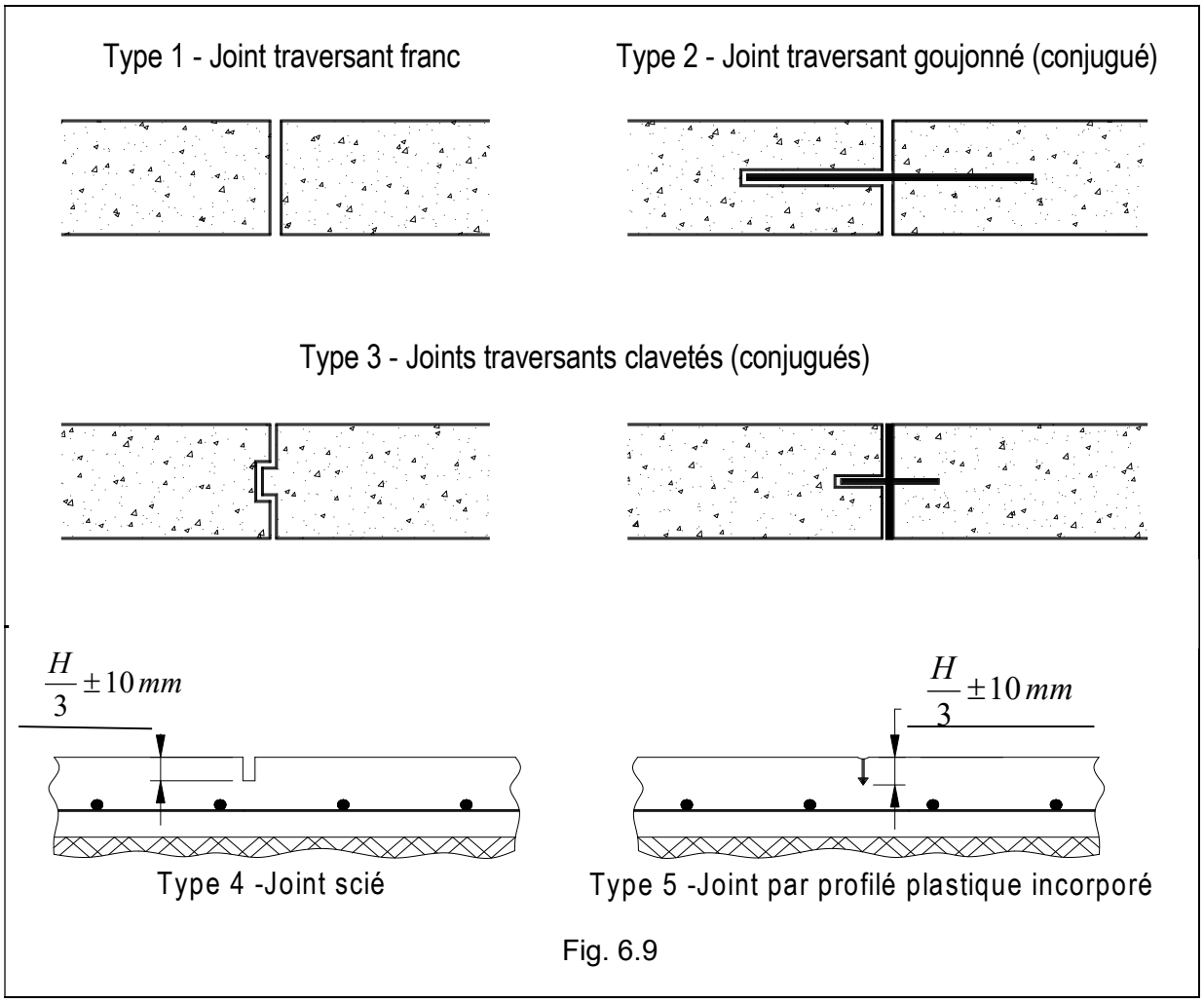


Fig. 6.9

2.3,1. Joints de retrait

Ils sont obtenus, soit par enfoncement d'un profilé dans le béton frais, soit par sciage partiel dans l'épaisseur du béton durci. Ils découpent le dallage sur le tiers de son épaisseur ± 10 mm (Fig. 6.9, types 4 et 5).

2.3,2. Joints de dilatation

Sauf utilisation spécifique des locaux, ces joints, qui permettent les variations dimensionnelles du dallage dues essentiellement aux variations de température, ne sont à prévoir que pour les dallages non couverts.

Ils traversent toute l'épaisseur du dallage et leur largeur lors de l'exécution est au moins égale à la dilatation maximale qu'ils doivent permettre (10 à 20 mm). A leur emplacement, le treillis soudé est coupé.

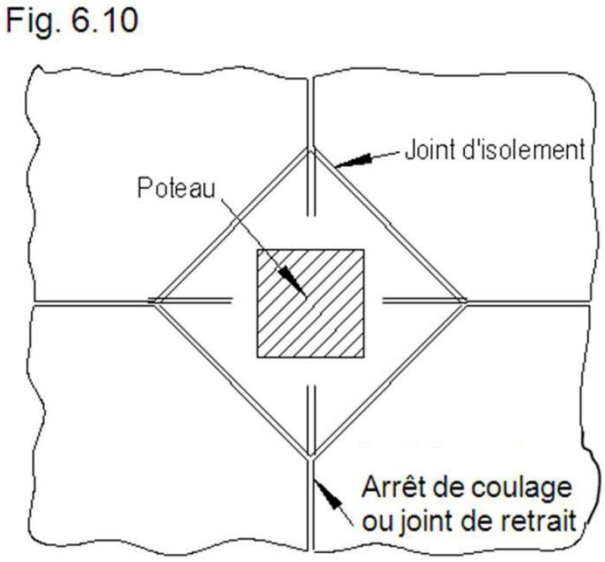
Les joints traversants (types 1 à 3 de la Fig. 6.9) peuvent jouer le rôle de joints de dilatation.

2.3,3. Joints d'isolement

Les joints d'isolement ont pour objet de désolidariser le dallage de certains éléments de la construction (poteaux, longrines, murs, massifs, etc.) dont les déformations tant verticales qu'horizontales diffèrent de celles du dallage. Ces joints règnent sur toute l'épaisseur du dallage.

Des joints complémentaires ou des renforts d'armatures doivent être réalisés pour limiter la fissuration dans les angles rentrants autour des ouvrages isolés (quais, massifs, poteaux, …).

Fig. 6.10 : Exemple de joint d'isolement autour d'un poteau.



Ce type de joint doit être franc sur toute l'épaisseur du dallage (Fig. 6.9, type 1). Sa largeur est d'environ 10 à 20 mm.

2.3,4. Arrêts de coulage

Ils traversent la totalité de l'épaisseur. La conjugaison des panneaux doit être assurée. Cette conjugaison peut se faire par *clavetage*, par *goujonnage* ou à l'aide de profilés métalliques.

La conjugaison par goujons doit respecter les règles suivantes :

- non-adhérence des goujons à l'un au moins des deux panneaux adjacents,
- implantation : dans la zone médiane de l'épaisseur du dallage,
- tolérance de déviation ≤ 5 %, par rapport à un axe orthogonal au plan du joint,
- diamètre $\phi \geq 0{,}1$ h , avec un espacement de trois unités au mètre et de longueur 500 mm.

Les effets du retrait différentiel (*tuilage*) affectent tous les types de joints (conjugués ou non). La raideur des goujons est insuffisante pour s'y opposer de manière significative.

2.3,5. Protection des joints traversants (dallage couvert par la partie 1)

Tous les joints traversants (arrêts de coulage et joints de dilatation) doivent être munis de profilés métalliques afin de protéger les bords du joint.

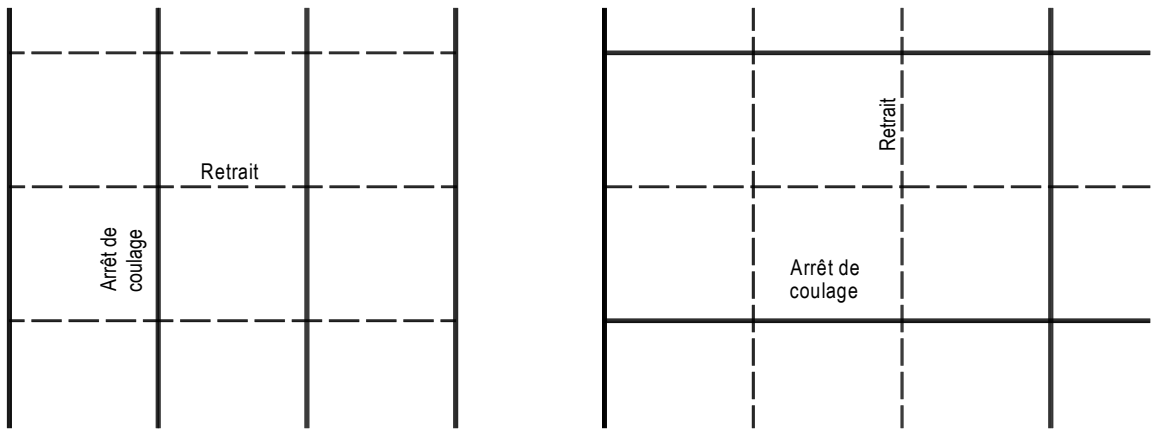
Seuls les joints traversants situés dans les zones définies par les Documents Particuliers du Marché (DPM) comme non soumises au passage de charges roulantes, ne sont pas concernés.

Un bétonnage délimité par des arrêts de coulage espacés au maximum de 6 m (dallage sous abri) permet d'être exempté de cette disposition constructive (coulage en bande).

2.3,6. Dallage non armé

La partie de dallage encadrée par des joints, constitue un panneau généralement rectangulaire, dont le rapport des côtés doit être compris entre 1 et 1,5, sauf en périphérie où cette condition peut ne pas être satisfaite.

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



a) Coulage par bandes b) Coulage par panneaux

Fig. 6.11

.

La dimension du grand côté d'un panneau doit être au plus égale à celle donnée au Tab. 6.2.

Tableau 6.2

	sans couche de glissement	couche de glissement (20 mm d'épaisseur) ou solution équivalente	solidarisation sur un côté
Dallages exposés aux intempéries	5 m ± 10%	6,75 m ± 10%	2,5 m ± 10%
Dallages sous abri	6 m ± 10%	8,10 m ± 10%	3,0 m ± 10%

Sauf délimitation précise dans les DPM, des zones soumises au passage de charges roulantes, tous les joints doivent être conjugués.

Lorsque le dallage est destiné à recevoir un revêtement de sol, sauf peinture - qu'il soit adhérent ou non - tous les joints, qu'il y ait ou non des charges roulantes, doivent être conjugués.

2.3,6.1. Dallage relevant de la partie 1

La conjugaison des joints sciés se fait par un treillis soudé, respectant les dispositions suivantes :

- il est général dans tout le dallage,
- il est situé dans le tiers inférieur de la hauteur du dallage,
- la section d'armatures, en cm^2/m, est au moins égale à $6H$ (H : hauteur du dallage en m)
- le diamètre minimal des fils est de 6 mm et leur espacement maximal est au plus de 20 cm.

Pour un dallage de 150 à 240 mm d'épaisseur, un panneau ST 15 C fournit la section minimale requise. Pour des épaisseurs supérieures, il faut recourir à des panneaux à mailles carrées (ST 25 C ou panneau sur devis) pour réaliser dans chaque sens la section minimale requise ($6H$, en cm^2/m).

2.3,6.2. Dallage relevant de la partie 2

La conjugaison des joints peut être réalisée au moyen de treillis soudé.

2.3,7. Dallage armé

Les zones de coulage délimitées par des arrêts de coulage constituent des panneaux s'approchant au maximum d'une forme carrée.

Les joints sciés ne sont pas nécessaires. Seuls des joints sciés superficiels (sans sciage des armatures) peuvent être nécessaires pour maîtriser les effets du retrait en des points particuliers (angle rentrant, fosses, quais,…).

2.4. TOLÉRANCES D'EXÉCUTION

Compte tenu de l'évolution du sol sous-jacent, la conformité du dallage doit être vérifiée dans un délai maximal de deux semaines après l'achèvement des travaux, et avant chargement du dallage.

Sauf prescription particulière (revêtements de sol minces par exemple), les tolérances admises à la réception d'un dallage relevant des parties 1 ou 2 sont les suivantes.

1 – *Tolérances de planéité générale*

Le nombre de points de contrôle est de 1 point par 100 m^2, avec un minimum de 5 points.

La tolérance en mm est de $10L^{1/3}$, avec L (m) distance entre deux points de mesure ($L \geq 2$ m).

2 – *Tolérances de planéité locale*

Le nombre de points de contrôle est de 1 point par 100 m^2, avec un minimum de 10 points.

La planéité est contrôlée au moyen d'une règle de 2 m et d'un réglet de 0,20 m, posés à leurs extrémités sur deux cales d'épaisseur correspondante à la tolérance souhaitée.

Tableau 6.3 – Tolérances de planéité locale en mm

Etat de surface	Brut de règle	Surfacé	Lissé
Planéité sous la règle de 2 m	15	10	7*
Planéité sous la règle de 0,20 m	sans objet	3	2*

*) Mêmes valeurs pour un dallage destiné à recevoir un revêtement de sol collé ou scellé désolidarisé ou sur sous-couche isolante.

3 – *Tolérances d'épaisseur*

Un panneau de dallage, délimité par des joints de retrait, ou, en l'absence de joints, une surface testée d'au plus 50 m^2, est considéré comme conforme, si les deux conditions ci-après sont simultanément satisfaites (DTU 13.3, 8.1):

$$\begin{cases} \dfrac{\sum h_i}{N} \geq 0{,}9\ h_n \\ \sqrt{\dfrac{\sum (h_i - h_n)^2}{N}} \leq 15\ mm \end{cases}$$

avec h_n : épaisseur nominale prescrite en mm.
h_i = Min [$h_{mesuré}$; h_n]
N : nombre de mesures (≥ 6) sur le panneau considéré, ou la surface testée, sur une maille orthogonale de côté au moins égal à 10 h_n.

