

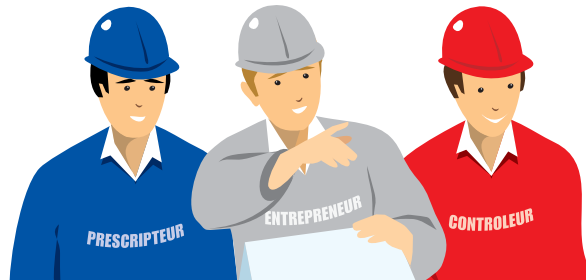
Entretien et réparation des équipements d'ouvrages

5

Appareils d'appui



Le présent guide s'adresse **aux entrepreneurs** qui ont à réaliser l'entretien et la réparation des appareils d'appui. Il concerne aussi les deux autres acteurs de l'opération que sont le **prescripteur** et le **contrôleur** (maître d'œuvre ou son représentant).



Les trois intervenants,

SOMMAIRE

INTRODUCTION	6
1 - DÉFINITIONS	9
1.1 - Terminologie	10
1.2 - Rôle et fonction	11
1.3 - Les diverses solutions techniques	12
1.3.1 - Généralités	12
1.3.2 - Classement selon le critère de déplacement	13
1.3.3 - Classement sur la base du concept	13
1.3.3.1 - Appareils d'appui métalliques	13
1.3.3.2 - Appareils d'appui en élastomère fretté	14
1.3.3.3 - Appareils d'appui à pot	14
1.3.3.4 - Appareils d'appui en béton	15
2 - DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE	17
2.1 - Normes	18
2.2 - Guides et documents techniques	19
3 - AIDE AU DIAGNOSTIC SUR L'ÉTAT ET L'EFFICACITE DES APPAREILS D'APPUI	21
4 - LES OPÉRATIONS DE RÉPARATION. CHOIX DES PRODUITS ET DES MATERIAUX	23
4.0 - Généralités	24
4.1 - Que doit contenir un dossier pour une intervention sur des appareils d'appui structuraux ?	25
4.1.1 - Définition des objectifs de l'opération	25
4.1.2 - Composition d'un dossier d'ouvrage en vue de son vérinage	26
4.2 - Les aspects calcul et vérification de la structure	31
4.2.1 - Principes généraux des transferts de charge	31
4.2.2 - La technique de vérinage est celle prévue par le projet	32
4.2.2.1 - La Note De Calcul jointe à l'appel d'offres (au marché ?) peut-elle être considérée comme correcte et complète ?	32
4.2.2.2 - La Note De Calcul est considérée comme insuffisante	35

4.2.3 - La technique de vérinage est proposée par l'entreprise	36
4.2.4 - Calcul des possibilités de rotation avec deux lignes de vérins	36
4.3 - Les technologies de vérinage	37
4.3.1 - Présentation	37
4.3.2 - Le matériel de levage	37
4.3.2.1 - Les coins de levage	37
4.3.2.2 - Le vérin. Principe et différents types	38
4.3.2.2.1 - Principe	38
4.3.2.2.2 - Les différents types de vérins	39
4.3.2.3 - Les pompes	44
4.3.2.4 - Le fluide	45
4.3.2.5 - Les tuyauteries	45
4.3.2.6 - Les organes annexes à un circuit	46
4.3.2.7 - Les appareils de mesures	47
4.3.2.8 - La centrale d'enregistrement et de traitement des données	49
4.3.2.9 - Le calage de sécurité	52
4.3.2.9.1 - Les cas d'emploi du calage	52
4.3.2.9.2 - Les différents types de cales	53
4.3.2.9.3 - Le cas de levage avec reprise	55
4.3.2.9.4 - La technique de la boîte à sable	55
4.3.2.10 - La plateforme de travail	56
4.4 - Le soulèvement	57
4.4.1 - Présentation générale	57
4.4.2 - Différentes disposition de vérinage	58
4.4.2.1 - Présentation générale des différentes dispositions	58
4.4.2.1.1 - Vérins disposés sur l'appui	58
4.4.2.1.2 - Vérins disposés sur la face avant de l'appui	58
4.4.2.1.3 - Vérins disposés sur chandelles en appui au sol	59
4.4.2.1.4 - Vérins disposés sur des chaises (sur appuis intermédiaires)	59
4.4.2.2 - Vérinage sur pile ou culée massive	59
4.4.2.3 - Vérinage sur pile ou culée composée de fûts isolés	61
4.4.2.4 - Vérins sur chevêtres en béton armé, béton précontraint ou métal reposant sur des fûts	61
4.4.2.5 - Vérins sur consoles bridées sur piles massives ou fûts	63
4.4.2.6 - Vérins sur consoles bridées sur chevêtre	64
4.4.2.7 - Vérinage sur palée prenant appui sur les fondations de l'ouvrage	64
4.4.2.8 - Vérinage sur palée prenant appuis hors de la structure existante	65
4.4.2.9 - Vérinage sur «chaise»	66
4.4.2.10 - Vérinage sur niche réalisée sur le sommet de l'appui	67
4.4.3 - Conduite de l'opération de soulèvement	67
4.4.3.1 - Opérations préliminaires au soulèvement	67
4.4.3.2 - Cas des ponts dalle	67
4.4.3.2.1 - Généralités	67
4.4.3.2.2 - Stabilité sous les efforts horizontaux	68
4.4.3.2.3 - Choix des vérins	68
4.4.3.2.4 - Branchement de n vérins sur une pompe	68
4.4.3.2.5 - Branchement de n vérins sur n pompes	69
4.4.3.3 - Cas des ponts à poutres et des ouvrages hyperstatiques	69
4.4.3.4 - Cas des vérinages à grandes amplitudes de déplacement	71
4.4.3.5 - Les interventions sur les appareils d'appui verticaux	72
4.4.3.6 Les surprises possibles lors d'un vérinage	73
4.4.4 - Cas particulier d'une intervention sur une section rétrécie de béton	74

4.5 - Reprise des bossages	75
4.5.1 - Considérations générales	75
4.5.2 - Les dispositions types	76
4.5.3 - Le bossage inférieur	77
4.5.4 - Le bossage supérieur	79
4.5.4.1 - <i>Le matage</i>	79
4.5.4.1.1 - <i>Préparation du coffrage</i>	79
4.5.4.1.2 - <i>Composition du mortier maté</i>	80
4.5.4.1.3 - <i>Points particuliers à vérifier</i>	80
4.5.4.1.4 - <i>Essai de convenue</i>	80
4.5.4.1.5 - <i>Variante autour de la pose avec mortier maté</i>	80
4.5.4.2 - <i>Le calage par injection au « pochon »</i>	81
4.5.4.3 - <i>Le calage par injection</i>	82
4.6 - Précaution lors du changement d'appareils d'appui en élastomère	84
4.7 - Cas particulier de la réhabilitation ou la réparation d'appareils d'appui métalliques	85
4.7.1 - Généralités	85
4.7.2 - Cas particuliers fréquemment évoqués	85
4.7.2.1 - <i>Cas d'un désordre sur une plaque de glissement en PTFE</i>	85
4.7.2.2 - <i>Cas d'un appareil d'appui à rouleau.</i>	85
5 - ESSAIS ET CONTRÔLES	87
5.0 - Généralités	88
5.1 - Epreuve de convenue	89
5.2 - Sur l'opération de vérinage	90
5.2.1 - Vérification des documents munis de leur visa	90
5.2.2 - Réception des matériels de vérinage, de calage et de contrôle	90
5.2.3 - Contrôle de la liberté de déplacement du tablier	91
5.2.4 - Contrôle des appuis provisoires	91
5.2.4.1 - <i>Sommier ou chevêtre.</i>	91
5.2.4.2 - <i>Palées</i>	91
5.2.4.3 - <i>Consoles</i>	91
5.2.5 - Contrôle de la bonne mise en place des matériels	92
5.2.6 - Contrôle lors du vérinage	92
5.2.7 - Contrôle lors du retour à la position définitive (dévérinage)	93
5.3 - Sur l'exécution des bossages	95
5.3.1 - Contrôle de l'existence des référentiels	95
5.3.2 - Contrôle préalable à l'exécution des bossages	95
5.3.3 - Exécution des bossages	95
5.3.3.1 - <i>Cas des bossages inférieurs</i>	95
5.3.3.2 - <i>Cas des bossages supérieurs</i>	96

6 - HYGIÈNE ET SÉCURITÉ	97
6.1 - Généralités	98
6.2 - Utilisation des produits et conditions de chantier	100
6.3 - Plateformes de travail, manutention d'objets lourds comme les vérins,	101
7 - GESTION DES DÉCHETS	103
7.0 - Généralités	104
7.1 - Traitement	105
8 - PLAN D'ASSURANCE DE LA QUALITÉ (PAQ)	107
8.0 - Généralités	109
8.1 - L'opération elle-même	110
8.2 - Exemple de PAQ	111
TABLE DES ILLUSTRATIONS	113
INDEX	116
ANNEXE 1 LES DIFFÉRENTS TYPES D'APPAREILS D'APPUI DANS LA NORME NF EN 1337-1	118
ANNEXE 2 DÉROULEMENT D'UNE OPÉRATION DE SOULÈVEMENT SUR UN OUVRAGE DE TYPE VIPP ANCIEN	120

Les extraits de normes figurant dans ce guide sont reproduits avec l'accord d'AFNOR. Seul le texte original et complet de la norme telle que diffusée par AFNOR – accessible via le site internet www.afnor.org – a valeur normative.

Les appareils d'appui sont des éléments importants de la structure et non des équipements pour lesquels il existe une notion d'usure et de durabilité inférieure à celle de l'ouvrage et que l'on considère alors comme de la matière consommable. A ce titre, on se doit d'apporter tout le soin nécessaire à leur choix, leur qualité, leur conception et leur mise en œuvre. D'autant que le coût du produit lui-même est sans commune mesure avec celui des opérations d'interventions pour soulever la structure, remplacer un appareil déficient et/ou réparer des bossages : un rapport de 1 à 50 est considéré comme un minimum.

Une étude menée par le SETRA, il y a une dizaine d'années, sur les causes d'intervention sur les ouvrages pour la remise en état des appareils d'appui (tous types d'appareils d'appui confondus) a permis de mettre en évidence que les raisons de ces interventions étaient la conséquence des trois facteurs suivant, d'importance (en nombre) globalement équivalente :

- Des défauts consécutifs à une qualité des produits défectueuse (corrosion, désadhésion,...). De ce point de vue, la publication de la norme NF EN 1337 (venant après un important travail normatif et de certification par la marque NF depuis les années 1980) donnant des spécifications précises des produits et le marquage CE sur les appareils d'appui a été un élément allant dans le sens d'une amélioration pour les applications récentes.
- Des défauts de pose. Le respect des spécifications du document «Environnement des appareils d'appui en caoutchouc fretté» (référence sous § 2.3) pour les appareils d'appui en caoutchouc ou de la norme NF T 47.816-3 (référence sous le § 1.3) pour les appareils d'appui à pot est une condition sine qua non pour aller dans le sens d'une amélioration de ce point de vue.
- Des désordres consécutifs à un dimensionnement erroné (plaque de glissement trop courte, insuffisance de feuillets d'élastomère, dimensions en plan insuffisantes, ...). La publication des guides du SETRA (référence sous le § 1.2) devrait permettre d'améliorer sensiblement la situation.

Cependant, malgré les actions évoquées précédemment et progressivement mises en place, il existe tout un parc d'ouvrages anciens comportant des appareils d'appui datant parfois de plusieurs dizaines d'années et dont le vieillissement ou l'adaptation aux conditions actuelles de services de ces ouvrages va nécessiter des remises en état. En outre, il existe de nombreuses causes, comme le vieillissement naturel des produits, un fonctionnement anormal d'une structure (mouvements d'appui, par exemple,) etc., qui seront autant de raisons pour avoir à intervenir en réparation sur des appareils d'appui.

Les appareils d'appui des ouvrages, comme les ponts suspendus, les ponts à haubans et des ouvrages complexes sont hors du domaine visé par ce guide. En effet, il s'agit très fréquemment de dispositifs spécifiques, complexes, uniques qui nécessitent une étude au cas par cas, même si la démarche et certains éléments donnés dans ce document peuvent aider à cette étude. De même, le cas des dispositions anti-soulèvement sort du cadre de ce guide même si les conseils que l'on y trouve peuvent être utiles à une intervention sur ces dispositifs.

> PRECISIONS

- Bien que le présent guide appartienne à la famille des équipements, on ne doit pas considérer les appareils d'appui comme un «équipement» tel qu'un joint, une étanchéité, En effet, l'appareil d'appui participe directement au bon fonctionnement, voire à la stabilité, de la structure. La preuve en est que certains incidents pouvant mettre en cause cette stabilité de l'ouvrage peuvent conduire à mettre en jeu la responsabilité décennale du constructeur dans le cadre de la loi.

Cette situation ambiguë doit être vue comme la conséquence de leur origine de fabrication : c'est un produit industriel qui est proposé, sur les ouvrages, comme une fourniture. En outre, le fait que leur dépose est possible (plus ou moins facilement !) et que leur pérennité puisse être inférieure à celle de l'ouvrage, entre, fort probablement, en ligne de compte dans cette vision.

Ceci étant, il faut plus y voir des raisons d'opportunité pour que ce guide appartienne à la famille "Équipement" et ceci ne veut pas dire qu'on doit les considérer comme un "équipement" !

- Le lecteur doit considérer que ce guide n'est pas un tout et qu'il doit s'utiliser avec deux autres documents qui viennent la compléter et qui sont :

a) Pour le diagnostic, l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art. Seconde partie : Fascicule 13 «appareils d'appui». SETRA/LCPC. 2002. Référence SETRA : O230. Référence LCPC : FASC13.

b) Pour la préparation d'un marché, le guide d'aide à l'élaboration d'un DCE (Dossier de Consultation des Entreprises) de changement d'appareils d'appui. SETRA. 2008. Voir § 2.2.7.

Le premier se réfère à l'aspect visite, évaluation des désordres et diagnostic alors que le second traite de la constitution d'un dossier de consultation en vue de préparer un chantier de vérinage et d'intervention sur une ligne d'appui.

C'est pour éviter des redites que, volontairement, le contenu de ces guides n'a pas été repris dans, plus particulièrement, les chapitres 3 et 4 respectivement concernés.



1

Définitions

- 1.1 Terminologie
- 1.2 Rôle et fonction
- 1.3 Les diverses solutions techniques

La norme NF EN 1337-1 (référence § 2.1.1) décrit (tableau 1 suivi de la figure 1 de la dite norme), de façon assez exhaustive, les types d'appareil d'appui les plus courants en utilisant un classement combinant la fonction et la conception du produit. A titre d'illustration, la figure 1 de la norme est reproduite en annexe 1 au présent document. Le nombre de dessins et la diversité des concepts montrent combien la notion d'appareil d'appui recouvre une variété de dispositif.

Ensuite, pour chaque famille de produit, il existe une terminologie bien spécifique. Aussi nous renvoyons aux différentes parties (2 à 8 principalement) de la norme NF EN 1337. Enfin, les appareils d'appui en élastomère fretté font l'objet d'un certain nombre de termes techniques et d'une terminologie spécifique dont une partie se trouve rappelée dans la note technique N°27 (référence § 2.1.2). Pour le lecteur intéressé, signalons aussi le document sous la référence du § 2.2.8 (certes ancien mais toujours d'actualité) qui comporte un lexique sur le vocabulaire dans l'industrie du caoutchouc.

Pour définir le rôle et la fonction d'un appareil d'appui, nous pensons que le mieux est de reprendre ce que la norme NF EN 1337-1 donne, dans son § 3.1.1, comme suit :

«Les appareils d'appui sont des éléments utilisés pour permettre la rotation entre deux parties d'une structure et transmettre les charges définies dans les spécifications appropriées ainsi que pour éviter les déplacements (appareils d'appui fixes), permettre des déplacements dans une seule direction (appareils d'appui guidés) ou dans toutes les directions d'un plan (appareils d'appui libres)».

Ainsi, principalement, il va (voir figure 1) :

- transmettre les actions verticales dues à la charge permanente et aux charges d'exploitation routière,
- permettre les mouvements de rotation (effets des charges et des déformations différées du béton),
- permettre les déplacements relatifs entre les deux parties suite aux effets de variations de longueurs de l'ouvrage (effet thermique, retrait, fluage, freinage, ...).

Enfin, certains appareils d'appui, peuvent, le cas échéant, prendre en compte des actions sismiques sans modification du concept, sinon il s'agit de dispositifs très spécifiques¹. Dans cette situation, ils doivent satisfaire aux spécifications de la norme prEN 15129 (référence § 2.1.4) et de l'Eurocode 8 (NF EN 1998-2).

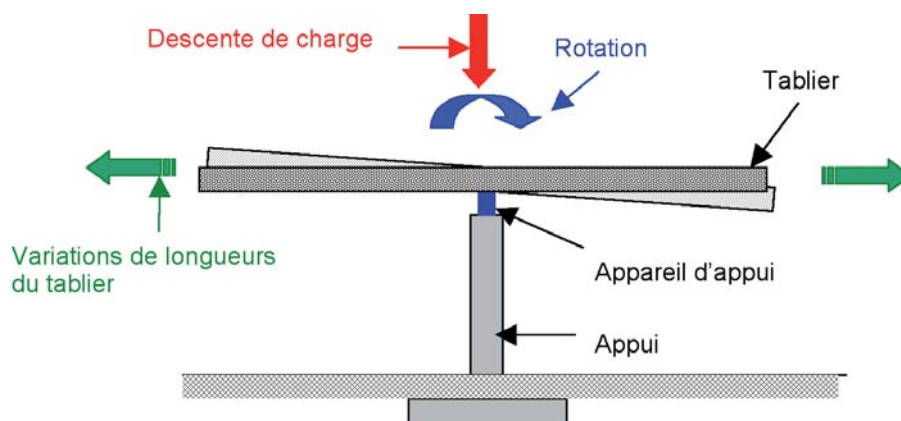


Figure 1 : Fonction d'un appareil d'appui.

A noter que certains appareils d'appui peuvent intégrer une fonction anti-soulèvement dans le cas d'ouvrages dont les travées de rive peuvent avoir une réaction d'appui vers le haut sous certains cas de charges.

¹ Le présent document ne traite que des appareils d'appui de conception «normale» même s'ils ont été dimensionnés sous l'action sismique. Le cas des dispositifs anti-sismiques est hors du champ d'application de ce guide.

1.3.1 GÉNÉRALITÉS

Comme il a été indiqué au § 1.1, il existe une très grande variété de concepts d'appareils d'appui et il est difficile d'en donner une présentation synthétique. De fait, présenter les produits sans préciser les possibilités qu'ils apportent est réducteur ; d'un autre côté, nombre de concepts autorisent diverses possibilités de fonctionnement, ne serait-ce que par la combinaison de plusieurs produits entre eux. Ce qui explique que le classement n'est pas unique.

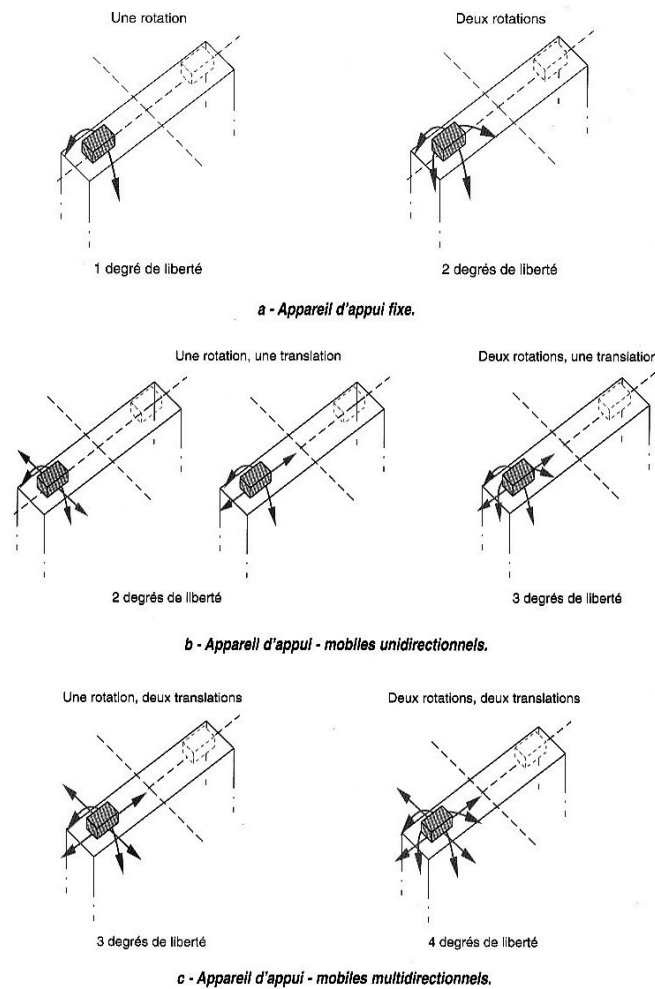


Figure 2 : Les différents types d'appareils d'appui considérés sous l'angle du déplacement.
Document SETRA (référence § 2.2.5)

1.3.2 CLASSEMENT SELON LE CRITÈRE DE DÉPLACEMENT

Si l'on considère **le critère de déplacement comme fondamental**, les types d'appareils d'appui peuvent être définis comme suit (voir la figure 2) :

■ Fixes

- qui permettent les rotations sur appui,
- mais ne permettent pas les déplacements.

■ Mobiles unidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui,
- ainsi que les déplacements mais dans une seule direction.

■ Mobiles multidirectionnels

- qui permettent les rotations sur appui.
- ainsi que les déplacements dans toutes les directions.

Cette approche de classement est surtout bien adaptée au projeteur qui doit prendre en considération les possibilités de fonctionnement pour dimensionner tant sa structure que son appui et, partant, son appareil d'appui.

La norme NF EN 1337-1 propose une autre forme de classement que nous présentons ici à titre d'information car elle ne nous paraît pas d'une grande utilité. Elle distingue les 4 catégories suivantes :

■ **Catégorie 1** : appareils d'appui à rotation complète,

■ **Catégorie 2** : appareils d'appui à rotation axiale,

■ **Catégorie 3** : appareils d'appui sphériques et cylindriques où la charge horizontale est reprise par la surface de glissement courbe,

■ **Catégorie 4** : tous les autres appareils d'appui.

1.3.3 CLASSEMENT SUR LA BASE DU CONCEPT

Par contre, les fabricants de ces produits ont plus l'habitude de partir du concept (tout en soulignant que les possibilités de fonctionnement de ces produits peuvent se combiner). Si on se base sur cette approche de présentation, on va trouver les différents types de produits suivants :

1.3.3.1 Appareils d'appui métalliques

Ce sont les appareils d'appui à rouleau, à balanciers, avec rotules, sphériques, ...

Voir les dessins N° 3.1 à 8.2 de la norme 1317.1 repris en annexe 1 de ce guide. Un exemple est présenté sur la figure 3.



Figure 3 : Un bel exemple d'appareil d'appui métallique combinant un système à rouleaux pour les déplacements et une rotule pour les rotations.
Crédit photo SETRA/CTOA

1.3.3.2 Appareils d'appui en élastomère fretté

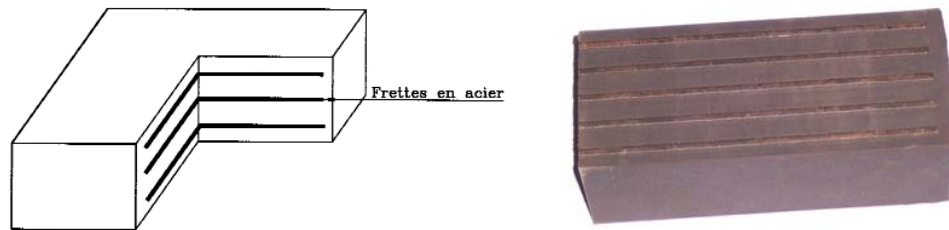


Figure 4 : Schéma type d'un appareil d'appui en élastomère fretté (de conception actuelle).
Crédit photo M. FRAGNET

Nota : la photo est une découpe dans un bloc «enrobé». Seule la partie droite montre l'enrobage des chants.

Voir les dessins N° 1.1 à 1.7 de la norme 1317.1 (repris en annexe 1 au présent document) et la figure 4.

1.3.3.3 Appareils d'appui à pot

Voir les dessins N° 2.1 à 2.3 de la norme 1317.1 (repris en annexe 1 au présent document) et la figure 5.

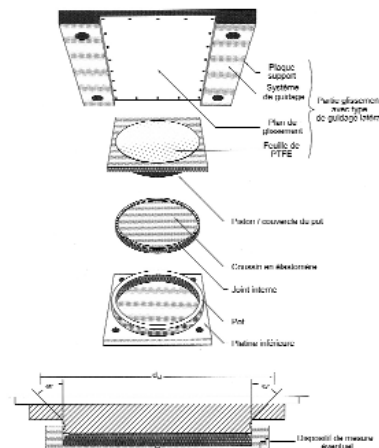


Figure 5 : Schéma de la conception d'un appareil d'appui à pot.
Document SETRA (référence § 2.2.1)

1.3.3.4 Appareils d'appui en béton

On va rencontrer ce type d'appareil d'appui sur des ouvrages relativement anciens. En effet, les appareils d'appui «modernes» sont maintenant choisis du fait de leur industrialisation qui a contribué à une meilleure fiabilité de leurs caractéristiques et, aussi, de leur simplicité de mise en œuvre.

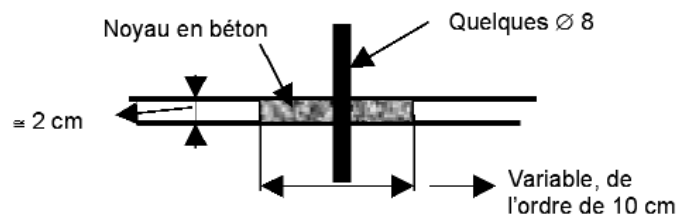


Figure 6 : Principe d'une section rétrécie de béton
 (Les aciers sont normalement en $\varnothing 8$ de nuance FeE24 mais on peut rencontrer d'autres diamètres et des aciers HA)

Le système basique est l'appareil d'appui dit «par section rétrécie de béton» dont la conception d'origine est due à M. E. Freyssinet (d'où leur nom fréquent «d'articulation Freyssinet») [voir figure 6]. Les textes anciens comme le BAEL 91, article A8.4.3, en donnaient le principe de fonctionnement.

De nombreux autres systèmes ont été conçus et on peut les rencontrer sur les ouvrages en béton armé d'il y a quelques décennies. On consultera le fascicule 13 (référence § 2.2.5) pour découvrir les nombreux types d'appareils d'appui en béton. La figure 7 donne un exemple de ce type d'appareil d'appui.

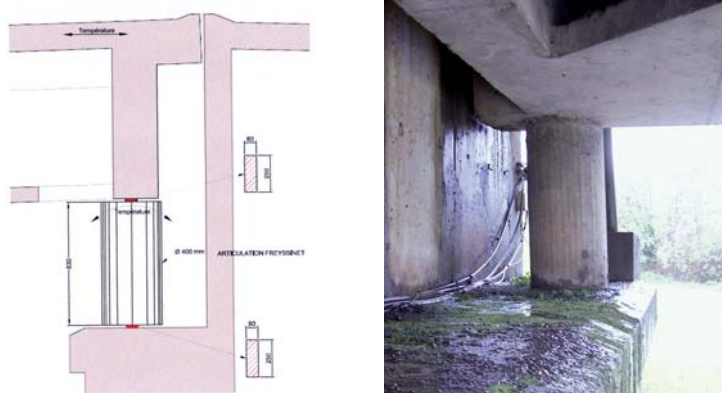


Figure 7 : Appareil d'appui en béton armé à pendule cylindrique
 Croquis et crédit photo CETE du Sud Ouest

2

Documents de référence

2.1 Normes

2.2 Guides et documents techniques

2.1.1 NF EN 1337 – Appareils d'appui structuraux (en cours de révision)

- **Partie 1** : Indications générales.
- **Partie 2** : Eléments de glissement.
- **Partie 3** : Appareils d'appui en élastomère.
- **Partie 4** : Appareils d'appui à rouleau.
- **Partie 5** : Appareils d'appui à pot.
- **Partie 6** : Appareils d'appui à balanciers.
- **Partie 7** : Appareils d'appui cylindriques et sphériques comportant du PTFE.
- **Partie 8** : Appareils d'appui guidés, appareils d'appui bloqués.
- **Partie 9** : Protection.
- **Partie 10** : Surveillance et entretien.
- **Partie 11** : Transport, entreposage intermédiaire et montage.

