



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral des routes OFROU

DIRECTIVE **DÉTAILS DE** **CONSTRUCTION DE PONTS**

CHAPITRE 3 EXTRÉMITÉS DE PONTS

Édition 2011 V1.10
ASTRA 12004

Impressum

Auteurs/groupe de travail

Manuel Alvarez	(OFROU, présidence dès juillet 2009)
Willi Schuler	(OFROU, présidence jusqu'en juin 2009)
Martin Käser	(Direction des travaux publics du Canton de Zurich)
Walter Kaufmann	(dsp Ingenieure & Planer AG, élaboration)
Stefan Kun	(OFROU)
Walter Waldis	(OFROU)

Ce document est composé de plusieurs parties publiées séparément :

Chapitre 0	Introduction
Chapitre 1	Appareils d'appui
Chapitre 2	Joint de chaussée
Chapitre 3	Extrémités de ponts
Chapitre 4	Bordure de ponts et terre-plein central
Chapitre 5	Etanchéités et revêtements
Chapitre 6	Evacuation des eaux
Chapitre 7	Conduites industrielles

Editeur

Office fédéral des routes OFROU
Division Réseaux routiers N
Standards et sécurité de l'infrastructure SSI
3003 Berne

Commande

Le document peut être téléchargé gratuitement sur le site www.astra.admin.ch.

© OFROU 2011

Reproduction autorisée avec citation de la source, sauf pour usage commercial.

Avant-propos

Le présent chapitre 3 « Extrémités de ponts » (édition de février 2011) remplace les anciens chapitres 3 « Transition entre le pont et la route » et 8 « Extrémités de ponts » de la directive « Détails de construction de ponts ». Le chapitre 3 n'avait jamais été révisé depuis la première publication de la directive en 1990, tandis que le chapitre 8 l'avait été en octobre 1996.

Suite à la parution des documents ci-après, il était devenu nécessaire de réviser les présentes prescriptions. A cette occasion, il s'est avéré judicieux de fusionner les deux anciens chapitres.

- Nouvelles normes SIA relatives aux structures porteuses (SIA 260 à SIA 267 ; 2003)
- Résultats du rapport de recherche AGB n° 629 « Ponts à culée intégrée – Rapport d'état de l'art » (juin 2008).

La présente révision du chapitre 3 correspond désormais à l'état actuel de la technique et s'adresse en premier lieu aux professionnels concepteurs de ponts. Il fournit les bases nécessaires au choix des appareils d'appui et des systèmes de dilatation ainsi que de la configuration technique des extrémités de ponts, éléments déterminants pour la durabilité d'un ouvrage d'art.

Les joints de chaussée, et dans une certaine mesure les appareils d'appui, sont en effet les points faibles d'un pont et sont, de plus, soumis à de fortes sollicitations et exposés aux influences de l'environnement. Leur entretien est souvent très coûteux et dans de nombreux cas, ils doivent être remplacés une ou plusieurs fois pendant la durée d'utilisation de l'ouvrage, pouvant ainsi occasionner d'importantes perturbations du trafic. Il est donc nécessaire de procéder dans chaque cas à un examen critique pour voir s'il n'est pas possible d'y renoncer lors de la construction de nouveaux ouvrages ou d'éviter de les remplacer lors de réfection.

Le chapitre 3 contient désormais des indications quant au comportement et à la planification de ponts intégraux et semi-intégraux. Dans la mesure où les connaissances en la matière ne sont pas encore généralisées dans la pratique, la présente directive apporte de nombreux détails, raison pour laquelle certains chapitres revêtent parfois le caractère d'un manuel didactique.

Le chapitre a été conçu par un groupe de travail sous la direction de l'OFROU auquel ont participé des représentants d'un service cantonal des ponts et chaussées ainsi que de bureaux d'études ; il a principalement été élaboré par Monsieur Walter Kaufmann, de Greifensee, mandaté à cet effet. Nous adressons nos cordiaux remerciements à toutes les personnes qui ont participé à cet excellent travail.

Office fédéral des routes

Rudolf Dieterle
Directeur

Table des matières

	Impressum	2
	Avant-propos	3
1	Introduction	7
1.1	But de la directive	7
1.2	Champ d'application	7
1.3	Destinataires	7
1.4	Entrée en vigueur et modifications	7
1.5	Autres dispositions applicables	7
1.6	Unités de longueur	7
1.7	Définitions	7
2	Éléments d'extrémité de pont	10
3	Considérations conceptuelles	12
3.1	Choix du concept d'appui et de dilatation	12
3.2	Particularités des ponts intégraux et semi-intégraux	13
4	Types d'exécution d'extrémités de pont	16
4.1	Types d'exécution	16
4.2	Choix du type d'exécution	21
5	Exécution des éléments d'extrémité de pont	26
5.1	Murs de culée et fondation	26
5.2	Murs d'aile	27
5.3	Entretoise d'extrémité	27
5.4	Dalle de transition	28
5.5	Appareils d'appui	32
5.6	Joint de chaussée	32
5.7	Chambre de visite	32
5.8	Remblayage et superstructure de la chaussée dans la zone du pont	33
5.9	Fondations des culées	34
5.10	Construction de transition	34
	Annexes	35
	Bibliographie	39
	Liste des modifications	41

1 Introduction

1.1 But de la directive

Le présent chapitre 3 « Extrémités de ponts » de la directive « 12004 Détails de construction de ponts » réunit des informations relatives à la fonction, à l'exécution et à la conception technique des extrémités de ponts, y compris la transition entre ponts et routes. Il remplace les chapitres 3 « Transition entre le pont et la route » et 8 « Extrémités de ponts » de la directive connus jusqu'à ce jour. Les appareils d'appui et les joints de chaussée sont traités aux chapitres 1 et 2. Les chapitres 6 « Assèchement » et 7 « Conduites industrielles » renseignent sur la position des conduites à proximité des extrémités de ponts.

Le présent chapitre contient les bases nécessaires à l'élaboration de projets d'extrémités de ponts; il permet en particulier de prendre les décisions suivantes:

- choix d'une conception optimale des appuis et du système de dilatation dans les nouvelles constructions;
- toutes les adaptations de cette conception lors des remises en état.

1.2 Champ d'application

Ce chapitre s'applique à la planification, à la réalisation et à l'entretien de ponts sur le réseau routier (co-)financé par la Confédération.

1.3 Destinataires

Le chapitre 3 « Extrémités de ponts » de la directive « 12004 Détails de construction de ponts » s'adresse en premier lieu aux spécialistes des projets, de l'exécution et de l'entretien de ponts, notamment aux spécialistes des ouvrages d'art et aux responsables de la maintenance de l'Office fédéral des routes, aux ingénieurs des services cantonaux des travaux publics et aux bureaux d'ingénieurs mandatés.

1.4 Entrée en vigueur et modifications

Le chapitre 3 « Extrémités de ponts » de la directive « 12004 Détails de construction de ponts (édition 2011) » entre en vigueur le 08.02.2011. La Liste des modifications figure à la page 41.

1.5 Autres dispositions applicables

Le présent chapitre est basé sur les directives générales de l'OFROU, en particulier [1]-[3], ainsi que sur les normes déterminantes, notamment les normes SIA relatives aux structures porteuses [6]-[11].

Les versions révisées des directives et des normes énumérées dans la bibliographie seront prises en considération par analogie lors de l'application du présent chapitre.

1.6 Unités de longueur

Dans le présent chapitre, les longueurs sont exprimées en [m] ou en [mm].

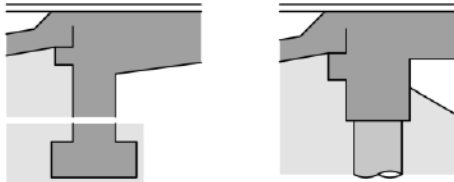
1.7 Définitions

Quelques-uns des termes utilisés dans le présent chapitre sont définis ci-après. Ils sont illustrés dans les fig. 1.1 et fig. 1.2.

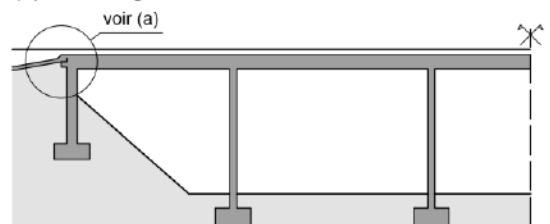
Les principaux éléments des extrémités de ponts sont décrits au chiffre 2.

- *Extrémité de pont*: ensemble des éléments qui assurent la transition entre un pont et une route.
- *Culée*: partie construite de l'extrémité du pont, en général réalisée en béton armé.
- *Extrémité de pont intégrale*: extrémité de pont sans joint de chaussée et sans appareil d'appui, voir fig. 1.1 (a). La superstructure du pont est liée à la culée de manière monolithique.
- *Extrémité de pont semi-intégrale*: extrémité de pont avec, soit un joint de chaussée, soit des appareils d'appui, voir fig. 1.1 (b). En général, extrémité de pont avec appareils d'appui, mais sans joint de chaussée.
- *Extrémité de pont permettant la dilatation*: extrémité de pont avec joint de chaussée et appareils d'appui, voir fig. 1.1 (c). La dilatation de la superstructure du pont est entièrement indépendante de la culée. Les déplacements horizontaux relatifs entre la superstructure du pont et la culée sont possibles pratiquement sans entrave.
- *Pont intégral*: pont avec extrémités de pont intégrales, superstructure monolithique et liaisons monolithiques avec tous les piliers, voir fig. 1.1 (d).
- *Pont semi-intégral*: pont avec superstructure monolithique, sans extrémité de pont permettant la dilatation, avec au moins une extrémité de pont semi-intégrale ou des appareils d'appui sur au moins un pilier, voir fig. 1.1 (e).
- *Pont avec joint(s)*: pont avec au moins une extrémité de pont permettant la dilatation ou pont avec une superstructure non monolithique.
- *Pont flottant*: pont avec joints, avec appareils d'appui mobiles longitudinalement sur les deux culées, avec au moins un pilier lié de façon non mobile longitudinalement (de manière monolithique ou par des appuis fixes) à la superstructure, voir fig. 1.1 (f).
- *Pont monolithique*: terme non utilisé dans le cadre du présent chapitre (la définition dépend fortement du jargon utilisé).

(a) Extrémités de pont intégrales



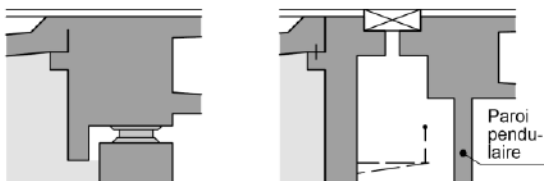
(d) Pont intégral



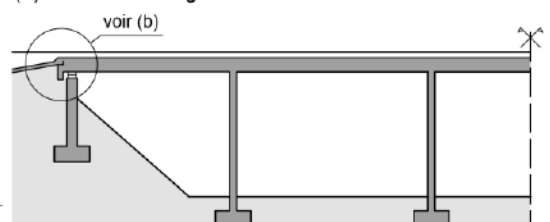
(b) Extrémités de pont semi-intégrales

Cas normal

Exception



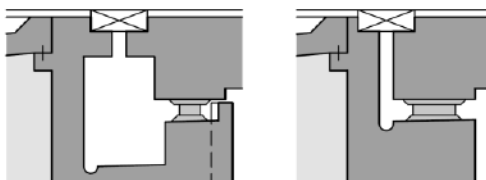
(e) Pont semi-intégral



(c) Extrémités de pont permettant les dilatations

Cas normal

Exception



(f) Pont flottant

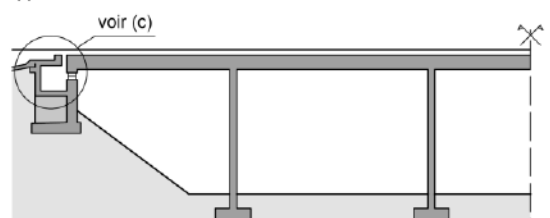


Fig. 1.1 Concepts d'appui et de dilatation.

- *Route à grand débit*: route définie comme telle au sens des normes SN 640 040 et SN 640 041.
- *Autres routes*: routes non considérées comme des routes à grand débit au sens des normes SN 640 040 et SN 640 041 (route principale, de liaison, collectrice ou de desserte).
- *Superstructure de la chaussée*: partie du corps de chaussée situé au-dessus de la plate-forme.
- *Infrastructure de la chaussée*: partie du corps de chaussée situé au-dessous de la plate-forme.
- *Corps de chaussée*: ensemble réunissant la superstructure et l'infrastructure d'une chaussée.
- *Remblayage*: matériau tout-venant déposé et compacté à l'extrémité du pont.
- *Dalle de transition*: élément disposé à l'extrémité du pont en vue de compenser les déplacements relatifs entre la culée et le corps de la chaussée.
- *Point fixe*: point qui ne subit aucun déplacement horizontal du fait de la déformation de la superstructure du pont; centre de mouvement des déformations de la superstructure.
- *Distance au point fixe*: distance entre une extrémité de pont et le point fixe.
- *Paroi pendulaire*: mur de culée flexible qui absorbe avec peu d'entraves les déplacements horizontaux de la superstructure du pont. En général, elle est reliée de manière monolithique à la superstructure et à la fondation; à titre exceptionnel, pour réduire davantage les efforts dus aux déformations imposées, elle peut être dotée d'articulations en béton.

Outre les exécutions des extrémités de ponts présentées à la fig. 1.1, d'autres solutions et combinaisons sont possibles, voir chiffre 4.1.

Les différents types de ponts, dont les dénominations varient parfois considérablement en fonction des usages linguistiques, se distinguent par leur concept d'appui et de dilatation. Les définitions et les dénominations expliquées plus haut sont appliquées dans le présent chapitre et récapitulées à la fig. 1.2. Il est à noter que quelques-unes des solutions indiquées ne sont pas souhaitées (articulations Gerber, joints sur piles) et ne sont nommées qu'à des fins d'exhaustivité.

Configuration de la super-structure et des piliers Configuration des extrémités de pont	Superstructure monolithique		Superstructure permettant la dilata-tion
	Piliers monolithiques ou pas de piliers	Pilier avec appuis ou articulation (en haut / en bas)	(Articulation Gerber, joint sur pilier, etc.)
Deux extrémités de pont intégrales	Pont intégral	Pont semi-intégral	
Une extrémité de pont semi-intégrale, l'autre intégrale ou semi-intégrale			
Au moins une extrémité de pont permettant la dilatation	Pont flottant ⁽¹⁾		Pont avec joint(s)

⁽¹⁾ Les deux extrémités de pont permettant la dilatation et posées sur des appuis mobiles longitudinalement.

