

Chapitre 1 : PATHOLOGIE DES CONSTRUCTIONS

1) INTRODUCTION

Dans toutes les études d'ouvrages en génie civil, les codes et règlements de calcul offrent un coefficient de sécurité important allant dans le sens de la sécurité.

Il en résulte théoriquement que l'effondrement d'un ouvrage est un phénomène rare. Tout ouvrage bien conçu, doit alors supporter, sans faiblir, les charges auxquelles il est soumis. Pourtant, de nombreux ouvrages, ne manquent pas de poser le problème de sinistralité. Les mêmes problèmes réapparaissent régulièrement dans des ouvrages comparables placés dans des conditions semblables.

Ceci donne à penser que la sinistralité résulte de l'emploi involontaire mais répété de dispositifs de construction inappropriés, de méthodes de conception ou d'exécution mal adaptés ou des deux à la fois. Cet état de fait est souvent le résultat d'absence de coordination entre les différents actants de la construction. Aussi, les problèmes ne **surviennent** souvent qu'au bout de quelques années et à ce moment là, les responsables risquent d'avoir changé d'activité ou de ne plus pouvoir traiter de la question pour des raisons quelconques.

Le maître de l'œuvre et les entreprises de réalisation ne capitalisent pas des erreurs dont ils sont responsables car ils s'abstiennent de proclamer leurs échecs ou chacun se retranche derrière les effets pervers des dispositions réglementaires, la guerre des prix, la responsabilité des autres, etc. Fréquence des sinistres, listes interminables de réserves à la réception, retards quasi-systématiques à la livraison, dépassements des coûts initiaux,... la construction n'a pas bonne réputation et offre une image dégradée du secteur du B.T.P.

Une autre répercussion de cette image peu flatteuse concerne les **prix**. Comment ne pas être tenté par les offres moins disant et même anormalement basses quand rien ne prouve que la qualité sera meilleure en payant plus chère ?

Des prix bas se traduisent certainement par la réduction des effectifs en personnels d'encadrement et de chantier, le manque de matériel, la multiplication des travaux supplémentaires, etc. Mais inversement, des prix plus élevés vont-ils conduire automatiquement à des équipes qualifiées et en nombre suffisant, avec du matériel adéquat et en bon état, travaillant dans le respect des clauses du marché, etc. ?

Ce qui est pratiquement inévitable dans un sens, n'implique pas la réciproque dans l'autre. Des prix bas poussent nécessairement à revoir les prestations à la baisse en faisant l'économie de la qualité. Mais dans l'autre sens les prix plus élevés, voire intéressants, n'impliquent pas la révision des prestations à la hausse !

Dans le premier cas c'est la nécessité économique qui fait loi, dans le second c'est la satisfaction et donc c'est l'image de marque et par conséquent la fidélisation du client qui est en jeu.

Qu'est ce qui permet de s'en assurer ?

C'est là le problème ! Que faire ? Serions-nous en face d'un mal incurable ? Et ce malgré les progrès de la science du bâtiment. L'une des voies à suivre est le développement de véritables

démarches de prévention des désordres. Connaître en fait les composantes de la prévention c'est d'abord passer par la connaissance de la pathologie.

La logique de la prévention est donc simple en théorie : Il faut procéder à l'analyse des causes de la pathologie en vue de promouvoir des actions capables d'éviter le renouvellement des mêmes erreurs. La mise en pratique est plus difficile ! Avec le développement des démarches qualité, la situation va peut être évoluer dans la bonne direction même si la progression dans cette voie paraît bien lente. Prévenir dans la construction est une motivation permanente, un enchaînement soigné à chaque étape, une vigilance continue sur les idées (la conception) et les faits (la réalisation).

Chaque acteur est responsable d'abord de ce qu'il fait, doit être un professionnel averti qui examine et contrôle le maillon d'avant et qui s'implique dans le maillon d'après, en s'attachant à vérifier que ses consignes sont bien comprises et appliquées. Du fait des habitudes, des inconséquences, des inerties de comportement et des divergences d'intérêt entre les différents acteurs de la construction. La prévention ne se fera pas sans moyens Aussi, la description de pathologies potentielles, qu'il s'agisse de problèmes liés aux études de conception architecturale et technique ou lors de l'exécution des travaux de réalisation, pouvant être détectés avant la réception des ouvrages et la mise en jeu des garanties apporte une contribution certaine à la prévention des désordres.

2) Définitions et Généralités

Pathologie : ce terme est depuis peu utilisé en bâtiment. L'étude des désordres et surtout l'étude statistique, systématique et ordonnée des désordres et des sinistres sont en effet, relativement récentes. La signification de ce terme issu de la science médicale est la suivante : d'après le Robert : «**Science qui a pour objet l'étude et la connaissance des causes et symptômes des maladies**». Si l'on applique cette définition au bâtiment, les maladies seraient les désordres qui, en s'aggravant, donnent lieu à des sinistres ; ces derniers pouvant conduire à la ruine des ouvrages. D'après le Littré : «Science qui traite de tous les désordres survenus soit dans la disposition des organes, soit dans les actes qu'ils remplissent». La transposition de ce terme au bâtiment est assimilable à la notion de transformation, réparations après désordres ou sinistres et, à la limite, reconstruction.

Désordre : on peut retenir : d'après le Robert : «Altération, perturbation, trouble», d'après le Littré : «Dérangement, dérèglement, vice, perturbation, trouble».

Sinistre : D'après le Robert : «événement catastrophique naturel qui occasionne des dommages, des pertes...»,

D'après le Littré : «pertes et dommages qui arrivent aux assurés surtout en cas d'incendie, de naufrage...». Ce terme est couramment utilisé en matière d'assurance. C'est en fait l'aggravation des désordres qui conduit aux sinistres et éventuellement à la ruine partielle ou totale d'un ouvrage. Comme pour le terme 'pathologie' on trouve des analogies avec la médecine : vice de constitution. Le Littré parle aussi de vice rédhibitoire et vice caché.

Vice : D'après le Robert, la définition de ce mot est plus proche de : défaut, imperfection grave, défectuosité. Le terme 'vice de construction' est très usité. Mais, il s'applique surtout aux ouvrages

neufs, plus qu'aux ouvrages dégradés par l'usage ou les agents extérieurs.

Remède : L'origine de ce mot est médicale : D'après le Robert, «Remèdes» désigne «tout ce qui est employé au traitement d'une maladie», Un terme analogue est proposé est celui de «solution». Le Littré donne une autre définition : «destruction d'un bâtiment qui tombe de lui même ou que l'on fait tomber». En d'autres termes, la ruine constitue l'état ultime, limite ou final d'une construction ou d'un ouvrage après destruction partielle ou totale. «Tomber en ruine» signifie «crouler, s'effondrer». Il y a donc aggravation des dommages puisque l'on arrive à l'effondrement ou à la destruction totale ou partielle de l'ouvrage.

Ruine : D'après le Robert, une ruine est la «grave dégradation d'un édifice allant jusqu'à l'écroulement partiel ou total». Réparation : Ce terme correspond aux opérations nécessaires au maintien de l'ouvrage après sa construction. On peut distinguer deux types de réparations : petites et grosses.

Amélioration de l'habitat : Un certain nombre de définitions ont été données dès 1978.

Nous pouvons citer : Rénovation urbaine : opération qui concerne l'ensemble d'un quartier, ce qui implique la démolition d'immeubles, la libération du sol, le remembrement de parcelles, la redistribution des utilisations du sol en voirie, logements, équipements et reconstruction à neuf. Ce terme est à distinguer de la rénovation individuelle des bâtiments qui constitue simplement en nue «rénovation à neuf».

Restauration : les travaux de restauration visent à remettre un bâtiment ou un ouvrage dans son état originel du fait de son intérêt architectural ou historique.

Réhabilitation : des travaux de réhabilitation visent à la fois à conforter un bâtiment et à le remettre en état en le dotant des éléments de confort moderne :

- Apport d'isolation thermique,
- Modernisation des installations intérieures (réseaux : électricité, chauffage, fluides, sanitaire).

3) Les intervenants de l'acte de construire

Les acteurs intervenant dans l'acte de bâtir sont :

- 1- le maître de l'ouvrage,
- 2- le maître d'œuvre : architectes ou agréés et spécialistes techniques
(Ingénieurs - conseils, bureaux d'études),
- 3- l'entreprise chargée du marché de construction : entreprise générale (tout corps d'état)
ou entreprises spécialisées (titulaires de marchés par lots),
- 4- les fabricants et fournisseurs de matériaux,
- 5- le contrôle technique,
- 6- les assureurs : de l'ouvrage et/ou des constructeurs,
- 7- le vendeur et le promoteur

Tous ces acteurs sont liés par des contrats, doivent respecter chacun à son niveau des obligations et sont responsables à différents titres.

4) La prévention des désordres

La prévention c'est tout ce que l'on peut faire avant qu'un problème n'arrive, pour l'empêcher justement d'arriver. Il s'agit donc d'alerter, d'attirer l'attention, de signaler, d'informer, de

sensibiliser, de prévenir. La prévention c'est le contraire de l'improvisation, il s'agit en fait de réfléchir avant d'agir. De repérer les sources d'ennuis, non pour renoncer à l'action mais pour la maîtriser et la réussir ainsi du premier coup. De ce point de vue, la sensibilisation et la formation professionnelle du personnel contribuent à la prévention. Ce type d'action a, en effet, pour but de développer les connaissances et le savoir-faire du personnel en vue d'un meilleur exercice de ses activités professionnelles. Or, une bonne partie des erreurs ou défauts rencontrés sur des opérations de construction trouve leur origine dans le décalage de certains intervenants par rapport à l'évolution du contexte technique. La prévention des désordres doit être une démarche solidaire de tous les intervenants présentés.

La prévention des désordres, une démarche solidaire de tous les intervenants :

Trois objectifs :

- Obtenir une meilleure qualité,
- Diminuer le nombre de sinistres et les facteurs de non-qualité,
- Diminuer le délai de levée des réserves.

Trois modes d'intervention:

- Promouvoir le travail d'équipe avec la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'oeuvre et l'entreprise,
- Favoriser les circuits décisionnels,
- Maîtriser les coûts et les délais.

Maîtrise d'ouvrage

- Programmation : le programme est le 'référentiel' pour tous les intervenants. La précision des exigences évite les improvisations, les modifications et les surcoûts.
- Critères de sélection des entreprises mieux disantes,
- Préparation du chantier et mise en place d'un coordonnateur,
- Réception avec levée des réserves et traitement des non-conformités,
- Utilisation de l'ouvrage conforme à celle qui a été prévue et entretien normal de l'ouvrage.

Maîtrise d'œuvre

- Validation du programme sur la base duquel la phase conception permet la distribution des rôles (Élaboration du cahier des charges des prestations et des prescriptions techniques),
- Organisation des interfaces, détection des points sensibles de la réalisation des travaux.

Réalisation

- Identification des points sensibles de la construction et détermination des mesures à prendre,
- Développement du cahier des charges d'exécution avec implication des fournisseurs pour obtenir la qualité des matériaux et des produits incorporés.

La prévention des désordres est une action constructive lente et raisonnée se situant en amont de la

réalisation. Elle doit intervenir dès la conception du projet de construction

La prévention des désordres est basée sur l'expérience et sur l'établissement de règles techniques tenant compte de l'évolution des constructions et des exigences.

Un ouvrage mal conçu sera difficile à réaliser, exigera des précautions particulières et entraînera des coûts supplémentaires et risques difficiles à apprécier.

L'innovation est nécessaire pour faire progresser les techniques mais elle doit être raisonnée, mesurée et introduite progressivement. Il faut laisser le temps nécessaire pour déterminer in situ, c'est à dire en vieillissement et en comportements naturels, la fiabilité et la qualité des matériaux ou procédés présentés en tant que « techniques nouvelles ».

En faisant leurs preuves de qualité performances et durabilité, ces techniques nouvelles sont peu à peu introduites dans les textes codifiés (normes, DTU...).

5) Eléments de la prévention active coordonnée

CONCEPTION

- Intégrant sol de fondation
- Choix des matériaux et des techniques
- Calculs corrects

MATERIAUX

- Bonne qualité
- Fabrications fiables et contrôlées (Autocontrôle)

MISE EN OEUVRE

- Conforme aux règles de l'art (DTU, DTR, etc.)
- Correcte (personnel qualifié)
- Autocontrôle de l'entreprise
- Contrôle technique

USAGE NORMAL → DURABILITE ← ENTRETIEN PERIODIQUE

Dans la construction, les erreurs et défauts peuvent apparaître dès la phase de conception ou plus tard lors de l'exécution des travaux.

Dans le cas de la conception, on peut facilement rectifier des plans ou des pièces écrites, tant que les ouvrages ne sont pas commencés.

Lorsque les erreurs ou les défauts sont détectés en cours d'exécution, la résolution du problème devient plus compliquée et en tout cas plus coûteuse. Il faut alors étudier des solutions de reprise acceptables, ou bien démolir et recommencer.

Si les erreurs ou défauts ne sont pas repérés avant la réception des travaux, il y a alors risque de sinistre à plus ou moins long terme. Toute erreur, mauvais choix ou souci d'économie excessive se

traduiront, tôt ou tard, par des désordres ou sinistres difficiles à réparer

Le choix des matériaux doit relever du même souci. Le contrôle doit intervenir à différentes phases. Dès la conception en intervenant au niveau des calculs et matériaux choisis ; puis lors des travaux en émettant des observations et réserves. Une bonne conception des ouvrages est par conséquent fondamentale.

6) Introduction à la pathologie

L'acte de construire est universel, il dépasse le cadre des pays et des époques et s'adapte aux besoins spécifiques des populations en fonction de leurs modes de vie et de leurs ressources. Il consiste en effet, à assembler des matériaux totalement disparates : pierres, béton, briques, bois, plâtre, plastiques, textiles, papier, peinture, etc., destinés à cohabiter dans un même environnement, afin d'abriter les hommes. Ces matériaux réagiront sur l'environnement, et les uns sur les autres. Les hommes aussi.

i., Pathologie de l'art de construire

Le XXe siècle, ayant subi deux guerres mondiales (grands conflits destructeurs) et des crises économiques à répétition, est entré dans une phase de construction indigente où tout est prétexte à l'économie. Les exigences de confort de l'habitation augmentent, par conséquent l'on tente de promouvoir la qualité. Cependant la qualification professionnelle des entreprises est gravement compromise par une insuffisance de formation et d'autres phénomènes tels que la sous-traitance en 'cascade'. L'art difficile de l'architecte, dans son rôle de concepteur, consiste à créer pour l'homme un environnement matériel et social adapté à ses aspirations, et dans lequel il fait bon vivre. Il existe d'abord une pathologie de l'architecture parce que l'homme évolue et la construction est faite pour durer. L'architecte doit percevoir les aspirations futures de l'occupant et non pas se contenter de ses aspirations présentes. L'architecte doit ensuite construire selon le budget qui lui est alloué, et le drame est alors en lui même, car il doit abandonner un certain nombre d'idées relatives à une conception confortable pour la sacrifier à l'économie abusive du moment : il faut coûte que coûte rester dans les prix plafonds réglementaires ou permettre au promoteur de présenter des prix d'achat concurrentiels, sous-estimant parfois les coûts d'exploitation et d'entretien. Et l'on paye parfois chèrement certains choix imposés. C'est ainsi que tout le parc logements est pour la majorité des cas très déprécié : isolations thermiques et phoniques insuffisantes, monotonie ou laideur des façades, ambiance concentrationnaire. La raréfaction des terrains à bâtir a conduit à rentabiliser au maximum chaque mètre carré en empilant le maximum des planchers. Cet univers concentrationnaire vertical montre ses limites avec ses problèmes techniques, sanitaires et sociaux. Aujourd'hui, l'homme se tourne vers une autre architecture aux dimensions plus réduite.

ii., Pathologie des ouvrages

En construisant, l'homme fait intervenir les lois de la nature à son profit. C'est tout au moins ce qu'il cherche, mais il ne les maîtrise pas toujours, soit qu'il ait sous-estimé l'importance de certaines d'entre elles, soit qu'il les ait totalement oubliées ou ignorées.

Les matériaux subissent l'environnement : les actions mécaniques de la pesanteur et du vent, les

actions hygrothermiques et chimiques de l'air environnant ainsi que des matières agressives. Dans les calculs classiques de résistance, on néglige généralement un certain nombre de phénomènes, considérés comme secondaires, ou on en tient compte d'une manière forfaitaire.

a., actions mécaniques :

C'est ainsi qu'on ne calcule pas (sauf exception) la valeur :

1- des moments de flexion exercés dans les murs par la rotation des planchers aux appuis,

2- des longueurs de flambement des poteaux portant des planchers superposés,

3- des tassements différentiels entre semelles de fondation de grandeur différentes, bien

qu'exerçant sur le sol la même pression. On se limite aussi, autant que possible aux calculs unidirectionnels (poutres), voire bidirectionnels (portiques), passant très rarement au tri-directionnel à l'aide d'ordinateurs et de programmes dans lesquels il faut alors introduire un grand nombre de cas de chargement et dont les résultats prennent vite l'aspect inextricable. Et pourtant la nature demeure à trois dimensions, et l'état de chacune d'elles réagit sur les deux autres. L'eau, sous ses trois aspects : vapeur, liquide et glace, a une très grande influence en pathologie.

b., actions hygrothermiques :

Chaque matériau possède un équilibre qui lui est propre vis-à-vis de l'état hygrométrique et de la température de l'air environnant. Il tend vers cet équilibre, plus ou moins lentement et modifie son évolution quand l'ambiance évolue. D'une manière générale, les matériaux augmentent de volume avec l'augmentation de leur teneur en eau et leur température et diminuent de volume dans le cas contraire. La terre cuite sort du four parfaitement anhydre et se réhumidifie très lentement en gonflant. La chaleur agit de deux manières : en dilatant par effet thermique et en diminuant l'humidité relative de l'air ambiant entraînant une réduction de teneur en eau des matériaux et un retrait.

Ces deux effets antagonistes s'annuleraient en partie dans les matériaux s'ils arrivaient à se produire simultanément. Malheureusement la cinétique des deux phénomènes est différente. La dilatation thermique est instantanée alors que l'exsudation de l'eau incluse et la contraction corrélative sont, elles beaucoup plus lentes. Le béton fraîchement coulé est gorgé d'eau et en séchant, il perd son eau et accuse un retrait. L'humidité accompagnée de la chaleur favorise le développement d'organismes végétal, animal ou microbien.

c., actions chimiques et biologiques :

Ce phénomène entraîne pour certains matériaux des dégradations. Le bois subit un pourrissement et les calcaires peuvent se désagréger en milieux nitrurés. Les rayons ultraviolets du soleil provoquent la polymérisation des matériaux à chaînes carbonées : peintures et plastiques. La cohabitation des matériaux présentent des lois de comportement différentes et sont capables de s'altérer les uns les autres en causant certains désordres :

d., interactions :

- Rupture du plus fragile quand deux matériaux mitoyens se déforment différemment (béton et brique creuse, canalisations et gros oeuvre, etc.),
- Détérioration d'un bois humidifié par le béton ou le plâtre frais.

Chapitre 2 : PATHOLOGIE DES FONDATIONS ET INFRASTRUCTURES

1) Tassements courants

Les constructions sont habituellement fondées superficiellement par des semelles en béton armé. En présence d'un sol déformable, ces fondations peuvent subir des mouvements susceptibles d'engendrer des dommages importants. La déformabilité du sol sous l'effet des charges apportées peut ainsi favoriser l'apparition de fissures ou lézardes sur les murs. Les aménagements intérieurs, surtout s'ils sont en dur (cloisons en carreaux de plâtre, carrelage), peuvent aussi subir les contrecoups de ces mouvements.

Un tassement différentiel des fondations peut suffire à induire ces phénomènes.

Les maisons individuelles concernées ont généralement été construites en maçonnerie (briques ou blocs de béton), sans sous-sol complet, sur des fondations en béton armé de faible profondeur (en général entre 0,50 m et 1 m).