2.5. DÉSAFFLEUR

A l'exécution, le désaffleur entre les bords de deux panneaux de dallage contigus, situés de part et d'autre d'un joint, doit être au plus égal à (DTU 13.3, 8.3):

- 2 mm, s'il s'agit d'un joint conjugué,
- 5 mm, dans les autres cas.

En service, l'augmentation du désaffleur ne peut dépasser (DTU 13.3, 6.1.3) :

- 1 mm, s'il s'agit d'un joint conjugué,
- 10 mm, dans les autres cas.

Les deux déformations limites s'ajoutent (DTU 13.3, 6) aux tolérances d'exécution, le désaffleur maximal admissible est donc de :

- 3 mm, s'il s'agit d'un joint conjugué,
- 15 mm, dans les autres cas.

3. RÈGLES DE CALCUL (DTU 13.3)

Remarque préliminaire :

La fissuration du béton armé ou non étant un phénomène inhérent à la nature du matériau, il serait vain de prétendre pouvoir l'éviter.

Les règles et les dispositions données ci-après ne visent qu'à permettre la maîtrise de ce phénomène, en limitant la densité et l'ouverture des fissures.

3.1. GÉNÉRALITÉS

Le comportement d'un dallage dépend :

- de son épaisseur,
- de l'épaisseur de chaque couche de support, et de la valeur correspondante du module de déformation E_s à long terme, fournie par l'étude géotechnique,
- du module de déformation du béton selon la durée d'application des charges.

La justification porte uniquement sur le respect d'états-limites de service (ELS). Elle consiste à montrer que :

a) les déformations verticales (Cf. 3.1,3) du dallage sont au plus égales aux déformations limites définies ci-après. Celles-ci doivent être ajoutées aux tolérances d'exécution (Cf. 2.4).

- Déformation verticale absolue limite :
  (L_1/2000) + 20 mm
  avec L_1 (mm) petit côté du rectangle enveloppe du dallage
  (DTU 13.3, 6.1.1).
- Déformation verticale différentielle limite :
  (L_2 / 2000) + 10 mm
  avec L_2 (mm) distance entre les deux points considérés
  (DTU 13.3, 6.1.2).
- État limite de variation du désaffleur du dallage :
  la variation du désaffleur mesurée entre 2 points contigus situés de part et d'autre d'un joint du dallage soumis aux charges d'exploitation doit être inférieure ou égale à 1 mm (joints conjugués) et 10 mm (autres cas), Cf. 2.5.

b) Pour un dallage non armé, la contrainte de traction du béton à l'ELS σ_{ELS} sous la plus défavorable des combinaisons d'actions définies au titre 3.1,1 est au plus égale à la limite :

$$\sigma_{\text{ELS}} \leq f_{\text{ctk},0.05}\left(= 0{,}21(f_{\text{ck}})^{\frac{2}{3}}\right) \qquad (\text{Chapitre 1, Tab. 1.7 ou EC2} - 1 - 1, \text{Tab. 3.1})$$

c) Pour un dallage armé, la contrainte de traction des armatures et, éventuellement, la contrainte de compression du béton, sont aux plus égales aux contraintes limites fixées par les Règles de l'EC2-1-1.

3.1,1. Actions

Les effets d'actions de calcul à l'ELS, résultent des combinaisons d'actions simultanées (pieds de rayonnage plus chariots, etc.) définies par l'EC0. Les charges de stockage sont considérées comme des charges d'exploitation, avec prise en compte d'un module de déformation longitudinale différée du béton E_{cv}.

Selon le système d'exploitation, les charges d'exploitation *Q* peuvent se composer :

- d'une ou de plusieurs charges concentrées,
- d'une ou de plusieurs charges réparties par bandes ou sur une zone de surface connue.

Dans les cas courants, les effets de la température ne sont pas pris en compte.

Les conséquences des effets du *retrait linéaire* (selon les dimensions en plan du dallage) et du *retrait différentiel* (entre les faces supérieure et inférieure), mais surtout des variations de température et du gradient thermique, peuvent être sources de désordres très importants. Il est primordial de prendre en compte ces phénomènes lors de la conception du dallage.

3.1,1.1. Valeurs à prendre en compte

Les Documents Particuliers du Marché (DPM) du dallage doivent préciser, pour chaque zone spécifique du dallage :

- l'implantation et l'intensité des charges réparties, concentrées fixes, concentrées mobiles ;
- et les surfaces utiles de leur impact, ainsi que le trafic.

Par défaut, les hypothèses suivantes peuvent être retenues :

a) *dallage relevant de la partie 1* (DTU 13.3-1, annexe B(N)) :

- charge uniformément répartie : 20 kN/m2 ;
- charge isolée statique en n'importe quel point de la surface : minimum de 20 kN, surface d'impact correspondant à une pression de contact de 5 MPa ;
- rayonnages : les DPM doivent fournir toutes les précisions utiles sur les rayonnages fixes (plan d'implantation, entre-axes des montants, dimensions des platines et charges en pied) et les rayonnages mobiles, ainsi que les limites spécifiques de déformations (ou de tolérances d'exécution).
- chariot élévateur à fourche : charge maximale à la roue : 20 kN ; pression de contact de 5 MPa ; trafic courant (Cf. 6.2.1, Tab. 6.4, ci-après) : C_t = 1,20.

b) *dallage relevant des parties* 2 *ou* 3 (Cf. DTU 13.3-2, annexe normative B(N)) :

Les valeurs à prendre en compte sont définies au chapitre 1, titre 3.3 (ou EC1-1-1).

Les DPM doivent donner l'implantation et l'intensité d'éventuelles charges concentrées, fixes ou mobiles, ainsi que la surface utile.

A défaut de ces données, une seule charge concentrée fixe est à prendre en compte, d'intensité égale à la valeur uniformément répartie par mètre carré et doit pouvoir être placée en n'importe quel point de la surface du dallage. La surface d'impact de cette charge est celle qui correspond à une pression de 5 MPa.

3.1,1.2. Coefficient de majoration C_t des charges roulantes (norme DTU 13.3-1, 6.2.1)

Les charges roulantes sont majorées par le coefficient C_t lié au trafic, défini par le Tab. 6.4.

Tableau 6.4.

Trafic	Circulations occasionnelles ou locaux commerciaux	Stockages courants	Trafic intense*
C_t	1,00	1,20	1,40

* Exemple : locaux logistiques

En l'absence de spécification, le coefficient à considérer est $C_t = 1{,}20$ pour des stockages courants.

3.1,1.3. Coefficient δ de majoration dynamique (DTU 13.3, 6.2.2)

Les actions des charges roulantes sont affectées d'un coefficient de majoration dynamique :

$$\delta = 1{,}15.$$

NOTE – *La norme EC1-1-1, clause* 6.3.2.3, *applicable au DTU 13.3, partie 2, fournit une classification des charriots élévateurs (Tab.* 6.5*) ainsi que la charge verticale statique à l'essieu* Q_k *correspondante (Tab* 6.6*).*
Le coefficient de majoration pour effet dynamique de Q_k *pour les chariots élévateurs est :*
$\varphi = 1{,}4$ *(bandages pneumatiques)*
$\varphi = 2$ *(bandages pleins) :* $Q_{k,dyn} = \varphi\, Q_k$ *(EC*1-1-1, [6.3]).

Finalement, pour une charge roulante concentrée de valeur nominale Q_r, la valeur à introduire dans le calcul est :
- à l'ELS : $\gamma_Q = 1$, soit $Q_{r,ser} = c_t.\delta.Q_r$;
- et à l'état-limite ultime (ELU) : $\gamma_Q = 1{,}5$ soit : $Q_{r,u}=1{,}5c_t.\delta.Q_r=1{,}5Q_{r,ser}$.

3.1,2. Effets d'actions

Les combinaisons d'actions à prendre en compte sont celles - définies dans les Règles de l'EC0 et l'EC2 - susceptibles d'agir de façon simultanée, durables ou transitoires.

Concernant la détermination des efforts internes, la norme ne reconnaît pas comme valable la méthode de Winkler qui consiste à modéliser le support comme une suite de ressorts indépendants tous identiques et de module de réaction K, et à traiter le dallage comme une poutre sur appuis continus élastiques. Le comportement du support n'est en effet pas assimilable à celui de ressorts juxtaposés, car les tassements induits par une charge sur une aire élémentaire du support se propagent à des aires non chargées.

La méthode de calcul proposée par la norme est donnée en 3.4 ci-après.

Il est admis que les états-limites sous divers systèmes de charges verticales sont satisfaits s'ils le sont indépendamment :
- en partie courante, en supposant le dallage continu (sans joint),
- à proximité des joints.

3.1,3. Déformations

Les déformations d'un dallage résultent principalement de la combinaison des effets :

- de l'ensemble des charges d'exploitation,
- du retrait linéaire du béton et des variations de température,
- des retraits différentiels entraînant des soulèvements en bordure des joints,
- des gradients thermiques.

Elles peuvent être calculées en faisant la somme :

- des tassements dus aux charges d'exploitation (Cf. 3.2), déterminés dans le cas d'un dallage supposé continu et,
- des déformations complémentaires localisées (Cf. 3.3) dues à la présence des joints.

Le principe du calcul repose sur l'égalité entre les tassements du support dus aux pressions exercées par le dallage et les déformations du dallage sous l'effet des charges et des réactions du support.

Sauf dans le cas de sols instables (sols évolutifs soumis au retrait et/ou au gonflement), les déformations du support sont évaluées à partir du modèle élastique linéaire de Boussinesq, avec adaptation particulière aux couches présentant des modules de déformation E_s différents.

3.2. TASSEMENTS

Les tassements sont évalués en supposant que le dallage ne comporte pas de joints.

3.2,1. Définitions et notations

• *Diamètre d'impact équivalent* D_{eq}.

Soit donnée une charge concentrée Q_c, provoquant un tassement w en son point d'application. Le diamètre d'impact équivalent, noté D_{eq}, est défini comme le diamètre d'une zone circulaire qui, soumise à une charge uniformément répartie d'intensité résultante égale à Q_c, subirait le même tassement w.

• *Module de réaction conventionnel* K_{Deq}.

C'est le rapport entre la pression q uniformément répartie sur la zone de diamètre D_{eq} et le tassement en son centre w. En général, K_{Deq} est très inférieur au module déterminé par un essai à la plaque.

• E_{cm} : module de déformation longitudinale instantanée du béton
E_{bv} : module de déformation longitudinale différée.

• E_s : module de déformation d'un sol.

• E_{si} : module de déformation de la couche de sol d'indice i.

• H : épaisseur du dallage.

3.2,2. Tassement dû à une charge uniforme

La norme DTU 13.3-2 (C.2.2), fournit une valeur majorante du tassement calculée par :

$$w = 0{,}8775 q.D/E_s \quad \text{(MN, m, MPa)} \qquad [6.1]$$

D : grande dimension du rectangle enveloppe du dallage
q : charge uniforme par unité d'aire.

3.2,3. Tassement dû à une charge concentrée en partie courante

Une charge est considérée comme concentrée si la plus grande dimension de son impact est au plus égale à $D_{eq}/8$.

Les définitions précédentes conduisent sans difficultés aux formules suivantes (unités : m, MN, MPa).

3.2,3.1. Cas d'un support homogène :

$$D_{\mathrm{eq}} = 1{,}97h\left(\frac{E_{\mathrm{cm}}}{E_{\mathrm{s}}}\right)^{\frac{1}{3}} \qquad [6.2 \text{ ou } [2]\mathrm{DTU}\ 13.3, C.3.1.1]$$

$$K_{\mathrm{Deq}} = 0{,}58\left(\frac{E_{\mathrm{s}}}{h}\right)\left(\frac{E_{\mathrm{s}}}{E_{\mathrm{cm}}}\right)^{1/3} = 0{,}58\left(\frac{E_{\mathrm{s}}}{h}\right)\frac{1{,}97H}{D_{\mathrm{eq}}} = 1{,}14\frac{E_{\mathrm{s}}}{D_{\mathrm{eq}}} \qquad [6.3]$$

$$w = \frac{4Q}{\pi {D_{\mathrm{eq}}}^2 . K_{\mathrm{Deq}}} = Q.1{,}14\frac{E_{\mathrm{s}}}{D_{\mathrm{eq}}} = \frac{0{,}57Q}{h\left(E_{\mathrm{cm}}{E_{\mathrm{s}}}^2\right)^{\frac{1}{3}}} \qquad [6.4 \text{ ou } [1]\mathrm{DTU}\ 13.3, C.3.1.1]$$

La norme DTU 13.3 (partie 2, C.2.1.2 et 3) admet que les majorants du tassement valent $7w$ et $3{,}5w$ respectivement sous charge concentrée en une zone d'angle et sous charge concentrée en bordure.

Le tassement w est déterminé par [6.4.].

