

VÉRIFICATION D'UNE POUTRE MIXTE SUIVANT L'EUROCODE 4 INFLUENCE DU TYPE DE DALLE UTILISÉE SUR LA SECTION DE BÉTON DE CALCUL

par J. MATHIEU

1

1. - INTRODUCTION

Les dalles de plancher en béton armé réalisées sur des poutres métalliques munies de goujons sont rarement des dalles pleines coffrées de manière traditionnelle. L'utilisation d'éléments de coffrage industrialisés, perdus ou participant à la résistance de la dalle entre poutres, s'est généralisée.

Les bacs en acier se marient particulièrement bien avec les poutrelles. Ils sont disponibles avec des nervures aux formes variées et de différentes hauteurs. Dans une configuration classique, les nervures des bacs sont perpendiculaires aux solives et donc parallèles aux poutres principales.

Des éléments préfabriqués minces en béton sont aussi quelquefois utilisés: ce sont les prédalles, de 4 à 8 cm d'épaisseur. Elles contiennent les armatures inférieures de la dalle portant entre deux solives. Des petits treillis verticaux sortant de la prédalle assurent une rigidité minimale durant la pose et améliorent ensuite la liaison avec le béton complémentaire.

Le choix du mode de coffrage influence la réalisation des poutres mixtes. Ce choix est lié à l'espacement entre les solives, et il conditionne le recours éventuel à un étaielement en phase de construction. Il influence aussi la dimension des connecteurs par le biais de règles constructives à respecter (diamètre, hauteur et espacement).

De plus, le mode de coffrage détermine les sections de béton mobilisables pour les calculs de résistance en flexion, pour les calculs de flèche, et pour la vérification de la résistance de la dalle au cisaillement longitudinal.

Le but de cet article est d'explicitier pour chaque calcul la valeur de l'aire de béton intervenant dans les différentes formules proposées dans l'Eurocode 4 [1] (EC4-1.1 en abrégé). Un tableau en fin d'article constitue un résumé pour les situations les plus fréquentes.

J. MATHIEU - Ingénieur Ulg, Assistance
Technique, EUROPROFIL Luxembourg

MIX-EC4 1-99

2. - RÉSISTANCE ULTIME EN FLEXION

La largeur de dalle participante est clairement définie dans l'EC4-1.1. Par contre, le § 4.4.1 est muet sur la hauteur de béton mobilisable dans cette dalle pour rechercher la position de l'axe neutre plastique et calculer le moment résistant ultime. L'exemple de distribution plastique de contraintes sous moment positif donné sur la figure 4.5 dans ce même paragraphe est à peine plus explicite. Il montre cependant l'absence de bloc de contraintes sur la hauteur de la tôle profilée en acier disposée transversalement sur les poutres.

2

2.1. - Bacs disposés perpendiculairement aux poutres

Il est clair que les vides des nervures ne peuvent pas transmettre d'effort de compression, et il est tout à fait logique d'éliminer du calcul la hauteur de béton qui remplit les creux de ces nervures. Même lorsque l'axe neutre plastique sera situé plus bas que la face supérieure des nervures, on ne pourra mobiliser en compression que le béton situé au-dessus de cette face (figure 1). Si le bac comprend des nervures de hauteurs différentes, c'est la nervure la plus haute qui définit l'épaisseur à éliminer du calcul.

