

Instruction technique

# Surveillance et entretien des ouvrages d'art

2<sup>ème</sup> partie – Fascicule 4 – Topométrie



Liberté • Égalité • Fraternité  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



ministère  
des Transports  
de l'Équipement  
du Tourisme  
et de la Mer

Page blanche

Instruction technique

# Surveillance et entretien des ouvrages d'art

2<sup>ème</sup> partie – Fascicule 4 – Topométrie



collection les outils



---

## Avertissement

---

Le présent document est l'un des fascicules dont l'ensemble constitue la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979 révisée. La liste de ces fascicules est la suivante :

- Fasc. 01. Dossiers d'ouvrages
- Fasc. 02. Généralités sur la surveillance
- Fasc. 03. Mesures de sécurité - Auscultation - Surveillance renforcée - Haute surveillance
- Fasc. 04. Surveillance topométrique
- Fasc. 10. Fondations en site aquatique
- Fasc. 11. Fondations en site terrestre
- Fasc. 12. Appuis
- Fasc. 13. Appareils d'appui
- Fasc. 20. Zone d'influence - Accès - Abords
- Fasc. 21. Equipements des ouvrages (protection contre les eaux - revêtements - joints de chaussée et de trottoirs - garde-corps - dispositifs de retenue)
- Fasc. 30. Ponts et viaducs en maçonnerie
- Fasc. 31. Ponts en béton non armé et en béton armé
- Fasc. 32. Ponts en béton précontraint
- Fasc. 33. Ponts métalliques (acier, fer, fonte)
- Fasc. 34. Ponts suspendus et ponts à haubans
- Fasc. 35. Ponts de secours
- Fasc. 40. Tunnels, tranchées couvertes, galeries de protection
- Fasc. 50. Buses métalliques
- Fasc. 51. Ouvrages de soutènement
- Fasc. 52. Déblais et remblais
- Fasc. 53. Ouvrages de protection

L'élaboration du présent fascicule a été confiée à un groupe de travail placé sous la présidence de M. Claude Bois, Ingénieur général des Ponts et Chaussées, membre du Collège Génie Civil et ouvrages d'art du CGPC, dans lequel sont représentés :

- la MISOA,
- les Directions Départementales de l'Équipement,
- le réseau technique (CETE, Sétra, LCPC, CETU, DREIF),
- des maîtres d'ouvrages extérieurs (SNCF, RATP, Concessionnaires d'autoroutes).

Le fascicule 04 de l'instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art «TOPOMETRIE» a été réalisé par le groupe de travail suivant :

M. BERNARD Gilbert - DREIF (retraité)  
M. CHAGNEAU Patrick - LRPC Clermont-Ferrand  
M. COCHET Dominique - LRPC Strasbourg  
M. ESBRAT Daniel - LRPC Aix (retraité)  
M. DELMON Guy - Conseil général de Charente-Maritime (retraité)  
M. FAUCHOUX Gilbert - LRPC Angers  
M. GREZES Bernard - CETE du Sud-Ouest (retraité)  
M. SCHELSTRAETE Daniel IGN

Rapporteur : M. DELFOSSE Gérard - maintenant à la DIR Ouest.



# Sommaire

<b>1. Champ d'application</b>	7
<b>2. Généralités</b>	9
2.1. Définitions	9
2.2. Objet des actions topométriques	10
2.3. Les acteurs de la topométrie	10
2.4. Le contexte	11
<b>3. Les différents objectifs de la topométrie</b>	13
3.1. Préambule	13
3.2. Topométrie initiale	13
3.3. Topométrie d'auscultation	14
3.4. Topométrie de surveillance	14
3.5. Optimisation des actions de topométrie	15
<b>4. Champ d'application de la topométrie de surveillance</b>	17
4.1. Critères d'opportunité de recours à la topométrie de surveillance	17
4.2. Vérification de l'opportunité de mettre en place la topométrie de surveillance	18
<b>5. Les paramètres influençant les résultats des mesures topométriques</b>	21
5.1. Le paramètre temps	21
5.2. Les autres paramètres	22
<b>6. L'interprétation des résultats</b>	27
6.1. Intérêt et fiabilité des mesures	27
6.2. Mesures de flèches et de rotations (tabliers)	27
6.3. Mesures de tassement (appuis - remblais)	28
6.4. Mesures de déplacements ou de déformations des appareils d'appui	28
<b>Annexes</b>	29
Annexe 1 Processus de mise en œuvre d'une action de topométrie	30
Annexe 2 Schéma de détermination du type de topométrie	32
Annexe 3 Définitions en topométrie d'ouvrages d'art	34
Annexe 4 Éléments pour la rédaction d'un cahier des charges de topométrie	42
Annexe 5 Méthodes et matériels	51
Annexe 6 Fiches-guide d'implantation des repères et points de mesure en topométrie initiale	85



# Chapitre 1

## Champ d'application

**L**e présent fascicule contient les dispositions applicables à l'ensemble des ouvrages d'art, au sens de la présente instruction.

Son champ d'application s'étend à l'utilisation de la topométrie dans l'ensemble des actions de gestion des ouvrages d'art (surveillance, entretien, auscultation, diagnostic).

Il ne constitue pas un guide d'entretien, ou une aide à l'établissement de diagnostics liés aux pathologies. Il présente un moyen d'investigation particulier.

Il doit permettre au gestionnaire de juger de l'opportunité de recourir à la topométrie.

Il a pour objet d'indiquer les conditions d'utilisation de la topométrie, ainsi que quelques-unes de ses possibilités et de ses limites.



# Chapitre 2

## Généralités

Les opérations de topométrie, souvent dénommées à tort topographie, constituent historiquement et culturellement un acte traditionnel de l'ingénieur gestionnaire d'un patrimoine d'ouvrages d'art.

Elles présentent l'avantage de pouvoir être mises en œuvre simplement dans la plupart des cas. Les spécialistes susceptibles de réaliser des mesures ont généralement une formation de géomètre, donc au plus proche du terrain.

Cependant, cette facilité ne doit pas masquer le fait que les résultats issus de la topométrie sont difficilement interprétables sans précaution. En effet, l'expérience montre que les campagnes de topométrie, souvent réalisées systématiquement dès qu'un désordre apparaît, ont rarement pu être entièrement exploitées.

Il paraît donc nécessaire de mettre à sa juste place la topométrie dans la panoplie des outils au service des gestionnaires, dans le cadre de la surveillance et des opérations préalables à l'établissement d'un diagnostic.

### 2.1. Définitions

Dans le présent fascicule, la topométrie est définie comme l'ensemble des opérations techniques permettant d'établir un réseau ou un ensemble de réseaux de points de mesure adaptés au fonctionnement attendu d'un ouvrage et des pathologies éventuellement associées, et :

- ◆ de le compléter si nécessaire ;
- ◆ de quantifier les déplacements des points de ce réseau ou de cet ensemble de réseaux ;
- ◆ d'exprimer les résultats de façon exploitable.

Il est le plus souvent nécessaire de repérer l'ouvrage par rapport à un système d'axes orthonormé. En général, en ce qui concerne les ouvrages droits et horizontaux, l'axe  $\Rightarrow O_z$  est pris suivant la verticale, et dirigé vers le haut,  $\Rightarrow O_x$  et  $\Rightarrow O_y$  étant respectivement parallèle et perpendiculaire à l'axe longitudinal de l'ouvrage.

Bien souvent, c'est la mesure suivant une direction qui constitue le paramètre significatif. Il est donc nécessaire d'adapter les mesures topométriques au type de structure à surveiller.

L'annexe 6 constitue un guide qui décrit la position des repères et la distribution spatiale des points de mesure, en matière de topométrie initiale.

## 2.2. Objet des actions topométriques

Les actions topométriques, sur les ouvrages achevés, ont pour objet

- ◆ la constitution d'un état initial au travers du levé d'un réseau de points de mesure ;
- ◆ le suivi de l'évolution dans le temps des déplacements des points de mesure de ce réseau, éventuellement complété.

Cette évolution sera appréciée au travers de tout ou partie :

- ◆ de déplacements des points de mesure attachés à l'ouvrage, par rapport à un réseau de points extérieurs, dans la mesure où celui-ci a pu être établi, et dans la mesure où l'on peut être certain de sa stabilité (cf. annexe 3) ;
- ◆ de déplacements de parties d'ouvrage, les unes par rapport aux autres ;
- ◆ de modifications de la géométrie de ces parties d'ouvrage.