Fig. 1.2 Dénomination des types de ponts.

2 Eléments d'extrémité de pont

Les principaux éléments d'une extrémité de pont sont illustrés à la fig. 2.1 pour le cas d'une extrémité de pont permettant la dilatation.

Il s'agit de:

- murs de culée
- fondation
- murs d'aile (*)
- entretoises d'extrémité (*)
- dalle de transition (*)
- chambre de visite (*)
- appareils d'appui (*)
- joint de chaussée (*)
- sol de fondation
- remblayage
- superstructure de la chaussée dans la zone de l'extrémité du pont

On ne trouve pas les éléments suivis d'un (*) dans tous les cas. On trouvera au chiffre 5 des indications détaillées sur les différents éléments.

En général, on dispose à l'extrémité d'un pont une dalle qui sert à compenser les déplacements relatifs entre la culée et le corps de chaussée adjacent. Cette dalle, appelée « dalle de transition », compense les déplacements relatifs verticaux ou horizontaux. Dans de nombreux cas, les deux phénomènes apparaissent simultanément, l'appellation "dalle de transition" s'applique par conséquent à tous les cas de figure.

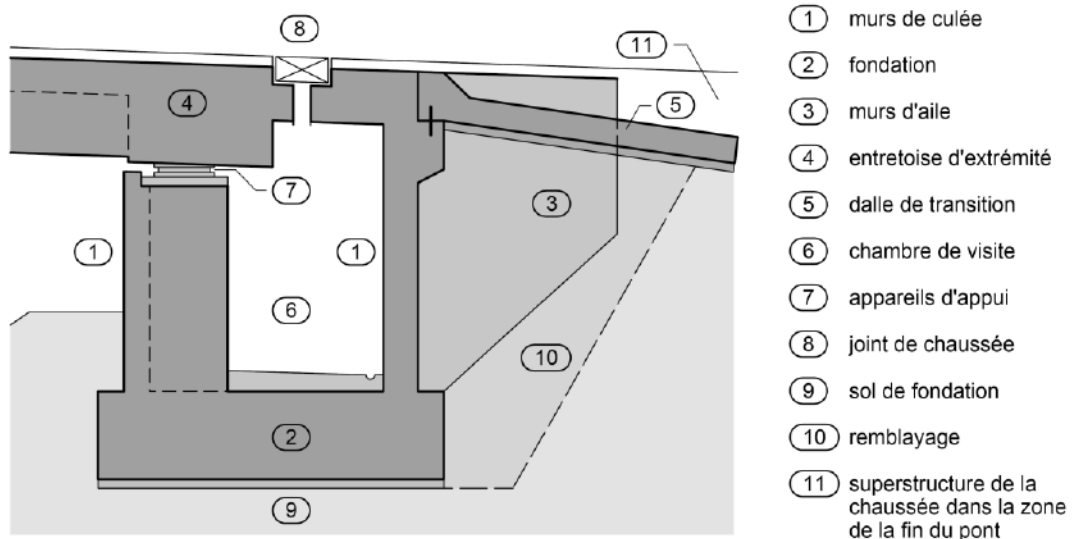


Fig. 2.1 Eléments d'extrémité de pont

L'extrémité de pont doit répondre aux exigences générales suivantes:

- sécurité structurale
- aptitude au service (sécurité pour les usagers, confort de roulement, limitation des déformations)
- durabilité
- rentabilité (coûts du cycle de vie)
- esthétique (intégration dans le site, aspect visuel)

Les différents éléments des extrémités de pont doivent remplir des fonctions spécifiques, dont les principales sont récapitulées à la fig. 2.2.

Fonctions \ Éléments	Culée					Equipe- ment		Corps de chaussée	
	Murs de culée, fondation	Murs d'aile	Entretoise d'extrémité	Dalle de transition	Chambre de visite	Appareils d'appui	Joint de chaussée	Remblayage	Superstructure de chaussée dans la zone du pont
Reprise des réactions verticales et horizontales du pont et leur transfert dans le sol de fondation	✓		✓			✓			
Absorption des actions provenant du corps de la chaussée (poussée des terres, tassements, eau d'infiltration)	✓	✓	(✓)	✓				(✓)	(✓)
Compensation des déplacements relatifs horizontaux entre le pont et le corps de la chaussée (en raison de la température, du retrait, du fluage, etc.)				✓		✓	✓	✓	✓
Compensation des déplacements relatifs verticaux entre le pont et le corps de la chaussée (en raison des tassements, etc.)				✓				✓	✓
Permettre les inspections et les travaux d'entretien (accès aux joints de chaussée, aux appareils d'appui et aux systèmes de dilatation des conduites industrielles et des conduites d'assèchement)					✓				
Maintien de la section (limitation des flèches (transversales) relatives entre l'extrémité de la superstructure et la culée, en particulier en présence de porte-à-faux)			✓						
Passage de conduites d'assèchement et de conduites industrielles (voir chapitres 6 et 7 de la présente directive)	✓		✓	(✓)	✓			✓	✓
Garantie de la sécurité contre la chute (séismes)	✓	(✓)	✓			(✓)		(✓)	

Fig. 2.2 Fonctions des éléments de l'extrémité de pont.

3 Considérations conceptuelles

3.1 Choix du concept d'appui et de dilatation

Le concept d'appui et le concept de dilatation d'un pont s'influencent mutuellement. Il faut donc les déterminer dans le cadre d'une analyse globale.

Le choix du concept d'appui et de dilatation et les détails de construction des extrémités de ponts ont une importance déterminante pour la durabilité d'un ouvrage. C'est donc au stade de la conception qu'il faut commencer à y réfléchir. Le concept d'appui et de dilatation, élément essentiel du concept de la structure, doit être retenu dès le début de la conception de l'ouvrage. Dans le choix du mode de fonctionnement et d'exécution des extrémités de ponts, on tiendra compte des remarques ci-après ainsi que des critères énoncés au chiffre 4.

Le concept d'appui et de dilatation doit être défini en tenant compte des propriétés du sol de fondation, des variations de longueur de la superstructure du pont dues aux fluctuations de la température, de la précontrainte, du fluage et du retrait du béton, ainsi que de l'amplitude des actions horizontales. Si, dans une structure porteuse, des réactions d'appui horizontales ou des déplacements de la superstructure sont prévisibles sous l'effet d'actions verticales (par exemple dans des ponts en arcs, des ponts à béquilles, des ponts cadres biais ou des structures porteuses comparables), il y a lieu de les prendre également en considération.

L'opportunité d'une extrémité de pont intégrale ou semi-intégrale doit être évaluée sur la base d'une analyse des coûts du cycle de vie. A cet effet, on tiendra compte des points suivants:

- Les joints de chaussée – et dans une moindre mesure les appareils d'appui – sont des points vulnérables de la construction des ponts. Les joints de chaussée nécessitent généralement un entretien plus élevé et ils doivent dans de nombreux cas être remplacés plusieurs fois au cours de la vie de l'ouvrage.
- Les coûts du cycle de vie des culées intégrales ou semi-intégrales dépendent en premier lieu de la dégradation tolérable du confort de roulement consécutive à des fissures du revêtement et à des tassements différentiels et du coût acceptable d'une éventuelle élimination des défauts. Les coûts correspondants dépendent en premier lieu du type de route (route à grand débit ou autre route).
- En général, les réparations du revêtement (colmatage des fissures, mise à niveau du revêtement) peuvent être planifiées à long terme, au contraire des réparations sur des joints de chaussée défectueux, qui peuvent nécessiter des interventions immédiates. Elles peuvent donc être exécutées par les services d'entretien durant les périodes creuses et/ou lorsque le trafic est plus faible.

Pour les nouvelles constructions, dans la mesure du possible, il faut concevoir la structure porteuse de manière à pouvoir renoncer aux joints de chaussée et aux appareils d'appui. Lors des remises en état, on vérifiera, dans le cadre du concept d'intervention, si une modification du concept d'appui et de dilatation est opportune ou non et, dans l'affirmative, si elle est réalisable à des coûts acceptables. Il est souvent possible, à la faveur d'une réparation, d'éliminer des appareils d'appui et des joints de chaussée en raison de la diminution des déformations de longue durée du béton, seules des déformations réduites des extrémités de ponts survenant encore par la suite. Cela rend également la construction coûteuse de nouvelles chambres de visite superflue.

Outre le mode de construction intégral, sans joints de chaussée, ni appareils d'appui, on peut aussi renoncer uniquement aux joints de chaussée. De telles culées semi-intégrales permettent (comparativement aux extrémités de pont intégrales) de réduire sensiblement les déformations imposées dans la superstructure et dans les culées. Elles offrent souvent des avantages, dans la mesure où les appareils d'appui sont généralement plus durables que les joints de chaussée et qu'ils peuvent être remplacés assez facilement, notamment

sans nécessiter de coûteuses interruptions de la circulation. Tant que l'accessibilité est garantie depuis l'avant de la culée pour l'inspection et le remplacement des appareils d'appui (tenir compte de la hauteur au-dessus du terrain), on peut, en outre, comme pour les ponts intégraux, renoncer à construire une chambre de visite.

Les extrémités de pont semi-intégrales qui ont un joint de chaussée mais pas d'appareils d'appui (voir fig. 1.1 (b) détail de droite), ne sont judicieuses que dans des cas exceptionnels, voir chiffre 4.1.

Dans certains cas, on peut envisager de réaliser une des extrémités de pont permettant la dilatation et l'autre de façon intégrale. Cette possibilité doit être examinée lors de remises en état de ponts dotés d'appuis fixes sur une des culées.

Sur les ponts avec joints, les appareils d'appui et les joints de chaussée doivent être disposés de manière à entraver le moins possible les variations de longueur de la superstructure. Il faut alors prévoir des réserves suffisantes pour assurer les déplacements, voir chapitres 1 et 2 de cette directive. En général, dans les ponts avec joints, le déplacement de l'extrémité de la superstructure, perpendiculairement à l'axe du pont, est entravé par des appareils d'appui guidés destinés à éliminer les déplacements transversaux du joint de chaussée. Sur les ponts à courbure et/ou à appuis biais, il en résulte des sollicitations dues aux déformations entravées consécutives aux variations de température et au retrait de la superstructure.

3.2 Particularités des ponts intégraux et semi-intégraux

3.2.1 Considérations fondamentales

Le comportement à la ruine et aux déformations des ponts intégraux et semi-intégraux présente différentes particularités [5] dont il faut tenir compte au stade de la conception de leurs structures porteuses, en particulier lors de la détermination du concept d'appui et de dilatation, respectivement lors du choix des fonctionnalités et de la construction des extrémités de pont.

Les déplacements de la superstructure, partiellement entravés par l'infrastructure, plus particulièrement par les extrémités de pont, génèrent des déformations imposées ou entravées dans la structure porteuse des ponts intégraux et semi-intégraux.

Pour les ponts intégraux et semi-intégraux, les extrémités de pont n'étant généralement pas totalement rigides, des déplacements relatifs entre elles et le corps de la chaussée se produisent également. Ces déplacements comportent une composante monotone due aux actions permanentes et une composante cyclique due aux actions variables.

Ces deux composantes génèrent des tassements dans la zone des extrémités de pont et peuvent provoquer des fissures du revêtement lorsque les déplacements ont une certaine amplitude. Le compactage ultérieur du remblayage et de la superstructure de la chaussée dans la zone des extrémités de pont, occasionné par les déplacements cycliques, provoque des tassements, mais aussi une poussée accrue des terres contre les murs de culée. L'augmentation de la poussée des terres due au compactage ultérieur doit être prise en compte dans le dimensionnement des murs de culée de ponts intégraux d'une certaine longueur (voir chiffre 5.1).

Les déplacements relatifs entre la culée et le corps de la chaussée doivent être limités afin de garantir l'aptitude du pont au service dans la zone de transition. Le critère déterminant pour établir l'opportunité d'un pont intégral ou semi-intégral est donc l'amplitude des déplacements relatifs horizontaux entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée. Dans la présente directive on admet comme base de comparaison le déplacement horizontal maximal résultant à l'extrémité du pont. Le chiffre 4 précise l'amplitude admissible de ce déplacement et renseigne sur la façon de construire des extrémités de pont intégrales et semi-intégrales.

Les efforts dus aux déformations entravées nécessitent dans certains cas une armature passive supplémentaire dans la superstructure et dans l'infrastructure. Elle permet de répondre aux exigences des normes relatives à la sécurité structurale – en tenant compte des efforts normaux dus aux déformations entravées (qui ne sont que partiellement neutralisées en cas de rupture par flexion de la superstructure) – et à l'aptitude au service.

3.2.2 Ponts rectilignes et ponts à légère courbure

En général, la rigidité de la superstructure d'un pont à l'effort normal est notablement plus grande que la rigidité de l'infrastructure. Les variations de longueur de la superstructure d'un pont rectiligne ou à légère courbure ne sont par conséquent que très peu entravées par l'infrastructure. Elles doivent donc être absorbées pratiquement entièrement aux extrémités du pont. En revanche, en raison de la déformabilité du remblayage et de la construction des culées, les efforts dus aux déformations entravées agissant dans la superstructure et dans les culées n'atteignent généralement qu'une fraction des valeurs théoriques de déformations complètement entravées par des extrémités de pont complètement rigides.

En général, la conception des extrémités de pont vise à entraver faiblement les déformations de la superstructure du pont. En présence de configurations rigides, p.ex. une culée basse sur un sol de fondation rigide, on recourra à des extrémités de pont semi-intégrales.

Dans les ponts semi-intégraux, les raccourcissements de la superstructure sont possibles pratiquement sans entraves, et les déplacements relatifs entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée sont limités à la zone supérieure de la culée (entretoise d'extrémité et dalle de transition), ce qui atténue, comparativement aux ponts intégraux, le problème du compactage ultérieur à l'arrière des culées (poussée des terres, tassements).

