

Manutentions lourdes

Technologie et mise en œuvre

par **Bernard FARGEOT**

Ingénieur-Conseil

Pierre JARTOUX

*Responsable recherches et développement Techniques de précontrainte,
Freyssinet International*

et **Christian TOURNEUR**

Directeur technique de Freyssinet France Nord

1. Données initiales.....	C 132 - 2
2. Outils communs à tout type de manutention.....	— 3
3. Transfert de réaction d'appui.....	— 6
4. Levage de structure.....	— 8
5. Calages et mise sur appuis.....	— 11
6. Translation.....	— 13
7. Quelques dispositions spécifiques aux opérations de manutentions.....	— 17
8. Règlements à appliquer.....	— 17

Préfabriquer des éléments de structures, les transporter et les assembler, transformer, surélever, déplacer des constructions sont autant d'actes de l'ingénieur qui font appel à la manutention. Parmi les inventions les plus appréciées de nos ancêtres, la roue, le levier et la brouette, autant d'outils géniaux, issus de ce besoin, simplifièrent la vie de l'homme ! Avec le temps, le mot même de manutention a quelque peu perdu son sens étymologique, puisque l'imagination, la mécanisation, l'automatisation et toutes les connaissances qu'elle implique font évidemment plus appel à l'intelligence qu'à la main de l'homme.

1. Données initiales

1.1 Quelques rappels généraux

La manutention est dite lourde lorsqu'elle ne peut plus se faire manuellement et qu'elle exige l'utilisation de moyens puissants et mécanisés.

Les éléments qui caractérisent la manutention sont la masse à déplacer et le déplacement lui-même. La masse concernée peut avoir n'importe quelle forme et n'importe quelle dimension. Elle dépasse, en général, la tonne sans limite supérieure.

Le déplacement peut se faire dans les trois dimensions :

- par lancement, il s'agit d'une translation dans le sens de la plus grande dimension de la pièce déplacée ;
- par ripage, pour une translation latérale ;
- par levage, s'il s'agit d'un changement d'altitude.

Le déplacement peut aussi n'être qu'un changement d'orientation par rotation. Il peut encore, bien entendu, être une combinaison de plusieurs types de ces mouvements.

Les différents paragraphes de cet article reprennent chaque type de manutention en précisant les caractéristiques et les exigences.

1.2 Analyse préalable du problème de manutention

Toute opération de manutention suppose une réflexion approfondie à plusieurs niveaux.

1.2.1 Connaissance de la charge à déplacer

La structure à déplacer a une forme qui peut être quelconque, souvent dissymétrique. Ses contours, donc son encombrement, doivent être bien définis. Elle a un poids qui doit être évalué avec une certaine précision. Ce poids s'applique en un point dont la position doit être parfaitement connue : le centre de gravité. Il est, en fait, plus généralement la résultante de plusieurs forces appliquées au niveau des divers points d'appui. Chaque fois que cela est possible, on doit chercher, au cours des opérations de manutention, à ne pas modifier ces réactions d'appui.

Cette dernière condition ne peut pas toujours être respectée car toute structure a une raideur propre. On pourrait caractériser cette raideur par la capacité de l'élément à se déformer pour atténuer l'impact des efforts auxquels il est soumis. On peut donner l'exemple d'une structure reposant sur trois appuis (figure 1).

Si l'on est amené à la déplacer, à un moment donné, la position des appuis en altitude peut varier ; le point d'appui central, par exemple, peut se retrouver plus bas. Si la structure est souple, elle va se déformer pour continuer à reposer sur les trois appuis ; si la structure est raide, elle ne pourra se déformer et la charge se répartira autrement : il y aura une redistribution des charges qui va surcharger les appuis latéraux. Les supports devront être conçus pour recevoir ce supplément de charges. On comprend bien alors l'importance de cette notion de raideur.

Autre caractéristique à bien analyser dès l'étude et avant d'entreprendre les travaux, c'est la stabilité de la structure en cours de manutention. Elle est fonction de la position du centre de gravité par rapport aux appuis ; il faut donc analyser les conséquences sur la stabilité de tout déplacement du centre de gravité. Une structure peut être mise en position d'instabilité si un faible déplacement du centre de gravité entraîne un mouvement incontrôlable qui va en

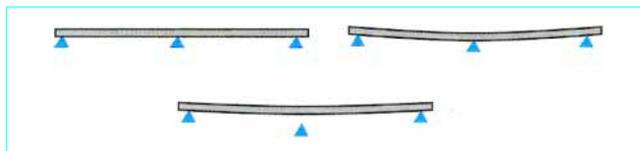


Figure 1 – Structure reposant sur 3 appuis

s'amplifiant de lui-même. À l'inverse, une structure est dite stable, si elle revient naturellement à sa position d'équilibre après un mouvement de faible amplitude de son centre de gravité.

Toute méconnaissance des caractéristiques précédentes peut entraîner de graves désordres pendant les opérations de manutention allant, bien entendu, jusqu'à la ruine de la structure.

1.2.2 Définition des objectifs

Il est indispensable, au moment de l'étude d'une opération de manutention, de bien définir le but à atteindre. Il faut en particulier bien savoir ce que l'on veut obtenir :

- est-ce une position imposée : atteindre, par exemple, une altitude ou une horizontalité donnée ? La précision à respecter doit alors être bien définie ;
- est-ce une certaine répartition des charges : pour introduire, par exemple, des réactions d'appui nouvelles ? Là encore, dire avec quelle précision.

1.3 Moyens disponibles et tolérances admissibles

Atteindre l'objectif, c'est passer par des moyens, en appliquant des méthodes.

Moyens et méthodes font l'objet des paragraphes suivants. Encore faut-il que le comportement de la charge soit bien prévu, comme rappelé précédemment, mais aussi que celui des points d'appui des charges ait été bien analysé. Lorsqu'il est sollicité, un point d'appui réagit : il se déforme et cherche naturellement à se dérober. Il faut donc connaître l'ordre de grandeur de ses déformations et les répercuter sur la structure pour s'assurer de l'équilibre général. Pour éviter tous désordres (des fissures, par exemple), il faut apprécier l'influence des variations de charge ou d'altitude et définir les tolérances acceptables. Il ne servirait à rien de donner des tolérances inutilement trop serrées et il serait très dangereux d'oublier de les définir.

Les tolérances admises permettent en particulier de choisir le matériel le plus adapté et d'éviter des matériels inutilement lourds ou encombrants. Elles permettent aussi de définir le matériel de contrôle indispensable (comparateurs, manomètre, enregistreurs, etc.) et leur degré de précision pour assurer pendant l'opération toute la sécurité exigée.

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.

La suite de l'article traite de toutes les manutentions lourdes autres que celles qui se font par engins automoteurs ou grues de chantier qui font l'objet d'articles spécialisés du présent traité. Elle s'intéresse à tous les types de mouvements et se subdivise en plusieurs parties : les outils courants, le transfert de réactions d'appui, le levage, le calage et la mise sur appui, la translation et enfin toutes les dispositions propres aux opérations de manutention.

2. Outils communs à tout type de manutention

Quel que soit le type de manutention, on retrouve un certain nombre d'outils communs qu'il nous a paru intéressant de regrouper.

2.1 Cric de levage

Le cric est un appareil de levage mécanique capable de transmettre l'effort à la charge. C'est un appareil de faible capacité et d'encombrement relativement important. En particulier, sa hauteur importante empêche, en général, de centrer la charge sur l'appareil. Il est équipé d'une semelle en console solidaire de l'organe de levage, et le pied repose sur un socle déporté (figure 2).

Cette conception oblige l'utilisateur à prendre quelques précautions d'emploi résumées partiellement sur la figure 3.

Le cric se compose d'un fût, d'un dispositif de poussée, d'un organe de manœuvre, d'une sécurité de retenue de la charge.

Le fût peut être en bois ou métallique. Le système de poussée est généralement constitué d'une crémaillère entraînée par un pignon et d'un organe de manœuvre dont le mouvement est démultiplié par un ensemble de pignonneries. La sécurité est assurée par un cliquet monté sur une roue à rochets solidaire du levier de manœuvre.

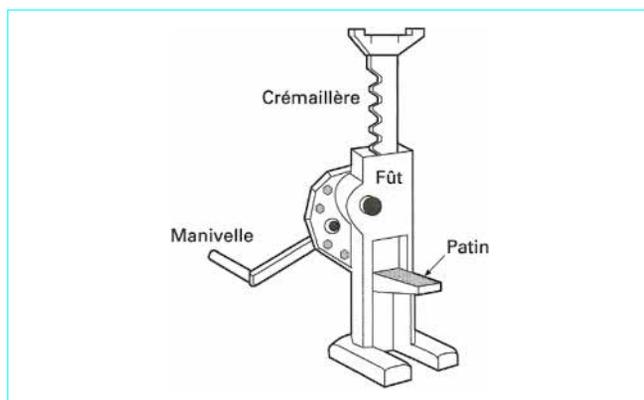


Figure 2 – Cric à crémaillère

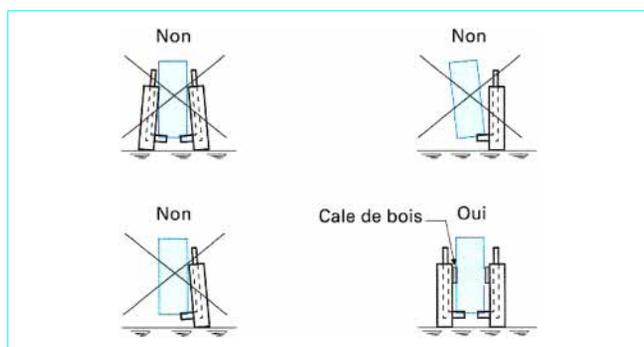


Figure 3 – Cric de levage. Précautions d'emploi

Ce sont des outils très utiles pour de petites manutentions ; ils sont d'une précision limitée en levage car l'arrêt se fait obligatoirement sur un cran de sécurité, les positions intermédiaires ne pouvant être obtenues que par des calages d'approche. L'évaluation de la charge par l'effort développé lors du levage est impossible.

2.2 Coins de levage

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 fixées, l'une à la structure, l'autre au support, et une troisième mobile et glissante (le coin proprement dit), placée entre les deux autres. 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 indiquées sur la figure 4.

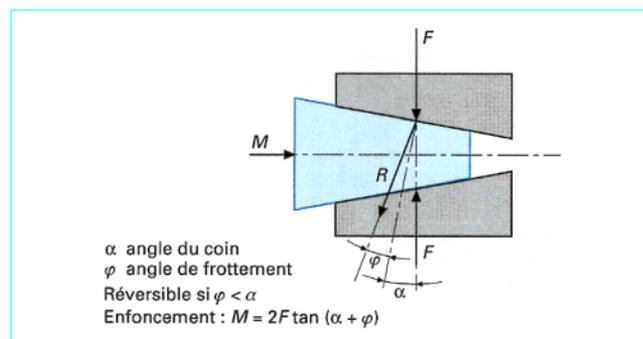


Figure 4 – Coin de levage

L'effort dans la tige est fonction de la charge, de la pente du coin et de l'état de surface des faces de glissement. Il est possible de déterminer la force développée par le coin connaissant le profil de la vis et le couple de serrage. Il faut cependant rester prudent sur les valeurs mesurées qui intègrent trop de pertes parasites difficiles à estimer.