En effet, la géométrie et la position des diverses parties d'un ouvrage ne sont pas immuables. Elles peuvent évoluer sous l'action de phénomènes :

- ◆ irréversibles tels que : tassements, mouvements de terrain, travaux dans la zone d'influence, déformations différées, pertes de précontrainte, corrosion ... ;
- ◆ réversibles comme ceux liés aux variations de phénomènes naturels cycliques : température, niveau de nappe, marnage ...

Dans le cas où ces phénomènes ont été pris en compte lors de la conception et sous réserve qu'ils se produisent conformément aux prévisions, la structure est normalement conçue pour en supporter les conséquences sans dommage.

Dans le cas contraire ou lorsque le fonctionnement de la structure n'est pas celui prévu, ces phénomènes peuvent être à l'origine de mouvements et déformations, mais aussi d'efforts et sollicitations parasites susceptibles d'engendrer des désordres.

Enfin, la géométrie est susceptible d'être affectée à chaque fois que l'on modifie le comportement de l'ouvrage, suite à des travaux.

La topométrie est un des moyens qui permettent de quantifier ces déplacements ou déformations :

- ◆ soit pour confirmer le bon fonctionnement de la structure ;
- ◆ soit pour contribuer à l'établissement du diagnostic.

## 2.3. Les acteurs de la topométrie

### 2.3.1. Le service constructeur

Il a en charge l'établissement de la topométrie initiale en associant le futur gestionnaire. Cette topométrie fait partie de l'État de Référence, au même titre que l'Inspection Détaillée Initiale (I.D.I.) - cf. fascicules 01 & 02 de la deuxième partie de la présente instruction.

### 2.3.2. Le gestionnaire

Le gestionnaire d'un patrimoine d'ouvrages d'art juge de l'opportunité de recourir aux actions de topométrie et dans l'affirmative de conduire ces actions, c'est-à-dire :

- ◆ définir ou faire définir la conception du système de mesure topométrique ;
- ◆ conduire la consultation des géomètres et désigner le prestataire ;
- ◆ contrôler la conformité de la qualité des résultats, au regard des spécifications de la commande ;
- ◆ exploiter ou faire exploiter les résultats ;
- ◆ prendre les décisions induites par ces résultats ;
- ◆ coordonner, à chaque étape, les actions topométriques avec toutes les autres actions métrologiques.

Les objectifs des actions topométriques sont définis par le responsable en charge de la gestion du patrimoine, sur proposition de la Cellule de Gestion des Ouvrages d'Art.

L'attention du gestionnaire est attirée sur le fait qu'il est indispensable que les points de mesure soient choisis de façon à permettre de renouveler les mesures, indépendamment du prestataire désigné.

### 2.3.3. Les géomètres

Afin de garantir la qualité requise à l'interprétation des mesures, il est nécessaire de recourir aux professionnels de la mesure topométrique. A ce titre, ils sont capables, en fonction de besoins clairement spécifiés :

- ◆ de définir une méthode adaptée et les dispositifs associés ;
- ◆ de mettre en oeuvre la logistique nécessaire ;
- ◆ d'exécuter des mesures avec la qualité requise ;
- ◆ de traduire les résultats sous une forme exploitable.

### 2.3.4. Les experts en structure

Les spécialistes du fonctionnement des ouvrages et de leurs fondations, doivent être associés à l'élaboration des campagnes de topométrie sur les ouvrages. Ce sont eux qui devront exploiter les résultats des mesures. En conséquence, il convient naturellement qu'ils soient consultés le plus en amont possible, en particulier sur la définition du programme des actions topométriques.

## 2.4. Le contexte

Sauf en ce qui concerne l'établissement de l'état initial, où elle est réalisée selon les règles édictées au § 3.2, la topométrie s'inscrit dans les actions qu'un gestionnaire d'ouvrages a jugé opportun de mener. Il lui appartient d'apprécier si l'outil qu'elle constitue est de nature à apporter des informations susceptibles de faire avancer sa connaissance du fonctionnement de l'ouvrage.

Les opérations topométriques, réalisées pendant la construction et les épreuves de l'ouvrage, alimentent le dossier d'ouvrage. Elles peuvent contribuer à la compréhension des phénomènes constatés à l'occasion de la surveillance de l'ouvrage.



# Chapitre 3

## Les différents objectifs de la topométrie

### 3.1. Préambule

Les actions de topométrie exercées au cours de la vie d'un ouvrage ne relèvent pas toutes du même objectif. Il en résulte qu'il y a lieu d'adapter les conditions d'utilisation de la topométrie au but visé.

Les distinctions suivantes ont pour objet d'éclairer le gestionnaire sur les possibilités de la topométrie, en séparant celle-ci en trois grands domaines d'emploi :

- topométrie initiale ;
- topométrie d'auscultation ;
- topométrie de surveillance.

L'attention des gestionnaires est attirée sur le fait que l'arsenal des moyens d'auscultation comprend aussi d'autres aspects de la métrologie :

- ◆ mesure de forces ;
- ◆ mesure de déplacements ;
- ◆ mesure de vibrations ;
- ◆ mesure de la vitesse du vent ;
- ◆ mesure de température ambiante ou au sein de la structure ;
- ◆ mesure d'hygrométrie ambiante ou au sein de la structure ...

La présente liste est indicative et non exhaustive.

Le regroupement des résultats provenant de plusieurs moyens d'auscultation est plus riche d'enseignements que ceux propres à chacun d'eux.

### 3.2. Topométrie initiale

Pour les ouvrages neufs ou réparés, la topométrie initiale est destinée à établir une référence. Celle-ci sera utilisée afin de déterminer les variations géométriques susceptibles d'affecter ces ouvrages.

Cette topométrie effectuée à titre conservatoire n'est, en général, pas directement exploitable seule.

Elle doit :

- ◆ être adaptée à la morphologie de l'ouvrage et à ses conditions de surveillance ultérieure (annexe 6 : fiches-guide d'implantation des points de mesure en topométrie initiale) ;

- ◆ intéresser l'ensemble de l'ouvrage et être archivée : insertion dans le sous-dossier 2 du dossier d'ouvrage, défini par le fascicule 01 de la deuxième partie de la présente instruction.

En ce qui concerne les ouvrages neufs : elle est à la charge du service constructeur. Elle doit être réalisée après que les « mises en place mécaniques » provoquées lors des épreuves soient effectives.

Les mesures de nivellement effectuées au cours des épreuves ne peuvent constituer la topométrie initiale. Elles peuvent y être intégrées, si elles sont exécutées en conformité avec les recommandations de l'annexe 6 du présent fascicule 04.

Pour les ouvrages anciens n'ayant pas bénéficié d'une topométrie initiale, le gestionnaire jugera de l'opportunité de procéder à cette opération à partir de l'analyse de renseignements versés au dossier d'ouvrage, de constatations « in-situ » ou de toute autre information.

Dans l'affirmative, il définira l'implantation des points de mesure en fonction d'éventuels désordres à surveiller.

Comme toute observation topométrique, elle n'a de sens qu'accompagnée de la mesure des paramètres extérieurs susceptibles d'influencer les résultats de la mesure (cf. chapitre 5 ci-après).

### 3.3. Topométrie d'auscultation

La topométrie d'auscultation peut être engagée pour contribuer à établir un diagnostic sur un ouvrage présentant des désordres.

Elle n'est déclenchée qu'à l'issue d'une réflexion menée sur l'opportunité de réaliser une telle démarche. Elle constitue alors un des moyens d'auscultation définis au chapitre 3 du fascicule 03 de la deuxième partie de la présente instruction. La réflexion a pour objet de préciser les attentes d'une telle campagne et les questions auxquelles elle doit répondre. Son programme doit donc être établi au coup par coup.

### 3.4. Topométrie de surveillance

Comme la topométrie d'auscultation, la topométrie de surveillance ne doit être mise en oeuvre qu'après réflexion sur l'utilité des résultats.

C'est un des outils participant à la surveillance renforcée ou à la haute surveillance d'un ouvrage d'art (cf. chapitres 4 & 5 du fascicule 03 de la deuxième partie de la présente instruction).

Il est nécessaire d'accumuler un nombre significatif de mesures, éventuellement dans des conditions extérieures différentes, représentatives des variations susceptibles d'influencer les résultats (cf. chapitre 5 ci-après). Leur analyse permet l'indispensable « apprentissage » quantifiant l'influence de ces facteurs.