2.1.2 Note technique sur l'application nationale de la norme NF EN 1337 (appareils d'appui structuraux). Note d'information N° 27. SETRA-CTOA. Décembre 2006**2.1.3 NF T 47816-3 - Appareils d'appui structuraux - Appareils d'appui à pot
Partie 3 : pose des appareils d'appui à pot****2.1.4 PREN 15129 - Dispositifs antisismiques**

2.2.1 Les appareils d'appui à pot

Guide technique. SETRA. 11/2007. Référence F 0734

2.2.2 Les appareils d'appui en élastomère fretté.

Guide technique. SETRA. 07/2007. Référence F 0716

2.2.3 Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté.

Recueil des règles de l'art. SETRA/LCPC. 10/1978. Référence F 7810

2.2.4 Appareils d'appui en caoutchouc

Documents scientifiques et techniques. AFPC. 07/1994

2.2.5 Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art

Seconde partie : Fascicule 13 «appareils d'appui». SETRA/LCPC. 2002. Référence SETRA : O230, Référence LCPC : FASC13

2.2.6 Guide Mémoar (Mémento pour la mise en œuvre sur les ouvrages d'art)**> Les fiches suivantes sont relatives aux appareils d'appui :**

- VIII-1 : Appareils d'appui en élastomère fretté.
- VIII-3 : Bossages des appareils d'appui.
- VIII-4 : Vérinage/Calage.

Référence : SETRA. 0757CD (disponible sous forme d'un CD rom vendu par le SETRA et prochainement accessibles sur Internet via le site de la DTRF, sur abonnement).

2.2.7 Guide d'aide à l'élaboration d'un Dossier de Consultation des Entreprises de changement d'appareils d'appui

SETRA. 2008. Document téléchargeable sur le site SETRA, pour le moment.

2.2.8 Le langage du caoutchouc par Dupont De Nemours

Du Pont de Nemours International SA. Elastomer Chemicals Department. 1963.

2.2.9 Contribution à l'analyse et au développement des méthodes de soulèvement des constructions en génie civil. Application aux ouvrages d'art.

Mémoire CNAM de M. A. Koch (1991). Ce document est très complet sur tout ce qui est relatif aux calculs et vérifications préalables, aux matériels de vérinage et à la réalisation pratique d'un soulèvement.

2.2.10 Pathologie, maintenance et réparation des appareils d'appui des ponts et viaducs

Mémoire CNAM de M. D. Chardonnières (2004) téléchargeable (taille 24 Mo) sur le site www.cnam-limousin.fr (sur la page d'accueil, cliquer sur le logo de la FIR pour entrer sur la page de téléchargement du mémoire). Il traite plus particulièrement de la pathologie et des défauts observés sur les différents types d'appareils d'appui avec une grille d'évaluation ainsi que des conseils pour les suites à donner.

2.2.11 Bulletin Ouvrages d'Art (SETRA) N° 55 (Juillet 2007) et 56 (Novembre 2007)

«Application des nouvelles normes Détermination des efforts horizontaux dans un système d'appareils d'appui à plan de glissement ou de roulement» en 2 parties, par M. Y. Picard. (Téléchargeable sur le site du SETRA).

2.2.12 Manutentions lourdes. Technologie et mise en œuvre

Techniques de l'Ingénieur : Construction, généralités.

10 août 1996, Référence : C 132. C. Tourneur, B. Fargeot et P. Jartoux.

2.2.13 Maintenance et réparation des ponts

sous la direction de J.A. Calgaro et R. Lacroix.

Chapitre 13 : surveillance et entretien des appareils d'appui
par A. Chabert et J. Seantier. 1997. Presses de l'ENPC.

Précision :

Pour la rédaction de ce guide FAEQ 5, en particulier les chapitres 4.1, 4.3 et 4.4, les auteurs souhaitent préciser qu'ils n'ont pas fait totalement œuvre originale et qu'ils se sont largement appuyés, mais pas uniquement, sur le très intéressant et très important travail rédigé par M. A. Koch, auteur de la référence citée au § 2.2.09. Nous tenions à le remercier pour sa contribution. En outre, nous remercions M. D. Esbrat (ancien ingénieur au LRPC d'Aix en Provence, maintenant en retraite) pour nous avoir autorisés à utiliser certains de ses documents dont une conférence sur les soulèvements pour une journée formation à l'Ecole des Ponts et Chaussées.

3

Aide au diagnostic sur l'état et l'efficacité des appareils d'appui

Compte tenu de l'existence d'un document très complet qui donne une liste exhaustive et détaillée des pathologies sur les appareils d'appui, il n'a pas été jugé opportun de rédiger un tel chapitre qui n'aurait été qu'une copie de ce qui a déjà été élaboré par un groupe de rédacteurs spécialistes. C'est pourquoi, pour ce chapitre, le lecteur est invité à consulter le Fascicule 13 : «Appareils d'appui» de la seconde partie de l'Instruction technique sur la Surveillance, l'Entretien et la Réparation des OA (voir référence § 2.2.5).

Ce document décrit de façon très détaillée les différents types d'appareils d'appui que l'on est susceptible de rencontrer sur les ponts en service puis il donne les informations qui vont permettre d'établir les causes et la nature des désordres observés (sur chaque type d'appareil d'appui), le degré d'importance en terme de risque vis-à-vis de la stabilité de l'ouvrage et les éventuelles dispositions à prendre concernant les opérations d'entretien (courant ou spécialisé) et quelques éléments sur les réparations envisageables.

Il s'agit d'un document incontournable pour tout visiteur d'appareil d'appui de pont. Il est aussi un outil indispensable pour préparer le chantier des travaux de réparations car il permet de bien comprendre les causes des désordres et donc ne pas faire d'erreur dans la nature de la réparation à effectuer.

Le document cité sous la référence 2.2.10 permet aussi d'établir un diagnostic à partir des visites et des constatations qui en résultent. Dans sa seconde partie, ce travail guide le gestionnaire vers les actions qui seront à programmer en fonction des désordres observés.

4

Les opérations de réparation. Choix des produits et des matériaux

4.0 Généralités

4.1 Que doit contenir un dossier pour une intervention sur des appareils d'appui structuraux

4.2 Les aspects calcul et vérification de la structure

4.3 Les technologies de vérinage

4.4 Le soulèvement

4.5 Reprise des bossages

4.6 Précaution lors du changement d'appareils d'appui en élastomère

Les Services Techniques Centraux de l'Etat ont rédigé un certain nombre de guides sur les appareils d'appui de pont. Souvent, ils comportent un chapitre qui traite des opérations de réparations portant sur ces dispositifs mais ils en restent souvent au stade des principes généraux. Cependant, les acteurs en charge d'un chantier de changement ou de remise en état d'appareil d'appui doivent, plus particulièrement, disposer de deux d'entre eux parmi les plus complets :

a) «Environnement des appareils d'appui en élastomère fretté» (référence § 2.2.3) dont le chapitre 2 traite des méthodes d'exécution des bossages (ce qui peut être utile pour la réalisation de nouveaux bossages sur un pont en service) et le chapitre 2.3.3 de la réparation de l'environnement des appareils d'appui (sous-entendu de type appareil d'appui en élastomère fretté) et du soulèvement d'un ouvrage.

b) «Guide d'aide à l'élaboration d'un Dossier de Consultation des Entreprises de changement d'appareils d'appui» (référence § 2.2.7).

Cependant, ces guides ont surtout été rédigés par des maîtres d'œuvre ou par des services en charge des contrôles de chantier pour leur besoin propre et ils ne se placent pas spécifiquement du point de vue de l'entreprise, bien qu'ils puissent être valablement consultés et utilisés par elles.

Par ailleurs, ces documents sont très peu «pratiques» sur l'aspect chantier et sont plus utiles pour rédiger les pièces écrites d'une consultation, préparer un marché ou contrôler un chantier que pour l'exécuter correctement.

C'est pourquoi, tout en les considérant comme une base essentielle, le présent guide FAEQ 5 se propose de mettre l'accent sur certains aspects du volet chantier. C'est l'objet des chapitres qui suivent.

4.1.1 DÉFINITION DES OBJECTIFS DE L'OPÉRATION

Une intervention sur des appareils d'appui structuraux n'est pas une opération anodine qui peut se décider sans une importante réflexion préalable. En effet, on intervient sur un élément de structure qui joue un rôle important dans la stabilité de l'ouvrage, sur un dispositif qui a des fonctions complexes qui, si elles ne sont pas maintenues, peut conduire à la ruine brutale de l'ouvrage ou à des désordres irrémédiables.

Il importe donc que cette décision soit mûrement réfléchie et analysée et que les avantages que l'on espère en retirer soient à l'échelle des investissements engagés.

> Dans cette phase de préparation de l'opération, il est important de connaître la finalité exacte de l'intervention car les moyens matériels ne seront pas les mêmes. C'est ainsi que l'on peut distinguer :

a) un changement ou un repositionnement des appareils d'appui. A ce sujet, on distinguera le «remplacement» qui consiste en la substitution d'un appareil d'appui défectueux par un produit identique du «changement» qui suppose la mise en œuvre d'un appareil d'appui différent ;

b) la réfection ou la réalisation de bossage(s) ;

c) les pesées de réaction d'appui ;

d) la modification du gabarit d'ouvrage ;

e) les reprises de zones d'appui par suite d'affaissement des points d'appui ou de basculement de piles ou de culées ;

f) autres comme le soulèvement d'un tablier en vue d'être ripé ou poussé à une nouvelle position, une recompression de zone d'appui, etc.

Toutes les interventions citées ci-dessus ne peuvent être effectuées que si l'ouvrage est soulevé afin de libérer les appareils d'appui. C'est le **VERINAGE** que l'on définira comme l'opération qui consiste à appliquer un effort vertical (et éventuellement horizontal) à l'aide de vérins hydrauliques en des points très précis en vue de relever en altimétrie, d'une certaine amplitude, un tablier de pont en prenant appui le plus près possible des dispositifs d'appui en place. Cette opération est appelée aussi levage ou relevage. Après cette opération, on peut, soit revenir à la position initiale, soit se placer à une altimétrie différente en conservant le tablier dans un plan de référence parallèle ou non au plan d'origine.

Or le vérinage est une opération très délicate qui nécessite une bonne connaissance de l'ouvrage à vériner, un processus de vérinage précis et détaillé et le respect rigoureux de cette procédure de vérinage.

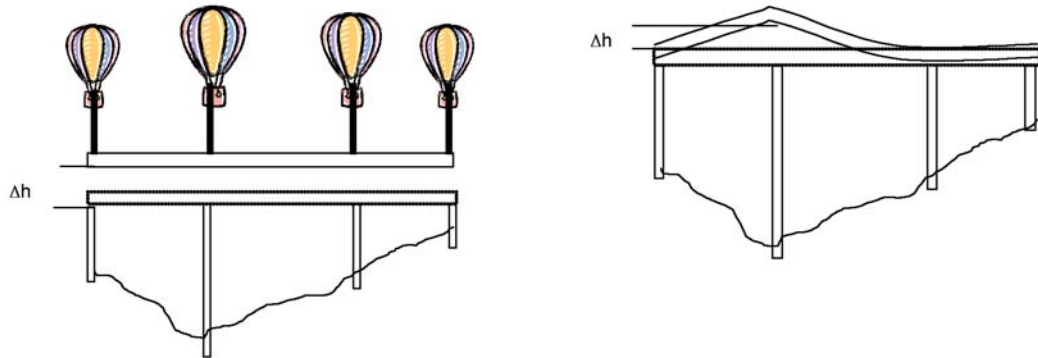
Pour la connaissance de l'ouvrage, il est indispensable de recueillir toutes les informations sur l'histoire de l'ouvrage. Celles-ci sont normalement rassemblées dans son «dossier» mais celui-ci est, malheureusement trop souvent, ou inexistant ou incomplet. Aussi il ne faut pas hésiter à faire des recherches dans les archives départementales, nationales ou auprès de l'entreprise. Dans le cas où il est impossible de retrouver des plans ou des notes de calcul de l'ouvrage (où lorsqu'il y a un doute sur leur validité) on devra procéder, préalablement à l'établissement du projet, à des investigations in situ (relevés de cotes, gammagraphie, sondage, ...).

4.1.2

**COMPOSITION D'UN DOSSIER D'OUVRAGE
EN VUE DE SON VÉRINAGE**

L'étude théorique du vérinage est relative au but recherché de l'opération, à l'amplitude du soulèvement à effectuer et de l'importance de l'ouvrage (longueur et nombre de travées).

L'opération idéale consisterait à lever simultanément toutes les lignes d'appui d'une même hauteur Δh . Ainsi, sous réserve d'un minimum de précautions, aucune sollicitation supplémentaire ne se développerait dans le tablier (figure 8 gauche).



a) la solution idéale pour soulever un ouvrage !

Figure 8 :

b) La solution techniquement et économiquement réaliste !

Dans la réalité, cette procédure reste limitée à des cas de figures simples comme une intervention sur un pont dalle de faible longueur, à petit nombre de travée. Sinon, elle est rarement réalisable, car très peu d'entreprises disposent du matériel nécessaire et l'opération serait, de toute façon, extrêmement difficile à contrôler et nécessiterait un matériel important et onéreux pour vérifier à tout moment le déplacement du pont.

Le plus souvent, on est donc amené à soulever l'ouvrage ligne d'appui par ligne d'appui, ce qui, par conséquent, contribue à créer une dénivellation longitudinale entre deux lignes d'appui et a pour effet de modifier les réactions et la courbe des moments fléchissant.

Pour apprécier les conséquences du vérinage sur la structure et pouvoir définir les matériels à mettre en œuvre, leur positionnement, les contraintes pour le gestionnaire, etc., il importe de disposer d'un dossier le plus complet possible. Ces contraintes peuvent être résumées par le schéma de la figure 9 qui indique clairement que la solution est un compromis entre plusieurs contraintes et que l'objet de l'étude est d'essayer de mettre en évidence la zone centrale qui correspondra à la solution envisageable. La composition du dossier que l'on donne ci-après (établie à partir de la référence du § 2.2.09) ne prétend pas être exhaustive mais elle constitue un minimum que l'on devrait trouver dans chaque dossier.

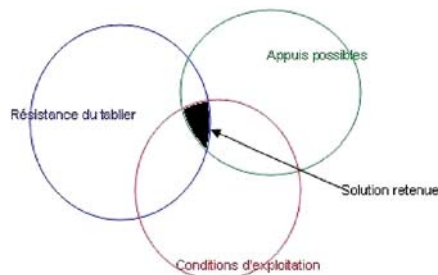


Figure 9 : Les principales contraintes pour la recherche de la solution
Dessin J.M. LACOMBE - SETRA

Bien entendu, les considérations liées à la contrainte économique sont aussi une donnée du problème à considérer.

a) Rapport de visite de l'ouvrage

> Dans ce rapport, on recherchera plus particulièrement les informations portant sur :

- fissuration de la dalle, sur les poutres, les entretoises,...
- déplacement des poutres sur leurs appuis et éventuel contact entre elles sur appui,
- dégradations des bossages,
- fissuration au droit de soudures,
- défaut d'injection des câbles de précontrainte,
- éventuelles hétérogénéités du béton,
- existence d'une microfissuration,
- présence ou non d'un frettage des têtes de piles ou de culées,
- confirmation du positionnement des câbles principaux de précontrainte, notamment la précontrainte transversale au droit des appuis,
- la valeur des températures de l'ouvrage.

> C'est à partir de ce rapport de visite donnant le relevé des désordres apparus sur l'ouvrage que l'on peut, dans une première approche, estimer dans quel état d'endommagement se trouve l'ouvrage. On va sommairement distinguer :

- **ouvrage sain**, c'est-à-dire que la structure «travaille» comme il a été prévu lors de sa conception.
- **ouvrage de qualité médiocre**, en particulier quand des efforts secondaires ont été oubliés (ou méconnus) lors de la conception (fluage, retrait, gradient thermique) mais où leur incidence reste encore faible.

- **ouvrage fragile ou très faible**, notamment parce que de sérieuses redistributions d'efforts se sont produites. Le cas de charge vérinage risque d'être très délicat à gérer.
- **ouvrage à la limite de la ruine** : il est à renforcer d'urgence et extrêmement difficile à vérifier.

Cet état de l'ouvrage est primordial avant de prendre une décision de soulèvement et d'engager des travaux.

b) Mesures topographiques

> **Celles-ci doivent donner les informations suivantes sur :**

- les dimensions de l'ouvrage,
- l'altimétrie générale de l'ouvrage,
- le niveau des différents points d'appui envisageables sur culée et sur pile,
- l'épaisseur réelle de l'enrobé sur le tablier,
- le niveau du dessous du tablier ou des poutres en milieu de travée,
- la verticalité des piles.

Cela pourra permettre de mettre en évidence un éventuel tassement des fondations ou un tassement pouvant être différentiel ou l'existence d'une éventuelle flèche du tablier (corrélés les visées au niveau des trottoirs, des garde-corps ou des barrières de sécurité, des corniches avec celles de l'intrados du tablier).

Parmi les informations de la liste ci-dessus, nous insistons particulièrement sur la connaissance de l'épaisseur de l'enrobé qui va jouer sur la valeur exacte de la charge à soulever et qui est une donnée sur laquelle on peut influencer (rabotage avant soulèvement, par exemple).

> **Toujours dans le cadre de ces mesures topographiques, on relèvera avec précision l'espace environnant des appareils d'appui, afin de juger de la difficulté à réaliser un soulèvement, ainsi que des dispositions à prendre pour la mise en place du matériel. A cet effet, le dossier donnera :**

- la valeur de la hauteur libre entre l'intrados du tablier (ou des sous faces des entretoises sur appui) et la face supérieure de l'appui,
- la géométrie des bossages,
- les dimensions en plan des appareils d'appui et leur nombre,
- les largeurs d'appui des piles et des culées, des poutres (ou des entretoises) servant d'appui aux vérins,
- la géométrie de la hauteur des piles et des culées,
- l'accessibilité de l'ensemble de l'ouvrage lorsque celui-ci franchit un obstacle particulier, une autoroute, un fleuve, un canal, une voie ferrée, etc.

c) Note de calcul de l'ouvrage (voir le § 4.2 ci-après)

d) Configuration de site

> On distinguera sommairement les cas suivants :

- pont routier ou ferroviaire (y compris les dispositifs d'alimentation électrique) au-dessus d'un axe de circulation quelconque où la hauteur des piles est celui des gabarits des poids lourds ou des trains,
- pont franchissant une vallée, où la hauteur des piles est importante,
- pont enjambant un cours d'eau,
- pont à proximité d'habitations ou les surplombant (risque de nuisance sonore pendant les travaux).

Suivant ces configurations, l'accès aux piles et les moyens matériels seront différents mais la méthodologie du soulèvement sera la même quel que soit le site ou la hauteur de soulèvement du tablier.

e) Les opérations préliminaires à un vérinage

> Les points suivants sont systématiquement concernés par une opération de soulèvement, ce qui suppose que le dossier donne toutes les informations pour réaliser l'intervention ad hoc :

- Type de joints de chaussée. En fonction de la hauteur de soulèvement et des possibilités des produits en place (voir les avis techniques SETRA et le guide FAEQ 3) on peut être amené à prévoir soit un dévissage partiel, soit une dépose totale de la ligne (y compris le joint sur et sous trottoir). Ceci peut avoir comme conséquence la mise en place de plaques de pontage si l'on envisage un maintien de la circulation pendant le chantier.
- Présence d'une couche d'enrobé en continu sur la zone du joint, donc nécessité de prévoir un sciage de cette couche pour ne pas avoir un effort de cisaillement lors du soulèvement.
- Possibilité de démanchonnage des lisses des garde-corps et/ou des barrières de sécurité (voir FAEQ 4) [figure 10].
- Présence éventuelle de divers réseaux passant dans ou sous le tablier (gaz, eau, etc.) dont il conviendra de prévoir le débranchement éventuel ou de veiller à leur donner de la souplesse.
- Vérification, ou nettoyage si cela s'avère nécessaire, de l'about du tablier (accumulation de gravats ou de blocs de béton entre le garde-grève et l'about lors de la réalisation de l'ouvrage)².
- Mise en place de la signalisation routière pour les usagers (ralentissement de la circulation, rétrécissement de voie...),

Et tous aménagements ou dispositifs pouvant interférer peu ou prou dans l'opération de vérinage.

² Certains spécialistes préconisent le passage systématique d'une barre d'acier Ø10 entre l'about du tablier et le mur garde-grève, y compris les murs latéraux.



Figure 10 : Conséquence d'un oubli de libération des manchons des lisses d'une barrière de sécurité (l'effort de soulèvement aurait aussi été majoré de 80 t !).
Crédit photo D. ESB RAT

f) Conditions de trafic sur l'ouvrage

> Le dossier devra préciser les conditions de trafic exigées par le maître d'ouvrage :

- sans restriction de charge et maintien avec vitesse normale ou avec vitesse réduite,
- avec restriction de charge, par exemple par fermeture d'une ou plusieurs voies de circulation, ou par interdiction du trafic PL,
- coupures du trafic limitées pendant le vérinage ou le dévérinage ou pendant tous les travaux,
- etc.

g) Autres informations

- hauteur du soulèvement envisagée,
- dénivellation transversale admissible,
- vérification des points d'appui.

4.2.1 PRINCIPES GÉNÉRAUX DES TRANSFERTS DE CHARGE

Les transferts de charges ou de réactions d'appui permettent de modifier les conditions d'appui d'une structure.

L'opération de soulèvement vise essentiellement à maîtriser la force de levage et à contrôler les déplacements et les déformations éventuelles de la structure.

Les opérations de transferts de charges s'appliquent souvent à des systèmes hyperstatiques, il faut alors gérer simultanément en plusieurs points les forces de réaction.

Durant une opération de transfert, les déplacements mesurés sont généralement les déformations élastiques des matériaux sur lesquels s'applique la force.

Si l'on trace le diagramme des efforts et des déplacements en un point de vérinage, on constate que le graphe obtenu (figure 11) se décompose en trois parties (repris de la référence citée au § 2.2.12).

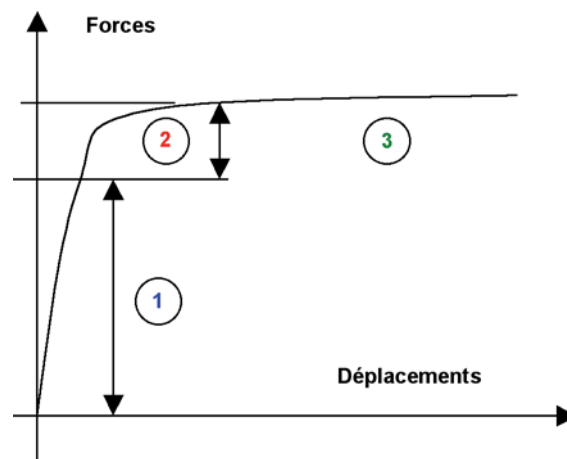


Figure 11 : Courbe efforts-déplacements sous un point de levage, pour un ouvrage isostatique.

- **1^{ère} partie de la courbe** : sous l'appareil de levage, la matière subit des déformations telles que raccourcissements élastiques, tassements des calages, décompression des appuis existants. La somme de ces déformations donne sur la courbe une pente accentuée. **C'est la phase de transfert de charge.**
- **2^{ème} partie de la courbe** : les tassements se stabilisent, l'appui provisoire continu à se décompresser en même temps que l'appareil de levage se charge progressivement. La courbe s'infléchit. **C'est la phase de prise en charge.**
- **3^{ème} partie de la courbe** : la structure levée quitte ses points d'appui. A ce moment, la charge complète repose sur les appareils de levage. C'est également à partir de là qu'un pesage des réactions d'appui est possible si le plan d'origine a été respecté. Cette partie rectiligne de la courbe reste légèrement inclinée à cause des effets de dénivellation par rapport aux autres appuis ou horizontale dans le cas d'une structure isostatique **C'est la phase de levage.**

Avant de mettre œuvre ce principe des transferts de charge, toutes les précautions doivent être prises afin de s'assurer que les modifications des efforts sont acceptables pour la structure.

> **Considérant ce principe de transfert de charge, il importe d'effectuer un calcul de la structure qui prenne bien en compte l'ensemble des phénomènes pouvant apparaître lors de cette opération. Dans ce but, on peut envisager deux types de calcul :**

- complet en contraintes,
- simplifié (en sollicitations) dans lequel on effectue une comparaison des sollicitations dues au vérinage avec celles dues aux charges d'exploitation ou à la température.

> **C'est en conclusion de ce calcul que l'on va décider :**

- un renforcement ou non de la structure,
- une coupure totale ou partielle de la circulation pendant tout ou partie des travaux,
- des travaux uniquement dans des conditions de température (gradients thermiques) déterminées à l'avance,
- une limitation de la flexion dans le tablier due au vérinage (vérinage sur plusieurs lignes d'appui à la fois, par ex.).

Les paragraphes suivants vont définir les préalables à l'opération de changement des appareils d'appui.

4.2.2

LA TECHNIQUE DE VÉRINAGE EST CELLE PRÉVUE PAR LE PROJET

> **Deux situations sont à envisager :**

4.2.2.1 La Note De Calcul jointe à l'appel d'offres (au marché ?) peut-elle être considérée comme correcte et complète ?

Une vérification des hypothèses de calcul et des ordres de grandeur de chaque action s'impose, ainsi que le contrôle de la prise en compte de phénomènes dits du 2^{ème} ordre qui, en fait, peuvent modifier de manière significative les efforts.

Le guide cité sous la référence du 2.2.7 (le chapitre 3 de la partie guide et les § 2.10 à 2.16 de la partie CCTP type) donne de précieuses indications.

> L'attention devra être plus particulièrement portée sur les questions que l'on doit se poser. Parmi celles-ci, citons plus particulièrement les suivantes (liste non exhaustive) :

- Les règlements de calculs proposés dans le Dossier de Consultation des Entreprises sont-ils en adéquation avec l'utilisation actuelle de l'ouvrage ?

Commentaire : Pour les ouvrages anciens et simples, nous proposons de faire appel aux charges proposées dans le fascicule 61-II du CCTG qui semblent bien souvent suffisantes. L'attention est attirée sur le fait que le calcul basé sur les Eurocodes actuels peut s'avérer inutilement pénalisant.

- N'y a-t-il pas confusion entre l'Etat Limite de Service et l'Etat Limite Ultime ?
- De même, n'existe-t-il pas une confusion entre une charge en service (poids propre + équipements de l'ouvrage) et une charge maximale (tablier + charges d'exploitation) ?
- N'y a-t-il pas une erreur de décimale sur la valeur des rotations ?
- Est-on bien d'accord sur les hypothèses de restriction de circulation ?

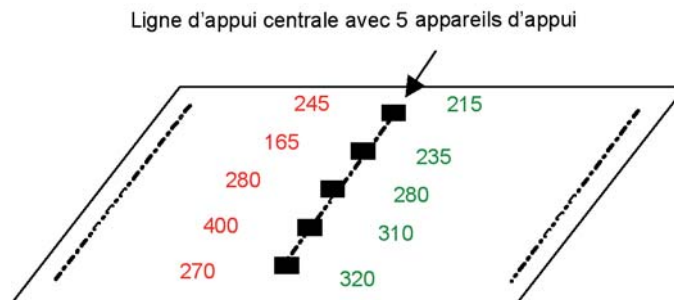


Figure 12 : Exemple d'une dalle biaisée sur pile comprenant 5 appareils d'appui dans un cas de sollicitation.

Commentaire sur cette figure : les valeurs en rouge sont celles des descentes de charges (en kdaN) sans prendre en considération la souplesse de l'élastomère, alors que les valeurs en vert sont après avoir pris en compte cette souplesse. L'hétérogénéité des valeurs en rouge doit alerter le projeteur.

- La prise en compte des rotations supplémentaires pouvant intervenir lors des travaux de pose est-elle pertinente ?

Commentaire : les valeurs conseillées sont de 0,003 rad si les interfaces sont conjuguées et de 0,010 rad pour les éléments posés. En effet, **sauf cas particulier, le changement d'un appareil d'appui impose le rattrapage des défauts de planéité et d'inclinaison d'au moins un interface structure-appareil d'appui. Ceci conduit à la réalisation d'au moins un des bossages** (voir le § 4.5, reprise des bossages).

- Quelles sont les hypothèses de répartition transversale sur une ligne d'appui ?
- Dans le cas, notamment, d'appareils d'appui en élastomère, n'y a-t-il pas une absence de prise en compte d'une souplesse verticale des appareils d'appui ? En effet, certains programmes performants de calcul risquent de donner des résultats indiquant de très mauvaises répartitions entre les appareils d'appui, ce qui rend nécessaire un recalcul avec la souplesse de l'appareil d'appui. Par sécurité, on utilisera la valeur de tassement de la formule que l'on trouve dans la norme NF EN 1337-3 (§ 5.3.3.7) divisée par 2 pour tenir compte de l'augmentation du module d'élasticité lors de la sollicitation de l'élastomère.
- Y a-t-il pertinence tant des dénivellations transversales (vérification des contraintes d'entretoisement) que des dénivellations longitudinales ?
- Y a-t-il faisabilité des dénivellations proposées ?