Le schéma de la figure 5 montre la position de la tige filetée de retenue.

2.3 Vérin à vis

Le vérin à vis se compose d'un fût et d'un organe de poussée.

Le fût du vérin est toujours métallique ; il est constitué d'une semelle d'appui à la base et d'un corps où se loge l'organe de poussée.

L'organe de poussée est un ensemble de vis et écrou, généralement à pas carré, et quelquefois trapézoïdal ; l'écrou est fixé ou incorporé à la tête du fût. Le mécanisme de manœuvre peut être intégré au vérin ; dans ce cas, il se compose d'un système de levier disposant d'un cliquet d'entraînement réversible (figure 6).

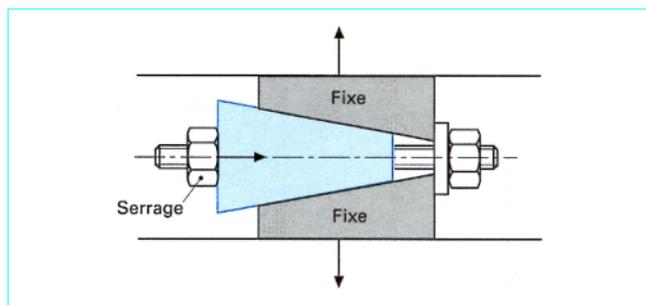


Figure 5 – Coin de levage. Position de la tige filetée de retenue

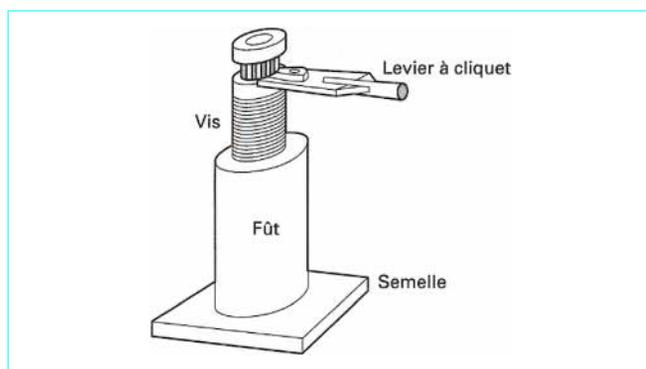


Figure 6 – Vérin à vis

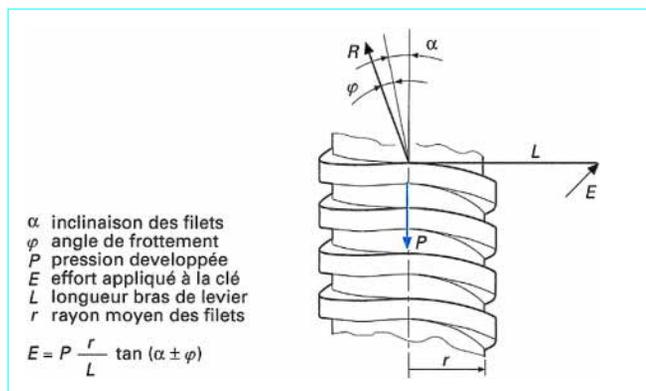


Figure 7 – Vérin à vis

Dans d'autres cas, la vis peut être actionnée par une clef séparée ou par une broche que l'on positionne dans des trous aménagés en tête de vis.

Pour que la charge puisse se déplacer, la vis doit tourner librement ; la tête doit donc, dans tous les cas, être équipée d'un appui tournant.

La pression de contact exercée par le vérin à vis est fonction de l'effort appliqué sur le bras de levier du mécanisme de manœuvre, de l'inclinaison des filets de la vis, et des divers frottements du système (figure 7).

Les vérins à vis sont des appareils de levage précis, offrant une excellente sécurité d'emploi. Leur encombrement est réduit.

La charge est centrée sur l'appareil, elle se transmet de la vis au fût par des efforts de cisaillement dans les filets de la vis et de l'écrou. Il faut par conséquent s'assurer, pendant le levage, qu'un nombre suffisant de filets restent engagés dans l'écrou, en particulier en fin de course du vérin.

En absence de recommandations spéciales, on limite la course du vérin de telle sorte qu'il reste dans l'écrou la valeur d'une fois et demie le diamètre de la vis.

2.4 Vérins hydrauliques à piston

Les vérins hydrauliques à piston sont constitués d'un corps et d'un piston. Un ou plusieurs joints disposés sur le piston assurent un contact parfaitement étanche avec l'alésage du corps du vérin. Le corps dispose, en partie inférieure, d'un orifice permettant d'injecter un fluide sous pression.

La pression du fluide injecté s'applique sur la section du piston, générant ainsi une force capable d'entraîner un déplacement.

C'est une application directe de la loi de Pascal régie par la relation :

$$F = PS$$

avec F force développée par le vérin,

P pression du fluide hydraulique,

S section du piston du vérin.

Il existe une grande variété de vérins hydrauliques à piston (figure 8) tous basés sur le même principe. Parmi eux, on peut citer :

- le vérin à piston simple effet ;
- le vérin à piston simple effet à écrou de sécurité ;
- le vérin à piston double effet ;
- le vérin à piston double effet à écrou de sécurité ;
- le vérin à piston avec vis d'approche ;
- le vérin à piston télescopique.

Le vérin à piston simple effet est le vérin de base. Il peut comporter un ou plusieurs dispositifs de fin de course. Il ne dispose d'aucune sécurité de retenue de la charge en cas de rupture des joints.

Le vérin à piston simple effet à écrou de sécurité évite la descente de la charge en cas de rupture de joint.

Le vérin à piston double effet peut être utilisé dans les deux sens, poussé ou tiré. Il dispose de deux chambres de pression : l'une servant à l'ouverture du piston, l'autre à sa fermeture.

Les vérins double effet à écrou de sécurité allient les avantages des deux précédents, mais sont d'une réalisation mécanique plus complexe et d'un encombrement beaucoup plus important, notamment en hauteur pour permettre le guidage du piston.

Les vérins dotés d'une vis d'approche permettent d'utiliser la course du piston hydraulique au maximum. La vis d'approche est serrée à la main à l'aide d'un levier. Elle permet d'effectuer une mise au contact parfaite avant d'actionner le piston hydraulique.

2.5 Vérins plats

C'est à Eugène Freyssinet que l'on doit cette invention dont le rendement force développée/poids de l'appareil est sans égal.

Le vérin plat est un vérin hydraulique sans piston. Il est constitué d'une poche en tôle formée par emboutissage ; le corps du vérin est constitué de deux demi-coquilles préformées se terminant par un demi-tore, soudées entre elles pour former un bourrelet périphérique (figure 9).

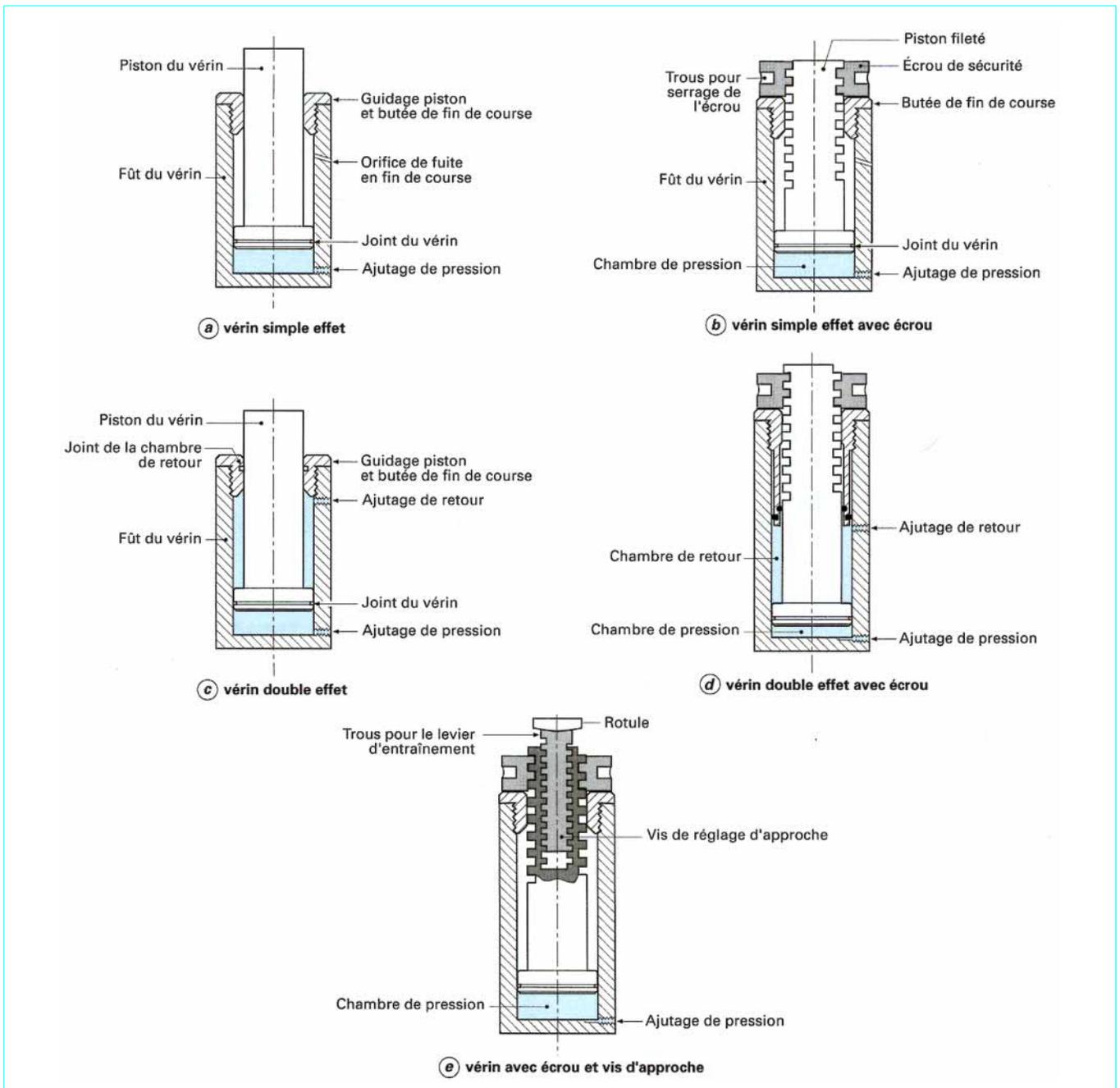


Figure 8 – Vérins hydrauliques à piston

Les ajustages de pression sont soudés sur le bourrelet torique. Ils permettent, d'une part, le gonflage du vérin, d'autre part, la purge d'air. Les ajustages sont en général soudés suivant un angle de 90° . On peut, pour des facilités d'accès, les positionner à 180° .

Le vérin plat fonctionne par déformation de la tôle. La pression s'applique perpendiculairement aux parois. Dans le bourrelet torique, la somme des forces est nulle alors que, sur la partie plane

du vérin (section active), la pression exerce une force qui tend à déplier le vérin.

La pression de service d'un vérin plat est limitée à 150 bars. La course du vérin est limitée sensiblement au diamètre du bourrelet. Il ne faut pas dépasser cette valeur pour ne pas soumettre la soudure d'assemblage à des efforts de flexion.