Ces fondations ont pour fonction de diffuser les charges du bâtiment (poids des matériaux et charges d'exploitation) dans le sol jusqu'à une profondeur qui ne dépasse pas, en principe, 3 à 4 m sous leur niveau d'assise.

Si, dans ces limites, le terrain est fait d'éléments rocheux, aucun incident grave n'est à craindre. Le pavillon risque, en revanche, de subir les conséquences de mouvements du sol si celui-ci contient de manière aléatoire des inclusions rocheuses ou comporte une couche déformable (argileuse, limoneuse, sableuse).

Trois conditions doivent être réunies pour déclencher la fissuration :

- Un sol compressible sous le niveau d'assise des fondations. La présence de sols compressibles dans cette limite d'influence des fondations peut amener le sol à se déformer trop fortement sous le poids des structures.
- Des charges irrégulièrement réparties aux fondations. Ce déséquilibre des efforts sur le sol provoque un tassement différentiel. Le sol se déformera donc plus ou moins selon les points d'appui. C'est aussi le cas lorsque des fouilles importantes sont faites à proximité immédiate de fondations existantes.

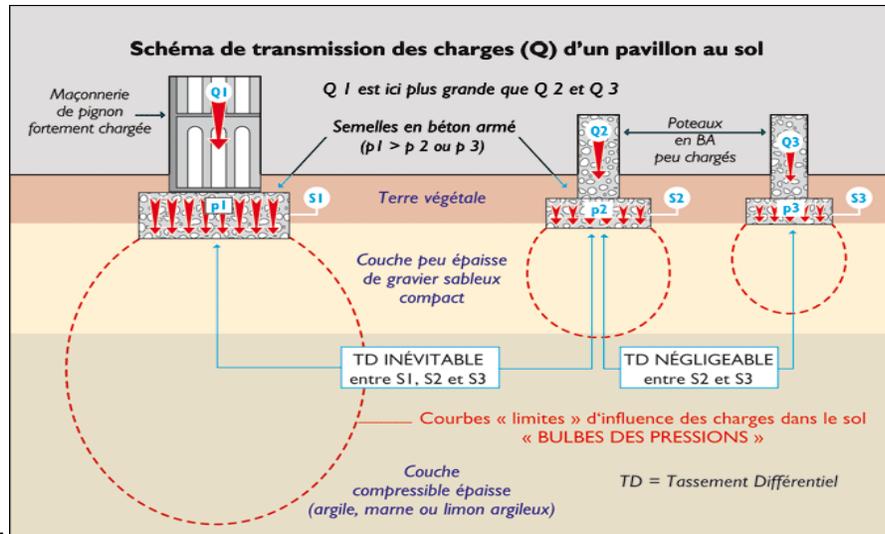


Schéma de transmission des charges (Q) d'un pavillon au sol

- La fragilité de la superstructure. Les déformations différentielles du sol sont pour la superstructure des déplacements imposés, qui engendrent des contraintes de traction et de cisaillement dans la superstructure. Les points les plus faibles et notamment les joints de maçonnerie seront les premiers à ne pas résister à ces contraintes.

Les autres causes de désordres :

- L'implantation du bâtiment sur un sol hétérogène, renfermant des inclusions rocheuses qui constituent autant de points durs ou, au contraire, des débris végétaux (tourbe) ou des matières organiques en décomposition (vase) qui forment des zones compressibles.
- L'implantation de la maison directement sur la terre végétale de surface ou à si faible profondeur que le sol n'est pas à l'abri du gel.
- La présence juxtaposée de deux remblais d'âge différent sous les fondations : un ancien, peu compressible, et un récent, mal compacté lors des travaux.
- La création ultérieure d'une plate-forme contre une façade du pavillon. Elle crée une charge parasite excessive au droit de la semelle de ce mur.
- La rupture d'une canalisation enterrée ou d'un regard d'eau pluviale, voire simplement la chute de précipitations dans les fonds de fouilles pendant l'exécution. Elle provoque une arrivée d'eau qui change localement la consistance du sol en pied de mur.

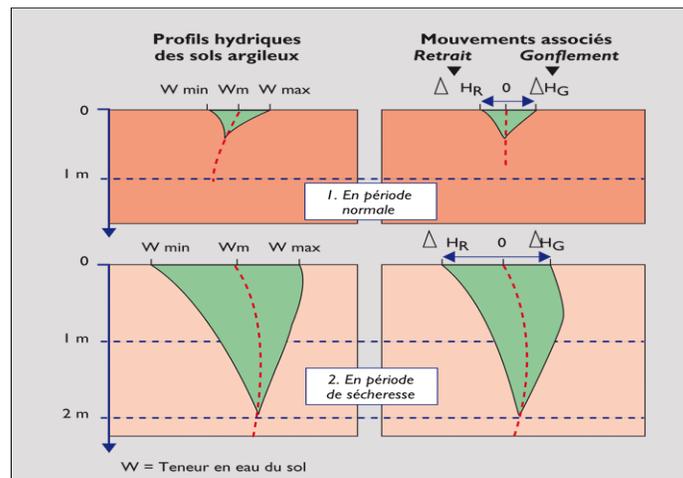
2) Mouvements exceptionnels en sols sensibles

Les argiles dites « gonflantes » sont dangereuses pour les fondations : tassements en période de sécheresse, soulèvements quand les argiles se réhydratent. Cette alternance de tassements et de soulèvements provoque des dégâts dans les murs. Dans les cas graves, les fissures peuvent atteindre une largeur de 30 à 40 mm (on parle alors de lézardes) et peuvent nécessiter la déconstruction totale de l'ouvrage. Elles peuvent aussi concerner les

aménagements extérieurs (trottoirs, escaliers...), les voiries d'accès, les réseaux d'eau enterrés, ...

En alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau de sols dits gonflants (argiles à prédominance de montmorillonite) perturbent leur équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur.

En revanche, une sécheresse prolongée entraîne une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m. Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un retrait pouvant atteindre une dizaine de centimètres.



Profils hydriques et mouvements associés

Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

Ce processus peut être localement aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de certaines végétations dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes, ...

La nature même des argiles concernées peut donner naissance, lors d'une période ultérieure très pluvieuse, à un phénomène opposé de gonflement qui tend à refermer les fissures.

Les pavillons implantés sur ce type d'argile à prédominance de montmorillonite sont habituellement soumis à des cycles de retrait et de gonflement, notamment au niveau des parties les plus directement exposées, situées en périphérie. Si la partie centrale du pavillon peut apparaître plus stable à court terme, elle pourra subir à plus long terme les effets d'un gonflement progressif de grande amplitude

Celui-ci peut être dû à un apport continu d'eau en période pluvieuse sous l'effet de remontées de nappes phréatiques, par exemple, suivi de l'impossibilité d'évacuer cet excès d'eau en saison plus sèche.

3) Fondations profondes par pieux

a) Le constat

On a recourt à des fondations profondes par pieux lorsqu'une solution superficielle (semelles, radier, puits) n'est pas réalisable au vu de l'adaptation au sol de l'ouvrage projeté.

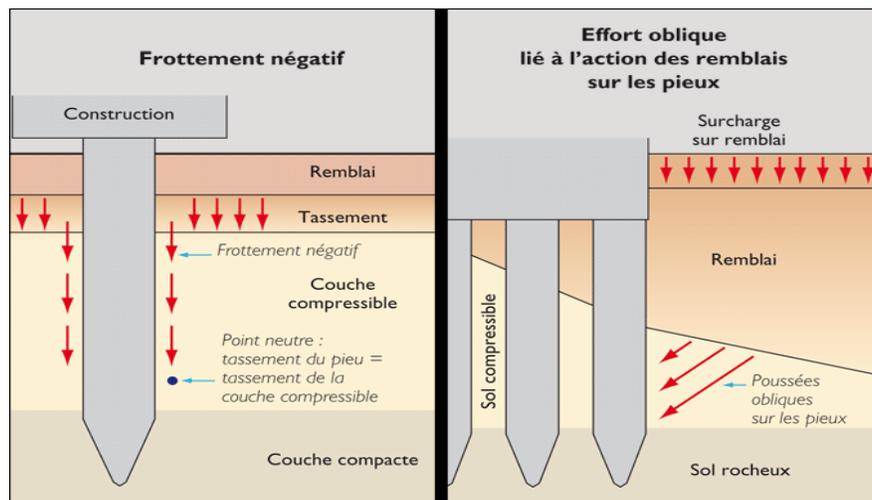
Les désordres qui peuvent affecter ces pieux sont de deux ordres, tassement ou rupture du pieu.

Les réparations en cas de sinistre représentent un coût élevé et peuvent aller jusqu'à nécessiter la destruction de l'ouvrage.

b) Le diagnostic

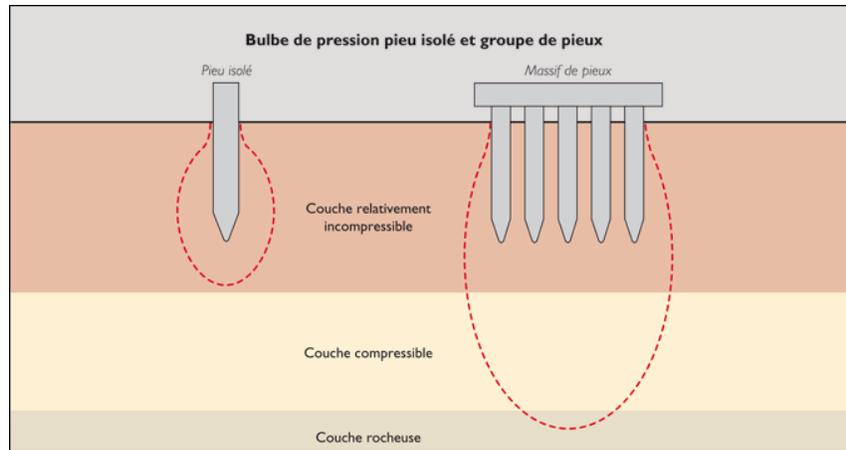
Les désordres peuvent provenir de plusieurs causes :

- Une étude de sol incomplète, inadaptée ou l'absence d'étude géotechnique ;
- Une mauvaise interprétation de la reconnaissance des sols
- Les tassements de pieux peuvent résulter de la non-prise en compte d'un frottement négatif dû à des couches de surface compressibles, et qui s'ajoute, par conséquent, à la charge transmise au pieu par l'ouvrage,



Frottement négatif et effort oblique

- Sur un même terrain, l'interaction des charges entre pieu isolé et groupe de pieux ne sera pas la même, ce qui peut être à l'origine de tassements importants,



Bulbe de pression pieu isolé et groupe de pieux

- En présence de couches compressibles de surface, chargées par des remblais dissymétriques, le fluage des couches molles peut engendrer des efforts latéraux sur le fût des pieux allant jusqu'à leur rupture en l'absence d'armatures,
 - Les pieux battus peuvent rencontrer de faux refus ou pas de refus dans certains sols. Ce type de pieux se rencontre moins fréquemment compte tenu notamment du risque vis-à-vis des avoisinants (vibrations liées au battage);
- c) Les erreurs d'implantation ou d'exécution
- Rupture de pieu lors du battage, du recépage, ou du terrassement... Pour les pieux coulés en place, un mauvais bétonnage peut résulter de l'emploi d'un béton trop « sec », de ferrailles trop importantes gênant le coulage du béton ou d'une remontée trop rapide du tube ;
 - L'agression des pieux par le sol environnant
 - Circulation d'eaux acides, d'eaux contenant des sulfates... Cette pathologie est en récession grâce à l'emploi de ciments adaptés à ces agressions.
- d) Les bonnes pratiques
- Faire réaliser une étude de sol préalable complète (étude préliminaire de faisabilité géotechnique) et étude de faisabilité des ouvrages géotechnique suivant la nomenclature géotechnique NF P94-500.
 - La faire suivre des missions G2 (étude géotechnique de projet), G3 (étude et suivi d'exécution) et G4 (supervision géotechnique d'exécution), constitue un élément minoratif du risque.
 - Effectuer un programme de reconnaissance comprenant au minimum :
 - Un sondage avec prélèvement d'échantillons pour identification des sols en place ;
 - Une reconnaissance au préssiomètre, éventuellement complétée par des essais au pénétromètre statique ;
 - Une profondeur de sondage conséquente : elle doit dépasser d'au moins 7 diamètres (avec un minimum de 5 m) la cote d'ancrage des pieux prévue. La prise en compte des effets provoqués par des groupes de pieux peut conduire à une augmentation de cette profondeur.

- Apporter une attention particulière à l'exécution de pieux, dont le contrôle est difficile.

4) Colonnes ballastées

Le constat

Par recherche de moindre coût, les colonnes ballastées ont pu servir d'alternative à des solutions classiques de fondations profondes par pieux et plancher porté.

Or, mises en œuvre dans des contextes géotechniques échappant à leur domaine d'utilisation recommandé, elles ont entraîné des désordres qui se sont traduits par des tassements, parfois spectaculaires et affectés d'un différentiel marqué, et toujours d'une amplitude très largement supérieure aux calculs initiaux (jusqu'à 20 à 30 fois dans certains cas), avec pour conséquences :

- dévers de poteaux de structure ;
- fissuration et déformation de dallage allant jusqu'à l'incapacité à l'exploitation de locaux et de parkings
- basculement de bâtiments d'habitation.

Sans atteindre de tels extrêmes, de nombreux désordres ont été suscités par l'inadéquation du traitement du sol par colonnes ballastées au regard des exigences structurelles de l'ouvrage à construire. En effet, même si le traitement par colonnes ballastées permet d'obtenir une réduction du tassement du sol, il ne l'annihile pas pour autant et le tassement résiduel peut demeurer excessif pour l'ouvrage projeté.

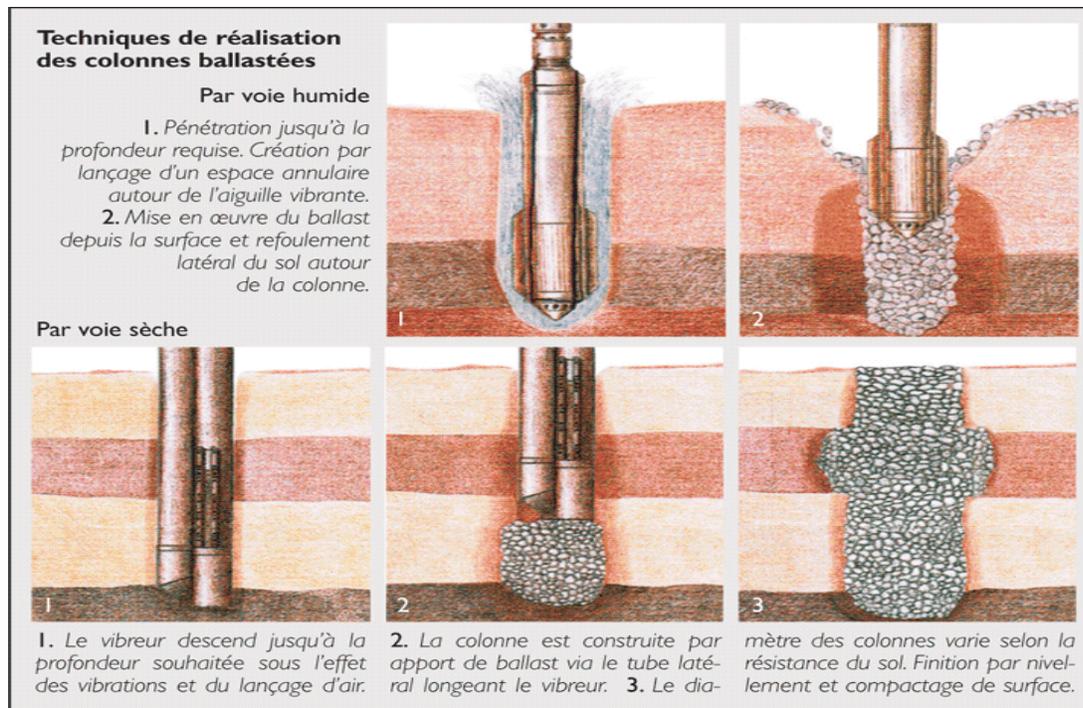
Définition

Les colonnes ballastées sont des empreintes verticales élancées que l'on a ménagées dans le sol par diverses techniques et remplies de matériau noble (le « ballast ») calibré et compacté.

Elles permettent de substituer un matériau granulaire frottant à un sol généralement fin, de moindre raideur et compressible, en vue d'obtenir une amélioration mécanique globale de l'ensemble sol + colonnes, notamment en termes de compressibilité.

Les colonnes ballastées sont réalisées selon un réseau prédéterminé, dont la maille dépend de divers paramètres, comme les caractéristiques géomécaniques du sol naturel et l'intensité des charges appliquées.

Afin de mieux opérer le transfert de ces charges vers les têtes de colonnes ballastées, il est indispensable d'interposer un matelas de répartition, constitué lui aussi de matériaux nobles granulaires fortement compactés, à la base duquel on place généralement une géomembrane.



Techniques de réalisation de colonnes ballastées

Les défauts de conception sont très majoritairement à l'origine des sinistres impliquant des colonnes ballastées

- L'incompatibilité entre colonnes ballastées et sols à traiter est la plus fréquente.
- En effet, les colonnes ballastées ont absolument besoin, pour pouvoir fonctionner, de disposer d'une étroitesse latérale des sols qui empêche leur expansion latérale sous l'effet des charges appliquées en tête.
- Ceci concerne tout particulièrement des sols organiques, dont la tourbe, mais aussi des limons et argiles mous pour lesquels les colonnes ballastées sont à exclure.
- Un défaut de dimensionnement du système de colonnes ballastées.
 - Par exemple : au prétexte que le DTU 13.2 « fondations profondes » inclut un chapitre consacré aux colonnes ballastées, on a parfois dimensionné celles-ci comme s'il s'agissait de pieux. Mais les colonnes ballastées ne sont en rien des pieux, dont elles ne possèdent ni la raideur, ni la portance et surtout pas la résistance aux sollicitations parasites, inclinées ou horizontales.

Les colonnes ballastées ne peuvent en aucun cas supporter des charges permanentes nettement inclinées sur leur axe longitudinal.

- Autre exemple : la confiance excessive placée dans l'effet de resserrement des sols entre les colonnes.

Certains parkings et voies de circulation bâtis sur des sols argileux compressibles, ont été traités par des colonnes ballastées « flottantes », dont on attendait, par effet de resserrement, un

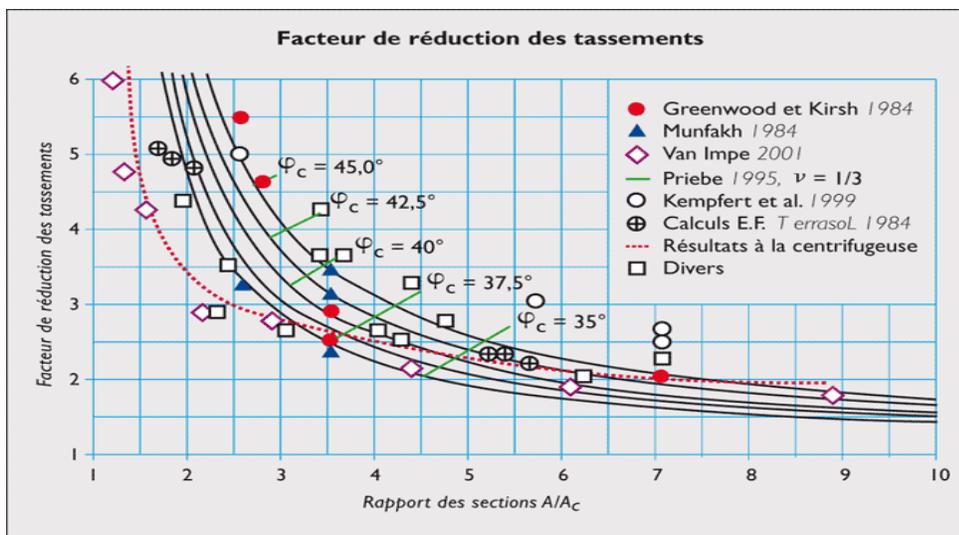
comportement global de type « radier souple ».