Commentaire : on considère, habituellement, que, pendant une opération de vérinage, il est illusoire de prévoir des écarts entre les niveaux théoriques inférieurs à environ 0,3 mm.

- Les indications des températures de pose sont-elles compatibles avec les déplacements estimés ?
- Y a-t-il prise en compte ou non des combinaisons d'actions avec le vent ?

Commentaire : Ce critère est très important sur les passerelles piétons et les ouvrages aménagés postérieurement à leur mise en service avec des écrans phoniques par exemple. Pour les passerelles piétons, il est conseillé d'appliquer les règles de l'Eurocode ou du fascicule 61, titre II du CCTG, de préférence aux valeurs des règles Neige et Vent qui ne sont pas adaptées à ce genre d'ouvrage.

- Quelles sont les hypothèses retenues pour le calcul des efforts horizontaux et leurs répartitions entre les appareils d'appui fixes (cf. NF EN 1337-1 § 6.2 et article de la référence 2.2.11) ?

Commentaire : Si l'appui fixe comprend 2 appareils d'appui, la division par 2 de l'effort horizontal résultant pour obtenir la valeur pour un appareil n'est pas acceptable, la rigidité de l'ensemble du système devant être prise en compte pour évaluer l'inégalité de répartition des efforts.

- Le projet envisage-t-il un changement du système d'appui modifiant l'intensité et la répartition des efforts horizontaux dans les appuis, efforts compatibles ou pas avec ceux pris en compte lors de la conception de l'ouvrage (voir figure 13) ?

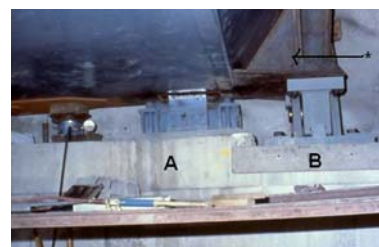
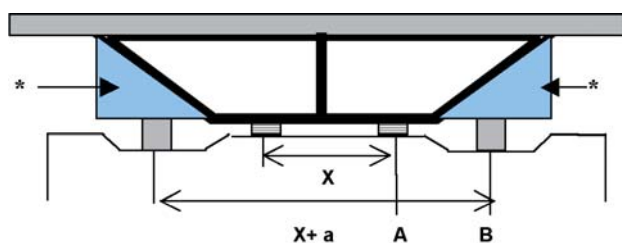


Figure 13 : L'opération a pour objet de changer les points d'appui (de A vers B) afin d'améliorer la tenue de la structure en torsion en passant de l'espacement X à X+a, ceci en ajoutant les structures signalées par un *.

Crédit photo Y. PICARD

Commentaire : les valeurs de rigidité d'encastrement des appuis et de module d'élasticité du béton sont souvent supérieures aux valeurs retenues lors de la conception de l'ouvrage. Si l'Eurocode préconise de retenir le module d'élasticité instantané du béton pour toutes les actions de variation de température, par sécurité et pour tenir compte des réalités physiques, il est conseillé de majorer cette valeur du module instantané de 20 à 30%.

- Les emplacements prévus pour les points d'application des vérins ou des calages ne risquent-ils pas de perturber les efforts dans la structure (ex : incompatibilité avec la précontrainte transversale d'une entretoise...)?
- Ces points d'application ont-ils un raidissage ou un frettage suffisant pour recevoir les différentes charges des phases de l'opération de vérinage ?

Commentaire : les zones de calage doivent avoir fait l'objet d'une vérification tant en terme de résistance du béton sous-jacent que de la possibilité de transférer la charge du vérin sur ce calage.

- Le redimensionnement des appareils d'appui est-il en accord avec l'évolution des règles de dimensionnement, avec le retrait/fluage déjà effectué et avec les modifications des charges supportées par l'ouvrage ?
- Les points de vérinage ou de calage peuvent-ils reprendre les conséquences des écarts thermiques ainsi que les efforts horizontaux pendant l'opération ?

4.2.2.2 La Note De Calcul est considérée comme insuffisante

Cette situation doit conduire obligatoirement à un dialogue avec la maîtrise d'œuvre, même si des observations sur le dossier du maître d'œuvre ont déjà pu être transmises lors de la remise des offres.

L'entreprise et le maître d'œuvre devront mettre à profit la période de mise au point du marché (ou dès la notification du marché) pour rechercher un accord en vue de compléter les insuffisances du dossier.

En cas de contestation de certains critères d'appréciation, il pourra être demandé l'avis d'un expert ayant une bonne expérience des opérations de vérinage.

La véritable procédure de vérinage ne pourra être validée qu'après accord et engagement des deux parties sur les critères contestés.

> Par exemple :

- Il sera examiné si l'apport d'une régulation des mouvements de vérinage par ordinateur peut apporter une réponse aux critères contestés.
- La modification des restrictions de circulation peut apporter une solution : le DCE prévoyait une seule voie de circulation pendant les opérations de vérinage et une heure de restriction, l'entreprise propose une coupure complète (solution toujours préférable) et 15 minutes d'interruption.

4.2.3

LA TECHNIQUE DE VÉRINAGE EST PROPOSÉE PAR L'ENTREPRISE

C'est une variante et c'est donc à l'entreprise de proposer sa justification par une Note De Calcul ad hoc.

Tout sera mis en œuvre pour rassembler tous les éléments nécessaires à l'étude du vérinage.

Si le dossier d'ouvrage est insuffisant pour disposer de toutes les informations permettant de valider toutes les hypothèses, il sera parfois nécessaire de recourir à des mesures en place, auscultations et/ou à des prélèvements pour connaître la nature des matériaux (qualité des aciers, densité de fretage...).

Bien entendu, les points abordés dans le § 4.2.2.1 ci-dessus seront examinés.

Enfin, les hypothèses découlant du matériel et de la méthode de vérinage employée seront clairement justifiées.

4.2.4

CALCUL DES POSSIBILITÉS DE ROTATION AVEC DEUX LIGNES DE VÉRINS

Il importe de vérifier les possibilités de rotation lorsque l'appui à véliner comprend deux lignes de vérins (voir le § 4.4.2.5 et la figure 33).

En effet, il est fréquent de constater que certains dossiers d'ouvrage mentionnent que l'ouvrage est vérinable avec la circulation ou une circulation réduite. En fait, cela signifie qu'il a seulement été vérifié que la descente de charge avec les charges d'exploitation retenues pouvait être reprise par 2 lignes de vérins situées de part et d'autre de la ligne d'appareils d'appui objet de l'intervention. Or les phénomènes de transfert de charge dus à la rotation provoquée par les charges roulantes n'ont pas été pris en compte.

> Les moyens pour diminuer l'importance de cette action sont :

- l'augmentation de la souplesse des supports provisoires par interposition, au droit des vérins, de plaques en élastomère spécialement calculées à cet effet,
- le transfert sur tours métalliques des lignes d'appui provisoire avec un brêlage coulissant sur le fût de pile,
- la restriction supplémentaire des charges d'exploitation.

En aucun cas on ne doit laisser un couplage hydraulique des vérins en pression pour absorber les rotations dues au trafic, car il y a risque de fuites dans les circuits.

4.3.1 PRÉSENTATION

Comme cela a déjà été signalé, une intervention au niveau des appareils d'appui nécessite quasi systématiquement un soulèvement de l'ouvrage. Compte tenu des charges à soulever, de la précision du travail à exécuter, des conditions d'intervention, etc. il faut disposer d'un matériel adapté dont l'élément principal est constituée par le vérin auquel est associé tout un ensemble de matériels annexes et d'équipements ou de structure(s) pour accéder à la zone de travail. Un tel matériel nécessite des investissements et un personnel compétent et qualifié dont seules quelques entreprises disposent. Il ne suffit pas d'acheter quelques vérins et une pompe pour se targuer d'être un spécialiste en soulèvement de structures !

L'objectif des chapitres 4.3 et 4.4 de ce guide n'ambitionne pas de donner tous les éléments pour permettre à quiconque de prétendre pouvoir réaliser un soulèvement d'ouvrage, mais il se propose, plus modestement, de rappeler les techniques de base en matériel et en soulèvement, leur domaine d'emploi et les précautions d'emploi, aux seules fins de donner à tous les intervenants de ce chantier délicat qu'est un soulèvement de structures les outils pour bien choisir la solution technique adaptée et de bien l'utiliser.

4.3.2 LE MATÉRIEL DE LEVAGE

Parmi les nombreux matériels de levage, seuls les suivants sont utilisés dans le domaine du soulèvement des structures dans le but de réaliser une intervention sur des appareils d'appui.

4.3.2.1 Les coins de levage

(Repris de la référence § 2.2.12, chapitre 2.2).

Les coins de levage sont des pièces simples, triangulaires ou trapézoïdales, conçues pour permettre de fins réglages en altitude et maintenir les charges en position. Toutefois, contrairement à ce que l'on demande aux coins classiques, on exige d'eux d'assurer des opérations réversibles, c'est-à-dire de permettre des levages, bien sûr, mais aussi des descentes.

Ils se présentent en trois parties : deux parties dépendantes, l'une de la structure, l'autre du support, et une troisième mobile et glissante (le coin proprement dit), placée entre les deux autres (voir figure 14). La réversibilité du système exige la présence d'un système de retenue : en général, une tige filetée traversante.

Les coins de levage doivent être conçus de telle sorte qu'un réglage en cours d'opération soit possible. Leur pente et leurs faces de frottement doivent être telles, que, après un serrage, l'opération soit réversible. Il faut, pour cela, pouvoir satisfaire les conditions précisées sur la figure 14, dessin de gauche.

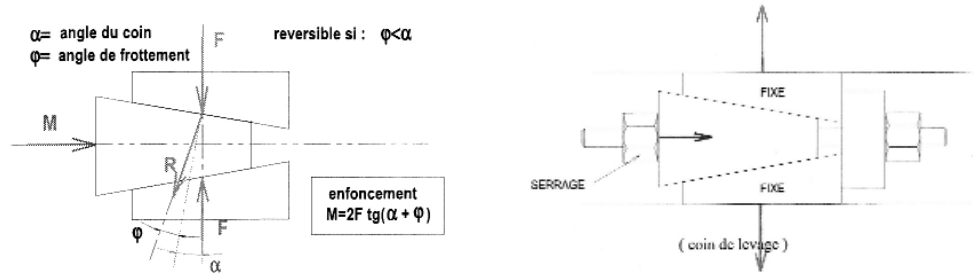


Figure 14 : Les coins de levage - Ci-dessus, à gauche, les conditions de fonctionnement. A droite, le schéma de principe. Dessins extraits de "Manutentions lourdes - Technologie et mise en œuvre" Techniques de l'Ingénieur.



Ci-dessus : un exemple. Crédit photo SETRA/CTOA

4.3.2.2 Le vérin. Principe et différents types

4.3.2.2.1 - Principe

> Un vérin se compose (figure 15) de deux parties principales :

- d'un corps ou partie externe (le fût),
- d'un piston qui supporte la charge et a un mouvement vertical libre dans le corps du vérin.

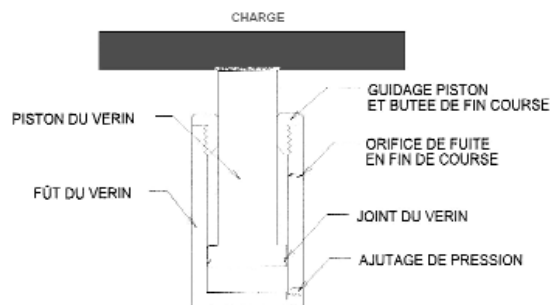


Figure 15 : Principe d'un vérin. - Dessin extrait de "Manutentions lourdes - Technologie et mise en œuvre" Techniques de l'Ingénieur.

Un fluide, de l'huile hydraulique dans le cas courant, est envoyé par une pompe dans le corps du vérin. Le fluide forcé dans le corps produit une pression qui s'applique sur les faces internes du corps. Si cette pression est suffisante, ainsi que le débit, le piston sera poussé et déplacera donc la charge.

> **On distingue :**

- **le vérin simple effet** dans lequel la course «avance» du piston se fait sous l'effet de la pression hydraulique alors que son «retour» s'obtient grâce à un ressort intérieur, ou sous l'effet de la charge extérieure,

- **le vérin double effet** pour lequel les deux mouvements «avance» et «retour» s'effectuent sous l'effet de la pression hydraulique. La force retour est nettement inférieure à la force de poussée en raison d'une section de piston plus faible.

De tels vérins sont utilisés pour pousser ou tirer des charges et obtenir un retour contrôlé, dans la descente de charges lourdes par exemple.

> **La possibilité pour le piston de lever la charge dépend de :**

- la pression d'huile, mesurée en bar,

- la surface effective, en cm², du piston sur laquelle s'exerce la pression de l'huile.

> **La force de levage s'exprime de la manière suivante :**

Force sur le piston = Pression d'huile * Surface effective du piston = Réaction d'appui ± Frottement ³

Exemple : 700 bar * 19,5 cm² = 136,50 kN (y compris les frottements dans le cas d'une montée)

Nota : il est recommandé de disposer d'une capacité de levage largement supérieure à la charge à lever, de 30 à 50%. Ceci permet une réduction de la pression d'huile et prémunit contre les surcharges possibles et non prévues.

4.3.2.2.2 – Les différents types de vérins

On distingue deux grandes familles de vérins : les vérins plats et les vérins à piston.

A - LES VERINS PLATS

■ Principe et description

Constitués de deux flasques emboutis, assemblés par soudage, et de deux ajutages placés, à la demande, à la périphérie (figure 16), les vérins plats peuvent avoir des formes et des dimensions très variées (ronde, rectangulaire, circulaire, oblongue, etc.), adaptées aux structures sur lesquelles ils prennent appui.

Ils sont de faible encombrement (de 15 à 35 mm d'épaisseur). Comme la hauteur de relevage est un peu inférieure au diamètre du bourrelet périphérique, pour des hauteurs de relevage supérieures à cette valeur, il est possible de les superposer avec interposition de cales servant à rattraper le creux entre les bourrelets.

³ Attention à la valeur absolue des frottements qui n'est pas forcément identique en montant et en descendant.



Le volume en forme de cuvette est rempli d'un mortier de résine aplani en surface

En bas, situation initiale. En haut, après mise en pression. La hauteur de soulèvement est légèrement inférieure au diamètre du bourrelet périphérique du vérin

Document FREYSSINET



Crédit photo M. FRAGNET



Crédit photo RCA/SACD

Figure 16 : les vérins plats

Leur domaine d'emploi est réservé aux vérinages de faible amplitude (par exemple, vérinage de relaxation, remplacement d'appareil d'appui) ou pour réaliser une mise en charge (voir figure 16 droit).

> La procédure de vérinage, à l'aide ces vérins, est la suivante :

- préparation en atelier avec purge du vérin et fermeture des événements de sortie et d'entrée (ceci pour éviter les risques de coulures d'huile sur l'ouvrage) ;
- enrobage du vérin plat (voir figure 16 milieu) entre deux galettes en mortier spécial ou deux disques métalliques. Dans certains cas, ces galettes sont remplacées par des blocs en béton fretté, dont la hauteur est fonction de l'emplacement disponible entre les surfaces à déplacer ;
- mise en place du bloc ainsi réalisé entre le support et la structure à soulever ;
- connexion du vérin à une pompe hydraulique (d'une pression maximale de 15 MPa) ;
- mise en charge du vérin avec contrôle de la course.

Le domaine d'utilisation de ce type de vérin est varié mais il est, préférentiellement, celui du vérinage d'ouvrages pour calage, mise à niveau ou intervention entre deux structures, mise en charge de structures telles que butons ou contreforts ou la re-compression de voûte (figure 16 droit).

A titre d'information, la gamme de capacité de soulèvement courante va de 70 kN pour un diamètre de 12 cm à 9100 kN avec un diamètre de 92 cm.

■ Avantages et inconvénients

Leur faible encombrement et leur légèreté permettent des interventions dans des endroits exigus.

Par contre, du fait de leur médiocre précision, il n'est pas envisageable de réaliser des pesées de réaction d'appui avec ce type de vérin.

Ils ne sont utilisables qu'une seule fois. Ils sont fragiles en cas de surpression accidentelle (**rappel** : la pression d'utilisation est limitée à 15 MPa) et ils ne comportent pas d'organe de sécurité intégré : un calage de sécurité indépendant est donc systématiquement à prévoir (voir figure 17).



Figure 17 : Disposition de calage de sécurité autour d'un bloc de soulèvement par vérin plat.
Document FREYSSINET

Enfin, comme cela a déjà été précisé, leur faible course n'autorise que des soulèvements de faible amplitude, ce qui les limite à un simple changement d'appareils d'appui à l'identique et à condition qu'il n'y ait pas (ou pratiquement pas) engravement de l'appareil d'appui dans la structure !

À la fin de l'opération de vérinage, il faut pouvoir retirer les vérins. Si pour les vérins hydrauliques classiques ceci ne pose, normalement, pas de difficultés, il n'en est pas de même avec ces vérins plats qui, du fait de leur déformation, restent coincés.

> Deux solutions sont envisageables pour éviter ce problème :

- la mise sous vide du vérin par une pompe à vide afin de provoquer son écrasement ;
- la pose du vérin sur une boîte que l'on remplit de sable fin et sec (voir § 4.3.2.9.4). A la fin du vérinage, il suffit de «vider» la boîte pour récupérer le vérin.

B - LES VERINS A PISTON

> Dans cette catégorie, on distinguera :

a) Les vérins «galette»

Les dimensions réduites de ces vérins à piston plats, voire extra plats, permettent des interventions dans les endroits relativement exigus : ils sont d'une hauteur minimale (piston rentré) de l'ordre de 100 à 150 mm. La capacité à soulever est généralement limitée à 1500, voire 2000 kN malgré une très haute pression (environ 700 bars).

Le tableau de la figure 18 présente les dimensions et les capacités de ces vérins. Pour le détail des produits et leurs caractéristiques précises, le lecteur est invité à consulter les fabricants (voir, par exemple, les documentations de La Savoienne ou d'Enerpac, disponibles sur Internet). Signalons, en outre, que la plupart des fabricants peuvent fabriquer des produits adaptés à un contexte particulier.

Caractéristiques	Unité	Plage	
		Fabricant A	Fabricant B
Force	kN	De 295 à 5114	De 606 à 10164
Course	mm	De 13 à 57	De 15 à 45
Pression de travail	bar	700 max	700 max
Hauteur Sans bague de sécurité Avec bague de sécurité	mm	De 97 à 198 De 125 à 192	De 66 à 111 De 118 à 277
Poids	kg	De 4 à 189	De 6 à 478

Figure 18 : Tableaux des principales dimensions des vérins à piston plats et extra plats

Leur intérêt est d'être relativement peu encombrants et légers ce qui permet des interventions dans des endroits difficiles d'accès.

En contrepartie, la contenance d'huile est très faible et la capacité de soulèvement reste limitée comme l'est leur course utile (de l'ordre de 10/15 mm pour un extra plat à 50 mm pour un plat).



Figure 19 : Un exemple de vérin à piston plat. A noter le calage de sécurité par cales biaisées en alliage d'aluminium.
Crédit photo Y. PICARD

Les vérins de très faible hauteur ne sont pas équipés de bague de sécurité (ce qui nécessite, systématiquement, un calage de sécurité couplé avec le vérin [voir figure 19] mais certains types peuvent recevoir des calottes sphériques pour reprendre les parallélismes des surfaces en vis-à-vis. De même, certaines fabrications sont équipées de dispositifs double effet (voir § 4.3.2.2.1).

b) les vérins à fort tonnage

> **Ce sont les vérins auxquels on va faire appel pour toutes les opérations classiques de vérinage. Ces matériels possèdent une course plus importante que les précédents, qui, cependant est directement proportionnelle à leur encombrement. Ces vérins comportent :**

- systématiquement une bague de sécurité en cours de vérinage,
- parfois une rotule permettant le rattrapage limité d'un défaut de parallélisme entre le tablier et la surface de l'appui ainsi que les rotations pendant le vérinage,
- souvent des anneaux de levage et des têtes interchangeables qui ont pour but de faciliter respectivement leur manutention (car leur poids est relativement important) et le positionnement en toute sécurité de la charge (voir figure 22a).

De par leur conception, ces vérins sont moins sensibles que les vérins «gallettes» aux efforts excentrés. Le piston est mieux guidé dans le corps du vérin. Ils peuvent accepter des efforts latéraux pouvant aller jusqu'à 10% de la capacité nominale du vérin. Ces efforts peuvent provenir des charges excentrées, des charges horizontales diverses sur une structure, d'un mauvais alignement du vérin ou des actions de levage non synchronisées.

Ces vérins permettent de disposer, dans la tête de la tige, une cellule de pesée et un capteur de course.

Leur encombrement nécessite une hauteur disponible importante pour leur mise en place ($h > 25$ cm).

A titre de simple information, le tableau de la figure 20 donne les principales caractéristiques de ces vérins à fort tonnage, qu'ils soient à simple ou double effet. Pour le détail des produits et leurs caractéristiques précises, le lecteur est invité à consulter les fabricants (voir, par exemple, les documentations La Savoienne ou Enerpac (disponibles sur Internet). Signalons, en outre, que la plupart des fabricants peuvent fabriquer des produits adaptés à un contexte particulier.

Caractéristiques	Unité	Plage	
		Fabricant A	Fabricant B
Force	kN	De 50 à 10000	De 137 à 3166
Course (1)	mm	De 50 à 300	De 75 à 375
Pression de travail	bar	700 max	700 max
Hauteur	mm	De 162 à 814	De 235 à 640
Poids	kg	De 17 à 1439	De 9 à 362

(1) Rappelons que la course utile d'un vérin doit être limitée à $8/10^{\text{ème}}$ de la course maximale nominale.

Figure 20 : Tableau donnant les principales dimensions de vérins de levage lourd.

c) les vérins corbeau

Il s'agit de vérins possédant une course importante (de l'ordre de 50 cm) dont la particularité est de se fixer par clouage sur la face verticale de l'appui, en tête d'une tour métallique ou sur des chandelles.

4.3.2.3 Les pompes

Pour alimenter le corps du vérin avec le fluide à une pression permettant le déplacement du piston, il faut disposer d'une pompe haute pression à faible débit (afin d'éviter le dépassement des tolérances des dénivelées d'appui lors du levage, en particulier dans le cas d'un décollement soudain du tablier sur l'appui lui-même). Bien entendu, la pompe doit être d'une capacité homogène avec le circuit et les vérins utilisés.

Les pompes à main, à piston, ne sont utilisées que pour des essais ou de petits levages (relaxation d'appareil d'appui). Dans ce cas, les pressions obtenues restent, en général, inférieures à 50 MPa, même si on peut atteindre, en de très rares cas, 100 MPa, mais le problème majeur réside dans la faible capacité du réservoir si on désire alimenter plusieurs vérins à l'aide d'une seule pompe !

Sinon, pour un chantier de vérinage, on fait appel, le plus souvent, à des centrales hydrauliques entraînées par des moteurs électriques dont l'alimentation provient d'un groupe électrogène couplé à un moteur thermique. Ce mode d'alimentation s'avère mieux adapté au contexte d'un chantier de rase campagne, car l'existence d'un réseau électrique à proximité de l'ouvrage à vériner est rare.

> Les pompes sont des appareils conçus pour transformer une énergie mécanique en énergie hydraulique par un mécanisme alternatif. On distingue :

- les pompes à pistons en ligne,
- les pompes à pistons axiaux,
- les pompes à pistons radiaux.

L'implantation de la pompe devra être judicieusement choisie afin d'obtenir un levage souple et continu. Cette nécessité peut contraindre le projeteur à disposer plusieurs pompes près des différentes lignes d'appui. Si le levage n'est pas souple et continu, les seuils de dénivellation admissible entre points de vérinage seront très vite atteints. Les valeurs de ces seuils sont, en règle générale, définies par la note de calcul et sont très contraignantes entre les divers points de vérinage d'une même ligne d'appui.

Si le fait d'avoir une grande disparité dans la longueur des différents câblages électriques de pilotage ne pose pas de problème particulier, il n'en est pas de même en ce qui concerne les circuits hydrauliques où une telle disparité perturbe la régularité du levage et provoque sans cesse le déclenchement des alarmes par le dépassement de seuils de dénivellations admissibles entre appuis.

Cette perturbation est d'autant plus sensible que les électrovannes sont éloignées du vérin. S'il est économique en temps d'installation et en câblage électrique de disposer les électrovannes et leurs capteurs de pression sur le départ des pompes ou de la centrale hydraulique multivoie, les montées en pression se font avec des «coups de bélier» et les capteurs de pression vont «faire jouer des castagnettes aux électrovannes». Ceci est préjudiciable à leurs contacteurs électriques, ainsi qu'aux régulateurs de pression et augmente d'autant la durée du cycle de levage.

Dans le cas de pilotage assisté par ordinateur, ces perturbations sont anticipées et il déclenche l'ouverture et la fermeture des électrovannes avant d'obtenir le Δv maximum. Dans ce cas alors, les électrovannes sont toujours implantées près de la pompe, dans la centrale de levage.

4.3.2.4 Le fluide

Il s'agit d'huiles minérales dont les caractéristiques sont définies par l'entreprise commercialisant le matériel de vérinage en fonction de son objectif.

Notons que, dans certains cas particuliers, notamment pour injecter des vérins plats qui devront rester en position «gonflée» après mise en pression, on utilise des résines auto-durcissables dans le corps du vérin afin de reprendre la charge en conservant la position «gonflée».

Dans le cas, exceptionnel, de maintien de la circulation pendant le vérinage, il faudra tenir compte de l'élasticité de l'huile qui n'est pas négligeable pour un ouvrage à faible dénivellation transversale.

4.3.2.5 Les tuyauteries

On distingue les tubes rigides métalliques et les tuyaux flexibles en élastomère armé de tresses métalliques. Si on peut encore rencontrer les premiers, surtout dans le cas d'emploi de vérins plats, ce sont, principalement, les seconds qui sont utilisés pour un vérinage pour des raisons évidentes de facilité de montage (voir figure 22a). En principe, les flexibles sont assemblés par des raccords à billes dont le but est d'éviter les coulures d'huile lors du démontage des réseaux ou d'un désaccouplement ou d'une rupture brutale d'un flexible et gardent ainsi l'huile dans les flexibles.

Le fluide devra circuler à l'intérieur des conduites avec un minimum de perte de charge et les épaisseurs des flexibles seront calculées pour qu'ils ne subissent pas de déformations sous la pression de service.

A cet effet, toutes les tuyauteries sont soumises à des essais avant d'être mises sur le marché avec une pression d'essai qui est toujours au moins égale à deux fois la pression de service.

Les diamètres intérieurs les plus courants des tuyaux flexibles sont : 6,4 et 9,7 en mm.

Rappel : *il est fortement recommandé que les flexibles qui relient les pompes (ou une centrale à voies multiples) aux électrovannes équipées de capteurs de pression aux vérins, aient sensiblement la même longueur pour que les vérins fonctionnent de concert (cf. § 4.3.2.3, avant-dernier alinéa).*

4.3.2.6 Les organes annexes à un circuit

On citera uniquement les différents éléments intervenant dans un circuit sans les développer.

a) Les appareils de réglage de pression

> Ce sont :

- les limiteurs de pression (soupape de sûreté),
- les réducteurs de pression,
- les soupapes de séquence,
- les contacts électriques à pression.

b) Les appareils de réglage de débit

> Dans cette catégorie, on trouvera :

- les étranglements,
- les limiteurs de débit ou les réducteurs de débit avec clapet de non retour,
- les régulateurs de débit variable,
- les diviseurs de débit.

Commentaire : ces appareils sont inutiles dans le cas d'une gestion par LAO (Levage Assisté par Ordinateur) associée à ces centrales hydrauliques à débit séparé, c'est-à-dire une pompe indépendante par groupe de vérin à alimenter.

c) Les appareils à clapet

- de non retour simple,
- freineur,
- de non retour piloté.

d) Les valves et servo-valves.

4.3.2.7 Les appareils de mesures

> Afin de suivre les opérations et recueillir toutes les informations sur le déroulement de l'opération, le dispositif de vérinage comporte, obligatoirement, des appareils de mesure de la pression dans les vérins et de déplacement dont les principaux sont :

a) Les manomètres

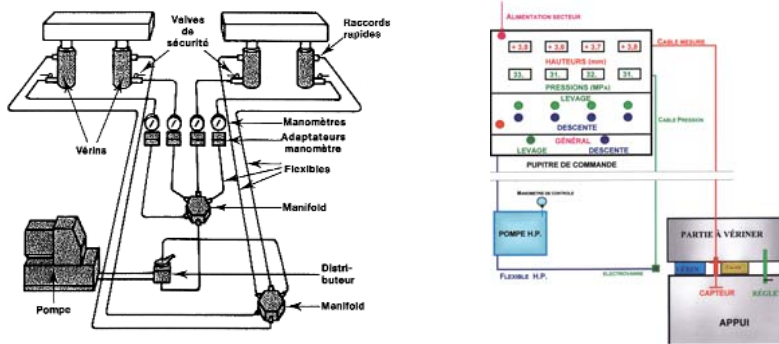
Pour connaître les efforts, on disposera des capteurs de pression au niveau des vérins, car la position de la prise d'information est très importante pour la bonne conduite de l'opération (la mesure est à faire avant les pertes de charge).