3.2,3.2. Dans le cas d'un support multicouches.

$$\left(\frac{D_{\mathrm{eq}}}{h}\right)^3 = 7{,}68E_{\mathrm{cm}}\sum_{1}^{n}\frac{\left[I_{(0,\eta_{\mathrm{i}})} - I_{(0,\beta_{\mathrm{i}})}\right]}{E_{\mathrm{si}}} \qquad [6.5]$$

avec E_{si} : module de déformation de chaque couche de sol d'indice i considérée.

$$K_{\mathrm{Deq}} = 8{,}75\frac{E_{\mathrm{cm}}}{D_{\mathrm{eq}}\left(\frac{D_{\mathrm{eq}}}{h}\right)^3} \qquad [6.6 \text{ ou } [3']\mathrm{DTU}\ 13.3, C.3.1.1 \text{ avec } \nu_{\mathrm{si}} = 0{,}35\ ]$$

$$w = \frac{1{,}273Q}{K_{\mathrm{Deq}}.D_{\mathrm{eq}}{}^2} \qquad [6.7]$$

$I_{(0,\eta i)}$ et $I_{(0,\beta i)}$ désignent les coefficients d'influence à l'aplomb ($\xi = x/D_{eq} = 0$) du centre de l'aire de diamètre D_{eq} aux profondeurs relatives $\eta_i = z_{hi}/D_{eq}$ et $\beta_i = z_{bi}/D_{eq}$ respectivement du haut et du bas de la couche de sol d'indice i , donnés par la Fig. 6.12 (ou tirés du Tab. A.4 par interpolation entre les valeurs de la colonne $\xi = 0$).

La résolution pratique de l'équation [6.5] s'effectue par approximations successives, en cherchant pour commencer à encadrer la valeur D_{eq}/h , par des valeurs rondes de ce rapport (10 ; 15 ; 20 par exemple) et en calculant à chaque fois séparément les deux membres de cette équation.

Exemple : Dallage de 0,20 m d'épaisseur. Béton : f_{ck} = 27 MPa, E_{cm} = 33 000 MPa.

Couche 1 entre les cotes $h_1 = 0$ et $b_1 = 1{,}50$ m avec $E_{s1} = 28$ MPa.
Couche 2 entre les cotes h_2 (= b_1) = 1,50 m et $b_2 = 3{,}50$ m avec $E_{s2} = 24$ MPa.
Couche 3 = Substractum indéformable.

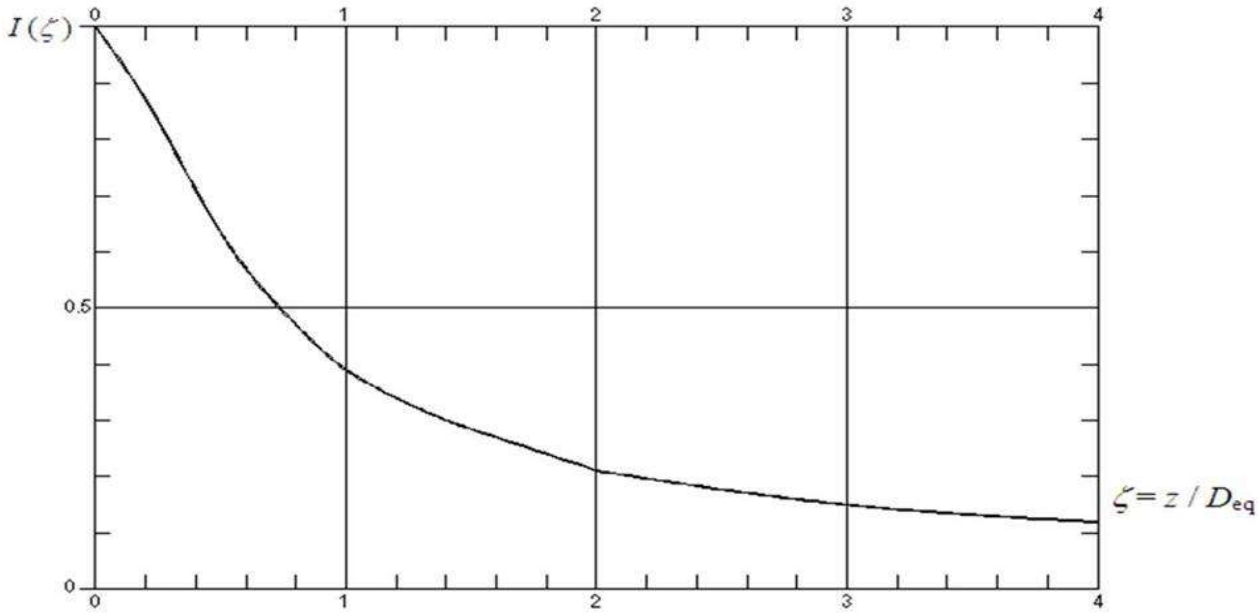


Fig. 6.12

Coefficient d'influence I (ζ) pour $x = 0$.
(Pour une couche i, prendre $\zeta = \eta_i$ ou $\zeta = \beta_i$)

$$\text{Posons :}\quad A = \sum_{1}^{n} \frac{\left[I_{(0,\eta i)} - I_{(0,\beta i)}\right]}{E_{si}} = \sum_{1}^{n} \frac{\Delta l_i}{E_{si}} = \frac{\Delta l_1}{E_{s1}} + \frac{\Delta l_2}{E_{s2}}$$

$$B = \frac{1}{7{,}68 E_{cm}} \left(\frac{D_{eqi}}{h}\right)^3 = 0{,}00395.10^{-3} \left(\frac{D_{eqi}}{h}\right)^3$$

Les calculs peuvent être disposés sous forme d'un tableau. Un premier essai avec D_{eqi}/h = 20 , conduit à $A < B$, ce qui signifie que cette valeur est trop grande.

$\frac{D_{eqi}}{h}$	D_{eqi} (m)	i	$\eta_i = z_{hi}/D_{eq}$	$I_{(0,\eta i)}$	$\beta_i = z_{bi}/D_{eq}$	$I_{(0,\beta i)}$	ΔI_i	$\frac{\Delta I_i}{E_{si}}$	$A = \sum \frac{\Delta I_i}{E_{si}}$	B	A/B
15	3	1 2	0 0,5	1 0,64	0,5 1,17	0,64 0,35	0,36 0,29	0,36/28 0,29/24	0,0249	0,0133	> 1
18	3,6	1 2	0 0,42	1 0,71	0,42 0,97	0,71 0,41	0,29 0,30	0,29/28 0,30/24	0,0229	0,0230	≈ 1

On retient D_{eq}/h = 18 d'où D_{eq} = 3,60 m
et K_{Deq} = (8,75x33000)/[3,6(3,6/18)^3] = 13,8 ≈ 14 MPa/m.

3.2,4. Propagation du tassement dû à une charge concentrée

3.2,4.1. Cas d'un support homogène

w étant le tassement au centre de l'aire D_{eq} où agit la charge concentrée,
le tassement en un point P à la distance x de ce centre vaut, en posant $\xi = x/D_{eq}$: $w_x = w.I\{\xi\}$ où $I\{\xi\}$ est le coefficient d'influence, qui varie selon la loi représentée à la Fig. 6.13.

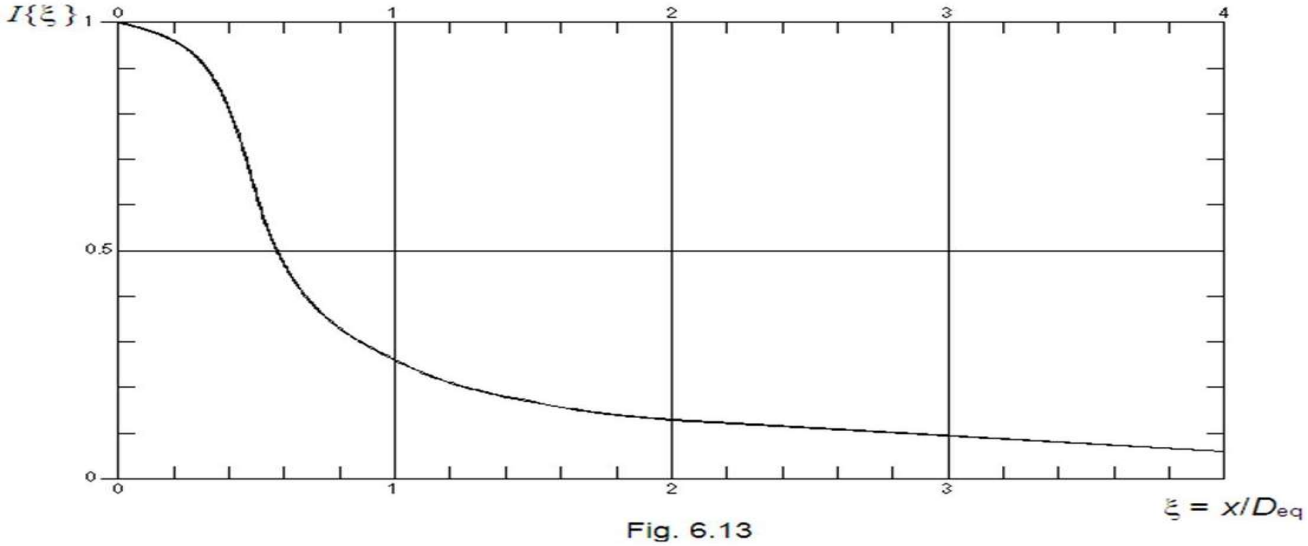


Fig. 6.13
Coefficient d'influence $I\{\xi\}$ pour (z = 0)

3.2,4.2. Cas d'un support multicouches

Le coefficient de propagation $C_{\rho(x,o)}$ du tassement induit au droit d'une charge concentrée en un point P à la distance x du point d'application de celle-ci, est :

$$C_{\mathrm{p},(\mathrm{x},0)} = \sum_{1}^{n} \frac{\left[I_{(\xi,\eta_i)} - I_{(\xi,\beta_i)}\right]}{\left[I_{(0,\eta_i)} - I_{(0,\beta_i)}\right]} \quad \text{avec} \quad \xi = \frac{x}{D_{\mathrm{eq}}} \qquad [6.8]$$

$I_{(\xi,\ \eta i)}$ et $I_{(\xi,\ \beta i)}$ sont des coefficients d'influence relatifs à un support homogène. Les valeurs $I_{(\xi,\ z)}$ (z/D_{eq} : cote relative de profondeur), sont données au Tab. A.4 reproduit en annexe ci-jointe.

3.2,5. Autres cas de charge

3.2,5.1. Charges multiples en parties courantes

Chaque charge i à la distance x_i d'un point quelconque P induit en ce point un tassement $w_i.C_{p(xi,o)}$, où w_i est le tassement à l'aplomb de la charge i considérée. Le tassement dû à l'ensemble des charges s'obtient par sommation.

3.2,5.2. Charge uniformément répartie sur une aire quelconque

Le tassement s'obtient en assimilant la zone chargée à un ensemble de charges ponctuelles élémentaires espacées au plus de $D_{eq}/8$ dans chaque sens.

3.2,5.3. Charge linéaire en partie courante

De même, une charge linéaire peut être assimilée à une succession de charges ponctuelles.

3.3. DÉFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES

3.3,1. Retrait linéaire et variations de température

a) Le retrait linéaire (Cf. 3.1,1) a pour effet d'ouvrir les joints traversants et non traversants (joint scié sur $H/3$). La valeur couramment prise en compte est de l'ordre de 4.10^{-4}, soit 0,4 mm/m. L'ouverture maximale possible d'un joint est égale au produit du retrait final par la distance entre joints traversants.

b) Les écarts de température à considérer pour les calculs sont :

- pour les dallages sous abri : la moitié des écarts relatifs à l'air ambiant[5],
- pour les dallages extérieurs : l'écart sous abri (Cf. carte des isothermes[5]) augmenté de + 30°C.

Le coefficient de dilatation thermique du béton est pris égal à 10^{-5}/°C.

[5] NF EN 1991-1-5/NA : *Actions sur les structures – Actions thermiques*. Notamment l'annexe A(N) de l'annexe nationale pour la carte des isothermes.

Pour les dallages sous abri, les incidences des variations de température sur les contraintes peuvent être négligées avec celles dues au retrait. En revanche, les dallages chauffants, ceux des fonderies, des chambres froides, etc. doivent faire l'objet d'études particulières.

3.3,2. Retrait différentiel

Les différences d'hygrométrie entre les faces supérieure et inférieure du dallage, provoquent un retrait différentiel tendant à générer une courbure de rayon : $H/(0{,}9\varepsilon_r)$

ε_r désignant le retrait final du béton.

Il en résulte des soulèvements - maximum à un âge du béton d'environ $1{,}8H^2$ jours (H en cm) - aux angles et le long des bordures. Ces effets affectent tous les types de joints, conjugués ou non car la raideur des goujons est insuffisante pour s'y opposer significativement.

Le retrait différentiel ε'_r d'une dalle comportant une chape d'épaisseur e, est environ :

$$\varepsilon'_r = \varepsilon_r [\, 1 + e/(\, e + 0{,}15H)] \qquad [6.9]$$

3.3,3. Gradient thermique

La différence de température δ_t entre les faces inférieure et supérieure du dallage en régime permanent, agit comme un retrait différentiel $\varepsilon'_r = 10^{-5}.\delta_t$ avec $\delta_t = C.H$ (°C/m; m)

Le coefficient $C = \delta_t / H$, à défaut d'être fixé dans le DPM, est pris égal à :

- pour un dallage abrité du soleil : C = 20°C/m,
- pour un dallage non abrité : C = 70°C/m.

3.3,4. Effets conjugués du retrait différentiel et d'un gradient thermique

Ces effets provoquent des soulèvements le long des bordures et aux angles des panneaux. Ils sont équivalents à ceux dus à un retrait : $\varepsilon_r'' = \varepsilon_r' \pm 1{,}1\,.\delta_t.10^{-5}$ [6.10]
en prenant le signe plus si la source chaude est en sous-face du dallage et le signe moins si elle est au dessus ; ε_r' et δ_t sont définis ci-dessus.

3.4. CONTRAINTES EN PARTIE COURANTE

3.4,1. Contrainte due au retrait linéaire

Le retrait d'un panneau entre deux joints successifs ne peut pas - même en présence d'une couche de glissement - s'effectuer librement par suite du frottement du panneau sur son support.