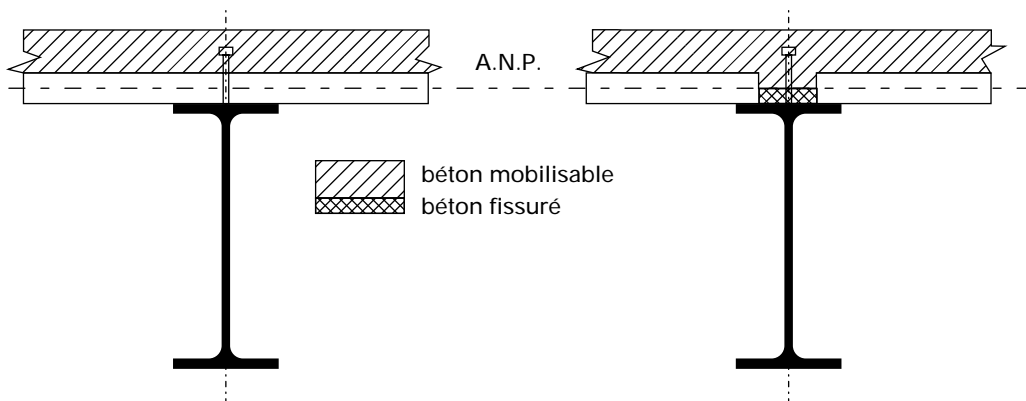


Fig. 1 - Bac transversal

Lorsque le bac est interrompu au droit de la poutre, on pourrait en principe mobiliser le béton correspondant à l'espace entre deux tôles sur la hauteur de nervure, mais cet apport est généralement tout à fait négligeable, inférieur à 1 %. En outre, les deux situations de continuité ou d'interruption du bac alternent très souvent sur des poutres voisines qu'on souhaite identiques au niveau du calcul.

2.2. - Bacs disposés parallèlement aux poutres

Dans ce cas, le béton de remplissage des nervures peut être mobilisé en compression, au prorata de l'aire de béton contenue effectivement dans les nervures, et pour autant que l'axe neutre plastique se situe en dessous de la face supérieure des nervures (figure 2).

Il convient toutefois de rester prudent car il se pourrait que les nervures se retrouvent complètement décalées au droit d'un joint de tôles sur une solive. Une nervure remplie pourrait aboutir face à une nervure creuse en pleine travée de la poutre mixte.

MIX-EC4 1-99

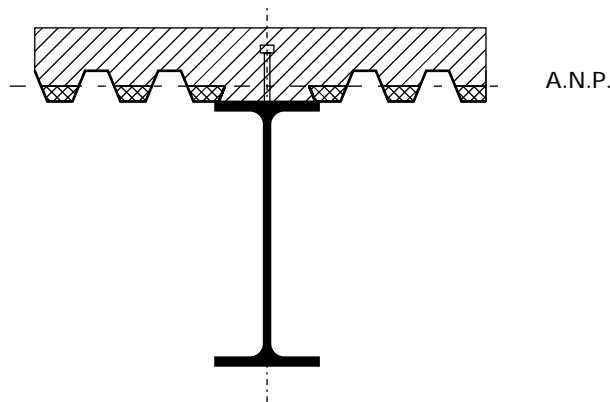


Fig. 2 - Bac parallèle

Un calcul de moment ultime faisant intervenir le béton dans les nervures avec une largeur variable n'est pas simple. Il est même souvent impossible ou peu précis dans le cas fréquent où le bac est choisi sur appel d'offre aux fournisseurs bien après le calcul des poutres. De toute manière, la prise en compte de ce béton contenu dans les nervures n'améliore éventuellement le moment ultime que de très peu, de moins de 2 % dans la plupart des cas. Alors, en pratique et sécuritairement, la hauteur des nervures est souvent éliminée d'office du calcul comme dans une disposition des bacs en travers de la poutre.

2,3. - Prédalles minces

Les prédalles minces en béton contiennent les armatures inférieures de la dalle pour résister à la flexion en travée entre deux poutres voisines. D'une épaisseur de 4 à 6 cm, elles sont préfabriquées suivant un plan de calepinage en bandes parallèles aux barres principales de la dalle. Leur largeur ne dépasse pas la limite autorisée pour le transport, et leur longueur correspond à la distance entre deux solives voisines. La configuration du joint entre deux prédalles juxtaposées est donnée sur la figure 3.

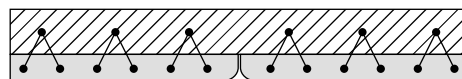


Fig. 3 - Joint entre prédalles

Comme pour les bacs en acier, on retrouve généralement les joints entre prédalles perpendiculaires aux solives, et donc parallèles aux poutres principales (figures 4 et 5). La hauteur du joint sec entre deux pièces voisines ne pourra pas transmettre un effort de compression transversal dans le béton. Il convient donc dans le calcul des solives d'éliminer cette hauteur de la couche mobilisable.

Dans le cas des poutres principales, par contre, l'effort de compression est parallèle à ce joint, et la section totale de béton peut être mobilisée.