> Ces manomètres sont conçus pour la mesure des pressions. Ce sont des appareils fragiles qu'il faut protéger contre des conditions de travail sévères. On distingue :

- les manomètres simples munis d'amortisseurs, peu adaptés au contexte d'un chantier de vérinage d'un pont ;
- les manomètres dans lequel le mécanisme baigne dans de la glycérine qui assure une lubrification et atténue les efforts alternés dus aux conditions sévères de fonctionnement.

Les manomètres doivent être choisis avec une graduation maximale au moins supérieure de 50 % à la pression normale d'utilisation.

Sur le marché, on distingue différents types en fonction de leur plage de mesure qui va de 0-7 bar à 0-1000 bar. Le choix est fait en fonction de la plage de mesure dont on a besoin sur le chantier. Ils sont donnés pour une précision en usine à $\pm 1\%$ et $\pm 1,5\%$ de l'échelle totale de lecture.



Document ENERPAC

Document D. ESB RAT

Figure 21 : Schéma de principe d'un dispositif de vérinage d'un pont.

A gauche, les différents éléments et leur connexion.
A droite, les câblages vers le pupitre de commande et la position des capteurs de déplacement.



a) Vérin à fort tonnage. Noter le capteur de déplacement, la bague de sécurité (dont il serait souhaitable qu'elle soit à proximité du corps du vérin) et les flexibles souples.
Crédit photo P. DANTEC - LRPC de Clermont Ferrand



b) Groupe électrogène couplé avec les pompes et les électrovannes.
Crédit photo GTM Travaux Spéciaux



c) Centrale de pilotage. *Noter le bouton rouge d'arrêt d'urgence en bas à gauche.*
Crédit photo M. P. DANTEC -LRPC de Clermont Ferrand



d) Micro-ordinateur de stockage des données.
Crédit photo M. P. DANTEC -LRPC de Clermont Ferrand

Figure 22 : Un ensemble de vérinage.

Il existe, aussi dans le cas de Levage Assisté par Ordinateur (LAO), des capteurs de pression qui sont reliés à l'automate afin de centraliser les informations sur le poste de contrôle.

b) Les dispositifs de mesure des déplacements

La mesure de la dénivellation est importante pour suivre le mouvement correct et conforme de l'ouvrage. A cet effet, on utilise, souvent conjointement pour pallier toute panne possible de la chaîne de mesure, trois types de matériel de mesure des déplacements allant du plus rustique au plus sophistiqué (voir figure 23).

Le premier est un simple réglet métallique fixé sur le chevêtre ou l'appui avec un index en regard dépendant de la structure. Il ne doit être utilisé que pour un contrôle simple et rapide par le personnel car la précision est à peine de l'ordre du mm. De plus, ce matériel est souvent bien utile lors de la repose du tablier, lorsque les centrales de vérinage ont quitté le chantier (ce que le CCTP devrait interdire, mais cela entraîne un coût supplémentaire...).

Son principal inconvénient est qu'il nécessite la présence d'une personne en charge de suivre le déplacement au droit du réglet.

Viennent, ensuite, **les comparateurs**.

Il s'agit, le plus souvent, d'un matériel généralement asservi et ayant une précision d'enregistrement d'un déplacement de l'ordre du 1/100 de millimètre. Ils sont fixés sur les parties en déplacement par des pieds magnétiques sur des plaques en acier collées à la résine sur les parois en béton.

Ils présentent le même inconvénient que le réglet puisqu'il oblige le personnel à une présence en face du dispositif afin de suivre les valeurs. Par ailleurs, une erreur est possible si on ne relève pas correctement le nombre de rotation de l'aiguille sur le cadran.

Le dernier type, le plus courant, **est le capteur de déplacement**.

Il s'agit de dispositifs fragiles et complexes. Tout d'abord, ils sont à protéger par un carénage métallique. Ensuite, du fait de leur constitution, on doit vérifier l'existence d'un étalonnage récent, sinon on devra procéder à un calibrage avant l'opération de vérinage.

L'erreur de linéarité d'un capteur est, dans certains documents contractuels, fixée à 0,1% de l'étendue de mesure maximale. Pour une étendue de mesure de 300 mm, on obtient au mieux 0,3 mm en ne prenant en compte que les caractéristiques du capteur.

Sur chantier, dans des conditions normales d'utilisation, on ne peut espérer mieux que 0,3 à 0,5 mm, **quelles que soient les exigences du Bureau d'Études**. Il appartient donc, en accord avec le maître d'œuvre, de définir des seuils réalistes.

L'implantation du capteur est toujours une décision importante et délicate : est-elle judicieuse ? Ne faut-il pas doubler certaines mesures, dans le cas des travées isostatiques attelées, par exemple (capteurs de part et d'autre de l'appui) ?

L'intérêt de ces matériels est qu'ils peuvent être implantés au droit des différents points de vérinage, avec enregistrement en continu de la courbe «f(δh)» sur traceur. En règle générale, on utilise des capteurs de déplacement de course appropriée. Ces dispositifs doivent impérativement enregistrer l'état «zéro» de l'ouvrage avant le début de l'opération de soulèvement (voir figures 22a et 23).

Une variante à ce dispositif est le capteur de déplacement fixé à un fil invar, lui-même dépendant de la structure et posé sur une base fixe au sol (voir § 4.4.2.7).

Signalons que certains modèles de vérins peuvent être équipés de capteurs de déplacement intégrés dans le corps du piston (cf. § 4.3.2.2.2 B b). Les mesures ainsi obtenues sont précises mais ne permettent pas de s'affranchir des déformations locales du béton sous les vérins que l'on n'omettra pas de prendre en considération en sus de la valeur relevée. C'est pourquoi ils présentent peu d'intérêt lorsqu'il est nécessaire de gérer plusieurs déplacements sur une même ligne avec des conditions d'appui différentes.



Crédit photo D. WEISSE - TSV



Crédit photo SETRA/CTOA

Figure 23 : Dispositifs de mesure des déplacements :
réglet, capteurs de déplacements dans son boîtier (à gauche), comparateur (à droite).

4.3.2.8 La centrale d'enregistrement et de traitement des données

(pour vérinage à déplacement contrôlé)

Une centrale de traitement des données est maintenant pratiquement systématisée pour l'automatisation des opérations de vérinage. Celle-ci centralise les informations sur les déplacements et les pressions, puis les analyse et actionne des électrovannes de commande de chacun des vérins (ou des groupes de vérins) indépendamment des autres.

L'implantation de la centrale de commande devra être choisie en fonction de la géométrie du tablier et, autant que faire se peut, on la disposera sous le tablier à relever afin de conserver depuis ce poste une vision d'ensemble des points de vérinage durant l'opération, dans la mesure où cela est possible.

La centrale sera disposée à l'abri et si possible pour des raisons de sécurité (chute de matériel) un peu à l'écart des appuis. Certaines d'entre elles sont fixes dans une camionnette.

> On peut classer en trois modules l'automatisation des tâches.

a) Centralisation des informations sur les déplacements et des commandes des circuits hydrauliques

A cet effet, on utilisera un pupitre centralisateur (voir figure 22c) comportant :

- des afficheurs digitaux des pressions aux vérins,
- des afficheurs digitaux des déplacements verticaux du tablier avec, en parallèle, une sortie analogique pour l'automatisation,
- des commandes manuelles de montée et de descente des vérins ou possibilité d'activation par automate,
- un arrêt d'urgence (voir figure 22c).

b) Un module d'analyse de l'état de déplacement et des décisions à prendre

On utilisera un micro-ordinateur qui reçoit les valeurs des déplacements du tablier. Un logiciel spécial permettra d'analyser les valeurs des déplacements et d'en déduire les actions nécessaires au niveau des vérins (figure 24).

Toutefois, le fait qu'un ordinateur pilote le soulèvement n'est pas le garant de la perfection. Il existe des exemples qui ont montré que certaines de ces centrales sophistiquées ont aussi leurs faiblesses : en effet, ce sont des automates asservis à des consignes fixées par l'entreprise !

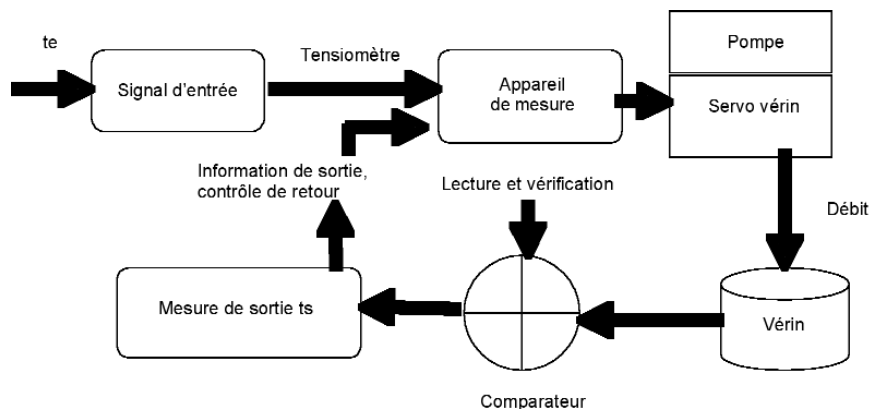


Figure 24 : Principe de l'asservissement à boucle fermée.

c) Module actionneur des vérins

Ce module fonctionne sous les ordres du logiciel et est capable d'activer les circuits de commande des vérins aussi bien en montée qu'en descente.

Les appareils de mesure comparent l'information de sortie par rapport au signal d'entrée. Lorsque le signal de sortie n'est pas compatible avec le signal d'entrée, les appareils de mesure émettent un signal correcteur. Cette nouvelle information provoque de nouvelles réactions du vérin et ceci jusqu'à ce que les signaux d'entrée et de sortie soient similaires.

Les éléments de mesure étant électroniques, les opérations de correction sont réalisées dans des temps très courts (de l'ordre de la milliseconde), à condition que ladite centrale n'ait pas trop de points à gérer.

d) Utilisation de la centrale.

■ Paramétrage de l'opération

> **Préalablement au vérinage, il sera déterminé les critères de l'opération :**

- nombre de groupes de vérins (ou points de vérinage),
- amplitude du mouvement,
- pression maximale admissible (limitation de la pression de la pompe afin de ne pas dépasser les charges nécessaires),
- **tolérances sur les déplacements différentiels entre les points de vérinage,**
- **tolérances sur les pressions différentielles entre les points de vérinage.**

■ Transfert des charges - décollage

Généralement le transfert des charges aux vérins se fait automatiquement par augmentation progressive de la pression. Néanmoins des équilibrages intermédiaires sont parfois nécessaires en cas d'anomalies sur les déplacements.

Cependant, pour les ouvrages «fragiles», il est recommandé d'effectuer cette manœuvre manuellement afin de bien visualiser tous les paramètres de comportement réel de l'ouvrage.

Le décollage étant réalisé, il est procédé, si nécessaire, à un équilibrage manuel entre les différents points de vérinage.

Cette position est la position de référence de décollage.

■ Mouvement ascendant ou descendant :

Dans les cas courants, la centrale va gérer un déplacement uniforme par rapport à la référence de décollage.

Pendant ce mouvement les pressions sont contrôlées et si les seuils fixés sont dépassés, une alerte est déclenchée.

Certaines centrales permettent aussi un déplacement en déversant progressivement selon une droite (rectification de dévers par exemple) ou toute autre courbe (points de vérinage ou d'emplacement des capteurs de déplacement non alignés sur un appui, par exemple).

Il est aussi possible de gérer le déplacement en donnant la priorité aux réglages des pressions. Dans ce cas un suivi des dénivellations de certains points est nécessaire afin de contrôler le non-déversement du mouvement.

e) Programmes de sécurité du système :

La centrale devra comprendre un système de contrôle des anomalies et pouvoir déclencher une alerte correspondant au défaut détecté. Selon le cas, l'alerte arrête l'opération ou déclenche un signal lumineux.

> Type d'alertes :

- enregistrement d'un déplacement brutal d'un capteur de déplacement (déplacement accidentel du capteur, par exemple) ;
- enregistrement d'une variation brutale de pression : fuite ou bouchon sur l'un des circuits hydrauliques ;
- débit de la pompe sur un seul circuit : fuite sur l'un des circuits hydrauliques.
- dépassement des tolérances sur les déplacements ou les pressions des points de vérinage.

f) L'enregistrement

L'affichage digital sur le pupitre localise instantanément tout problème. Cependant, il est primordial que toutes les informations soient systématiquement enregistrées sur un support (papier ou disque dur ou CD) afin de conserver un historique précis de toutes les opérations (déplacements, pressions, actions sur les vérins, etc.) afin :

- d'une part, réfléchir aux moyens à mettre en œuvre et de décider de la conduite à tenir en cas d'anomalie de fonctionnement.
- d'autre part, de conserver les données liées au déroulement du vérinage et les verser dans le dossier de l'ouvrage (et qui sera donc à remettre au maître d'œuvre).

4.3.2.9 Le calage de sécurité

4.3.2.9.1 – Les cas d'emploi du calage

Les calages de sécurité ont un double objectif de sécurité à remplir. D'une part vis-à-vis des travailleurs en cas de descente brutale du tablier due à une rupture de conduite d'alimentation ou à une panne de la pompe hydraulique et, d'autre part, vis-à-vis de l'ouvrage. Dans ce cas, le calage évitera la création d'une dénivellation transversale entre deux appuis supérieurs à la limite admise.

> **Pour traiter de ce chapitre, nous distinguerons trois situations :**

- a) Les vérins ne sont pas équipés de dispositifs intégrés de sécurité comme une bague de sécurité. C'est, notamment, le cas des vérins plats et, souvent, des vérins «galettes».
- b) Les vérins disposent de bague de sécurité et le levage est effectué sans reprise.
- c) Les vérins disposent de bague de sécurité mais on doit lever avec reprise.

La situation b) est la seule qui ne nécessite pas de calage indépendant. On constate que ce mode opératoire peut présenter des risques (par exemple pour une entretoise) en cas de descente brutale du tablier (par exemple par fuite accidentelle sur le vérin). Pour garantir la sécurité de l'ouvrage, il convient de serrer au fur et à mesure du vérinage les bagues de sécurité. Or une telle mesure nécessite au moins une personne par point de soulèvement pour effectuer correctement le serrage. A défaut, on pourrait envisager d'adjoindre à chaque vérin un clapet anti retour. Cette dernière mesure ne pallie cependant pas une fuite d'huile sur le vérin.

Par contre, dans les situations a et c, le calage est effectué par des éléments indépendants qui sont des cales. Le choix des matériaux et la nature des calages se fait en fonction des charges à reprendre, de la stabilité générale de la structure et des tolérances acceptées pour la manutention. Les dispositions générales de pose des calages (assise, verticalité, effets de bord, etc). sont identiques à celles préconisées pour la pose des vérins.

4.3.2.9.2 – Les différents types de cales

> **Ce calage peut être réalisé par :**

a) Des cales métalliques (en acier ou en alliage d'aluminium) d'épaisseur variable.

On peut envisager de travailler avec des cales dont l'épaisseur est un multiple de la hauteur du soulèvement.

L'utilisation de tôles métalliques fines (en évitant les feuillards inférieurs à 0,5 mm qui risquent d'être difficiles à poser correctement) peut être envisagée mais ne garantit pas la sécurité de l'ouvrage pour la raison suivante : lors du vérinage, il faut attendre que soit atteinte l'amplitude du soulèvement par pas inférieur ou égal à la dénivellation transversale admissible pour mettre en place la cale supplémentaire.

La planéité peut ne pas être parfaite. On se contente, dans les cas courants, d'admettre une flèche de 0,5 mm à la règle de 20 cm.

Les cales peuvent être usinées, c'est le cas lorsqu'elles s'appliquent sur une surface bise ou gauche.

La pose des cales doit être réalisée avec le plus grand soin pour que la pression de contact sous les plaques soit répartie le mieux possible. En général, la plaque de base est posée à bain de mortier pour assurer la reprise des inégalités du support, la plaque supérieure est mise au contact soit par le coulage d'un matériau entre la structure et la plaque, soit, très exceptionnellement, par un mortier maté (voir § 4.5.4.1).

Durant toute cette phase, l'ouvrage ne repose que sur les vérins hydrauliques et le maintien ou le calage du tablier n'est donc pas assuré.

Elles peuvent, aussi, avoir une forme triangulaire mariée (voir figures 17 et 19) enfoncées à la masse au fur et à mesure du vérinage.

b) Des cales en bois

Le bois est un matériau qui se prête très bien aux opérations de calage provisoire. Par contre, il est important que l'essence choisie dispose de caractéristiques suffisantes pour reprendre la charge. Le bois est une matière fibreuse, aussi ses caractéristiques varient suivant l'orientation de l'effort par rapport aux fibres. Notons que certaines entreprises rejettent l'utilisation du bois pour ces calages en arguant, fort justement, le risque de voir utiliser des morceaux de bois ramassés sur le chantier avec des caractéristiques non adaptées. Pour éviter ce risque nous conseillons de faire appel à des cales en bois comportant un repérage précis avec un numéro de traçabilité.

On trouvera, à titre d'information, quelques caractéristiques de résistances (en daN/cm²), prises à cœur, admissibles pour des calages avec quelques essences courantes. Voir tableau 25.

Essence	en bout	en travers
Pin et sapin	30	14
Hêtre	44	24
Frêne	96	46
Chêne	96	46

Fig. 25 : Tableau des principales caractéristiques de quelques essences

Il est souvent nécessaire de prévoir des plaques métalliques de répartition sur les cales en bois.

On peut, aussi, faire appel à des cales en bois dur (chêne ou azobé [bois de fer]). Dans ce cas, la résistance des cales en bois dur à l'écrasement devra être vérifiée avant tout vérinage.

c) Le coin de calage à vis

Pour éviter le travail d'enfoncement de cales mariées, rendu difficile par l'exiguïté des zones de vérinage, il existe une solution par coin de calage à vis (voir figure 26). Mais cela n'évite pas l'inconvénient de prévoir du personnel au droit de chaque point de soulèvement !

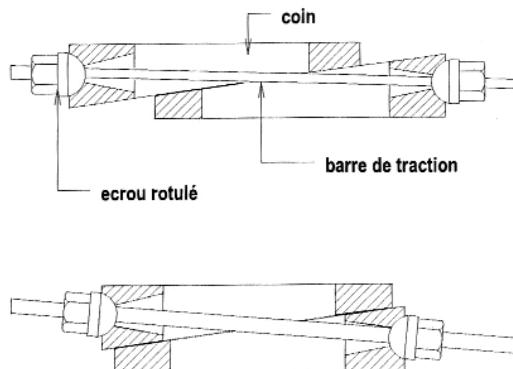


Figure 26 : Coins de calage à vis - Dessin extrait de "Manutentions lourdes - Technologie et mise en œuvre" Techniques de l'Ingénieur.

Note : rappelons qu'une cale à vis est toujours en appui sous une plaque métallique et jamais directement sous un matage ou la sous-face d'une poutre.

4.3.2.9.3 – Le cas de levage avec reprise

Quand la course du vérin devient insuffisante pour réaliser l'opération en une seule phase. Il faut prévoir des empilements de cales appelés camarteaux sur lesquels reposera le tablier pendant le repositionnement des vérins.

Attention à l'empilage sans précaution de profilés métalliques (en H, en I...) sur lesquels va être appliquée une charge concentrée importante. L'âme d'un des profilés peut subir un voilement localisé provoquant la ruine de l'empilage et un accident dont les conséquences peuvent être dramatiques. Il faut donc prévoir des raidisseurs soudés perpendiculairement à l'âme au droit des descentes de charges (figure 27).

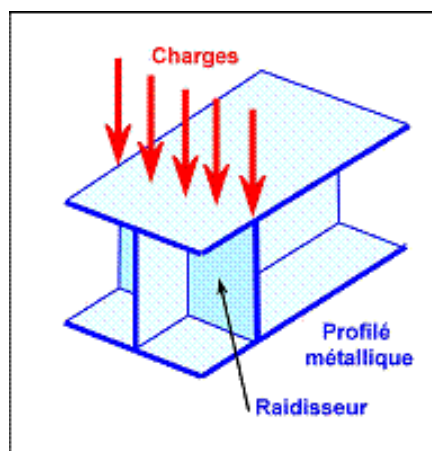


Figure 27 : Principe de raidissement d'un profilé métallique.
Dessin D. POINEAU

4.3.2.9.4 – La technique de la boîte à sable

Pour réaliser des calages permettant un dévérinage facile, on pourra faire appel à la technique de la boîte à sable. C'est un système de dévérinage pour descente des structures parmi les plus anciens. Le dispositif se compose d'une enveloppe résistante remplie de sable sur laquelle repose la charge. Par un orifice situé à sa base, on laisse le sable s'écouler pour faire descendre la charge.

La boîte à sable moderne est constituée d'un fût cylindrique fermé d'un fond et rempli de sable sec, une plaque épaisse sur laquelle repose la charge venant fermer la partie supérieure et répartir les efforts sur la surface du sable. L'orifice de vidange placé latéralement est fermé par un bouchon vissé. L'épaisseur du fût est dimensionnée en prenant en compte un angle de frottement du sable de 30%. La pression sur le sable est limitée à une valeur de 150 kg/cm².

Le système, lors de la mise en charge, accuse généralement un léger tassement de l'ordre de 4% de la hauteur de sable. La vidange de la boîte à sable n'est pas toujours aisée, surtout quand celle-ci est de grand diamètre. Il est alors recommandé de prévoir plusieurs orifices de vidange.

Le sable ne doit pas avoir une granulométrie qui entraînerait un effet de compactage et sa teneur en eau doit être inférieure à 2%.

4.3.2.10 - La plateforme de travail

Une plateforme de travail, fixée par l'intermédiaire de consoles bridées sur l'appui (figures 28 et 35), a pour but de permettre au personnel d'accéder aux appareils d'appui et de mettre en place le matériel de vérinage tout en travaillant en sécurité.



Figure 28 : Vue générale d'un chantier de vérinage sur un PS d'autoroute avec les dispositifs de sécurité pour la circulation sous l'ouvrage, les accès aux plateformes de travail fixées par consoles sur l'appui, etc.
Crédit photo D. WEISSE - TSV

Cette plateforme permettra au maître d'œuvre de contrôler efficacement toutes les phases du vérinage. On veillera à ce qu'elle n'engage pas le gabarit de la circulation passant sous l'ouvrage.

Et, bien entendu, tout le matériel de secours (pompes, vérins, flexibles, capteurs,...) pour faire face à une défaillance toujours possible d'un équipement alors que l'on est dans une phase cruciale et loin de sa base.

«**Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai le monde**»

(attribuée à Archimède. 287-212 AJC).

4.4.1 PRÉSENTATION GÉNÉRALE

En effet, comme le soulignait Archimède, toute la difficulté d'un chantier de vérinage qui se manifeste dès que l'on commence à réfléchir sur l'opération est de savoir où on va poser les vérins pour pouvoir soulever l'ouvrage sans entraîner des problèmes structuraux. Depuis la publication du guide cité sous la référence du § 2.3 d'une part, mais surtout avec la mise en place des DIU⁴, la plupart des ouvrages construits ces dernières années disposent d'emplacements parfaitement identifiés destinés à recevoir les vérins lors des opérations de vérinage du tablier (voir figure 29). Ces situations ne posent pas de problème particulier et il conviendra seulement de respecter les procédures de soulèvement spécifiques à l'ouvrage.

En effet, on doit disposer d'au moins **trois emplacements** : **la zone pour les appareils d'appui, l'emplacement des vérins et celui des calages de sécurité** qui peut être couplé, pour certains matériels, avec la précédente (voir figure 29, droite).

Si les emplacements de vérinage existent, ils sont indiqués sur les plans de l'ouvrage mais il faut s'assurer, sur les plans de ferrailage, que des frettages ont bien été prévus et il faut rechercher dans les notes de calculs quelle est la contrainte maximale admissible sur le béton à ces emplacements. En outre, on n'oubliera pas de vérifier leur état.

Par contre, il existe toute une population de ponts construits avant la mise en place de ces dispositions et sur lesquels on doit procéder à un changement d'appareils d'appui ou réaliser une intervention nécessitant un soulèvement de la structure.

Si les emplacements n'existent pas, toute la problématique va donc consister à rechercher le meilleur emplacement pour disposer les vérins afin de soulever la charge (sous les poutres ou sous les entretoises d'appui, par exemple) pour minimiser au maximum les renforcements de l'ouvrage tout en essayant d'avoir un dispositif réutilisable pour les futures opérations.



Crédit photo M. FRAGNET



Crédit photo SETRA/CTOA

Figure 29 : Deux exemples de dispositions sur appui où les emplacements pour les vérins sont clairement matérialisés.

⁴ Le DIUO (Dossier d'Intervention Ultime sur l'Ouvrage) doit, normalement, traiter du vérinage des ouvrages construits depuis le milieu des années 90 compte tenu de l'obligation du recours au Coordonnateur SPS (lors des études et pendant l'exécution), instituée par la loi 93-1418 du 31 décembre 1993 et ses décrets d'application.

Le projet commence par une étude préliminaire pour dégrossir le problème et rechercher toutes les solutions possibles (les emplacements de vérinage et la hauteur disponible pour les vérins, d'où les types de vérins à utiliser, les précautions à prendre durant le vérinage, ...) en prenant en compte les contraintes (conditions d'accès à l'ouvrage, durée possible de la coupure de trafic, exigences du gestionnaire,...) et, enfin, elle se termine par une estimation du coût probable de l'opération (voir la figure 9).

L'objet de ce chapitre est d'essayer de présenter les grandes familles de solutions dans ce cas de figure afin d'aider le lecteur à préparer son dossier ou à faire sa proposition technique en s'appuyant, ainsi, sur les solutions existantes. Cependant, il faut bien avoir conscience que le soulèvement d'un pont est une opération qui doit s'appréhender au cas par cas car chaque ouvrage est unique et il peut être délicat de transposer un projet d'un ouvrage à l'autre.

4.4.2 DIFFÉRENTES DISPOSITIONS DE VÉRINAGE

4.4.2.1 Présentation générale des différentes dispositions

On peut, schématiquement, considérer que les diverses dispositions de vérinage se classent comme il est indiqué ci-après.

4.4.2.1.1 - Vérins disposés sur l'appui

En fonction du type de vérins utilisés qui, lui-même, dépend de la charge à déplacer et de la place disponible, il ne faudra pas omettre de ménager l'espace disponible à la réalisation d'un calage de sécurité (dans le cas où les vérins utilisés n'en comporteraient pas !). Ces calages, impératifs, sont réalisés entre des surfaces planes et parallèles. D'autre part, on se méfiera des effets de bords et on vérifiera que l'effort appliqué ne génère pas de poussée au vide préjudiciable (figure 30).

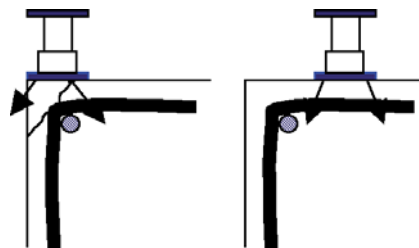


Figure 30 : exemple de poussée au vide par suite d'un défaut de positionnement du vérin (cas du schéma de gauche). La disposition du schéma de droite est correcte. Document ENPC (référence 2.2.13)

4.4.2.1.2 - Vérins disposés sur la face avant de l'appui

Dans le cas où les zones d'appui ne peuvent recevoir de vérins posés, une solution consiste à venir ancrer un (ou plusieurs) «vérin(s) corbeau(x)» sur la face latérale de l'appui considéré, en console.

Le brèlage de la console supportant le vérin est effectué en venant ancrer des barres de précontrainte sur la face latérale de cet appui.

L'implantation de barres dans l'appui est réalisée par carottage (sauf si on peut utiliser des trous laissés par des distanciateurs lors du coffrage) [voir § 4.4.2.5]. Cette opération peut, très vite, augmenter le coût du vérinage, qui devient alors prohibitif pour de petits ouvrages. Cette implantation peut, aussi, poser de gros problèmes techniques dans le cas de lignes d'appui très biaises, lorsqu'il faut ancrer les barres dans la partie en angle aigu du biais.

Sur les culées, il est impératif de s'assurer de la nature des murs de front, de leur épaisseur, de leur ferrailage et de leur résistance mécanique.

La solution avec «vérins corbeaux» reste néanmoins à privilégier quand la hauteur de levage est importante, car ce sont des vérins à longue course.