Lorsque ces déformations sont gênées, cela donne naissance à une contrainte de traction du béton qui est maximale au centre d'un panneau et s'annule sur ses bords.

3.4,1.1. Dallage non armé

Si les dispositions constructives sont adoptées permettant au dallage de glisser sur son support, cette contrainte - supposée uniforme dans toute l'épaisseur du dallage - est égale à :

$$\sigma = \frac{0{,}5\mu . L . p_c}{H} \qquad (\mathrm{MPa; m; MN/m^2}) \qquad [6.11]$$

avec μ : coefficient de frottement du béton sur le support du dallage :

μ = 0,5 , avec une couche de glissement ;

μ = 1,5 , dans le cas d'un support lisse et fermé, non adhérent au béton (par exemple, film de polyéthylène, Cf. 1.1)

L : distance (en m) entre deux joints perpendiculaires à la direction de la contrainte calculée. Si l'une des bordures est fixe, cette distance doit être doublée.

$p_c = g_o + 0{,}5q$: charge permanente totale du dallage en MN/m^2,

g_o : poids propre du dallage,

$\psi_2\, q$: valeur quasi permanente de la charge d'exploitation (ψ_2 = 0,5 , pris par défaut).

H : épaisseur du dallage (en m).

Cette contrainte peut être négligée en présence d'une couche de glissement (couche de sable) à condition que les distances entre les joints sciés soient au plus égales aux valeurs limites (Cf. Tab. 6.2, en 2.3,6).

3.4,1.2. Dallage armé

La section du treillis soudé doit être augmentée de la section nécessaire pour équilibrer l'effort de retrait $H\sigma$ (et/ou de variation uniforme de température). Soit, d'après la formule [6.11] :

$$A_s = H\frac{\sigma}{\bar{\sigma}_s} = \frac{0{,}5\mu . L . p_c}{\bar{\sigma}_s} \qquad [6.12]$$

avec *H* (en m) ; $\bar{\sigma}_s$ désignant la contrainte limite en traction du treillis soudé en MPa (Chapitre 1, titre 2.2,2).

Cet effort peut être négligé si la distance entre arrêts de coulage est inférieure aux exigences de 2.3.3. Dans tous les cas, les joints sciés ne sont pas nécessaires.

NOTE. *Le retrait différentiel provoque des tractions en partie supérieure du dallage, et des compressions en partie inférieure. Il constitue une « précontrainte » favorable à ne pas prendre en compte dans les calculs.*

3.4,2. Contrainte due à un gradient de température

En l'absence de déformation du plan moyen, cette contrainte vaut :

$$\sigma_{\mathrm{t}} = 0{,}5E_{\mathrm{bv}}.\delta_t.10^{-5} \qquad [6.13]$$

3.4,3. Contraintes dues à une charge concentrée isolée

Une charge concentrée quelle conque Q_c génère, en un point P situé à une distance x de son point d'application, un moment de flexion radial $M_{r(x)}$ et un moment de flexion tangentiel $M_{t(x)}$ respectivement égaux à :

$$M_{r(x)} = \lambda_r.Q_c/8 \quad \text{et} \quad M_{t(x)} = \lambda_t.Q_c/8 \qquad [6.14]$$

λ_r et λ_t : coefficients donnés par la Fig. 6.14 en fonction de la distance relative $\xi = x/D_{eq}$.

Les *vecteurs contraintes* sont perpendiculaires aux *vecteurs moments*.

Les contraintes principales de flexion sont calculées avec les expressions :

$$\sigma_{rx} = 6M_{t(x)}/H^2 \quad \text{et} \quad \sigma_{tx} = 6M_{r(x)}/H^2 \qquad [6.15]$$

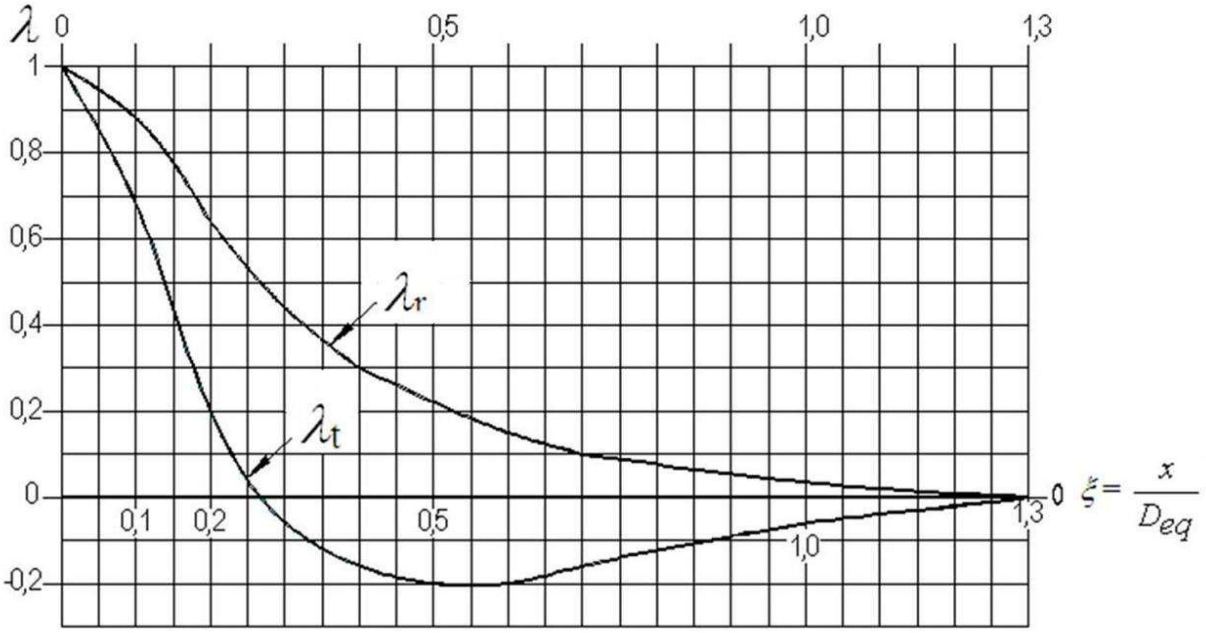


Fig.6.14

3.4,4. Contraintes dues à des charges concentrées multiples

Les contraintes en un point P du dallage peuvent être ainsi obtenues en choisissant une droite de référence PΔ passant par P, en affectant un indice i (i = 1, 2, 3, …, n) à une charge concentrée Q_{ci} quelle conque disposée au point Q_{ci}, ainsi qu'aux contraintes radiales et tangentielles qu'elle génère.

Ainsi en désignant par ψ_i l'angle que les directions font par rapport à PΔ et PQ_{ci}, on a :

$$\sigma_{\mathrm{rp}} = \sum_{1}^{n}\left(\sigma_{\mathrm{rp}}\cos^2\psi_i + \sigma_{\mathrm{ti}}\sin^2\psi_i\right) \qquad [6.16]$$

(*vecteur contrainte* porté par PΔ, fissuration éventuelle orthogonalement à PΔ).

$$\sigma_{\mathrm{tp}} = \sum_{1}^{n}\left(\sigma_{\mathrm{ri}}\cos^2\psi_i + \sigma_{\mathrm{ti}}\cos^2\psi_i\right) \qquad [6.17]$$

(vecteur contrainte orthogonal à PΔ, fissure éventuelle selon PΔ).

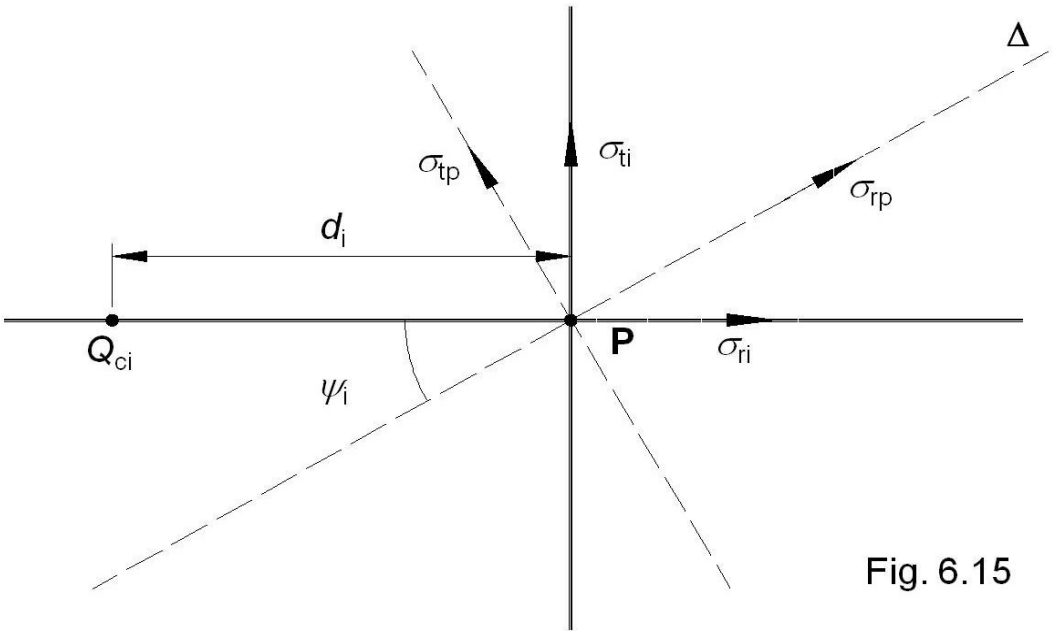


Fig. 6.15

Les contraintes maximales au point P, s'obtiennent en faisant varier la direction de PΔ.

3.4,5. Contrainte due à une charge uniformément répartie

Le moment enveloppe dû à un chargement uniforme de densité q (kN/m^2), appliqué sur une bande de dallage de largeur aléatoire, a pour valeur :

$$0{,}035 q.D_{eq}^2 \qquad \text{(Cf. DTU 13.3, C.4.1.6)}$$

Ce moment de flexion et la contrainte normale maximale qui en résulte, doivent être considérés tant pour la face inférieure que pour la face supérieure du dallage.

Dans le cas d'un support homogène :

$$M = 0{,}134q.H^2\left(\frac{E_{cm}}{E_s}\right)^{2/3} \qquad [6.18]$$

Pour un dallage non armé, la contrainte vaut :

$$\sigma = 6\frac{M}{H^2} = 0{,}804q\left(\frac{E_{cm}}{E_s}\right)^{2/3} \qquad [6.19]$$

3.4,6. Contrainte due à une charge linéaire

Le moment enveloppe sous une charge linéaire q_{lin} (kN/m) vaut :

$$0{,}122\ q_{lin}.D_{eq}$$

Ce moment de flexion et la contrainte normale maximale qui en résulte, doivent être considérés uniquement pour la face inférieure du dallage.

Dans le cas d'un sol homogène :

$$M = 0{,}24q_{lin}.H\left(\frac{E_{cm}}{E_s}\right)^{2/3} \qquad [6.20]$$

Pour un dallage non armé, la contrainte de flexion vaut :

$$\sigma = 1{,}43q_{lin}\ (E_{cm}/E_s)^{1/3}/H \qquad [6.21]$$

$$\sigma = 6\frac{M}{H^2} = \frac{1{,}43q_{lin}}{H}\left(\frac{E_{cm}}{E_s}\right)^{2/3} \qquad [6.21]$$

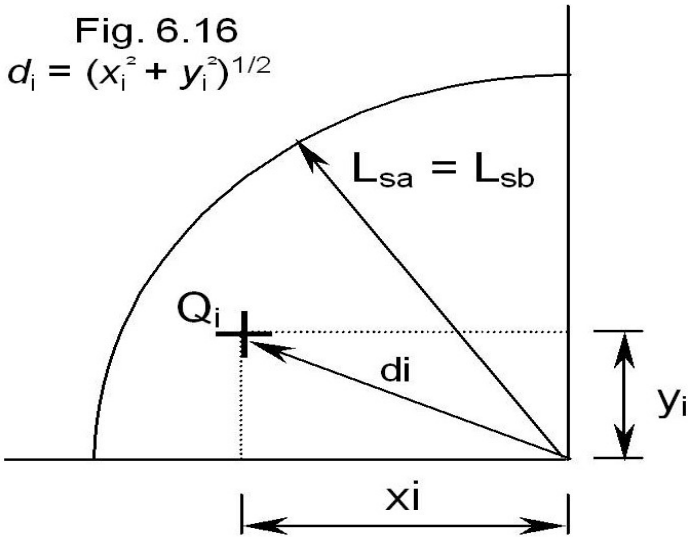
3.5. CHARGES CONCENTRÉES DANS UN ANGLE

3.5,1. Déformations à un angle de dalle

3.5,1.1. Longueur soulevée L_{sa}

Cet article concerne les déformations dues aux charges situées en angle de dalle à l'intérieur du secteur de cercle de rayon L_{sa} admis ayant de même valeur que la longueur L_{sb} soulevée de bordure :

$$L_{sa}\ (= L_{sb}\ ) \ = \ \sqrt{\frac{0{,}0375\varepsilon_{r}''.E_{bv}.H}{\gamma}} \qquad [6.22]$$



Où γ désigne le poids volumique du béton et ε_r'' est défini en 3.3,4.

Le soulèvement à l'angle vaut en l'absence de charge : $w_{sa} = 2w_{sb}$, w_{sb} (Cf. 3.6,1).