Or, le resserrement des sols très fins ou argileux est pratiquement négligeable entre des colonnes ballastées.

La sous-évaluation des tassements résiduels.

Il s'agit d'une cause technique très fréquente qui, outre une surestimation du comportement des sols naturels, repose aussi sur le recours à des méthodes de calculs trop optimistes.

C'est le cas de la méthode dite du « module équivalent », ou encore de la méthode de Priebe, lesquelles, lorsqu'il existe un contraste important entre les modules du sol naturel et des colonnes et si, également, la maille du réseau est relativement lâche, conduisent à de graves sous-estimations du tassement finalement observé.



Facteur de réduction des tassements

L'inadéquation des tassements résiduels au regard des exigences de l'ouvrage à construire.

Un traitement par colonnes ballastées procure fréquemment un gain d'un facteur 2 à 4 sur l'amplitude des tassements des sols.

Mais, pour des sols fortement compressibles, cela peut conduire à observer des tassements résiduels de l'ordre de la dizaine de centimètres, voire davantage, qui demeureront quand même inacceptables au regard des exigences du comportement de l'ouvrage projeté.

Les bonnes pratiques

- Conduire une étude géotechnique complète de type G2 et faire suivre l'exécution des colonnes ballastées par une mission G4 du géotechnicien.
- Le recours à des colonnes ballastées constitue en effet un pari sur le comportement du sol beaucoup plus important qu'au travers d'une solution technique de type fondations

profondes. Il faut donc absolument réduire l'aléa géotechnique.

- Exclure les colonnes ballastées en présence de sols organiques et de sols mous.
- Ces types de sols sont incapables de procurer l'étreinte latérale nécessaire au bon fonctionnement des colonnes ballastées.
- Abandonner le calcul des tassements par les méthodes du module équivalent ou de Priebe. Il convient d'opter au maximum pour les calculs aux éléments finis de type PLAXIS, et de préférence en 3D.
- Limiter les colonnes ballastées au cas des fiches courtes et homogènes.
- L'expérience montre que des colonnes d'une hauteur supérieure à 12/15 m sont beaucoup plus sensibles aux déformations. Quant à leur ancrage dans des couches résistantes présentant un poids à forte pente, il est aussi à proscrire en raison du risque de tassements différentiels.
- Exclure les colonnes ballastées qui ne reposent pas, en pointe, dans des couches résistantes.
- Le comportement en masse de sols compressibles traités par des colonnes « flottantes » n'est pas maîtrisable.
- Examiner avec la plus grande attention les cas où des différentiels très faibles sont requis par l'ouvrage projeté.
- De tels cas sont le plus souvent incompatibles avec le recours à des colonnes ballastées, sauf à ne devoir traiter qu'une épaisseur réduite de sol compressible (jusqu'à 5 m environ) et avec une haute densité de maillage.

L'essentiel

- Procéder à une étude géotechnique complète afin de vérifier l'acceptabilité des colonnes ballastées par les sols à traiter.
- Procéder à un examen réaliste du comportement des colonnes ballastées, notamment en matière de performances vis-à-vis du gain de tassement.
- En toute hypothèse, vérifier si le tassement résiduel, après traitement du sol, est devenu acceptable au regard des exigences du projet d'ouvrage à construire.

5) Désordres dans les voiries et réseaux divers

Le constat

Des désordres, parfois récurrents, peuvent affecter tant les voiries que les réseaux enterrés : de l'arrachement de câbles ou la rupture de canalisations par un engin de chantier, à l'affaissement ou aux fissures, faïençage, nids-de-poule et soulèvement en surface de la voirie. Les risques, s'agissant des réseaux enterrés, sont parfois vitaux.

Le diagnostic

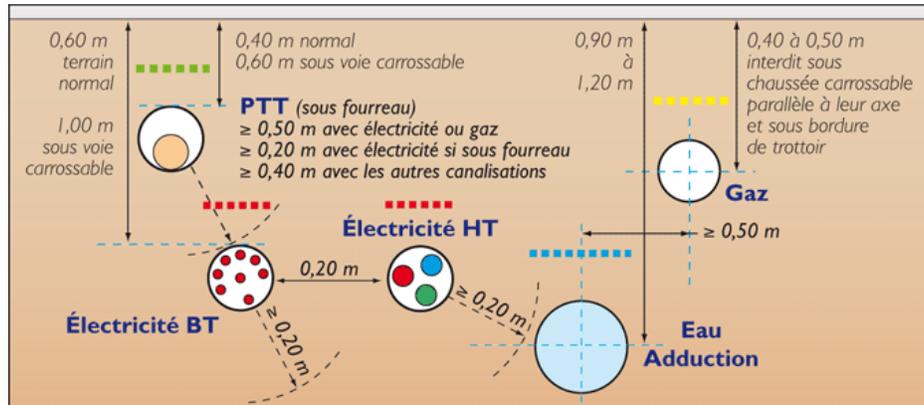
- Méconnaissance de l'implantation des réseaux

- Le manque d'information des exploitants sur les infrastructures, l'absence de demande de renseignements adressée par le maître d'ouvrage ou le maître d'œuvre aux exploitants (DR) et de déclaration d'intention de commencement des travaux (DICT) par l'entreprise, l'insuffisance de sondages de reconnaissance préalables aux travaux sont des facteurs de risques évidents.
- Etat non réglementaire des réseaux existants
- L'altimétrie non réglementaire des câbles et canalisations, éventuellement cumulée avec l'absence de grillage avertisseur, expose aux risques d'arrachement de câbles et de détérioration des canalisations par un engin de chantier.
- Mauvaise exécution des travaux de préparation et de compactage
- Mauvaise préparation du fond de fouille : le fond de fouille non purgé n'a pas été débarrassé de ses éléments les plus gros.
- Choix inadapté des matériaux de remblaiement : dimension maximale des matériaux inadaptée vis-à-vis de la largeur de la tranchée, de l'épaisseur de la couche compactée ou du diamètre du réseau à enrober.
- Insuffisance de compactage : les exigences de compactage des couches de remblaiement des tranchées ne sont pas respectées.
- Absence de contrôle du compactage : imprécisions sur la conformité des objectifs attendus de densification du remblai.
- Ces erreurs d'exécution se traduisent par des affaissements.
- Gonflements de surfaces
- La présence d'une forte teneur en sulfates dans les graves ciments conduit à la formation de sels expansifs d'Ettringite, qui génèrent fissures et soulèvements en surface, parfois accompagnés de risques de rupture des réseaux souterrains.
- Désordres de voiries lourdes
- Des défauts de mise en œuvre des matériaux constitutifs de la voirie, un sous-dimensionnement de la structure de chaussée (mauvaise détermination du trafic/de la durée de service/de la protection vis-à-vis du gel) sont générateurs de risques d'affaissements des voiries.
- Par ailleurs, la mise en œuvre d'une chaussée sur un support inadapté conduit à des désordres visibles en surface : fissures, faïençage, nids-de-poule. Même risque si le sol support est mal préparé : trop humide ou trop sec et décompacté, ou avec des poches de mauvais sol non purgées et comblées par un matériau adapté.
- Engins inadaptés à la vulnérabilité du sol
- Leur utilisation peut provoquer également des affaissements.

Les bonnes pratiques

- Prendre en compte les réseaux enterrés existants
- Respecter les obligations des parties (y compris en cas de travaux urgents) ;
- Effectuer un piquetage général ;
- Observer attentivement les surfaces : réfections de sol/postes de détente/ regards/coffres de branchement/ bouches à clefs/présence de sablon... presagent de la

- présence de réseaux ;
- Utiliser des détecteurs de canalisation (détection par induction/georadars/ ondes acoustiques) ;
- Surseoir aux travaux jusqu'à décision du maître d'œuvre (ccag travaux), en cas de découverte d'ouvrages enterrés non repères ;
- Respecter les règles de distance entre réseaux enterrés et règles de voisinage entre réseaux et végétaux.



- Prendre en compte les réseaux enterrés existants
- Bien choisir les matériaux de remblaiement
- en cas de présence de nappe phréatique, tenir compte pour le choix des matériaux de remblayage de la perméabilité du milieu environnant, pour éviter la création d'une zone drainante.
- Veiller à la qualité du compactage
- effectuer systématiquement un contrôle de la qualité du compactage.

Pour réussir sa chaussée

La plate-forme support doit avoir des caractéristiques minimales :

- nivellement +/- 3 cm
- déformabilité faible (module EV2 à la plaque > 50MPa ou déflexion sous essieu 13 t < 2 mm). Ces caractéristiques doivent être homogènes sur toute la surface du support de la future chaussée ;
- réceptionner le support visuellement (pas de poche en surface, le passage d'un engin lourd ne déforme pas le support et ne laisse pas d'ornières) ;
- compléter par des essais en cas de doutes (essai de plaque ou mesure de la déformation sous essieu cités ci-dessus).
- Veiller au bon dimensionnement des chaussées
- Respecter la norme NF P98-082 pour le dimensionnement des couches de fondation, de base et de roulement ;

L'essentiel

Pour les réseaux divers :

Se renseigner de façon précise sur les réseaux en place ;

Utiliser des matériaux de remblaiement appropriés.

Pour les voiries :

Réceptionner le sol support ;

Pratiquer des essais en cas de doute.

A consulter

Décret n° 91-1147 du 14/10/91 et arrêté du 16/11/94, relatifs à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages.

Arrêté du 08/09/09 portant approbation du CCAG applicable aux marchés publics de travaux.

NF P16-003 : Travaux à proximité de réseaux.

NF C15-100 : Installations électriques à basse tension.

NF P11-300 : Exécution des terrassements.

Fascicules 70 et 71 (assainissement et eau) du CCTG.

6) Assainissement non collectif

Le constat

La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 instaure une obligation générale d'assainissement sur l'ensemble du territoire.

L'assainissement non collectif concerne environ 13 millions de personnes et on estime à environ 5 millions le nombre d'installations. Ce mode d'épuration à part entière désigne tout système d'assainissement effectuant la collecte, le prétraitement, le traitement, l'infiltration ou le rejet des eaux usées domestiques des habitations non raccordées au réseau public d'assainissement.

Il est particulièrement adapté dans les zones d'habitat dispersé où les investissements en matière de collecte des eaux usées peuvent être particulièrement élevés et non justifiés.

Les principaux désordres liés aux systèmes d'assainissement non collectif sont :

- Le débordement de la fosse et les remontées d'effluents par les appareils sanitaires ;
- Les problèmes de salubrité, *de pollution des eaux de surface ou souterraines, qu'entraîne un engorgement du terrain par des eaux non ou insuffisamment traitées ;*
- L'apparition d'odeurs nauséabondes ;

La dégradation du béton des fosses septiques.

Mal conçues ou mal exploitées, les installations peuvent engendrer de graves nuisances environnementales et des risques sanitaires.

Le diagnostic

- La mauvaise évacuation des eaux usées
 - Elle est souvent le résultat d'une inadaptation de la solution retenue pour l'épandage, par rapport au sol. Les tranchées filtrantes à faible profondeur, habituellement employées, nécessitent un sol avec une perméabilité optimale afin d'épurer les eaux et les évacuer. Ces deux objectifs sont en fait antagonistes : pour être épurées, les eaux doivent être filtrées et donc ne pas s'infiltrer trop rapidement dans le sol, mais en même temps, l'évacuation des eaux doit être continue pour ne pas saturer le terrain. Si le sol n'est pas satisfaisant, il faut donc envisager l'épuration dans un terrain reconstitué, au travers d'un filtre à sable vertical ou un terre filtrant.
 - Les autres causes de mauvaise évacuation des eaux :
 - ✓ Colmatage du préfiltre dû à la saturation de la fosse ;
 - ✓ Colmatage dans le regard dû aux dépôts (graisses, savon, corps étrangers, feuilles, sables...) ;
 - ✓ Drains du plateau d'épandage bouchés par des boues, des racines... ;
 - ✓ Défaut de pose de la fosse elle-même.
- La mauvaise évacuation des eaux usées agit directement sur la pollution des sols.
- Le défaut de ventilation
 - ✓ Les odeurs nauséabondes sont la marque d'une insuffisance, voire d'une absence totale de ventilation de la fosse septique toutes eaux.
 - ✓ Elles proviennent de l'accumulation d'hydrogène sulfuré (H₂S), ce gaz à l'odeur caractéristique d'œuf pourri, généré lors de la fermentation liée au prétraitement des eaux usées.
 - ✓ Ce défaut de ventilation est également à l'origine de dégradations du béton des fosses septiques. L'action de l'hydrogène sulfuré se traduit par une attaque du béton par l'acide sulfurique : dissolution de composés du ciment et formation de minéraux à caractère expansif.

Les bonnes pratiques

- Vérifier l'aptitude des sols à l'assainissement
- Utiliser les services d'un bureau d'études spécialisé pour le choix et la bonne réalisation d'une filière efficace et respectueuse de l'environnement, et faire procéder à une analyse de sol par sondages pédologiques et à un test de percolation. Prévoir la ventilation de l'installation de prétraitement (fosse toutes eaux)
- Le système de prétraitement génère des gaz qui doivent être évacués par une ventilation efficace. En la matière, il convient de respecter impérativement les directives du DTU 64.1 de ventilation de la fosse toutes eaux. Entretien et maintenir les ouvrages

d'assainissement non collectif

- Il s'agit d'un élément prépondérant du bon fonctionnement de l'installation. Un dispositif de prétraitement insuffisamment entretenu risque en effet de porter préjudice au système épurateur situé en aval. Respecter l'arrêté du 6 mai 1996 fixant les modalités de contrôle technique exercé par les communes et, le cas échéant, confier à la commune l'entretien de l'installation contre paiement d'une redevance. Veiller à utiliser une fosse bénéficiant du marquage CE.

L'essentiel Faire vérifier par un bureau d'études spécialisé le choix de la filière et l'aptitude des sols à l'assainissement.

Ventiler efficacement la fosse toutes eaux. Bien entretenir les ouvrages, se conformer notamment aux règles régissant les vidanges de la fosse.

A consulte Loi 2006-1772 du 30-12-2006 sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA).

Arrêtés (3) du 7 septembre 2009 relatifs aux installations d'assainissement non collectif.

DTU 64.1 : Mise en œuvre des dispositifs d'assainissement non collectif.

Les bonnes pratiques

Hors des zones connues et répertoriées, avoir recours à un BET spécialisé pour étudier les caractéristiques géotechniques du sol est indispensable. L'étude de sol doit tenir compte de la construction projetée et indiquer les valeurs de tassement prévisibles. C'est à partir de ces valeurs que le BET Béton sera à même de dimensionner son ouvrage. Les sols compressibles ou argileux nécessitent une vigilance toute particulière et l'adoption de mesures spécifiques (voir fiche A2 déjà citée).

Ne pas utiliser en fondation les procédés avec béton de fibre, qui relèvent d'un Avis Technique,

- ✓ sans s'être rapproché de l'assureur.
- ✓ Bien décaper et nettoyer le fond de fouilles.
- ✓ Reporter le coulage des fondations en cas de pluies trop abondantes.
- ✓ Respecter les autres conditions de mise en œuvre des fondations superficielles fixées par le DTU 13.11.
- ✓ Dans le cas de constructions en pente, respecter la pente maxi entre deux semelles successives, qui est limitée à une pente de 3 pour 1.

L'essentiel :

Hors des zones notoirement connues et répertoriées, faire réaliser une étude de sol. Mettre en œuvre conformément au DTU 13.11.

Les bonnes pratiques :

Consulter en amont des cartes géologiques. Le ministère en charge de la construction a confié

au BRGM de cartographier le risque « argiles gonflantes ».

Recourir à un BET spécialisé pour étudier les principales caractéristiques géotechniques du sol est indispensable.

- ✓ Des essais en laboratoire (limites d'Atterberg, essai à l'œdomètre) sont indispensables pour reconnaître précisément le type de sol rencontré et le potentiel de gonflement de toute couche argileuse douteuse.
- ✓ Vérifier l'existence locale d'un PPR (Plan de prévention des risques) spécifique, et prendre les précautions nécessaires :
- ✓ Éloigner la construction des arbres, ou recourir à des écrans anti-racines ;
- ✓ Ancrer plus profondément et de manière homogène la construction : profondeur minimum de - 0,80 m en aléa faible à moyen, de -1,20 m en aléa fort ;
- ✓ Rigidifier la structure (chaînages verticaux et horizontaux) ;
- ✓ Prévoir un joint de rupture entre les ouvrages (la maison et le garage, par exemple) ;
- ✓ Limiter l'évaporation au sol près des maisons (terrasse ou géomembrane).
- ✓ Respecter les conditions de mise en œuvre des fondations superficielles fixées par le DTU 13.11 ; pour limiter notamment les variations d'humidité dans les sols d'assise.

Chapitre3 -4: PATHOLOGIE DU BETON-BETON ARMEE

I.1 - HISTORIQUE

L'apparition des premiers bétons se situe à la fin du premier quart du XIX^{ème} siècle lorsque la chaux hydraulique, liant utilisé jusqu'alors, est remplacée par le ciment Portland.

C'est vers 1870 que l'on introduit des barres d'acier dans le béton afin de compenser sa faible résistance à la traction, donnant ainsi naissance au béton armé. Cependant, ce n'est que vers 1900 que le béton armé remplace peu à peu les structures métalliques dans la construction d'ouvrage de génie civil. Les premières théories des calculs statiques apparaissent 30 ans plus tard et les progrès réalisés au XX^{ème} siècle ont fait du béton armé, le principal matériau de construction utilisé aujourd'hui.

I.2 - LE BETON

Le béton est un matériau obtenu après malaxage de ciment, d'eau, de granulats (sable, gravier, caillou...) et éventuellement d'adjuvants dans des proportions bien déterminées et en fonction des caractéristiques voulues. L'ensemble doit être homogène et la pâte résultant des réactions entre le ciment et l'eau est l'élément actif du béton.

Parmi la grande variété de ciments, un des plus couramment utilisé est le ciment Portland composé de clinker, de gypse (5%) et éventuellement d'ajouts (< 5%). Le clinker, obtenu par broyage d'une roche artificielle produite par calcination vers 1450°C d'un mélange de calcaire et d'argile en proportion moyenne 80%-20%, est composé de :

- Silicate tricalcique : $3CaO \cdot SiO_2$ ou C_3S (60-65%)
- Silicate dicalcique : $2CaO \cdot SiO_2$ ou C_2S (20-25%)
- Aluminate tricalcique : $3CaO \cdot Al_2O_3$ ou C_3A (5-10%)
- Ferro-aluminate tétracalcique: $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ou C_4AF (5-10%)

L'eau est avec le ciment l'ingrédient le plus important du béton. Elle remplit à la fois une fonction physique conférant au béton frais les propriétés rhéologiques d'un liquide, et une fonction chimique contribuant au développement de la réaction d'hydratation du ciment et par la suite à la résistance mécanique du béton.

Les granulats, appelés aussi agrégats sont des éléments inertes composés de roches carbonatés ($CaCO_3$, $MgCO_3$, $CaMg(CO_3)_2$) ou siliceuses (SiO_2) qu'on ajoute à un liant pour former une pierre artificielle, ils constituent dans les conditions normales, le squelette du béton, lui conférant sa compacité et participant à sa résistance mécanique.

I.3 - L'ACIER

Le béton résiste bien à la compression mais possède une faible résistance à la traction. C'est pourquoi, pour lui conférer une bonne résistance à la traction, on dispose dans la partie tendue des armatures. Les armatures pour béton armé sont généralement des assemblages de barres

en acier à caractéristiques de forme, de résistance et de section bien déterminées. On distingue :

- Les ronds lisses ou ronds à béton ;
- Les aciers, haute d'adhérence, qui possèdent des nervures tout le long de la barre, améliorant l'adhérence béton-acier ;
- Les aciers crénelés ;
- Les treillis soudés.