S'inscrivant dans le temps, elle contribue à deux objectifs distincts exprimés dans les deux aspects de topométrie suivants :

### 3.4.1. Topométrie de surveillance renforcée

Elle est destinée à informer sur le fonctionnement de l'ouvrage à long terme, et vise :

- ◆ à quantifier les déplacements réels, de façon à pouvoir les comparer aux déplacements théoriques attendus ;
- ◆ à détecter l'apparition de déplacements hypothétiques.

Elle suppose l'établissement, *a priori*, d'une enveloppe des comportements attendus de l'ouvrage sous les sollicitations habituelles auxquelles il est soumis.

### 3.4.2. Topométrie de haute surveillance

Elle est destinée à confirmer que l'ouvrage reste, à court terme, dans un domaine garantissant la sécurité. Elle suppose l'établissement au préalable, de seuils de déclenchement du plan d'alerte.

## 3.5. Optimisation des actions de topométrie

L'attention du gestionnaire est attirée sur le fait que le recours à une topométrie d'auscultation ou de surveillance sur un ouvrage démunie de topométrie initiale, doit normalement être complétée pour constituer une topométrie initiale, différée.

En conséquence, il convient de concevoir l'implantation des points de mesure, de manière à réaliser dès cette première action, un réseau cohérent avec celui nécessaire au suivi global de l'ouvrage.



# Chapitre 4

## Champ d'application de la topométrie de surveillance

### 4.1. Critères d'opportunité de recours à la topométrie de surveillance

L'objet de ce chapitre est de définir les critères nécessitant une étude d'opportunité conduisant à une topométrie de surveillance.

Cette étude d'opportunité fait l'objet du chapitre 4.2.

Le fait de satisfaire à un seul des critères définis dans les points ci-après est suffisant pour que le gestionnaire soit amené à se poser la question de l'opportunité de réaliser une topométrie de surveillance.

#### 4.1.1. L'état de l'ouvrage

Les ouvrages qui présentent des désordres structuraux susceptibles d'une cotation IQOA égale ou supérieure à 2E peuvent, après un examen d'opportunité, faire l'objet de topométrie de surveillance.

Il est rappelé que la cotation IQOA reflète l'état pathologique de la structure, qui peut aussi être évalué par des opérations de surveillance telles que :

- ◆ inspection détaillée périodique ;
- ◆ inspection détaillée exceptionnelle à l'issue d'un contrôle annuel inquiétant.

#### 4.1.2. Le type de fondation

L'emploi de certains types de fondations peut justifier le recours à la topométrie de surveillance. Ce sont :

- ◆ les fondations anciennes en terrain peu porteur ;
- ◆ les fondations hétérogènes : ouvrages dont les fondations sont notablement différentes d'un appui à l'autre ;
- ◆ les fondations dont la justification par le calcul met en évidence un tassement prévisible, hors raccourcissements élastique et différé des matériaux constitutifs de l'ouvrage, justifiant des interventions ultérieures : vérinage, rechargement des remblais contigus, etc. ;
- ◆ les fondations de dimensions exceptionnelles ;
- ◆ les fondations sensibles aux efforts parasites ;
- ◆ les fondations édifiées sur des sites à risques : terrains karstiques, carrières, glissements de terrain, séismes ... ;
- ◆ les fondations ayant fait l'objet de réparations ;
- ◆ les fondations exécutées ou réparées par des techniques innovantes.

#### 4.1.3. Le type de structure

Certains ouvrages présentent, par leurs dimensions ou par leur type de structure, des particularités pouvant rendre nécessaire la mise en place d'une topométrie de surveillance.

À titre d'exemple, on peut citer :

- ◆ les ouvrages exceptionnels ou innovants ;
- ◆ les ouvrages à consoles importantes ;
- ◆ les ouvrages fortement déformables : ponts suspendus, buses métalliques ... ;
- ◆ les tunnels, pour lesquels il convient de se reporter au fascicule 40.

#### 4.1.4. Les matériaux employés

Les matériaux d'emploi peu usuels, ou ceux dont le comportement à long terme est mal connu, doivent conduire à une réflexion préalable à la réalisation d'une topométrie de surveillance.

À titre d'exemple, on peut citer : les bétons fortement adjuvantés, les BHP, les bétons légers, les bétons fibrés, l'aluminium, le bois lamellé-collé, les matériaux composites ...

#### 4.1.5. La modification de la destination initiale d'un ouvrage

Une topométrie de surveillance peut utilement être envisagée à la suite de l'augmentation des charges dues :

- ◆ à une évolution de la réglementation (par exemple : du tombereau du règlement de 1869 aux charges de l'Eurocode 1, partie 3) ;
- ◆ à une augmentation imprévue du trafic (par exemple : ouverture d'une zone d'activité) ;
- ◆ à l'application de charges exceptionnelles (par exemple : convois de type D ou E) ;
- ◆ à la pose d'un réseau ou de dispositifs de retenue apportant une augmentation non négligeable des charges permanentes.

#### 4.1.6. La modification du mode de fonctionnement de l'ouvrage

Une topométrie de surveillance peut utilement être envisagée à la suite de travaux de réparation ou d'aménagement susceptibles de modifier le fonctionnement de la structure d'un ouvrage. À titre d'exemple, on peut citer :

- ◆ un pont-dalle transformé en pont haubané ;
- ◆ une augmentation sensible de la largeur chargeable du tablier d'un ouvrage dont on ignore la capacité portante des fondations ;
- ◆ le remplacement des articulations par des encastresments.

#### 4.1.7. L'évolution brutale des conditions d'environnement de l'ouvrage

Une brusque modification de l'environnement d'un ouvrage, liée par exemple à l'édification d'une autre structure à proximité, ou à la modification des écoulements concernant un passage hydraulique constitue une condition d'examen de l'opportunité de mettre en place une topométrie de surveillance.

### 4.2. Vérification de l'opportunité de mettre en place la topométrie de surveillance

Chacun des critères énoncés ci-dessus doit conduire le gestionnaire à s'interroger sur l'opportunité de réaliser une topométrie de surveillance.

Dans tous les cas, il est nécessaire d'organiser une réflexion préalable à la mise en place d'opérations topométriques.

Cette réflexion devra préciser les objectifs attendus des mesures. Elle sera menée en associant le (ou les) géomètre(s) avec les spécialistes de structures et de pathologie, susceptibles d'apporter leur éclairage et de participer à la mise au point du programme de topométrie.

L'élaboration d'une grille de décision, qui prétendrait guider de façon exhaustive le gestionnaire vers le type de topométrie à utiliser, est illusoire. Les quelques exemples suivants illustrent la démarche à mener.

### 4.2.1. Conditions de fondations ou de poussée des terres

La topométrie de surveillance est adaptée pour quantifier la vitesse d'enfoncement d'une fondation ancienne sur pieux bois de type flottants, c'est-à-dire non ancrés dans le substratum.

Elle s'avère également un bon outil pour mesurer l'éventuel déversement d'un mur de soutènement.

### 4.2.2. Comportement de la structure

Réalisées sur plusieurs années, les mesures de suivi altimétrique des flèches prises par de grandes consoles en béton précontraint peuvent se révéler un bon indicateur du fait que la structure reste dans son domaine normal de fonctionnement ou non.

Ces mesures doivent être accompagnés d'un calcul des flèches prévisibles aux différents âges de l'ouvrage, établi à partir de plusieurs modèles de fluage, pour réaliser une approche théorique de ces flèches dans un calcul « en fourchette ».

La topométrie de surveillance est susceptible d'aider un gestionnaire à suivre la vitesse d'évolution d'un ouvrage atteint par une réaction de gonflement du béton.

### 4.2.3. Evolution brutale des conditions d'environnement d'un ouvrage

La topométrie de surveillance permet le suivi d'un déblai de grande hauteur qui a fait récemment l'objet d'un chargement en tête.

Elle est de nature à renseigner sur l'évolution de fondations d'ouvrage, réalisées par pieux en bois, et soumises à assèchement.

### 4.2.4. Exemple où la topométrie ne constitue pas le bon outil

La topométrie de surveillance est inadaptée pour rendre compte de l'état d'une poutre du type VI-PP qui présente de graves déficiences de précontrainte.

En effet, le déficit de résistance à l'effort tranchant ne se traduira pas par une flèche permanente, tout en étant susceptible d'entraîner la ruine brutale de l'ouvrage.