Pour utiliser un vérin plat, il faut que les creux du vérin soient remplis de chaque côté, de façon à transmettre à la structure la

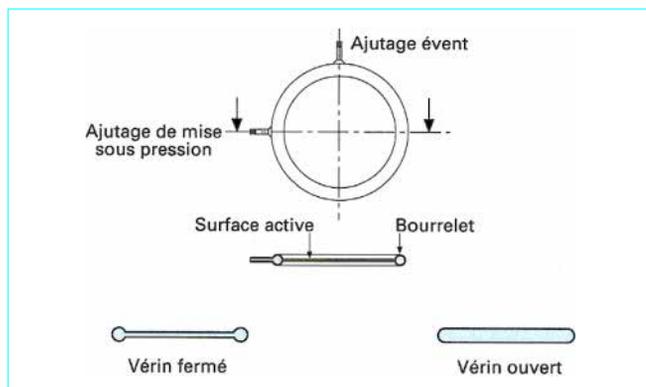


Figure 9 – Vérin plat (doc. Freyssinet)

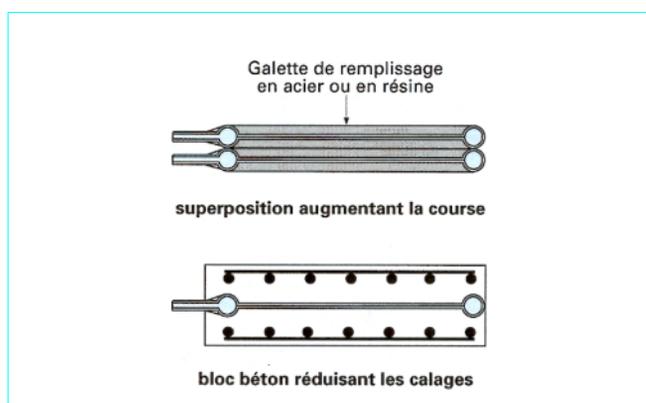


Figure 10 – Utilisation du vérin plat

force développée. Le remplissage peut être réalisé de différentes façons (figure 10) : en coulant un produit durcissable (mortier hydraulique armé, mortier de résine) ou en utilisant des plaques métalliques usinées (galettes métalliques).

On peut également noyer le vérin dans un bloc de béton quand son installation exige un calage important ; dans ce cas, l'ensemble prend le nom de bloc vérin plat.

3. Transfert de réaction d'appui

3.1 Principes des transferts de charge

Les transferts de charges ou de réactions d'appui permettent de modifier les conditions d'appui d'une structure, soit au cours des phases de construction, soit pour modifier les points d'appui, soit pour réorganiser le transit des efforts aux points d'appui existants.

L'opération vise essentiellement à maîtriser la force de levage et à contrôler les déplacements et 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 déformations en un point de vérinage, on constate que le graphe obtenu se décompose en trois parties (figure 11) :

- zone ① : 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 ;

- zone ② : les tassements se stabilisent, l'appui provisoire continue à se décompresser en même temps que l'appareil de levage se charge progressivement. La courbe s'infléchit et tend vers une asymptote horizontale. C'est la phase de prise en charge ;

- zone ③ : la structure levée quitte ses points d'appui. À 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. C'est la phase de levage.

Certains transferts de charge peuvent se faire en cours de levage. Si l'on constate, après pesage, que les réactions d'appui ne sont pas celles attendues, il est possible de procéder à un rééquilibrage des réactions en déformant le plan. La torsion provoquée par cette opération fait apparaître sur la courbe une pente ④ qui est fonction de la rigidité de la structure (figure 12).

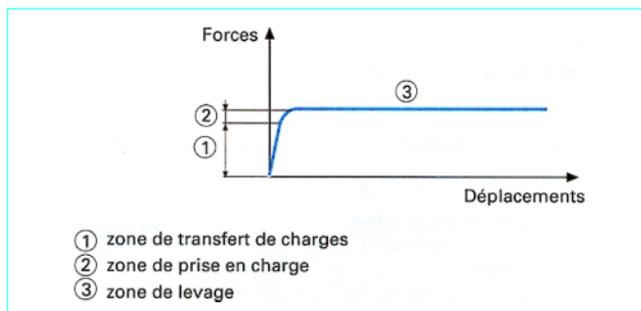


Figure 11 – Efforts – déformations sous un point de levage

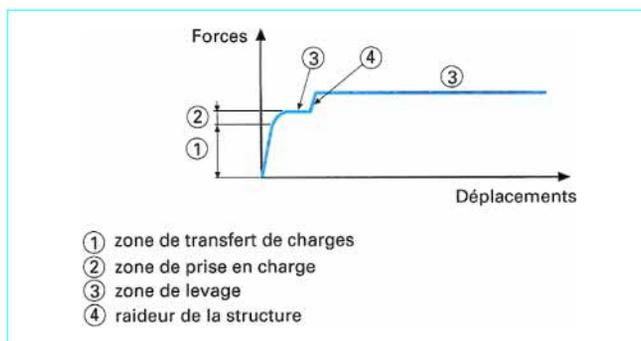


Figure 12 – Rééquilibrage d'appui

3.2 Reprise en sous-œuvre

Les transferts sont très souvent nécessaires lors d'opérations de reprise en sous-œuvre. Ils assurent le passage de charges d'un point d'application vers un autre (dans leur totalité ou partiellement). Cette opération permet notamment de modifier l'assise d'un ouvrage dans le but, soit de la transformer, soit de la consolider. La reprise en sous-œuvre est, généralement, une des phases principales lors de modifications de structures, de suppression de poteaux, d'augmentation de portance de fondations ou de stabilisation de tassements.

On peut ainsi charger des nouveaux appuis sans soulever notablement la structure. On se limite à un léger déplacement de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre qui confirme que la charge est intégralement transférée. La mesure de déplacement doit alors être simultanément observée sur tous les points de vérinage.

Lors d'une opération de transfert, on se repère toujours sur un point fixe, suffisamment éloigné du point de vérinage pour que tassements et raccourcissements élastiques des matériaux ne perturbent pas les mesures. Le vérinage est stoppé lorsque la force souhaitée est atteinte. Les mesures de déplacements ne sont que des indicateurs, évitant de déniveler la charge au-delà des déformations admissibles.

En effet, en général, les reprises en sous-œuvre sont réalisées sur des fondations nouvelles : puits, pieux, barrettes, micropieux, etc. Ces nouvelles fondations sont dimensionnées pour des descentes de charges prévues au projet, l'hyperstaticité des ouvrages pourrait, s'il n'y avait pas de contrôle de force aux points de levage, conduire au point de rupture de la nouvelle fondation.

■ Quelques exemples

● Augmentation de capacité d'une fondation

On peut, de part et d'autre d'une fondation existante, créer une nouvelle fondation ; la reprise en sous-œuvre consiste à transférer une partie des charges de la fondation d'origine aux nouvelles fondations (figure 13).

● Suppression d'un poteau

La suppression d'un poteau implique la reprise des charges du poteau concerné par une pièce résistante, une poutre par exemple. Sous l'action de la charge, la poutre va fléchir, entraînant une dénivellation de la structure. La reprise en sous-œuvre consiste à pré-déformer la poutre support jusqu'au point d'équilibre sans déniveler la structure (figure 14).

Pour ces opérations, le vérin plat est un outil très apprécié, car il peut être utilisé avec des produits durcissants comme des résines ou des coulis de ciment qui restent incorporés à la structure et servent alors d'appuis définitifs.

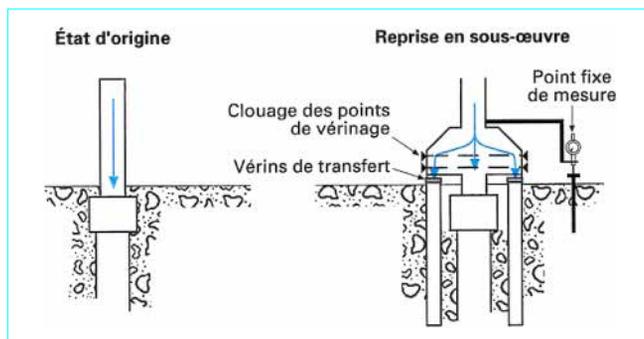


Figure 13 - Augmentation de capacité d'une fondation

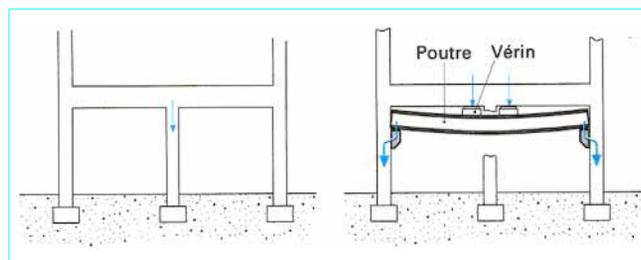


Figure 14 - Suppression d'un poteau

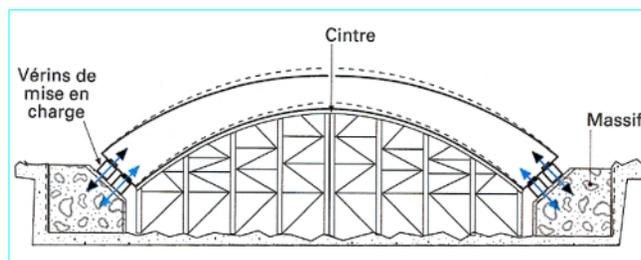


Figure 15 - Exemple de construction avec décentrement

3.3 Décentrement

Les opérations de décentrement sont réalisées en phase constructive. Elles consistent à transférer les charges d'un ouvrage construit sur coffrage (cintre) aux points d'appui définitifs.

Le vérinage de décentrement sert à gérer la distribution des forces sur les points d'appui et à maîtriser la géométrie par la reprise progressive des tassements des massifs d'appui, des raccourcissements élastiques et de la flexion.

Un exemple de construction avec décentrement est donné figure 15.

3.4 Butonnage

Les butons servent à équilibrer les forces de poussées d'une structure. Ils jouent le rôle de pièces de compression pour retenir les poussées d'un blindage.

Dans le cas d'un butonnage de fouille par exemple, le buton va subir des variations de contraintes en fonction de la progression de la profondeur d'excavation et des dilatations thermiques. Suivant l'importance de ces variations de contraintes, le buton peut être actif ou passif.

■ Buton passif

Dans ce cas, le dispositif de mise sous pression peut être un système de coin ; on y ajoute parfois une cellule de mesure de compression qui permet de suivre l'évolution de la poussée sur le buton.

Le buton est généralement métallique ; il est constitué d'un tube se terminant par deux plaques d'assise. L'une des plaques s'applique directement sur les pièces de blindage, l'autre est équipée d'un dispositif de mise en compression (figure 16).