Les minerais de base de l'acier sont des oxydes dont :

- L'oxyde magnétique ou magnétite : Fe_3O_4
- L'oxyde ferrique anhydre : Fe_2O_3
- L'oxyde ferrique hydrate : $2Fe_2O_3, 3H_2O$

Les principales étapes conduisant à l'obtention de l'acier sont :

- Elaboration de la fonte à partir des oxydes. En brûlant les oxydes en présence des carbures, on obtient :
 - l'élimination des oxydes
 - la fonte qui contient entre 2 et 5% de carbone
 - la scorie qui est le résidu du haut fourneau
- La fonte est ensuite affinée pour obtenir soit du fer pur (élimination totale du carbone) soit de l'acier (fer + moins 1% de carbone)

La fonte qui sort du haut fourneau contient moins de 94% de fer, 2 à 5% de carbone et le reste sous forme d'autres éléments tels que : silicium, manganèse, phosphore, soufre.

L'adhérence entre l'acier et le béton est nécessaire. Celle-ci est fonction de la forme des armatures, de leur surface, de la rugosité de l'acier et de la résistance du béton. La qualité d'armatures et leur disposition, dictées par la répartition des contraintes, résultent de calculs qui font appel aux lois de comportement des matériaux. Les spécifications concernant les barres sont détaillées dans les normes AFNOR NF A35015 et NF A35016.

Vis-à-vis de la corrosion, l'acier inoxydable est bien plus résistant qu'un acier ordinaire mais son coût très élevé fait que, l'acier ordinaire, capable de durer assez longtemps pour satisfaire une durée de service déterminée, est utilisé dans la plupart des constructions en béton armé (BA).

I.4 - DEFINITION DU BETON ARME

Le béton armé est l'intime assemblage d'armatures (généralement en acier) et de béton afin de compenser la mauvaise tenue de ce dernier à la traction. Cet assemblage est rendu possible grâce à la dilatation comparable des deux matériaux.

I.5 - LES PATHOLOGIES DU BETON ARME : CAUSES ET CONSEQUENCES

Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

I.5.1 - Les causes physiques de dégradation

Abrasion : Usure accompagnée d'une perte de matière consécutive au frottement d'un élément par un abrasif ou par le passage répétitif des piétons, véhicules et chariots industriels, etc.

Erosion : Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement.

Cavitation : Usure d'une structure hydraulique caractérisée par une perte de masse en présence de bulbes de vapeur qui se forment lors d'un changement brusque de direction d'un écoulement rapide de l'eau.

Chocs : Le béton éclate sous l'effet de chocs produits par des engins de transport ou de levage, des outils.

Surcharges : Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui ont entraîné des fissurations et des éclatements du béton.

Le feu : Les très fortes élévations de température lors d'un incendie par exemple, entraînent un éclatement du béton.

Cycle gel/ dégel : Après un nombre important de cycles gel/dégel, certains bétons peuvent se déliter en surface et se désagréger. C'est le cas des ouvrages de montagne, des chambres froides.

I.5.2 - Les causes chimiques de dégradation

Alcali-réaction ou cancer du béton : Réaction qui se produit entre la solution interstitielle du béton, riche en alcalin, et certains granulats lorsqu'ils sont placés dans un environnement humide. Des gels gonflants apparaissent en développant des microfaiençages et un éclatement du béton.

Réactions sulfatiques : Les sulfates proviennent essentiellement du milieu extérieur. Ces ions ne sont pas passifs vis-à-vis de la matrice cimentaire et conduisent à la formation de certains composés chimiques expansifs tels que : L'étringite, le gypse et la thaumasite. Ces composés provoquent le gonflement du béton créant en son sein des tensions qui engendrent des fissurations.

Corrosion : Attaque des matériaux par les agents chimiques. Sur les métaux, la corrosion est une oxydation.

I.5.3 - Les autres causes de dégradation des bétons

Nous avons vu que les bétons se dégradent à cause des milieux dans lesquels ils sont placés car ils y subissent des agressions physiques et chimiques. Certaines causes, essentiellement dues à une mauvaise mise en œuvre, peuvent également participer à la dégradation des bétons.

- Mauvais positionnement des armatures

Les armatures (généralement en acier) placées trop près du parement béton lors du coulage provoquent à terme des fissurations de surface.

- Mauvaise qualité des bétons employés

Un béton trop faiblement dosé en ciment, mal vibré, présentera un aspect défectueux : nids d'abeilles, faïençage, fissures superficielles, trous laissant les armatures apparentes.

- Vibration trop importante

Une vibration trop longue peut entraîner une ségrégation du béton et par conséquent une mauvaise répartition des constituants. Les efforts mal répartis entraînent alors des fissurations et des élancements du béton.

- Absence de cure du béton

La cure du béton est indispensable par temps chaud venté. Sans protection de surface, le béton se faïence en surface.

- Cycle humidité / sécheresse

Les cycles répétés d'humidité/sécheresse entraînent des variations dimensionnelles du béton pouvant créer des fissures et par conséquent la corrosion des aciers.

I.6 - LE BETON ARME EN MILIEU MARIN

L'eau de mer est constituée de sels chargés en ions chlorures de composés sulfatiques contenant les ions sulfates (SO_4^{2-}), etc. Ces ions sont nocifs au béton lorsqu'ils pénètrent en son sein.

La grande particularité de l'eau de mer est que les proportions relatives de ses constituants sont sensiblement constantes (c'est-à-dire indépendante de la salinité (teneur en sels dissous) ; cette propriété a été établie par le chimiste écossais **William DITTMAR**, et permet de considérer l'eau de mer comme une solution des onze constituants suivants :

Anions		Cations	
Cl ⁻	0,5529	Na ⁺	0,3075
	0,0775	Mg ²⁺	0,0370
	0,0041	Ca ²⁺	0,0118

	0,0019	K ⁺	0,0114
F ⁻	0,000037	Sr ²⁺	0,00022
Molécule non dissociée		H ₃ BO ₃	0,0076

Tableau n°1 : Masse du constituant contenue dans un Kg d'eau de mer, rapportée à la salinité

La salinité moyenne de l'eau de mer est 35g/l. Le pH de l'eau de mer est proche de 8,2. Les gaz dissous comprennent principalement : 64% d'azotes, 34% d'oxygène ; 1,8% de dioxyde de carbone (soit 60 fois la proportion de ce gaz dans l'atmosphère terrestre).

QUELQUES PHOTOS D'OUVRAGES EN BETON ARME DEGRADEES PAR CORROSION DES ARMATURES





I.7 Analyse des causes des sinistres

➤ Erreurs de conception

Nous rencontrons ici les fautes aux conséquences les plus graves, car elles entraînent généralement l'effondrement, ou des déformations telles que la démolition s'impose.

Ce sont des défauts de stabilité à l'égard des efforts :

- verticaux ;
- horizontaux ;
- dynamiques ;
- de compression (flambement).

Et cela, parfois, en cours de construction.

➤ Instabilité statique

Équilibre de la balance

Tous les livres de physique élémentaire enseignent aux élèves, dans leur première leçon, l'équilibre de la balance qui implique deux poids égaux dans les plateaux. Puis ils montrent, en expliquant la balance romaine (*cf.* Fig. 1) que le bras de levier a autant d'influence que le poids (*cf.* Fig. 1a), c'est pourquoi on s'intéresse au produit appelé moment.

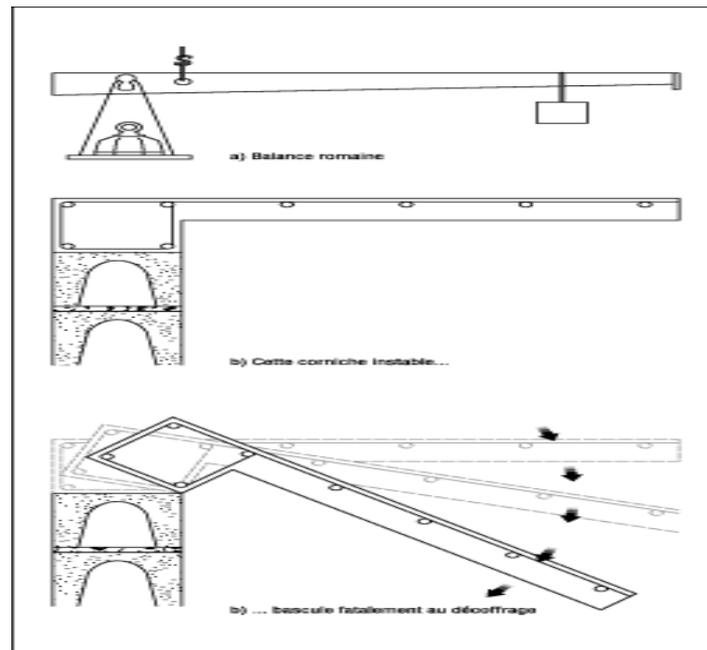


Fig. 1 – *Le problème de la bascule.*

Quand on a compris, on voit immédiatement que la corniche de la figure 1b va basculer autour de son arête a et s'effondrer.

Et pourtant, on a vu construire des corniches du genre de la figure 1b, et bien sûr s'effondrer, en blessant des ouvriers.

➤ **Instabilité en cours de construction**

Parfois aussi, l'instabilité est précaire en cours de construction. Il convient de s'en soucier et sérieusement (*cf.* Fig. 2).

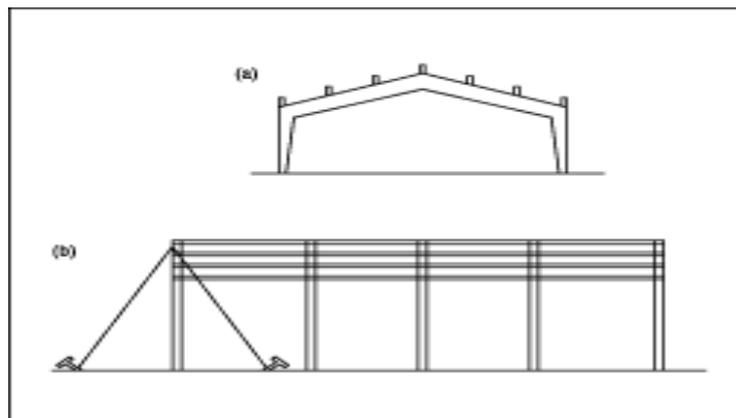


Fig. 2 – *Instabilité en cours de construction.*

Un poteau est une barre qui transmet un effort suivant sa direction. S'il est incliné, il transmet un effort incliné qui comporte par conséquent une composante horizontale (*cf.* Fig. 3).

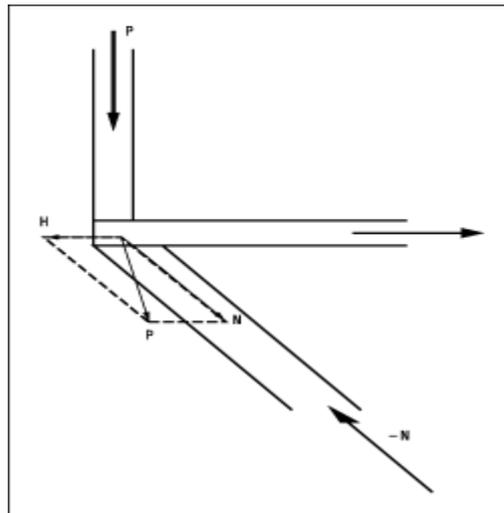


Fig. 3 – Équilibre de forces à un nœud.

Or, en statique, tout effort doit être équilibré par un autre effort égal et opposé.

C'est évident et parfois c'est oublié, tellement on a l'habitude de voir les poteaux transmettre individuellement leur chargement aux fondations.

Dans cet élément de construction, la charge P se décompose en une charge N et un effort horizontal H qui doivent être équilibrés par 2 réactions $-N$ et $-H$. Le reste de la construction est-il capable de résister à $-H$?

Exemple 1 : stabilité d'un bâtiment

Une remise en cause de dernière minute de la stabilité, en cours de construction, d'un bâtiment d'habitation, prévient d'un effondrement assuré.

Description de la structure

La couverture d'un vaste hall comportait dans sa partie centrale une alternance de grands bacs en béton précontraint de 12 m de long et de voûtes translucides, et sur ses côtés une dalle en béton, l'ensemble étant porté de chaque côté par de grandes consoles de 5,40 m de porte-à-faux, reliées à deux « bâtiments-culasses ». L'un de ces bâtiments était à simple rez-de-chaussée et sa stabilité avait été correctement assurée. L'autre bâtiment était un immeuble mixte de bureaux et habitations de dix-huit étages sur rez-de-chaussée (cf. Fig. 4).

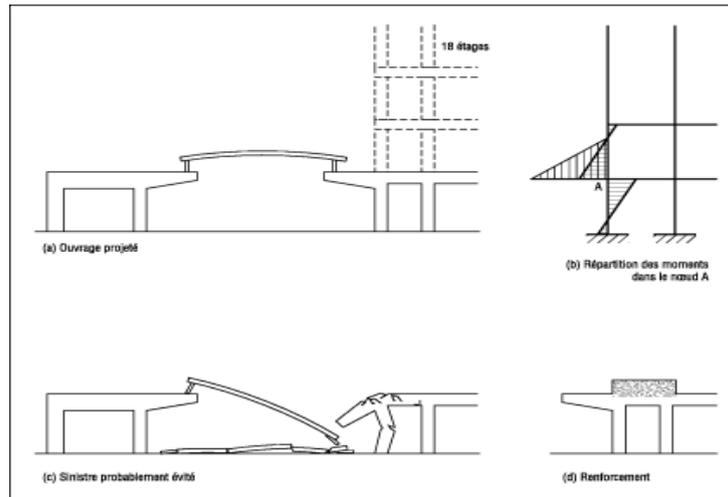


Fig. 4 – Hall d'un bâtiment d'habitation.

Les deux rez-de-chaussée étaient réalisés, ainsi que les consoles et dalles latérales du hall, quand le maître de l'ouvrage demanda que la toiture de ce hall soit immédiatement achevée, avec grands bacs et voûtes translucides, de manière à pouvoir l'occuper et y exercer son commerce.

L'architecte demanda par sécurité l'avis de l'ingénieur-conseil, auteur du projet. Ce dernier était passé sur un autre projet. Il tarda à examiner la question. Ce fut le bureau de contrôle qui attira l'attention sur le fait que l'ouvrage ainsi réalisé n'aurait pas été stable.

Causes de l'instabilité

En effet, les consoles côté bâtiment s'enracinaient dans des nœuds où devaient aboutir :

- un poteau par ses tronçons de rez-de-chaussée et de premier étage de section confortable en raison des dix-huit étages à porter ;
- et une poutre de plancher prolongeant la console.

Le moment de flexion fort important apporté par chaque console devait être repris suivant la figure 4b, à raison de 45 % dans chaque tronçon du poteau et 10 % seulement par la poutre de plancher.

En l'absence du tronçon supérieur du poteau et de sa charge, le moment dans le tronçon inférieur était majoré de 50 % et celui dans la poutre était... triplé. Les sections de béton et d'armatures n'étaient pas prévues pour cela, et l'on pouvait prédire sans grand risque de se tromper que, après une sévère déformation d'adaptation qui aurait rendu le poteau inutilisable, les bacs de toiture seraient sortis de leurs appuis (cf. Fig. 4c).

Renforcements

On renforça la poutre de plancher en dénudant les aciers supérieurs par repiquage, en disposant des cadres prolongeant vers le haut les cadres existants, et en y enfermant de

grosses barres de moment négatif. Puis on enduisit la surface de reprise d'un mortier de résine d'accrochage et on bétonna la surélévation de la poutre (cf. Fig. 4d).

Conclusion

Les changements dans un projet en cours de réalisation sont souvent source d'ennuis graves, par suite d'oublis ou négligences (cf. l'exemple 5).

Exemple 2 : fissuration d'un bâtiment

Description du désordre

Un bâtiment se fissure. Des renforcements onéreux préviennent à temps l'effondrement. Les problèmes de mitoyenneté, quand il s'agit d'accoler sur sol médiocre un bâtiment nouveau à un ancien sans provoquer de désordre dans celui-ci sous l'effet de nouveaux tassements, conduisent à des solutions originales, tantôt bonnes et tantôt mauvaises.

Ici, le projeteur avait eu l'idée d'incliner en sous-sol les poteaux porteurs du mur de doublage en file A pour qu'ils rejoignent les semelles de la file voisine (cf. Fig. 5a).

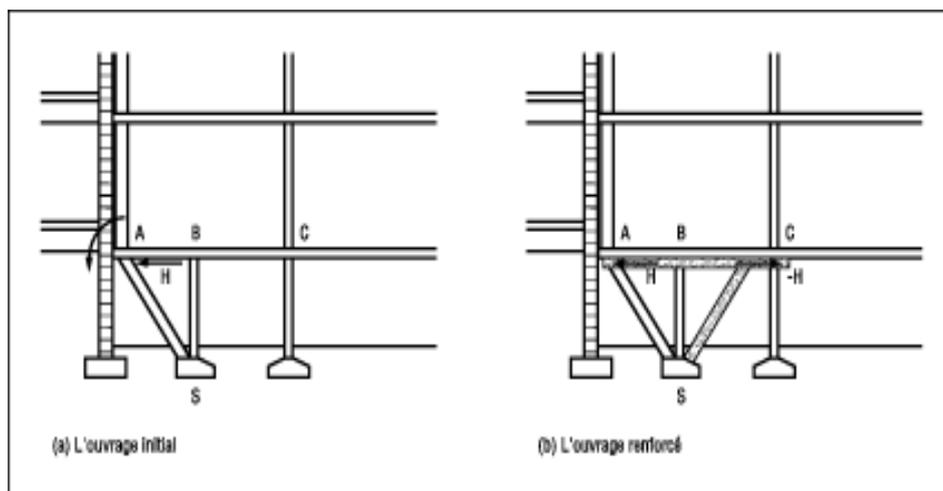


Fig. 5 – Structure d'un bâtiment.

Comme par ailleurs, les façades devaient être traitées en « murs rideaux », les planchers portaient uniquement sur les refends, en commençant par le mur de doublage de mitoyenneté.

Les travaux en étaient arrivés au plancher haut du premier étage quand le chef de chantier, qui faisait consciencieusement tous les matins le tour de ses installations, observa que le joint de tassement réservé entre l'ancien bâtiment et le nouveau n'avait plus une épaisseur régulière : au niveau du plancher haut de sous-sol, le polystyrène qui avait servi de coffrage était à moitié écrasé. Le chef de chantier alerta son entreprise, et l'examen attentif des lieux qui suivit révéla les désordres suivants : les triangles formés par les poteaux inclinés, les poteaux verticaux adjacents et la travée de plancher intermédiaire étaient en train de basculer vers le bâtiment ancien. Un bon nettoyage révéla des fissures en face supérieure du plancher haut de sous-sol au-dessus des poteaux de la file B, et d'autres transversales dans tous les poteaux du sous-sol.

La présence du bâtiment ancien qui contrebutait avait empêché un effondrement certain.
Causes

La composante horizontale H de l'effort dans les poteaux inclinés ne pouvait être reprise dans la structure du sous-sol du bâtiment nouveau. Peut-être avait-elle même provoqué un léger glissement des semelles S .

Remèdes

Il fallait réaliser une structure capable, soit de supprimer la poussée H , soit de l'équilibrer par une butée égale et opposée.

On adopta la seconde solution en ajoutant des diagonales SC mises en charge par vérin et des tirants AC .

Le maître d'ouvrage ne fut pas très satisfait, car ces adjonctions lui supprimèrent quelques places de parking en sous-sol, les largeurs prévues ne permettant plus l'ouverture des portes. Il n'usa pas de son droit de faire démolir.

Conclusion

Quand on étudie un nœud de barres non orthogonales, il est toujours utile de se rappeler le principe du « parallélogramme des forces ».