On peut citer d'autres exemples :

- ◆ les défauts de résilience des aciers dans le cas des ponts suspendus ;
- ◆ les phénomènes de corrosion et de fatigue de structures métalliques ;
- ◆ le suivi des phénomènes de déformations différées dans les travées continues.

En ce qui concerne les affouillements de fondations, la topométrie des parties aériennes n'est généralement pas à même de rendre compte du phénomène et de son évolution. Dans ce cas, il est préférable de réaliser un contrôle au moyen d'une intervention subaquatique, complétée par une bathymétrie.



# Chapitre 5

## Les paramètres influençant les résultats des mesures topométriques

De nombreux paramètres peuvent fausser les résultats des mesures topométriques et/ou leur interprétation, car ils ont une action sur :

- ◆ la fiabilité et la précision des mesures topométriques ;
- ◆ le comportement des structures, en engendrant des actions souvent prépondérantes par rapport à celles issues des dysfonctionnements de l'ouvrage.

Méconnaître ces paramètres, ainsi que la part qu'ils prennent dans la mesure, est susceptible de rendre les résultats inexploitable ou de conduire à des interprétations erronées.

En ce qui concerne l'action des paramètres sur les mesures topométriques, dans les cas exceptionnels où l'on ne peut effectuer une correction fiable, on réalisera les campagnes de mesures dans des conditions reproductibles, définies au préalable et enregistrées.

Avant d'examiner chacun d'eux, il faut signaler le cas particulier du paramètre « temps ».

### 5.1. Le paramètre temps

Même si le temps ne constitue pas un paramètre d'influence au même sens que ceux développés plus loin, il conditionne cependant la qualité des résultats. Son influence sera examinée au travers de trois notions : l'époque, la durée, la fréquence.

#### ⇒ L'époque :

Le choix de l'époque pendant laquelle on réalise une campagne de mesures est susceptible d'influencer les résultats.

Réaliser des campagnes aux mêmes époques de l'année, à la même heure de la journée, constitue des moyens simples pour réduire l'importance des phénomènes cycliques comme par exemple les variations de niveau d'une nappe phréatique.

#### ⇒ La durée :

Le choix de la durée d'une intervention et de chaque mesure élémentaire est déterminant car il permet d'intégrer ou non certaines variations géométriques de la structure, ou certains mouvements comme ceux affectant les supports d'instruments.

On peut opter pour :

- ◆ une durée d'intervention courte : elle permet de s'affranchir des variations liées aux phénomènes perturbants, mais ne permet pas de connaître leurs influences sur la mesure ;
- ◆ une durée d'intervention longue : la saisie d'un grand nombre de mesures, effectuée sur une durée relativement longue permet de déterminer l'amplitude de l'incidence des phénomènes mesurés.

⇒ **La fréquence :**

La fréquence d'intervention, associée à la durée, permet de comprendre et de mesurer l'importance des paramètres extérieurs. Une durée d'observation courte, associée à une fréquence relativement élevée doit permettre de « déparasiter » convenablement les résultats.

On peut utilement se rapprocher de la notion de période d'observation développée au chapitre 4.2.2 du fascicule 03 de la deuxième partie de la présente instruction.

## 5.2. Les autres paramètres

Les paramètres, autres que le temps, influant les résultats des mesures topométriques peuvent être classés en deux grandes catégories :

⇒ **Les paramètres perturbant les mesures :**

Pour être valables, les mesures doivent être corrigées dès que l'on dépasse des distances de mesures de l'ordre de la centaine de mètres. Les corrections peuvent être :

- ◆ soit géométriquement rigoureuses en ce qui concerne la courbure de la Terre, ou certains paramètres instrumentaux ;
- ◆ soit approchées en ce qui concerne des paramètres tels que les conditions météorologiques. Dans ce dernier cas, les résultats des mesures feront l'objet de corrections à caractère statistique.

L'incidence globale de ces paramètres peut varier de quelques dixièmes de millimètres à quelques millimètres pour cent mètres.

Il est de la responsabilité des géomètres de tenir compte de ces paramètres et d'indiquer suivant quelles modalités ils sont intégrés dans les résultats.

Afin de repérer les paramètres perturbant les mesures, leur description sera précédée du symbole .

⇒ **Les paramètres influençant la géométrie de l'objet observé :**

Pour un paramètre, il est donc nécessaire :

- ◆ de cerner son influence sur la structure ;
- ◆ d'apprécier les ordres de grandeur des variations géométriques susceptibles d'affecter la structure sous son influence ;
- ◆ à défaut de cette appréciation, de réaliser les mesures dans des conditions telles que l'ouvrage présente toujours une même « réponse ».

Pour mieux repérer ces paramètres dans la suite du texte, leur description est précédée du symbole  $\pi$ .

Certains paramètres sont susceptibles de modifier soit le comportement d'une structure sous une sollicitation donnée, soit sa géométrie, soit les deux.

### 5.2.1. Températures

#### 5.2.1.1. Température de l'air

$\pi$  La température de l'air et ses variations peuvent perturber fortement les mesures de distance. Elles doivent être prises en compte lors de l'établissement des procédures d'exécution.

Les gradients de température régnant dans l'air traversé par les visées provoquent des effets de réfraction, en particulier lors de visées fortement inclinées ou rasantes. Différentes méthodes de correction sont à disposition des géomètres. Ils doivent en préciser les modalités.

Les effets de variations rapides de températures sur les termes correctifs, les mouvements des supports d'instruments doivent être pris en compte au travers tant de la procédure d'observation qu'au travers de la durée de la mesure.

La présence de soleil, ainsi que l'alternance « soleil - nuages », aggravent ces phénomènes en accentuant les contrastes thermiques et leurs variations.

#### 5.2.1.2. Température de la structure

$\pi$  La variation des températures de la structure est susceptible de modifier significativement la géométrie de l'ouvrage : dilatation, variation de cambrure.

On ne peut pas agir sur ce paramètre en général. Il faut minimiser son effet en choisissant une période favorable pour les mesures : saison, moment de la journée ou de la nuit, période peu ensoleillée ...

La température n'est pas uniforme dans une structure. Sa variation est quantifiée dans une direction, généralement verticale.

On appelle « gradient thermique », la différence de température entre la partie supérieure et la partie inférieure de la structure considérée. Cette expression impropre est consacrée par l'usage.

Il est nécessaire :

- ◆ soit de mesurer précisément ce « gradient thermique », en appréciant son influence au travers des modèles numériques de calculs justificatifs de la structure. Le recours à un laboratoire spécialisé est alors indispensable pour acquérir un ensemble de valeurs du « gradient thermique », exploitables ;
- ◆ soit de se placer systématiquement dans des conditions climatiques permettant de réaliser les opérations de topométrie sous « gradient thermique » nul ou très faible ( $\leq 1^\circ \text{C}$ ). Cette valeur numérique est à préciser au coup par coup par les spécialistes en structures.

Une différence de températures entre parties d'ouvrage peut aussi avoir une influence dans le sens transversal. Elle est susceptible d'entraîner des déformations significatives en plan.

 Les heures matinales peuvent constituer un moment privilégié pour réaliser les mesures.

Par ailleurs, une succession de journées couvertes ou faiblement ventées conduit également à des « gradients thermiques » négligeables.

## 5.2.2. Hygrométrie

### 5.2.2.1. Hygrométrie de l'air

 Le paramètre ne peut être modifié. Il convient que l'opérateur corrige les valeurs brutes pour en tenir compte.

L'effet sur les mesures de distance, significatif autrefois sur les appareils utilisant des ondes radio, est généralement négligeable sur les appareils modernes utilisant les systèmes laser ou infrarouge. Toutefois, les formations de brumes et brouillards sont de nature à faire obstacle aux opérations topométriques menées avec des instruments optiques.

### 5.2.2.2. Hygrométrie de la structure

$\pi$  Il existe une réelle difficulté pour apprécier l'hygrométrie d'un matériau, *a fortiori* d'une structure.

Ce paramètre est susceptible d'influencer la géométrie de la structure et sa réponse aux sollicitations instantanées ou différées.

Sauf aux très jeunes âges de la structure, où son hygrométrie est susceptible d'évolution rapide, la prise en compte des valeurs forfaitaires retenues dans les modèles théoriques est suffisante pour permettre l'interprétation des résultats.