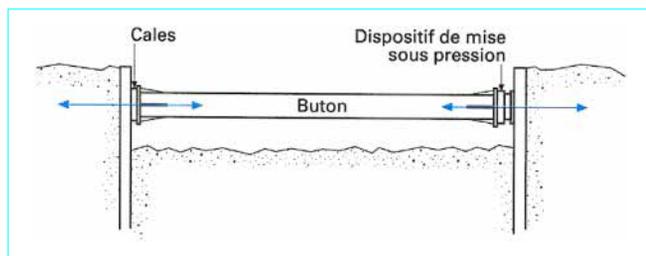


Figure 16 – Butonnage d’une paroi

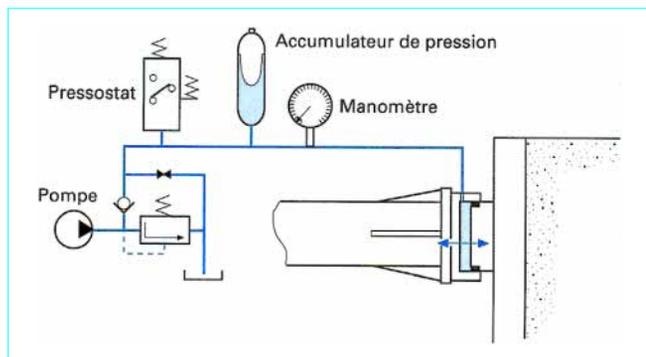


Figure 17 – Schéma simplifié d’un buton actif

■ Buton actif

On n’admet généralement pas les mouvements de blindage qui peuvent provoquer, à leur proximité, des tassements de terrain par décompression. Le buton, lorsqu’il est soumis à des charges variables, subit des variations géométriques dues aux raccourcissements élastiques. Lorsqu’il subit des variations de température, sa longueur se modifie, ce qui entraîne des mouvements du blindage.

On cherche, dans ce cas, à conserver une force constante dans le buton, le buton est alors actif.

Le buton actif se différencie du buton passif par le fait que le système de mise sous pression reste asservi à un système hydraulique permanent, autorisant une ouverture variable à pression constante. Il faut, alors, utiliser des pompes de régulation munies de pressostats différentiels et associées à des accumulateurs de pression de grande capacité (figure 17).

3.5 Mise en charge de voûte

Une opération de mise en charge de voûte est à peu près similaire à un décentrement. Son but est de recompresser les matériaux placés au-dessus d’une voûte porteuse.

Les mises en charge de voûte peuvent être réalisées dans le cadre d’une construction neuve, mais aussi en réparation de voûtes d’ouvrages maçonnés ou de tunnels.

La technique consiste à pratiquer des niches en clef de voûte, à l’intérieur desquelles on place des vérins (figure 18). Le gonflage des vérins provoque un plan de rupture à la clef qui, par la suite, est injecté. En fin d’opération, les niches sont bétonnées avec des produits sans retrait pour assurer un calage définitif.

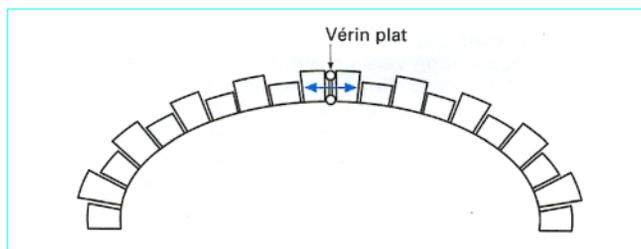


Figure 18 – Mise en charge de voûte

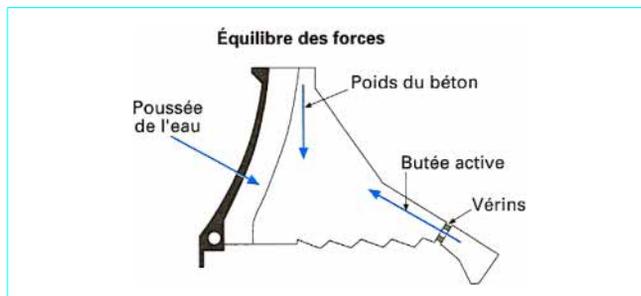


Figure 19 – Recompression de barrage

3.6 Recompression de barrage

Les vérins plats sont couramment utilisés dans la construction de barrages. Sous forme de butées actives, ils permettent de mobiliser, à l’aval du barrage, des réactions s’appliquant aux zones les plus stables du terrain (figure 19). Ces réactions s’opposent à la poussée horizontale de l’eau. Cette disposition permet des économies intéressantes, tout en améliorant les conditions de sécurité. Cette technique a été utilisée pour redistribuer les efforts après fluage dans des dièdres rocheux sur lesquels s’appuient les voûtes. Elle a permis aussi la surélévation de quelques barrages.

4. Levage de structure

4.1 Principes généraux

Le levage permet de modifier le niveau d’assise d’une structure, soit en la soulevant parallèlement à elle-même, soit en l’abaissant, soit en l’inclinant, parfois en combinant plusieurs de ces actions.

Le levage s’effectue, en principe, en conservant la forme d’origine de la structure. Les charges sur les points de levage restent constantes durant l’opération si ce principe est strictement respecté. Dans le cas contraire, il peut exister des torsions qui génèrent des transferts de charge, avec pour conséquence des contraintes parasites dans la structure.

On admet toutefois une certaine tolérance sur la hauteur de relevage de chacun des points d’appui pendant l’opération de levage. Cette tolérance doit être calculée en fonction de la raideur de la structure. La tolérance la plus faible admissible entre deux points de levage est celle qui sert de référence pour l’ensemble de l’opération.

4.2 Raideur des structures

Plus une structure est indéformable (de grande raideur), plus les risques de transferts de charges d'un point de vérinage à l'autre sont importants. La précision de levage doit être d'autant plus grande que la raideur est importante.

Pour des structures très raides, le contrôle de l'altimétrie est primordial, mais il doit être associé à des contrôles des pressions (donc des charges), le moindre défaut en altimétrie se traduisant par des surcharges locales importantes. Pour des structures souples, le contrôle des pressions n'est pas significatif, des déformations importantes ne se traduisant pas systématiquement par des modifications sensibles de la répartition des charges.

4.3 Points de vérinage

En règle générale, on s'efforce de conserver au mieux le schéma statique de la structure en plaçant les dispositifs de vérinage au plus près des points d'appui d'origine.

Les structures sont rarement prévues pour être vérinées ; aussi faut-il, pour positionner des points de levage, s'assurer de la solidité des supports des appareils de levage.

En particulier, il faut se méfier des effets de bord et vérifier que l'effort appliqué ne génère pas de poussée au vide préjudiciable (figure 20).

Il faut vérifier que la pression de contact des dispositifs de vérinage est compatible avec la résistance des matériaux sur lesquels les dispositifs s'appuient.

La pose des vérins doit être réalisée avec le plus grand soin ; il faut très généralement resurfacier les points de contact et disposer des plaques de répartition d'efforts.

Les vérins doivent être posés parallèlement à la direction des forces ; ils sont placés strictement parallèles entre eux (figure 21).

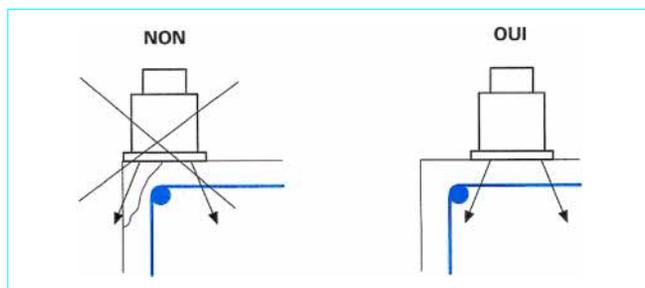


Figure 20 – Positionnement des points de levage

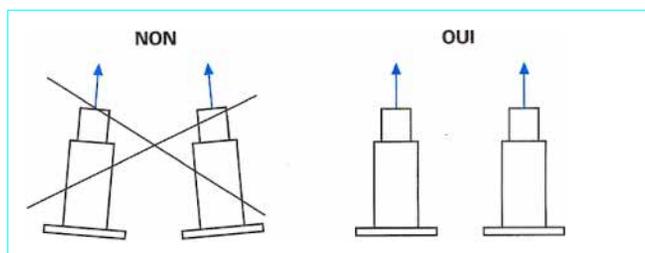


Figure 21 – Positionnement des vérins

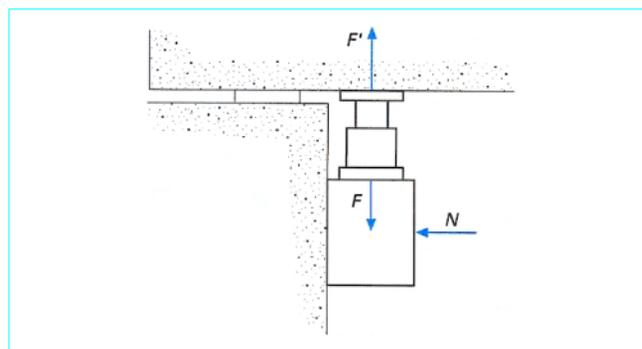


Figure 22 – Clouage de bloc support de levage

Il est parfois nécessaire de créer des points de vérinage par des aménagements spéciaux de la structure, par exemple des niches à vérin ou des consoles d'appui (corbeaux) clouées à la structure par des barres de précontrainte reprenant, par frottement, les efforts de levage.

Dans ce dernier cas, la force de serrage appliquée au bloc support dépend de la force de levage nécessaire et de la nature des matériaux au contact.

La règle appliquée est celle que l'on utilise pour le clouage des déviateurs de précontrainte extérieure que l'on peut résumer ainsi : la force de levage F admissible est fonction de celle de compression N et du coefficient de frottement entre les surfaces au contact (figure 22).

Le coefficient de frottement est de :

- acier sur béton $F/N = 0,25$
- béton durci sur béton durci $F/N = 0,3$
- béton frais sur béton durci $F/N = 0,33$

avec F force extérieure appliquée sur le bloc,
 N force de clouage.

4.4 Opérations de montée

Les opérations de montée sont effectuées par pas correspondant à la plus petite course de vérin disponible.

Le levage débute après l'opération de prise en charge et de rééquilibrage des réactions ; la course résiduelle du vérin de plus petite course est mesurée à ce moment.

Le levage est ensuite réalisé en synchronisant l'action des vérins entre eux, de manière à respecter les tolérances de torsion du plan d'appui.

Pour les levages de hauteur supérieure à la capacité des courses de vérins, il faut réaliser des reprises de course en calant la structure, puis en rehaussant les vérins, par calage, de la hauteur nécessaire.

La conduite du vérinage de montée peut être réalisée à partir d'un pupitre de commandes centralisées ou pilotées par une console d'automatisme.

La vitesse de montée est liée à la capacité des pompes utilisées et à la section des vérins.

La règle absolue de sécurité pendant les opérations de levage est de disposer un calage ajustable pendant toute l'opération, ou d'utiliser des vérins munis d'écrous de sécurité.

4.5 Opérations de descente

Il peut sembler étrange de dissocier les deux opérations de montée et de descente alors qu'il s'agit d'opérations strictement inverses. En fait, en matière de sécurité, la différence est importante. En effet, si dans le cas d'un levage la puissance motrice est limitée à la puissance de la pompe d'alimentation, dans le cas d'une descente, la charge elle-même est génératrice de mouvement ; la régulation est alors beaucoup plus difficile à assurer.

Les réglages de sécurité exigent l'usage de clapets pilotés si l'on utilise des vérins à double effet.

Il faut, dans tous les cas, disposer de systèmes de calage permettant de suivre la progression de la descente en conservant un jeu de descente compatible avec les tolérances de torsion admissibles.