3.5,1.2. Charge équivalente au sommet d'un angle

S'il s'agit d'un angle *isolé* ou appartenant à un panneau *non conjugué*, il est admis que l'effet complémentaire sur les déformations des charges disposées sur la zone d'angle est équivalent à celui causé par la charge équivalente Q_e disposée au sommet (L_{sa} défini ci-avant) :

$$Q_e \ = \ \sum_{1}^{n} Q_i \left[1 - \frac{d_i}{L_{sa}}\right] \qquad [6.23]$$

S'il s'agit d'un angle *non isolé et conjugué*, la charge équivalente est inférieure à Q_e , car une fraction ω est transmise aux angles adjacents. La charge équivalente (Fig.6.17) n'est plus que :

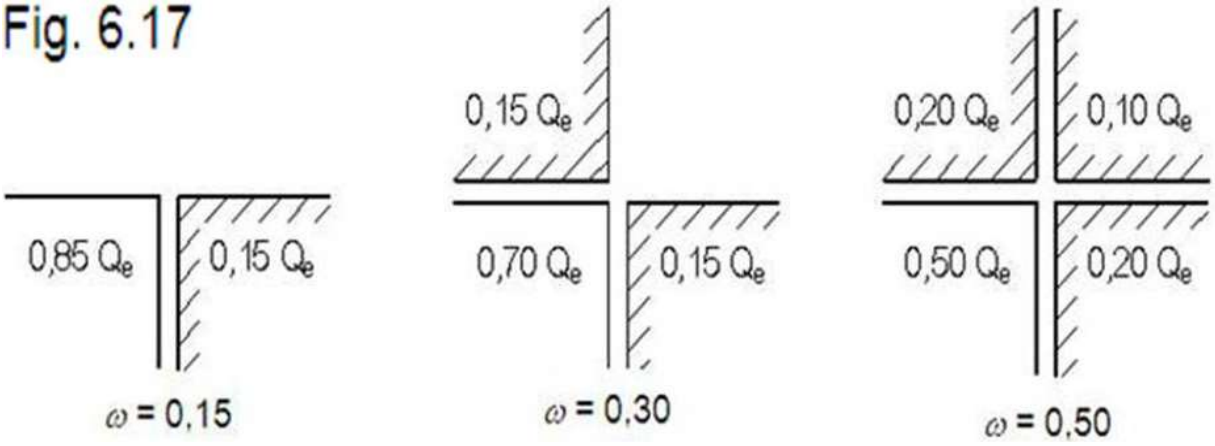
- 0,85 Q_e s'il y a un seul angle adjacent (ω = 0,15) ;
- 0,70 Q_e pour deux angles adjacents (ω = 0,30) ;
- 0,50 Q_e pour trois angles adjacents (ω = 0,50).

3.5,1.3. Charge Q_s annulant le soulèvement d'un angle

Cette charge vaut : $Q_s = Q_{ls}.2L_{sa}$ [6.24]

Q_{ls} sera défini par [6.33] et L_{sa} par [6.22].

Fig. 6.17



3.5,1.3. Déformation complémentaire en angle de dalle

Selon que la charge Q_e est inférieure ou supérieure à Q_s, l'angle subit un soulèvement ou un tassement, et la déformation qui en résulte s'ajoute, en signe, aux déformations générales déterminées dans le cas d'un dallage continu soumis à l'ensemble des charges.

- Si $Q_e \leq Q_s$, la flèche ascendante résiduelle au sommet de l'angle vaut :

$$w_{ar} = w_{sa}\,[1 - Q_e/Q_s\,]^2$$

  w_{sa} est définie en 3.5,1.1.

- Si $Q_e > Q_s$, il se produit un tassement complémentaire égal à $w_c = 6w_0$, où w_0 représente le tassement sous la charge $Q_e - Q_s$, calculé en supposant cette charge appliquée sur le dallage continu, sans joints (Cf. 3.2,3).

Le soulèvement dû au retrait différentiel peut être atténué dans le temps. Pour couvrir cet effet, il faut calculer les déformations complémentaires dans l'hypothèse $Q_s = 0$, et les ajouter ensuite aux déformations générales.

3.5,2. Effets dus à une charge concentrée en angle de dalle

3.5,2.1. Dallages relevant de la partie 1

- si $Q_e \leq Q_s$ (cas fréquent) : l'angle reste soulevé.

Le moment de flexion unitaire vaut $M = Q_e/2$ et la traction en face supérieure du dallage est donnée par l'équation $\sigma = 6M/h^2$.

- si $Q_e > Q_s$: le sommet de l'angle vient en contact avec le support.

Chaque charge Q_i intervient pour sa valeur résiduelle :

$$Q_{ci} = Q_i (1 - \omega) [1 - (Q_s/Q_e)] \qquad [6.25]$$

Elle introduit un moment unitaire complémentaire :

$$M_c = \sum_1^n \left[\left(\frac{Q_c}{2}\right)\delta_i\right] \qquad \text{avec} \qquad \delta_i = 1 - 1{,}64\sqrt{\frac{d_i}{D_{eq}}} \qquad [6.26]$$

d_i est définie à la Fig. 6.16.
Si $1{,}64(d_i/D_{eq})^{1/2} > 1$, prendre $\delta_i = 1$.

Il en résulte une contrainte totale en face supérieure du dallage :

$$\sigma = \frac{6}{H^2}\left(\frac{Q_s}{2} + M_c\right)$$

3.5,2.2. Dallages relevant de la partie 2

Un majorant du moment de flexion unitaire est obtenu par la formule $M = Q/2$, Q étant la charge verticale isolée supportée dans l'angle par le dallage.

Il en résulte que l'épaisseur minimale d'un dallage non armé est donnée par :

$$h_{min} = \sqrt{\frac{3Q}{\bar{\sigma}_{ser}}} = \frac{3{,}78}{E_{\mathrm{cm}}}\sqrt{Q} \qquad [6.27]$$

Pour $\bar{\sigma}_{\mathrm{ser}} = f_{\mathrm{ctk,0,05}}$ (Cf. 3.1-b).

3.6. CHARGES CONCENTRÉES EN BORDURE

3.6,1. Déformations en bordure de dalle

3.6,1.1. Longueur soulevée L_{sb}

Les déformations considérées ici sont celles qui sont liées aux charges situées sur une bande de dalle parallèle au joint correspondant à la largeur L_{sb} soulevée sous l'effet du retrait différentiel et du gradient thermique :

$$L_{\mathrm{sb}} = \sqrt{\frac{0{,}0375\varepsilon_{\mathrm{r}}^{''}.E_{\mathrm{bv}}.H}{\gamma}} \qquad [6.22]$$

Le soulèvement en bordure vaut, en l'absence de charge :

$$w_{\mathrm{sb}} = \frac{0{,}0675\varepsilon_{\mathrm{r}}^{''}.E_{\mathrm{bv}}}{\gamma} - 1{,}975\frac{\gamma.H.L_{\mathrm{sb}}}{E_{\mathrm{sq}}}(2+3U+2U^2) \qquad [6.28]$$

$$\text{Avec } U = \frac{2{,}26L_{\mathrm{sb}}}{D_{\mathrm{eqv}}}$$

$$\text{et } E_{\mathrm{sq}} = 7{,}645E_{\mathrm{bv}}(H/D_{\mathrm{eqv}})^3 \qquad [6.29]$$

3.6,1.2. Charge équivalente en bordure de dalle non conjuguée

a) L'effet complémentaire sur les déformations des charges Q_i disposées dans la zone de bordure, est considéré comme équivalent à celui provoqué par une charge Q_e disposée en bordure, avec :

$$Q_{\mathrm{e}} = \frac{6H}{L+6H}\sum_{1}^{\mathrm{n}}(1-\frac{d_i}{L_{\mathrm{sb}}})Q_{\mathrm{i}} \qquad [6.30]$$

L est la distance entre charges extrêmes prises en compte (Fig 6.18). Le maximum de Qe est obtenu par essais successifs correspondant à diverses valeurs de L, notamment $L = 0$ au droit d'une seule charge :

$$Q_{\mathrm{e}} = Q(1-\frac{d}{L_{\mathrm{sb}}}) \qquad [6.31]$$

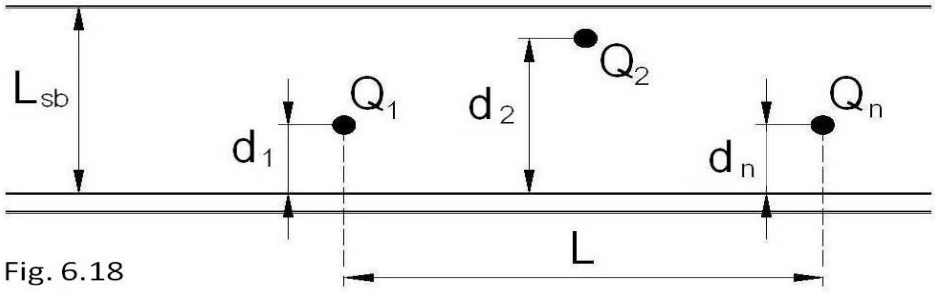


Fig. 6.18

b) S'il s'agit d'une bordure conjuguée, la charge équivalente est réduite de moitié (ω = 0,5). La transmission des charges agissant en vis-à-vis sur la même longueur de bordure adjacente doit être prise en compte.

3.6,1.3. Charge annulant le soulèvement en bordure

Il est admis en pratique que la charge annulant le soulèvement dû au retrait différentiel et au gradient de température est :

$$Q_s = Q_{ls}(2L_{ls} + 6H) \qquad [6.32]$$

$$\text{avec } Q_{ls} = 0{,}017\varepsilon_r''^2 . E_{bv} . E_{sq}/\gamma \qquad [6.33]$$

$$\text{et } E_{sq} = 7{,}645 E_{bv}\left(H/D_{eqv}\right)^3 \qquad [6.34]$$

D'où l'expression de Q_{ls} peut s'écrire sous la simple forme qui permet d'éviter le calcul de E_{sq} :

$$Q_{ls} = 0{,}13\left(E_{bv.}\varepsilon_r''\right)^2 . \left(H/D_{eqv}\right)^3/\gamma \qquad [6.33\text{bis}]$$

3.6,1.4. Déformation complémentaire en bordure de dalle

• Si $Q_e \leq Q_s$: La flèche ascendante résiduelle w_{rb} sur le bord est évaluée à :

$$w_{rb} = w_{sb}\,(1 - Q_e/Q_s)^2 \qquad w_{sb} \text{ est donné par [6.28].}$$

• Si $Q_e > Q_s$: Le tassement complémentaire peut être évalué sous l'action de la charge ($Q_e - Q_s$):

$$w_c = 2{,}5\, w_o\,(Q_e - Q_s)$$

$w_0\,(Q_e - Q_s)$: le tassement calculé pour la charge ($Q_e - Q_s$) supposée appliquée sur le dallage continu (Cf. C.3.2,3).

Le soulèvement dû au retrait différentiel peut s'atténuer dans le temps. Pour couvrir ce cas, il faut calculer les déformations complémentaires dans l'hypothèse $Q_s = 0$, et les ajouter ensuite aux déformations générales.

3.6,2. Effets dus aux charges concentrées en bordure de dalle

• Si $Q_e \leq Q_s$ (cas fréquent) : le moment de flexion unitaire vaut :

$$M = Q_e.L_{sb}/[2(3H + L_{sb})] \qquad [6.35]$$

Ce moment et la fissure qu'il tend à provoquer sont parallèles au joint.
La contrainte en face supérieure du dallage est égale à : $\sigma = 6M/H^2$

• Si $Q_e > Q_s$: le moment de flexion parallèle au joint annulant le soulèvement est :

$$M_s = Q_s.L_{sb}/[2(3h + L_{sb})] \qquad [6.36]$$

Le moment complémentaire après annulation du soulèvement vaut :

$$M' = 0{,}20(Q_e - Q_s) \qquad [6.37]$$

Le moment global $M_s + M'$ tend à provoquer des fissures parallèles au joint.
La contrainte correspondante en face supérieure du dallage est égale à $\sigma = 6(M_s + M')/h^2$

Dans les deux cas, il est admis que le moment de flexion d'axe orthogonal au joint (fissuration orthogonale au joint) a pour enveloppe $0{,}32Q_e$ et la contrainte correspondante en face inférieure du dallage est égale à $1{,}92Q_e/H^2$.

3.7. EXEMPLE DE CALCUL

3.7,1. Principales données

L'exemple concerne les zones de circulation des chariots élévateurs.

3.7,1.1. Destination des locaux

Local à usage industriel relevant de la partie 1 de la norme DTU 13.3.
Dallage intérieur sous abri de 180 mm d'épaisseur, avec une interface type film polyane.
Superficie du dallage : 1152 m² (48 m x 24 m).
Classe d'exposition XC2 et valeur limite de l'ouverture calculée des fissures : w_{max} = 0,3 mm (EC2-1-1, Tab.7.1/NA).

3.7,1.2. Caractérisation du support

Coupe de principe du support :

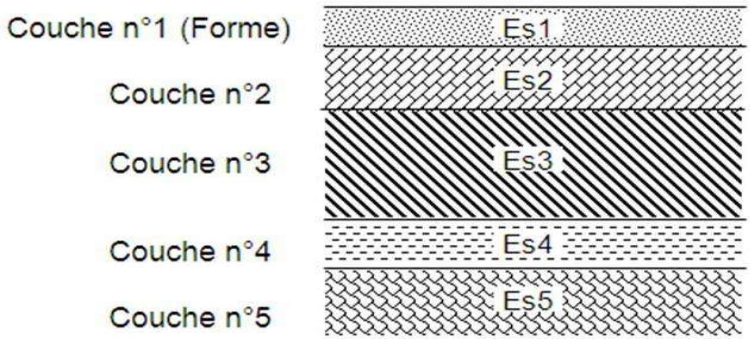


Fig. 6.19

Dans cet exemple, par simplification, le sol sera supposé infini homogène avec un module de déformation E_s = 20 MPa.

a) Définition des actions

Selon des DPM, celles dues au chariot élévateur : charge de 60 KN sur l'essieu avant, 2 roues à bandages en polyuréthane (pression de contact : 6 MPa) espacées de 1,20 m avec un trafic intense (nombre de passages par jour >100), donc c_t =1,40 (Tab. 6.4). La forme de la surface de contact de chaque bandage avec le dallage (*surface d'impact*) est carrée d'aire :

$$\frac{60.10^{-3}}{2}.\frac{1}{6} = 5.10^{-3}\text{m}^2 = 5000\ \text{mm}^2$$

ce qui correspond à une longueur de côté égale à $\sqrt{5000} = 70,7$ mm.