Exemple 3

Méconnaissance des efforts

On entend parfois des raisonnements étonnants tels que celui-ci : une table posée sur deux pieds inclinés tient parfaitement d'aplomb (*cf.* Fig. 6a). On le voit bien en tenant une règle entre deux doigts. Inclignons le tout (*cf.* Fig. 6b), cela doit bien sûr tenir encore, et nous avons obtenu un poteau vertical. Dessinons l'image symétrique (*cf.* Fig. 6c), et les nouveaux efforts seront symétriques. Associons-les toutes deux en arc-boutant (*cf.* Fig. 6d) et nous avons l'image d'un hangar.

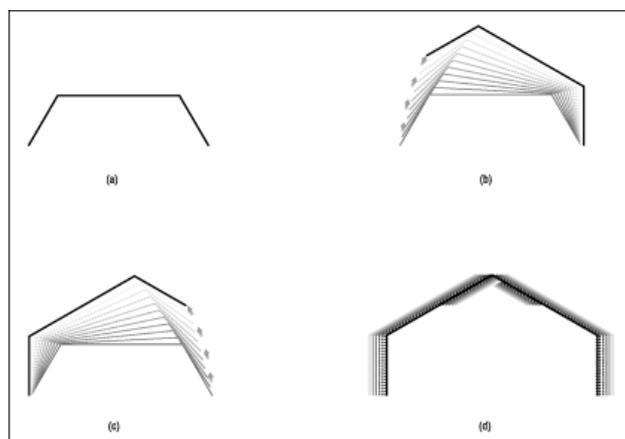


Fig. 6 – Art de démontrer qu'un arc ne pousse pas.

Un raisonnement aussi désastreux conduit à arc-bouter des voûtes les unes aux autres et à affirmer que l'ensemble est en équilibre, du moment qu'on assure l'équilibre des travées d'extrémité par un tirant (cf. Fig. 7).

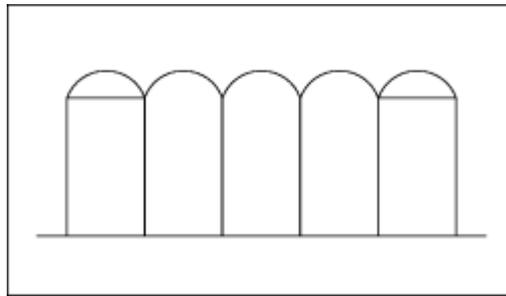


Fig. 7 – Manque de stabilité d'un ouvrage voûté.

Exemple 3 : effondrement d'un hangar agricole au décoffrage

Description du désordre

Un hangar agricole s'effondre au décoffrage. Chacun des deux versants symétriques était constitué de poutrelles en céramique armée, formant plancher incliné sur lequel devait être posée une toiture en tuiles canal. Un simple chaînage formait faîtage. Le tout reposait sur deux files de poteaux et deux pignons en briques creuses. L'ouvrage couvrait ainsi un rectangle de 20×10 m (cf. Fig. 8a et b).

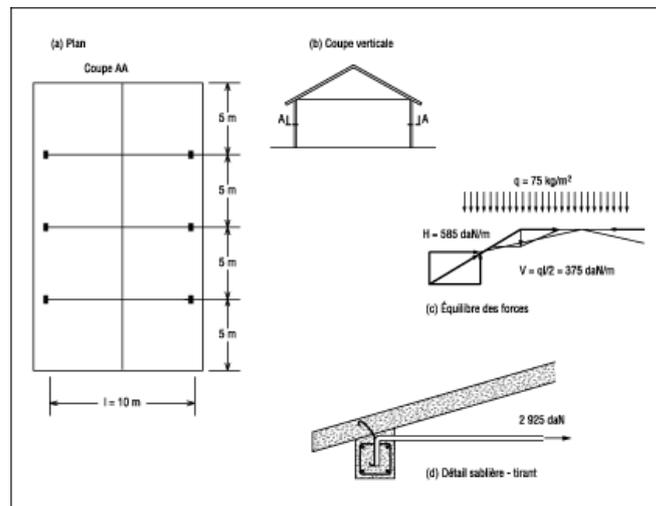


Fig. 8 – Hangar agricole.

Les tirants formés d'un Adx diamètre 25 étaient nettement insuffisants pour reprendre les poussées. De plus, ils étaient fort mal ancrés.

L'effondrement survint fort logiquement, pendant qu'on enlevait les étais qui soutenaient le faîtage.

Causes

Le hangar avait été construit dans la méconnaissance totale des règles de l'équilibre statique (cf. Fig. 8c).

Estimons à $q = 75 \text{ kg/m}^2$ la masse de la sous-toiture ainsi réalisée, constituée de deux plaques pratiquement articulées en faîtage et en sablière, de portée totale

avec : $l = 10 \text{ m}$; $f = 1,60 \text{ m}$ de flèche.

Écrivons l'équilibre des forces de gauche par rapport au faîtage C où la réaction est horizontale par raison de symétrie. La stabilité de chaque versant implique en sablière une réaction verticale :

$$V = q l / 2 = 75 \times 10 / 2 = 375 \text{ daN/m}$$

et deux réactions horizontales antagonistes, l'une en faîtage et l'autre en sablière, de :

$$H = q l^2 / 8f = 75 \times 100 / 8 \times 1,60 = 585 \text{ daN/ml.}$$

Dans des voûtes correctement réalisées, cette poussée est reprise par une poutre noyée dans la voûte, et reportée ainsi aux tirants. À supposer que la céramique armée ait pu, par « effets de voûte », reporter ces efforts sur 5 m de chaque côté, c'est $585 \times 5 = 2\,925 \text{ daN}$ que devait reprendre chaque tirant. Or la transmission des efforts n'y était pratiquement pas assurée (cf. Fig. 8d).

Et il restait encore à poser les tuiles, d'un type assez lourd. En outre, l'ouvrage devait encore pouvoir résister à la neige et au vent.

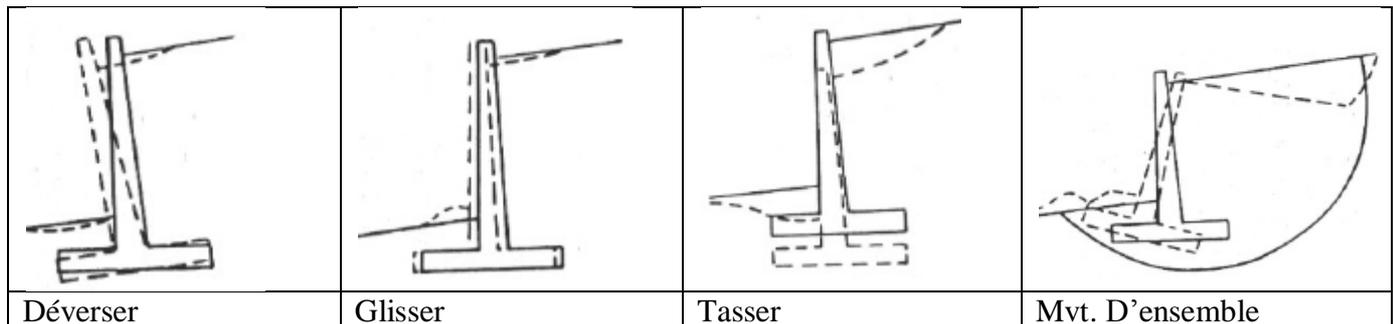
Chap. 5. PATHOLOGIE DES MURS DE SOUTÈNEMENTS.

1 Introductions.

Un mur de soutènement est un solide quasiment indéformable, souvent fragile, qui cherche son équilibre, tel un corps étranger, dans un milieu plus ou moins mou et hétérogène, qui est le sol. Il peut comme un bateau rouler, dériver et parfois craquer.

Rouler, dériver, craquer : ce sont bien trois phénomènes dont peuvent être victimes les murs de soutènement.

Etant donné leur faible amplitude, on dira : se déverser, glisser, se fissurer.



A l'équilibre, les forces en présence dans un mur de soutènement doivent concourir et l'on a :

$$\vec{T} + \vec{P} + \vec{S} = 0$$

T : action des terres à soutenir, P : poids du mur, S : réaction du sol d'assise

Les murs de soutènement se distinguent de la manière suivante :

Mur poids :

Dans ce cas, l'action du poids est prépondérante.

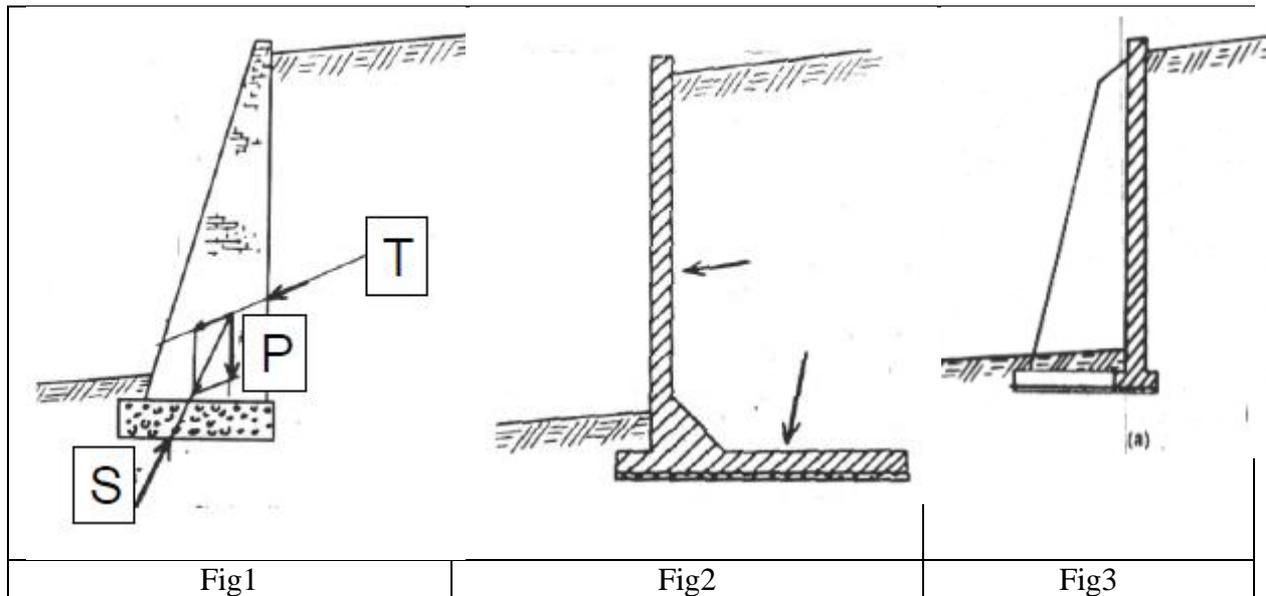
L'association $(\vec{T} + \vec{P})$ donne une résultante qui traverse la semelle et équilibre la force \vec{S} qui lui est égale et opposée. Fig1

Mur Console :

Les terres à soutenir, avec les murs consoles, agissent à la fois sur la paroi amont où elles exercent une poussée, et sur la surface de la semelle qu'elles chargent de leur poids. Fig2

Mur à Contrefort :

Les contreforts peuvent être extérieurs ou noyés. Les contreforts noyés ont leur semelle chargée par le terrain. Fig3



2 Quelques statistiques.

Si l'on classe les sinistres de murs de soutènement soit par rapport à leur fréquence, soit par rapport aux coûts des travaux de réfection engagés, on trouve les mêmes pourcentages qui sont les suivants, par ordre d'importance décroissante :

a)- Sinistres causés par l'eau :

Un sinistre sur trois est dû à une mauvaise évacuation des eaux. Le plus souvent, une absence de drainage à l'arrière permet la montée de la nappe et l'accroissement important de la poussée qui en découle. Les dommages se montant à 35% du coût total des sinistres des murs de soutènement.

C'est dire l'importance du soin à apporter au bon fonctionnement du dispositif d'assèchement : drain et son exutoire ou simples barbacanes.

b)- Sinistres causés par un mauvais dimensionnement :

Un sinistre sur quatre (et 25% des coûts) est dû à une mauvaise appréciation des efforts en présence (poussées et réactions du sol) ou sous modification ultérieure de ces efforts.

La manifestation la plus courante et la plus coûteuse est un déversement excessif, voire un renversement complet du mur.

Un glissement excessif présente beaucoup moins de gravité s'il suffit de stopper la progression du mur et si on peut l'accepter sans trop de gêne à sa nouvelle position.

Un excès de tassement ou un glissement doivent être maîtrisés d'urgence en renforçant le terrain ou en le soulageant de ses surcharges.

c)- Sinistres dans l'ouvrage :

Un sinistre sur quatre (et encore 25% des coûts) est dû aux fautes de conception ou d'exécution du mur :

- Rupture à la jonction entre la paroi verticale et la semelle,
- Fissuration de la poutre de couronnement quand elle existe,
- Décrochement entre paroi et contrefort.

Ce sont là des sinistres spécifiques à la maçonnerie ou au béton armé.

d)- Sinistres dus à une faute dans le déroulement des travaux : 10 à 15% sont des sinistres causés par des imprudences dans la conduite du chantier :

- Fouille taillée trop raide et qui s'écroule,
- Remblaiement prématuré quand le béton ou les joints de maçonnerie n'ont pas encore durci,
- Compactage excessif du remblai,
- Chocs d'engins ou de matériels, ...

e)- Causes diverses :

Les quelques 5% de sinistres restants sont dus à des causes diverses :

- Eaux agressives : les eaux séléniteuses sont fréquentes en présence de certaines couches de sol (sols gypseux ou encore urbaine),
- Détérioration du parement extérieur du mur, par suite de l'humidité ambiante,
- Détérioration des joints de dilatation,
- Fissurations mineures, ...

3 Evolution des équilibres en cours des travaux.

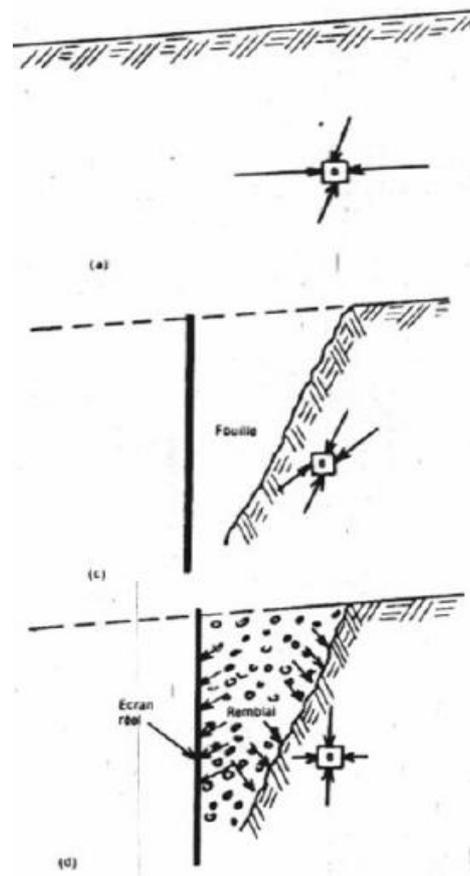
Pour construire un mur de soutènement, on doit le plus souvent effectuer dans le terrain une opération qui rompt temporairement son équilibre : c'est l'ouverture de la fouille.

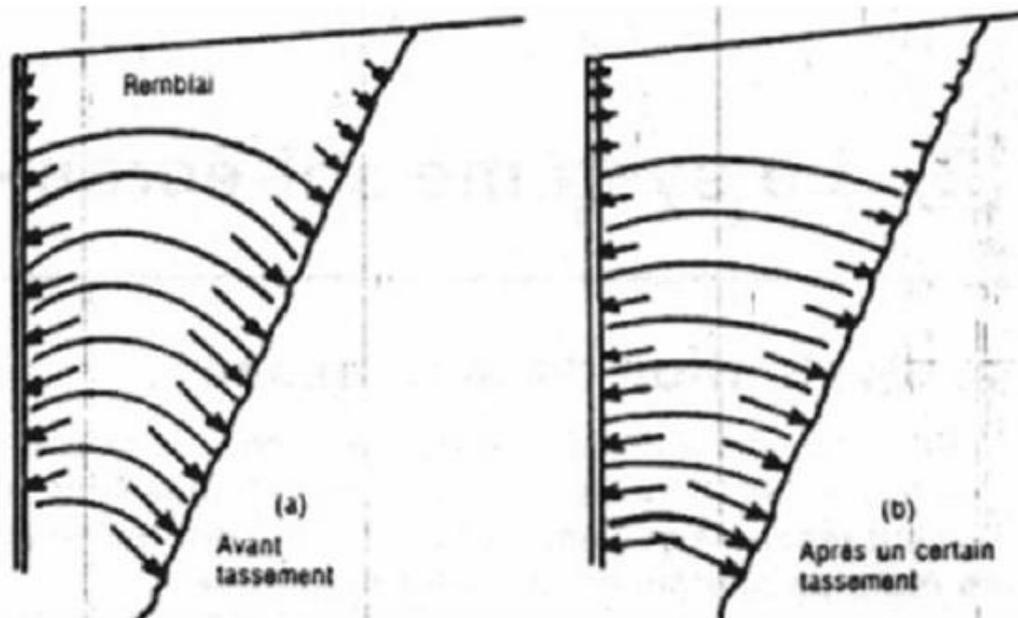
On oblige, en effet les pressions dans le sol à s'annuler le long du parement de la fouille et à s'amenuiser dans son voisinage immédiat.

Le mur une fois réalisé, on remblaye derrière, cherchant ainsi à reconstituer le sol primitif. En réalité, on déverse des matériaux et on se garde de trop les compacter pour ne pas endommager le mur encore jeune.

Ce remblai va se trouver coincer entre le mur et le terrain en place. Il va d'abord s'arc-bouter sur les deux parois et exercer une pression oblique, à la limite de l'angle maximal de frottement. Comme le parement du mur est généralement rugueux, cet angle sera proche de l'angle de frottement interne du sol ϕ .

- l'équilibre du sol en place va s'améliorer. Néanmoins, les conditions d'équilibre vont évoluer dans le sens d'une aggravation des poussées. En effet, le remblai a tendance à tasser et les voûtes d'arc-boutement s'aplatissent. L'angle des poussées sur le mur diminue, tandis que leur intensité augmente et la résultante descend. Ce mouvement est plutôt *déstabilisateur*.





Exemple 1 :

Un mur de parement s'effondre. Un mort et deux blessés graves.

Derrière un immeuble construit en site montagneux, une paroi rocheuse fut jugée inesthétique et l'on décida de la masquer par un mur de moellons de largeur 60 cm à sa base et 45 cm au sommet pour une hauteur de 5 m et une longueur d'environ 20 m.

Entre le mur et la paroi rocheuse subsiste un vide de un à deux mètres de large que l'on combla à l'aide d'un remblai. On avait cru qu'une faible quantité de remblai produisait une faible poussée. On se mit donc à combler l'arrière du mur d'un bon sable granitique, tandis que devant, les travaux s'achevaient par un rejointement soigné de la maçonnerie, en descendant, au

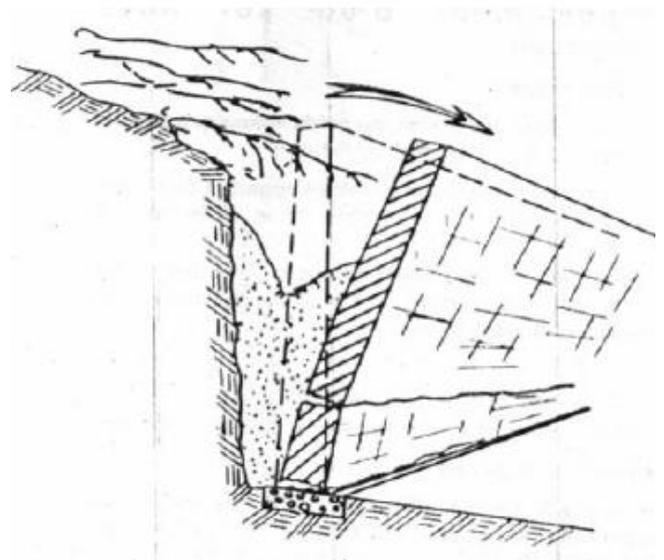
Causes : des tirs de mines journaliers, dans une carrière voisine en exploitation, provoquaient, par les vibrations qu'ils engendraient, un tassement progressif du sable et par suite une aggravation de la poussée T.