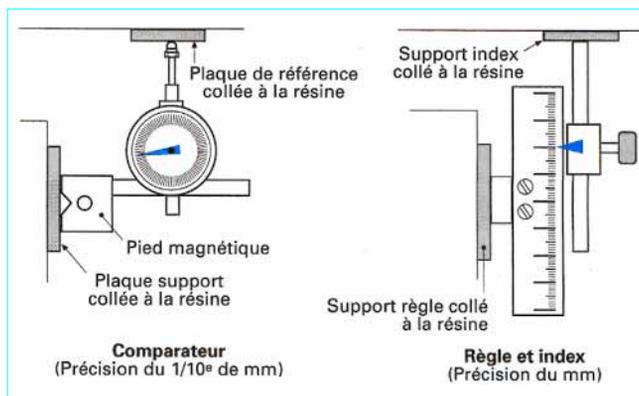


Figure 23 – Levage de faible hauteur : moyens de mesure simples

4.6 Méthodes et moyens de pesage

Le pesage de structure ne peut s'effectuer qu'après le transfert, dans leur totalité, des réactions d'appui aux points de vérinage. La lecture doit être effectuée à l'arrêt ; la précision de mesure dépend des tolérances du levage, mais aussi de la classe des appareils (manomètres ou capteurs) et de l'étalonnage des vérins.

Les vérins doivent être étalonnés en fonction de leur ouverture, car les frottements peuvent varier. Dans le cas de vérins plats, la section active, elle-même, peut varier en fonction de l'ouverture.

Des cellules de mesure étalonnées placées sur les dispositifs de levage permettent d'obtenir une très bonne précision. Des vérins plats pré-ouverts et étalonnés sous presse peuvent être utilisés comme cellule de mesure, mais ils doivent alors être associés à d'autres appareils dont le rôle est d'assurer le levage proprement dit.

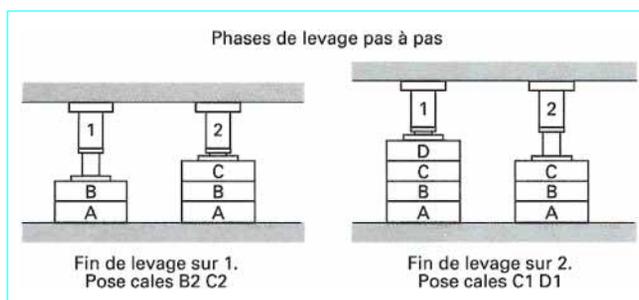


Figure 24 – Levage pas à pas

4.7 Levages de faible hauteur

Les levages de faible hauteur représentent la majorité des cas de manutentions lourdes. Ils permettent souvent de modifier ou de changer des pièces d'appui. Les appareils de levage sont alors disposés sous l'ouvrage, les systèmes de contrôle des déplacements étant fixés à proximité des points de vérinage.

Les mesures de déplacements sont définies en fonction des précisions requises ; l'appareillage est simple d'utilisation comme le montrent les deux croquis de la figure 23.

4.8 Méthodes et moyens de levage pas à pas

La méthode de levage dite *pas à pas* permet d'effectuer des levages de grande hauteur en utilisant comme pas la course des vérins. Le principe est le suivant : chaque point de levage comporte deux vérins, chacun d'eux peut reprendre à lui seul la charge descendant sur le point d'appui. On dispose ainsi de deux groupes de vérins. On lève en utilisant le premier groupe, arrivé en fin de course, on place des cales sous le deuxième groupe, puis on poursuit le levage sur le deuxième groupe, et ainsi de suite jusqu'au levage total (figure 24).

Cette technique est largement utilisée en construction de château d'eau. Dans ce cas, on lève la cuve préalablement coffrée et

bétonnée au sol en s'appuyant sur le fût, lui-même construit à l'avancement.

Les calages sont généralement en béton. Ils sont coulés suivant la méthode dite des joints conjugués, qui permet de faire des assemblages de cales très stables.

Les vérins sont de type double effet avec écrou de sécurité et rotule. Les vérins sont fixés à la structure tête en bas de façon à permettre l'empilage des cales à chaque pas sans avoir à manutentionner les vérins.

4.9 Levage par treuil à tambour

Le levage par treuil à tambour permet de soulever des charges suspendues à des câbles d'acier multi-brins. Le câble s'enroule autour d'un tambour moteur qui développe la force de levage. La force peut être démultipliée par l'utilisation de systèmes de mouffles et de palans. Le levage multi-point au moyen de treuils à tambour exige des systèmes d'asservissement et de synchronisation importants.

Les coefficients de sécurité à prendre en compte par rapport aux résistances à la rupture des matériaux sont importants pour des raisons de fatigue et de diamètre d'enroulement ($k = 6$).

4.10 Levage par treuil linéaire

Les treuils linéaires sont en fait des vérins hydrauliques avaleurs de câble. La charge est suspendue à des câbles que tirent des vérins. Les câbles sont du type toron de précontrainte de diamètre 15 ou 18 mm utilisés avec des facteurs de sécurité de 2,5 à 3,5 par rapport à la caractéristique de rupture garantie du câble choisi. Le vérin dispose d'un double système d'accrochage du câble : un plateau d'ancrage bas et un plateau d'ancrage haut. Ceci permet, en passant de l'un à l'autre, d'effectuer les manœuvres de récupération de course des vérins (figure 25).

Un câble peut être constitué d'un ou de plusieurs torons ; les arrangements les plus fréquents sont : 1 toron, 19 torons, 27 torons.

La puissance des treuils linéaires est sans limite ; leur simplicité et leur poids en font des outils très économiques. Alimentés par des pompes hydrauliques à fort débit, ils permettent des levages rapides.

Les méthodes de levage par câbles offrent l'avantage d'utiliser des systèmes élastiques qui minimisent les problèmes de transfert de charges d'un point de levage à un autre. Au fur et à mesure du levage, le câble se raccourcit et devient plus sensible aux inégalités de tension dans les torons.

4.11 Levage sur coussin d'air

Certaines structures de grandes dimensions ont été préparées au sol et levées à grande hauteur en les soutenant sur de l'air comprimé. Dans ce cas, la partie à lever (toit d'une structure cylindrique, par exemple) est enserrée dans la structure porteuse ; elle se comporte comme le piston d'un vérin dont le corps serait le cylindre. La pression de l'air ne reprend pas la totalité de la charge (95 % environ), les 5 % complémentaires sont repris par des vérins auxiliaires qui assurent en même temps l'horizontalité de la charge pendant le levage. Cette technique a été utilisée pour la construction de couvertures de réservoirs de gaz naturel liquéfié ou d'enceintes nucléaires.

5. Calages et mise sur appuis

5.1 Principes

Les calages et mises sur appuis sont des opérations de transfert d'un système de vérinage à un nouveau système d'appuis provisoires ou définitifs.

L'opération de calage est délicate, car il est difficile de conserver le plan de référence. En effet, lorsque l'on transfère la charge, les tassements des matériaux se produisent, variant d'un appui à l'autre. La pose des cales ou des appuis impose un certain jeu pour la mise en œuvre définitive. Ce jeu est difficilement réglable de façon identique en tous points.

Les méthodes de mise en charge des cales sont de deux types :
 — mise en charge passive des cales : les cales sont positionnées au mieux, la structure est descendue sur les cales ;
 — mise en charge active des cales : les cales sont équipées de systèmes actifs de mise en charge.

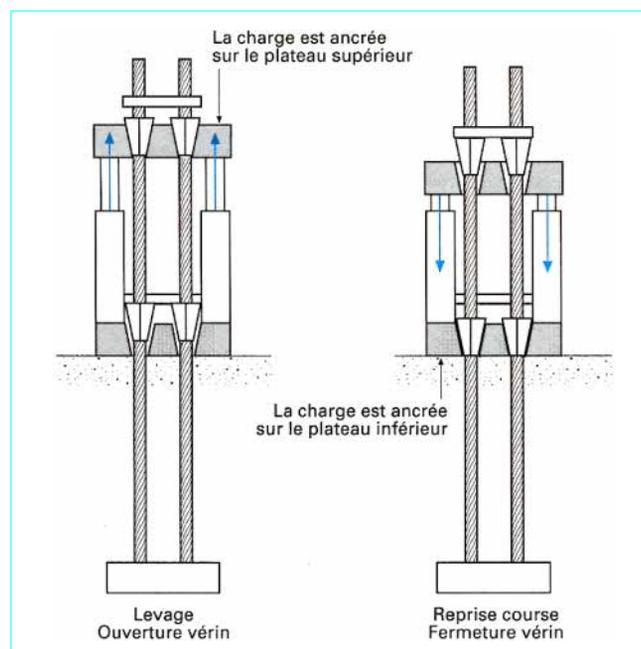


Figure 25 – Levage par treuil linéaire

5.2 Calages provisoires

Les calages provisoires sont généralement utilisés dans les opérations intermédiaires de reprise de course de vérin. 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.

5.2.1 Calage en bois

Le bois est un matériau qui se prête très bien aux opérations des calages provisoires. L'essence choisie doit disposer de caractéristiques suffisantes pour reprendre la charge. Le bois est une matière fibreuse, ses caractéristiques varient suivant l'orientation de l'effort par rapport aux fibres.

On peut citer pour exemple quelques caractéristiques de résistances, prises à cœur, admissibles pour des calages avec quelques essences courantes :

	En bout	En travers
Pin et sapin	30 daN/cm ²	14 daN/cm ²
Hêtre.....	44 daN/cm ²	24 daN/cm ²
Frêne	96 daN/cm ²	46 daN/cm ²
Chêne	96 daN/cm ²	46 daN/cm ²

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

5.2.2 Calage métallique

C'est le calage le plus couramment utilisé ; il offre l'avantage d'une grande résistance et d'un faible coût. Il faut cependant, pour son dimensionnement, prendre en compte les matériaux sur lesquels le calage prend appui (limitation de la contrainte) et dont la résistance peut être inférieure à celle du métal de la cale.

Les calages métalliques sont très souvent constitués de plaques d'acier issues de tôles laminées cisaillées ou oxycoupées. 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 biaisée 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 par un mortier maté.

Le matage se réalise avec un mortier de granulométrie 0/2,5 riche en ciment (50 % de ciment). L'humidification du mortier doit être faible (environ 17 %), le mélange serré dans la main doit rester cohérent. Le matage est réalisé par serrage de couches successives, au moyen d'une dame en bois frappée au marteau. Le compactage peut être d'une efficacité telle qu'il peut entraîner le soulèvement de l'ouvrage.

La hauteur de matage est limitée. Le rapport surface d'assise (en cm^2)/hauteur de matage (en cm) ne doit pas être inférieur à 700, et la hauteur maximale doit être limitée à 4 cm pour permettre une mise en charge instantanée. La hauteur minimale doit être de 2 cm pour assurer un bon matage. La valeur du rapport précité peut alors atteindre 400.

5.2.3 Cales à vis

Les cales à vis sont des calages actifs. Elles s'apparentent beaucoup aux vérins à vis, mais sont de capacité supérieure. Elles permettent le calage de plusieurs centaines de tonnes, avec un tassement très réduit (de l'ordre de 0,3 mm maximum).

Pour la sécurité du système, il faut, comme pour les vérins à vis, s'assurer qu'une longueur de filetage suffisante reste engagée dans le fût de la cale à vis pour reprendre la charge (figure 26).