3

MIX-EC4 1-99

4

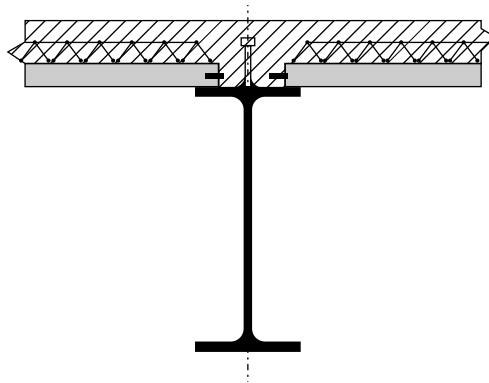


Fig. 4 - Prédalles en appui sur les solives

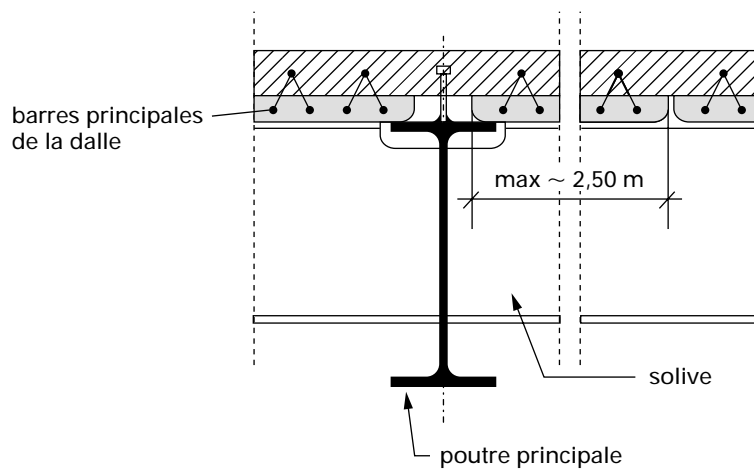


Fig. 5 - Prédalles parallèles aux poutres principales

Un cas particulier peut se présenter avec des éléments préfabriqués plus épais juxtaposés comme indiqué sur la figure 6. Dans ce cas, seule la partie inférieure de l'élément égale à la hauteur du joint restant sec doit être éliminée dans le cas d'une compression perpendiculaire au joint.

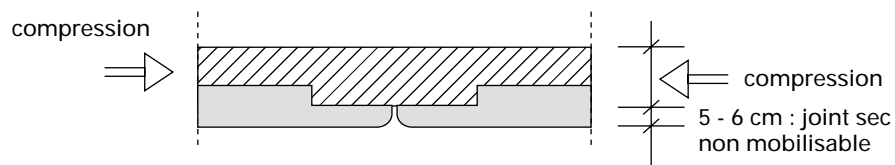


Fig. 6 - Joint de prédalle particulière

3. - CALCUL DES FLÈCHES

Le calcul des flèches d'une poutre mixte comporte une certaine marge d'imprécision liée aux particularités mécaniques du matériau béton. La méthode habituelle de calcul par homogénéisation des sections en acier équivalent est considérée comme suffisam-

ment précise, d'autant que les flèches durant les opérations de construction sont souvent déterminantes. Il convient cependant de ne pas négliger l'incidence du retrait sur la flèche finale, tandis que le fluage du béton est pris en compte par un facteur d'équivalence approprié $n = E_a/E_b$.

Les sections de béton mobilisables sont identiques dans chaque situation à celles définies au paragraphe précédent pour le calcul en résistance ultime. Elles sont cependant mobilisées effectivement, car l'axe neutre élastique se situe généralement plus bas que l'axe neutre plastique.

Le cas des bacs à nervures de forme trapézoïdale disposées parallèlement à la poutre est traité en négligeant le béton dans les nervures, ou en considérant une largeur moyenne uniforme de béton sur la hauteur des nervures. L'apport en inertie de ce béton des nervures ne dépasse pas 3 à 6 % dans les cas courants.