3.2.3 Ponts à courbure prononcée

Les entraves dues aux extrémités de ponts génèrent essentiellement des efforts normaux dans les ponts intégraux rectilignes ou à légère courbure. Dans les ponts à courbure prononcée, il résulte également des moments de flexion transversaux (moments de flexion autour d'un axe vertical), voir fig. 3.1. Aux moments de flexion transversaux correspondent des déplacements transversaux horizontaux de la superstructure, qui provoquent des modifications de l'angle d'ouverture et du rayon de courbure de l'axe du pont. La superstructure s'écarte ainsi des déformations imposées ou entravées ce qui réduit fortement, lorsque les conditions de rigidité sont favorables, les efforts normaux dus aux déformations entravées.

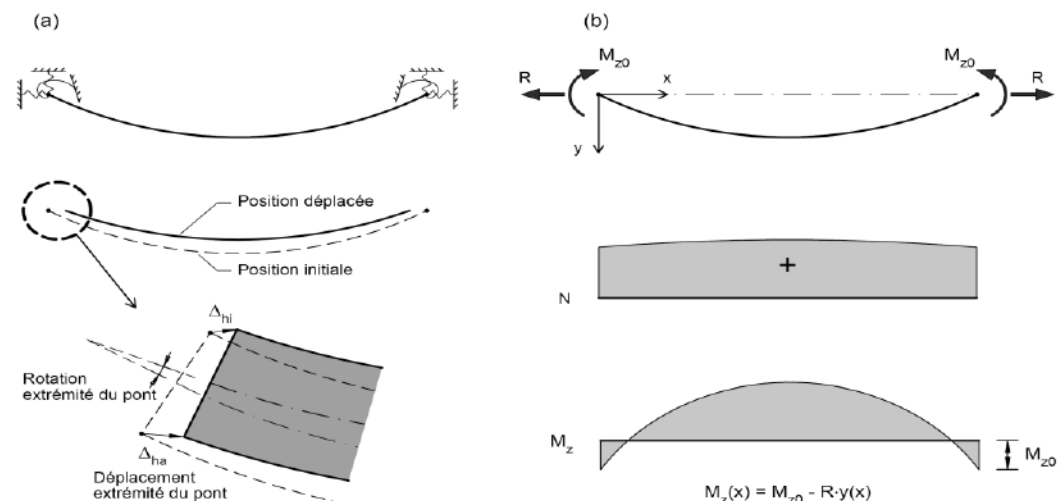


Fig. 3.1 Comportement de ponts intégraux à courbure (représentation schématique, sans influence des piliers): (a) déformations; (b) réactions et efforts intérieurs.

La géométrie et la rigidité relative des éléments des ponts intégraux et semi-intégraux à courbure prononcée sont déterminantes pour leur comportement à la ruine et aux déformations. Ces deux propriétés sont caractérisées essentiellement par les paramètres suivants:

- angle d'ouverture du pont dans le plan horizontal (rapport longueur/rayon de courbure ou, pour les piliers rigides transversalement, rapport portée/rayon de courbure)
- rigidité flexionnelle transversale de la superstructure (rigidité autour de l'axe vertical)
- élanement transversal du pont (rapport longueur/rigidité flexionnelle transversale)
- rigidité de la superstructure à l'effort normal
- rigidité des piliers avec leur fondation (longitudinalement et, en particulier, transversalement)
- rigidité des culées avec leur fondation (longitudinalement et transversalement, rotation autour de l'axe vertical)
- rigidité du sol de fondation

Lorsque la courbure est suffisamment prononcée et que la rigidité est faible, on tend généralement à construire des extrémités de pont intégrales aussi rigides que possible. En comparaison avec les ponts rectilignes, il en résulte des déplacements sensiblement moindres des extrémités de pont, et les efforts normaux dus aux déformations imposées ou entravées sont sensiblement plus faibles dans la superstructure. Dans de telles conditions, les ponts à courbure très prononcée peuvent donc être conçus comme ponts intégraux avec des longueurs sensiblement plus grandes que celles des ponts rectilignes.

A noter qu'aux extrémités des ponts, outre les déplacements horizontaux longitudinaux et transversaux, des rotations autour de l'axe vertical apparaissent également, voir fig. 3.1 (a). Le déplacement horizontal maximal de l'extrémité du pont Δ_h (somme vectorielle maximale des déplacements longitudinaux et transversaux) ne se situe pas dans l'axe, mais en rive du pont.

Lorsque la courbure n'est pas suffisamment marquée, ou lorsque les caractéristiques de rigidité sont défavorables, le coût de réalisation de culées rigides, dans le but de limiter les déplacements horizontaux maximaux des extrémités à la valeur admissible, peut être considérable. Par conséquent, il faut évaluer, lors de la conception déjà, s'il est possible de construire des culées suffisamment rigides à un coût acceptable.

Habituellement, la rigidité de l'infrastructure est principalement influencée par la rigidité du sol de fondation, laquelle est donc d'une importance capitale pour le comportement des ponts intégraux à courbure prononcée.

3.2.4 Ponts biais

Le biais amplifie la rigidité effective des culées intégrales, ce qui complique la conception des extrémités du pont pour minimiser l'entrave aux déformations.

Dans les extrémités des ponts cadres biais, les actions verticales créent également des déplacements horizontaux longitudinaux et transversaux ainsi que des rotations autour de l'axe vertical. Comme pour les ponts à courbure prononcée, les déplacements horizontaux maximaux Δ_h se situent en bordure de dalle et doivent être déterminés en tenant compte de l'effet de cadre.

4 Types d'exécution d'extrémités de pont

4.1 Types d'exécution

Cette section décrit différents types d'exécution des extrémités de ponts. Lors du choix concret du type d'exécution, il y a lieu d'observer les explications présentées au chiffre 3 ainsi que les critères du chiffre 4.2.

On distingue les types d'exécution suivants (voir fig. 4.1):

- extrémité de pont intégrale pour ponts rectilignes ou à courbure légère (types I1 à I4, sans joint de chaussée ni appareil d'appui, conception déformable)
- extrémité de pont intégrale pour ponts à courbure prononcée (type I5, sans joint de chaussée ni appareil d'appui, conception rigide)
- extrémité de pont semi-intégrale (type S1, avec appareils d'appui, mais sans joint de chaussée (cas normal); type S2, sans appareils d'appui, mais avec joint de chaussée (exception))
- extrémité de pont permettant la dilatation (type D, avec joint de chaussée et appareils d'appui)

Types	Caractéristiques					Application / remarques
		Superstructure de la chaussée recou-	Dalle de transition	Joint de chaussée	Appareils d'appui	
Intégral déformable fig. 4.2-Fig. 4.4 (ponts rectilignes, structures porteuses à cadre)	Type I1	non	non	non	non	Ponts courts avec culées basses; dans le cas des routes à grand débit, seulement avec mesures / preuve des tassements
	Type I2	oui	non	non	non	Ponts courts avec culées basses; dans le cas des routes à grand débit, seulement avec mesures / preuve des tassements
	Type I3	non	oui	non	non	Cas normal pour ponts intégraux rectilignes
	Type I4	oui	oui	non	non	Ponts courts
Intégral rigide fig. 4.5 (ponts à courbure)	Type I5	non	oui	non	non	Ponts à courbure prononcée dans le plan horizontal avec culées rigides
Semi-intégral S1: fig. 4.6 S2: fig. 1.1 (b) partie droite	Type S1	non	oui	non	oui	Ponts avec culées basses et/ou sol de fondation rigide
	Type S2	non	oui	oui	non	Rarement appliqué (p.ex. en présence de réactions de soulèvement)
Permettant la dilatation Fig. 4.7	Type D	non	oui	oui	oui	Ponts longs

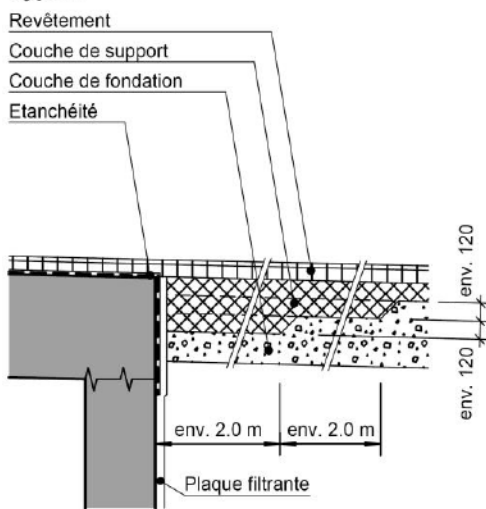
Fig. 4.1 Tableau synoptique des types d'exécution d'extrémités de pont.

La présente directive décrit les types d'exécution d'extrémités de ponts en béton et en béton précontraint. En raison des impératifs de fabrication et de montage, les ponts en construction mixte acier-béton sont généralement réalisés avec des extrémités de pont permettant la dilatation. Les détails d'exécution des ponts en béton sont applicables par analogie. Si l'extrémité de la superstructure d'un pont en construction mixte acier-béton est exécutée en béton, les types d'exécution intégrale sont possibles comme dans le cas des ponts en béton.

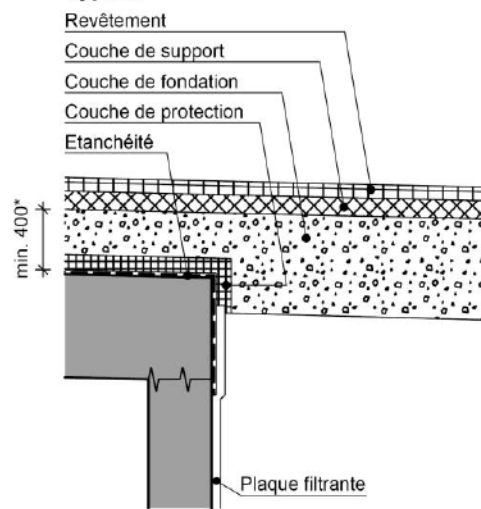
Le chapitre 4.2 explique de manière plus détaillée la marche à suivre dans le choix du type d'exécution. Des indications relatives aux détails de construction du raccord de la dalle de transition à l'extrémité du pont figurent au chapitre 5.4. Les différents types d'exécution sont décrits plus en détail ci-après.

La fig. 4.2 décrit les extrémités de pont intégrales des types I1 à I4. Elles se distinguent par la superstructure recouvrant l'ouvrage ou non et la présence ou non d'une dalle de transition.

Type I1

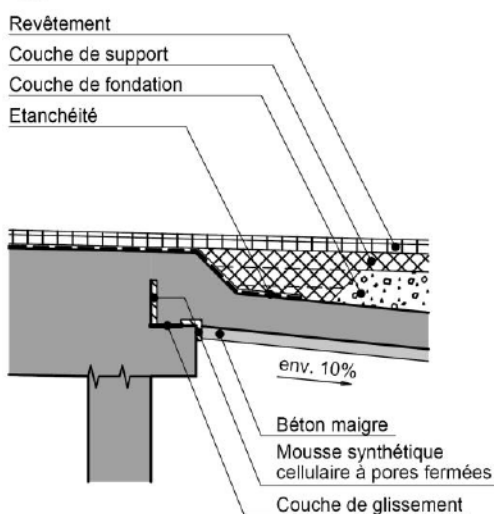


Type I2



* Si la couche de fondation a une épaisseur < 400 mm il y a lieu d'examiner la nécessité de mesures dans la transition pont-route.

Type I3



Type I4

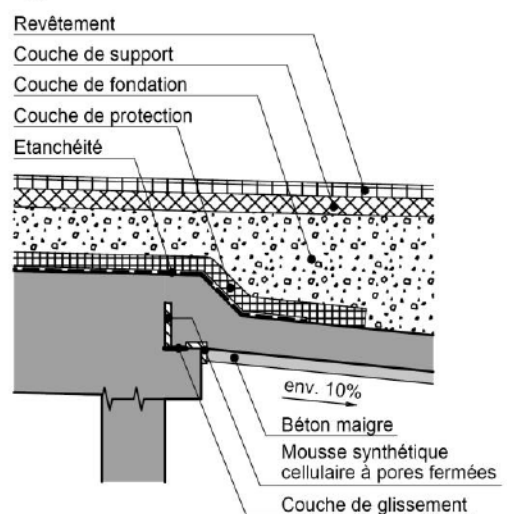


Fig. 4.2 Types d'exécution I1 à I4 pour extrémités de pont intégrales.

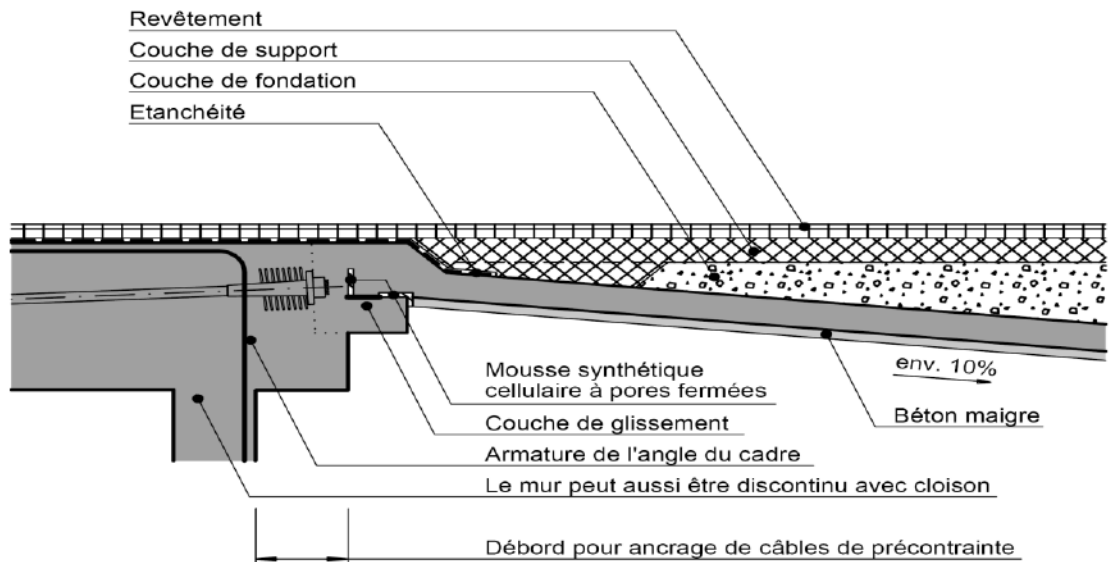


Fig. 4.3 Type d'exécution I3, exécution pour une superstructure précontrainte.