## 5.2.3. Pression atmosphérique

 La pression atmosphérique a une influence sur les mesures de distance et sa prise en compte s'effectue au sein des procédures de mesure qui sont spécifiées dans les notices d'utilisation des instruments.

De plus, les variations du champ de pressions contribuent, comme celles du champ de températures, à provoquer des effets de réfraction sur les visées, les mesures correctrices étant communes.

## 5.2.4. Vent

 Un vent faible est propice aux mesures, contrairement au vent nul ou fort, car il régularise l'atmosphère et réduit les réfractions.

Le vent fort engendre vibrations et dérèglements. Il fait obstacle à l'obtention de mesures fiables, en particulier lors de nivellement traditionnel, les mires présentant une prise au vent élevée.

Il convient donc, sauf utilisation de matériel spécifique insensible au vent, de différer toute intervention de topométrie, dès que le vent risque d'excéder 8 m/s, soit  $\approx 30$  km/h.

En ce qui concerne les pont-caisson, très souvent accessibles à l'intérieur, on doit envisager de réaliser les opérations topométriques à l'intérieur du caisson. On s'affranchit alors des effets du vent, en même temps que de certains effets thermiques.

⌘ Pour certains types de structures sensibles au vent (notamment les ponts suspendus et les ponts à haubans), ce paramètre est susceptible d'engendrer des phénomènes vibratoires qui rendent les mesures impossibles. Il convient de se référer au dossier d'ouvrage (ou à des études spécifiques) pour connaître les conditions dans lesquelles ces phénomènes peuvent perturber les mesures.

### 5.2.5. Les conditions d'environnement

#### 5.2.5.1. Les niveaux d'eau

⌘ Les campagnes topométriques d'ouvrages dont les fondations sont sensibles à l'effet des marées, ou implantées dans une nappe phréatique dont le niveau fluctue, doivent faire l'objet de précautions particulières dans leur interprétation. En effet, le simple déjaugage des appuis est susceptible de faire varier l'altimétrie de ces derniers.

On s'affranchira de cette grandeur d'influence en effectuant, si possible des campagnes de mesures à hauteur de nappe ou de plan d'eau constante. Dans le cas contraire, on veillera à accompagner chaque mesure ou série de mesures de la cote du plan d'eau : échelle limnimétrique, piézomètre, repère NGF, micropieu de référence ...

Dans le cas d'ouvrage ayant un effet de barrage - initialement prévu ou non - on apportera un soin particulier à vérifier les éventuels déplacements horizontaux induits par la dénivellation hydraulique entre l'amont et l'aval de l'ouvrage : cas des barrages, des embâcles ...

#### 5.2.5.2. Le trafic

⌘ Ce paramètre est susceptible de faire varier la charge d'exploitation, sur un laps de temps très bref. Il peut donc avoir une influence sur la géométrie selon sa structure.

Les charges roulantes qui le constituent sont par ailleurs susceptibles d'engendrer des vibrations au sein de la structure.

La meilleure façon de s'affranchir du trafic consiste à effectuer les mesures hors circulation. Cette disposition est obligatoire pour les ouvrages très déformables sous l'influence du trafic, comme les ponts suspendus.

On peut aussi tenter de minimiser l'influence du trafic sur la mesure :

- soit en suspendant momentanément l'exécution pour que l'on puisse être certain d'effectuer celle-ci en dehors de la présence d'une charge routière lourde sur l'ouvrage ;
- soit en la prolongeant sur une période assez longue, ce qui permet alors de la traiter par « écrêtement » des perturbations induites par le trafic lourd.

#### 5.2.5.3. Les sources extérieures de vibrations

🍷 Outre les effets du vent et du trafic cités ci-dessus, les phénomènes vibratoires, même s'ils sont mesurables peuvent rendre impossible la mesure topométrique. En particulier, la circulation sur l'ouvrage est susceptible d'engendrer des perturbations rendant l'appareil de mesure inopérant. On pourra alors procéder hors trafic, si possible.

⌘ Selon le type de structure, le vent peut engendrer des vibrations nuisibles à la qualité des mesures (cf. § 5.2.4.).

On veillera également à tenir compte que des phénomènes extérieurs à l'ouvrage ne perturbent pas les mesures : autres voies routières ou ferrées situées à proximité, usine ou mécanisme susceptible d'engendrer des vibrations, ...

#### **5.2.5.4. La stabilité des points topométriques de référence**

Déjà cité au § 2.2., ce sujet est développé dans l'annexe 2.

# Chapitre 6

## L'interprétation des résultats

La multiplicité des structures en service rend illusoire une approche exhaustive de l'interprétation qui doit être faite des résultats. Les différents points évoqués ci-après ont pour but d'attirer l'attention de la personne chargée de cette interprétation sur les principaux facteurs à prendre en compte dans la conduite de sa réflexion.

Comme spécifié dans le § 2.3.4. du présent fascicule, ce sont les experts en structure qui réalisent cette interprétation.

### 6.1. Intérêt et fiabilité des mesures

Même si cela peut paraître évident, la première phase de l'interprétation des résultats est celle où l'on définit les mesures à effectuer. En effet, il convient de réfléchir, avant d'effectuer celles-ci, aux enseignements utiles que l'on pourra tirer en fonction du problème rencontré.

De plus, il faut être assuré de la fiabilité des mesures effectuées.

On peut citer l'exemple d'un ouvrage, suivi dans la crainte de tassements des appuis, par référence à un repère «fixe» situé sur un bâtiment construit sur une rive et qui s'enfonçait en même temps. Ce type de disposition ne permet pas de connaître les déplacements réels de la structure observée.

Un point de référence situé en zone de fort marnage peut voir sa cote d'altimétrie à marée haute varier de l'ordre du mm par rapport à celle obtenue à marée basse.

Ces constatations ont été effectuées en créant un vrai repère fixe constitué par un micro-pieu, indépendant de l'ouvrage, foré à travers celui-ci jusqu'au substratum.

### 6.2. Mesures de flèches et de rotations (tabliers)

Afin de pouvoir interpréter les mesures, il convient de faire des calculs de flèches et de rotations. Ces calculs font intervenir, en particulier, l'inertie de la structure et les modules des matériaux constitutifs.

#### 6.2.1. Inertie

L'inertie de calcul de la structure est théorique et prend en compte la seule ossature

résistante, à l'exclusion des éléments constituant les superstructures et équipements liés à cette structure. Or, les corniches, contre-corniches, bordures, contre-bordures, garde-corps et parapets, voire chape et chaussée, accrochés en fibre supérieure des poutres, apportent un surplus d'inertie, non pris en compte dans le calcul et difficilement appréciable.

Pour les ouvrages métalliques à dalle dite «non participante» construits dans les années 1960, l'inertie prise en compte néglige la dalle de couverture pourtant partiellement liée à la structure métallique, etc. C'est pourquoi on constate, en général, des flèches mesurées inférieures - quelquefois largement - aux flèches calculées.

Le contraire serait révélateur d'un problème sur l'ouvrage.

### 6.2.2. Modules

Les calculs font intervenir les modules du (des) matériau(x) constituant la structure; il faut utiliser :

- ◆ pour les actions de longue durée d'application (charges permanentes) : le module différé ;
- ◆ pour les actions de courte durée d'application (charges d'exploitation) : le module instantané.

Si ces modules de déformations sont bien connus pour des matériaux métalliques, comme l'aluminium ou les aciers, le fer, le fer puddlé et la fonte, il n'en est pas de même pour le béton, qu'il soit traditionnel ou léger. Il en résulte des incertitudes dans les résultats des calculs dont il faut tenir compte dans l'interprétation des mesures de flèches ou de rotations en partant, la plupart du temps, du principe que ces mesures sont bonnes, si elles ont été correctement réalisées.

### 6.3. Mesures de tassement (appuis - remblais)

Les mesures topométriques de nivellement doivent, pour faciliter l'interprétation, être complétées par des mesures d'inclinométrie car le tassement est rarement une simple translation verticale et est le plus souvent accompagné de rotations.

Là encore, plus que pour les structures de tabliers, les calculs sont imprécis, compte-tenu de l'hétérogénéité des sols et des hypothèses établies à partir des résultats des essais géotechniques. L'interprétation de mesures peut consister à adapter les hypothèses de calcul pour aligner les résultats du modèle de calcul sur celles-ci.

### 6.4. Mesures de déplacements ou de déformations d'appareils d'appui

Ces mesures permettent de déterminer s'il y a blocage partiel ou complet d'appareils d'appui.