5

4. - RÉSISTANCE DE LA DALLE AU CISAILEMENT LONGITUDINAL

La résistance de calcul de toute surface potentielle de ruine par cisaillement longitudinal dans la dalle le long de la poutre métallique est déterminée par les deux formules 6.25 et 6.26 au § 6.6.2 de l'EC4-1.1 :

$$V_{Rd} = 2,5 \cdot A_{cv} \cdot \eta \cdot \tau_{Rd} + A_e \cdot f_{sk} / \gamma_s + V_{pd} \quad (6.25)$$

$$V_{Rd} = 0,2 \cdot A_{cv} \cdot \eta \cdot f_{ck} / \gamma_c \quad (6.26)$$

Ces deux formules se retrouvent dans les règles de calcul de poutres en béton armé avec dalle participante suivant l'Eurocode 2 [2] au § 4.3.2.5 (4). En béton armé, l'effort résistant au cisaillement donné par 6.25 est appelé V_{Rd3} . C'est l'effort tranchant de calcul pouvant être supporté par un élément avec armatures d'effort tranchant. La formule 6.26 donne un effort tranchant résistant appelé V_{Rd2} dans l'Eurocode 2 et défini comme l'effort tranchant de calcul maximal pouvant être supporté sans provoquer l'écrasement des bielles de béton armé.

Une explication élémentaire de l'origine de ces formules peut être utile pour les appliquer correctement dans différentes configurations de dalles.

Le béton n'ayant qu'une résistance très faible à la traction, on utilise en béton armé des modèles de distribution d'efforts en treillis. Au stade ultime, l'effort résistant au cisaillement longitudinal dans la dalle le long de la poutre peut être décomposé en bielles comprimées dans le béton, inclinées à 45° par rapport à l'axe de la poutre, et en efforts de traction repris par les armatures transversales disposées à 90°.

L'effort de traction dans les armatures $A_e \cdot f_{sk} / \gamma_s$ est affecté de $\text{tg}(45^\circ) = 1,00$ dans sa contribution longitudinale, qui s'ajoute à la capacité de résistance au cisaillement du béton armé le long de la poutre et à la contribution éventuelle d'un bac V_{pd} . La formule 6.25 exprime l'addition de ces résistances. Dans cette formule, τ_{Rd} représente la résistance au cisaillement du béton non armé; il est affecté d'un facteur majorant $k_T = 2,5$ pour tenir compte de la présence d'armatures de couture (voir à ce sujet par exemple le § 4.5.3.3 et le tableau 4.115 de l'Eurocode 2 Partie 1-3 [3]).

Une contribution de l'acier d'un bac de coffrage **transversal** (V_{pd}) est admise sous certaines conditions de continuité ou de soudure du bac. Toutefois, ces conditions sont rarement réunies pour toutes les solives d'un même groupe.

MIX-EC4 1-99

La résistance donnée par la formule **6.25** peut être augmentée en agissant sur l'aire de la section d'armatures transversales A_e . Cependant, en augmentant la section d'armatures, on agrandit le triangle des forces, et on augmente en conséquence la compression dans les bielles de béton à 45°.

La formule **6.26** traduit la limite supérieure de la résistance au cisaillement longitudinal liée à la résistance des bielles comprimées. Cette limite est déterminée par la composante de l'effort maximum de compression admissible dans les bielles à 45°, obtenue de la manière suivante :

- l'effort de compression agit sur une surface $A_{cv} \cdot \sin 45^\circ$ et vaut $(\eta \cdot f_{ck} / \gamma_c) \cdot (A_{cv} \cdot \sin 45^\circ)$
- sa composante horizontale est obtenue en le multipliant par $\cos 45^\circ$
- il faut encore affecter l'effort de compression admissible d'un « facteur d'efficacité » v qui tient compte de la présence de tractions transversales aux bielles.

Il est question de ce facteur v dans l'Eurocode 2 Partie 1-1 (§ 4.3.2.4.2. (3)) ou Partie 1-3 au même paragraphe. Sa valeur a été fixée sécuritairement à 0,4, d'où :

$$\sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ \cdot 0,4 = 0,2.$$

La procédure de calcul consiste à vérifier d'abord que la résistance ultime donnée par **6.26** est suffisante. Ensuite l'aire de la section d'armatures transversales est déterminée à l'aide de l'équation **6.25**, avec un ratio minimum de 0,2 % qui sera explicité plus loin.

Les deux formules **6.25** et **6.26** utilisent la même notation A_{cv} pour désigner l'aire de béton par unité de longueur de poutre de la surface de cisaillement considérée. A_{cv} peut cependant ne pas avoir la même valeur dans les deux formules, dans la mesure où les bielles de compression obliques ne peuvent se développer à travers les nervures du bac, ou à travers les joints transversaux secs des prédalles.