Les extrémités de pont intégrales doivent être adaptées aux conditions comme le montre le type d'exécution I3 de la fig. 4.3 pour les ponts avec superstructure précontrainte, et la fig. 4.4 pour les culées basses avec fondation sur pieux.

Les extrémités de pont intégrales des types I1 à I4 sont adaptées en premier lieu pour les ponts rectilignes ou à légère courbure. En général, les culées ou les murs de culée des ponts relativement courts sont plutôt rigides (p.ex. ponts cadres à armature passive); ils sont en revanche aussi déformables que possible pour les ponts plutôt longs (voir chiffre 3.2.2). L'influence des murs d'aile, des cloisons et autres éléments, non représentés dans les figures, sur la rigidité des culées ne doit pas être oubliée.

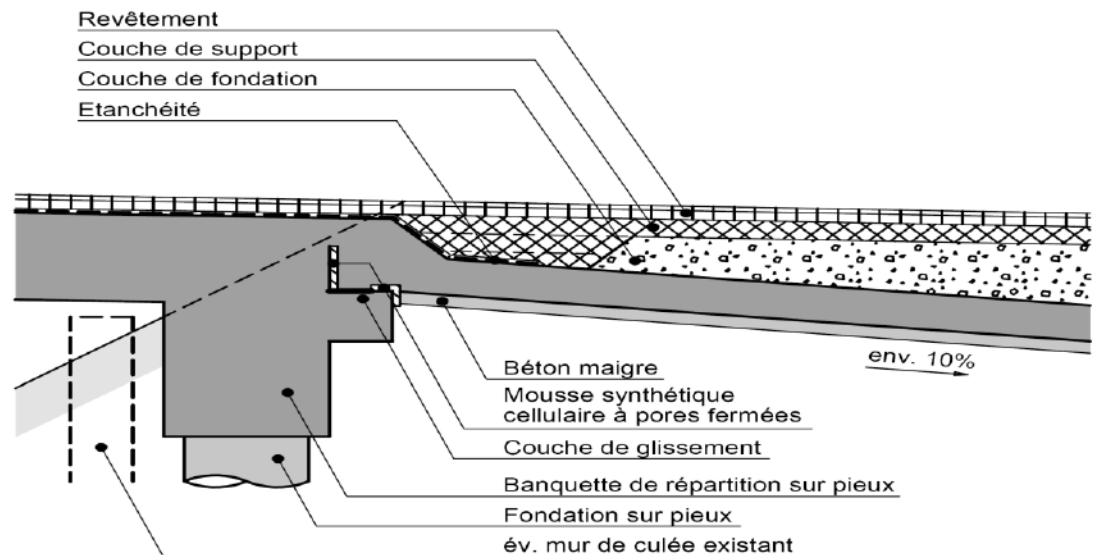


Fig. 4.4 Type d'exécution I3, exécution avec banquettes de répartition sur pieux

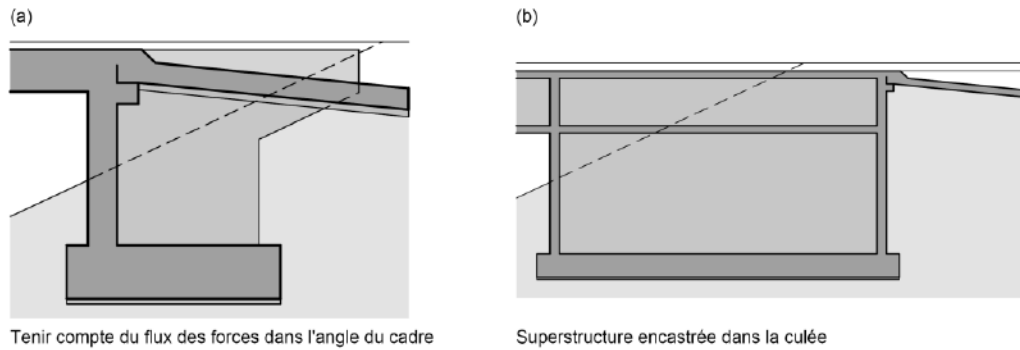


Fig. 4.5 Type d'exécution I5 pour ponts intégraux à courbure prononcée (deux variantes).

Dans le cas des ponts intégraux à courbure prononcée, il est généralement judicieux de construire des extrémités de pont aussi rigides que possible (voir chiffre 3.2.3). La fig. 4.5 illustre deux variantes d'exécution correspondant au type d'exécution I5. Concrètement, l'exécution doit tenir compte de la nécessité d'entraver les degrés de liberté de l'extrémité du pont. La variante présentée à droite garantit, en plus de l'entrave des déplacements horizontaux longitudinaux et transversaux, un blocage des rotations autour de l'axe vertical. De plus, elle assure un encastrement de la superstructure dans la culée, ce qui permet de plus grandes portées de rive.

La fig. 4.6 représente une extrémité de pont semi-intégrale de type S1 (avec appareils d'appui, mais sans joint de chaussée), particulièrement adaptée aux culées basses.

Dans ce type d'exécution, il importe d'être attentif aux raccords latéraux des entretoises d'extrémité et de la cloison aux murs d'aile: afin que les déplacements de la superstructure soient entravés le moins possible et que de la terre ne puisse y pénétrer, il est nécessaire de combler les espaces intermédiaires au moyen de matériaux appropriés (p.ex. plaques de mousse).

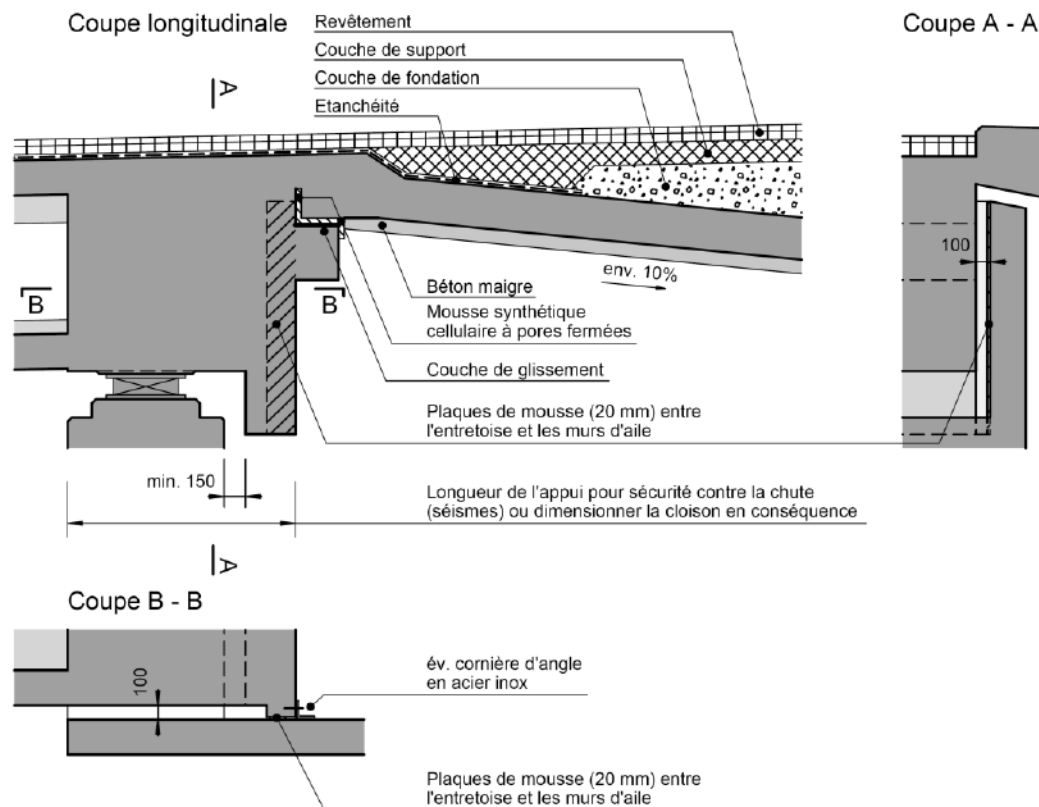


Fig. 4.6 Type d'exécution S1 (extrémité de pont semi-intégrale avec appareils d'appui, mais sans joint de chaussée).

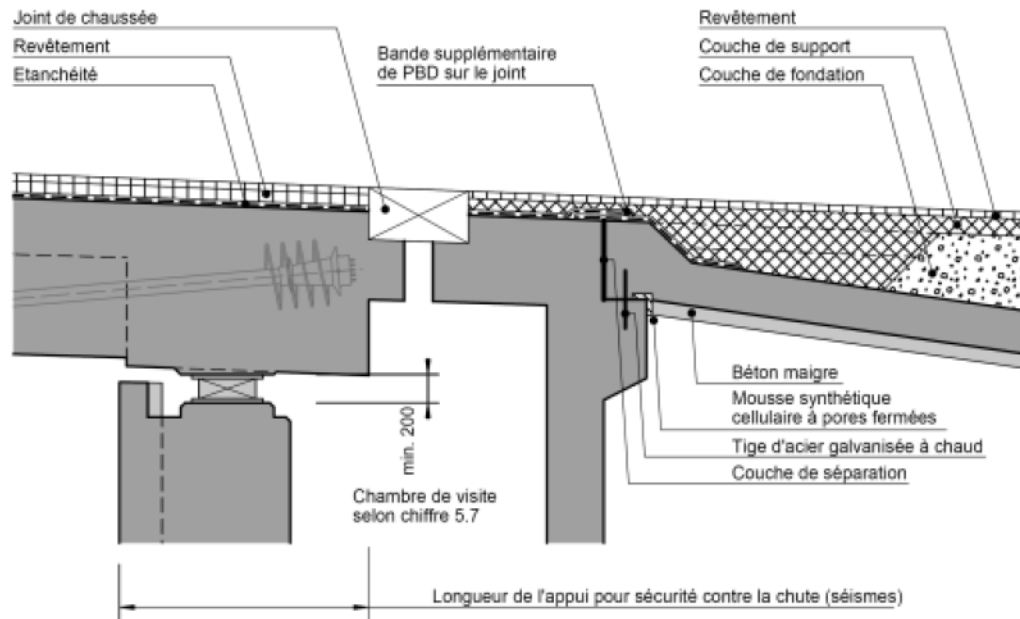


Fig. 4.7 Type d'exécution D (extrémité de pont permettant la dilatation).

Dans le cas des ponts longs avec de grands déplacements horizontaux de la superstructure, les extrémités de pont permettant la dilatation sont inévitables. Le type d'exécution D correspondant est représenté à la fig. 4.7.

Outre les modèles schématisés aux fig. 4.2 à fig. 4.7, dans des cas exceptionnels d'autres solutions peuvent être envisagées. En voici quelques exemples :

- extrémité de pont intégrale avec paroi pendulaire (mur de culée flexible): application pour des culées de ponts longs avec réactions de soulèvement (inconvenient: vide inaccessible derrière la paroi pendulaire) ;
- extrémité de pont semi-intégrale avec paroi pendulaire (type S2, fig. 1.1 (b) à droite): application pour des culées de ponts longs avec réactions de soulèvement ;
- extrémité de pont permettant la dilatation, sans chambre de visite (fig. 1.1 (c) à droite): application lorsque la place est restreinte ou lors de remises en état (voir chiffre 5.7.1).

L'opportunité de ces solutions exceptionnelles doit, dans chaque cas, être analysée à l'aide d'une étude de variantes.

4.2 Choix du type d'exécution

4.2.1 Critères

Les considérations de base selon le chiffre 3 sont applicables.

L'ampleur du déplacement horizontal relatif Δ_h entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée est déterminante dans le choix du type d'exécution, pour autant que des efforts dus aux déformations entravées soient admis dans la structure. Le déplacement relatif est surtout influencé par les paramètres suivants :

- géométrie dans le plan horizontal (courbure ou angle d'ouverture, biais)
- distance au point fixe (distance entre l'extrémité de pont et le point fixe)
- structure porteuse (y a-t-il des déplacements horizontaux de la superstructure et/ou des réactions d'appui dus à des actions verticales?)
- genre de construction de la superstructure (béton armé, béton précontraint, construction mixte acier-béton, etc.)
- type d'exécution et rigidité de la culée
- rigidité du sol de fondation
- mode de construction (parts résiduelles du raccourcissement dû à la précontrainte, au retrait et au fluage)
- rigidité flexionnelle transversale (pour les ponts à courbure prononcée)

Pour les configurations intégrale ou semi-intégrale, l'ampleur admissible des déplacements des extrémités d'un pont doit être convenue avec le maître d'œuvre, et consignée dans la convention d'utilisation. Sans considération plus précise des coûts du cycle de vie, on peut admettre que des extrémités de pont intégrales ou semi-intégrales sont judicieuses lorsque le déplacement relatif horizontal effectif Δ_h à l'extrémité du pont respecte les valeurs indicatives $\Delta_{h,adm}$ selon fig. 4.8.

Pour les ponts très sensibles aux efforts (normaux) dus aux déformations entravées, il est nécessaire qu'une extrémité de pont au moins permette la dilatation; par exemple à l'occasion d'une réparation d'un pont avec joints comportant des éléments fragiles (superstructure à forte précontrainte, fondation sur pieux avec armature d'effort tranchant insuffisante, etc.).

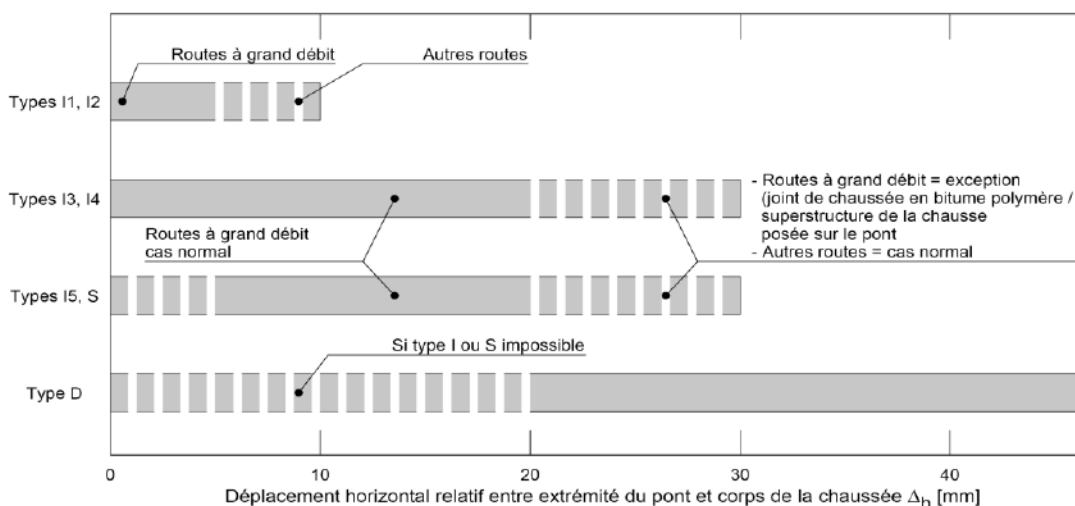


Fig. 4.8 Champs d'application des types d'exécution de l'extrémité du pont (valeurs indicatives du déplacement relatif admissible $\Delta_{h,adm}$ à l'extrémité du pont).