Les travaux de rejointement étaient en cours lorsque, sous l'effet d'une dernière onde de vibration, le mur s'effondra sur les ouvriers.

Si le terrain recule de quelques millimètre seulement, il permet une décompression du terrain, et par conséquent une réduction des poussées. L'effet est *stabilisateur*.

Si la largeur de largeur est importante, le mouvement de recul peut atteindre sans danger

fur et à mesure que l'on démontait l'échafaudage.



plusieurs centièmes de la hauteur : le remblai remplit le supplément de volume en tassant de nouveau et continue à transmettre un effort de poussée entre le sol et la paroi du mur.

Ce mouvement de remblai, dans le cas où sa largeur est faible, peut être suivie de la zone voisine du terrain en place. Ainsi, un léger recul du mur réduit la poussée (effet *stabilisateur*), mais cela tant qu'il n'y a pas attrition du terrain en place. Au-delà, l'effet est *déstabilisateur*.



Aussi, un léger déversement comme le recul de faible importance, présente un effet *stabilisateur* car il atténue les poussées vers le haut et en abaisse la résultante.

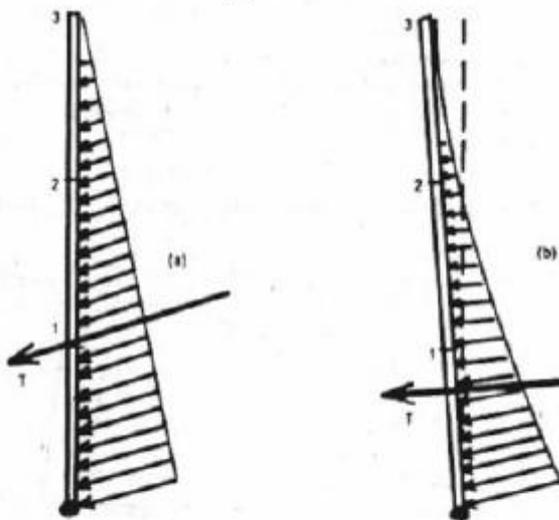
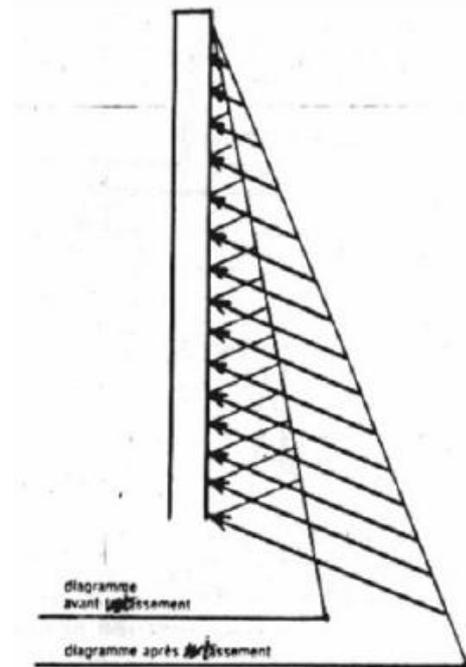


Fig. 9. — Effet sur les poussées d'un déversement du mur.
 (a) Avant. Répartition supposée triangulaire
 (b) Après. De bas en haut, les poussées décroissent plus vite et leur orientation se redresse.

Le tassement de l'assise du mur est un mouvement *déstabilisateur*. En effet, le terrain retenu va tendre à s'opposer au mouvement et de ce fait son angle de poussée prendra une valeur négative et l'intensité des forces augmente ; il s'en suit une aggravation des efforts de déversement.



En conclusion, on voit que les tassements du remblai et du sol d'assise tendent à détériorer la stabilité. En revanche, un léger recul ou déversement du mur tend à l'améliorer. En fait, un bon sol d'assise et un bon remblai sont des conditions essentielles de stabilité des murs de soutènement.

4. La recherche de la sécurité.

La vérification se ramène à rechercher l'intensité et le point d'application de la réaction S du sol sous la semelle. Cette vérification prend trois aspects selon la nature du terrain porteur :

- Si le sol est rocheux, il est inutile de vérifier :
 - ✓ l'intensité de S à l'égard de la force portante,
 - ✓ le risque de trouver S hors de la semelle vers l'arrière. On vérifiera que S n'atteint pas l'arrête avant (point O) en donnant aux actions et aux points d'application des efforts des valeurs raisonnablement pessimistes, et en multipliant la poussée T par un coefficient choisi entre 1.2 et 1.5 ;
- en terrain ordinaire, on fait deux calculs :
 - ✓ un premier calcul avec des hypothèses pessimistes et une poussée de $1.5 \times T$. Il doit conduire à une position de S dans le 1/3 central et les contraintes maximales doivent rester acceptables,
 - ✓ un second calcul avec des hypothèses raisonnablement optimistes. S va se déplacer vers l'arrière. Il doit demeurer dans le 1/3 central et les contraintes maximales doivent rester acceptables,
- c'est en terrain très compressible, que la vérification est la plus difficile car il ne faudrait être ni optimiste ni pessimiste mais exact dans les hypothèses conduisant à vérifier que S est centré. Ce qui est impossible. Dans ce cas, on se contente de vérifier,

avec les deux types d'hypothèses, du 3.4.ii ci-dessus, que par exemple S ne s'éloigne pas du milieu de la semelle de plus du $1/12$ de la largeur.

En conclusion, on peut écrire que la sécurité ne réside pas dans des majorations arbitraires de composantes de forces, mais dans un choix prudent, voire pessimiste de ces forces.

5. Désordres dus à l'eau.

La présence de l'eau provoque la dégradation des qualités mécaniques du sol (c et ϕ) d'où il résulte une aggravation de la poussée T .

- sous la semelle, la détérioration de c produit à la fois : une réduction de la force portante et par la suite, une augmentation des tassements et un risque accru de déversement,
- une réduction de la capacité de réaction horizontale $SH_c + SH_\phi$ et un risque accru de glissement.

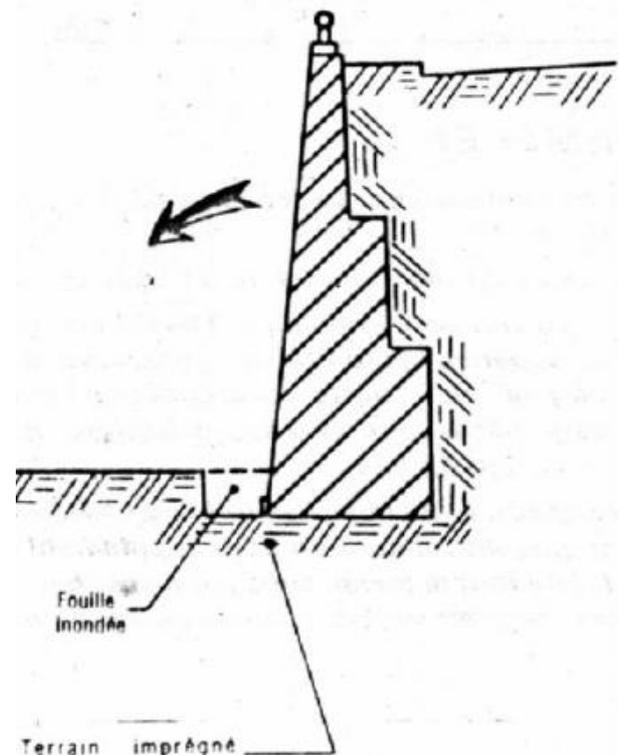
Exemple 2 :

Un mur de soutènement bordant une chaussée s'écroule lors de l'exécution de travaux à son pied. Ce sinistre causa des dégâts extrêmement importants.

On avait projeté la construction, contre ce mur, d'un immeuble qui devait être desservi par la chaussée supérieure. Les fondations de la façade allaient donc être réalisés en bordure immédiate du pied du mur. On avait ouvert la fouille et on s'appêtait à couler la semelle quand l'effondrement survint.

Causes : de grosses pluies avaient inondé la fouille et détrempé le terrain voisin et particulièrement la couche d'assise du pied du mur de soutènement. Le terrain était sablo-graveleux. L'humidité détériora ses qualités portantes. Le pied commença alors à tasser ce qui amorça un déversement du mur à cet endroit ; puis le mouvement

s'accéléra jusqu'à l'éboulement complet.



Le terrain saturé d'eau se trouve allégé par la poussée d'Archimède de sorte que son poids volumique est largement diminué (poids volumique déjaugé) par conséquent la poussée sur le mur se trouve réduite. Cependant il s'ajoute la pression de l'eau interstitielle de sorte que la pression finale sur le mur est fortement majorée.

Il faut donc empêcher l'eau de s'accumuler à l'arrière et au pied du mur. Pour cela :

- Le terrain à cet endroit, doit former drain vertical et, par conséquent, être très perméable. Il faut proscrire les terres argileuses qui ont pu être extraites de la fouille, et les remplacer par un sable grossier mélangé ou non de gravier,

- Si l'on décide de réaliser au bas du mur un drain horizontal, ce drain aura évidemment un exutoire, lequel ne devra jamais être engorgé. Or les écoulements entraînent toujours les particules fines, qui vont se retrouver à l'exutoire. Elles devront pouvoir être purgées de temps à autre pour ne pas risquer, en s'accumulant, de colmater le débouché,
- Si l'on décide de faire évacuer l'eau à travers le mur, par des barbacanes, les plus basses d'entre elles ne doivent pas être trop éloignées du pied du mur, de manière à éviter une accumulation d'eau jusqu'à leur niveau,
- Les barbacanes ne doivent surtout pas être bouchées par souci d'esthétique, ou se boucher d'elles mêmes par dépôt de fines particules ou par la végétation,
- L'eau sortant des barbacanes ne doit pas aller tremper le sol d'assise. Elle doit être recueillie sur l'avant de la semelle par un caniveau et évacuée,

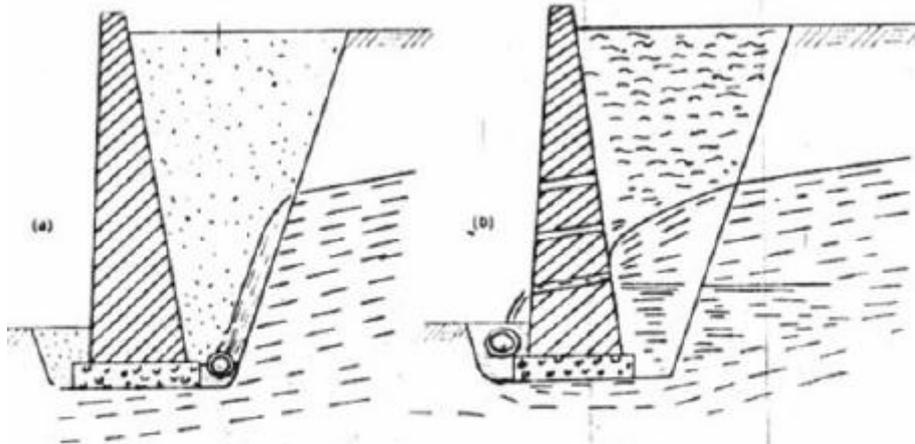
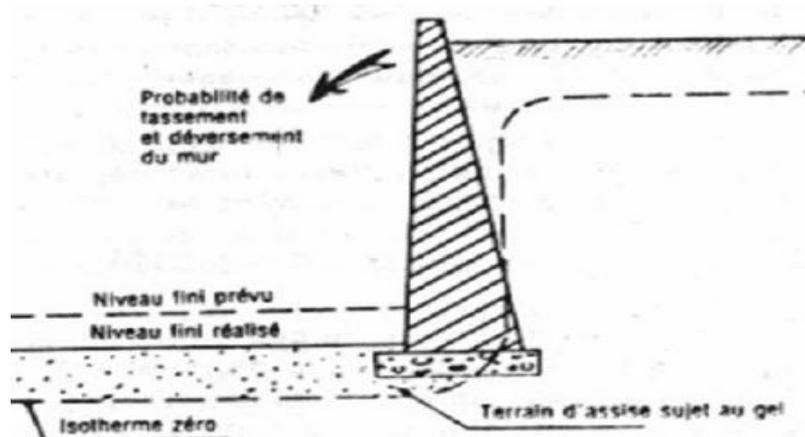


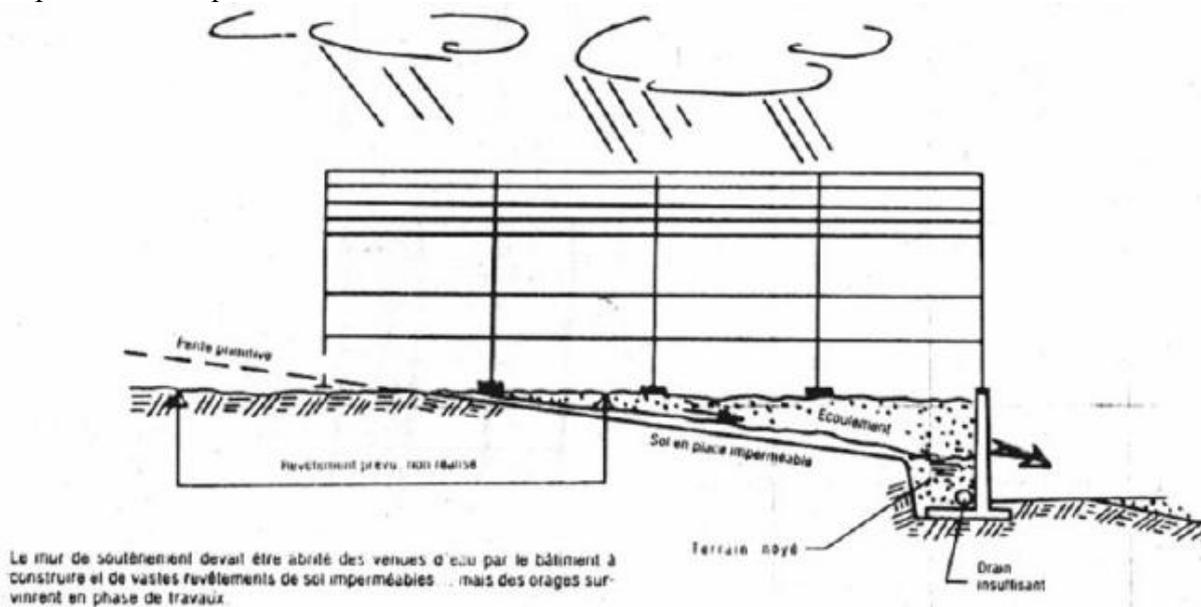
Fig. 23. — Drainages pour mur de soutènement. Les pointillés figurent les lignes de courant.
 (a) Drainage arrière avec remblai très perméable. Solution idéale.
 (b) Barbacanes et drainage avant + remblai médiocre. Le sol arrière est noyé jusqu'aux premières barbacanes.

- Si l'on réalise un trou ou une tranchée au pied du mur, il convient d'empêcher l'eau de pluie de s'y accumuler, pour éviter qu'en s'infiltrant, elle ne trempe une partie du sol d'assise (cas de l'exemple 2),
- Enfin, il faut réserver et maintenir la profondeur d'enfouissement du pied avant la semelle, pour préserver le sol porteur contre toute atteinte au gel car la garde au gel du sol d'assise est une condition essentielle de la stabilité du mur.



Exemple 3 :

A la suite d'orages abondants, un mur de soutènement s'écroule et entraîne dans sa chute la charpente métallique d'un atelier.



L'ossature métallique d'un bâtiment venait d'être achevée. Le terrain naturel était en pente.

On l'avait nivelé et un pan de la charpente s'appuyait en crête d'un mur de soutènement. Le sol paraissait sain et puis, il allait être protégé de la pluie par de vastes revêtements de sol imperméables. Les venues d'eau paraissent donc improbables.

On n'avait pas alors équipé le mur de barbacanes ; par contre un drain avait été posé à l'arrière du mur avec un exutoire d'un débit modeste.

La charpente métallique venait d'être montée quand à la suite de pluies torrentielles, le mur bascula, suivi par les poteaux qu'il supportait, et par la charpente entière qui se retrouva au sol, complètement détruite.

Causes : peut être la conception du mur était-elle valable pour la phase finale de l'ouvrage. Il fallait pour cela que, non seulement la pluie tombant sur l'atelier soit canalisée vers les égouts, mais aussi qu'il n'y ait pas d'écoulements souterrains dangereux sur ce terrain en pente.

Le sinistre survint durant la phase des travaux la plus exposée : ni la couverture, ni les dallages et revêtements de chaussée n'étaient réalisés, et la charge stabilisatrice du mur qu'allait apporter la façade de l'atelier n'était pas encore en place.

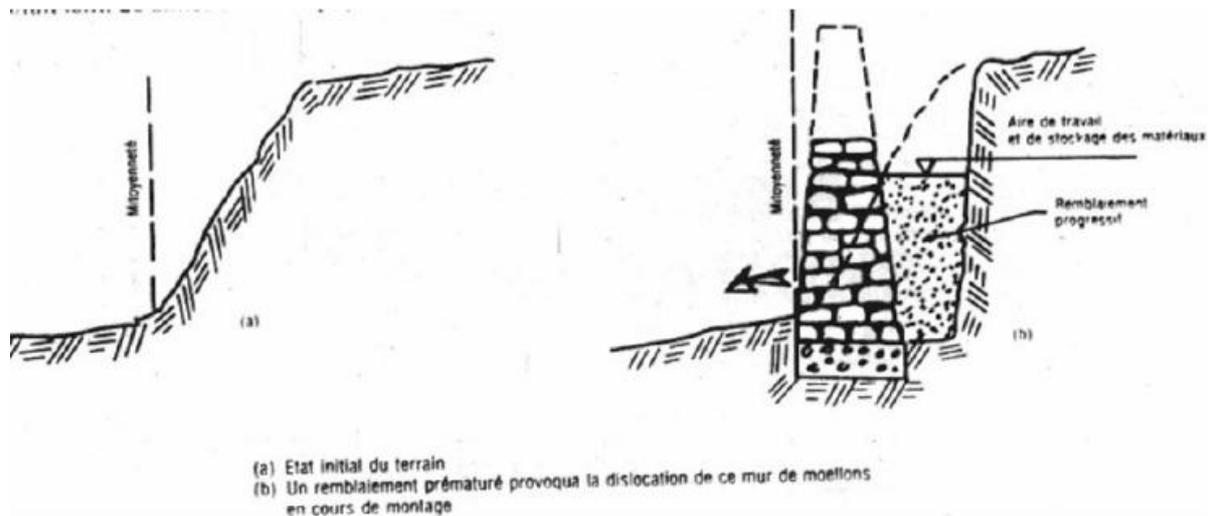
Ainsi le drain s'avéra insuffisant pour l'afflux orageux, le niveau monta et le mur, dans cet état, ne put résister à la poussée élevée du terrain noyé.

Exemple 4 :

Un mur de soutènement se renversa en cours de construction ; un mort.

Ce mur se construisait en limite de deux propriétés. Les deux voisins ne s'entendaient pas. Celui qui occupait le fond supérieur et qui faisait construire le mur ne pouvait obtenir de l'autre l'autorisation d'installer l'échafaudage nécessaire et d'approvisionner les matériaux sur les terrains bas.

L'entrepreneur astucieux, expliquait qu'il pourrait faire le travail, moyennant un supplément de prix, sans pénétrer chez le voisin récalcitrant.



Le sol était une bonne argile, capable d'être taillée en talus très raide.

L'entrepreneur creusa sa fouille, coula la semelle et commença à monter les lits successifs du mur en moellons.

Alors, il s'avisait de ne pas installer l'échafaudage dans l'espace réduit limité par le mur et le talus : puisque cet espace devait être remblayé, autant le faire tout de suite, par couches successives, de façon à toujours pouvoir maçonner à bonne hauteur.