4,1. – Bacs avec nervures perpendiculaires à la poutre

Formule **6.25** : Pour les surfaces de cisaillement de type a-a ou e-e (voir figure **6.12** de l'EC4-1.1), A_{cv} est la section totale de béton cisailée, y compris le béton de remplissage des nervures.

Formule **6.26** : A_{cv} est égal à la longueur unitaire de poutre multipliée par la hauteur de béton au-dessus de la face supérieure des nervures.

4,2. – Bacs avec nervures parallèles à la poutre

A_{cv} a la même valeur dans **6.25** et dans **6.26**, et est égal à la longueur unitaire de poutre multipliée par la hauteur de béton au-dessus de la face supérieure des nervures.

4,3. – Prédalles en béton

La section totale de béton (longueur unitaire de poutre multipliée par l'épaisseur totale de la dalle finie) peut être mobilisée pour **6.25**.

Par contre, seule la hauteur de béton au-dessus du joint sec intervient dans le calcul de A_{cv} pour **6.26**.

5. - ARMATURES TRANSVERSALES

Le § 6.6.4 de l'EC4-1.1 impose une quantité minimale d'armatures transversales dans le béton de la dalle liaisonné à la poutre. L'aire de ces armatures doit atteindre au moins 0,2 % de l'aire longitudinale de béton de la dalle au-dessus de la poutrelle. La répartition longitudinale des barres devrait suivre la distribution des goujons connecteurs. Elle sera donc uniforme en pratique, les goujons étant aussi distribués de manière uniforme par travée.

Pour des dalles coulées sur bacs nervurés, l'aire de béton de référence est admise comme suit :

- a) si les nervures sont parallèles à la poutre, on ne prend en compte que l'aire du béton située au-dessus de la face supérieure des nervures et considérée dans le sens longitudinal (§ 6.6.4.2. (1)).
- b) si les nervures sont perpendiculaires à la poutre (cas de bacs en acier sur les solives) on prend en compte l'aire totale de béton dans le sens longitudinal, y compris l'aire de béton dans les nervures remplies (§ 6.6.4.2. (2)).

Dans cette dernière situation la section des tôles profilées peut être prise en compte à condition que ces tôles soient continues sur la semelle de la poutre. Il convient cependant de considérer cette possibilité avec prudence car les bacs sont forcément interrompus au droit de certaines solives, comme déjà mentionné plus haut à propos de V_{pd} .

En cas d'utilisation de prédalles, l'aire de la section longitudinale totale de béton est prise en compte, comme s'il s'agissait d'une dalle pleine coffrée. Les armatures inférieures de la dalle présentes dans les prédalles sont interrompues sur la poutre qui les supporte. Elles ne peuvent donc être portées en compte, à moins d'être liaisonnées entre elles au-dessus de la poutre avec des barres les chevauchant sur une longueur de recouvrement suffisante.

Dans la pratique, des armatures supérieures dans la dalle sont de toute façon imposées par les règles de béton armé pour résister au moment de flexion négatif et prévenir la fissuration au droit des poutres. Elles assurent différentes fonctions, qui ne conduisent toutefois pas à un cumul des aires nécessaires pour chacune prise individuellement (EC2-1.1 [2] § 4.3.2.5. (6)).

6. - SECTIONS METTANT EN ŒUVRE DES DALLES ALVÉOLÉES

Le chapitre 8 de l'EC4-1.1 autorise la réalisation de poutres mixtes dont la table de compression en béton comprend des dalles alvéolées. Ces dalles préfabriquées sont généralement en béton précontraint. La présence d'une couche de béton d'au moins 5 cm d'épaisseur ajoutée sur chantier est recommandable.

Jusqu'à des portées de poutres d'environ 7,50 mètres, les poutres métalliques peuvent être complètement intégrées dans l'épaisseur de plancher (poutres à talon mixtes).

L'Eurocode 4 ne donne pas beaucoup d'informations pour un calcul détaillé de poutres mixtes comprenant des dalles alvéolées. Il convient de déterminer les sections de béton mobilisables en utilisant les principes de base appliqués précédemment (figure 7).