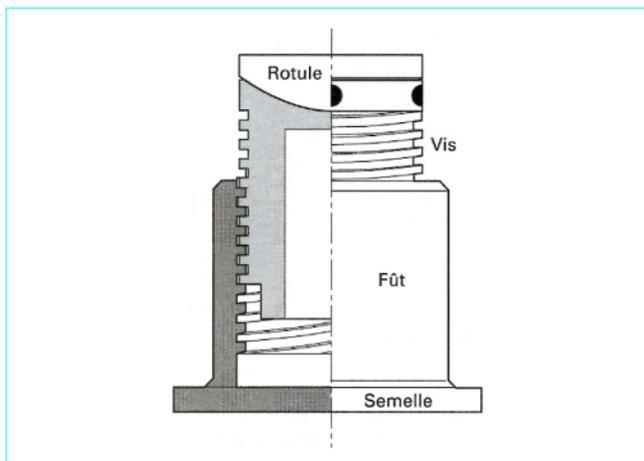


Figure 26 – Cale à vis

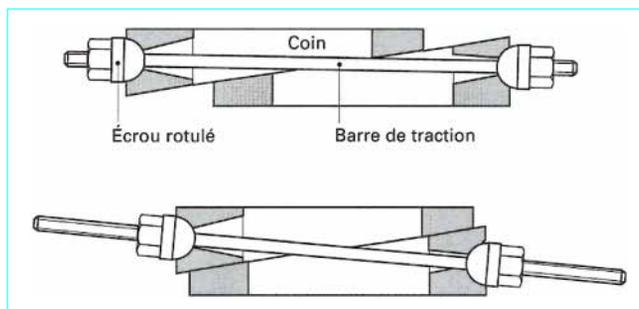


Figure 27 – Coin de calage à vis

5.2.4 Coins de calage

Les coins de calage permettent généralement de compenser les jeux de pose de calage passif. Ils permettent une mise au contact parfaite et assurent un serrage appréciable capable de reprendre en grande partie les tassements (figure 27).

5.2.5 Boîtes à sable

La boîte à sable est un système de vérinage pour descente des structures parmi les plus anciens. Elle est constituée 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 vient 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 correspondant à $\tan \varphi = 0,3$. La pression sur le sable est limitée à une valeur de 150 kg/cm^2 .

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 ne doit contenir, en particulier, ni limons, ni argile ; sa teneur en eau doit être inférieure à 2 %.

5.2.6 Réglage des appuis définitifs

Le réglage des appuis pose le même problème de transfert que les calages provisoires, souvent accentué par le fait que certains types d'appui sont en matériaux relativement déformables.

La méthode générale de réglage consiste à arrêter le levage à la cote demandée, majorée des tassements calculés des appareils d'appui. L'ouvrage reste sur vérins munis d'écrous de sécurité pendant que les appareils d'appui sont mis en place au contact de la structure. Le contact est assuré par matage, par coulage de produits, ou par des moyens mécaniques.

Les appuis sont généralement posés sur des bossages qui assurent le bon nivellement tout en les isolant du sommier où les eaux de ruissellement sont souvent collectées.

Le réglage des appuis peut se faire à partir de leur face supérieure (c'est le cas lorsque l'on réalise un matage, figure 28a), ou à partir de la face inférieure (ce qui est le cas lorsque l'on refait un bossage).

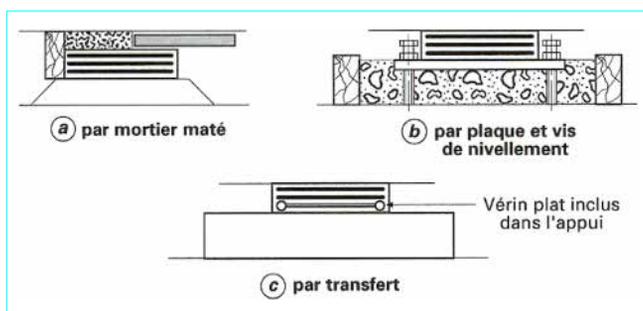


Figure 28 - Réglage des appuis

Dans ce dernier cas, l'appui est posé sur une plaque de répartition équipée aux quatre coins de vis de réglage d'altitude (figure 28b). L'appui est amené au contact par le serrage des vis, le bossage est ensuite coulé avec un mortier sans retrait jusqu'à l'arase de la plaque.

La mise au contact peut parfois être réalisée par des moyens mécaniques. On interpose alors entre la structure et l'appui un système de mise en charge qui reste incorporé à la structure : coins de calage, vérins plats Freyssinet (figure 28c). Dans ce cas, le transfert peut être réalisé sans tenir compte des tassements pour le niveau d'arrêt du vérinage. Il existe même un modèle d'appui incluant le vérin plat de transfert ; sa course est limitée à quelques millimètres.

6. Translation

6.1 Principes

La translation est un déplacement dans le plan horizontal, sans changement d'altitude notable. Pour un ouvrage courant, la translation peut se faire soit suivant l'axe longitudinal de la structure, soit perpendiculairement à cet axe. Il peut aussi s'agir d'une rotation qui permet de modifier l'orientation de l'axe longitudinal. Dans certains cas, bien entendu, une opération complète de manutention peut exiger successivement les trois types de translation.

6.2 Lancement

Le lancement est une translation longitudinale qui permet de franchir des brèches. Il est très utilisé pour la construction des ouvrages d'art qui doivent permettre la traversée de vallées ou de rivières. Le principe retenu consiste à déplacer l'élément de structure reposant, en général, sur ses deux extrémités en prenant appui sur une structure auxiliaire, elle-même mise en place préalablement. Différents types de structures auxiliaires sont envisageables : des poutres dites de lancement, des mâts et parfois même des éléments de la structure définitive déjà en place. Les schémas donnés sur la figure 29 illustrent les différentes solutions.

Le lancement est toujours une opération délicate, car une partie du transport se fait au-dessus du vide sans qu'il soit possible de reprendre appui sur le sol en cas d'incident. Elle exige une préparation parfaite et une analyse complète de toutes les éventualités qui pourraient survenir. Elle ne doit être confiée qu'à des équipes expérimentées et attentives.

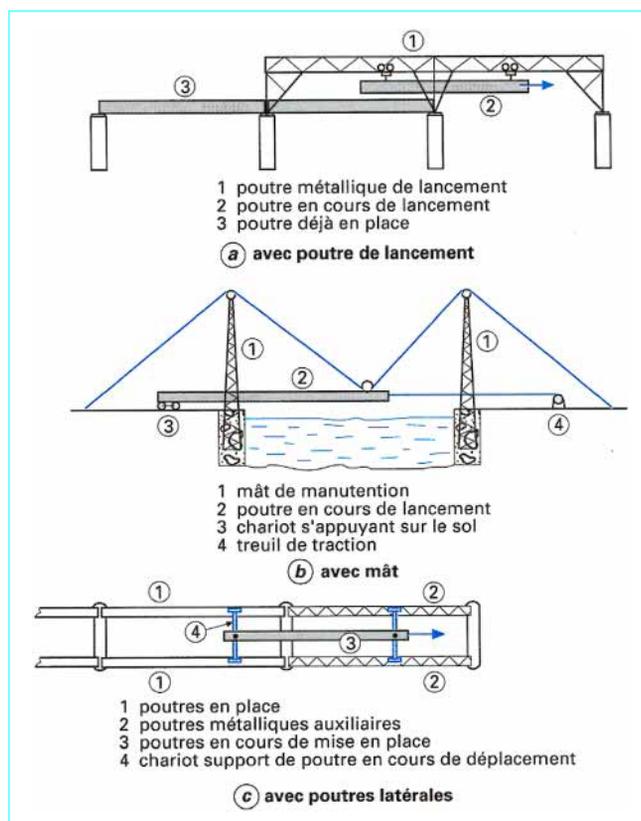


Figure 29 - Lancement

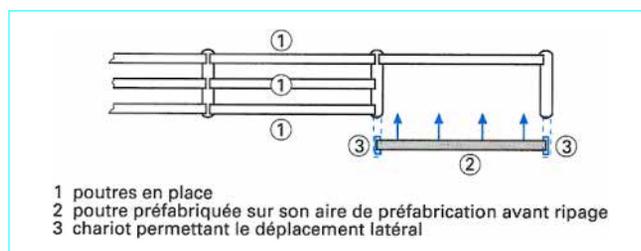


Figure 30 - Ripage

6.3 Ripage

Le ripage est un déplacement transversal qui permet un mouvement latéral d'une structure. En général limité à des déplacements de faible importance, il permet soit la mise en aire de stockage, soit la mise à sa position définitive d'un élément préfabriqué (figure 30).

En utilisant un ensemble de vérins, l'élément est d'abord posé sur un système propre de déplacement du type indiqué au paragraphe 6.2, puis est ripé et enfin redescendu sur ses appuis. Le ripage est une opération en général assez simple à mettre en œuvre, à la condition toutefois que les outils de déplacement et les supports soient bien adaptés.

6.4 Rotation

La rotation est une solution intéressante lorsque l'on doit laisser libre, le plus longtemps possible, l'emprise d'une voie qui doit être franchie : une ligne ferroviaire, une voie routière ou autoroutière en cours d'exploitation, par exemple.

Le principe retenu est alors le suivant : la structure est construite perpendiculairement à son axe définitif en utilisant un des appuis définitifs comme point d'appui provisoire, puis comme point d'appui de rotation. En fin de construction et pendant la rotation, la structure repose sur une autre point d'appui mobile qui se déplace sur un chemin circulaire. Deux solutions sont couramment utilisées, comme l'illustrent les figures 31 et 32.

Dans le cas d'une rotation sur point central (solution la plus fréquente), la charge sur le chemin de roulement est assez faible.

Dans le cas d'une rotation sur pivot d'extrémité, la charge sur le chemin de roulement peut être importante et cette solution n'est économique que pour les petits ouvrages.

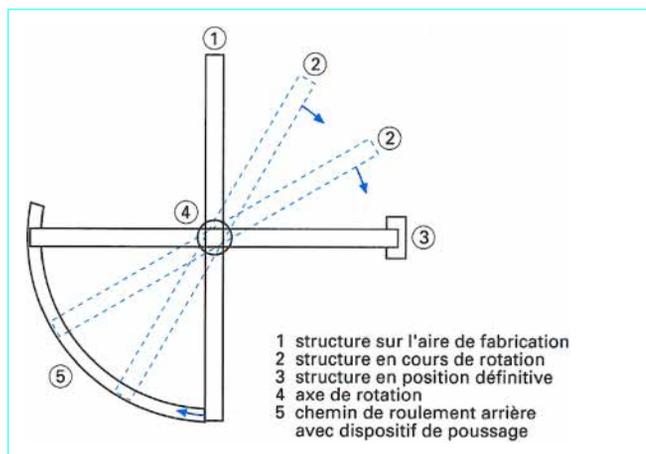


Figure 31 – Rotation sur point central

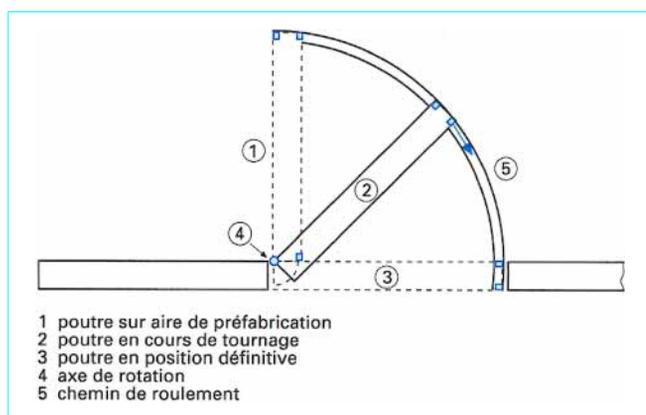


Figure 32 – Rotation sur pivot d'extrémité

6.5 Outils de manutention

6.5.1 Galets

Depuis très longtemps, les constructeurs métalliques utilisent des galets en acier pour assurer le déplacement des charges. Un train de galets ou de billes d'acier, placé entre deux pièces métalliques, permet de répartir la charge sur une longueur telle que les efforts concentrés soient acceptables et n'entraînent pas de poinçonnement. Cette solution (figure 33) assez rustique ne permet de reprendre que de faibles charges ponctuelles ; elle n'est guère adaptée aux constructions en béton.