4.4.2.1.3 - Vérins disposés sur chandelles en appui au sol

Les cas où l'on peut prendre appui au sol avec des «chandelles» en profilés métalliques restent rares et posent aussi des problèmes de résistance au flambement. Ceci conduit pratiquement toujours à réaliser des brêlages sur la face de l'appui et des contreventements. On rencontre alors un problème de coût et de conditions d'exécution sur un ouvrage en service.

Cette disposition est toutefois grandement facilitée quand on dispose des semelles de fondations à faible profondeur.

4.4.2.1.4 - Vérins disposés sur des chaises (sur appuis intermédiaires)

Ce cas concerne les structures à poutres multiples sous chaussée, du type «VI-PP» ou similaires [voir le § 4.4.2.9].

Ces ouvrages ont en général de grandes portées et, sur les appuis intermédiaires, il est souvent possible d'utiliser des chaises symétriques car les entretoises d'about dégagent un passage suffisant. Le levage se fait alors sous le talon de poutre, en front de chevêtre. Cette solution implique le vérinage des deux lignes d'appui de la même pile simultanément.

Toutes ces différentes dispositions vont être détaillées dans les chapitres qui suivent avec les précautions à prendre.

4.4.2.2 Vérinage sur pile ou culée massive

Dans ce cas de figure, les vérins sont répartis sur le sommier d'appui suivant les dispositions recommandées par le bureau d'étude, en fonction de la résistance de la structure.

Le déplacement du tablier sous l'effet des vérins peut être mesuré par des comparateurs placés entre l'intrados du chevêtre (ou du tablier) et le sommier de la pile. Certaines précautions et mesures correctives sont à prendre pour quantifier le déplacement réel du tablier.

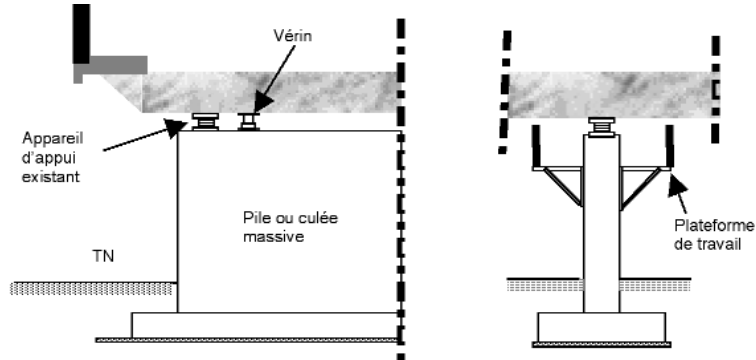


Figure 31 : Disposition en tête de pile massive
Dessin A. KOCH [référence 2.2.9]

Malgré la mise en place d'une platine métallique ($e > 12$ mm) sur un lit de résine époxydique pour assurer la répartition des charges, le béton se déforme sous la poussée du vérin. Cette déformation est la somme de deux composantes distinctes :

- a) Un écrasement instantané impossible à estimer avant le soulèvement. Celui-ci est accentué par la présence de laitance ou autres impuretés en surface ou une dégradation du béton par les agents atmosphériques.
- b) La déformation élastique du sommet de l'appui sous une contrainte soutenue.

D'autre part, il existe inévitablement un différentiel de déformation du béton sous les vérins sur une même ligne d'appui. Cette variation est due aux raisons suivantes :

- caractéristiques mécaniques du béton non uniformes sur toute la ligne,
- contraintes différentes dues à des variations de réactions d'appui.

A partir d'une certaine profondeur, fonction du contexte, les contraintes de compression s'exercent uniformément.

On pourra négliger les déformations élastiques du béton sous charges concentrées et, pour s'affranchir des déformations d'adaptation instantanée, il conviendra de ne pas disposer les comparateurs entre platines inférieures et supérieures et de s'éloigner du vérin d'une dizaine de centimètres (figure 32).

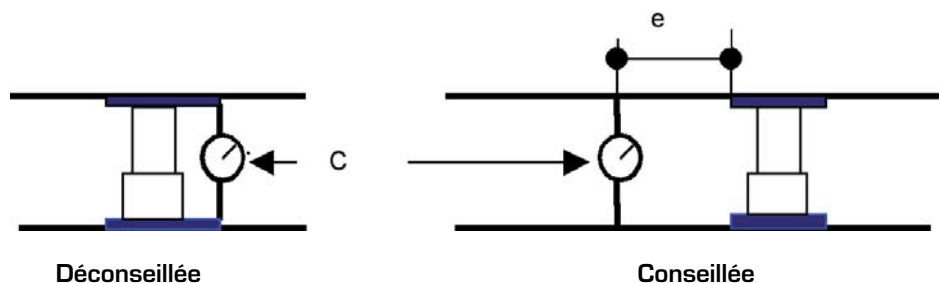


Figure 32 : Les capteurs de déplacement (ici un comparateur «C») doivent être à une distance ≈ 10 cm sur l'axe de l'appui.
Dessin A. KOCH [référence 2.2.9]

4.4.2.3 Vérinage sur pile ou culée composée de fûts isolés

Pour ce type d'appui, les appareils d'appui sont généralement disposés dans l'axe du fût. Ainsi les vérins ne pourront être qu'excentrés par rapport à ce fût. Cette disposition a pour effet d'engendrer un couple en tête de fût, or la fondation est rarement dimensionnée pour cette nouvelle sollicitation (figure 33).

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, le déplacement est lié à l'écrasement d'adaptation instantané et à la déformation élastique du béton sous chargement.

Cette nouvelle distribution des charges sur le fût est vivement déconseillée en raison du couple introduit en tête.

Les caractéristiques physiques et mécaniques du sol n'étant pas connues avec précision, il semble illusoire de définir «par le calcul» la valeur de la rotation possible de la pile (ou de la culée). Dans cette disposition des vérins, il conviendrait de vérifier la résistance de la pile sous l'effet du couple introduit en tête. On notera que cette façon de procéder peut compromettre la stabilité d'ensemble de l'ouvrage. Dans tous les cas, la circulation devra être interdite sur le tablier : le freinage se cumulerait avec le «couple de vérinage».

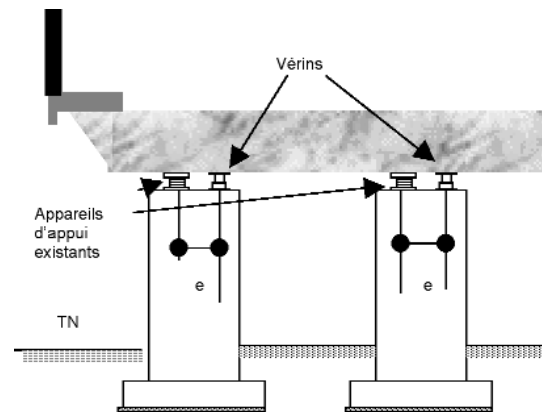


Figure 33 : Disposition en tête de pile composée de fûts isolés. e : excentricité
Dessin A. KOCH (référence 2.2.9)

4.4.2.4 Vérins sur chevêtres en béton armé, béton précontraint ou métal reposant sur des fûts

On peut disposer les vérins au droit de chaque appui existant (fût) ou de manière à obtenir des réactions d'appui égales dans chaque vérin. La résistance du tablier sous la nouvelle distribution des charges devra être vérifiée.

Cette possibilité semble être la plus défavorable pour la mesure du déplacement réel du tablier, car le report de charge peut s'effectuer en milieu de travée du chevêtre, ce qui entraîne obligatoirement une déformation de celui-ci (figure 34).

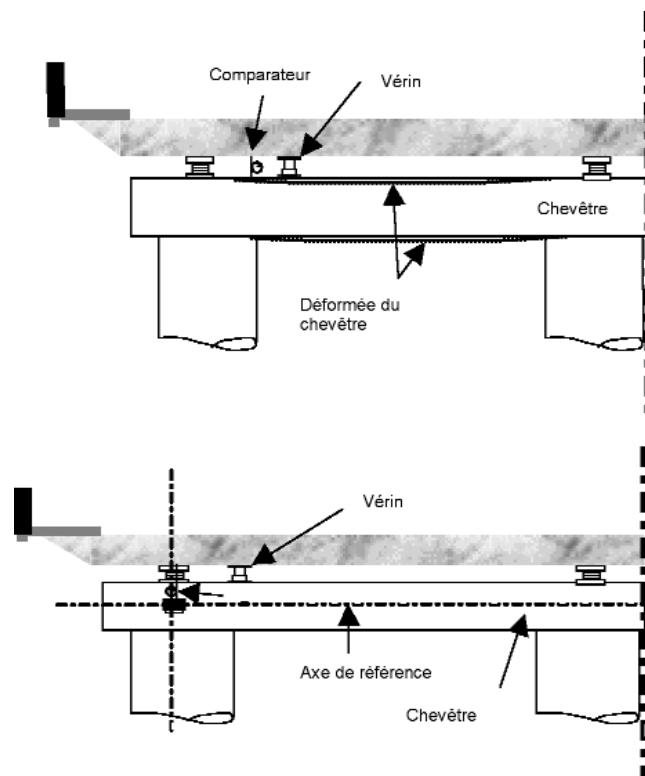


Figure 34 : Si les vérins sont trop loin de la zone d'appui, il y a création d'une déformée du chevêtre. Pour éviter d'introduire cette erreur dans la valeur du déplacement, la figure inférieure indique la disposition conseillée pour l'emplacement des vérins et des dispositifs de mesure sur un chevêtre

Dessins A. KOCH (référence 2.2.9)

> Pour l'analyse de l'état de déplacement, on prendra en considération :

- la course des vérins,
- la déformation élastique et sous adaptation instantanée du béton (Cf. § 4.4.2.2 ci-dessus),
- la flexibilité propre ou la déformation élastique du chevêtre sous l'action des vérins.

Pour effectuer la mesure de soulèvement, si l'on dispose les comparateurs entre l'intrados du tablier et le chevêtre, le déplacement réel du tablier sera faussé par les différents paramètres cités précédemment. La création d'une dénivellation transversale entre deux points de soulèvement sera inévitable. Celle-ci sera maximale si un des vérins repose à proximité d'un fût (ou appui) et l'autre en milieu de travée de chevêtre.

La disposition conseillée des comparateurs permet de s'affranchir des problèmes de déformation du chevêtre et de l'effet d'écrasement instantané d'adaptation du béton.

La lecture simultanée des différents comparateurs permettra de vérifier uniformément le tablier.

4.4.2.5 Vérins sur consoles bridées sur piles massives ou fûts

Cette disposition est très usuelle lorsque la mise en place d'un vérin entre le tablier et la pile s'avère impossible.

Les consoles métalliques sont bridées sur le fût grâce à des barres courtes précontraintes utilisant, soit des trous laissés lors du coffrage par des «distanciateurs», soit des forages ou des scellements (figure 35). On fera attention à la valeur de la tension dans les tiges car, sur ces barres courtes, on peut avoir des pertes notables de tension⁵.

Dans le cas d'ancrage à l'aide de barres de précontrainte horizontalement dans les appuis, l'effort vertical à reprendre doit être multiplié par un coefficient de sécurité de 2,5 à 3, ce qui peut avoir comme conséquence l'augmentation du nombre de barres ou de leur section.

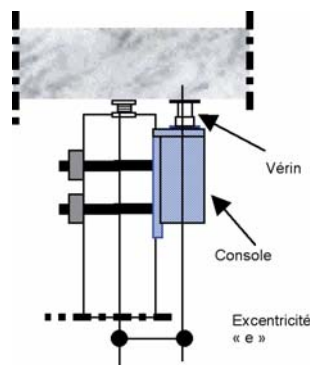


Figure 35 : Vérinage avec appui sur consoles bridées sur piles
Crédit photo GTM Travaux Spéciaux

Pour éviter l'effet d'excentricité «e» du cas de la figure 33, dessin de gauche, il est souhaitable de disposer des consoles de chaque côté de l'appui avec un vérin ; sinon, on vérifiera la pile sous cette excentricité «e». **Dans le cas des vérins placés de part et d'autre de la pile, ils seront obligatoirement couplés mais attention aux rotations sur appui du fait de l'existence du double appui (voir le § 4.2.4).**

> Pour l'analyse de l'état de déplacement, outre les paramètres déjà cités, à savoir l'écrasement instantané d'adaptation du béton du tablier, on devra tenir compte de :

- la déformation propre du système d'attache (barres précontraintes),
- la déformation élastique des consoles métalliques qui, dans le cas général et si elles sont bien conçues, peut être considérée comme négligeable.

Pour s'affranchir de ces déformations et afin de lire le déplacement réel du tablier, on ne doit, en aucun cas, fixer le comparateur sur les consoles.

⁵ Voir les conseils donnés dans l'article «éléments courts de précontrainte» de M. A. Chabert, paru dans le Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et chaussées, N° 128 (Nov/Déc 1983).

4.4.2.6 Vérins sur consoles bridées sur chevêtre

Si les vérins, appuyés sur les consoles métalliques, sont disposés dans les axes des fûts (axes A et B sur la figure 36), l'opération peut être réalisée en respectant les consignes données au § 4.4.2.5.

> Si certains vérins se trouvent entre les appuis de pile (axe B'), il conviendra de :

- vérifier la résistance du chevêtre et sa courbe déformée,
- vérifier la résistance transversale du tablier,
- mesurer le déplacement réel du tablier comme indiqué au § 4.4.2.4.

> D'une façon générale, ce schéma de vérinage est à déconseiller vivement.

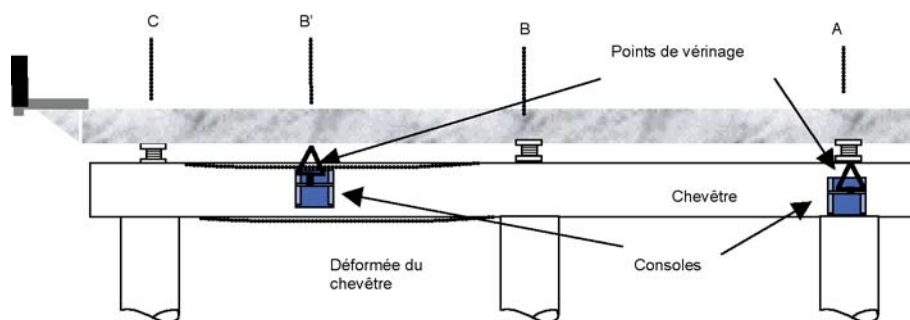


Figure 36 : Disposition avec vérins sur consoles bridées sur un chevêtre
Dessins A. KOCH (référence 2.2.9)

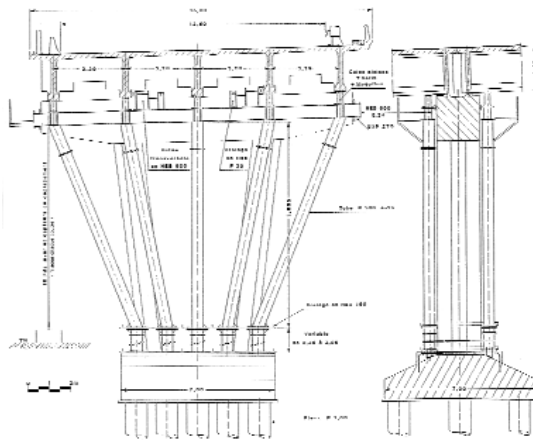
4.4.2.7 Vérinage sur palée prenant appui sur les fondations de l'ouvrage

L'utilisation de palées provisoires extrêmement coûteuses ne peut être envisagée que là où le vérinage doit être de très haute précision, avec une impossibilité totale de disposer du chevêtre pour cette opération (figure 37).

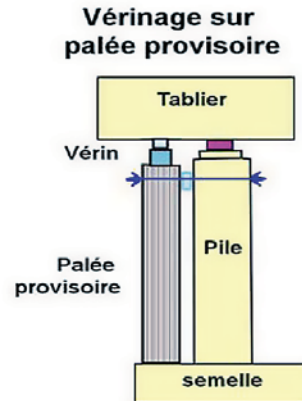
Dans cette situation, l'analyse de l'état de déplacement est la suivante.

Une dénivellation maximale de l'ordre de quelques $1/10^{\text{ème}}$ de millimètre est généralement exigée pour ce type de pont à poutres. Les paramètres influant sur la mesure du déplacement sont les suivants :

- déformation élastique de la palée lorsque la hauteur est importante,
- déformation instantanée d'adaptation des assemblages lors de la mise en charge,
- déformation instantanée par adaptation des appuis de palée élastique,
- déformation élastique du chevêtre lorsqu'on le décharge du poids des poutres lors du transfert de la charge.



Document Y. PICARD



Document D. POINEAU

Figure 37 : Disposition par appui sur les fondations de l'ouvrage. A gauche, un cas réel. A droite, le principe.

Ce dernier paramètre nous interdit d'utiliser le chevêtre comme référence de mesure.

Il est nécessaire de disposer d'une référence de mesure fixe. On pourra, à cet effet, descendre des fils Invar ou un fleximètre, équipés de capteurs de déplacement, des sous-faces des poutres jusqu'au sol permettant ainsi d'obtenir l'information «absolue» sur les déplacements (voir, sur la figure 37 G, le fil Invar entre la structure et le sol).

4.4.2.8 Vérinage sur palée prenant appuis hors de la structure existante

Lorsqu'il est impossible de faire reposer les palées provisoires sur la fondation propre de l'ouvrage, il est nécessaire de réaliser des appuis provisoires. Ces fondations provisoires doivent être en mesure de transmettre les efforts des vérins au sol.

Suivant la nature du terrain il conviendra de créer :

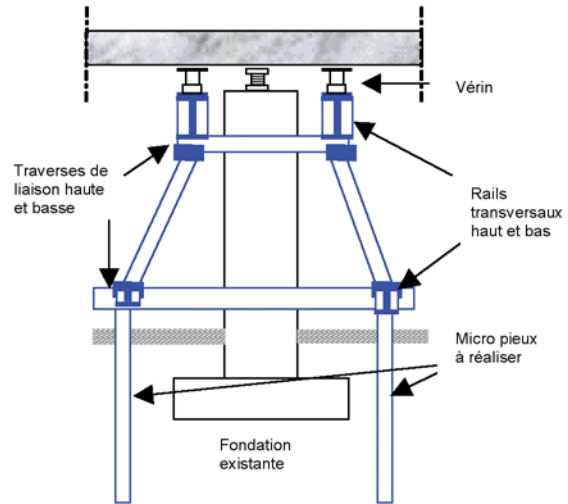
- des semelles superficielles lorsque le sol support le permet,
- des semelles semi-profondes ou profondes, sur pieux ou micropieux, dans le cas contraire.

> Comme dans les cas précédents, les paramètres influant sur la mesure du déplacement sont les suivants :

- la déformation élastique de la palée, particulièrement lorsque la hauteur est importante. Une approche quantitative des déformations par les méthodes classiques de RdM semble illusoire ;
- la déformation instantanée par adaptation des appuis de palée ;
- la déformation instantanée d'adaptation des assemblages lors de la mise en charge ;
- le tassement des nouvelles fondations ;
- la déformation des nouvelles fondations lorsqu'elles sont mises rapidement en charge ;
- enfin, la déformation élastique du chevêtre (éventuel) lorsqu'on le décharge du poids de l'ouvrage.



Crédit photo SETRA/CTOA- Cete d'Aix



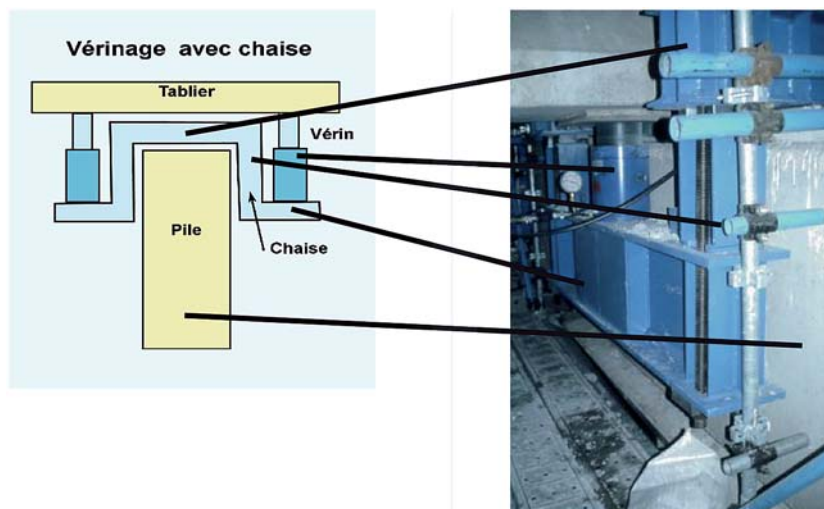
Dessin A. KOCH (référence 2.2.9)

Figure 38 : Disposition d'appui hors structure existante à droite ou par brèlage sur l'appui à gauche

Du fait que la cote altimétrique du chevêtre varie dès qu'on le décharge, il est nécessaire de disposer d'une référence fixe de mesure. Celle-ci sera le terrain naturel où l'on installera des plots en béton stables géométriquement comme pour la situation décrite au § 4.4.2.7.

4.4.2.9 Vérinage sur «chaise»

Ce mode de vérinage, schématisé sur la figure 39, nécessite un équilibrage des réactions à gauche et à droite.



Dessin D. POINEAU

Crédit photo D. ESBRAAT

Figure 39 : Vérinage sur chaise

4.4.2.10 Vérinage sur niche réalisée sur le sommet de l'appui

Dans quelques rares cas où la place disponible entre l'appui et la structure est insuffisante et que la réalisation de consoles n'est pas envisageable (reprise de l'excentricité impossible, résistance insuffisante de la structure ou de l'appui dans la zone d'appui des vérins, ...), on peut réaliser des niches en tête de l'appui par carottages successifs sécants. Bien entendu, il conviendra de bien peser les conséquences des coupures des aciers de la tête de l'appui (figure 40).

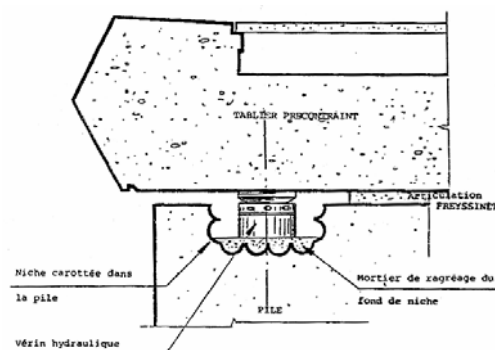


Figure 40 : Vérinage dans une niche réalisée en tête de l'appui par des forages sécants.
Dessin extrait d'un article paru dans la revue «Travaux» de Mars 1985

4.4.3 CONDUITE DE L'OPÉRATION DE SOULÈVEMENT

4.4.3.1 Opérations préliminaires au soulèvement

Avant de lancer l'opération de vérinage, on procédera OBLIGATOIREMENT à une série de travaux visant à éviter toute interférence du déplacement vertical du tablier avec des équipements annexes. La liste des points concernés (non exhaustive, rappelons-le) a été donnée au § 4.1.2.e ci-dessus.

4.4.3.2 Cas des ponts dalle

4.4.3.2.1 - Généralité

La méthode de soulèvement la plus adaptée au cas des ponts dalles en béton armé ou précontraint (considérés comme peu sensibles à une dénivellation transversale) consiste à lever en contrôlant le déplacement du tablier.

La disposition des vérins est celle indiquée au § 4.4.2 pour les ponts dalle. Cette disposition modifiant les sollicitations du chevêtre incorporé au tablier, la résistance de ce dernier doit être vérifiée au stade note de calcul (cf. § 4.2). Le calage de sécurité éventuel devra être mis en place à côté des vérins, si ces derniers n'ont pas de bague de sécurité. Les platines de répartition des charges sont toujours indispensables : elles limitent les contraintes dues à l'effort concentré des vérins.

4.4.3.2.2 - Stabilité sous les efforts horizontaux

> Elle devra être vérifiée et portera sur :

a) le freinage éventuel

Les efforts de freinage dus à un poids lourd circulant sur le tablier sont introduits dans toutes les lignes d'appui excepté celle en cours de vérinage.

b) l'effort dû au vent

Pour les ponts dalles à faible prise au vent, les effets du vent peuvent être négligés.

c) la dilatation

L'influence de la dilatation est prise en considération comme suit :

- elle dépend de la température au début et à la fin de l'opération de vérinage. La dilatation sera maximale si la durée est supérieure ou égale à 24 heures.
- elle dépend également de la position géométrique du point de soulèvement par rapport au point fixe de dilatation.

Pour pallier les effets de cette dilatation, on pourra mettre en place un dispositif de glissement sur ou sous les vérins, afin de permettre au tablier de se dilater librement. Ce dispositif est, le plus souvent, composé d'une plaque en acier inoxydable sur laquelle glisse une plaque de PTFE.

4.4.3.2.3 - Choix des vérins

Le choix des vérins se fait en fonction des impératifs d'ordre dimensionnels entourant l'appui. Nous avons vu au § 4.3.2.2 qu'il existe plusieurs types de vérins. On fera le choix en fonction de la hauteur disponible entre le tablier et le sommier d'appui, la charge à soulever et la valeur de la levée.

En ce qui concerne les capacités de soulèvement, Q_u , celles-ci seront à définir en fonction de la descente de charge calculée en la majorant d'un coefficient de sécurité de 1,40 : $Q_u \geq 1,40 R_i$.

Ce coefficient de 1,4 pour les ponts droits semble être une donnée appliquée actuellement par les entreprises.

La course utile des vérins lue est fonction du matériel existant actuellement sur le marché. Celle-ci ne devra pas être trop faible pour éviter les manutentions excessives d'une reprise de vérinage, sachant que les dénivellations transversales et longitudinales entre deux points devront être impérativement limitées pendant toute l'opération.

4.4.3.2.4 - Branchement de n vérins sur une pompe

Pour ce branchement, les pressions dans chaque vérin sont pratiquement identiques. Si les vérins ont la même section, les réactions d'appui variables d'un vérin à l'autre amènent des déplacements différents de la structure au droit des différents points du soulèvement.

En cas de réactions d'appui différentes, on peut limiter les déplacements différentiels en soulevant la structure en «escalier», qui peut se décrire de la manière suivante.

Les trois circuits (1, 2 et 3) étant ouverts, on soulève donc le tablier avec la même pression (ou presque) dans chaque vérin. Avec des comparateurs fixés sous le tablier, on suit le déplacement de chaque point d'appui. On monte ainsi tant que la différence de déplacement entre deux points est inférieure à la limite fixée par la note de calcul (par exemple 1 mm). Ensuite, si, par exemple, le soulèvement (h_1) en 1 est inférieur de 1 mm au soulèvement en 2 (h_2), on ferme les circuits 2 et 3. On monte en 1 de 1 mm. On ferme en 1, on diminue la pression jusqu'à la ramener à la pression pour soulever 2 ; on soulève 2 et 3 de 1 mm et ainsi de suite jusqu'à obtenir la valeur du soulèvement nécessaire.

Une pompe ne produit qu'un débit fixe à pression constante, la pression est donc la même dans tous les vérins. Les réactions d'appui étant rarement identiques, il se produit au cours du soulèvement un report de charge de l'appui le plus chargé sur les appuis moins chargés. Le report de charge s'effectue par la déformation du tablier.

Si la somme des réactions d'appui peut être définie, il n'en est pas de même pour l'intensité de chaque réaction.

Ainsi ce dispositif n'est pas adapté pour effectuer des pesées de réactions d'appui et ce mode de vérinage doit être strictement réservé à des cas simples.

4.4.3.2.5 - Branchement de n vérins sur n pompes

Ce branchement correspond à n circuits indépendants, n étant le nombre de vérins nécessaire pour soulever toute la ligne d'appui.

Ce schéma permet de ne pas avoir à se soucier des réactions d'appui différentes d'un vérin à l'autre. On peut régler les pressions des différentes pompes de manière à avoir un soulèvement uniforme.

Cette méthode nécessite obligatoirement un système de calage sinon elle peut s'avérer dangereuse.

4.4.3.3 Cas des ponts à poutres et des ouvrages hyperstatiques

Les vérinages de précision s'appliquent généralement aux ponts à poutres qui sont structurellement sensibles à des dénivellations transversales très faibles.

Dans cette situation, on suppose que, quelle que soit la disposition des vérins sous l'entretoise, cette dernière a été vérifiée pour résister aux différentes sollicitations qui vont lui être appliquées.

D'autre part, tous les ponts hyperstatiques classiques (à 3 ou 4 travées continues) sont concernés par ce mode de vérinage. De même que précédemment, on supposera que toutes les vérifications préliminaires ont été menées.

Dans ce cas de figure, on soulève toute la ligne d'appui quelle que soit la hauteur du déplacement.

La disposition idéale consiste à placer un vérin de part et d'autre de l'appui (ou, si la place le permet, sur la pile) et dans l'axe géométrique de la poutre de la structure puis à les coupler afin qu'il n'en résulte qu'un seul point de soulèvement.