Cela peut concerner :

- ◆ les selles d'appui des câbles de ponts suspendus dont le blocage entraîne des efforts en tête de pylône, pouvant conduire à leur ruine par flexion ;
- ◆ le cheminement d'un appareil d'appui ;
- ◆ la rupture d'un mur de front de culée, ...

# Annexes

**Annexe 1** : Processus de mise en œuvre d'une action de topométrie.

**Annexe 2** : Schéma de détermination du type de topométrie.

**Annexe 3** : Définitions en topométrie d'ouvrages d'art.

**Annexe 4** : Éléments pour la rédaction d'un cahier des charges de topométrie.

**Annexe 5** : Méthodes et matériels.

**Annexe 6** : Fiches-guide d'implantation des repères et points de mesure en topométrie initiale.

# Annexe 1

## Processus de mise en œuvre d'une action de topométrie

### Commentaires

Le schéma proposé permet au gestionnaire de l'éclairer sur l'articulation donnée au fascicule et à ses annexes en vue de mettre en œuvre une action de topométrie.

Il lui indique clairement quelle annexe peut l'aider à réaliser le choix du type de topométrie, à clarifier ses besoins, à passer et suivre la commande en matière de topométrie.

Il va de soi que les annexes ne peuvent constituer qu'un guide à l'attention des gestionnaires. La multiplicité des cas rencontrés interdit d'imaginer un mécanisme figé susceptible de répondre à tous les cas de figure rencontrés.

L'attention des gestionnaires est attirée sur la nécessaire réflexion préalable à la mise en œuvre d'une action de topométrie, en particulier sur :

- ◆ les renseignements qu'elle est susceptible d'apporter ;
- ◆ l'adaptation des méthodes topométriques au problème posé ;
- ◆ la présentation des résultats, afin de les rendre facilement exploitables.

On notera qu'aucune aide n'est apportée concernant l'exploitation des résultats.

Seule l'analyse des résultats, par une équipe constituée à minima du gestionnaire, d'experts en structure et du géomètre ayant réalisé les mesures, permet d'en tirer des enseignements à la hauteur des attentes.

ACTIONS	CONSULTER
① Choix du type de topométrie	Annexe 2 et son commentaire
② Définition des besoins :	
1 – nature et direction des déplacements	Annexes 3 & 6
2 – mode de détermination : absolu ou mesures relatives	Annexes 3 & 6
3 – précision requise	Annexes 3 & 6
4 – choix de l'implantation des points de mesure avec : - un expert en structures. - un expert en topométrie. - un laboratoire.	Annexe 6
③ Établissement du Cahier des Charges	Annexe 4
④ Jugement des offres	Annexe 5
⑤ Suivi et contrôle des travaux de topométrie	Annexe 4
⑥ Interprétation	Chapitre 6

## Commentaires

Le processus proposé permet d'éclairer sur l'articulation donnée au fascicule et à ses annexes, en vue de mettre en œuvre une action de topométrie.

Il indique à quelle annexe il y a lieu de se reporter, afin de choisir le type de topométrie, à clarifier les besoins, à passer la commande.

La multiplicité des cas rencontrés interdit d'imaginer qu'un mécanisme préétabli peut permettre d'établir un diagnostic de manière univoque et fiable.

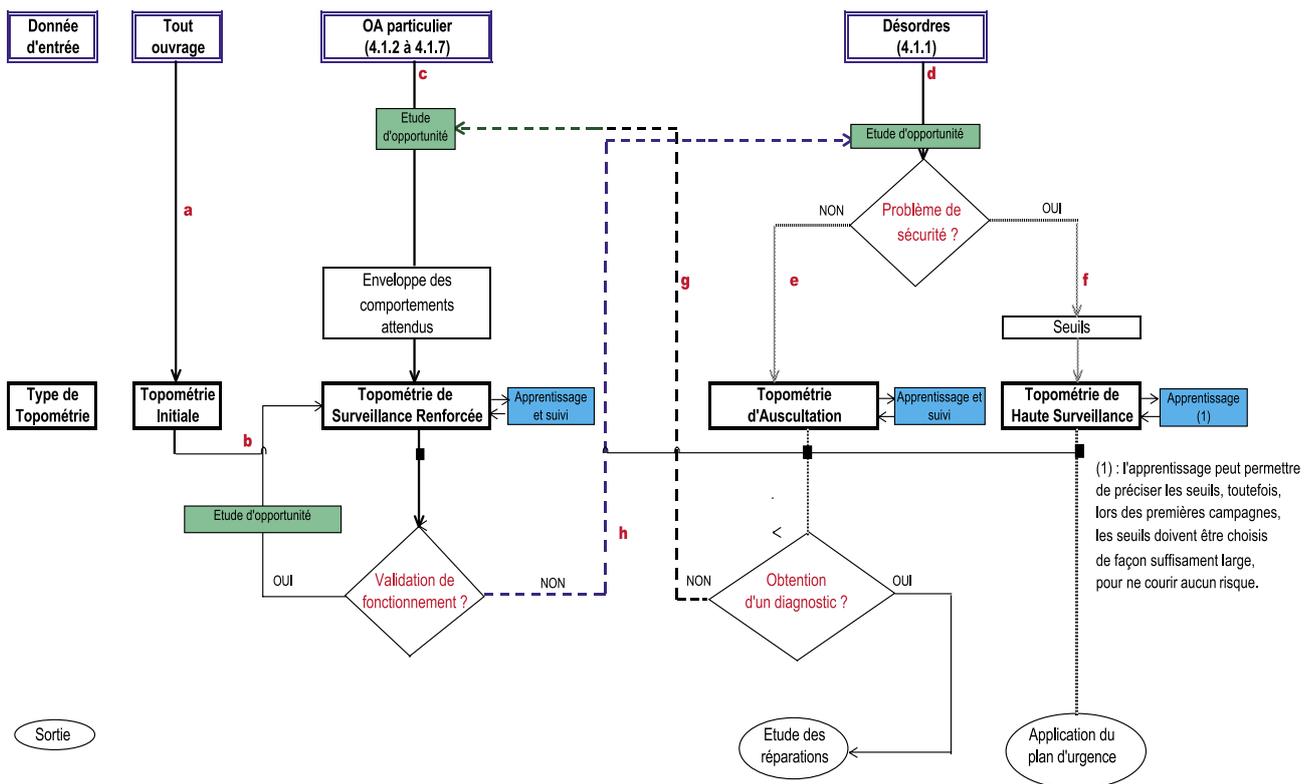
En conséquence, l'attention est attirée sur la nécessité de mener la réflexion préalable à la mise en œuvre d'une action de topométrie. Il y a lieu de s'interroger sur :

- ◆ les enseignements que l'on pourra en tirer ;
- ◆ le choix de la topométrie comme meilleur outil pour répondre au problème posé ;
- ◆ la présentation des résultats, accompagnés de leur fiabilité, afin de les rendre exploitables.

Enfin l'interprétation des résultats doit être conduite par une équipe composée au minimum de l'expert en structures, du gestionnaire et du géomètre.

# Annexe 2

## Schéma de détermination du type de topométrie



L'annexe 1.2 indique schématiquement au gestionnaire vers quel type de topométrie il doit s'orienter pour un ouvrage donné. Sa compréhension ne peut s'effectuer qu'après la lecture du texte principal du présent fascicule.

- (a) Le schéma rappelle la nécessité, dans tous les cas, d'une **topométrie initiale**.
- (b) Celle-ci sera indispensable pour interpréter les résultats des autres actions de topométrie

Le schéma propose ensuite 2 « clés » d'entrée :

- soit l'ouvrage relève des caractéristiques particulières décrites au chapitre 4.1.2 à 4.1.7 du présent fascicule ;
- soit il présente des désordres.

- (c) Dans le premier cas, on a recours à la **Topométrie de Surveillance Renforcée**. Il s'agit alors de vérifier que le fonctionnement de l'ouvrage reste dans l'enveloppe des comportements attendus. Cette dernière peut être issue du résultat de modèles de calculs ou bien encore de l'accumulation préalable de connaissance sur le comportement de l'ouvrage surveillé ou d'ouvrages comparables (expérience).

En particulier, quand il n'existe pas de méthode jugée fiable pour permettre la détermination a priori de l'enveloppe des comportements évoquée ci-dessus, l'appréciation de la validation de fonctionnement peut s'effectuer au travers de l'analyse des mesures effectuées.