Lorsque les galets se déplacent d'une distance d , la charge se déplace de $2d$, et le point d'appui poutre-galet lui-même se déplace, ce qui n'est pas compatible avec toutes les structures.

6.5.2 Rouleurs

Il s'agit de systèmes, souvent brevetés, pouvant s'apparenter aux galets, mais plus sophistiqués (figure 34). Ils sont en général commercialisés pour des charges allant jusqu'à 100 t ; assez fragiles, ils ne doivent cependant pas, en pratique, être utilisés à plus de la demi-charge nominale. Ils présentent l'intérêt d'être peu encombrants et permettent des déplacements sur de grandes longueurs. Leur principal défaut est d'exiger des systèmes de guidages latéraux difficilement contrôlables.

Pour éviter les défauts des galets, les rouleurs utilisent un système original : il s'agit d'une chaîne porteuse qui s'appuie sur un étrier solidaire du support de charge.

6.5.3 Chariots

Les chariots de types semblables à des boggies de chemin de fer sont parfois envisagés ; leur capacité portante est assez limitée et ne dépasse guère une vingtaine de tonnes. Ils sont disponibles dans le commerce ; il ne paraît pas utile de les décrire plus longuement.

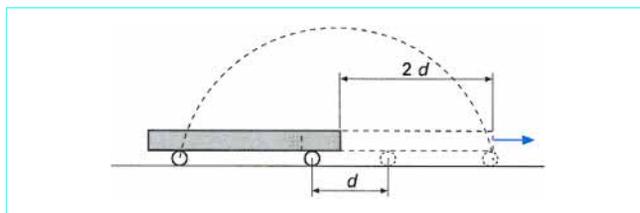


Figure 33 – Déplacement par galets

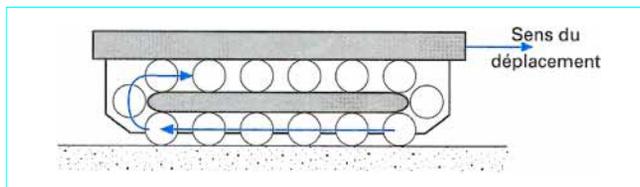


Figure 34 – Principe du rouleau sans fin

6.5.4 Patins de glissement

Il est très fréquent, en particulier pour les charges très élevées, de déplacer les éléments par glissement et non par roulage. De nombreux systèmes existent, des plus simples aux plus sophistiqués, mais tous basés sur le même principe : faire glisser sur des pièces composées de deux parties bien distinctes (figure 35). L'une, solidaire de l'appui sur lequel se déplace la charge, est revêtue d'une tôle en métal inoxydable, l'autre est composée de plots en néoprène fretté revêtu de téflon introduits entre la structure et l'appui au fur et à mesure de l'avancement. Ces plots sont couramment appelés *patins de glissement*. Sur un même point support, on utilise successivement trois patins, de telle sorte qu'à tout moment d'un déplacement, deux d'entre eux sont placés sous la charge tandis que le troisième est récupéré à l'avant dès qu'il est libéré, pour être remis en arrière et ainsi de suite. Dans des systèmes plus élaborés, parfois brevetés, les patins peuvent être solidaires du vérin de poussage et servir en même temps de système moteur.

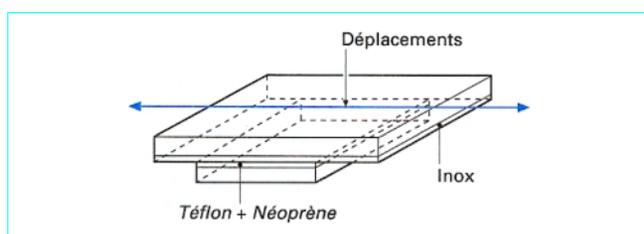


Figure 35 - Plaque de glissement simple

6.5.5 Fluides

Dans certaines techniques, on interpose un fluide entre la sous-face de la structure et son support pour soulever légèrement la charge et la maintenir en état de sustentation sans frottement pendant le déplacement. Deux solutions sont couramment mises en œuvre :

- la première utilise l'air comme fluide (technique du coussin d'air). L'air est maintenu en place, sous faible pression, par une jupe latérale plus ou moins étanche suivant la planéité du support. Elle exige des moyens de production d'air comprimé assez puissants, mais elle présente le gros avantage de ne consommer qu'une très faible énergie pour le déplacement proprement dit ;
- la seconde utilise, comme fluide, une boue de bentonite plus facile à maintenir en place que l'air mais plus contraignante vis-à-vis de l'environnement. Elle nécessite un équipement de refolement de boue important ainsi qu'une station de malaxage assez puissante.

Ces deux méthodes ont permis des déplacements de charge de plusieurs centaines de tonnes sur plusieurs dizaines de mètres, en particulier des dalles ou des caissons à fond plat. La difficulté majeure de réalisation vient de l'étanchéité latérale qui doit être suffisante pour éviter un suréquipement en compresseurs en cas d'utilisation d'air comprimé, ou en matériel de malaxage et de pompage en cas d'emploi de bentonite. Le dallage qui sert de support doit être assez plan. On préconise une précision de l'ordre du centimètre sur la planéité pour éviter d'avoir à trop soulever la pièce à transporter.

6.6 Supports

6.6.1 Terrain naturel

Le support le moins onéreux est, en général, le terrain naturel. Il est néanmoins très exceptionnel qu'il puisse être utilisé en l'état sans aménagement particulier. La charge portante acceptable d'un terrain naturel est assez faible, sauf dans le cas, bien sûr, de rocher. La pression admissible, bien que très variable, dépasse rarement en surface quelques bars. Les tassements doivent être évités. Il ne faut pas perdre de vue le fait que des tassements différentiels, même faibles, peuvent entraîner des reports de charge préjudiciables.

De plus, le terrain naturel n'offre que très rarement une surface plane : il doit être remanié superficiellement, ce qui peut entraîner des différences de comportements d'une zone à l'autre. Ces différentes difficultés font qu'en général un certain nombre d'aménagements sont nécessaires entre le terrain naturel et la charge.

6.6.2 Longrines

Le renforcement du terrain naturel le plus courant se fait par la mise en place de longrines. Ce sont des poutres disposées sur le sol pour mieux répartir les charges et abaisser la contrainte sur le sol.

Ces poutres sont le plus souvent en béton armé. Elles présentent alors l'avantage d'absorber facilement les irrégularités de surface du terrain et de donner économiquement une bonne raideur au support. Elles peuvent également être constituées de pièces en bois dur ou de profilés métalliques : c'est en particulier le cas lorsque l'on veut réutiliser les longrines, ces pièces étant beaucoup plus maniables que celles en béton.

6.6.3 Rails

L'intérêt des rails dans les opérations de déplacement n'est plus à démontrer, puisqu'ils sont les supports privilégiés dans le cas de charges ponctuelles importantes. Acceptant des contraintes très élevées au contact des roues, des galets ou des rouleurs, ils assurent une première répartition des charges et permettent de faire une excellente transition entre une charge ponctuelle et la longrine. Mais si l'on connaît bien le rail classique de chemin de fer, on connaît moins bien la grande gamme de rails disponible dans le commerce. C'est ainsi que pour la manutention lourde, on utilise très fréquemment des rails à surface large type RATP, 52 kg, rabotés (figure 36).

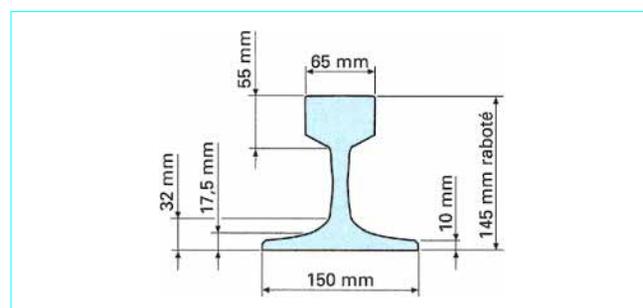


Figure 36 - Rail type RATP, 52 kg, raboté

6.6.4 Selles de glissement

Dans le paragraphe 6.5.4, nous avons décrit les patins de glissement. Leur support peut être soit le rail, soit une longrine (elle doit alors être revêtue d'une tôle en acier inoxydable), soit une pièce spéciale dite selle de glissement.

La selle est nécessaire, en particulier lorsqu'une charge se déplace sur un appui ponctuel : une tête de pile ou une culée de pont par exemple. Elle joue plusieurs rôles :

- elle répartit la charge sur l'appui, fonction qui définit sa surface ;
- elle assure une mise en charge progressive de l'appui, de par sa forme arrondie sur les deux bords d'attaque ;
- elle permet d'obtenir un très bon coefficient de frottement, sa surface étant revêtue d'une plaque en acier inoxydable. Sous une contrainte de contact entre le téflon et la tôle inox de l'ordre de 200 bar, le coefficient de frottement est compris entre 0,02 et 0,03 pendant le déplacement. Il est plus élevé au moment du démarrage de l'opération de déplacement et peut atteindre alors 0,05. C'est d'ailleurs cette dernière valeur qui doit être prise en compte pour dimensionner les pièces concernées par les différents efforts horizontaux engendrés par le frottement.

Les plaques de glissement sont supportées par une pièce massive en béton. Elles sont en *Néoprène* fretté et revêtu de *Téflon*. La pièce support est revêtue d'une tôle inox. Le principe de fonctionnement peut se résumer ainsi (figure 37) : tandis que les plaques 2 et 3 reçoivent la charge, la plaque 1 se libère et la plaque 4 est introduite, et ainsi de suite pendant toute l'opération de déplacement.

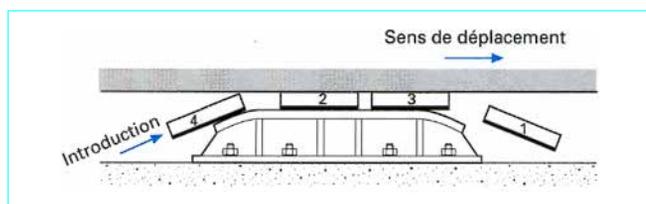


Figure 37 – Selle de glissement

6.6.5 Guidages latéraux

Pendant toute l'opération de déplacement, naissent un certain nombre d'efforts transversaux non prévus, en général, non dimensionnables, mais heureusement d'assez faible intensité. Ils peuvent provenir de dénivellées entre appuis ou de frottements différents entre deux points d'appui supposés réagir de façon identique. Ces efforts transversaux, bien particuliers, ne doivent jamais être négligés, notamment si l'on veut éviter ce que l'on appelle couramment une avancée *en crabe* dont la conséquence la plus fâcheuse peut être une sortie du chemin de roulement.