Si de grands tassements différentiels entre les piliers et les culées sont prévus et que des mesures de compensation ne sont pas possibles sur les piliers, on peut opter pour une extrémité de pont semi-intégrale ou permettant les dilatations (type d'exécution S1 ou D) avec la possibilité d'ajuster les appareils d'appui ou plaques de calage, voir chiffre 0.

Quant à savoir s'il est possible d'utiliser un joint de chaussée en bitume polymère (voir fig. 5.2 (b)) ou d'admettre des déplacements plus grands en raison du caractère secondaire de la route, il faut en convenir avec le maître d'œuvre et consigner la décision dans la convention d'utilisation.

4.2.2 Démarche générale

La marche à suivre pour choisir le type d'exécution dans les cas usuels est schématisée à la fig. 4.9. Les différents aspects de cette démarche sont exposés ci-après.

Pour décider si le recours à une extrémité de pont intégrale ou semi-intégrale est possible, il faut déterminer le déplacement horizontal relatif effectif Δ_h à l'extrémité du pont (somme vectorielle maximale des déplacements longitudinaux et transversaux dans les limites de la largeur de la chaussée, voir fig. 3.1 (a)), puis la comparer avec les valeurs admissibles $\Delta_{h,adm}$ selon la fig. 4.8 (sauf si une extrémité de pont intégrale ou semi-intégrale est exclue a priori, voir chiffre 4.2.1).

La valeur déterminante de Δ_h est la plus grande des valeurs suivantes :

- déplacement relatif monotone à partir du moment de la pose de la superstructure de la chaussée et du revêtement, pour cas de charge rares selon SIA 260 [6], consécutif :
 - aux variations de longueur (raccourcissements) de la superstructure (en raison des variations de la température, de la précontrainte, du fluage, du retrait)
 - aux déplacements horizontaux de la superstructure (en raison d'actions horizontales et verticales)
- amplitude du déplacement relatif cyclique (différence entre déplacement maximal et minimal), pour cas de charge fréquents selon SIA 260 [6], consécutif :
 - aux variations de longueur de la superstructure (amplitude due à l'écart de température $\Delta T = T_{max} - T_{min}$)
 - aux déplacements horizontaux de la superstructure (amplitude due à des actions horizontales et verticales variables)

Dans le calcul du déplacement relatif cyclique, on peut généralement négliger les déplacements dus aux actions horizontales variables. Les forces dues au démarrage et au freinage ne sont en effet que rarement d'une valeur déterminante pour ce déplacement. L'amplitude déterminante correspond ainsi en bonne approximation au déplacement de l'extrémité du pont résultant de la différence de température ΔT . Font exception les structures porteuses dans lesquelles surviennent des déplacements horizontaux déterminants de la superstructure du pont en raison des actions verticales variables.

La précontrainte, le fluage et le retrait sont à considérer comme des actions permanentes. Les propriétés des matériaux de construction (coefficient de dilatation thermique, module d'élasticité, coefficient de fluage, retrait spécifique) peuvent être appliquées avec leurs valeurs caractéristiques. Les variations de température seront appliquées selon le tableau 6 de SIA 261 [7] (sans majoration selon le chapitre 1 de la présente directive et sans augmentation selon le chiffre 7.2.6 de SIA 261 [7]). La température lors de la pose de la superstructure de la chaussée et du revêtement doit être admise avec prudence (sans connaissance précise des données du moment, on admettra un intervalle de température correspondant à la température annuelle moyenne $\pm 10^\circ\text{C}$).

Les déplacements effectifs des extrémités du pont doivent en principe être déterminés en tenant compte de la rigidité de l'infrastructure (culée, piliers, sol de fondation). On effectuera, à cet effet, une analyse quantitative basée sur un choix réaliste des paramètres déterminants, permettant en particulier d'évaluer la fissuration des piliers et des culées. L'interaction de l'ouvrage sur le sol de fondation sera modélisée à l'aide des méthodes géotechniques reconnues sur la base des propriétés effectives du sol.

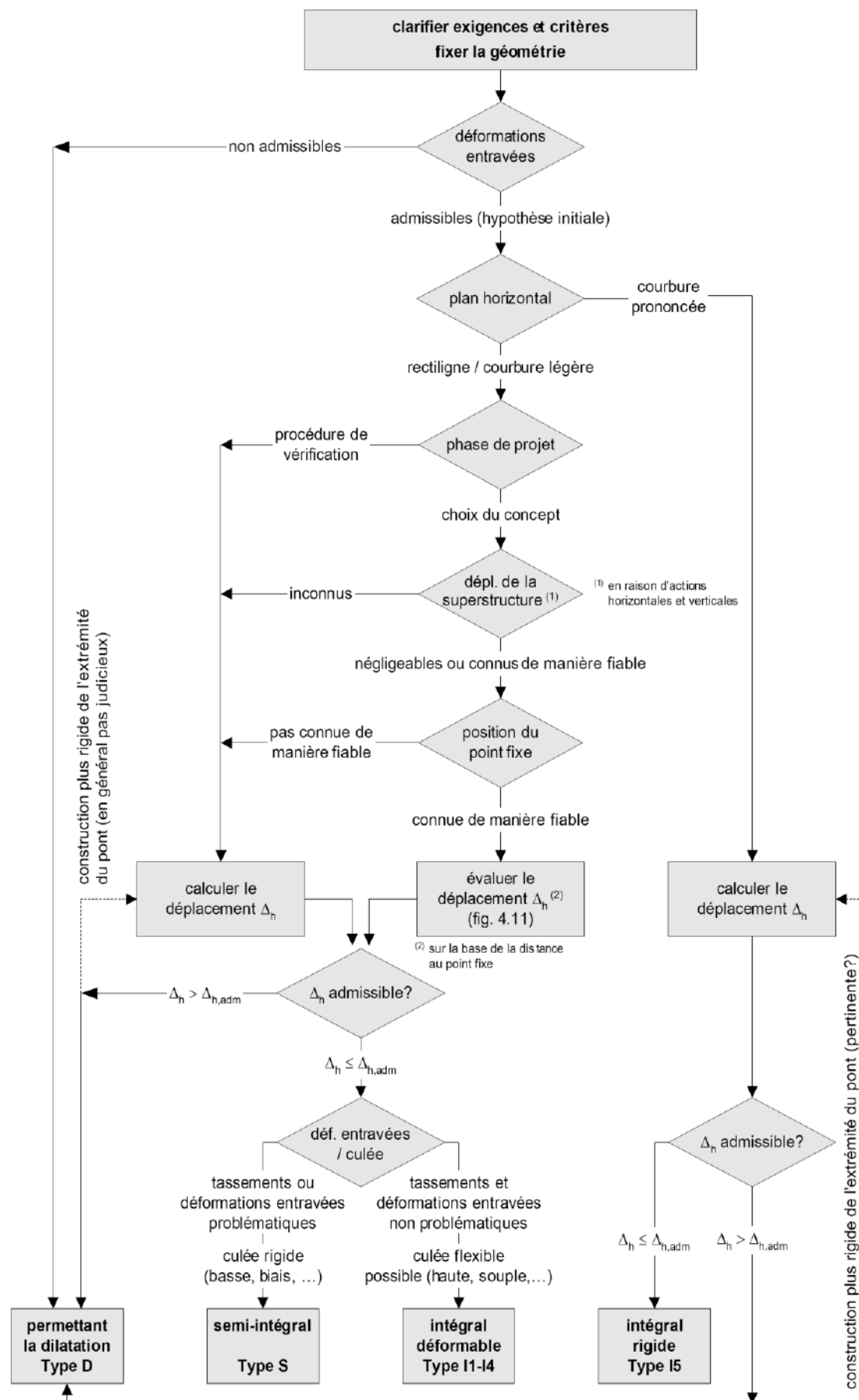


Fig. 4.9 Marche à suivre pour choisir le type d'exécution des extrémités de pont (schématique).

Quant à la rigidité du sol de fondation, les incertitudes et la variabilité de sa valeur nécessitent généralement une analyse de sensibilité fondée sur des valeurs probables prudentes selon SIA 260 [6], chiffre 3.3.3.5. Cela permet également de tenir compte de l'influence d'imprécisions dans le modèle de sol de fondation et dans la dispersion des propriétés de celui-ci à l'emplacement du point fixe, voir fig. 4.10. Le dimensionnement des fondations doit être basé sur les sollicitations résultant de ces considérations.

Pour déterminer les déplacements des extrémités d'un pont intégral, il faut connaître la rigidité de ses extrémités. Il faut, par conséquent, formuler au préalable une hypothèse quant à la conception de ses extrémités. S'il en résulte des déplacements de ses extrémités d'une ampleur non admissible, on peut opter pour une conception plus rigide des extrémités de pont dans la mesure où cela n'induit pas des coûts disproportionnés. En général, ce n'est pas le cas pour les ponts rectilignes car les déplacements de la superstructure ne peuvent être réduits que dans une faible mesure même par des culées très rigides (voir chiffre 3.2.2).

Si les conditions permettant une exécution intégrale ou semi-intégrale de l'extrémité de pont sont remplies pour des ponts rectilignes, le choix du type d'exécution (I ou S) dépend en premier lieu du caractère problématique des déformations imposées dans la superstructure et dans la construction des culées et de la possibilité de concevoir des culées déformables. Dans le cas de culées rigides (faible hauteur, sol de fondation rigide, appui biais), les extrémités de pont semi-intégrales sont souvent plus appropriées. Les solutions semi-intégrales peuvent aussi être avantageuses lorsqu'on prévoit des tassements différentiels importants entre les piliers et les culées (voir chiffre 0).

La faisabilité des extrémités de ponts sans dalle de transition (type d'exécution I1 ou I2) dépend en premier lieu des exigences relatives au confort de roulement et à l'ampleur du déplacement relatif vertical entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée. On trouvera de plus amples informations sur cette question au chiffre 5.4.1.

Pour des ponts courts, il est souvent judicieux de recouvrir l'ouvrage par la superstructure de la chaussée (type d'exécution I2 ou I4). Le drainage de la route, les conduites industrielles et le revêtement peuvent alors traverser l'ouvrage sans ajustements. En présence de portées relativement grandes, de telles solutions ne sont pas rentables en raison du poids propres élevés des éléments non porteurs. Il est donc rarement judicieux d'appliquer la valeur admissible majorée $\Delta_{h,adm} = 30 \text{ mm}$ dans le type d'exécution I4 (p.ex. pour des ponts relativement longs avec plusieurs portées courtes).

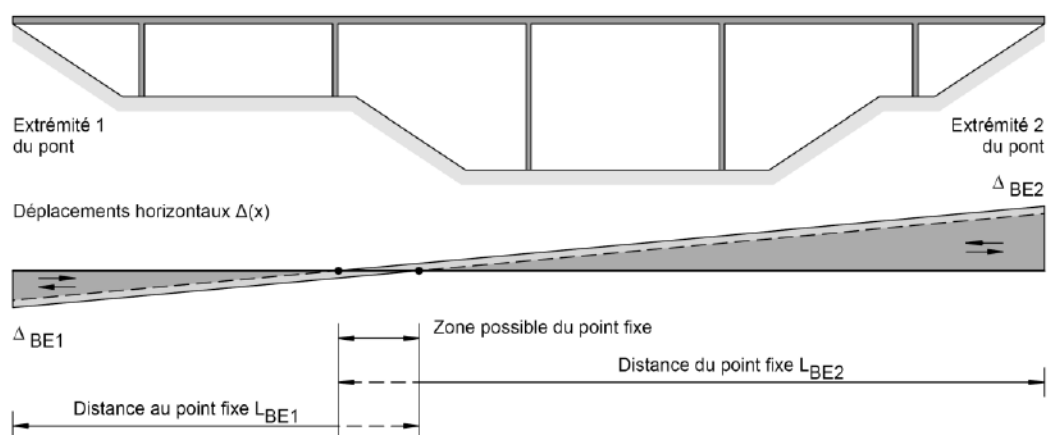


Fig. 4.10 Déplacements horizontaux $\Delta(x)$ de la superstructure et des extrémités d'un pont (Δ_{BE1} et Δ_{BE2}) consécutifs à des variations de longueur de la superstructure (schématique).

4.2.3 Démarche simplifiée

La démarche décrite au chiffre 4.2.2 requiert un calcul des déplacements effectifs des extrémités du pont relativement complexe. Au stade de la conception, une approche simplifiée est possible, pour autant que les conditions suivantes soient satisfaites :

- le pont est rectiligne ou à courbure légère dans le plan horizontal;
- la position du point fixe est connue de manière fiable;
- les déplacements horizontaux de la superstructure dus à des actions horizontales et verticales sont négligeables.

Dans ce cas, le déplacement à l'extrémité du pont est approximativement proportionnel aux variations non entravées de la longueur de la superstructure et à la distance au point fixe, dans la mesure où les variations de longueur de la superstructure ne sont entravées que de façon négligeable par l'infrastructure (voir chiffre 3.2.2 et fig. 4.10). Dans ces conditions, pour une conception intégrale ou semi-intégrale d'une extrémité de pont, la distance maximale admissible au point fixe $L_{BE,adm}$ peut être déterminée avec une bonne approximation sur la base des variations de longueur non entravées de la superstructure ou déduite de la fig. 4.11. Les dilatations $\Delta L/L$ doivent alors être calculées pour les mêmes combinaisons d'actions que celles qui sont décrites au chiffre 4.2.2 pour le déplacement relatif Δ_h .