Sera alors considérée comme anomalie, toute discontinuité importante des mesures, non expliquée par des variations corrélatives des paramètres évoqués au chapitre 5 du présent fascicule.

La mise en oeuvre d'une telle topométrie nécessite une phase d'**apprentissage**, vérifiant la précision de la mesure et permettant le « déparasitage » des paramètres influençant les mesures. Cet apprentissage consiste à comparer différentes campagnes de mesures, réalisées dans des conditions significativement différentes, pour apprécier l'influence des paramètres susceptibles d'influencer la géométrie de l'ouvrage. (cf. chapitre 5 du présent fascicule)

- (d) Le cas où l'ouvrage fait l'objet de constatations de désordres a été divisé en deux chemins :
- (e) soit les désordres ne sont pas de nature à mettre en cause la sécurité des biens et des personnes à courte échéance, et après examen de l'intérêt que peut représenter la topométrie dans les progrès de la connaissance des pathologies dont souffre l'ouvrage, on pourra mettre en place une **Topométrie d'Auscultation**.
- (f) soit les désordres constatés sont de nature à mettre en jeu la sécurité à court terme, et l'on doit se référer aux dispositions du fascicule 03 de la deuxième partie présente instruction.

Dans la mesure où la topométrie peut alors être considérée comme un outil concourant à déclencher l'alerte incluse dans le plan de haute surveillance, alors on engagera la **Topométrie de Haute Surveillance**. Elle devient alors une des composantes du dispositif de surveillance. On rappelle ici que celle-ci nécessite la détermination au préalable de **seuils** constituant les niveaux d'alerte. On essaiera alors d'utiliser au mieux les valeurs acquises antérieurement.

- (g) L'insuffisance d'informations issues d'une topométrie d'auscultation, ne permettant pas d'aboutir à l'établissement d'un diagnostic, doit conduire à examiner l'opportunité de recourir à d'autres moyens d'investigations. Si l'on conclue tout de même à considérer la topométrie comme un moyen pertinent, on peut être alors amené à mettre en œuvre une topométrie de surveillance renforcée.
- (h) La non validation de fonctionnement d'un ouvrage, issue d'une topométrie de surveillance renforcée peut conduire, après examen de l'opportunité, de recourir, suivant que l'on estime la sécurité engagée, soit à la topométrie d'auscultation, soit à la topométrie de haute surveillance.

Les chemins (f) et (g) sont, bien évidemment, exclusifs l'un de l'autre.

## Annexe 3

# Définitions en topométrie d'ouvrages d'art

### 1. Les points de mesure

#### 1.1. Définition

Un point de mesure est un point auquel seront attribuées des coordonnées pour suivre les déplacements relatifs ou absolus.

Trois catégories peuvent être définies :

- 1) un point matériel de l'ouvrage : tête de rivet, trou, marquage à la peinture, coup de pointeau.
- 2) un point d'une pièce fixée ou scellée sur une structure : cible, plot de nivellement.
- 3) un point défini par rapport à une pièce fixée ou scellée sur une structure, conçue pour recevoir des accessoires positionnés en centrage forcé.

*Il est rappelé que l'implantation définitive d'un ensemble de points de mesure sur une structure, définie en regard des objectifs de diagnostics sera validée par le donneur d'ordre (cf. annexe 4).*

*Les aspects technologiques relatifs aux points de mesure, sont traités dans l'annexe 5.*

#### 1.2. Caractéristiques et précautions d'emploi des points de mesure

L'attention est particulièrement attirée sur l'importance que revêtent le choix et la pose des points de mesure dans le cadre de l'équipement d'un ouvrage d'art.

De la qualité de ces opérations dépend le résultat final d'une action de topométrie.

Dans tous les cas, les points de mesure mis en place doivent satisfaire aux critères suivants :

- a : être adaptés au type et à l'objectif de la mesure ;
- b : être robustes, inaltérables, stables, solidaires et non agressifs vis-à-vis de la structure équipée ;
- c : être discrets, identifiables sans ambiguïté et disposés à l'abri du vandalisme.

Matérialisés par des pièces de géométrie diverses, les points de mesure sont réalisés dans un matériau répondant au critère (b) évoqué ci-dessus.

On les implantera à des emplacements jugés représentatifs de la mesure recherchée.

En topométrie à référence absolue, les points de mesure du maillage externe doivent :

- ◆ appartenir à un référentiel stable :
  - soit géologiquement : socle rocheux, micropieu, fondation ;
  - soit rapportés à un référentiel global et précis : type GPS ;
- ◆ répondre aux impératifs d'exploitation et de protection (c) :
  - utilisation d'éléments, en béton ou métalliques, adaptés au site et à l'ouvrage ;
  - utilisation de supports enterrés et protégés.

Certains géomètres conçoivent et réalisent leur propre équipement en points de mesure. Il y a donc lieu de rester particulièrement vigilant sur ces fabrications spéciales de matériel, en s'assurant que celles-ci sont confiées à des professionnels de la mécanique de précision. La fourniture de ces matériels doit être accompagnée des spécifications de fabrication.

Dans le cas de mise en œuvre de fabrications faisant l'objet d'un brevet, l'attention du donneur d'ordres est attirée sur le risque d'être contraint de confier les topométries ultérieures au prestataire initial. Il convient de réfléchir aux conséquences administratives et financières d'un tel choix, avant d'y recourir.

On peut noter que si certains dispositifs, proposés par les géomètres ou par les constructeurs, sont adaptés au type et à l'objectif de la mesure, leurs éléments de liaison à la structure peuvent être inadaptés, voir inexistant.

Dans ce cas, la pérennité de l'ensemble du dispositif et donc de la surveillance topométrique, ne sont plus assurées.

Dans le PAQ, doivent être renseignés tous les éléments relatifs à l'instrumentation : nature des points de mesure, matériau, liaison à la structure, scellement, matériau, liaison à la structure, scellement ...

### 1.3. Mise en œuvre des points de mesure

L'implantation des points de mesure sur un ouvrage requiert la mise en œuvre de procédures prédéfinies et doit s'effectuer en trois phases :

- ◆ la première, réalisée par le géomètre à partir du cahier des charges, correspond à une préimplantation qui se traduit par un marquage des points de mesure ;
- ◆ la deuxième, à charge du donneur d'ordres, consiste à valider cette préimplantation au regard :
  - du positionnement des points de mesure sur l'ouvrage ;
  - des contraintes de gabarit et de circulation ;
  - de l'accessibilité aux points de mesure pour les opérations ultérieures.
- ◆ la troisième, à charge du donneur d'ordres, correspond à la levée du point d'arrêt en constatant l'existence matérielle des points de mesure, de leur support et de leur scellement.

Il faut proscrire toute implantation sur la chaussée et son revêtement, sur les trottoirs et les dalles de couverture ainsi que les bordures de trottoirs, sur les éléments de garde-corps, massifs de candélabres, bardage, barrières de sécurité, écrans antibruit ...

On peut alors, sous réserve de s'assurer de leur liaison mécanique suffisante à la structure, instrumenter certains équipements tels que contre-corniches ou corniches, en s'assurant de rester en dehors de la zone d'influence des ancrages de dispositifs de retenue ou de sécurité.

#### 1.4. Fixation des points de mesure

Elle est le plus souvent réalisée par scellement ou collage, à la rigueur par soudage ou vissage, en cas d'impossibilité de procéder autrement.

##### 1.4.1. Le Scellement

Cette technique de fixation ne peut concerner que les zones saines de l'ouvrage, à l'exclusion de toute zone de nid de cailloux, d'épaufrure, de dépôt de laitance, ...

Le perçage des trous de scellement ne doit pas se situer à proximité d'armatures de précontrainte et ne doit pas être dommageable à l'ouvrage.

Il y a lieu de se référer au guide technique «Choix et application des produits de réparation et de protection des ouvrages en béton» publié par le LCPC/Sétra (août 1996), en ce qui concerne les prescriptions relatives aux produits de scellement. Ces produits doivent être admis à la marque NF.

Le bon nettoyage du trou et la compatibilité des plages d'utilisation des produits aux conditions du chantier doivent être vérifiés.

***Les chevilles « autoforeuses » ou « à expansion » sont prohibées (voir fascicule 20).***

##### 1.4.2. Le collage

Certains types de points de mesure, tels que cibles ou réglets peuvent être collés sur la structure.