La méthode la plus courante pour s'opposer à ces efforts consiste à placer des butées latérales le long du tracé pour limiter toute mise de travers (figure 38). Ces butées doivent opposer elles-mêmes le plus faible effort possible de frottement. C'est pour cela qu'elles sont en général conçues comme des selles de glissement dont la surface de contact serait verticale.

Ce phénomène de marche en crabe se rencontre très fréquemment lorsque l'on utilise des rouleurs ou des galets. Pour l'éviter, certains rouleurs, se déplaçant sur rails, sont eux-mêmes équipés de butées latérales pouvant s'appuyer si nécessaire sur le flan des rails (figure 38a). Mais il faut limiter le nombre de rouleurs ainsi équipés car les distances entre rails n'étant pas toujours constantes, on peut, si les positions ou les tolérances des butées sont mal appréciées, provoquer des blocages en cours de déplacement.

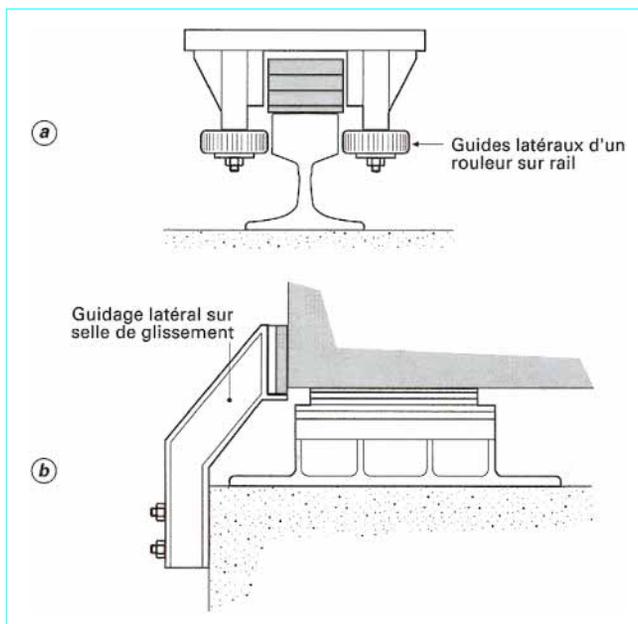


Figure 38 – Guidages latéraux

6.7 Flottage

Le transport par flottage est parfois utilisé pour la translation de charges lourdes, en particulier dans la construction offshore (cf. article *Développement d'un champ pétrolier en mer C 4 670*) dans ce traité). Un certain nombre de plates-formes pétrolières, après avoir été partiellement construites dans un *dry dock*, c'est-à-dire dans une cale artificielle prise sur la mer, barrée par une digue provisoire et asséchée, ont été amenées par flottage, après ouverture de la digue, à la verticale de leur emplacement définitif. Là, leur construction a été poursuivie tandis qu'elles s'enfonçaient progressivement dans l'eau, jusqu'à ce qu'elles reposent sur le fond marin. De telles structures peuvent présenter une surface à la base de l'ordre d'un hectare, pour une hauteur qui peut dépasser plusieurs centaines de mètres, et il y a encore des records à battre dans ce domaine !

Moins spectaculaire, mais tout aussi intéressante, l'utilisation de la flottage a permis la mise en place et le réemploi de coffrage de voûte d'ouvrage d'art, comme pour le pont de Plougastel. Dans ce cas, un système de délestage ou de lestage de caissons associés permettrait les réglages de niveau et faciliterait grandement le décintrément.

6.8 Ponts poussés

La technique des ponts poussés s'applique aussi bien aux ouvrages métalliques qu'aux ouvrages en béton précontraint. Elle consiste à fabriquer l'ouvrage par tronçons successifs construits à poste fixe placé à l'extrémité de l'ouvrage (aire de préfabrication), puis à lancer l'ouvrage d'une longueur égale au dernier tronçon coulé de manière à libérer la zone de fabrication pour construire un nouvel élément (figure 39).

Cette méthode fait appel aux techniques de poussage ou de halage précédemment décrites. La partie avant de la structure est associée à une charpente métallique (l'avant-bec), plus légère que la structure de façon à limiter les moments induits pendant les phases de franchissement de la brèche.

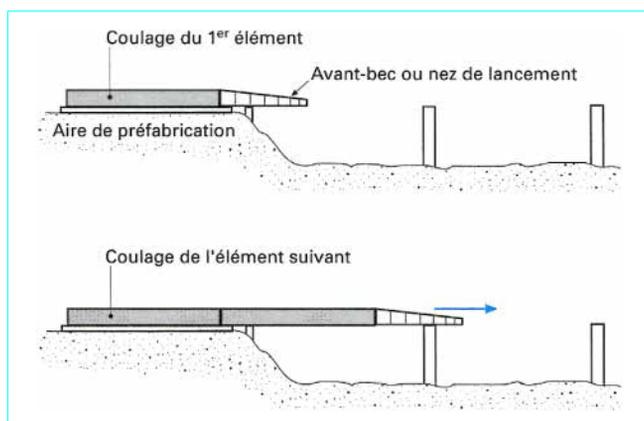


Figure 39 – Pont poussé

7. Quelques dispositions spécifiques aux opérations de manutentions

7.1 Frettages

Les charges à reprendre sont souvent importantes et très concentrées. Leur impact introduit des efforts secondaires locaux qu'il ne faut pas négliger si l'on veut éviter des désordres.

Dans le cas de constructions en béton armé, il est nécessaire de mettre en place, au voisinage du point d'application, une armature de frettage. Pour le dimensionnement de ce frettage, on peut se référer aux calculs faits pour le renforcement de la zone d'ancrage dans le cas d'utilisation d'armatures précontraintes (Règles BPEL). Une grille en acier de 8 à 12 mm de diamètre, au pas de 8 cm, est en général suffisante.

Dans le cas de structures métalliques, les âmes au droit de la charge doivent être renforcées par des entretoises qui évitent le risque de flambement local.

7.2 Positionnement des vérins

Le paragraphe 4.3 insiste sur les conditions à respecter pour le positionnement des vérins de levage au voisinage des arêtes. Là encore, étant donné la similitude de l'intensité des efforts en jeu, on peut utilement se référer aux recommandations des règlements de la précontrainte (Règles BPEL) qui conseillent des enrobages minimaux au voisinage des ancrages de précontrainte.

7.3 Pressions de contact

Les pressions de contact dans les zones de reprise au droit des vérins de manutention peuvent atteindre des valeurs élevées. Des valeurs de l'ordre de 50 % de la résistance à rupture, s'il s'agit de béton, sont acceptables sous réserve bien entendu de respecter les conditions de frettage précitées. Dans le cas de transformation ou de réparation d'ouvrages existants, les points d'appui à utiliser

n'étaient pas forcément prévus à l'origine. Des renforts locaux doivent alors être mis en place : des tôles épaisses sont en général nécessaires.

Lorsque l'on est en face d'une forte concentration de charge, il faut vérifier que les contacts entre les différentes parties constituant le point d'appui sont parfaits. Des dispositions particulières doivent souvent être prises pour respecter ce point ; l'interposition d'un mortier de ciment, une injection de résine ou un mortier maté sont les solutions les plus simples et les plus courantes.

7.4 Jeux et tolérances de pose

L'attention de tous les intervenants doit être attirée sur la nécessité de bien définir, avant toute opération de manutention, les tolérances admissibles, tant sur la répartition des charges que sur les altitudes, pendant les phases provisoires, comme en fin d'opération. Ces données doivent venir du bureau d'études, qui doit lui-même s'assurer, en association avec l'entrepreneur, qu'elles sont réalistes et compatibles avec le matériel envisagé. Des exigences inutiles pourraient entraîner des surcoûts et même parfois avoir des conséquences sur la sécurité des opérations.

8. Règlements à appliquer

Peu de textes officiels spécifiques sont consacrés aux problèmes de la manutention, aussi n'est-il pas inutile de rappeler les documents généraux sur lesquels on doit s'appuyer pour la conduite de ce type d'intervention.

Les opérations doivent, bien entendu, respecter les différentes règles du Code du travail, mais de plus, aucune intervention de ce type ne pouvant être considérée comme banale, une préparation minutieuse spécifique des différentes phases (avec analyse des risques) doit être prévue. Elle doit aboutir à la rédaction de spécifications précises à donner au personnel au cours d'une formation particulière.

Les supports utilisés lors d'un déplacement, même s'il ne s'agit que de supports provisoires, doivent être dimensionnés conformément aux règles de calculs en vigueur :

- le BAEL, s'il s'agit de béton armé ;
- le BPEL, s'il s'agit de béton précontraint ;
- les règles de la construction métallique CM 66, s'il s'agit d'ouvrages en métal.

Les charges à prendre en compte sont les charges réelles, majorées ou non pour effets dynamiques.

Le matériel standard doit être accompagné des notices rédigées par le constructeur définissant les conditions de fonctionnement, les limites d'utilisation et les consignes de sécurité.

L'ensemble des équipements doit faire l'objet de vérifications précises. Un texte officiel de référence existe pour les opérations de levage. Il s'agit de l'arrêté du 9 juin 1993 fixant « les conditions de vérification des équipements de travail utilisés pour le levage des charges, l'élévation des postes de travail ou le transport en élévation des personnes ». Ce document très complet définit en particulier les vérifications à faire :

- lors de la mise en service des appareils et accessoires de levage (section 3 de l'article en référence) ;
- lors de la mise en service (section 4) ;
- en cours d'opération (vérifications périodiques section 5).

Ces vérifications impliquent la réalisation de différents essais de fonctionnement et d'épreuves statiques et dynamiques réelles avec le matériel envisagé.

Une attention toute spéciale doit être portée à la section 6 de l'arrêté qui traite de cas particuliers lorsqu'il est impossible de réaliser les essais de fonctionnement ou les épreuves statiques ou dynamiques préalables. Il en est ainsi lorsque les essais sont irréalisables du fait de l'importance de la charge. L'idée développée dans cette section (article 25) est le remplacement de ces essais par une vérification de nature expérimentale permettant de s'assurer que l'installation peut être utilisée en sécurité. Cette vérification comprend :

- une vérification de l'aptitude à l'emploi du mécanisme et des suspensions utilisées ;
- la mesure des déformations subies par l'appareil au cours d'un chargement progressif permettant de déduire par rapprochement avec les résultats de calcul, la valeur des contraintes qui seraient subies par l'appareil sous la charge d'épreuve et d'en tirer les conclusions quant à la sécurité de l'appareil.

L'article 26 de la même section traite du cas des appareils prévus pour une seule opération de levage. La vérification à la mise en service comprend alors :

- l'examen d'adéquation (conforme à l'article 5 de la section 2) ;
- l'épreuve statique des mécanismes et des suspensions utilisées ;
- la mise en œuvre de mesures appropriées permettant, pendant l'opération de mise en charge progressive, en temps réel, de s'assurer du bien-fondé des hypothèses faites lors de la conception des appareils pour ce qui est de la stabilité et de la résistance.

Enfin, en plus des textes applicables qui doivent être connus et respectés, il est un point essentiel qui ne doit pas être oublié : c'est que la manutention reste une affaire de spécialistes, formés et entraînés régulièrement, doués de bon sens et de sang-froid.