Cette disposition permet, lorsque les plateformes de travail sont en place, de travailler dans de bonnes conditions, en sécurité pour le personnel et sans risque pour l'ouvrage. En outre, le contrôle de l'avancement et le calage de sécurité du tablier sont faciles à réaliser.

Une autre disposition possible est illustrée par la figure 41. La mise en place des blochets d'appui de vérinage⁶ nécessite le carottage au travers de la poutre dont, au préalable, on aura vérifié et précisé la position des armatures et des câbles de précontrainte (par gammagraphie, par exemple). Dans ce cas de figure, l'opération ne peut être correctement menée que par un pilotage assisté par ordinateur.

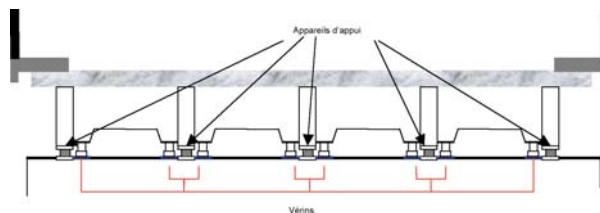


Figure 41 : Vérinage avec vérins de part et d'autre de la poutre. Ils s'appuient sur des blochets situés sous l'entretoise et fixés par précontrainte dans la poutre.
A droite : Schéma de vérinage en hyperstatique.

Crédit Photo SETRA/CTOA - Dessins A. KOCH (référence 2.2.9)

a) Dispositif transversal isostatique

Chaque fois que cela sera possible, on optera pour un soulèvement transversal isostatique. L'entretoise devra être en mesure de résister à la flexion induite par ce dispositif. A cet effet, on pourra envisager un renforcement temporaire de l'entretoise par mise en place de précontrainte extérieure. L'avantage indéniable de ne disposer que de deux vérins pour vérifier est de permettre une dénivellation plus importante entre deux points.

Les vérins seront disposés comme précisé ci-avant, de préférence sous les poutres maîtresses, de part et d'autre de l'appareil d'appui.

Pour des raisons de sécurité, le calage éventuel sera également positionné sous la poutre centrale au fur et à mesure de la montée. D'autre part, la flexion de l'entretoise exige d'utiliser des têtes de piston aptes à pivoter (cf. § 4.3.2.2.2.B b).

b) Dispositif transversal hyperstatique

Le dispositif transversal hyperstatique présenté sur la figure 41 est un cas courant pour les ouvrages de grande largeur, le chevêtre ou l'entretoise d'about n'étant plus en mesure de reprendre des sollicitations dues à un soulèvement en deux points.

⁶ Sur la tension des barres courtes, voir le § 4.4.2.5

Ceci rend obligatoire de prévoir une batterie de vérins alimentés indépendamment ou par couples ce qui nécessite un pilotage extrêmement précis qui ne peut se faire que via l'assistance d'un ordinateur. En effet, les dénivellations entre deux appuis, aussi faible soient-elles sont en mesure d'engendrer des sollicitations inadmissibles pour l'entretoise, ce qui explique que la tolérance de soulèvement pour ce genre d'ouvrage est de l'ordre de quelques 1/10^{ème} de millimètre.

Le branchement de n vérins sur n pompes est la méthode la plus adaptée pour lever simultanément une ligne d'appui. Elle nécessite une centralisation des informations sur un pupitre de commande.

4.4.3.4 Cas des vérinages à grandes amplitudes de déplacement

C'est le cas d'un changement de gabarit d'un tablier.

Pour un soulèvement de ce type où tout l'ouvrage est en phase ascendante, il est impératif de stabiliser le tablier sous l'influence des efforts horizontaux. Ceux-ci se composent de la dilatation longitudinale et de l'effort transversal sous l'effet du vent.

Si le calage est ancré aux piles et aux culées, ces efforts peuvent y être directement introduits (effet de couple et effort tranchant) lorsque la hauteur n'est pas importante. Dans le cas contraire, il est indispensable de prévoir une construction provisoire de contreventement.

Ce dispositif coulissera verticalement sur la culée et empêchera tout déplacement transversal ou tout effort horizontal sur les vérins.

Suivant la longueur du tablier, l'ouvrage subit, sous l'effet de la dilatation, un déplacement variant avec la différence de température entre le début et la fin de l'opération. Ce déplacement horizontal induit des efforts horizontaux qui ne devront, en aucun cas, être gênés par les appuis des vérins. Pour ce faire on veillera à disposer des plaques de glissement (en PTFE⁷ par exemple) entre têtes de vérins et structure (cf. § 4.4.3.2.2 c).

Le soulèvement est réalisé par phases successives équivalentes à 8/10^{ème} de la course maximale des vérins. Cette hauteur ne doit, en aucun cas, être franchie sans contrôle. Ainsi, on définira un pas d'avancement à la suite duquel on réalise un contrôle du déplacement de tous les points de levage. Cette vérification devra se faire longitudinalement et transversalement.

En adoptant, par exemple, un pas de 10 mm, la tolérance longitudinale sera facilement respectée ; si une dénivellée est constatée dans le sens transversal, il faudra impérativement remettre à niveau.

Arrivé en fin de course (rappel : 8/10^{ème} de la course des vérins), on met en place le calage définitif, puis on repose le tablier sur ses appuis provisoires sans créer, bien évidemment, de dénivellée. Ceci permet de déposer les vérins, de disposer la rehausse de cales sous les vérins, puis de les repositionner. Leur course est à ce moment-là nulle et on recommence l'opération.

Dès que l'on a obtenu la hauteur désirée pour réaliser les appuis définitifs, on ferme le circuit et on met en place le dispositif de calage de sécurité (voir figure 42).

⁷ Polytétrafluoréthylène ou Téflon®.

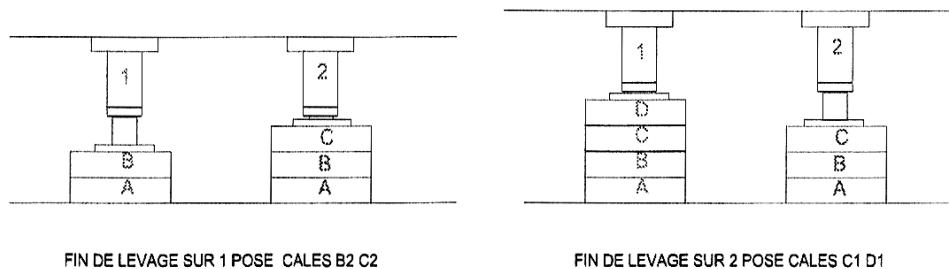


Figure 42 : Phases de levage pas par pas. Noter la position du vérin fixé « au plafond » pour éviter des manutentions de l'appareil lors des reprises, à condition d'employer un vérin double effet.

Dessins extraits de "Manutentions lourdes - Technologie et mise en œuvre" Techniques de l'Ingénieur.

On vérifie la cote altimétrique en tous points d'appuis puis on confectionne les bossages. Dès que les bossages sont aptes à supporter le tablier, on descend ce dernier sur ses nouveaux appuis.

4.4.3.5 Les interventions sur les appareils d'appui verticaux

Pour reprendre des efforts horizontaux provenant de chocs de bateau sur des appuis ou d'action sismique, on peut avoir des appareils d'appui verticaux (voir figure 43). Le changement de ces appareils d'appui ne peut pas se faire par un vérinage puisqu'ils sont situés entre une structure et une butée liée à l'appui. Leur changement ne peut se faire que par une intervention au niveau du bossage d'appui. Il faut procéder à sa démolition par marteau piqueur ou par sciage au fil diamanté, par exemple.

La remise en place peut se faire, soit par matage (voir § 4.5.4.1), soit, si l'appareil d'appui doit être en charge, par un système utilisant un vérin plat qui sera laissé en place et rempli par un coulis de ciment ou de la résine (voir § 4.3.2.2.2 A et schéma de la figure 43b).



Figure 43 a : Exemple d'un appareil d'appui vertical pour assurer la butée de l'appui en cas de choc de bateau sur celui-ci
Credit photo SETRA/CTOA



Figure 43 b : Utilisation d'un vérin plat mis en pression et laissé en position « gonflé » par un remplissage en résine ou en coulis de ciment.
Document ENPC (référence 2.2.13)

4.4.3.6 Les surprises possibles lors d'un vérinage

Malgré toutes les précautions et les préparations avant le chantier, il faut bien avoir conscience qu'une opération de vérinage n'est jamais à l'abri de surprises. Indéniablement, c'est un piment pour ce genre d'opération. Mais ceci doit aussi être interprété comme la nécessité que de tels chantiers ne sont pas à manager par du personnel d'encadrement ne disposant pas d'un minimum d'expérience.

> Parmi les surprises les plus souvent rencontrées, on peut citer (et la liste n'est pas limitative !) :

- les abouts de tablier bloqués (toujours difficile à bien déceler lors de la visite préalable),
- les rechargements d'enrobés de 18 à 20 cm (trop souvent négligés lors de la visite préalable),
- les équipements dans les trottoirs (ou sous la structure) ne disposant pas de possibilités de déplacement vertical (trop souvent mal vu lors de la visite préalable),
- les cachetages des câbles d'about des poutres de travées adjacentes de VI-PP, conjugués sur les appuis intermédiaires (à déceler lors de la visite préalable, au moins sur les poutres de rive, si l'accès n'est pas possible entre poutres, derrière les entretoises),
- les surlongueurs de câbles de précontrainte transversale de l'entretoise d'about, noyées dans les murs latéraux (imprévisible),
- les appareils d'appui logés dans des engravures de l'appui (ou de l'intrados de l'ouvrage) d'où il est impossible de les déloger sous les poutres centrales (imprévisible et qui va nécessiter de reprendre l'étude car la hauteur de vérinage nécessaire impose le choix d'un autre type de vérin),
- les bétons caverneux qui cèdent lors de la réalisation des carottages ou lors de la mise en tension des barres de précontrainte destinées à ancrer les consoles devant supporter les vérins,
- le tablier bétonné à même le sommier des culées, qui se «décolle» brutalement et bruyamment après une montée en pression quasi instantanée. Ce cas présente un réel danger pour la structure si la pompe HP n'est pas du type «à faible débit» (situation à mettre en évidence à l'issue de la visite préalable),
- les sections rétrécies de béton traversées par des barres verticales constituées d'armatures ne figurant pas sur les plans consultés ou en acier HA au lieu d'acier Fe 24,
- les estimations erronées de la répartition transversale des descentes de charge sur les différents appareils d'appui des ouvrages très biais, pour lesquels la zone d'appui, qui correspond à l'angle aigu, est souvent beaucoup plus chargée que le calcul ne l'indique (problème que seul un spécialiste est en mesure de déceler),
- les calages au «mortier de résine» qui ne polymérisent jamais (penser à réaliser des épreuves de convenance),
- un léger déplacement de l'axe des appuis par rapport au tablier. La solution sera fonction de la cause du déplacement.

4.4.4

**CAS PARTICULIER D'UNE INTERVENTION
SUR UNE SECTION RÉTRÉCIE DE BÉTON**

Le vérinage sur un appui comportant une articulation en béton ou une section rétrécie de béton (cf. § 1.3.3.4) est une opération particulière. En général, elle est programmée pour changer le gabarit d'un ouvrage ou par suite de désordres sur l'articulation à la suite de mouvement d'appui (voir figure 7).



Figure 44 : Sciage d'une section rétrécie de béton. Ici avec une grande scie diamantée, des sciages au fil diamanté sont aussi réalisés.

Crédit photo D. WEISSE - TSV

Nota : les vérins sont sur des bossages installés sur l'autre face de l'appui.

Cette opération reste particulièrement délicate parce que l'on ne dispose pas, en général, de point d'appui pour les vérins (ce type d'appareil d'appui n'était pas censé être changé !), que la place disponible entre la structure et l'appui est extrêmement réduite et, surtout, que cela conduit à mettre en place un nouveau système d'appui dont il va falloir apprécier les conséquences sur le fonctionnement futur de la structure. A tout le moins, il convient de bien s'assurer que le point fixe qu'assurait cette articulation est maintenu.

D'autre part, le soulèvement de l'ouvrage n'est pas immédiatement possible car, s'il existe des aciers dans l'articulation, il va falloir les couper avant de procéder au levage, mais en ayant, au préalable, procédé au transfert de charge sur les vérins.

> Le déroulement de l'opération est donc le suivant :

- mise en place des zones d'appui des vérins (probablement par l'un des systèmes décrits aux § 4.4.2),
- mise en charge des vérins pour transfert de la charge,
- sciage de la section rétrécie de béton (voir figure 44),
- soulèvement de la structure pour dégager le nouveau gabarit et ménager un espace suffisant pour mettre en place les nouveaux appareils d'appui après exécution des bossages conformes,

La suite des opérations reste identique à un changement tel que décrit dans le présent chapitre.

4.5.1 CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

Une opération de changement des appareils d'appui est pratiquement systématiquement couplée à une reprise des bossages.

La reconstitution ou la réhabilitation des bossages va consister à les mettre en conformité soit avec les conseils du guide SETRA/LCPC (référence § 2.2.3), qui est le document de référence en la matière pour les appareils d'appui en élastomère fretté, soit avec les indications des normes citées en référence sous les § 2.1.1 et 2.1.3 pour les autres produits.

Enfin, dans le cas de l'existence de bossages de grandes hauteurs (comme ceux de la figure 29), les principes de la vérification en vue d'une réhabilitation seront les suivants (et ne sont pas spécifiques au seul cas d'un bossage).

Un pont existant a été calculé sous des règles de charge et les éléments ont été dimensionnés avec les règles de calcul en vigueur à l'époque de la construction. De plus, ses matériaux peuvent être en bon ou mauvais état et, aussi, le bossage peut présenter des **désordres structuraux** dus à d'autres causes.

> **1^{er} cas : le Maître d'Ouvrage souhaite rendre l'ouvrage capable de supporter les charges actuelles (Eurocode 1 et son DAN), les actions sismiques (Eurocode 8),... On est alors dans un cas de renforcement qui nécessite la vérification de la résistance et la stabilité de toutes les parties de l'ouvrage.**

Attention : la présence de désordres impose une expertise pour en connaître les causes avant de se lancer dans un quelconque recalcul aux Eurocodes (voir le second cas).

- **Première voie :** normalement, les règles de calcul (BA, BP, métal, Fondations...) à appliquer vont être les différents **Eurocodes (homogénéité de l'ensemble de ces textes)**, mais il est fort probable que l'on va rencontrer des impossibilités techniques ou de coût qui vont conduire à faire des adaptations aux ELU ou aux ELS (par exemple : réduction des coefficients partiels de sécurité sur les charges permanentes après métré, etc.).
- **Seconde voie :** utiliser **les règles d'origine** à condition qu'elles traitent du calcul de la partie concernée, sous **les charges nouvelles** avec, aussi, des adaptations (il est nécessaire de bien connaître les différentes règles et, en particulier, être capable de pouvoir comparer les combinaisons d'actions anciennes et celles des Eurocodes, les formules, etc.).
- **Opération finale :** fixer les règles du jeu dans le CCTP avec les dérogations aux textes contractuels.

Nota : ces études doivent être faites bien en amont du lancement de l'appel d'offres et par un BET spécialisé.

> **2^{ème} cas : le Maître d'Ouvrage souhaite uniquement faire changer les appareils d'appui et faire reprendre les bossages, lesquels présentent ou non des désordres :**

- **Première opération** : rechercher les causes des désordres s'ils existent (erreurs de conception, dispositions constructives ou de calcul inadaptées, défaut sur la qualité des matériaux, non respect des plans..., vieillissement de la structure et des matériaux). Si les règles de calcul et les dispositions constructives de l'époque sont en cause, il faudra fixer les **nouvelles règles** à appliquer (par exemple, BAEL ou CCBA à la place des règles de 1934...) et, si la durabilité est en cause, il faudra définir la qualité des matériaux, les enrobages, le drainage... pour améliorer la durée de vie ;
- **Seconde opération** : s'il n'y a pas de désordres ou si les désordres n'avaient pas pour origine les règles de l'époque, il est possible de dimensionner les nouveaux bossages avec les **règles d'origine** (augmentation possible de la durabilité) ;
- **Opération finale** : fixer les règles dans le CCTP avec les dérogations aux textes contractuels.

Nota : ne pas fixer les règles, c'est inciter l'entreprise à démontrer que «ça ne passe pas» et à proposer de nouvelles règles qui vont conduire à des arrêts de chantier le temps des nouvelles études, à renforcer d'autres parties de l'ouvrage, à des surcoûts (études et travaux),...

CONCLUSIONS : pour le dimensionnement des bossages d'un ouvrage existant, le plus simple est d'appliquer les **règles d'origine (actions et calcul** avec, si nécessaire, quelques adaptations liées à l'environnement...) ou **des règles plus récentes** avec les actions d'origine, voire légèrement adaptées. Cependant, **on n'applique pas l'Eurocode 1 (pour les actions) et les autres Eurocodes (BA, BP, Métal), pour le calcul**, pour la seule raison que la norme EN sur les appareils d'appui vise les Eurocodes.

Dans ce chapitre, nous nous limiterons aux dispositions spécifiques à la situation de la réparation après soulèvement de la structure. En effet, les conditions du chantier avec la présence d'un plafond que constitue l'intrados de l'ouvrage limitent les solutions possibles.

En principe les bossages, même sous faible pression ou/et en liant hydraulique modifié ou résine, sont frettés, sauf dans le cas de faible épaisseur. Selon la norme NF EN 1337-11, cette épaisseur maximale est la plus petite valeur de :

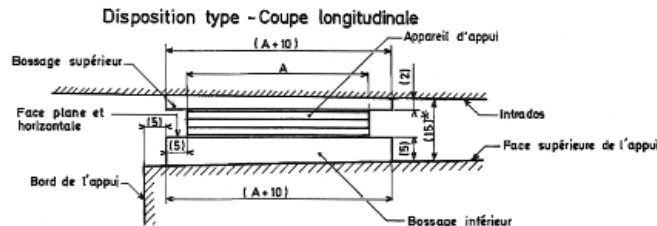
50 mm ou $15 \text{ mm} + 0,1 * \text{surface de contact/périmètre de l'aire de contact}$.

Dans la mesure du possible, on s'efforcera de respecter ce seuil.

4.5.2 LES DISPOSITIONS TYPES

Tout d'abord, il convient de rappeler, ici, les dimensions types d'un environnement d'appareil d'appui en élastomère fretté. Elle est donnée par la figure 45 reprise du guide SETRA/LCPC (référence § 2.2.3). Pour les autres types d'appareils d'appui, on se reportera aux normes de la série NF EN 1317 sur le produit et à la norme NF P 47.816-3 pour les appareils d'appui à pot.

Rappel : pour les appareils d'appui à pot, la dimension du bossage doit respecter la prescription de diffusion de la contrainte telle qu'elle est définie au § 6.1.5 de la norme NF EN 1337-5.



* Peut éventuellement être réduit à 12 cm dans certains cas particuliers.

Figure 45 : Dimensions types de l'environnement autour d'un appareil d'appui en élastomère fretté.
Document SETRA/LCPC (référence § 2.2.3)

4.5.3 LE BOSSAGE INFÉRIEUR

Pour la réalisation du bossage inférieur, les conseils donnés dans le guide déjà cité au § 4.5.1 ci-dessus peuvent s'appliquer malgré les difficultés liées à l'environnement. A cet effet, les indications du § 2.1 du guide SETRA/LCPC doivent être suivies.

La pose de l'appareil d'appui est réalisée en suivant les indications du § 2.2 de ce même guide.

Une variante consiste à mettre en place l'appareil d'appui dans sa position définitive, en appui sur son bossage supérieur (en supposant que celui-ci ne soit pas à reprendre) et sans compression. Dans ce cas, l'appareil d'appui est posé sur une platine d'acier (galvanisé ou, mieux, en acier inoxydable) calée par des vis (voir la figure 46). Les précautions liées au débullage décrites sur la figure 48 sont à prévoir.



Figure 46 : bossage par calage à vis
Dessin extrait de "Manutentions lourdes - Technologie et mise en œuvre" Techniques de l'Ingénieur.

La mise en œuvre du mortier de calage (qui est de consistance pratiquement liquide) se fait par gravité à partir d'un réservoir positionné à côté de l'ouvrage à une altitude légèrement plus élevée que celle du niveau supérieur du bossage. Pour éviter la présence d'un bullage sous la platine inférieure de l'appareil d'appui, on passe une chaîne à petits maillons sous celle-ci en secouant légèrement afin de décrocher les bulles (voir schéma inférieur de la figure 48). Cette opération est importante car l'expérience montre que des déformations, pouvant aller jusqu'à la rupture, de la platine de l'appareil d'appui peuvent apparaître.



Figure 47 : Réalisation d'un bossage inférieur par plaque en béton préfabriqué sur mortier de résine.
Crédit photo SETRA/CTOA

Une variante de cette technique est illustrée par la figure 47. Elle présente une reprise de bossage inférieur à l'aide d'une plaque en béton préfabriquée calée sur un mortier de résine.

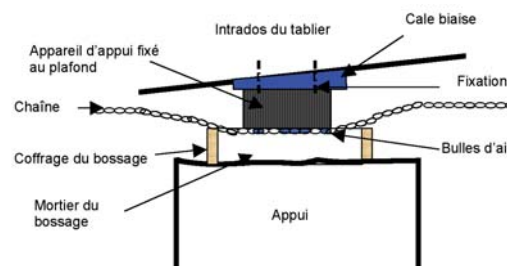


Figure 48 : (à gauche) L'appareil d'appui (ici un appareil d'appui à pot) est fixé à l'intrados de la structure et le coffrage du bossage inférieur va être mis en place. (à droite) Le principe du débullage.
Crédit photo Y. PICARD

Dans certaines situations, on peut exécuter le bossage avec l'appareil d'appui «posé en plafond» (voir figure 48). Dans ce cas, la structure est positionnée, en altimétrie, à sa position définitive et l'appareil d'appui est fixé à l'intrados avec le calage adéquat (cales biaisées si nécessaire, par exemple). Cette technique est bien adaptée à des structures métalliques.

4.5.4 LE BOSSAGE SUPÉRIEUR

Sauf à ce qu'il soit préfabriqué comme dans le cas de la figure 47, les solutions qui nous paraissent devoir être privilégiées sont :

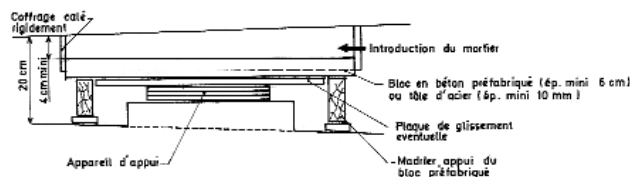
4.5.4.1 Le matage

Cette technique est décrite dans le guide SETRA/LCPC (référence § 2.2.3). Nous reproduisons, ci-après, le sens général du texte.

4.5.4.1.1 - Préparation du coffrage

Une fois l'appareil d'appui correctement positionné sur le bossage inférieur, on vient caler une tôle d'acier de 10 mm d'épaisseur minimale, ou une dallette de béton préfabriquée dont la face en contact avec l'appareil d'appui est parfaitement plane (et conforme aux spécifications [voir guide SETRA/LCPC, § 1.3.2.3]). Les dimensions en plan de la dallette ou de la tôle sont supérieures d'au moins 10 cm à celles de l'appareil d'appui (voir figure 49).

On coffre ensuite, sur trois faces, l'espace restant entre la tôle (ou la dallette) et le tablier. Ce coffrage est solidement lié à l'appui et/ou au tablier.



Document SETRA/LCPC (référence § 1.2.4) Crédit photo P. DANTEC - LRPC de Clermont Ferrand
Figure 49 : Disposition type pour la réalisation d'un matage, à gauche. Réalisation sur un chantier, à droite.

Par la face non coffrée, on introduit le mortier qui est compacté par une petite dame mise au bout d'un marteau pneumatique léger.

L'épaisseur optimale d'un mortier maté est de l'ordre de 5 cm (le rapport «surface d'assise en cm^2 /hauteur de matage» ne doit pas être inférieur à 700), l'épaisseur minimale réaliste étant de 4 cm. Ceci implique de ménager entre l'appui et le tablier l'espace suffisant pour le bossage inférieur, l'appareil d'appui, la tôle ou la dallette et l'épaisseur du mortier maté.

Le mortier maté n'est valable que pour des bossages dont la plus petite dimension en plan est inférieure à 60 cm.

Les opérations qui suivent, compte tenu de leur exécution délicate, doivent être réalisées par une équipe très qualifiée et en présence d'un représentant du maître d'œuvre.

4.5.4.1.2 - Composition d'un mortier maté

Ce mortier doit être gâché très sec et être très riche en ciment. La consistance s'apprécie manuellement et elle est celle d'une pâte dure et difficile à pétrir.

On trouvera, ci-après, à titre indicatif, un exemple de composition pour 1 m³ de mortier :

- 900 kg de ciment type CEM 1,
- 1150 kg de sable sec (granulométrie 0-2,5),
- 233 l d'eau.

Nota : *il existe des formules de mortier «prêt à mater» : prudence et ne pas hésiter à faire faire une épreuve de convenance (voir § 4.5.4.1.4 ci-après).*

Le matage est réalisé par serrage de couches successives, au moyen d'une dame en bois frappée au marteau (attention : le compactage peut être d'une efficacité telle qu'il peut provoquer le soulèvement de la structure !).

4.5.4.1.3 - Points particuliers à vérifier

La stabilité du coffrage est impérative. Le décoffrage se fera sitôt le matage terminé, ce qui permettra de rattraper les défauts ou, même, de démolir sans trop de difficultés un matage manqué.

4.5.4.1.4 - Essai de convenance.

L'opération de matage est une opération importante pour assurer les bonnes conditions d'appui de la structure. Elle est délicate. Aussi il est fortement conseillé de faire procéder à un essai de convenance qui portera autant sur la qualification de la personne exécutant le matage que sur la validité de la formule de composition du mortier.

4.5.4.1.5 – Variante autour de la pose avec mortier maté.

a) Certains remplacent le mortier à base de ciment par un liant en résine époxydique. Ce n'est plus, à proprement parler, un matage mais un remplissage par un mortier de résine. L'avantage est de pouvoir travailler en épaisseur plus réduite. Par contre, les inconvénients ne sont pas à négliger et sont liés, notamment, à l'emploi toujours délicat des résines, leur propension à fluer sous les charges, les problèmes de polymérisation, etc.

b) Si on est limité en possibilité de modification du niveau de l'ouvrage, il est possible de supprimer la plaque en béton ou en acier qui sert de coffrage au-dessus de l'appareil d'appui. Pour cela, on prépare la plaque pour empêcher l'adhérence du mortier, par exemple avec un polyane (en faisant attention de ne pas faire de plis !) ou avec un produit «décoffrant». Cependant ce produit devra garantir, par la suite, un frottement suffisant entre l'élastomère de l'appareil d'appui et le mortier du bossage.

Une fois la prise du matage effectuée, on soulève légèrement l'ouvrage pour pouvoir récupérer la plaque et on procède, ensuite, à la redescende de l'ouvrage pour avoir le contact direct de l'appareil d'appui sur le bossage.

4.5.4.2 Le calage par injection au «pochon»

Cette technique, malheureusement trop méconnue malgré son grand intérêt pour des calages de faible épaisseur et sa simplicité, est pourtant diablement astucieuse et devrait être plus souvent utilisée. Elle a été présentée dans un article du *Bulletin de liaison des Ponts et Chaussées*⁸ « Une nouvelle technique de calage des appareils d'appui par injection », dont nous reprenons ci-dessous les principaux éléments.

Le pochon est réalisé à partir de feuilles en polyéthylène de 200 à 300 μm d'épaisseur, soudées par fusion à l'aide d'un chalumeau à air chaud. Il faut choisir les dimensions de telle sorte que le volume du pochon soit légèrement plus grand que le volume à occuper. Les auteurs de l'article proposent que la quantité de mortier nécessaire soit de 20% environ de plus que le volume strict de la zone à injecter. En épaisseur, ils proposent 2 cm \pm 1 cm pour les appareils d'appui dont la plus grande dimension est inférieure à 50 cm, et 3 cm \pm 1,5 cm au-delà.

Il est rempli par un mortier pour injection et calage à retrait compensé qui atteint très rapidement de très hautes résistances, même à basse température (10 MPa à 5°C en 24 h). Il est souhaitable d'avoir une consistance semi liquide.

Remarquons qu'on peut envisager l'injection par deux faces opposées accessibles lorsque les dimensions sont grandes.

L'utilisation de tôles métalliques permet un positionnement précis et rapide du pochon entre l'appareil d'appui et le bossage.

D'une manière pratique, le mortier est mis à reposer quelques minutes pour perdre les bulles créées au malaxage. La quantité désirée est introduite dans le pochon qui sera purgé des gaz contenus par un trou situé à un angle (bouché avant la mise en œuvre) en l'enroulant.