Dans les extrémités de pont intégrales, les réactions d'appui dues aux actions horizontales peuvent souvent être absorbées à l'arrière des culées par une modification minime de la poussée des terres (de l'ordre de la poussée des terres au repos). Elles n'ont pour effet que de faibles déplacements horizontaux de la superstructure, qui sont négligeables au stade de la conception. En revanche, dans les structures porteuses présentant des déplacements horizontaux du fait d'actions verticales, de très grandes réactions d'appui apparaissent souvent pour réduire sensiblement les déplacements.

Si les déplacements horizontaux de la superstructure dus à des actions horizontales et verticales ne sont pas négligeables mais connus de manière fiable, on peut appliquer la démarche simplifiée sous une forme modifiée. Dans ce cas la valeur admissible du déplacement de l'extrémité du pont $\Delta_{h,adm}$ doit être réduite de la valeur déterminante du déplacement horizontal monotone ou cyclique de la superstructure dû à des actions horizontales et verticales. Dans ces cas, la fig. 4.11 n'est pas applicable.

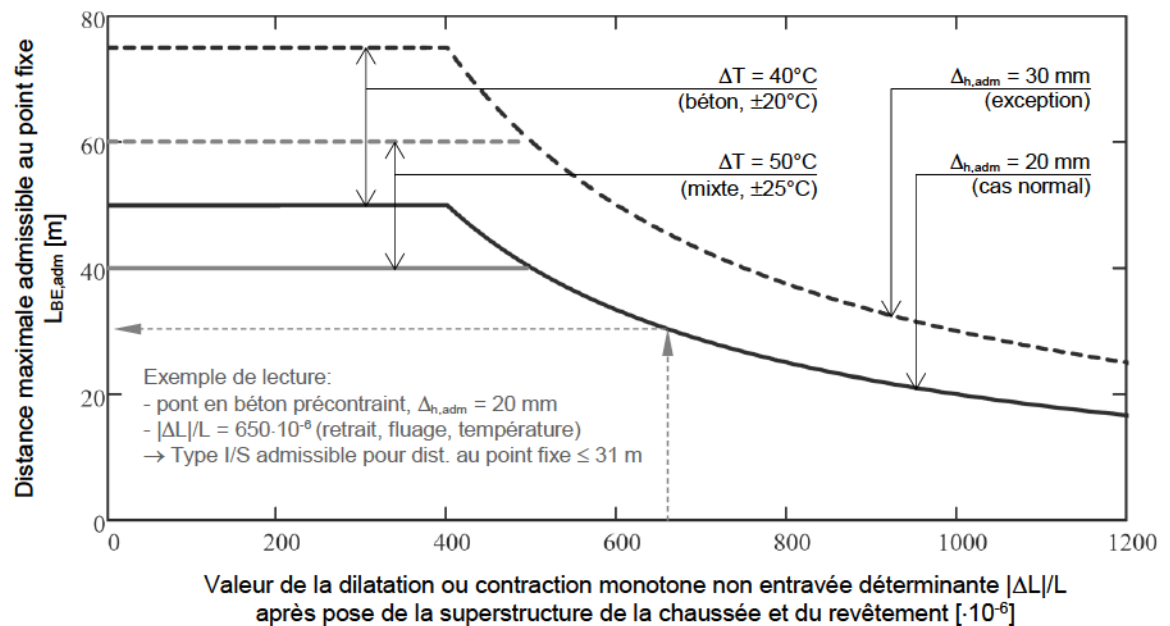


Fig. 4.11 Distance maximale admissible au point fixe pour une extrémité de pont (semi) intégrale d'un pont rectiligne lorsque les déplacements horizontaux de la superstructure dus à des actions horizontales et verticales sont négligeables.

5 Exécution des éléments d'extrémité de pont

5.1 Murs de culée et fondation

5.1.1 Principes

Les fonctions des murs de culée et des fondations sont indiquées à la fig. 2.2.

5.1.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

Les remblais derrière les murs doivent être réalisés avec du matériau offrant une bonne perméabilité, ou être pourvus d'un drainage destiné à évacuer les eaux météoriques et d'infiltration derrière les murs. Un enduit de protection et éventuellement, une étanchéité sont à prévoir en présence d'eau sous pression. En présence d'autres risques (p.ex. réaction alcalis-granulats), il y a lieu de prévoir des mesures ad hoc.

Généralement, le mur doit avoir une épaisseur minimale de 0.30 m. Un espace de 100 mm doit être assuré entre les murs de culée et la superstructure du pont, respectivement l'entretoise d'extrémité.

Le dimensionnement des murs de culée tiendra compte des phases d'exécution et des futures transformations.

On dimensionne, en principe, les murs de culée selon SIA 267 [11], chiffre 12 (ouvrages de soutènement) et SIA 261 [7], chiffre 4.3 (poussée des terres). En conséquence et en fonction de la capacité de déformation des murs de culée, il est nécessaire d'adapter les hypothèses relatives à la poussée des terres, en sachant qu'on peut en principe admettre un dimensionnement basé sur la poussée active des terres, si la capacité de déformation est suffisante à l'état limite de la sécurité structurale. Dans la pratique, il est cependant recommandé d'admettre une poussée des terres plus élevée, même pour des murs de culée relativement flexibles (p.ex. valeur moyenne $(E_a + E_0)/2$ de la poussée active des terres et de la poussée des terres au repos). Ainsi, d'une part, on tient compte d'une poussée possible due au compactage lors du remblayage de la culée, et d'autre part, on évite aussi de grosses déformations inadmissibles. (À l'état limite de l'aptitude au service, on admettra sans autre une plus grande poussée des terres.)

Pour simplifier, la poussée des terres due à des charges routières (modèle de charge 1 selon SIA 261 [7]) peut être déterminée sur la base d'une charge surfacique uniformément répartie de 25 kN/m².

Les murs de culée de ponts intégraux doivent être dimensionnés en tenant compte de la poussée accrue des terres E_e due au compactage ultérieur résultant des déplacements cycliques des murs de culée. Cette poussée atteint des valeurs sensiblement supérieures à la poussée des terres au repos, même pour des déplacements relativement faibles. La poussée accrue des terres E_e et sa répartition sur la hauteur des culées se calculent selon l'annexe I. Le dimensionnement des murs de culée requiert la vérification de la sécurité structurale à l'état limite pour les cas suivants de la poussée des terres:

- contraction (hiver): E_a
- dilatation (été): E_e

Ces deux cas doivent aussi être introduits dans le dimensionnement de la superstructure de ponts intégraux et semi-intégraux. Ils doivent être superposés aux contraintes dues aux déformations engendrées par le blocage de la superstructure aux extrémités du pont. Dans le cas d'une extrémité de pont semi-intégrale, la poussée des terres n'agit que sur l'extrémité de la superstructure (entretoise d'extrémité). La déformation de la superstructure entravée par les extrémités de pont, pour ce qui est de la sollicitation en traction généralement déterminante pour le dimensionnement de la superstructure, se limite au frottement des appareils d'appui et à la résistance par frottement de la dalle de transition.

Les poussées des terres indiquées peuvent être admises simultanément aux deux extrémités du pont avec les mêmes coefficients. Pour tenir compte de la dispersion possible de la poussée des terres (p.ex. du fait d'un compactage variable), il faut étudier en plus une disposition asymétrique de cette poussée. On peut généralement admettre la poussée active des terres E_a sur une extrémité du pont, et la moyenne $(E_a + E_0)/2$ entre celle-ci et la poussée des terres au repos sur l'autre extrémité.

5.2 Murs d'aile

5.2.1 Principes

Les fonctions des murs d'aile sont indiquées à la fig. 2.2.

En principe, les murs d'aile peuvent être disposés parallèlement à l'axe du pont, perpendiculairement à celui-ci, ou selon un angle quelconque entre les deux.

Les murs d'aile ont souvent une influence sensible sur l'aspect du pont. L'étude de la structure porteuse doit donc tenir compte, non seulement des problèmes statiques, mais encore d'aspects esthétiques.

Dans les extrémités de pont semi-intégrales, les murs d'aile sont généralement disposés parallèlement à l'axe du pont. Les raccords latéraux des extrémités du pont aux murs d'aile doivent être construits de telle sorte que les déplacements de la superstructure soient aussi peu entravés que possible et que de la terre n'y pénètre pas (voir fig. 4.6). Des murs d'aile relativement petits peuvent aussi être intégrés à la superstructure.

Dans le cas des ponts intégraux, il faut être conscient que les murs d'aile influencent de manière prépondérante le comportement des extrémités, aussi bien en ce qui concerne les effets des déplacements des extrémités du pont sur le corps de chaussée adjacent qu'au niveau de la rigidité de la culée. Pour ce qui est des extrémités de pont intégral déformables (types I1 à I4), il faut tendre à construire des murs d'aile aussi courts que possible, pour que la déformabilité soit assurée et que le volume du corps de chaussée mobilisé par les déplacements reste limité. Quant aux extrémités rigides de pont intégraux à courbure prononcée (type I5), les murs d'aile peuvent être utilisés comme éléments raidisseurs, voir fig. 4.5.

5.2.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

En principe, les dispositions constructives et le dimensionnement des murs d'aile obéissent aux mêmes considérations que les murs de culée, voir chiffre 5.1.2.

Les murs d'aile des ponts intégraux, qui ne sont pas parallèles à l'axe du pont (resp. à la direction des déplacements de l'extrémité du pont), doivent, en ce qui concerne la poussée des terres, être dimensionnés de façon analogue aux murs de culée de ponts intégraux.

5.3 Entretoise d'extrémité

5.3.1 Principes

Les fonctions de l'entretoise d'extrémité sont indiquées à la fig. 2.2.

5.3.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

Dans les ponts précontraints, des têtes d'ancrage de la précontrainte longitudinale sont souvent disposées dans l'entretoise d'extrémité. Ces têtes et un éventuel dispositif de précontrainte de l'entretoise doivent être particulièrement bien protégés contre les infiltrations d'eau contaminée par des chlorures. Pour des raisons techniques et statiques, en présence d'ancrages de précontrainte, l'entretoise d'extrémité (ou la dalle de roulement) est généralement prolongée vers l'arrière, au-delà du mur de culée (voir fig. 4.3 et Fig. 4.7).

Les ponts avec joints nécessitent, en général, une entretoise d'extrémité sur toute la largeur du tablier. Exceptionnellement, lorsque c'est impossible, les dalles en porte-à-faux

(consoles) doivent être dotées d'une armature renforcée correspondant à la plus grande sollicitation sur le bord de dalle libre. De plus, on prévoira, le cas échéant, des surépaisseurs afin de garantir une rigidité suffisante du porte-à-faux, ainsi qu'une hauteur de construction suffisante pour le montage du joint de chaussée. Sans ces mesures, des dommages aux joints de chaussée peuvent apparaître dans la zone du porte-à-faux, en raison de flèches différentes entre la superstructure et les culées, ou en raison d'un ancrage insuffisant du joint de chaussée.

Dans la mesure du possible, un appui direct des poutres longitudinales doit être privilégié. Dans le cas d'un appui biais, d'une courbure prononcée du pont dans le plan horizontal ou de sections avec de grands porte-à-faux, un appui direct n'est pas toujours judicieux en raison de réactions d'appui très différentes, voire de phénomènes de soulèvement dans les appareils d'appui. Dans de tels cas, un appui indirect est indiqué, ce qui provoque une plus grande sollicitation de l'entretoise d'extrémité.

5.4 Dalle de transition

5.4.1 Principes

Les fonctions des dalles de transition sont indiquées à la fig. 2.2.

La dalle de transition assure la compensation des déplacements relatifs verticaux et horizontaux entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée. Cette compensation est nécessaire pour satisfaire les exigences relatives à la planéité de la chaussée selon la norme VSS 640 521 et, partant, pour garantir le confort de roulement.

Les déplacements relatifs verticaux sont compensés par la dalle de transition dans la mesure où celle-ci génère une augmentation continue de la rigidité du corps de la chaussée jusqu'à l'ouvrage. La dalle de transition compense les tassements différentiels entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée, occasionnés en particulier par le compactage ultérieur dû aux charges de trafic et, pour les ponts intégraux et semi-intégraux, aux déplacements cycliques de l'extrémité du pont.

Une dalle de transition est en principe toujours nécessaire sur les routes à grand débit. Des exceptions sont possibles pour les extrémités de pont intégraux (types d'exécution I1, I2), pour autant que le déplacement relatif admissible à l'extrémité du pont $\Delta_{h,adm}$ selon fig. 4.8 soit respecté et que le tassement différentiel prévisible entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée selon fig. 5.1 n'excède pas les valeurs suivantes:

- 10 mm pour le type d'exécution I1
- 20 mm pour le type d'exécution I2

Lors de l'élargissement d'ouvrages existants sur des routes à grand débit, exécutés sans dalle de transition et remblayés avec du matériau stabilisé, il est possible de renoncer à une dalle de transition si des mesures appropriées sont mises en œuvre pour éviter les tassements. En revanche, lors de l'élargissement de ponts dotés de dalles de transition, il faut en général aussi élargir ces dernières. Si cela n'est pas possible, d'autres mesures devront être prises pour éviter les tassements.

Même si une dalle de transition est prévue, il faut, grâce à un compactage sans défaut (voir chiffre 5.8), garantir des tassements différentiels aussi faibles que possible entre l'ouvrage et le corps de la chaussée.

Lorsque de grands tassements différentiels sont prévus à long terme entre l'extrémité du pont et le corps de la chaussée adjacent, il faut examiner l'opportunité de réaliser une construction de transition selon le chiffre 5.10.

5.4.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

La dalle de transition doit généralement être disposée sur toute la largeur du pont, y compris les bandes d'arrêt d'urgence et les trottoirs.

La dalle de transition doit généralement avoir une épaisseur de 0.30 m. Sa longueur doit être fixée en fonction des tassements différentiels prévisibles et de la vitesse de base de la route, conformément aux exigences de la norme VSS 640 521 [13]. La valeur admissible de l'angle α (définition selon fig. 5.1) est la suivante :

- 0.4 % pour les routes à grand débit ;
- 0.8 % pour les autres routes.

En général, une longueur de dalle de transition de 5 à 8 m est suffisante pour les routes à grand débit, et une longueur de 3 à 5 m pour les autres routes. La pente de la dalle de transition doit être généralement déterminée de façon à assurer un recouvrement à son extrémité correspondant au moins à l'épaisseur de la superstructure de la chaussée. Elle doit être d'env. 10%.