Concernant les autres actions :

- Gradient thermique : néant
- Variation de température (hormis celle engendrée par l'air ambiant) : néant
- Actions physiques ou chimiques particulières : néant
- Actions sismiques : pas de tirants dans le dallage
- Canalisations ou câbles dans le dallage : néant

b) État de surface et/ou revêtement

Finition lissée avec une couche d'usure obtenue par saupoudrage d'un durcisseur minéral. Il n'y a pas de revêtement collé ou scellé sur le dallage.

c) Autres exigences

Pas d'exigences particulières : Tolérances d'exécution et limites de déformations sous charges conformes à la norme DTU 13.3.

3.7,1.3. Caractéristiques des matériaux

a) Béton

Béton C25/30 : f_{ck} = 25 MPa soit $f_{ctk,0,05}$ = $\overline{\sigma}_{ser}$ = 1,8 MPa
Poids volumique γ = 0,024 MN/m^3 pour un dallage non armé.
Poids volumique γ = 0,025 MN/m^3 pour un dallage armé.
Module de déformation longitudinale instantanée : E_{cm} = 32 200 MPa.
Module de déformation longitudinale différée : E_{bv} = E_{cm} /(1+$\varphi\{\infty ;t_o\}$) $\cong$ 10 800 MPa.
Retrait final : ε_r = 4.10^{-4}
Joints de retrait sciés formant 32 panneaux de 6m x 6m.
Enrobage : c = max[$c_{min,b}$; $c_{min,dur}$; 10 mm] + Δc_{dev} (Cf. Chapitre 1, 2.3,1.1 ou EC2-1-1, clause 4.4).
c = max[$c_{min,b}$; 25 mm ; 10 mm] + 5mm = 30 mm en supposant des barres de diamètre < 25 mm.

b) Support

Sol infini homogène : E_s = 20 MPa

[6.2] Court terme : D_{eq} = 1,97h (E_{cm} / E_s)$^{1/3}$ = 1,97x0,18(32200/20)$^{1/3}$ = 4,16 m
Long terme : D_{eqv} = D_{eqi} (E_{bv} / E_{cm})$^{1/3}$ = 4,16(32200/10800)$^{1/3}$ = 2,89 m
[6.3] K_{Deq} = 1,14 E_s / D_{qe} = 1,14x20/4,16 = 5,48 MPa/m
K_{Deqv} = 1,14 E_s / D_{qev} = 1,14x20/2,89 = 7,89 MPa/m

3.7,1.3. Calcul des effets d'actions

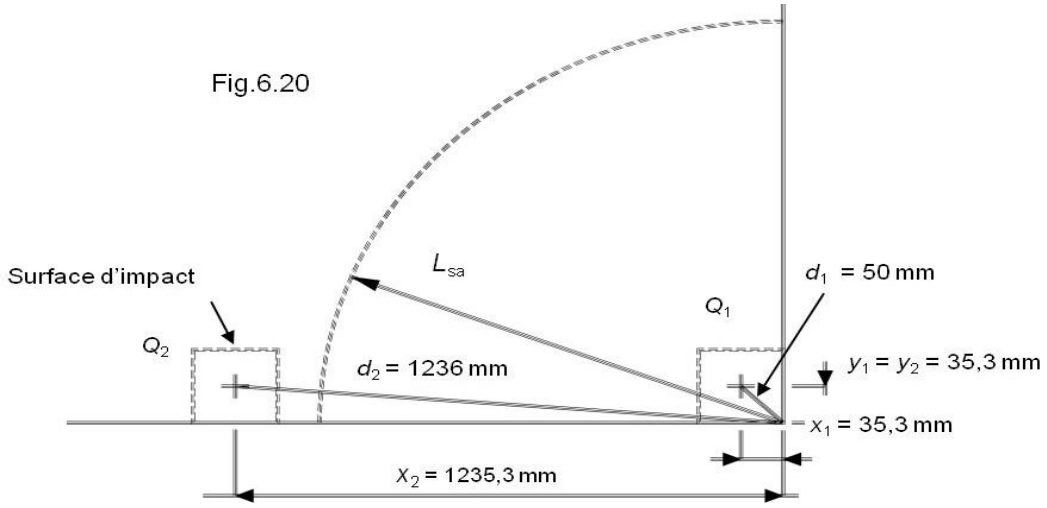
Un dallage non armé est envisageable au vu des données essentielles (pas de revêtements adhérents, pas de tirants, pas de canalisations, fissuration peu préjudiciable…). Il faut faire trois calculs : en angle, au bord et en partie courante.

a) Dallage non armé – Calcul en angle (Cf. 3.5,1 **)**

La surface d'impact d'un bandage de roue est placée dans un angle (Fig.6.20).

x_1 = y_1 = y_2 = 70,7/2 $\approx$ 35,3 mm $\qquad$ d_1 = (35,3^2 + 35,3^2)$^{1/2}$ = 50 mm

x_2 = 1200+35,3 = 1235,3 mm $\qquad$ d_2 = (1235,3^2+35,3^2)$^{1/2}$ = 1236 mm



La longueur d'angle soulevée est :

$$L_{\mathrm{sa}} = \sqrt{\frac{0{,}0375\varepsilon_{\mathrm{r}}^{''}.E_{\mathrm{bv}}.H}{\gamma}} \qquad [6.22]$$

$$\varepsilon_{\mathrm{r}}^{''} = \varepsilon_{\mathrm{r}}' \pm 1{,}1.\delta_{\mathrm{t}}.10^{-5} \qquad [6.10]$$

$$\varepsilon_{\mathrm{r}}' = \varepsilon_{\mathrm{r}}[1 + e/(e + 0{,}15H)] \qquad [6.9]$$

Les données admettent qu'il n'y a ni gradient thermique ($\delta_{\mathrm{t}} = 0$), ni chape (e = 0), donc :

$\varepsilon_r^{''} = \varepsilon_r^{'} = \varepsilon_r$ = 4.10^{-4} et L_{sa} = (0,0375x4.10^{-4}x10800x0,18/0,024)$^{1/2}$ = 1,10 m

Comme $L_{sa} < d_2$, la charge Q_2 est située hors de la zone d'influence de l'angle.

A l'ELS, la valeur pondérée de la charge en angle est (Cf. 3.1,1.2 et 3) :

$Q_{r1,ser}$ = $c_t.\delta.Q_1$ = 1,40x1,15x30 = 48,3 kN = 0,0483 MN

Lorsque les quatre angles sont conjugués, le coefficient de transfert est ω = 0,50 (Fig.6.17), la charge équivalente sur l'angle du panneau considéré est :

Q_e = $Q_{r1,ser}$(1- d_1/L_{sa})ω = 0,0483(1- 0,05/1,10)0,50 = 0,0231 MN [6.23]

La charge Q_s annulant le soulèvement vaut selon [6.24] et [6.33bis] :

$$Q_{\mathrm{s}} = Q_{ls}.2L_{\mathrm{sa}} \qquad [6.24]$$

$$\text{avec } Q_{ls} = \frac{0{,}13}{\gamma}\left(E_{\mathrm{bv}}.\varepsilon_{\mathrm{r}}^{''}\right)^2.\left(\frac{H}{D_{eqv}}\right)^3 \qquad [6.33\text{bis}]$$

$$Q_{ls} = \frac{0{,}13}{0{,}024}(10800\text{x}4.10^{-4})^2.\left(\frac{0{,}18}{2{,}89}\right)^3 = 0{,}0245 \text{ MN/m}$$

$$Q_{\mathrm{s}} = 0{,}0245\text{x}2\text{x}1{,}10 = 0{,}0537 \text{ MN}$$

Comme $Q_e < Q_s$, l'angle reste donc soulevé.

Le moment de flexion unitaire à l'ELS vaut : $M_{Ed,ser}$ = $Q_e/2$ = 0,0115 MN.m/m et la contrainte correspondante dans l'angle du panneau vaut :

$$\sigma_{\text{ser}} = \frac{6M_{\text{Ed,ser}}}{h^2} = \frac{6\text{x}0{,}0115}{0{,}18^2} = 2{,}13\ \text{MPa} > \overline{\sigma}_{\text{ser}} = 1{,}8\ \text{MPa}$$

La condition $\sigma_{ser} \leq \overline{\sigma}_{ser}$ n'étant pas vérifiée, l'épaisseur prévue (180 mm) pour le dallage ne peut être conservée en l'absence d'armatures.

Si cette épaisseur est imposée, le dallage doit être armé.

Le dallage (dimensions 24x48m) est décomposé en deux plaques carrées de 24x24 m, sans joints sciés. Il sera réalisé en deux coulages successifs.

b) Dallage armé – Calcul en angle (Cf. 3.5,1)

La position des charges est la même que celle de la Fig. 6.20.

La formule [6.22] indique que la longueur d'angle soulevée L_{sa} diminue quand le poids volumique γ du béton augmente.

Dans le cas du dallage armé, la longueur d'angle soulevée est donc inférieure à celle trouvée dans le cas du dallage non armé :

$$L_{sa} = 1{,}10(0{,}024/0{,}025)^{1/2} = 1{,}07\text{m}.$$

La charge Q_2 reste donc située hors de la zone d'influence de l'angle.

A l'ELU, la valeur pondérée de la charge d'angle est (Cf. 3.1,1.2 et 3) :

$$Q_{r1,u} = 1{,}5Q_{r1,ser} = 1{,}5\text{x}0{,}0483 = 0{,}0725\ \text{MN}$$

La charge équivalente sur l'angle du panneau est, avec ω = 0,50 :

$$Q_e = Q_{r1,u}\,(1 - d_1/L_{sa})\,\omega = 0{,}0725(1 - 0{,}05/1{,}07)\text{x}0{,}50 = 0{,}0346\ \text{MN}$$

alors que la charge Q_s annulant le soulèvement est, compte tenu des résultats obtenus dans le cas du dallage non armé :

$$Q_s = Q_{ls}\,.\,2L_{sa}$$

$$\text{avec } Q_{ls} = Q_{ls,\text{non armé}}\left(\frac{\gamma_{\text{non armé}}}{\gamma_{\text{armé}}}\right) = 0{,}0245\left(\frac{0{,}024}{0{,}025}\right) = 0{,}0235\ \text{MN/m et } L_{\text{sa}} = 1{,}07\text{m}$$

Soit Q_s = 0,0235x2x1,07 = 0,0503 MN > Q_e = 0,0346 MN donc l'angle est aussi soulevé.

Le moment de flexion unitaire à l'ELU : $M_{Ed,u}$ = $Q_e/2$ = 0,0173 MN.m/m.

La section de treillis soudé nécessaire peut être obtenue par la méthode de calcul du béton armé en flexion exposée au chapitre 2, titre A.2.1,1.

En adoptant des fils du treillis de diamètre ϕ de 8 mm, avec un enrobage c = 30 mm, la hauteur utile prend la valeur : $d = h - c - \phi/2$ = (180 - 30 - 4) = 146 mm = 0,146 m.

La compression ultime du béton : $f_{cd} = f_{ck}/1{,}5$ = 25/1,5 = 16,7 MPa,

Et $\mu_u = M_{Ed,u}/d^2.f_{cd} = 0{,}0173/(0{,}146^2 x16{,}7) = 0{,}0486$

La valeur du coefficient k calculée par la formule: $k = \dfrac{23}{1-0{,}6\,\mu_u} = 23{,}7$

d'où $A_s = k.M_{Ed,u}/d = 23{,}7x0{,}0173/0{,}146 = 2{,}81$ cm²/m

armature à disposer en nappe supérieure, dans chaque sens. Les treillis soudés nécessaires seront choisis une fois l'ensemble des calculs terminés.

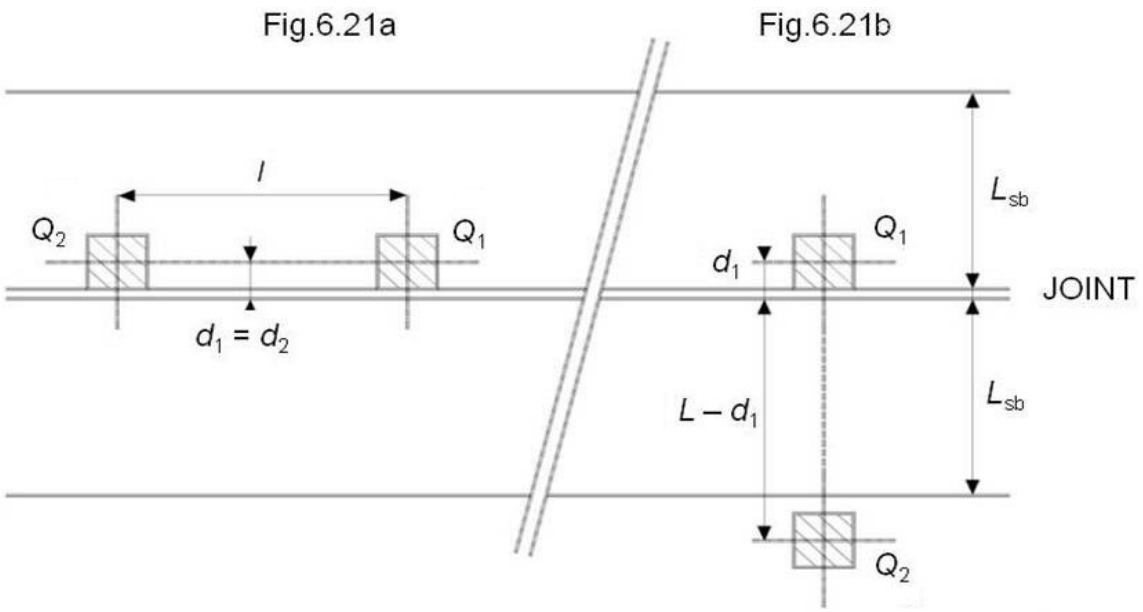
c) Dallage armé – Calcul en bordure

La longueur soulevée est alors L_{sb} (= L_{sa}) = 1,07m.