MIX-EC4 1-99

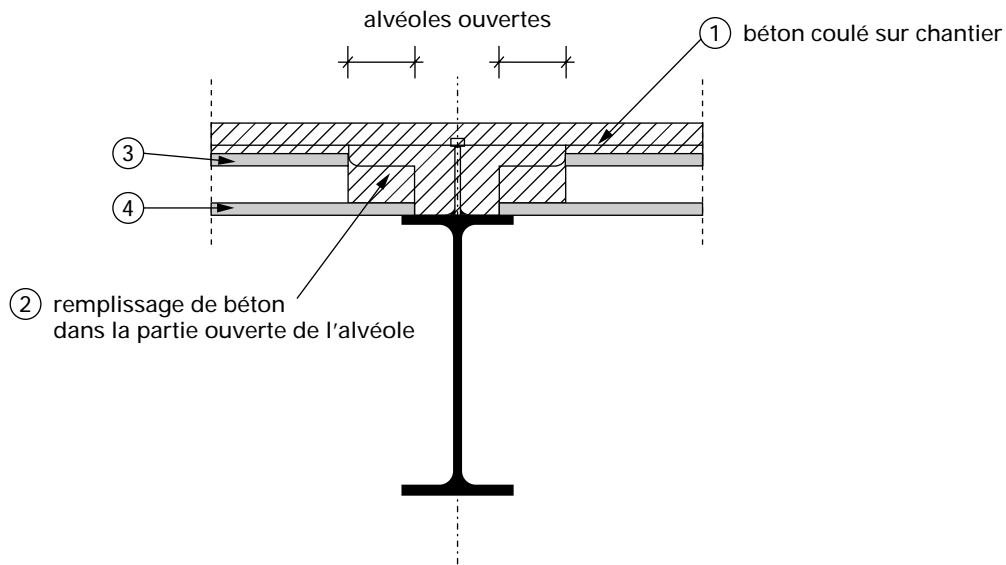


Fig. 7 - Dalles alvéolées

6.1. - Résistance ultime en flexion et calcul des flèches

Le béton additionnel coulé sur chantier est évidemment utilisable en résistance, pourvu qu'il soit de bonne qualité et de bonne mise en œuvre (fig. 7, repère 1).

La hauteur de béton correspondant aux alvéoles ne peut évidemment être prise en compte. Il est possible cependant de recevoir les dalles alvéolées avec le toit des alvéoles enlevé sur une certaine longueur à partir des extrémités. Dans ce cas, le béton de remplissage des alvéoles est mobilisable si **toutes** les alvéoles ont été ouvertes et remplies le long de la poutre métallique. Ce béton est à prendre en compte à concurrence de la plus petite longueur remplie (fig. 7, repère 2).

L'épaisseur de béton des éléments préfabriqués au-dessus des alvéoles (fig. 7, repère 3) peut généralement être mobilisée. La participation de la couche en dessous des alvéoles est plus douteuse, car elle dépend de la configuration des joints entre éléments voisins (fig. 7, repère 4 et fig. 8).

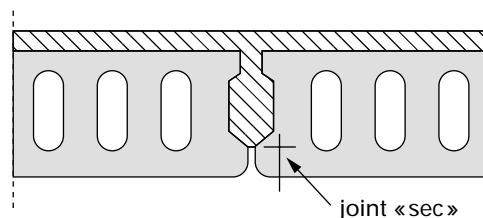


Fig. 8 - Joint transversal entre dalles alvéolées

Dans tous les cas, la hauteur effective des joints restant sèche, donc incapable de transmettre un effort de compression, ne peut être mobilisée dans les calculs. Suivant la position des axes neutres plastique ou élastique, il convient d'éliminer le béton fissuré des zones mobilisables.

6,2. – Cisaillement longitudinal

L'aire totale de béton cisailé le long de l'aile des poutres peut être portée en compte dans la formule 6.25 de l'EC4-1.1. Elle comprend l'aire de la section droite des dalles augmentée de l'aire longitudinale du béton additionnel.

Si toutes les alvéoles ont été ouvertes et remplies sur une certaine longueur, avec éventuellement des armatures dans le béton de remplissage, il est prudent de vérifier la formule 6.25 pour au moins deux sections longitudinales. La première se situe directement le long de la poutrelle, et l'autre juste après la partie des alvéoles qui a été remplie.

Les bielles de béton comprimées se développent de manière oblique par dessus les alvéoles. L'aire de béton A_{cv} à prendre en compte dans la formule 6.26 correspond donc à la couche de béton totale située au-dessus des alvéoles.