Dans les extrémités de pont intégrales et semi-intégrales, la dalle de transition doit être liée monolithiquement à la superstructure, voir fig. 5.2 (a). Ce détail constructif permet de répartir les déplacements relatifs entre le pont et le corps de la chaussée sur une plus grande longueur.

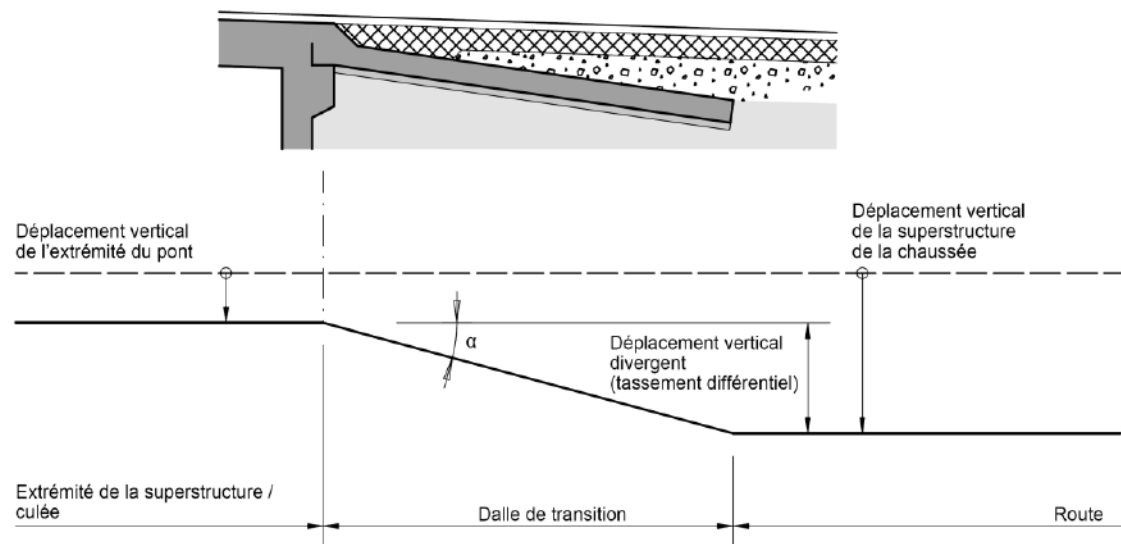


Fig. 5.1 Définition de l'angle α .

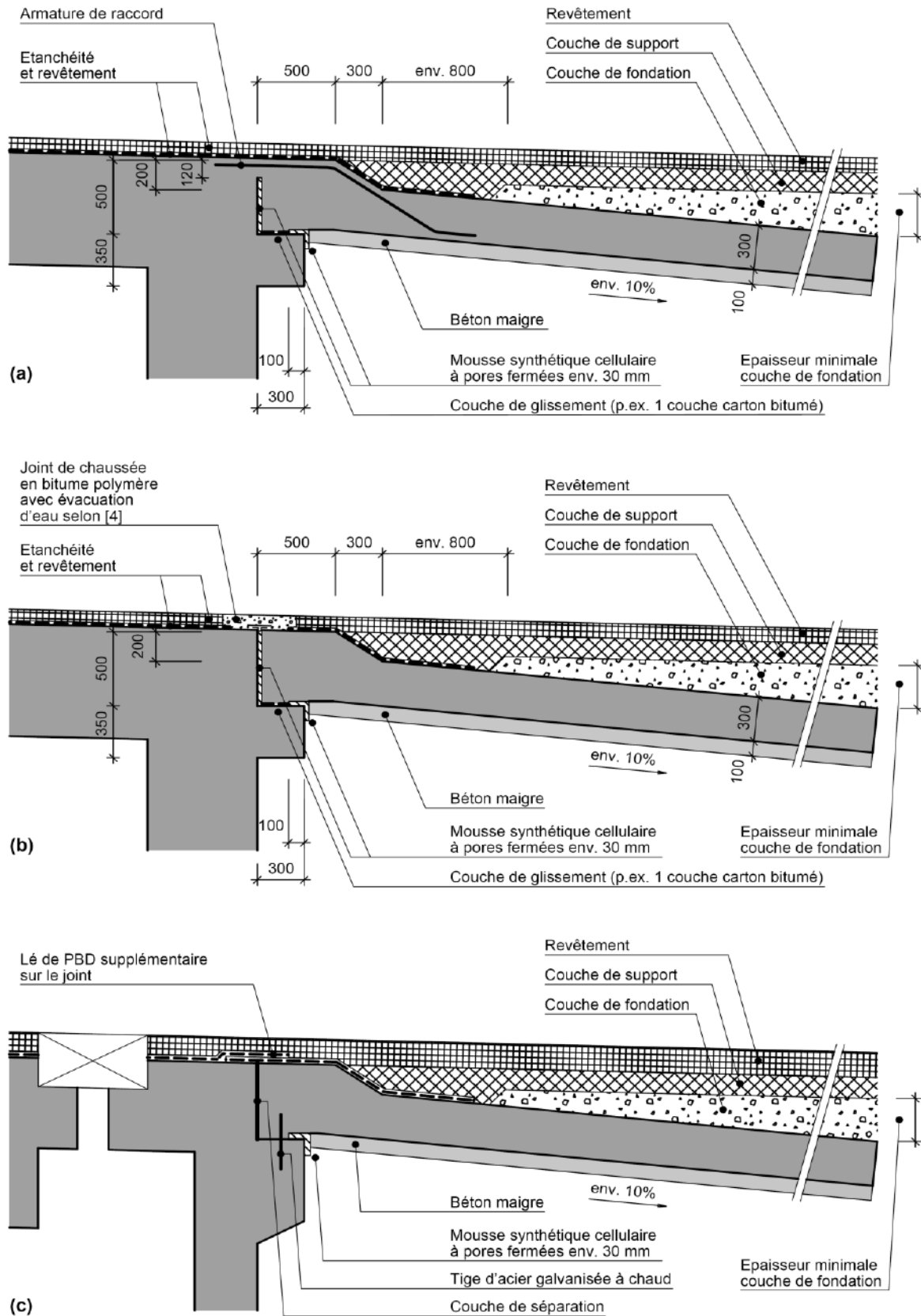


Fig. 5.2 Variantes d'exécution du raccord de la dalle de transition (les dimensions indiquées sont des dimensions standard à adapter selon les besoins)

Bien que le détail constructif de la fig. 5.2 (a) est adapté pour les extrémités de pont intégrales et semi-intégrales, il est difficile à mettre en œuvre. Une variante d'exécution plus facile à exécuter est recommandée dans la référence citée [14], fig. 5.3. Cette solution, constitue une connexion monolithique, permettant une répartition de la rotation entre la culée et la dalle de transition sur toute la longueur l_{ch} de l'articulation en béton. De cette manière, la rotation n'induit plus directement une ouverture de la fente mais plusieurs petites fissures, le long de l'articulation, qui ne propagent pas vers la surface. Un taux géométrique d'armature égal ou excédant le 0.3% est recommandé pour un bon fonctionnement de l'articulation. La couche de liaison indiquée au point n° 2 de la fig. 5.3 est à utiliser uniquement quand nécessaire.

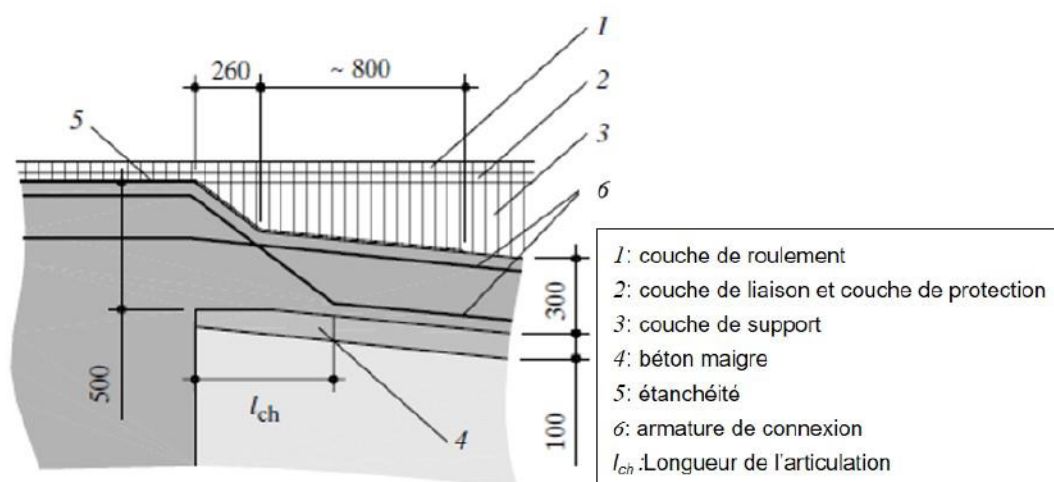


Fig. 5.3 Variante d'exécution du raccord de la dalle de transition pour de pont intégrales et semi-intégrales développée selon référence [14].

Pour des déplacements théoriques Δ_h de 20 à 30 mm, la dalle de transition peut être dotée d'un appui mobile associée à un joint de chaussée en bitume polymère, voir fig. 5.2 (b). Dans ce cas, il faut prévoir, dans la zone d'appuis de la dalle de transition, un recouvrement en béton plus épais dans l'entretoise d'extrémité, en particulier lorsque des câbles de précontrainte sont ancrés dans l'extrémité du pont. Pour l'exécution du joint de chaussée en bitume polymère, on appliquera le chapitre 2 de la présente directive ainsi que la directive « Joints de chaussée en bitume-polymère » [4]. Il est à noter que les produits disponibles actuellement ne sont admis (conformité attestée) que pour des déformations jusqu'à +20 mm (allongement) / -10 mm (raccourcissement) et que ces déformations sont à calculer pour des différences de température majorées de 50% [4]. Pour profiter des valeurs indiquées des déplacements théoriques Δ_h , des preuves et garanties de l'entrepreneur sont donc à exiger suffisamment tôt (voir [4], chiffre 2.4).

Dans le cas des extrémités de ponts permettant la dilatation, la dalle de transition est généralement exécutée selon la fig. 5.2 (c). A titre d'alternative, un raccord selon la fig. 5.2 (a) est également possible

5.5 Appareils d'appui

Le chapitre 1 de la présente directive est consacré aux appareils d'appui. On trouvera ci-après quelques précisions complémentaires. Les fonctions des appareils d'appui sont indiquées à la fig. 2.2.

Si de grands tassements différentiels entre les piliers et la culée sont prévus, l'opportunité de disposer des plaques de calage doit être examinée. Dans le cas des extrémités de ponts permettant la dilatation, il faut prévoir des plaques de calage, si possible non pas sur la culée, mais sur les piliers afin d'éviter des ajustements du joint de chaussée. En revanche, sur les extrémités de ponts semi-intégraux avec appareils d'appui mais sans joint de chaussée, un calage à l'extrémité du pont ne pose généralement pas de problème.

Lors du remplacement d'appareils d'appui, des forces de levage accrues apparaissent lorsque la structure d'appui est statiquement indéterminée. Cela concerne en particulier les forces horizontales apparaissant lors du remplacement d'appuis guidés. Les forces de levage accrues doivent être prises en considération lors du dimensionnement ou de la vérification de l'entretoise d'extrémité et de la culée.

5.6 Joint de chaussée

Pour le joint de chaussée, on appliquera le chapitre 2 de la présente directive ainsi que la directive « Joints de chaussée en bitume-polymère » [4]. Les fonctions du joint de chaussée sont indiquées à la fig. 2.2.

5.7 Chambre de visite

5.7.1 Principes

Les fonctions de la chambre de visite sont indiquées à la fig. 2.2. Les indications relatives à l'exécution de l'assèchement des ponts dans la zone des extrémités de pont figurent au chapitre 6 de la présente directive.

Toutes les parties mobiles, en particulier le joint de chaussée, les appareils d'appui et les systèmes complexes de dilatation des conduites, doivent être facilement accessibles pour l'entretien. En général, cela nécessite une chambre de visite, sauf dans le cas des extrémités de ponts semi-intégraux dotés d'appareils d'appui accessibles depuis l'avant de la culée.

Pour les ponts sur lesquels la place est restreinte et dans le cadre des remises en état, on peut renoncer à une chambre de visite dans certaines conditions. Dans ce cas, il faut être particulièrement attentif à la protection des appareils d'appui et de l'entretoise d'extrémité contre toute pénétration d'eau (voir chiffre 5.7.2).

5.7.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

La taille et l'accessibilité de la chambre doivent être adaptées aux travaux d'entretien nécessaires. En général, on observera les dimensions minimales indiquées à la Fig. 5.4

Il faut éviter que l'eau d'infiltration entre en contact avec le béton. A cet effet, on prévoira des gouttes pendantes et, si le joint de chaussée n'est pas théoriquement étanche à l'eau, une rigole d'écoulement des eaux dont le rinçage peut être contrôlé. Dans la mesure du possible, la rigole doit permettre l'examen du joint de chaussée.

Lorsque le joint de chaussée n'est pas étanche à l'eau ou en l'absence de chambre visite, il faut couvrir les parties frontales de la superstructure et des culées qui se trouvent en dessous du joint de chaussée à l'aide de tôles. Elles doivent être protégées par le même revêtement que le joint de chaussée ou être fabriquées en acier inoxydable.