La tôle est présentée sur l'appareil d'appui. On déroule la partie précédemment enroulée et on la pose sur la tôle. Elle pourra éventuellement être fixée provisoirement avec un ruban autocollant. On fait glisser la plaque et le pochon à leur place définitive et on enlève la tôle ou elle est laissée en place (voir figure 50).

La mise en place définitive du mortier est réalisée en pressant l'extrémité du pochon contenant le mortier. On roule ensuite l'extrémité extérieure. Elle sera ensuite bloquée par des pinces ou au moyen d'un ruban autocollant.

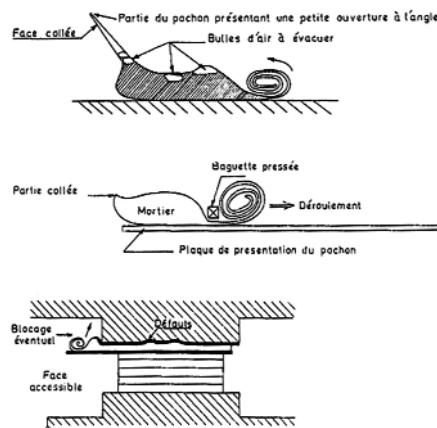


Figure 50 : Les étapes d'un calage par l'injection au «pochon»
Bulletin de liaison des Ponts & Chaussées. N° 126

⁸ Numéro 126 (Juillet-Août 1983). Auteurs : MM. J. Escarment et C. Chrétien.

Cette technique est moins délicate et plus rustique que les calages par mortier maté ou les injections à la résine. Ces dernières sont à l'origine de nombreux déboires liés à des migrations non souhaitées ou même à une mauvaise polymérisation, particulièrement en hiver. D'autre part, la technique autorise des calages en faible épaisseur.

Ce dispositif présente l'avantage de résoudre convenablement les défauts de parallélisme ou de planéité.

De même, elle permet le remplissage de défauts en creux de la sous-face du bossage supérieur qui est quasiment irréalisable en technique classique d'injection, même en utilisant des tubes évents en cuivre qui sont très difficiles à mettre en place.

4.5.4.3 Le calage par injection

Les dispositions de coffrage sont identiques à celles décrites sur la figure 49.

L'appareil d'appui est posé sur le bossage inférieur. Il reçoit une plaque en acier (qui, si elle doit rester en place sera galvanisée ou, mieux, en acier inoxydable)

Cette plaque est surdimensionnée en plan afin que la diffusion des réactions d'appui ne sollicite que très faiblement les bords de la plaque.

Dans le cas d'appareils d'appui en élastomère fretté, cette plaque d'acier aura une épaisseur minimale de 12 mm ou au moins 2% de la diagonale de l'appareil d'appui.

Un coffrage vertical (avec joints d'étanchéité) entoure la plaque située au-dessus de l'appareil d'appui. Il est muni d'un injecteur du côté le plus bas de l'intrados et d'un ou deux évents du côté opposé (voir figure 51).

On veillera à la stabilité des empilements sur le bossage inférieur.

Nota : Si l'on désire retirer cette plaque après confection du bossage (comme indiqué au § 4.5.4.1.5 alinéa b), le tablier sera positionné à une altitude supérieure à celle prévue au final. Cette sur-hauteur sera égale à l'épaisseur de la plaque augmentée de la valeur du tassement. Cette option n'est possible que si les dénivellations d'appui le permettent.

Cette tôle sera vérifiée en planéité (interdire les coupes à la cisaille qui déforment la tôle).

Un jour avant l'injection, l'intrados sera humidifié et cette opération sera répétée 1 heure avant l'injection du bossage.

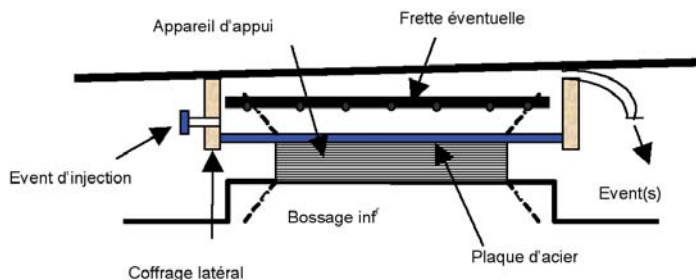


Figure 51 : Principe de réalisation d'un bossage supérieur par injection.

Le produit d'injection sera à base de liant hydraulique modifié à faible granulométrie. Couramment, il est possible d'obtenir des résistances sur chantier de 60 MPa à 24 heures, tout en gardant un produit assez maniable (Durée Pratique d'Utilisation ou DPU). Cependant l'attention est attirée sur le respect du dosage en eau et sur la DPU. Les temps de maniabilité et les temps de prise sont très différents selon la température à la mise en œuvre. Dans les premières heures, le produit d'injection restant encore relativement liquide, il est déconseillé de mettre en contact les éléments par une légère descente du tablier.

Il est conseillé de faire des essais préalables et de les recommencer si la température à la mise en œuvre a varié sensiblement.

Avant de procéder à la mise en charge de l'ensemble, des éprouvettes de contrôle du mortier d'injection seront écrasées.

> Lorsque l'opération de vérinage a pour seul objectif de changer à l'identique un appareil d'appui en élastomère fretté ou de supprimer la distorsion (due au retrait fluage au jeune âge de l'ouvrage), il convient de tenir compte des éléments suivants :

a) Malgré l'existence de dimensions normalisées des blocs en élastomère, il ne faut pas penser qu'il y a parfaite interchangeabilité de ces blocs car ils sont fabriqués, chacun, avec une tolérance qui peut se contrarier et il ne faut pas compter sur l'effet de la charge pour assurer une parfaite redistribution des charges sur ces blocs, comme l'expérience l'a montré. Cela signifie que chaque appareil d'appui doit être recalé par injection. C'est ici que la technique de l'injection au «pochon» (voir § 4.5.4.2 ci-dessus) trouve tout son intérêt.

b) Dans le cas de soulèvement pour supprimer la distorsion des appareils d'appui en élastomère fretté, c'est-à-dire pour relaxer la distorsion, il faut tenir compte de l'effet de rémanence du caoutchouc qui ne retrouve pas sa forme d'équilibre immédiatement. Une technique consiste à les tremper un certain temps dans un bain chaud (à une température de l'ordre de 60° à 100°: plus la température est élevée, plus rapide est le retour à la position de repos) afin de faciliter ce retour.

Attention : un changement d'altimétrie de la structure nécessite de revoir le niveau du sommet du garde-grève ainsi que le niveau des garde-corps et/ou des barrières de sécurité sur les accès comme des éventuelles corniches sur les murs en retour.

4.7.1 GÉNÉRALITÉS

Dans la majorité des cas les appareils d'appui sont changés entièrement lors de leur opération de réhabilitation. En effet lors de l'inspection visuelle préalable à la décision de leur réfection, tous les défauts ne sont pas forcément visibles et le diagnostic peut être incomplet.

Même pour les rares cas où une réparation de l'appareil existant serait envisageable lors du vérinage, cette réparation d'éléments de l'appareil d'appui est souvent problématique et impose un transfert en atelier. De plus la pérennité de la réparation n'est pas la même.

En conclusion, cette option de remplacement partiel ne sera prise qu'après analyse de toutes les sujétions.

4.7.2 CAS PARTICULIERS FRÉQUEMMENT ÉVOQUÉS

4.7.2.1 Cas d'un désordre sur une plaque de glissement en PTFE

> **Sauf dans le cas très particulier de petits appareils spéciaux, une bonne exécution de cette réparation est illusoire. Ainsi, par exemple, le cas d'un appareil d'appui à pot :**

- Est-il possible de vérifier d'une hauteur suffisante pour travailler correctement sur le piston (ou couvercle) ?
- La détermination de la géométrie de la plaque entre les taquets étant pratiquement sans tolérance, comment anticiper les dimensions réelles de la plaque de PTFE à approvisionner ? comment l'ajuster sur le site ?
- La cause des désordres peut provenir d'une autre cause que l'usure normale du PTFE (mauvaise conception des taquets, mauvais état de la surface en acier inoxydable, intrados de tablier déformé ayant voilé la plaque de glissement, manque d'épaisseur du piston, couple de rappel en rotation plus important que prévu, usure du joint interne, etc.). Il est évident que, dans ces cas, l'appareil doit être changé et adapté à ses surfaces de contact.

4.7.2.2 Cas d'un appareil d'appui à rouleau

Souvent, ce type d'appareil d'appui est simplement corrodé, notamment au droit des lignes de contact rouleau-balanciers (ou galet-balanciers). Pour effectuer correctement la remise en peinture des parties en contact lors des mouvements de roulement, le démontage du rouleau est nécessaire.

Souvent la corrosion paraît importante à cause du foisonnement de l'acier dégradé. Un broissage et un nettoyage permettent d'évaluer si la perte de matière est significative.

Pour traiter le rouleau avec le maximum d'efficacité, un transfert en atelier est préférable. Ainsi, outre son traitement de remise en peinture, il peut être procédé à un reprofilage des surfaces de roulement et, si nécessaire, au remplacement des éléments de guidage.

La détermination sur la nécessité de ce reprofilage est faite, soit après constat en service d'une anomalie de fonctionnement (blocage longitudinal, cheminement latéral du rouleau caractérisé par une discontinuité des lignes de contact et/ou une rupture du guidage), soit après examen visuel des surfaces de roulement.

A noter que les dents de guidage (et, éventuellement, barrette, cf. figure 3) n'ont pas seulement un rôle fonctionnel (guidage, reprise des efforts horizontaux transversaux) et un rôle sécuritaire (blocage du cheminement latéral lors du roulement, conservation de l'alignement, aide au mouvement de rotation lors de résistance sur les plans de roulement, non basculement des rouleaux tronqués en cas de mouvements accidentels du tablier), mais également un rôle de repérage et d'ajustage lors du montage. L'examen attentif des positions des dents lors des inspections est un élément essentiel d'estimation du fonctionnement de l'appareil d'appui.

5

Essais et contrôles

- 5.0 Généralités
- 5.1 Epreuve de convenance
- 5.2 Sur l'opération de vérinage
- 5.3 Sur l'exécution des bossages

Voir guide FAEQ 1.

Ce type d'opération se prête mal à l'exécution d'une épreuve de convenance. Cependant, dans certaines configurations particulièrement difficiles, il peut s'avérer intéressant de réaliser une maquette, à l'échelle 1, de la zone de l'intervention prévue (voir figure 52). Ceci présente l'avantage de vérifier, d'une part, que l'intervention sera géométriquement possible et, d'autre part, de familiariser tant le personnel de l'entreprise que celui de la Maîtrise d'œuvre avec les procédures d'exécution sans risque et de réaliser des « répétitions ».

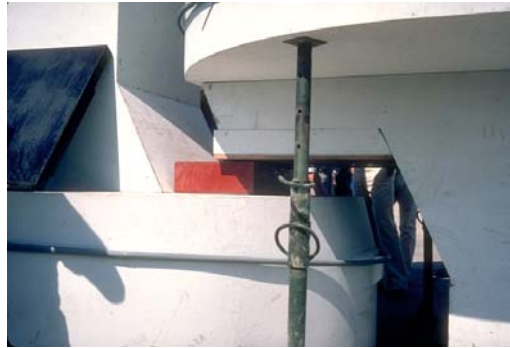


Figure 52 : Exemple d'une maquette à l'échelle 1 d'une zone de vérinage sur un cantilever particulièrement complexe.

Crédit photo SETRA/CTOA

Ce chapitre s'inspire largement des indications de la fiche Mémoar sur le vérinage (voir référence § 2.2.6). En particulier, ce document conseille «qu'une visite contradictoire de la structure soit effectuée avant toute intervention pour limiter les litiges ultérieurs». Il est recommandé que les parties concernées signent ce document.

5.2.1 VÉRIFICATION DES DOCUMENTS MUNIS DE LEUR VISA

> **On vérifiera, notamment, que la Note De Calcul comporte les informations suivantes portant sur :**

- la détermination des dénivelées admissibles transversalement et longitudinalement,
- la justification des zones sollicitées (sommiers, chevêtres, entretoises,...),
- l'évaluation des descentes de charge (hors ou sous exploitation).

> **Sur le chantier, on devra disposer de la Procédure spécifique au vérinage (qui a été préparée par l'entreprise). Cette procédure comportera notamment :**

- le schéma de vérinage (nombre de pompes, schéma hydraulique, nombre, type positionnement des vérins),
- le programme de vérinage (ordre de vérinage des lignes d'appui, nombre de paliers et hauteurs correspondantes, dispositions prévues pour assurer les reprises de vérinage pour lesquelles un second jeu de vérins peut s'avérer nécessaire selon les tolérances, dispositions pour le calage, ...).

Dans le cadre du contrôle extérieur, cette procédure doit être analysée (avec l'appui éventuel d'un spécialiste) en attachant de l'importance à l'instrumentation de suivi des déplacements (tolérances admissibles) et aux dispositions de sécurité prévues pour pallier les défaillances des circuits hydrauliques (vis sur vérins, calage) et des dispositifs de mesure des déplacements.

5.2.2 RÉCEPTION DES MATÉRIELS DE VÉRINAGE, DE CALAGE ET DE CONTRÔLE

> **Cette vérification s'appuiera sur un ensemble de pièces regroupant :**

- Les notices techniques des matériels de vérinage, avec pour chaque type de vérin : les sections efficaces, la courbe «effort/pression», utile sur le chantier pour suivre les efforts de levage et connaître le poids global du tablier.

- Les notices des capteurs de mesure des pressions et des déplacements, leur contrôle : étendue de mesure, précision, étalonnage éventuel.
- La «fiche-produit» de chaque produit que l'entreprise prévoit d'utiliser sur le chantier.

Nota : le matériel prévu en secours pour le vérinage, le calage et le suivi de déplacements doit faire l'objet des mêmes contrôles.

> Ensuite, pour chaque matériel utilisé, autre que les vérins et les pompes, on examinera les fiches d'étalonnage «à jour» avec les courbes qui s'y rattachent :

- Depuis quand a-t-il été étalonné ? Date de la dernière vérification et du dernier étalonnage.
- Procède-t-on à un calibrage avant chaque opération de vérinage ?

5.2.3 CONTRÔLE DE LA LIBERTÉ DE DÉPLACEMENT DU TABLIER

On procède, au cours de cette vérification, au pointage des éléments cités au § 4.4.3.1 qui porte sur les opérations préalables à un soulèvement.

5.2.4 CONTRÔLE DES APPUIS PROVISOIRES

5.2.4.1 Sommier ou chevêtre

On s'assurera du positionnement des vérins sur les bossages ou les zones de vérinage et des contacts vérin/plaques de répartition/structure.

5.2.4.2 Palées

Dans cette configuration, les dispositions réglementaires sur les ouvrages provisoires doivent être appliquées (cf. chapitre 4 du Fascicule 65A du CCTG). Ce type d'ouvrage doit faire l'objet d'une vérification dans le cadre des missions du COP (Chargé d'Ouvrages Provisoires).

5.2.4.3 Consoles

Contrôle du dispositif de liaison à l'appui (scellement, enserrement) et sur les pièces elles-mêmes (béton armé ou métal). Vérification du serrage des barres courtes de précontraintes.

5.2.5 CONTRÔLE DE LA BONNE MISE EN PLACE DES MATÉRIELS

- pompes : fonctionnement, limitation, secours,
- vérins : fonctionnement, secours,
- manomètre : état,
- capteurs, réglets : réglage en fonction de la course, fixation, protection (tenue au vent, prévention de fausses manœuvres),
- cales : présence à proximité du lieu d'emploi,
- système de retenue transversal (éventuel) : conformité au plan,
- automate de vérinage (éventuel) : configuration, existence des seuils d'alarme en pression ou en déplacement et, surtout, vérification de leur activation et des possibilités d'impression directe des résultats, vérification de la neutralisation du système en cas d'incident sur un capteur dans le cas d'asservissement de l'opération,
- consignes particulières en cas de défaillance du matériel (pression ou déplacement).

5.2.6 CONTRÔLE LORS DU VÉRINAGE

> Lors de l'opération de vérinage, il faut pouvoir mesurer et contrôler, sur les trois points critiques essentiels suivants :

- 1. l'effort supporté par chaque vérin par l'intermédiaire de la pression du fluide hydraulique et de la surface utile du vérin,
- 2. les déplacements verticaux du tablier avec une précision au 1/10^{ème} de millimètre,
- 3. les déplacements horizontaux en fonction des variations thermiques.

> Dans ce contexte, on procédera :

a) A la vérification des descentes de charge réelle au «décollage» de la structure (mesure simplifiée des réactions d'appui).

b) Au contrôle du respect du programme de vérinage et, notamment, du pas de progression dans les différentes phases (début, milieu, fin) et des tolérances fixées. Pour cela, on vérifie que les déplacements entre points de vérinage respectent les tolérances fixées dans la note de calcul.

c) A la vérification du renseignement de la fiche de suivi à chaque palier, qui implique la mention des pressions et des déplacements pour la ligne vérinée (et les autres si elles sont influencées).

La connaissance du déplacement vertical est nécessaire pour pouvoir tracer la courbe «pression ou effort/déplacement» qui donne la valeur de la réaction d'appui qui correspond à un déplacement nul.

Nota : Lorsque le suivi des déplacements est centralisé (automatique ou pilote de levage), il est recommandé d'effectuer, à des paliers préalablement fixés ou lorsqu'une anomalie se présente, des impressions directes des résultats (copie d'écran) et ne pas se contenter du traitement ultérieur des données.

d) Au contrôle du déplacement transversal.

e) Au contrôle particulier de l'exécution des reprises de vérinage.

Rappel : la course du vérin doit être inférieure au déplacement total (cf. § 4.4.3.4) et doit correspondre à $8/10^{\text{ème}}$ de la course maximale des vérins.

f) Au contrôle du calage de sécurité garantissant le respect des tolérances fixées, même en cas d'incident sur vérin ou sur flexible. Ceci porte, par exemple, sur le vissage des bagues de sécurité des vérins au fur et à mesure de la progression du levage.

g) Toujours sur le calage, au contrôle du respect des dispositions prévues (positionnement des cales, empilements, serrage des bagues de sécurité). L'enjeu de ce contrôle est encore plus important lorsqu'il est retenu d'exploiter l'ouvrage pendant cette opération.

h) Au contrôle du relevé de toutes les altitudes après dépose et vérification des tolérances.

5.2.7 CONTRÔLE LORS DU RETOUR À LA POSITION DÉFINITIVE (DÉVÉRINAGE)

Le retour de la structure sur les appareils d'appui n'est autorisé qu'après réception des bossages et des appareils d'appui en place. Cette opération doit s'effectuer avec la centrale de vérinage qui a servi au vérinage (le dévérinage par ouverture de robinet(s) n'est pas admissible, car cela peut conduire à des descentes hétérogènes et/ou brutales). Ce maintien de la centrale suppose qu'il a été prévu au marché.

> **Lors de cette opération, on effectue :**

a) Un contrôle des altitudes (cote après dévérinage et tassement) et la vérification des tolérances. Les cotes définitives doivent être relevées et comparées à celles visées pour la réception finale.

b) Un examen de la structure à la mise en charge des appareils d'appui pour vérifier l'absence d'endommagement.



Figure 53 : Ne pas oublier de recalibrer les équipements, comme ce garde-corps, si la structure est reposée à un niveau différent.

Crédit: photo D. ESBRAT

5.3.1 CONTRÔLE DE L'EXISTENCE DES RÉFÉRENTIELS

> **A ce stade, on s'assurera de l'existence de :**

- a) Plan de mise en œuvre de l'appareil d'appui qui comporte les données nécessaires au montage (notamment, cotes, niveaux, positions latérales et longitudinales, tolérances, qualité des matériaux constituant les bossages). Ceci en conformité avec les conseils de la norme NF EN 1317-1, annexe B.
- b) Dessins d'exécution des bossages avec la nature et l'épaisseur des coffrages, les frettes qui arment les bossages, etc.

5.3.2 CONTRÔLE PRÉALABLE À L'EXÉCUTION DES BOSSAGES

Nota : ce contrôle est exactement le même que celui que l'on doit effectuer sur un pont neuf, mais, compte tenu des conditions d'exécution, il est encore plus justifié.

Il faut vérifier l'implantation des bossages et la préparation de la surface du futur emplacement du bossage (repiquage).

Rappel : la tolérance par rapport aux axes théoriques de l'ouvrage est de ± 1 cm pour la position en plan des bossages.

Il est conseillé de réaliser une **épreuve de convenance**, car l'exécution des bossages sur un ouvrage en cours de vérinage est toujours une opération délicate et on fait, souvent, appel à des produits spéciaux dont la mise en œuvre demande une parfaite maîtrise.

Cette épreuve est, en outre, fortement conseillée pour la réalisation des bossages par matage, par injection ou par coulage par gravité.

On va donc réaliser, dans les conditions du chantier (dimensions identiques, opérateurs dûment précisés, conditions climatiques proches de celles de la période de mise en œuvre), un bossage témoin.

5.3.3 EXÉCUTION DES BOSSAGES

5.3.3.1 Cas des bossages inférieurs

- a) vérification de l'étanchéité, du calage et du nivellement (horizontalité) du coffrage,
- b) conformité du béton (produit de calage ou de matage ou d'injection) par rapport aux clauses du marché,

- c) vérification de la cote de nivellement du niveau futur du bossage,
- d) respect des conditions de mise en œuvre et des prescriptions du fabricant ainsi que de la conformité des moyens en matériel,
- e) vérification de l'étanchéité du coffrage (ne pas oublier qu'il doit résister aux éventuels effets d'expansion du produit de calage),
- f) disposition pour éviter de piéger des bulles d'air sous l'appareil d'appui,
- g) suivi de la mise en œuvre du micro-béton (ou mortiers spéciaux de calage ou d'injection),
- h) réception des bossages (vérification de la planéité et de l'horizontalité de la surface supérieure du bossage, de la cote du dessus du bossage).

Pour ce qui concerne le contrôle portant sur les tolérances d'implantation de l'appareil d'appui, on se reportera aux spécifications spécifiques à chaque produit (voir les normes citées au § 2.1.1).

5.3.3.2 Cas des bossages supérieurs

> En complément aux contrôles relatifs aux bossages inférieurs, on s'attachera, plus particulièrement aux points suivants :

- a) Vérification des dimensions du bossage et sa conformité par rapport au plan d'exécution.
- b) Vérification de l'efficacité du calage et la stabilité des éléments.

Dans le cas de bossage réalisé par matage ou par injection : vérification des dispositifs de maintien des coffrages, car ils doivent résister au damage latéral du mortier.

Pour les bossages réalisés par injection ou par coulage par gravité : contrôle de la présence et du bon fonctionnement des événements pour éviter de piéger des bulles d'air en point haut.

Dans le cas d'utilisation de bossages en béton préfabriqué, on vérifiera la qualité du béton, leur géométrie (l'utilisation de forme carré et de dimensions identiques sur un ouvrage évitera des erreurs de mise en place).

6

Hygiène et sécurité

Voir guide FAEQ 1

6.1 Généralités

De par leur position (en limite de chaussée inférieure et sur des échafaudages), les interventions vont donc se faire avec, d'une part, un risque de chute et, d'autre part, le risque de côtoyer des zones circulées.

L'entrepreneur doit s'assurer du respect de la législation du travail en matière d'hygiène et de sécurité.

> Concernant la présence d'un CSPS (Coordonnateur Spécialisé pour la Prévention et la Sécurité), le code du travail impose une coordination des travaux dans les deux cas suivants :

- intervention pour travaux d'une entreprise dite extérieure dans l'établissement d'une autre entreprise dite utilisatrice. C'est le chef de l'entreprise utilisatrice qui assure la coordination générale ;
- chantier temporaire ou mobile où interviennent au moins deux entreprises. Un coordonnateur de sécurité et de protection de la santé (coordonnateur SPS) est requis sur le chantier.

Ce qui est peu souvent le cas d'un chantier de changement d'appareil d'appui. Cependant, la maîtrise d'œuvre peut imposer la présence d'un CSPS compte tenu de la spécificité de ces travaux, de leur environnement, des risques de chute de personne, de chute de structure, etc.

> Dans le cas où il y en a un, ce coordonnateur SPS est au moins de niveau 2 si les travaux effectués peuvent être qualifiés de dangereux dans les cas suivants :

- utilisation de substances extrêmement ou facilement inflammables, toxiques ou nocives ;
- risques de chutes de plus de 3 m de hauteur (ce qui est quasi systématiquement le cas des chantiers sur les appareils d'appui) ;
- travaux en milieu confiné ;
- etc.

Le changement d'appareils d'appui rentre dans le cas du second item ce qui justifie pleinement l'intervention du coordonnateur SPS.

> Préalablement à l'établissement de son PPSPS, l'entreprise intervenant aura procédé à une reconnaissance des lieux avant son intervention. Cela lui permettra de préciser les dispositions prévues aux différents stades d'interventions sur la zone du futur chantier. On signalera, plus particulièrement :

- le balisage et la signalisation du chantier,
- les dispositions pour éviter la chute de matériaux sur la chaussée inférieure,
- les protections du chantier par des Dispositifs de Retenue Routier provisoires (systèmes homologués conformes au niveau T défini dans la norme NF EN 1317-2 et à XP P 98-453), quand les DR ont été démontés (voir nota ci-après),
- etc.

Nota : Cet aspect de la sécurité est important car le démontage partiel des dispositifs de retenue routier ne leur permet plus d'assurer leur fonction au droit de la partie démontée mais aussi sur la longueur d'ancrage (dont la valeur est fonction du type de DRR [voir les normes citées dans le guide FAEQ 4]). Dans le cas d'un maintien du trafic, les dispositions doivent être mises en place afin d'assurer un niveau de sécurité adapté aux conditions de circulation maintenues pendant l'opération de soulèvement de l'ouvrage.



Figure 54 : Balisage de sécurité visant à bien positionner la voie laissée en circulation. A noter l'utilisation de SMV (Séparateur Modulaire de Voie) légers pour ne pas augmenter la charge à soulever.
Crédit photo D. ESB RAT

Le présent texte ne traite que des dispositions à mettre en œuvre pour assurer la protection des personnes lors de la réalisation des travaux. Il ne traite pas des installations de chantier ni des moyens d'accès (échafaudages, nacelles automotrices...) même si ces points sont évoqués dans le présent document. Se reporter, d'une part, au GUIDE STRRES O (en cours de révision au moment de l'édition du présent document) qui traite du chantier de réparation dans son ensemble et des textes de référence à connaître et, d'autre part, au guide FAEQ 1.

> Lors de la préparation de son chantier, l'entreprise aura à vérifier les points suivants (liste non limitative) :

- Le chantier est-il sous trafic ? Comment est assurée la protection de chantier ? Quelles sont les possibilités d'accès au chantier ?
- Doit-il se coordonner avec d'autres entreprises qui auront à intervenir sur le site ?
- Existence éventuelle de canalisations de service public ou des câbles télécom. Quels sont les risques vis-à-vis de ces concessionnaires ?
- Y a-t-il des précautions liées à l'environnement, notamment pour les poussières, le bruit, l'évacuation de l'eau ?
- Quels sont les délais ? Existe-t-il des périodes de week-end dans le délai ? Des jours particuliers liés à la gestion du trafic ?

C'est le PPSPS qui précisera les conditions de travail.

Les mortiers spéciaux destinés à la réalisation des bossages (produit d'injection, mortier pour matage, ...) sont, pour la plupart des cas, des produits à base de liant hydraulique, donc relativement neutre pour les utilisateurs. Ils n'appellent pas de précautions particulières et on se référera à la fiche sécurité du produit pour les éventuelles précautions d'utilisation. Dans le cas de produits à base de résines (époxydiques en principe) [voir le guide FABEM N°1].

Il est rappelé que, dans le cadre d'opérations telles que celles relatives à l'entretien ou à la réparation des appareils d'appui, les interventions sur les ouvrages doivent se faire dans des conditions de sécurité pour le personnel.

Le PPSPS devra préciser l'emplacement du poste de pilotage et des agents chargés du suivi afin de vérifier qu'ils ne sont pas situés dans des zones à risque(s).

La (ou les) plateforme(s) de travail doi(ven)t avoir fait l'objet d'une réception par un organisme habilité avant toute utilisation. Les cheminements du personnel auront été définis afin que leurs déplacements se fassent en toute sécurité.

7

Gestion des déchets

7.0 Généralités

7.1 Traitement

Voir la guide FAEQ 1.

Les déchets d'emballage de protection (bois, feillard et film en plastique) font l'objet d'un traitement sélectif en usine selon leur nature. Les composants des appareils d'appui sont, soit en élastomère, soit en acier et, sauf cas très spécifiques, ils sont recyclés dans les filières de traitement adapté.