Le mur en était aux $2/3$ de sa hauteur quand il se disloqua pendant une opération de remblaiement. Les décombres tombèrent évidemment chez le voisin, qui se trouve bien plus gêné par les déblaiements, nettoyage, visites d'experts et d'assureurs, que s'il avait autorisé le cours normal des travaux.

Causes : le remblai poussait sur une maçonnerie aux joints encore frais. C'était l'hiver et le durcissement du mortier était lent.

Le sinistre s'amorça probablement par des glissements au niveau de certains joints entre moellons, qui en entraînaient d'autres par réaction en chaîne jusqu'à dislocation.

Moralité : on ne doit jamais remblayer derrière un soutènement avant qu'il ne soit capable de résister aux poussées du remblai.

Le sol possède rarement des caractéristiques mécaniques identiques tout au long d'un même mur de soutènement : ici la poussée est un peu plus forte, le sol d'assise un peu plus mou qu'ailleurs, et la mise en charge tend à provoquer d'avantage de glissements, de déversements et de tassements.

Mais le mur est un ouvrage rapide. Il va réagir suivant sa raideur dans le sens d'une égalisation des déplacements. Des couples de flexion, de torsion, etc. vont s'y développer pour transporter une partie des plus fortes poussées vers les zones où le terrain d'assise est le

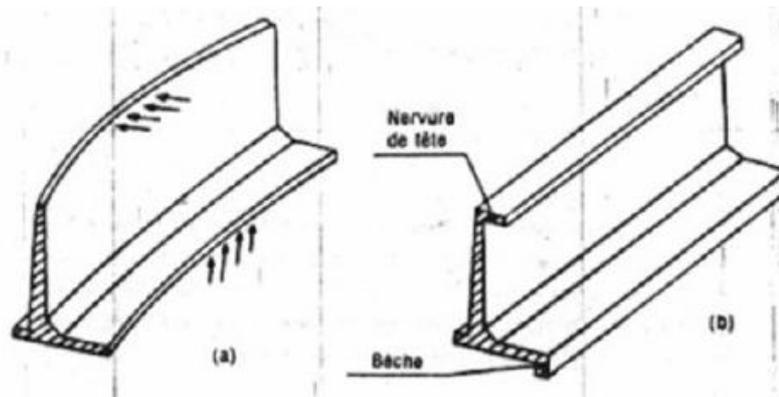
plus raide.

Ces effets, parfois importants doivent être pris en compte dans le dimensionnement du soutènement.

De plus, les effets de charges roulantes sont particulièrement intenses près de la crête du mur. Une nervure raidisseuse en tête, une bêche en arrière, empêcheront la crête du mur de festonner.

Les déformations indiquées en (a) par les flèches; dues aux hétérogénéités du sol, auraient été combattues par la nervure de tête et la bêche de pied de l'image (b).

Les déformations indiquées en (a) par les flèches; dues aux hétérogénéités du sol, auraient été combattues par la nervure de tête et la bêche de pied de l'image (b).



Exemple 5 :

Un mur s'effondre en bordure d'un parking en cours d'aménagement.

Afin de désencombrer un quartier commerçant dans une grande ville, où la circulation automobile était intense, on projeta d'ouvrir un parking sur une place précédemment réservée aux promeneurs.

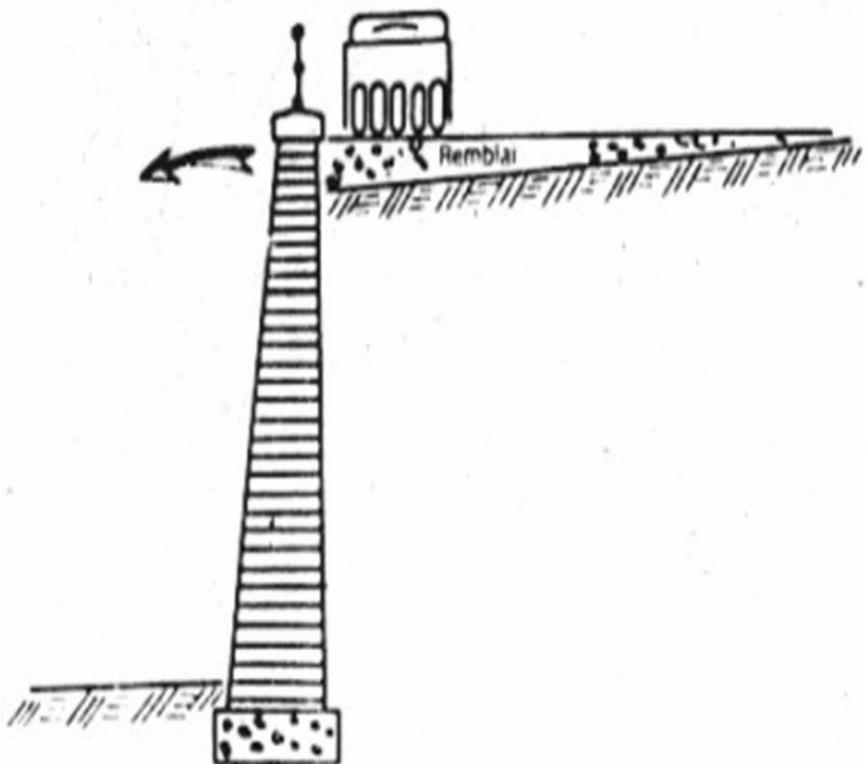
Cette place était limitée d'un côté par un mur de soutènement en maçonnerie d'environ 5 mètres de haut. En préparation du revêtement routier, un remblai sablo-graveleux venait d'être épandu sur le sol et on le compactait soigneusement au rouleau quand l'accident survint. Le mur céda près de l'engin, lequel fût entraîné dans l'éboulement. Son conducteur fut sauvé par miracle.

Causes :

L'équilibre initial du mur n'était assuré qu'avec un faible coefficient de sécurité. Les travaux pour le parking eurent simultanément trois effets aggravants :

- la surcharge du remblai,
- la détérioration de l'angle δ de frottement du sol sur le mur, par suite de l'effet de compactage, tout au moins, en partie haute, surtout la surcharge roulante de l'engin qui, en circulant, provoquait des poussées locales très fortes, à travers le terrain, sur le mur. La maçonnerie, non chaînée en tête, reportait

Moralité : en prévision des poussées localisées intenses exercées par les charges roulantes, il est bon de munir la crête des murs de soutènement bordant des aires de circulation, d'une poutre raidisseuse largement dimensionnée.



Chap. 6. PATHOLOGIE DES MACONNERIES.

1. Introduction.

Une maçonnerie est un empilage de blocs (pierre, terre cuite, béton, etc.), bien liés entre eux par du mortier et souvent couverte d'un enduit. Ainsi, on marie des matériaux de natures différentes qui se comportent de manière différente et l'on souhaite en faire un assemblage homogène qui vieillira durablement.

Cet art de construire, le plus ancien qui soit, approprié à la main d'œuvre artisanale a traversé plusieurs siècles grâce à l'utilisation de matériaux lourds et inertes. Il n'en n'est plus de même aujourd'hui :

- Les blocs creux sont légers mais de faible résistance,
- Les blocs de béton sont poreux et font du retrait,
- Les pierres sont mises en œuvre dès leur extraction, encore humides,
- Les briques creuses gonflent,
- Les joints 'grillent' au contact des blocs très absorbants,
- Les enduits font trop de retrait,

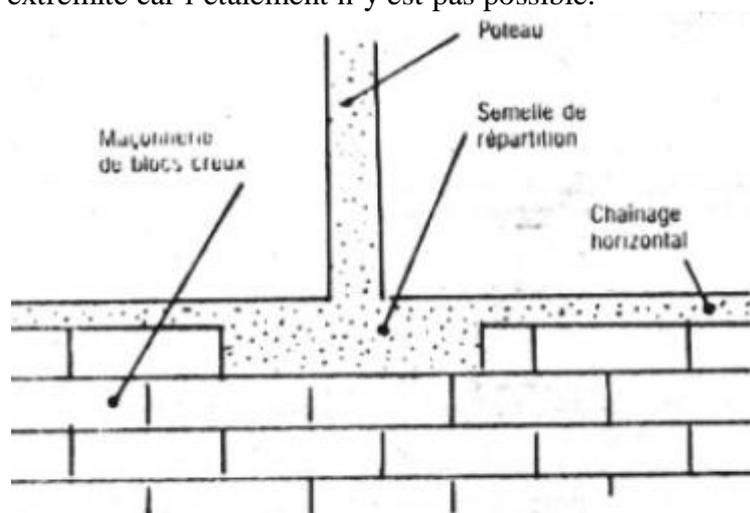
2. Erreurs de conception et de choix des matériaux

a- Résistance insuffisante aux efforts :

La maçonnerie –ensemble hétérogène- doit résister, suivant sa fonction, à des charges verticales (planchers, murs du dessus, toiture), à des poussées horizontales (vent, terre, matériaux stockés) et à des efforts tangents (contreventement).

i., Charges verticales :

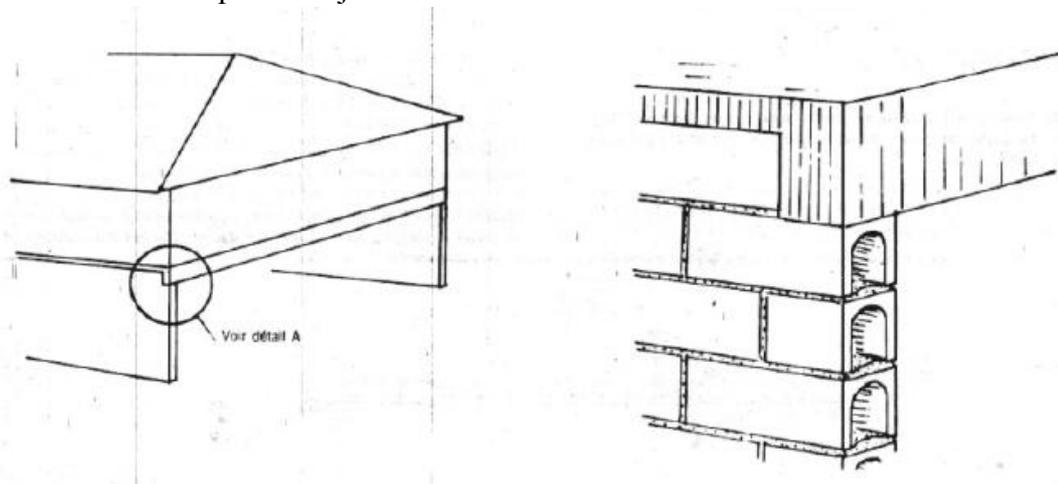
Une maçonnerie en blocs creux n'est pas apte à servir d'appui à une grosse poutre, surtout en extrémité car l'étalement n'y est pas possible.



La charge d'un poteau sur une maçonnerie de faible résistance portante doit être étalée par une semelle.

Exemple 1 :

Un bâtiment scolaire s'effondre partiellement en cours de construction par écrasement de la maçonnerie. S'agissant d'un bâtiment à deux niveaux et 9,0 mètres de large, prolongé d'un autre bâtiment à Rez-de-chaussée de même largeur, l'architecte avait prévu un joint de retrait -tassement- entre les deux édifices.



Le plancher d'étage portait de façade à façade et une poutre plus raide est contiguë au joint, du côté des deux niveaux, pour porter le mur pignon de l'étage et la croupe de la toiture.

Tous les murs étaient en blocs creux de béton de 20 cm d'épaisseur. La toiture n'était même pas encore posée quand le pignon s'effondra avec sa poutre porteuse, entraîna dans sa chute une partie du plancher et des façades. Par bonheur, L'accident survint la nuit et ne fit aucune victime.

Causes : la charge concentrée appliquée par les deux extrémités de la poutre, directement sur les parpaings, y avait développé des contraintes atteignant la valeur de rupture.

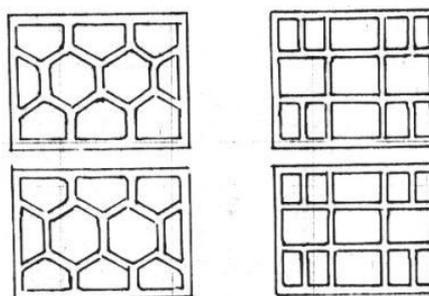
Moralité: Il est dangereux d'appliquer une charge concentrée sur une maçonnerie formée d'éléments creux peu résistants

On doit dans ce cas :

- Soit interposer une semelle de répartition si la maçonnerie règne de part et d'autre,
- Soit réaliser un poteau qui reportera la charge plus bas, sur un élément capable de la supporter sans risque (poutre, dalle, fondation).

A cet effet, le coefficient de sécurité de la maçonnerie doit être d'autant plus élevé que la structure de la maçonnerie est moins massive, car la présence de blocs défectueux est grave de conséquences.

Aussi, certaines briques creuses, spécialement étudiées pour améliorer l'isolation thermique sont à proscrire pour toute fonction porteuse.



Briques creuses à ne pas employer en murs porteurs :
(a) brique à voiles obliques,
(b) brique à voiles verticaux discontinus.

ii., Charges horizontales :

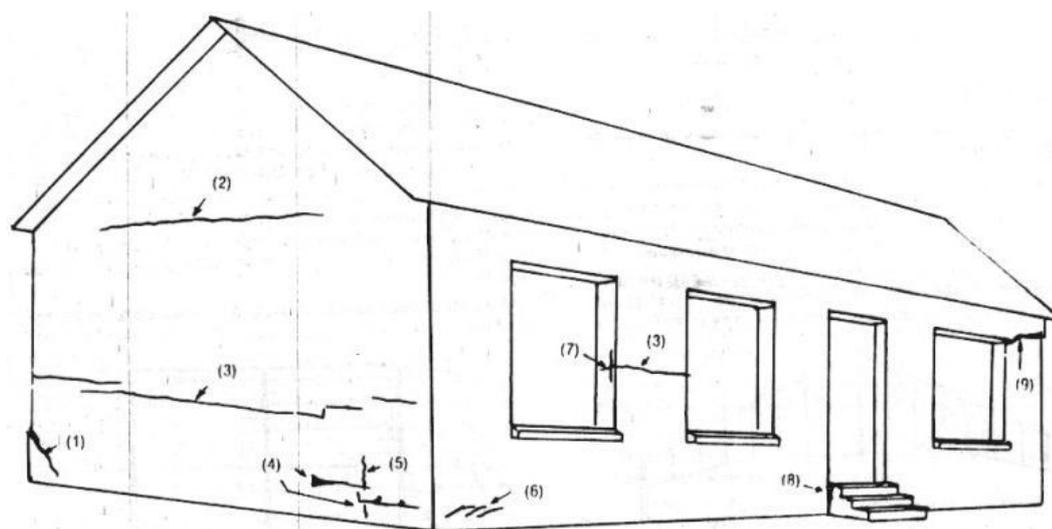
Si les piles en maçonnerie n'ont qu'une résistance faible, les murs en revanche résistent mieux aux poussées horizontales modérées. Les façades et pignons constituent de bons contreventements. Cependant, si l'effort horizontal est intense et s'exerce sur un élément faible (trumeau), il est souvent cause de fissuration.

Exemple 2 :

Un pavillon en briques creuses se fissure abondamment.

Les causes en sont multiples.

Cet exemple met en exergue des cas réels de fissures assez caractéristiques.



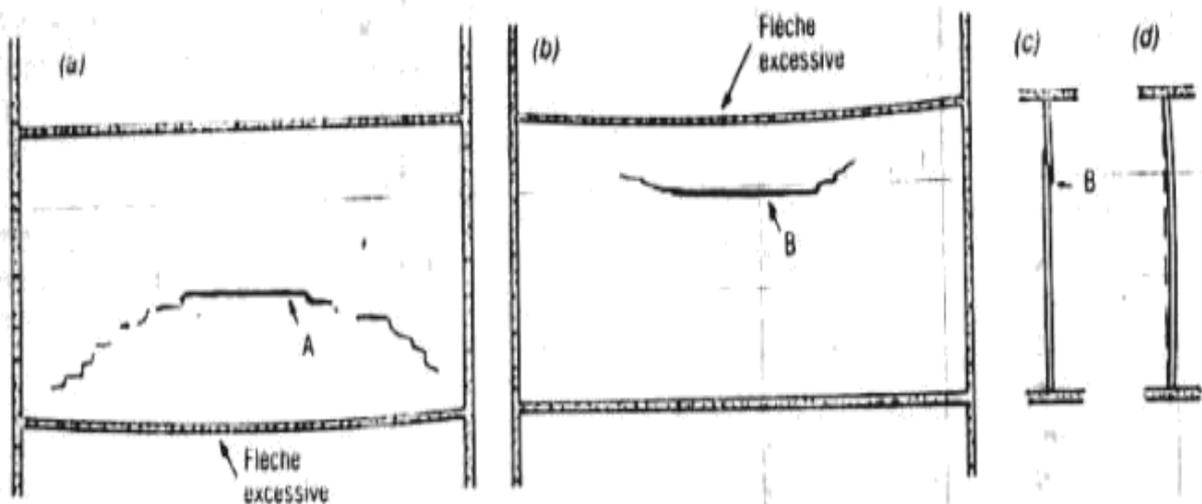
- (1) Tassement de fondation.
- (2) Mouvement différentiel du plancher des combles (chaud) et de la charpente (froide).
- (3) Reprises de maçonnerie mal faites.
- (4) Mauvaise qualité du jointolement qui maintient mal l'enduit.
- (5) Coup de sabre dû à des briquettes fissurées verticalement.
- (6) Fissures de cisaillement entre briques gonflantes et plancher en béton coulé liquide, ayant fait beaucoup de retrait.
- (7) Fissures en tableau de fenêtre dues à la déformation de briques creuses ordinaires et au mauvais bourrage des vides avant enduisage.
- (8) Décollement de l'embranchement fondé sur remblai.
- (9) Poussée d'un arêtier de croupe de toiture, le mur étant mal chaîné en tête.

Les poussées horizontales perpendiculaires au plan du mur (vent) sont particulièrement dangereuses si le mur n'est pas suffisamment lourd, chargé et contreventé.

iii., Liaisons dangereuses :

Les cloisons montées sur une structure en béton armé peuvent mal supporter les étreintes de ce dernier dues au retrait et au fluage. C'est ainsi que :

- Une dalle qui fléchit au plafond prend appui sur la cloison sou-jacente et risque de l'écraser, soit par cisaillement des briquettes, soit par flambement d'ensemble. Le phénomène est aggravé si les briques, de leur côté, sont gonflantes,
- Le retrait du béton, couplé à un gonflement anormal de la terre cuite, peut provoquer des éclatements locaux du fait des mouvements différentiels.



Effet de la flexion des dalles de planchers sur une cloison plâtrière en briques creuses :

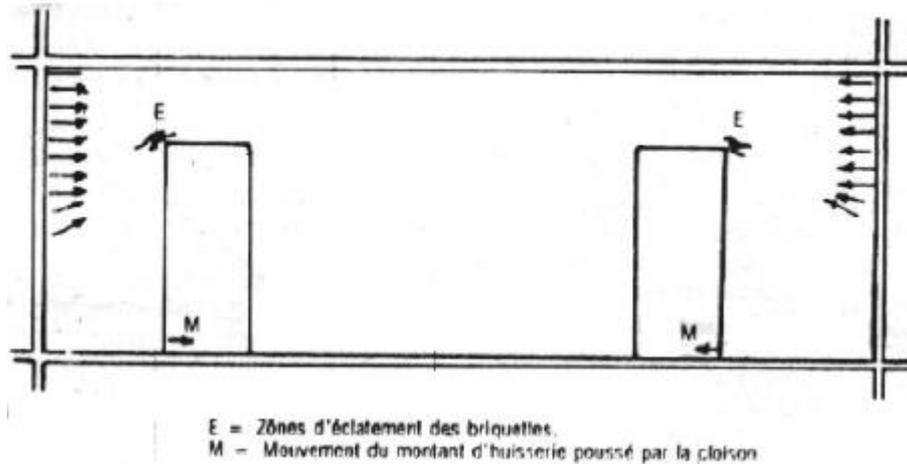
(a et b) vue de face et aspect des fissures, (c) coupe transversale :

A. fissure en voûte par affaissement de la base,
 B. fissure de cisaillement par écrasement sous la charge de la dalle supérieure ;

(d) ici, la cloison subit un bombement et menace d'éclater.