Il faut rechercher la charge équivalente Q_e maximale en modifiant la position du chariot par rapport au joint et en jouant sur le nombre de charges prises en compte (longueur L).

D'où trois cas à envisager, selon que l'essieu du chariot élévateur est :

- parallèle au joint, et les deux charges prises en compte : L = 1,20m (Fig.6.21a)
- parallèle au joint, avec une seule charge prise en compte : L = 0
- perpendiculaire au joint (Fig.6.21b)



Les charges pondérées à l'ELU à considérer, sont : $Q_{r1,u} = Q_{r2,u} = 0{,}0725$ MN.

1er et 2ème Cas : Essieu du chariot élévateur parallèle au joint (Fig.6.21a)

- Pour L = 1,20 m, alors $d_1 = d_2$ = 35,3 mm. Calculons la charge équivalente par [6.30] :

$$Q_{\mathrm{e}} = \frac{6H}{L+6H}\sum_{1}^{\mathrm{n}}(1-\frac{d_i}{L_{\mathrm{sb}}})Q_{\mathrm{i}} \qquad [6.30]$$

$$\sum_{1}^{\mathrm{n}}(1-\frac{d_i}{L_{\mathrm{sb}}})Q_{\mathrm{i}} = (1-\frac{d_1}{L_{\mathrm{sb}}})Q_{\mathrm{r1,u}} + (1-\frac{d_2}{L_{\mathrm{sb}}})Q_{\mathrm{r2,u}} = 2x0{,}0725\left(\frac{1-0{,}0353}{1{,}07}\right) = 0{,}14\ \mathrm{MN}$$

$$\frac{6H}{L+6H} = \frac{6\mathrm{x}0{,}18H}{1{,}2+6x0{,}18H} = 0{,}474$$

Compte tenu d'un coefficient de transfert ω = 0,50 (Cf. 3.6,1.2b), on trouve :

$$Q_{\mathrm{e}} = 0{,}474\mathrm{x}0{,}14\mathrm{x}0{,}5 = 0{,}0332\ \mathrm{MN}$$

- Pour le cas d'une seule charge prise en compte : L = 0.

$$Q_{\mathrm{e}} = Q_{\mathrm{r1,u}}(1-d_1/L_{\mathrm{sb}})\omega = 0{,}0725(1-0{,}0353/1{,}07)\mathrm{x}0{,}5 = 0{,}0351\ \mathrm{MN} \qquad [6.31]$$

3ème Cas: Essieu du chariot élévateur perpendiculaire au joint (Fig.6.21b):

La charge Q_2 est à la distance $L - d_1$ = 1,20 – 0,0353 = 1,165 m du joint. Cette distance est supérieure à L_{sb} = 1,07 m, donc seule la charge Q_1 est prise en compte.

Pour L = 0, c'est même le résultat que ci-dessus : Q_e = 0,0351 MN, valeur maximale à considérer. La charge Q_s annulant le soulèvement est donnée par [6.32] :

$$Q_s = Q_{/s}\,(2L_{sb} + 6H) = 0{,}0235(2\mathrm{x}1{,}07 + 6\mathrm{x}0{,}18) = 0{,}0757\ \mathrm{MN}$$

$Q_{/s}$ étant calculé précédemment = 0,0235. Soit donc $Q_e < Q_s$: le bord reste soulevé.

Le moment de flexion unitaire ultime, d'axe parallèle au joint, vaut selon [6.35] :

$$M_{\mathrm{Ed,u}} = (Q_e/2).L_{sb} / (3H + L_{sb}) = (0{,}0351/2)\ \mathrm{x}\ 1{,}07/(3\mathrm{x}0{,}18+1{,}07) = 0{,}0117\ \mathrm{MN.m/m}$$

En appliquant encore la méthode citée précédemment de calcul en flexion du béton armé avec $\mu_u = M_{\mathrm{Ed,u}} / d^2.f_{cd}$ = 0,0117/ (0,146^{2}x16,7) = 0,0329, la valeur du coefficient est k = 23,5 d'où : $A_s = k.M_{\mathrm{ED,u}}/d$ = 23,5 x 0,0117/0,146 = 1,88 cm^2/m.

Cette armature est à disposer en nappe supérieure, perpendiculairement au joint.

Le moment enveloppe de flexion unitaire ultime (Cf. 3.6,2), d'axe perpendiculaire au joint, a pour valeur :

$$M_{\mathrm{Ed,u}} = 0{,}32Q_e = 0{,}32\mathrm{x}0{,}0351 = 0{,}0112\ \mathrm{MN.m/m}.$$

On trouve pour μ_u = 0,032 par l'abaque de la Fig. A2.1,1 du chapitre 2 :

k = 23,3 d'où $A_s = k.M_{\mathrm{Ed,u}}/d$ = 23,3 x 0,0112/0,146 = 1,77cm^2/m.

Cette armature est à disposer en nappe inférieure, parallèlement au joint.

d) Dallage armé – Calcul en partie courante (Cf. 3.4,3)

La valeur de paramètres à prendre en compte sont le module de déformation longitudinale instantanée du béton E_{cm} = 32 200 MPa et le diamètre équivalent correspondant D_{eqi} = 4,16 m.

Le retrait linéaire peut être négligé, lorsque les distances entre les arrêts de coulage sont conformes à celles fixées par l'EC2-1-1, clause 2.3.3(3)/NA : limite admissible 25 m > 24 m.

- Armatures inférieures.

Le moment de flexion radial maximal se produit à mi-distance des charges Q_1 et Q_2 .

La distance respective de chaque charge au point de calcul est : $x_1 = x_2$ = 1,20/2 = 0,60 m.

Le paramètre de calcul est : $\xi = x_1/D_{eqi}$ = 0,60/4,16 = 0,144.

Pour cette valeur, la Fig. 6.14 donne λ_r = 0,79 d'où la valeur ultime du moment radial unitaire :

$$M_{r,Ed,u} = 2\lambda_r.Q_{r1,u}/8 = 2x0,79x0,0725/8 = 0,0143 \text{ MN.m/m} \qquad [6.14]$$

(μ_u = 0,0402 → k = 23,6), d'où la section des armatures inférieures :

$$A_{s,r} = k.M_{r,Ed,u}/d = 23,6x0,0143/0,146 = 2,31\text{cm}^2/\text{m}$$

- Armatures supérieures.

Le moment de flexion tangentiel ultime vaut $M_{t,Ed,u} = (\lambda_{t1}Q_{r1,u} + \lambda_{t2}Q_{r2,u})/8$ [6.14]

Comme $Q_{r1,u} = Q_{r2,u}$ = 0,0725 MN, il faut chercher la position du chariot qui conduit à la plus grande valeur négative de ($\lambda_{t1} + \lambda_{t2}$).

On opère sur les distances relatives des charges au point où cette plus grande valeur négative est atteinte : $\xi_1 = x_1/D_{eqi}$, $\xi_2 = x_2/D_{eqi}$, les charges $Q_{r1,u}$ et $Q_{r2,u}$ étant elles-mêmes distantes, en valeur relative, de L/D_{qei} = 1,20/4,16 = 0,29, donc $\xi_1 = \xi_2 + 0,29$.

A l'aide des diagrammes de la Fig. 6.14, on peut établir le tableau suivant :

ξ_2	λ_{t2}	ξ_1	λ_{t1}	$\lambda_{t2} + \lambda_{t1}$
0,35	- 0,12	0,64	- 0,19	- 0,31
0,40	- 0,16	0,69	- 0,17	- 0,33
0,45	- 0,18	0,74	- 0,14	- 0,32

Une grande précision n'étant pas nécessaire, la valeur – 0,33 est retenue comme la valeur extrême de ($\lambda_{t1} + \lambda_{t2}$), d'où $M_{t,Ed,u}$ = - 0,33 x 0,0725/8 = - 0,0030 MN.m/m.

μ_{bu} = 0,0084 et k = 23,1 ;

D'où la section des armatures supérieures:

$$A_{s,t} = 23,1x0,003/0,146 = 0,47\text{cm}^2/\text{m}.$$

- Choix et disposition des treillis soudés.

Il faut respecter le pourcentage minimal d'armatures égal à 0,4H = 0,4x0,18 = 7,2 cm^2/m dans chaque sens (DTU 13.3, 5.5.2.1).

Cette section est largement supérieure à toutes celles calculées précédemment sous la charge du chariot élévateur.

Le dallage sera donc armé sur toute sa superficie par :

- une nappe inférieure, constituée par un treillis soudé ST 40 C, 7x7/100x100 posé sur cales de 30 mm.
- une nappe supérieure, maintenue en position par des distanciers, constituée également par un treillis soudé ST 40 C.

Ces deux nappes représentent une section totale de 2 x 3,85 = 7,7cm^2/m et jouent à la fois le rôle d'armature en partie courante et celui d'armature de bord ou d'angle.

Les conditions relatives au diamètre des fils ($\phi \leq H/15$ = 180/15 = 12 mm) et à leurs espacements (e ou E $\leq 2H$ = 360 mm) sont bien vérifiées.

3.7,1.4. Calcul des déformations (ELS)

- Le tassement au droit d'une charge est :

$$w = 0{,}57 \frac{Q_{\mathrm{r,ser}}}{H\left(E_{\mathrm{cm}}.E_{\mathrm{s}}{}^{2}\right)^{1/3}} \qquad [6.4]$$

soit, avec $Q_{r,ser}$ = 0,0483 MN, E_{cm} = 32 200 MPa et E_s = 20 MPa :

$$w = 0{,}57 \frac{0{,}0483}{0{,}18(32200\mathrm{x}20^2)^{1/3}} = 0{,}65\mathrm{mm}$$

- En se plaçant au centre à mi-distance entre les deux charges, leur distance au point de calcul est $x_1 = x_2$ = 0,60 m et le paramètre de calcul est $\xi = x_1/D_{eqi}$ = 0,60/4,16 = 0,144.

Le Tab. A.4 de l'annexe donne, pour ζ = 0, ligne 1, les valeurs suivantes du coefficient d'influence I {ξ} :

- pour ξ = 0,1 : I {0,1} = 0,9899
- pour ξ = 0,2 : I {0,2} = 0,9587

d'où, par interpolation linéaire : I {0,144} = 0,9762.

Le tassement total théorique est donc égal à : w_{tot} = 2(0,65x0,9762) = 1,27 mm.

On peut ainsi s'attendre à un tassement de l'ordre du millimètre.

3.7,1.5. Vérification de la fissuration (ELS)

Le moment enveloppe sous une charge uniforme q par unité de surface :

$$M = 0{,}035q.D^2_{eq} = 0{,}045Q_{r,ser} \qquad \text{(Cf. C4.1.6).}$$

La contrainte de traction induite vaut :

$$\sigma = 6M/H^2 = 6\mathrm{x}0{,}045\mathrm{x}0{,}0483/0{,}18^2 = 0{,}4 \text{ MPa.}$$

Au vu de la faible valeur comparée à la résistance en traction du béton ($f_{ctk,0,05}$ = 1,8 MPa), il est peu probable que le béton soit fissuré.

4. DALLAGES DES CHAMBRES FROIDES

Le complexe d'une chambre froide ou un entrepôt frigorifique à température négative, est le plus souvent constitué par un dallage de service reposant sur une couche d'isolant thermique.

Elle-même repose :

- soit sur un dallage primaire en béton armé intégrant un circuit de réchauffage,
- soit sur une dalle en béton armé sur vide sanitaire ventilé.

Toute liaison avec un point dur est évitée au moyen de joints d'isolement et de construction, ainsi que de relevés de l'isolation thermique (par exemple le long d'un poteau, d'une longrine, d'un mur…).

Un dallage de chambre froide doit, par ailleurs, répondre à des exigences d'hygiène spécifique (norme NF P 75-401-1, DTU 45.1)[6]

4.1. Isolation thermique

Elle doit être conforme à la norme NF P 75-401-1, qui précise certaines caractéristiques des isolants. La déformabilité de ceux-ci doit être prise en compte dans le calcul.

Le module d'élasticité E_s en compression d'un isolant est pris égal à :

$$E_s = 0{,}6 R_{cs}/d_s \qquad \text{(MPa)}$$

avec R_{cs} : résistance de service en compression de l'isolant (MPa) ;
d_s (%) : déformation de service de l'isolant moyenne de d_{smax} et de d_{smin} (Cf. DTU 45.1, Annexe A).

Il faut avoir : $E_s \geq 2{,}1$ MPa et $d_s \leq 2\%$

L'épaisseur e d'un isolant doit être telle que $e(\text{m}) \leq E_s/50$ (E_s en MPa).

La solution d'une isolation horizontale périphérique sous dallage est à rejeter, car elle est susceptible de donner naissance à des désordres par tassement différentiel.

Le choix doit se porter sur une des dispositions suivantes :

- isolation thermique verticale en bêche périphérique,
- isolation thermique horizontale sous l'ensemble du dallage, posée sur un sol compacté,
- toute autre solution ne générant pas de désordres par tassements différentiels.