> Les déchets résultant d'une intervention sur des appuis et des appareils d'appui entrent dans l'une des familles suivantes :

- Les produits de démolition du béton armé qui sont mis en décharge comme déchets inertes ou recyclés comme granulats de remblai.
- Les éléments d'appareil d'appui. En fonction du matériau (alliage d'aluminium, acier), ils peuvent repartir en déchets recyclables. Les éléments en caoutchouc pourraient, aussi, être recyclés vers des filières adaptées au recyclage des caoutchoucs (poudrelette rentrant dans la formulation de certains élastomères, notamment).

La difficulté de gestion des déchets réside dans les faibles quantités concernées au stade d'un chantier de vérinage et de réparation d'appareil d'appui. C'est pourquoi la procédure souvent retenue par les entreprises consiste à rassembler tous les déchets, sans tri, dans une benne de chantier qui est, ensuite, ramenée à la base où le tri est effectué en fonction de la nature des matériaux. Ceci permet de disposer, au bout d'un certain nombre d'opérations, de quantité suffisante pour une gestion conformément au bordereau de suivi des déchets tel qu'il est défini dans le guide FAEQ 1 en relation avec le SOSED.

8

Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ)

8.0 Généralités

8.1 L'opération elle-même

8.2 – Exemple de PAQ

Par la suite, le Maître d'œuvre doit s'assurer que le matériel de contrôle implanté possède la qualité requise pour permettre des mesures fiables.

Le Maître d'œuvre peut faire appel à tout moment au Contrôle Extérieur pour l'assister dans les opérations de vérinage.

On rappellera qu'il est **ESSENTIEL** qu'une opération de soulèvement et d'intervention sur des appareils d'appui fasse l'objet **d'une procédure et d'un cadre de document de suivi principal**.

> **Le marché doit fixer, en s'inspirant des dispositions du présent guide :**

- les stipulations (prescriptions de moyens et spécifications de produits) à respecter ainsi que la consistance des essais et contrôles. Ces obligations sont reprises **dans les procédures et les cadres des documents de suivi** ;
- ce qui relève des contrôles interne, extérieur voire externe ;
- un cadre de PAQ avec la liste minimale des procédures et des cadres de documents de suivi à fournir ;
- le calendrier et les conditions de présentation au Maître d'œuvre des différents documents constituant le SOPAQ (Schéma d'Organisation du PAQ) et le PAQ au fur et à mesure du déroulement de l'opération chantier (de la remise des offres à la signature du marché et de la période de préparation des travaux à leur réception).

Le personnel en charge d'une manutention doit être très qualifié et compétent. Il doit aussi savoir respecter toutes les consignes et spécifications établies dans le cadre d'un plan qualité rigoureux avant le démarrage des travaux et prendre conscience qu'une opération de manutention n'est jamais une opération banale (référence § 2.1.12, chapitre 1.3).

> Un Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ) de l'opération doit être élaboré par l'entrepreneur en s'inspirant des exigences du cadre de PAQ de la consultation. Il comporte une procédure de vérinage qui fixe :

- le matériel à mettre en œuvre (vérins, pompes HP, flexibles, appareils, ...) avec des plans nécessaires ;
- les contrôles (remise en état, réglage et étalonnage, ...) à effectuer sur le matériel ;
- le personnel prévu, sa compétence et la répartition des tâches ;
- l'ordre détaillé des opérations ;
- les moyens de contrôle et les contrôles prévus ;
- les consignes en cas d'incident ;
- etc.

Il y a lieu de prévoir une épreuve de convenance pour s'assurer que le matériel, le personnel et les moyens de contrôle sont parfaitement opérationnels avant de procéder au vérinage.

Le tableau 55 donne un schéma général pouvant servir de cadre à la rédaction d'un Plan d'Assurance de la Qualité (PAQ).

Phases d'exécution concernée	Intervention du contrôle intérieur (interne et/ou externe)		Intervention du contrôle extérieur (1)
	Points critiques (2)	Points d'arrêts (3)	
Préparation du chantier			
Préparation du chantier, mise au point du document d'organisation générale, des procédures d'exécution, les cadres des documents de suivi, du(des) plan(s) d'exécution de l'opération.	Oui	Oui	Oui
Présentation de la note de calcul précisant les conditions du vérinage.	Oui	Oui	Oui
Procédure spécifique d'exécution du vérinage (à fournir par l'entreprise).	Oui	Oui	Oui
Choix des produits et des matériels			
Choix des fournisseurs des produits et matériels nécessaires à la parfaite exécution du projet (appareils d'appui, mortiers spéciaux, échafaudages, passerelles, etc.).			
Préparation éventuelle, en atelier, de certains équipements			
Réception des matériels de vérinage, de calage et de contrôle.	Oui	Oui	Oui
Fourniture des fiches produits.			
Mise en place des installations pour accéder aux zones de vérinage			
Pose des échafaudages, des passerelles, des protections du personnel, etc. Aménagement des accès.			
Contrôle de la liberté de déplacement du tablier. Ligne d'appui par ligne d'appui.	Oui		Oui
Appuis provisoires (recevant les vérins) y compris les blocs serrés par barres courtes précontraintes sur la structure. Ligne d'appui par ligne d'appui.	Oui		
Contrôle d'installation des matériels. Ligne d'appui par ligne d'appui.	Oui		Oui
Vérinage			
Vérification du dégagement des abouts du tablier, des réseaux, des joints de chaussée, etc.	Oui		Oui
Vérification de la mise en œuvre des restrictions de circulation	Oui		
Autorisation de vérinage.		Oui	Oui
- Vérification des descentes de charge réelle au «décollage» de la structure ; - Contrôle du respect du programme de vérinage et notamment du pas de progression dans les différentes phases (début, milieu, fin) et des tolérances fixées ; - Vérification du renseignement de la fiche de suivi à chaque palier.	Oui		Oui
- Contrôle du déplacement transversal ; - Contrôle particulier de l'exécution des reprises de vérinage ; - Contrôle du calage de sécurité.	Oui		Oui
Calage			
- Contrôle du respect des dispositions prévues (positionnement des cales, empilements, serrage des écrous de sécurité) ; - Contrôle du relevé de toutes les altitudes après dépose et vérification des tolérances.	Oui		Oui

Phases d'exécution concernée	Intervention du contrôle intérieur (interne et/ou externe)		Intervention du contrôle extérieur (1)
	Points critiques (2)	Points d'arrêts (3)	
Remise en place de la structure			
Bossages			
Contrôle de l'existence des référentiels.	Oui		Oui
Vérification de l'implantation des bossages et de leur état si les bossages existants sont conservés.	Oui		Oui
Epreuve de convenue.	Oui		Oui
- Vérification de la préparation de l'emplacement du bossage (repiquage), - Vérification de l'étanchéité, du calage et du nivellement (horizontalité) du coffrage, - Présence d'un fretage (armatures) dans le bossage inférieur), - Conformité du béton ou du produit de calage, - Vérification de la cote de nivellement, - Vérification de la planéité et de l'horizontalité de la surface du bossage, - Contrôle de la résistance ad hoc du béton ou du mortier, - Vérification de la cote du dessus du bossage.	Oui	Dans le cas de certains bossages spéciaux ou délicats d'exécution, un point d'arrêt avant coulage (ou matage) peut être prévu. Il permettra de s'assurer de la stabilité du coffrage, son étanchéité, etc.	Oui
Bossage en béton préfabriqué. Qualité du béton, géométrie, ...	Oui		Oui
Dévérinage			
Le retour de la structure sur les appareils d'appui n'est autorisé qu'après réception des bossages (voir ci-dessus), l'obtention des résistances du béton des bossages et de la vérification du positionnement correct des appareils d'appui (orientation, centrage, numéro de série lisible et relevé, etc.).		Oui	Oui
- Contrôle des altitudes (cote après dévérinage et tassement) et vérification des tolérances ; - Examen de la structure à la mise en charge des appareils d'appui pour vérifier l'absence d'endommagement.	Oui		Oui
Repli du chantier			
- Dépose de l'ensemble du matériel, - Cachetage après coupe des barres scellées, - Bouchage des percements des barres courtes de précontraintes, - Ragréage au droit des consoles de vérinage - Bouchage des fixations des échafaudages, - Nettoyage du chantier, - Rangement sur palettes filmées/sanglées.	Oui	Oui	
Réception des travaux			
Remise des résultats des essais	Oui		Oui
PAQ			
Remise au Maître d'œuvre de l'ensemble des documents originaux constituant le PAQ.		Oui	Oui
Vérifications diverses, nettoyage, ...	Oui		Oui
Remise en circulation.	Oui	Oui	Oui

(1) il s'agit **du maître d'œuvre du client** (voire du client) ou **d'un organisme habilité par lui** (laboratoire ou bureau d'études).

(2) **un point critique** est un point de l'exécution qui nécessite **une matérialisation du contrôle interne** sur un document de suivi d'exécution ainsi qu'une **information préalable du contrôle extérieur** pour que ce dernier puisse effectuer son contrôle s'il le juge nécessaire. L'intervention du contrôle extérieur n'est pas indispensable à la poursuite de l'exécution.

(3) **un point d'arrêt** est un point critique pour lequel **un accord formel du maître d'œuvre** (ou d'un organisme habilité par lui) est nécessaire à la poursuite de l'exécution. Les délais de préavis et les délais de réponse du maître d'œuvre sont fixés dans **le marché** ainsi que les dispositions à prendre à l'issue du délai de réponse en l'absence de réaction du maître d'œuvre (situation très anormale). **Les points d'arrêt doivent être prévus au marché.**

Tableau 55 : résumé des points critique et d'arrêt lors d'un chantier portant sur une intervention sur des appareils d'appui par vérinage

- Figure 1 : fonction d'un appareil d'appui.
- Figure 2 : les différents types d'appareils d'appui considérés sous l'angle du déplacement.
- Figure 3 : un bel exemple d'appareil d'appui métallique combinant un système à rouleaux pour les déplacements et une rotule pour les rotations.
- Figure 4 : schéma type d'un appareil d'appui en élastomère fretté (de conception actuelle).
- Figure 5 : schéma de la conception d'un appareil d'appui à pot.
- Figure 6 : principe d'une section rétrécie de béton.
- Figure 7 : appareil d'appui en béton armé à pendule cylindrique.
- Figure 8 : a) la solution idéale pour soulever un ouvrage !
b) la solution techniquement et économiquement réaliste !
- Figure 9 : les principales contraintes pour la recherche de la solution.
- Figure 10 : conséquence d'un oubli de libération des manchons des lisses d'une barrière de sécurité (l'effort de soulèvement aurait aussi été majoré de 80 t !).
- Figure 11 : courbe efforts-déplacements sous un point de levage, pour un ouvrage isostatique.
- Figure 12 : exemple d'une dalle biaise sur pile comprenant 5 appareils d'appui dans un cas de sollicitation.
- Figure 13 : l'opération a pour objet de changer les points d'appui (de A vers B) afin d'améliorer la tenue de la structure en torsion en passant de l'espacement X à X+a, ceci en ajoutant les structures signalées par un *.
- Figure 14 : les coins de levage.
- Figure 15 : principe d'un vérin.
- Figure 16 : les vérins plats.
- Figure 17 : disposition de calage de sécurité autour d'un bloc de soulèvement par vérin plat.
- Figure 18 : tableaux des principales dimensions des vérins à piston plats et extra plats.
- Figure 19 : un exemple de vérin à piston plat.
- Figure 20 : tableau donnant les principales dimensions de vérins de levage lourd.
- Figure 21 : schéma de principe d'un dispositif de vérinage d'un pont :
- à gauche, les différents éléments et leur connexion ;
- à droite, les câblages vers le pupitre de commande et la position des capteurs de déplacement.
- Figure 22 : un ensemble de vérinage.
- Figure 23 : dispositifs de mesure des déplacements : réglet, capteurs de déplacements dans son boîtier (à gauche), comparateur (à droite).
- Figure 24 : principe de l'asservissement à boucle fermée.

- Figure 25 : tableau des principales caractéristiques de quelques essences.
- Figure 26 : coins de calage à vis.
- Figure 27 : principe de raidissement d'un profilé métallique.
- Figure 28 : vue générale d'un chantier de vérinage sur un PS d'autoroute avec les dispositifs de sécurité pour la circulation sous l'ouvrage, les accès aux plateformes de travail fixée par consoles sur l'appui, etc.
- Figure 29 : deux exemples de dispositions sur appui où les emplacements pour les vérins sont clairement matérialisés.
- Figure 30 : exemple de poussée au vide par suite d'un défaut de positionnement du vérin (cas du schéma de gauche). La disposition du schéma de droite est correcte.
- Figure 31 : disposition en tête de pile massive.
- Figure 32 : les capteurs de déplacement (ici un comparateur «C») doivent être à une distance $e \approx 10$ cm sur l'axe de l'appui.
- Figure 33 : disposition en tête de pile composée de fûts isolés.
- Figure 34 : si les vérins sont trop loin de la zone d'appui, il y a création d'une déformée du chevêtre. Pour éviter d'introduire cette erreur dans la valeur du déplacement, la figure inférieure indique la disposition conseillée pour l'emplacement des vérins et des dispositifs de mesure sur un chevêtre.
- Figure 35 : vérinage avec appui sur consoles bridées sur piles.
- Figure 36 : disposition avec vérins sur consoles bridées sur un chevêtre.
- Figure 37 : disposition par appui sur les fondations de l'ouvrage : à gauche, un cas réel ; à droite, le principe.
- Figure 38 : disposition d'appui hors structure existante à droite ou par brélage sur l'appui à gauche.
- Figure 39 : vérinage sur chaise.
- Figure 40 : vérinage dans une niche réalisée en tête de l'appui par des forages sécants.
- Figure 41 : vérinage avec vérins de part et d'autre de la poutre. Ils s'appuient sur des blochets situés sous l'entretoise et fixés par précontrainte dans la poutre.
- Figure 42 : phases de levage pas par pas.
- Figure 43 a : exemple d'un appareil d'appui vertical pour assurer la butée de l'appui en cas de choc de bateau sur celui-ci.
- Figure 43b : utilisation d'un vérin plat mis en pression et laissé en position «gonflé» par un remplissage en résine ou en coulis de ciment.
- Figure 44 : sciage d'une section rétrécie de béton. Ici avec une grande scie diamantée, des sciages au fil diamanté sont aussi réalisés.
- Figure 45 : dimensions types de l'environnement autour d'un appareil d'appui en élastomère fretté.

- Figure 46 : bossage par calage à vis.
- Figure 47 : réalisation d'un bossage inférieur par plaque en béton préfabriqué sur mortier de résine.
- Figure 48 : l'appareil d'appui (ici un appareil d'appui à pot) est fixé à l'intrados de la structure et le coffrage du bossage inférieur va être mis en place.
- Figure 49 : disposition type pour la réalisation d'un matage, à gauche. Réalisation sur un chantier, à droite.
- Figure 50 : les étapes d'un calage par l'injection au «pochon».
- Figure 51 : principe de réalisation d'un bossage supérieur par injection.
- Figure 52 : exemple d'une maquette à l'échelle 1 d'une zone de vérinage sur un cantilever particulièrement complexe.
- Figure 53 : ne pas oublier de recalibrer les équipements, comme ce garde-corps, si la structure est reposée à un niveau différent.
- Figure 54 : balisage de sécurité visant à bien positionner la voie laissée en circulation. A noter l'utilisation de SMV (Séparateur Modulaire de Voie) légers pour ne pas augmenter la charge à soulever.
- Tableau 55 : résumé des points critique et d'arrêt lors d'un chantier portant sur une intervention sur des appareils d'appui par vérinage

B	
boîte à sable	3, 55
bullage	77
C	
calage ...	3, 4, 19, 35, 40, 41, 42, 52, 53, 54, 58, 67, 69, 70, 71, 77, 78, 81, 82, 90, 91, 93, 95, 96, 111, 112
cales en bois	54
capacité de levage	39
centrale	3, 26, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 93
centrales	44, 46, 48, 50, 52
comparateurs	48, 59, 60, 62, 69
course	39, 40, 41, 42, 43, 44, 49, 55, 59, 62, 71, 92, 93
course utile	42, 43, 68
D	
débullage	77, 78
déplacement(s)	2, 3, 4, 11, 12, 13, 14, 26, 27, 31, 34, 44, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 59, 52, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 69, 71, 73, 90, 91, 92, 93, 101, 111
dilatation	68, 71
électrovannes	45, 47, 49
enregistrement	49, 52
Eurocode(s)	11, 33, 34, 35, 75, 76
excentricité	61, 63, 67
F	
forages	63, 67
freinage	11, 61, 68
H	
hyperstatiques	3, 31, 69, 70
I	
isostatique	31, 70
isostatiques	49
L	
Levage Assisté par Ordinateur	46, 48
M	
manomètres	46, 47
marché	2, 7, 24, 32, 35, 45, 47, 93, 95, 109, 112
N	
note de calcul	2, 29, 32, 35, 36, 44, 67, 69, 90, 92, 111
P	
PTFE	4, 18, 68, 71, 85
R	
responsabilité décennale	7
rotation(s)	3, 11, 13, 14, 33, 36, 43, 48, 61, 63, 85, 86
S	
sciage	29, 72, 74
section rétrécie de béton	3, 15, 74
V	
vent	34, 68, 71, 92
vérins "galette"	41
vérins plats	39, 40, 41, 45, 53

Annexes

1

Les différents types d'appareils d'appui dans la norme NF EN 1337-1

2

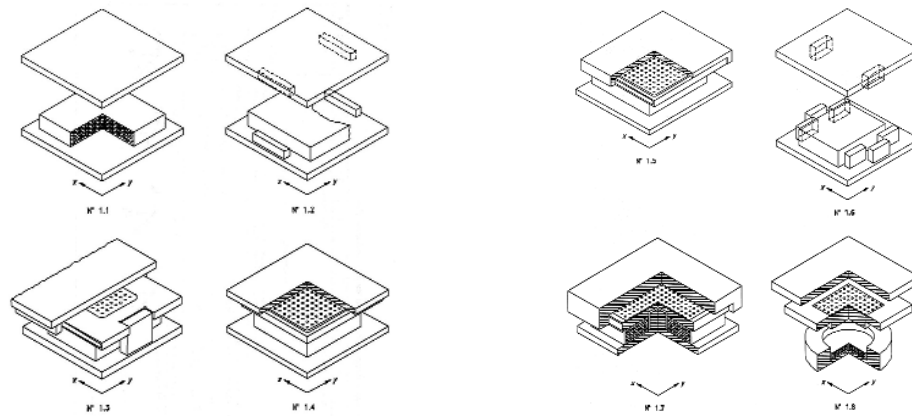
Déroulement d'une opération de soulèvement sur un ouvrage de type VIPP ancien

> Les différents types d'appareils d'appui dans la norme NF EN 1337-1 (Appareils d'appui structuraux – Indications générales indice : T 47-820-1 – décembre 2000)

Nota : les numéros sous les figures renvoient à une classification définie dans la norme.

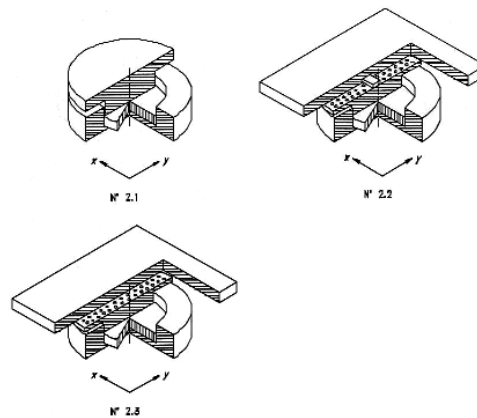
a) Exemples d'appareils d'appui intégrant un composant en caoutchouc fretté

Schémas 1.1 à 1.8



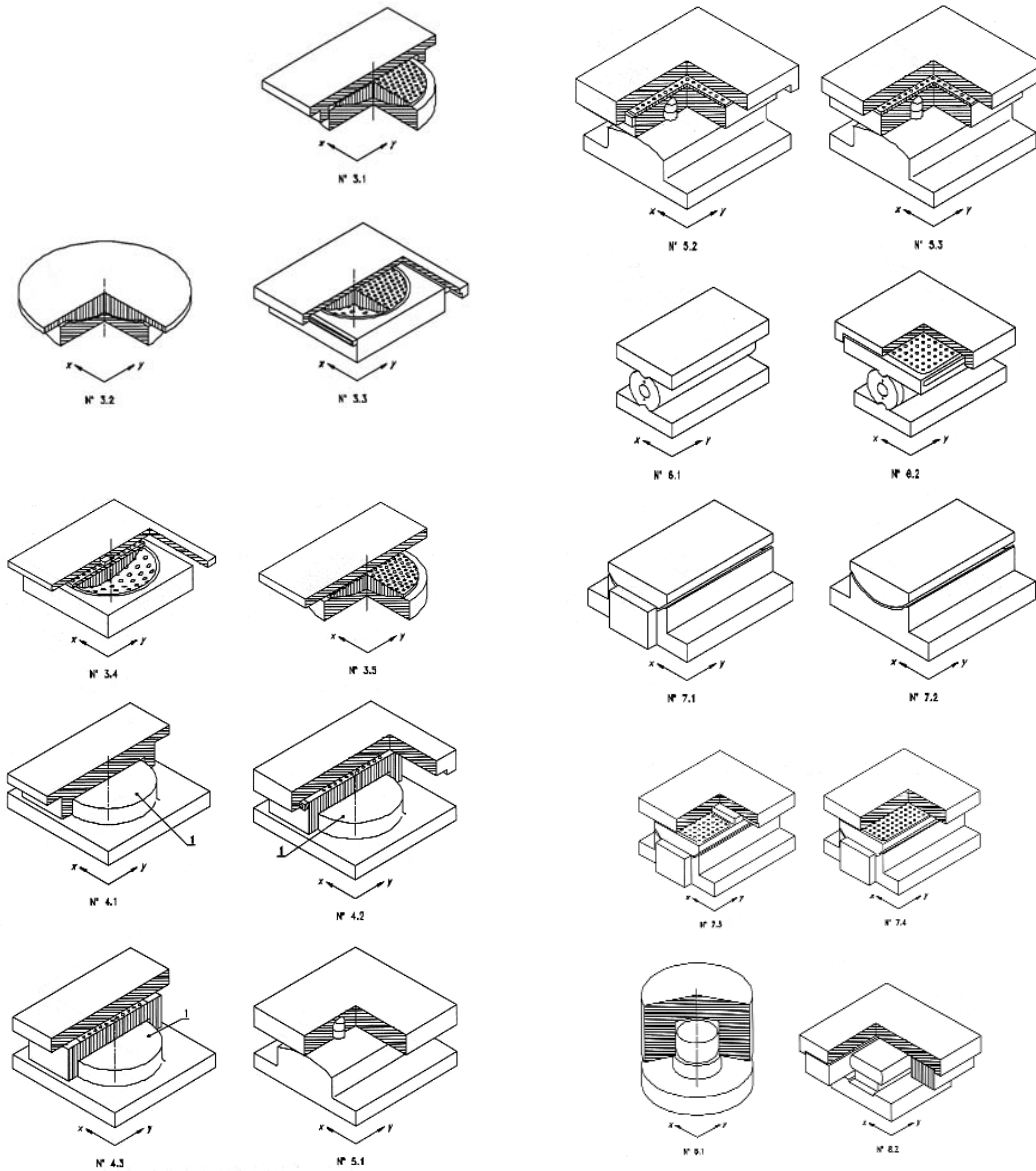
b) Exemples d'appareil d'appui à pot

Schémas 2.1, 2.2 et 2.3



c) Exemples d'appareils d'appui métallique

Schémas 3.1 à 8.2



Déroulement d'une opération de soulèvement sur un ouvrage de type VIPP ancien

Ce déroulement avec les étapes de vérinage correspondants est celui d'un cas figure réel (qui est celui illustré par la figure 37). Il décrit l'opération appui par appui.

Dans cette opération, la précaution essentielle était de ne pas déniveler de plus de 0,5 mm l'alignement les abouts de poutre ; en effet, l'entretoise précontrainte transversalement était sous dimensionnée en acier passif.

1) Phase avant vérinage

- Démolition superficielle de la semelle de fondation,
- Confection du massif d'assise en béton armé pour la palée provisoire de vérinage sur la semelle. Contrôle par éprouvettes du béton,
- Montage du chevêtre métallique au niveau du chevêtre de la pile,
- Montage des poteaux métalliques, assemblage avec le chevêtre, calage,
- Contrôle du serrage des boulons HR,
- Installation du matériel de vérinage et de mesure des déplacements verticaux,
- Test de la centrale de vérinage,
- Mise en contact des vérins (à une pression de 10 bars) avec mise à zéro des indicateurs de déplacement, contrôle du calage,
- Confirmation de la demande de coupure de circulation,
- Contrôle de la fermeture effective de la circulation sur l'ouvrage.

2) Phase de montée sous coupure de circulation

- Décollement du tablier par une montée uniforme de 2 mm environ par rapport au sol, enregistrement des déformations du chevêtre béton (fleximètres),
- Mesures, équilibrage des réactions verticales, enregistrement des déplacements,
- Montée uniforme de 20 à 40 mm (selon pile en cause) par palier de 10 mm,
- Mesures, équilibrage des réactions verticales, enregistrement des déplacements, montée des points 1, 3 et 5 pour compenser les déformations du chevêtre en béton,
- Blocage des écrous de sécurité, contrôle du calage,
- Aménagement éventuel au droit du joint de chaussée,
- Remise en circulation de l'ouvrage (1).

3) Mise en place des nouveaux appareils d'appui

- Dépose des anciens appareils d'appui, démolition des bossages,
- Exécution des bossages inférieurs en mortiers spéciaux,
- Pose des nouveaux appareils d'appui en élastomère fretté (2),
- Pose de cales «gabarit» (épaisseur selon l'objectif du nouveau niveau des tabliers),
- Confection par injection des bossages supérieurs,
- Contrôle des résistances des mortiers spéciaux utilisés pour l'exécution de ces bossages,
- Retrait des cales «gabarit» et des appareils d'appui (servant aussi de gabarit),
- Nettoyage, contrôle des surfaces de bossages,
- Mise en place des nouveaux appareils d'appui.

4) Phase de remise en place de la structure sur les appareils d'appui définitifs

- Confirmation de la demande de coupure de circulation,
- Contrôle de la fermeture effective de la circulation sur l'ouvrage,
- Montée uniforme d'environ 1 mm,
- Desserrage des écrous de sécurité des vérins,
- Mesures, équilibrage éventuel,
- Retrait des cales «gabarit»,
- Descente uniforme par palier de 10 mm,
- Mesures avant contact avec les appareils d'appui, équilibrage éventuel,
- Enregistrement des pressions et des dénivellations à chaque point de pose,
- Enregistrement des niveaux aux fleximètres,
- Analyse des descentes de charge théoriques d'après les enregistrements,
- Revérinage éventuel pour calage au feuillard galvanisé (épaisseur = 0,2 à 0,5 mm) de niveau d'appareil d'appui non satisfaisant, pose et contrôle,
- Remise en circulation de l'ouvrage.

5) Travaux après remise en service

- Examen du comportement des nouveaux appareils d'appui sous circulation,
- Retrait du matériel de vérinage,
- Elaboration du document de mise à jour du dossier d'ouvrage,
- Transfert des palées provisoires à la pile suivante.

(1) La valeur du soulèvement était, volontairement, limitée en about ce qui n'a pas rendu nécessaire la mise en place de plaques de pontage de la zone du joint.

(2) La présente opération s'applique à un soulèvement avec retour à la position initiale de la structure. En général, les nouveaux appareils d'appui seront plus « épais » pour tenir compte des règles de calcul qui ne prévalaient pas à l'époque de la construction de l'ouvrage. En outre, la réalisation de bossage, souvent inexistant sur des ouvrages anciens, conduit, pratiquement systématiquement, à une modification de l'altimétrie de l'ouvrage.



Le comité de pilotage de la famille EQUIPEMENTS [FAEQ] était composé de :

Christian TRIDON, président du STRRES

Bernard FARGEOT, président d'honneur du STRRES

Hubert LABONNE, vice-président d'honneur du STRRES

Didier CHABOT

COFEX ILE-DE-FRANCE

Gil CHARTIER

RCA

Gérard COLLE

COFEX LITTORAL

Jean-Pierre GADRET

SOLETANCHE BACHY

Christian TOURNEUR

FREYSSINET

Le GUIDE APPAREILS D'APPUI [FAEQ 5] a été rédigé par :

Michel FRAGNET et Yves PICARD

Les auteurs et le comité de pilotage remercient pour leur aide et leurs précieux conseils :

J. SEANTIER

SNFIJEES

D. ESBRAT

ancien ingénieur au
LRPC d'Aix en Provence

C. NEANT

ETIC

D. WEISSE

TSV

P. KOCH

SETEC Est

Ce document a été réalisé avec le concours
de la Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP).