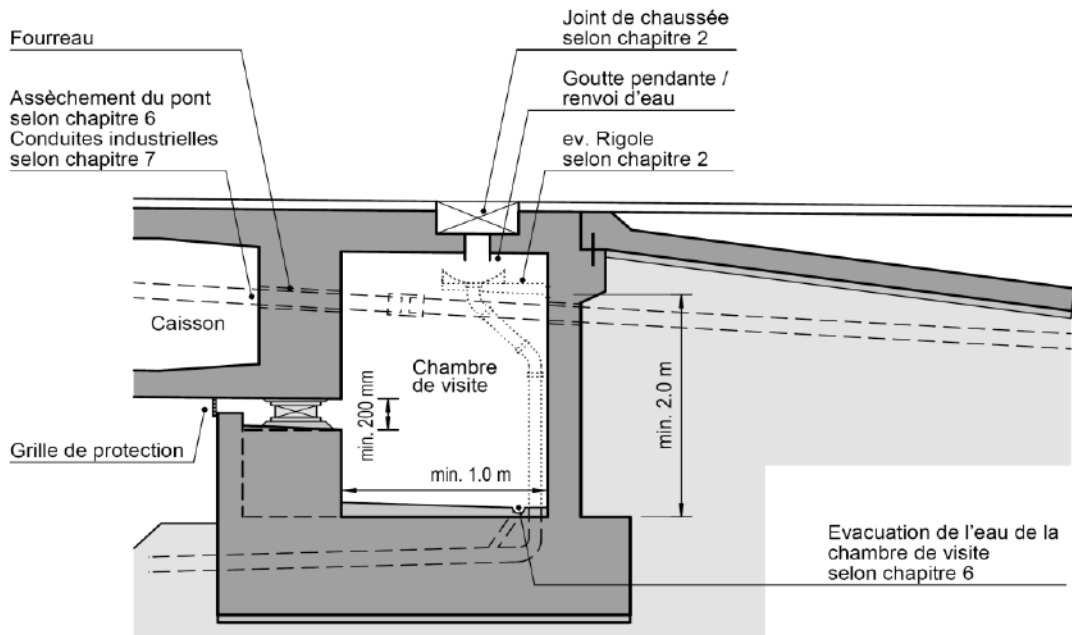


Fig. 5.4 Coupe longitudinale d'une extrémité de pont avec chambre de visite.

La surface supérieure de l'assise des appareils d'appui et la semelle de la chambre de visite doivent être exécutées avec une certaine pente. Une rigole doit être prévue sur le fond de la chambre de visite afin d'assurer l'évacuation de l'eau. L'eau doit être déversée dans le système de drainage du pont et évacuée via une conduite séparée.

Les passages et les dilatations des conduites industrielles seront planifiés avec soin et construits proprement. Cela vaut en particulier pour les conduites montées après coup.

Une porte verrouillable doit interdire l'accès de la chambre de visite aux personnes non autorisées. Cet accès sera assuré par des chemins, escaliers ou échelles. Au besoin, un accès supplémentaire sera prévu pour l'inspection des appareils d'appui depuis l'extérieur. Pour les culées hautes, des mesures doivent être prévues pour assurer le montage d'un échafaudage. Si possible, une alimentation électrique sera prévue.

5.8 Remblayage et superstructure de la chaussée dans la zone du pont

5.8.1 Principes

Les fonctions du remblayage et de la superstructure de la chaussée dans la zone du pont sont indiquées à la fig. 2.2.

Dans le cas des extrémités de ponts permettant la dilatation, il faut que le remblayage soit aussi rigide que possible. Il est généralement avantageux de réduire au minimum le volume excavé et de choisir la longueur de la dalle de transition de manière à recouvrir au moins la largeur de l'excavation. Avec des culées hautes et lorsqu'il est impossible de poser une dalle de transition, un remblayage avec du matériau stabilisé doit être examiné.

Pour ce qui est des extrémités de ponts intégraux et semi-intégraux, le remblayage et la superstructure de la chaussée dans la zone du pont doivent absorber les déplacements horizontaux de l'extrémité du pont. Ils influencent de manière déterminante le comportement de l'ouvrage. De ce fait, il faut en principe les considérer comme des éléments constitutifs de l'ouvrage et en tenir compte dans l'analyse de la structure porteuse. Par conséquent, pour un pont intégral ou semi-intégral, les exigences posées au remblayage et à la superstructure de la chaussée dans la zone du pont doivent être spécifiées par l'auteur du projet de pont et consignées dans la base du projet.

5.8.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

Dans le cas des ponts intégraux, le remblayage doit être exécuté avec de la grave tout-venant ou un matériau équivalent sur une longueur correspondant au moins à la hauteur d'excavation (pente max. de l'excavation 1:1). Cela garantit une compensation optimale des déplacements horizontaux. Pour les ponts semi-intégraux, cette mesure peut être limitée à la zone supérieure de la culée (entretoise d'extrémité et dalle de transition).

En principe, une conduite de drainage doit être prévue au pied du remblayage (\varnothing min 200 mm) et la paroi de la culée doit être drainée sur toute sa hauteur (chemise de drainage, natte de drainage géotextile ou plaques filtrantes). Des exceptions sont possibles sur les ouvrages fondés sur des sols perméables non cohésifs.

Un compactage soigné doit garantir des tassements différentiels aussi faibles que possible entre l'ouvrage et le corps de la chaussée, indépendamment de la présence d'une dalle de transition. En général, le remblayage remplira les conditions suivantes:

- planie générale: $M_E \geq 100 \text{ MPa}$
- sous la dalle de transition: $M_E \geq 80 \text{ MPa}$

5.9 Fondations des culées

5.9.1 Principes

Les fonctions des fondations des culées sont indiquées à la fig. 2.2.

La fondation des culées doit être adaptée à la conception générale du pont, en particulier sur les ponts intégraux (voir chiffre 3.2). On veillera généralement à ce que les tassements différentiels entre les piliers et la culée soient aussi faibles que possible.

5.9.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

Pour les fondations superficielles, on garantira une valeur sur la planie de $M_E \geq 80 \text{ MPa}$.

5.10 Construction de transition

5.10.1 Principes

Si le sol de fondation est très sensible aux tassements et si l'on prévoit des tassements différentiels à long terme entre les extrémités du pont et le corps de chaussée adjacent, une construction de transition spéciale peut être judicieuse ou nécessaire lorsque d'autres mesures (augmentation de la longueur de la dalle de transition, superstructure de la route recouvrant le pont) sont insuffisantes ou n'entrent pas en ligne de compte.

Une telle construction, dont la fonction correspond à celle d'une longue dalle de transition, permet de répartir les tassements différentiels entre l'extrémité de pont et le corps de la chaussée sur une plus grande longueur et de les compenser par des reprofilages du revêtement, simples à exécuter.

5.10.2 Remarques sur les dispositions constructives et le dimensionnement

En général, la construction de transition est posée à l'aide d'appuis mobiles sur l'extrémité du pont. Un joint de chaussée la relie à l'extrémité du pont. L'accessibilité pour l'entretien doit être garantie (voir chiffre 5.7). L'interface entre la construction de transition et le corps de la chaussée doit être conçue de façon analogue à celle qui est nécessaire pour un pont intégral. Suivant le type de construction, une dalle de transition peut s'avérer nécessaire.

La longueur requise pour la construction de transition peut être calculée de la même façon que la longueur d'une dalle de transition, voir chiffre 5.4.2. Pour le déplacement vertical relatif, on admettra l'augmentation du tassement différentiel entre l'extrémité du pont et l'extrémité de la construction de transition pendant l'intervalle de temps prévu entre deux reprofilages du revêtement.

Annexes

I	Poussée accrue des terres en cas de charge cyclique.....	36
I.1	Généralités	36
I.2	Calcul de la poussée accrue des terres	36

I Poussée accrue des terres en cas de charge cyclique

I.1 Généralités

Les déplacements cycliques de l'extrémité d'un pont intégral ou semi-intégral provoquent un compactage ultérieur du remblayage et de la superstructure de la chaussée dans la zone de la culée. Ce compactage provoque une élévation significative de la poussée des terres même lorsque les déplacements sont faibles.

Différentes méthodes permettent de calculer l'augmentation de la poussée des terres due à ce compactage. Le chiffre I.2 ci-dessous propose, pour les ponts intégraux, une méthode simplifiée basée sur la norme en vigueur en Grande-Bretagne [12].

Lorsque les déplacements cycliques sont faibles, les formules indiquées au chiffre I.2 livrent des valeurs de la poussée accrue des terres trop élevées. Pour les extrémités de pont présentant une distance au point fixe inférieure à 15 m, on peut appliquer la poussée des terres au repos en lieu et place de la poussée accrue des terres, sauf si des déplacements horizontaux importants apparaissent en raison de l'action de forces verticales sur la structure porteuse.

I.2 Calcul de la poussée accrue des terres

Dans le calcul de la poussée accrue des terres consécutive à des déplacements cycliques de l'extrémité d'un pont, on peut en principe faire la distinction entre:

- rotation autour du pied d'un élément ou d'un point de rotation (fictif), ou flexion d'une paroi de culée flexible, et
- translation d'un élément (rigide)

Les rotations cycliques autour du pied d'un élément ou d'un point de rotation (fictif), génèrent selon [12] la répartition de la poussée des terres présentée à la fig. I.1 (a) (laquelle vaut aussi pour les parois de culée flexibles). Le coefficient de poussée accrue des terres K_{eR} se calcule selon la formule suivante:

$$K_{eR} = K_0 + \left(33 \cdot \frac{\Delta_h}{H} \right)^{0.6} \cdot K_p \leq K_p$$

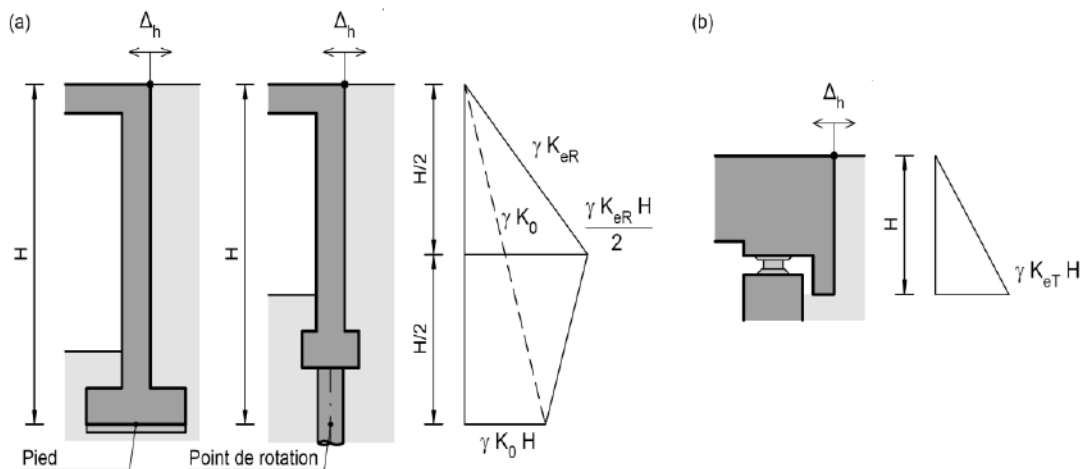


Fig. I.1 Poussée accrue des terres due au compactage ultérieur selon [12]: (a) pour une rotation autour du pied ou d'un point de rotation (fictif); (b) pour une translation

Δ_h désigne l'amplitude du déplacement relatif cyclique (différence entre déplacement maximal et minimal) pour les cas de charge fréquents. L'amplitude se calcule de façon analogue et selon les explications du chiffre 4.2.2. K_0 désigne le coefficient de poussée des terres au repos, K_p le coefficient de poussée passive des terres applicable pour un frottement contre la paroi de $\delta = -\varphi/2$. H représente la hauteur à partir du pied de l'élément ou du point de rotation (fictif). Pour les fondations sur pieux le point de rotation doit être déterminé préalablement (p.ex. à l'aide d'un modèle de ressorts); suivant la rigidité de l'ensemble, il se situe au-dessus ou au-dessous de la tête du pieu.

Le déplacement d'un élément (rigide) par translation, par exemple de l'entretoise d'extrémité d'un pont semi-intégral, génère une poussée dont le coefficient de poussée accrue des terres K_{eT} prend la valeur suivante d'après [12]:

- $$K_{eT} = K_0 + \left(40 \cdot \frac{\Delta_h}{H} \right)^{0.4} \cdot K_p \leq K_p$$

Dans cette formule, H est la hauteur de l'élément qui subit le déplacement. Dans ce cas, la poussée des terres augmente linéairement sur la hauteur H et atteint la valeur $\gamma \cdot K_{eT} \cdot H$ à l'extrémité inférieure, voir fig. I.1 (b).

Les formules ci-dessus peuvent aussi être combinées l'une avec l'autre. Ainsi, par exemple, pour une extrémité de pont selon la Fig. 4.4, il est nécessaire de déterminer la poussée des terres sur la banquette de répartition sur pieux (rigide) pour une translation et la poussée des terres sur les pieux pour une rotation.

Les poussées des terres calculées avec les formules ci-dessus sont des valeurs caractéristiques, qui doivent être augmentées avec les facteurs de charge usuels pour les actions provenant du sol de fondation selon SIA 260 [6].

Bibliographie

Directives et documents ASTRA

- [1] Office fédéral des routes OFROU, Directive n° 12001 (2005) : «**Elaboration des projets et construction des ouvrages d'art des routes nationales**», www.astra.admin.ch
- [2] Office fédéral des routes OFROU, Directive n° 12002 (2005) : «**Surveillance et entretien des ouvrages d'art des routes nationales**», www.astra.admin.ch
- [3] Office fédéral des routes OFROU, Directive n° 11002 (2002) : «**Prise en considération de l'entretien dans l'élaboration des projets et lors de la construction des routes nationales**», www.astra.admin.ch
- [4] Office fédéral des routes OFROU, Directive n° 12011 (2005) : «**Joints de chaussée en bitume-poly-mère**», www.astra.admin.ch
- [5] Kaufmann W., AGB rapport de recherche n° 629, Office fédéral des routes OFROU (2008) : «**Ponts à culée intégrée – rapport de l'état de l'art**»

Normes

- [6] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 260 – Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses**»
- [7] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 261 – Actions sur les structures porteuses**»
- [8] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 262 – Construction en béton**»
- [9] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 263 – Construction en acier**»
- [10] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 264 – Construction mixte acier-béton**»
- [11] Société suisse des ingénieurs et architectes SIA (2003) : «**Norme SIA 267 – Géotechnique**»
- [12] UK Highways Agency (2003), Design Manual for Roads and Bridges, Vol. 1, Sect. 3, Part 12, BA 42/96, amendment No. 1 : "The Design of Integral Bridges" (en cours de révision).
- [13] VSS Association Suisse des professionnels de la route et des transports (2003) : «**Norme SN 640521c – Planéité; exigences de qualité**»

Documentation

- [14] Interaction sol-structure dans le domaine des ponts intégraux, Thèse EPFL n° 4880, Damien Dreier, (2010) .

Liste des modifications

Edition	Version	Date	Modification
2011	1.10	30.10.2019	Nouveau détail constructif pour de pont intégrales et semi-intégrales.
2011	1.00	08.02.2011	Entrée en vigueur édition 2011.