Notons encore que le béton des dalles alvéolées est d'une qualité généralement très supérieure au béton coulé sur chantier. L'aire A_{cv} des formules 6.25 et 6.26 sera éventuellement décomposée en deux zones ayant des caractéristiques mécaniques différentes.

6,3. – Armatures transversales

Les torons de précontrainte des dalles alvéolées ne peuvent pas être portés en compte comme armatures transversales, car ils ne sont pas continus sur la poutre. L'armature transversale minimale de 0,2 % se rapportera à l'aire totale de béton longitudinale, comprenant la section des dalles alvéolées et le béton ajouté par-dessus. Elle sera répartie de manière uniforme dans le béton additionnel, et éventuellement dans les joints entre dalles.

7. – SITUATION D'INCENDIE

L'Eurocode 4 dans sa partie 1-2 [4] propose dans ses Annexes D et E des méthodes simplifiées de calcul des moments ultimes pour différentes classes d'exigence en situation d'incendie. Ces méthodes concernent les poutres mixtes respectivement non enrobées et partiellement enrobées de béton.

La présence de nervures creuses à la face inférieure de la dalle augmente la pénétration thermique dans la masse de béton. L'échauffement interne à un moment donné d'un incendie est plus important que celui d'une dalle pleine de même épaisseur totale. Il est d'autant plus important que les nervures sont plus larges et plus ouvertes en face inférieure, tandis que les bacs à nervures de forme rentrante favorisent nettement moins l'échauffement dans la masse.

Pour les poutres non enrobées, l'Annexe D est assez explicite sur la manière de déterminer les champs de température compte tenu de la présence de nervures. La hauteur totale de la dalle est remplacée par une hauteur efficace définie au § 4.3.1.2 en fonction de la géométrie des nervures.

Pour les poutres avec enrobage partiel, la méthode proposée dans l'Annexe E élimine forfaitairement une couche de béton neutralisé par l'échauffement en face inférieure exposée de la dalle. L'épaisseur de cette couche est définie pour chaque classe de résistance au feu ISO. Elle passe de 10 mm pour une classe R30 à 55 mm pour une classe R180, pour une dalle d'épaisseur uniforme.

L'Annexe E (§ E.1. (2)) précise seulement que la zone de béton neutralisé pour le calcul d'un moment ultime à chaud doit être de hauteur au moins égale à celle des nervures (ou à celle du joint transversal sec) comme explicité au point 2 ci-dessus. Dans tous les

MIX-EC4 1-99

cas, l'aire de béton mobilisable sur la section droite ne peut à l'évidence pas être plus grande en situation d'incendie qu'en situation normale à froid.

Pour prendre en compte la présence des nervures on peut appliquer par exemple les règles qui suivent.

7,1. – Éléments disposés perpendiculairement aux solives

- pour les bacs à **nervures trapézoïdales ouvertes** il est prudent d'appliquer la réduction d'épaisseur $h_{c,fi}$ donnée par le **Tableau E.1** de l'EC4-1.2 à partir de la plage supérieure du profil des nervures (figure 9 a).
- pour les bacs profilés avec des **nervures rentrantes** la réduction d'épaisseur $h_{c,fi}$ est comptée à partir de la plage inférieure du profil. Si sa valeur est inférieure à la hauteur du profil, celle-ci se substitue à $h_{c,fi}$ (figure 9 b).
- pour des **prédalles disposées de solive à solive**, l'épaisseur de la prédalle est éliminée comme à froid. La couche neutralisée de hauteur $h_{c,fi}$ se situe dans la prédalle et ne dépasse généralement pas cette épaisseur (figure 9 c).

7,2. – Éléments disposés parallèlement aux solives

- pour les tôles trapézoïdales à **nervures ouvertes parallèles** à la poutre, il est raisonnable d'appliquer au moins la réduction d'épaisseur à partir de la ligne correspondant à la hauteur « efficace » h_{eff} de la dalle. La valeur de h_{eff} est définie au § 4.3.1.2 de l'EC4-1.2 (figure 9 d).
- pour les bacs profilés avec des **nervures rentrantes** la réduction d'épaisseur $h_{c,fi}$ est comptée à partir de la plage inférieure du bac.
- pour des prédalles disposées parallèlement aux poutres principales, une couche neutralisée d'épaisseur $h_{c,fi}$ comptée à partir de la face inférieure de dalle n'est pas mobilisable, comme pour une dalle pleine.