[6] NF P75-401 (2001) - DTU 45.1 - *Travaux de bâtiment - Isolation thermique des bâtiments frigorifiques et des locaux à ambiance régulée* - Partie 1 : *cahier des clauses techniques* - Partie 2 : *cahier des clauses spéciales* (référence commerciale des parties 1 et 2 du DTU 45.1)

4.2. Retraits

Les retraits hydraulique et thermique doivent être libérés par un film en polyéthylène de 150 μm d'épaisseur minimale, disposé entre l'isolant thermique et la dalle. Dans ce cas, la valeur du coefficient de frottement à introduire dans [6.12] est prise égale à 0,5.

Malgré toutes les précautions prises, le retrait peut ne pas se répartir régulièrement, ce qui peut entraîner une ouverture excessive de certains joints où se cumulent les raccourcissements de plusieurs panneaux.

4.3. Joints

Les joints de retrait sont disposés de manière à éviter les angles rentrants, en particulier aux seuils des portes (Cf. NF P 75-401-1).

Le cas échéant, il convient de prévoir des dispositifs convenables dans le béton pour limiter l'ouverture des fissures.

Un joint périphérique d'isolement, fermé en partie supérieure par un matériau souple, est obligatoire.

La Fig. 6.22 donne la disposition de principe d'un dallage de chambre froide.

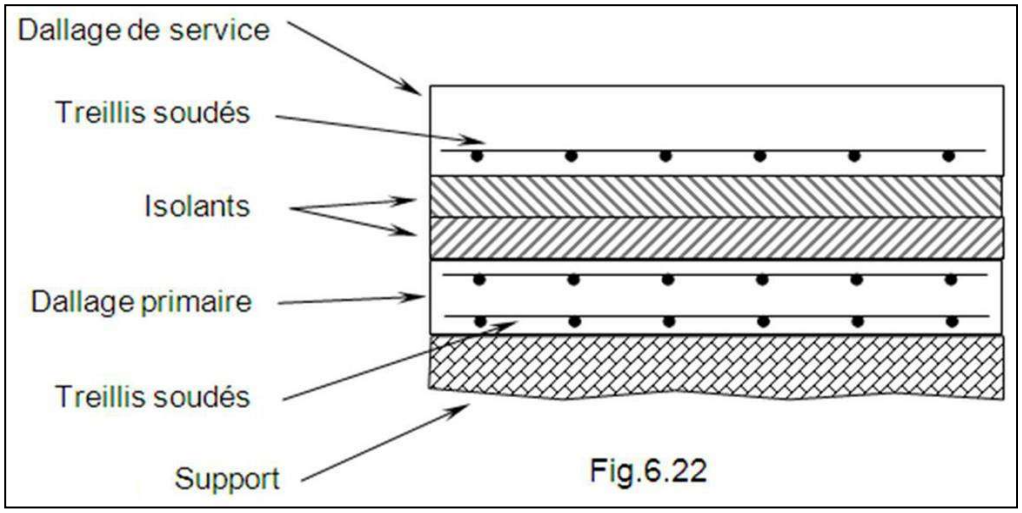


Fig.6.22

5. RECOMMANDATIONS

Un dallage est une construction fragile et très sensible aux déformations d'ensemble ou locales.

Le moindre désordre sur un dallage se répercute sur tous les autres ouvrages et peut avoir des conséquences financières importantes.

5.1. Causes des désordres

Les désordres peuvent avoir plusieurs causes, les plus souvent rencontrées sont les suivantes.

1 - Tassements différentiels

Ils sont dus à :

- la méconnaissance des caractéristiques du sol,
- l'exécution peu soignée des formes ou remblais sous dallage.

2 - Action de l'eau du sol

Elle est due à :

- la méconnaissance des caractéristiques hydrauliques du sol,
- l'exécution peu soignée de l'assainissement du terrain sous le dallage et au voisinage immédiat.

3 - Mauvaise conception du dallage

Elle est due à la non-prise en considération de :

- la solidarisation de la dalle avec les fondations,
- l'incidence des cloisons lourdes,
- un affaiblissement local de la résistance par le passage de canalisations :
  - une canalisation noyée dans l'épaisseur, réduisant l'inertie ;
  - une canalisation posée dans la forme, réduisant ses qualités portantes ;
  - une fuite dans une canalisation inaccessible (joints défectueux, corrosion, rupture mécanique due à un tassement).
- du gradient thermique.

4 - Défauts de surface

Ils sont dus à :

- l'usure trop rapide des revêtements sous un trafic mal défini,
- l'attaque par des produits agressifs,
- le gel, affectant les dallages extérieurs en l'absence de bêche périphérique, de forme de pente ou de drainage du sol.

5.2. Conséquences des désordres

Ces désordres affectent :

- l'état de surface du dallage dont la dégradation peut aller jusqu'à rendre le dallage impropre à sa destination,
- les cloisons (fissures, remontées d'humidité, décollement des revêtements),
- les canalisations (rupture mécanique par tassement différentiel, corrosion).

ANNEXE

GLOSSAIRE

Dallage :
Le dallage peut être non armé, ou armé. Dans ce dernier cas, le ferraillage est déterminé en fonction des effets d'actions appliqués.

Essai œdométrique :
Essai de sol en laboratoire à l'aide de l'œdomètre (nom que TERZAGHI a donné à son appareil). Cet essai permet de tracer des courbes de compressibilité, qui donnent le tassement s d'un échantillon de sol en fonction des contraintes σ qui lui sont appliquées.

Essai pressiométrique:
Essai de sol réalisé in-situ à l'aide du pressiomètre MÉNARD permettant de mesurer les caractéristiques mécaniques : module pressiométrique E , pression limite $p\ell$.
La connaissance de ces deux quantités permet le calcul de la force portante des fondations (résistance à la rupture et tassement).

Essai pénétrométrique :
Essai de sol in-situ à l'aide du pénétromètre statique ou dynamique (enfoncement dans le sol d'une pointe métallique par vérinage ou battage). Cet essai permet de mesurer la résistance de pointe liée directement à la contrainte de rupture du sol.

Essai de WESTERGAARD :
Essai de sol réalisé in-situ à l'aide d'une plaque d'acier chargée. Cet essai permet de déterminer le module de réaction du sol (Cf. 1.6.2-2a).

Forme :
Elle peut être en sable, tout-venant, béton maigre, grave-ciment et composée éventuellement de deux couches (tout-venant plus béton maigre, tout-venant plus grave-ciment, etc.) pour les dallages fortement sollicités.

Indice C.B.R. :
L'indice portant Californien ou C.B.R. (Californian Bearing Ratio) est un nombre sans dimensions exprimant, en pourcentage, le rapport entre les pressions produisant un enfoncement donné dans le matériau étudié d'une part, et dans un matériau type d'autre part. Son but est de préciser la force portante d'un sol compacté destiné à des pistes d'aérodrome ou à des routes.

Limites d'ATTERBERG :
Constantes physiques conventionnelles qui marquent le seuil entre :

- le passage d'un sol de l'état solide à l'état plastique (limite de plasticité) W_p .
- le passage d'un sol de l'état plastique à l'état liquide (limite de liquidité) W_L .

Porosité :
Par définition la porosité d'un sol est le rapport entre le volume des vides et le volume total correspondant d'un échantillon donné. Lorsqu'un sol tasse ou se consolide, sa porosité diminue.

A.4. TASSEMENTS DES DALLAGES

Le calcul des tassements d'un dallage est traité dans ce chapitre 6, titre 3.2.

Ce calcul fait appel à des coefficients d'influence du tassement pour évaluer le tassement qu'engendre une charge concentrée quelle conque en un point $P\{x,z\}$, l'origine des cotes de distance x et des cotes de profondeur z étant le centre de l'aire d'application de la charge concentrée.

Le Tab. A.4 ci-après, tiré de la norme DTU 13.3, donne les coefficients d'influence $I\{\xi,\zeta\}$ en fonction des paramètres sans dimensions :

- distance relative : $\xi = x/D_{eq}$ et
- profondeur relative : $\zeta = z/D_{eq}$.

D_{eq} (*Diamètre d'impact équivalent*) : Soit une charge concentrée Q_c, provoquant un tassement w en son point d'application, D_{eq} est défini comme égal au diamètre de la zone circulaire qui, soumise à une charge uniformément répartie d'intensité résultante égale à Q_c, subirait le même tassement w .

Tableau A.4. : COEFFICIENTS D'INFLUENCE DU TASSEMENT

(Base : Boussinesq massif homogène semi infini – Coefficient de Poisson du sol = 0,35).

ζ \ ξ	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2	1,4	1,6
0,0	1	.9899	.9587	.9028	.8125	.6366	.4685	.3860	.3306	.2900	.2587	.2132	.1816	.1582
0,1	.9435	.9331	.9010	.8432	.7500	.6088	.4743	.3894	.3326	.2913	.2595	.2136	.1818	.1584
0,2	.8705	.8598	.8271	.7695	.6842	.5765	.4728	.3935	.3364	.2942	.2617	.2149	.1826	.1589
0,3	.7903	.7801	.7492	.6974	.6260	.5427	.4611	.3923	.3384	.2967	.2640	.2165	.1837	.1597
0,4	.7116	.7025	.6756	.6319	.5743	.5089	.4438	.3855	.3369	.2974	.2655	.2181	.1849	.1606
0,5	.6395	.6319	.6096	.5740	.5281	.4763	.4237	.3749	.3320	.2957	.2655	.2191	.1860	.1615
0,6	.5760	.5698	.5518	.5233	.4867	.4453	.4027	.3618	.3246	.2919	.2638	.2193	.1867	.1623
0,7	.5211	.5161	.5017	.4790	.4498	.4165	.3816	.3473	.3153	.2863	.2606	.2187	.1870	.1628
0,8	.4739	.4699	.4584	.4403	.4169	.3899	.3612	.3324	.3049	.2793	.2561	.2171	.1867	.1631
0,9	.4334	.4302	.4210	.4064	.3875	.3655	.3418	.3175	.2938	.2714	.2506	.2147	.1859	.1630
1,0	.3985	.3960	.3885	.3767	.3613	.3432	.3235	.3030	.2826	.2630	.2445	.2116	.1845	.1625
1,2	.3420	.3403	.3354	.3275	.3170	.3045	.2905	.2757	.2606	.2456	.2309	.2039	.1804	.1605
1,4	.2987	.2975	.2941	.2886	.2813	.2724	.2623	.2514	.2400	.2284	.2169	.1948	.1748	.1572
1,6	.2647	.2638	.2614	.2575	.2522	.2457	.2382	.2300	.2213	.2123	.2032	.1853	.1684	.1530
1,8	.2373	.2367	.2350	.2320	.2281	.2233	.2176	.2114	.2046	.1976	.1903	.1757	.1614	.1481
2	.2150	.2145	.2132	.2110	.2080	.2043	.1999	.1951	.1898	.1842	.1783	.1663	.1544	.1429
4	.1098	.1097	.1095	.1092	.1088	.1082	.1076	.1068	.1059	.1050	.1039	.1016	.0989	.0961
6	.0735	.0735	.0734	.0733	.0732	.0730	.0728	.0726	.0723	.0720	.0716	.0709	.0700	.0690
8	.0552	.0552	.552	.0551	.0551	.0550	.0549	.0548	.0547	.0545	.0544	.0541	.0537	.0532
10	.0442	.0442	.0442	.0441	.0441	.0441	.0440	.0440	.0439	.0438	.0438	.0436	.0434	.0432
25	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0177	.0176	.0176
50	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088	.0088
100	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044
200	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022
400	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011
800	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006
1600	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003

ζ \ ξ	1,8	2	4	6	8	10	25	50	100	200	400	800	1600
0,0	.1403	.1260	.0626	.0417	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,1	.1404	.1261	.0626	.0417	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,2	.1408	.1264	.0627	.0417	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,3	.1413	.1268	.0627	.0417	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,4	.1420	.1273	.0628	.0418	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,5	.1427	.1278	.0629	.0418	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,6	.1434	.1284	.0630	.0418	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,7	.1440	.1290	.0631	.0419	.0313	.0250	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,8	.1444	.1294	.0632	.0419	.0313	.0251	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
0,9	.1446	.1298	.0634	.0419	.0314	.0251	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
1,0	.1446	.1299	.0635	.0420	.0314	.0251	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
1,2	.1438	.1298	.0638	.0421	.0314	.0251	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
1,4	.1419	.1289	.0641	.0422	.0315	.0251	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
1,6	.1393	.1273	.0643	.0424	.0316	.0252	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
1,8	.1360	.1251	.0645	.0425	.0316	.0252	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
2	.1322	.1224	.0646	.0426	.0317	.0252	.0100	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
4	.0931	.0900	.0612	.0429	.0323	.0257	.0101	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
6	.0679	.0667	.0531	.0408	.0319	.0258	.0101	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
8	.0527	.0522	.0451	.0373	.0306	.0254	.0102	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
10	.0429	.0426	.0386	.0336	.0287	.0245	.0103	.0050	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
25	.0176	.0176	.0173	.0168	.0162	.0154	.0098	.0052	.0025	.0013	.0006	.0003	.0002
50	.0088	.0088	.0088	.0087	.0086	.0085	.0072	.0049	.0026	.0013	.0006	.0003	.0002
100	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0044	.0042	.0036	.0024	.0013	.0006	.0003	.0002
200	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0022	.0021	.0018	.0012	.0006	.0003	.0002
400	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0011	.0010	.0009	.0006	.0003	.0002
800	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0006	.0005	.0005	.0005	.0003	.0002
1600	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0003	.0002	.0002

$\xi = x / D_{eq}$, $\zeta = z / D_{eq}$ (pour une couche i entre les cotes de profondeur h_i et b_i (> h_i), ζ prend les valeurs particulières $\eta_i = h_i / D_{eq}$ et $\beta_i = b_i / D_{eq}$).