Exemple 3 :

Dans un ensemble d'immeubles, certaines cloisons se fissurent aux angles des portes.



Dans certaines travées de ces immeubles (RDC + 4), les cloisons parallèles aux façades présentaient le même désordre, du reste peu inquiétant mais quasi systématique : les briquettes éclataient à l'angle supérieur des portes, côté refends en béton armé.

L'ossature était mixte, a refends et poteaux porteurs et les refends étaient distants d'une dizaine de mètres.

Les cloisons fissurées filaient de refend à refend et étaient percées de deux ou trois portes.

Causes : l'effet conjugué du retrait du béton armé et du gonflement élevé de la brique mettait la cloison en compression horizontale dans son plan.

Cette compression est irrégulière : totale au dessus des linteaux de porte et nulle sur l'élévation des portes car ces ouvertures rendaient la déformation libre.

Les angles externes de porte subissaient parfois :

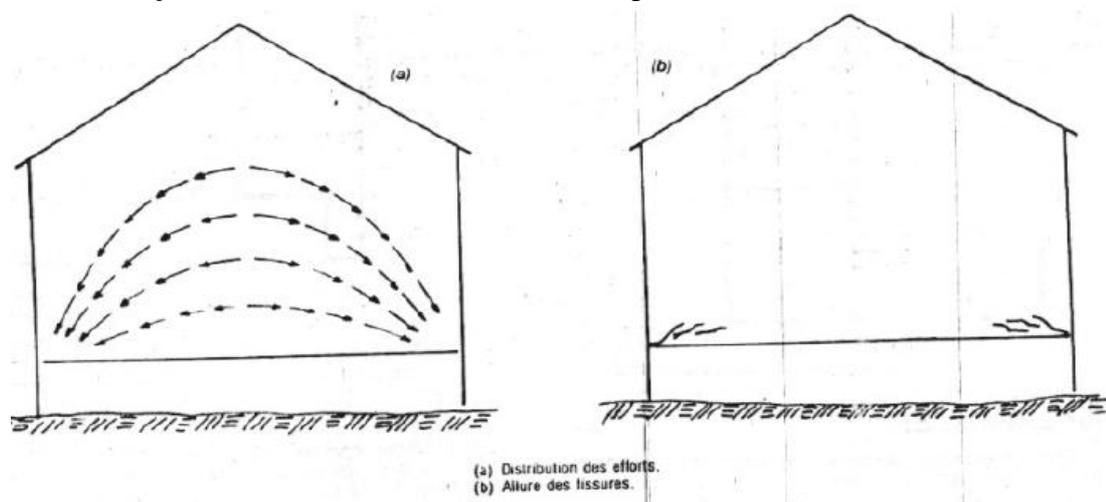
- Une concentration des contraintes horizontales,
- Des contraintes verticales complémentaires dues à la légère rotation de la tête du mur,
- Les éclatements apparaissaient sous la forme de boursou-flures dans les briquettes et l'enduit.

Moralité : il est dangereux d'associer deux structures aux comportements opposés : la plus forte abîmera la plus faible.

Exemple 4 :

Des pavillons en maçonnerie de briques creuses, construits sur sous-sol en béton, se fissurent dans les angles, près du plancher bas.

Dans plusieurs lotissements construits à la même époque que, la fissuration était systématique, plus ou moins prononcée, mais elle avait toujours la même allure : fissures obliques, montantes en s'éloignant de l'angle, situées en pignon et parfois aussi en façade, immédiatement au dessus du plancher bas de Rez de chaussée.



Causes :

les fissures en dents de scie sont caractéristiques de cisaillement. Des contraintes se développaient à la fois au niveau du plancher et des murs du sous-sol en béton, qui faisaient leur retrait et la maçonnerie dont les briques de mauvaise qualité gonflaient. Ces contraintes sont de deux natures :

- Traction sur le béton, qui les supporte sans peine grâce à ses armatures,
- Compression dans la brique creuse.

Ces contraintes se diffusent dans les murs pignons, et se concentrent obliquement en angle sous la forme d'une voûte. Cet effet provoque des contraintes tangentielles dans les briques d'angle qui ne pouvaient les supporter. Pourquoi les façades étaient-elles fissurées ?

Probablement parce que le plancher formé de poutrelles transversales et d'une dalle mince sur entrevous, était moins raide dans ce sens.

3. Mauvaise qualité des matériaux

Les qualités exigées des matériaux à mettre en œuvre dans une maçonnerie sont :

- Une bonne stabilité dimensionnelle,
- Une résistance en fonction des efforts supportés,
- Une bonne qualité d'isolation thermique et phonique quand de besoin.

a- Instabilité dimensionnelle

i., Retrait des blocs en béton:

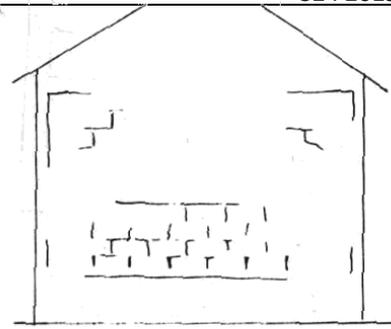
Quand des blocs frais et anciens sont montés dans un même ouvrage, le retrait plus accentué des blocs frais entraîne une fissuration suivant leurs joints de pourtour.

Les blocs doivent être stockés, à l'abri du soleil et de la pluie, trois à quatre semaines avant leur mise en œuvre

ii., Résistance insuffisante :

Les joints verticaux n'ont pas de résistance à la traction. Les efforts horizontaux sont transmis en 'zig zag'

à travers les blocs grâce aux joints croisés. Si les blocs sont fissurés, ces efforts ne se transmettent plus ; la fissure s'ouvre et s'allonge souvent en suivant les joints.



Fissuration caractéristique de blocs de béton mis en œuvre trop frais pour certains d'entre eux.

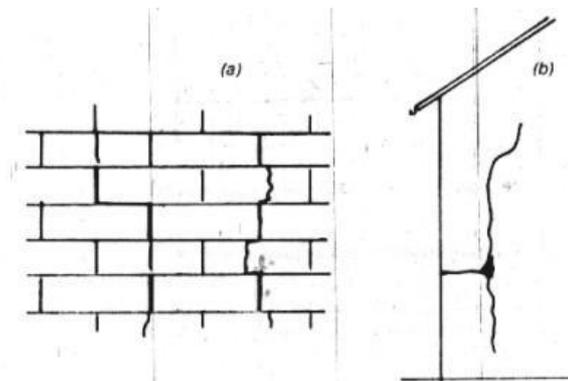
iii., Isolation :

Pour la résistance thermique, cette qualité n'est guère suffisante par elle-même vu les exigences des normes actuelles. Néanmoins, l'avantage des éléments creux est leur prix modique et leur légèreté.

Quant à l'isolation phonique, cette dernière est obtenue par un mur sans fissures dans les blocs comme dans les joints. La qualité à la fois des matériaux et de la mise en œuvre en est la garante.

4. Défauts de mise en œuvre

Les blocs doivent être sains : toute fissure verticale d'un bloc formerait avec les joints des lits de mortier supérieur et inférieur un coup de sabre affaiblissant la résistance aux tractions horizontales.

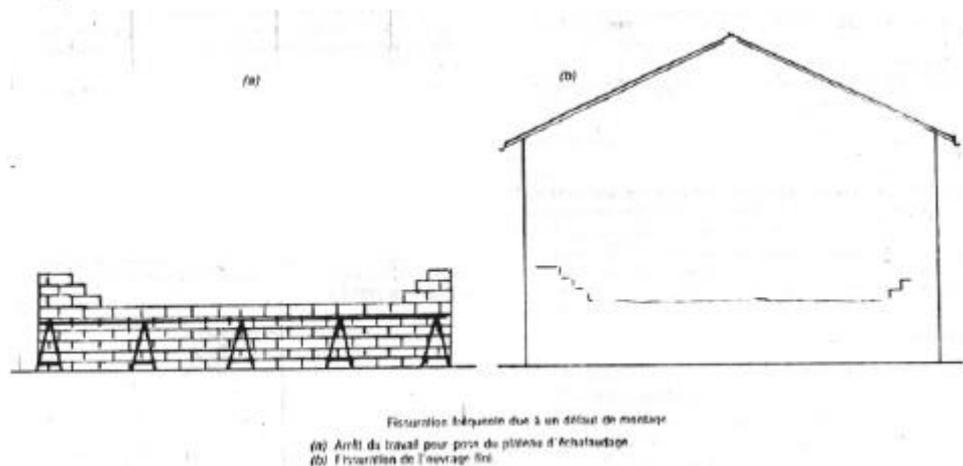


Danger des blocs fissurés.

(a) Coups de sabre dus à la continuité entre joints verticaux et fissures
(b) Exemple de fissuration résultante.

Aussi, les blocs doivent être **mouillés** au moment de la pose.

Le mortier doit avoir une résistance en rapport avec les blocs. La nature du ciment et son dosage sont choisis en conséquence. L'**homogénéité** des constituants du mortier est exigée. L'appareillage à joints verticaux croisés est évidemment de rigueur. Souvent, le joint horizontal qui se trouve vers 1,30m de haut est à l'origine de fissuration. Il s'agit de reprise de maçonnerie due au temps pris par la mise en place de l'échafaudage.



En maçonnerie de pierre, il est recommandé de poser les pierres dans le sens de leur orientation originale en carrière surtout s'il s'agit de calcaire tendre ou de shists. Si ces derniers sont posés en délit, ils risquent de se dégrader rapidement par écaillage progressif.

L'ouvrage en cours d'édification a une forme en perpétuelle évolution. Dans chacune des phases, il doit être stable, sous peines de désordres plus ou moins graves. Le maçon l'oublie parfois à ses dépens.

Exemple 5 :

Un pan de façade pourtant construit en moellons de 50 cm d'épaisseur, est renversé par le vent.

Les plans du plancher haut du deuxième étage n'étaient pas encore prêts quand le maçon arriva à son niveau. Pour gagner du temps, il poursuivit son œuvre en réservant les empochements des solives et décida de monter le mur jusqu'au plancher suivant.

Il en était au niveau des linteaux, quand, une nuit, le vent souffla avec violence et le mur s'effondra en partie.

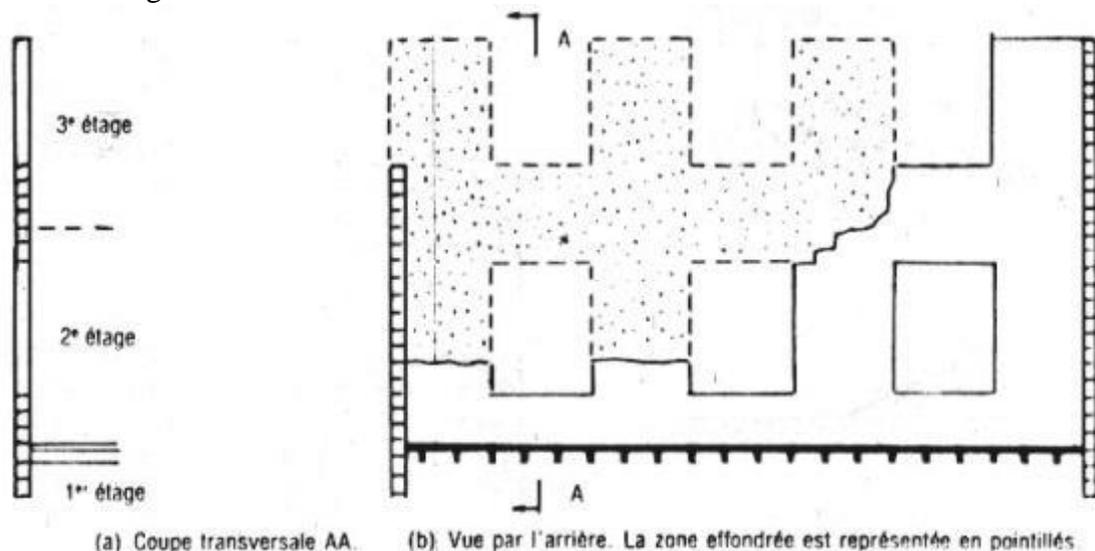
Le renversement se produisit autour d'un point horizontal situé vers 1.30 m au-dessus du plancher haut du premier niveau.

On sait que ce joint est souvent plus faible que les autres. Toutefois, une zone d'extrémité resta debout : elle était épaulée par un refend que l'on avait réalisé en même temps.

Causes : ce mur, monté sur la hauteur de deux étages sans être buté par un plancher, et dont le mortier était encore jeune, n'était pas stable sous la poussée d'un vent violent et cela malgré son épaisseur. La rotation de déversement se fait selon deux sections de moindre résistance :

A gauche : un joint horizontal où l'adhérence était plus faible,

A droite : pour se détacher de l'extrémité contreventée, la section la plus courte entre deux angles de baies.



Moralité : par suite de turbulences, il est prudent de considérer que la poussée du vent sur un mur percé de baies est pratiquement la même que sur le mur était plein.

5. Vieillessement

a., Action de l'eau :

Les infiltrations durant la vie de l'ouvrage peuvent cause des sinistres (ex. fuite de chéneaux ou de descentes pluviales, fuite de canalisation intérieure, sanitaire ou de chauffage, fuite en terrasse),

Dissolution lente de la chaux présente dans les blocs de ciment et le mortier de jointement et la perte de résistance qui en découle,

Amenée des sels agressifs (nitrates, sulfates), lesquels attaquent le ciment durci,

L'eau est par conséquent responsable du vieillissement de la maçonnerie par désagrégation lente de ses joints, décohésion en parement et écaillage progressif.

b Fissures et déformations :

Les fissures représentent l'aspect le plus fréquent des désordres. Les causes responsables de ces désordres peuvent être nombreuses et souvent elles se superposent ; chacune à elle seule est insuffisante pour provoquer le désordre.

Une vibration, un choc peut être l'action supplémentaire qui le déclenche.

6. Conclusion

Le maçon fera un ouvrage dont la qualité dépendra de sa compétence. Bien des sinistres sont causés par des phénomènes étrangers à la maçonnerie ; on ne doit pas accuser à priori le maçon.

Seulement, on découvre bien souvent que l'exécution n'était pas irréprochable, et que ses défauts ont aggravé sinon déclenché le sinistre.

De tout sinistre de maçonnerie, le maçon sort rarement innocenté.

DIAGNOSTIC ET

LES

APPAREILLES DE

MESURE

I. INTRODUCTION:

Le diagnostic de l'état de conservation d'un ouvrage en béton armé, permet de caractériser l'origine et l'étendue des désordres éventuels.

En général, ce diagnostic fait suite à une mise en évidence de désordres, mais il est aussi demandé dans différents cadres, tels que des travaux de rénovation ou des inspections régulières.



II. DIAGNOSTIC :

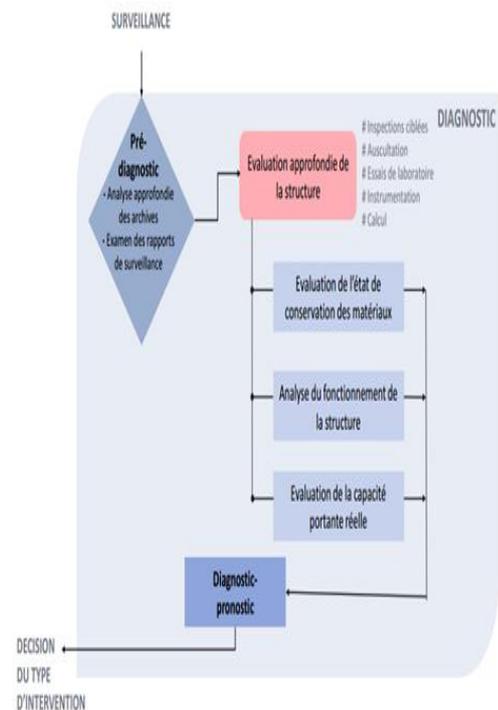
L'activité de diagnostic désigne toute démarche relative à la caractérisation de l'état d'une structure et de ses matériaux constitutifs.

L'ingénieur effectuant l'examen d'une structure existante est confronté à trois tâches principales :

- La détermination de l'origine des pathologies et des dégâts.
- La vérification de la sécurité de la structure.
- L'évaluation de la durabilité.

III. LES PRINCIPALES ÉTAPES D'UN DIAGNOSTIC :

- Une visite préliminaire .
- Collecte des documents.
- Préparation de l'intervention.
- Inspection détaillée.
- Essais en laboratoire.
- Traitement des résultats.
- Commentaires et avis de réparation.



*Pour effectuer les opérations de diagnostic ;
On a besoin des appareils de mesure*

IV. LES DIFFÉRENTS APPAREILS DE MESURE UTILISÉE :

1) SCLÉROMÈTRE :

(Mesure de la dureté de surface d'un béton)

La détermination de la dureté est basée sur la mesure du recul que subit un dispositif mobile (commandé par un ressort) à la suite d'une collision entre le dispositif et la surface du béton.



Cet essai est l'un des plus vieux essais non destructifs et il est encore très utilisé de nos jours.



AUSCULTATEUR :

(la résistance à la compression de béton)

La relation entre la vitesse de propagation des ondes ultrasonique et la résistance à la compression est affectée par un nombre de variables tels que l'âge du béton, les conditions d'humidité, le rapport entre les granulats et le ciment, le type des granulats et la localisation des aciers et les fissures.



SONDE D'HUMIDITÉ :

(l'humidité)

Pour déterminer l'humidité et la température jusqu'à une profondeur d'environ 1 m



GIATEC ICOR

(corrosion)

Est un appareil portatif qui peut mesurer plusieurs paramètres de la surface de béton et il peut analyser le béton avec l'utilisation des algorithmes avancés intégré dans le dispositif.

Ces calculs rapides peut déterminer correctement la "vitesse de corrosion" dans le renforcement qui est le paramètre le plus d'importance dans l'évaluation de la vie de service d'un structure de béton.



INHIBITEUR DE CORROSION:

(carbonatation du béton)

Lorsque ce matériau subit des dégradations dues à la carbonatation du béton, il convient d'utiliser un inhibiteur de corrosion.



LE FISSUROTTEST :

(fissure)

Lunette micrométrique avec réglette interne gradué pour la mesure d'une fissure.

Très pratique car pouvant être transporté dans la poche, le mesureur de fissure Fissurotest reste néanmoins un outil estimatif.



LE MESUREUR DE LARGEUR DE FISSURE HAUTE DÉFINITION:

(fissure)

Bien plus aisé d'utilisation qu'une lunette micrométrique, le mesureur de largeur de fissure électronique permet de mesurer la largeur d'une fissure de 0.01 mm à 2 mm.



LE DÉFORMÈTRE À BILLE

(évolution des fissures)

Le déformètre à bille est un appareil de suivi de fissures très précis puisque sa résolution est le micron.

L'opérateur vient positionner le déformètre sur les deux billes afin de mesurer l'espacement.



LA JAUGE GINGER CEBTP

(fissure)

La Jauge GINGER CEBTP est un nouveau produit breveté par GINGER CEBTP qui est un excellent compromis entre la règle graduée et le déformètre à bille.

Un outil idéal pour les experts qui désirent une mesure de suivi de fissure rapide mais précise et économique.



CONCLUSION :

L'inspection et le diagnostic de structure, en définissant les causes et conséquences d'un sinistre permettent de définir les solutions de réparation. Ils permettent également de définir les caractéristiques physiques et mécaniques d'une construction, afin d'en calculer ses performances.

Merci Pour
Votre
Attention