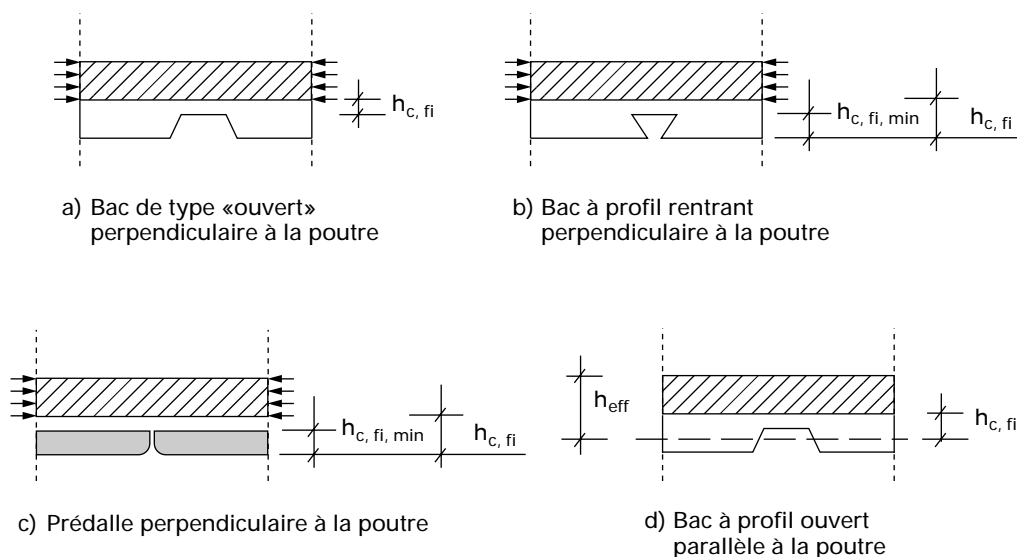


Fig. 9 – Calcul au feu

AIRES DE BÉTON À PRENDRE EN COMPTE

	Différents calculs	Dalle pleine (coffrée)	Dalle coulée sur prédalles préfabriquées	Dalle sur bacs acier transversaux	Dalle sur bacs acier parallèles
	b_{eff} = largeur participante h_c = hauteur totale de la dalle h_b = hauteur du bac ou de la prédalle h_c et h_b en mm aires en mm ²				
Résistance en flexion et calcul des flèches	Aire maximum mobilisable				
Cisaillement longitudinal	Aire A_{cv} dans la formule 6.25 (cisaillement technologique)	 $A_{cv} = 1000 \times h_c$	 $A_{cv} = 1000 \times h_c$	 $A_{cv} = \text{aire effective de béton, vides des nervures déduits}$	 $A_{cv} = 1000 (h_c - h_b)$
	Aire de béton de référence ($A_{béton}$) suivant § 6.6.4.1 et 2 pour déterminer l'aire minimale (0,2%) d'armatures transversales A_e (formule 6.25)	idem $A_{béton} = 1000 \times h_c$	idem $A_{béton} = 1000 \times h_c$	idem $A_{béton} = \text{aire totale du béton}$	idem $A_{béton} = 1000 (h_c - h_b)$
	Aire A_{cv} dans la formule 6.26 (bielles de compression)	idem $A_{cv} = 1000 \times h_c$	 $A_{cv} = 1000 (h_c - h_b)$	 $A_{cv} = 1000 (h_c - h_b)$	$A_{cv} = 1000 (h_c - h_b)$

8. - TABLEAU RÉCAPITULATIF (SITUATIONS COURANTES)

MIX-EC4 1-99

MIX-EC4 1-99**9. - RÉFÉRENCES**

- [1] ENV 1994-1-1 Eurocode 4 – Conception et dimensionnement des structures mixtes acier-béton et DAN - Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. – P22-391
- [2] ENV 1992-1-1 Eurocode 2 – Calcul des structures en béton et DAN – Partie 1-1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. – P18-711
- [3] ENV 1992-1-3 Eurocode 2 – Calcul des structures en béton – Partie 1-3 : Règles générales - Éléments et structures en béton préfabriqués.
- [4] ENV 1994-1-2 Eurocode 4 – Calcul des structures mixtes acier-béton et DAN – Partie 1-2 : Règles générales – Calcul du comportement au feu – P22-392.

12