La pérennité des produits proposés, leur adaptation aux surfaces en contact, leur stabilité physico-chimique ou mécanique : fluage, résistance aux UV, à l'humidité... doivent être vérifiées.

##### 1.4.3. Le soudage

Ce moyen de fixation est, en règle générale, fortement déconseillé : il est à réserver exclusivement aux implantations dans les endroits peu sollicités des éléments secondaires de la structure.

On doit s'assurer au préalable de la compatibilité des potentiels électrochimiques des matériaux soudés ainsi que de la soudabilité de ces matériaux.

Le soudage réalisé doit respecter les règles concernant ce procédé d'assemblage.

#### 1.4.4. Le vissage

Il nécessite au préalable la réalisation d'un taraudage et les consignes données ci-dessus liées au mode d'assemblage par soudage s'appliquent.

On doit respecter les règles propres à ce procédé d'assemblage.

#### 1.5. Le centrage forcé

Dans le cas où l'on ne souhaite pas maintenir en place les cibles, ainsi que dans les cas où l'on peut être amené à interchanger des cibles et/ou des instruments de natures différentes, il est nécessaire de recourir à l'emploi de cibles amovibles à centrage forcé.

Ce type de matériel est particulièrement recommandé dans les zones à risque de vandalisme.

Il est également utilisé pour des raisons économiques. Il faut alors être équipé de matériel rigoureusement calibré, définissant le centrage et la distance entre le point de mesure sur la cible et un point de référence du centreur.

On distingue deux types de cibles :

- ◆ rigides : planes, coniques ou sphériques ;
- ◆ orientables : sur cardan.

## 2. Les repères

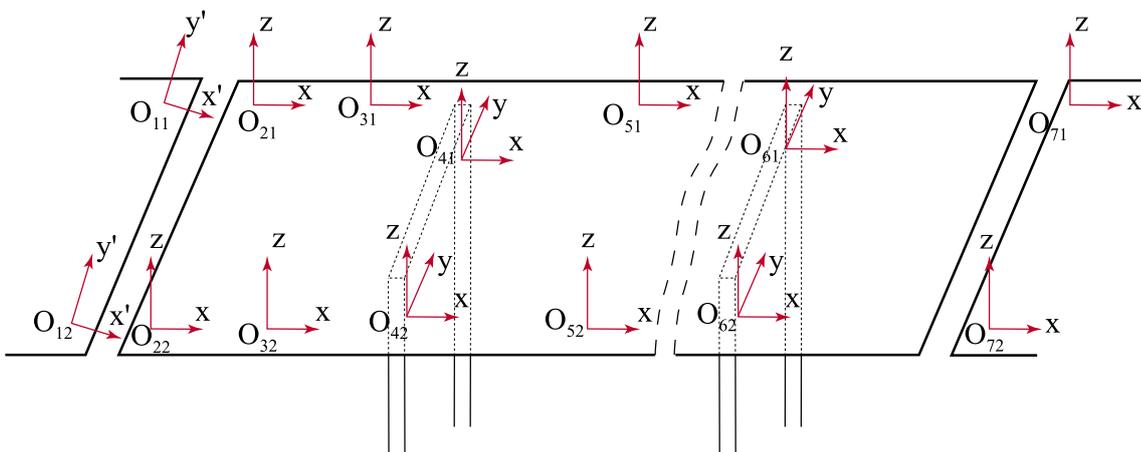
Un repère est l'association d'un système d'axes orthonormé et d'un point dont on souhaite mesurer les déplacements, constituant l'origine du système d'axes.

Les repères assignés à chaque point de mesure ou ensemble de points de mesure, sont **définis par le donneur d'ordres** qui a en charge de préciser au géomètre, la direction du ou des déplacements à mesurer.

**En règle générale, le repère orthonormé est défini comme suit :**

- ◆ l'axe  $O_x$  suivant la tangente à l'axe longitudinal du tablier. ;
- ◆ l'axe  $O_y$  suivant la normale à l'axe longitudinal du tablier ;
- ◆ l'axe  $O_z$  est vertical ascendant.

Le donneur d'ordres impose au géomètre la mesure des déplacements dans une ou plusieurs directions suivant les besoins.



### 3. Le référentiel

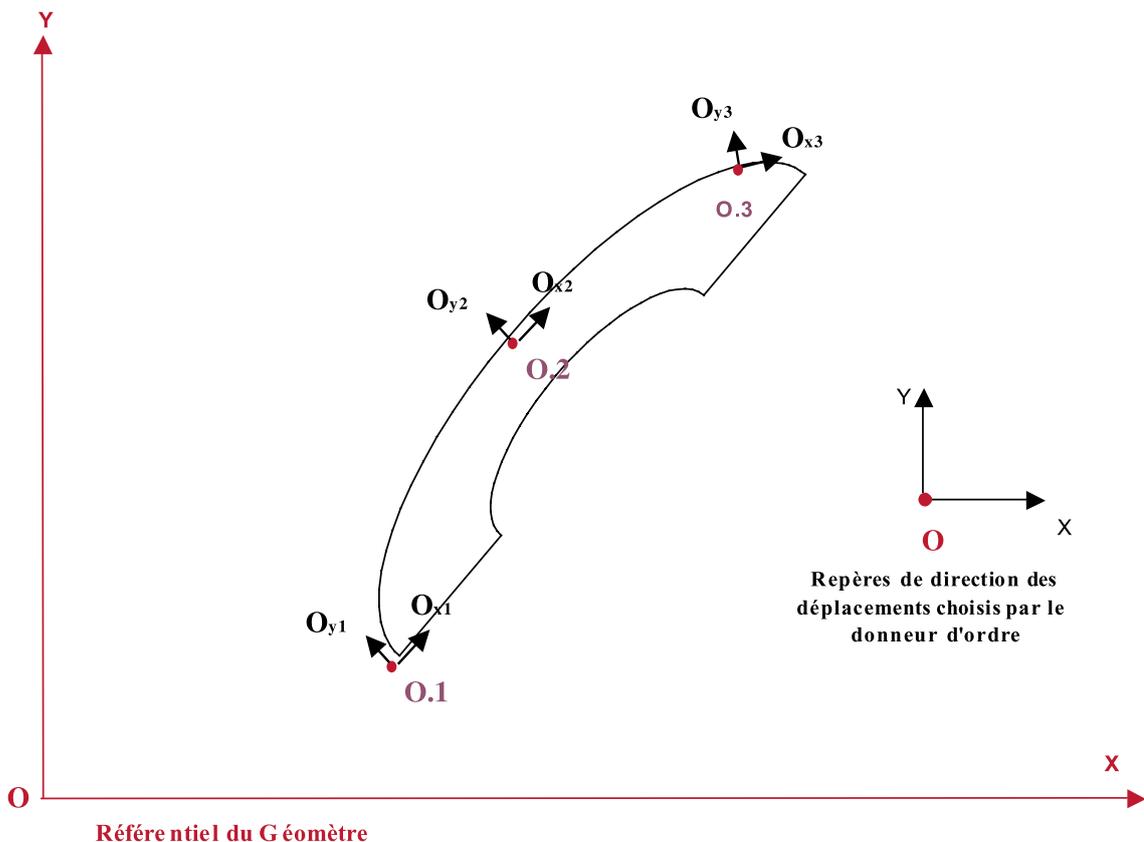
#### 3.1. Définition

Un référentiel est un système d'axes orthonormé ( $OX$ ,  $OY$ ,  $OZ$ ), associé à un point origine  $O$ , permettant le repérage de la position de tout point de l'espace.

**Ce système est fixé par le géomètre** lors de la première opération de topométrie et il permet d'y calculer la position des points de mesure.

**Ce référentiel est conventionnel** : c'est le référentiel de « travail » du géomètre. Il doit être défini avec précision, de manière à pouvoir être reconduit de campagne de mesures en campagne de mesures. Il ne nécessite aucune matérialisation sur le terrain du point origine, ni des axes.

S'il est indispensable que les déplacements des points soient exprimés dans le système de repères défini par le donneur d'ordres, leur position peut néanmoins être exprimée dans ce référentiel.



## 4. Les réseaux

### 4.1. Définition

On appelle réseau, une figure constituée de **points généralement matérialisés** sur le site, déterminés grâce un ensemble de mesures, en planimétrie et/ou en altimétrie.

Les opérations de topométrie consistent à déterminer la position de divers points dont on veut suivre l'évolution, par rapport à un réseau préalablement défini.

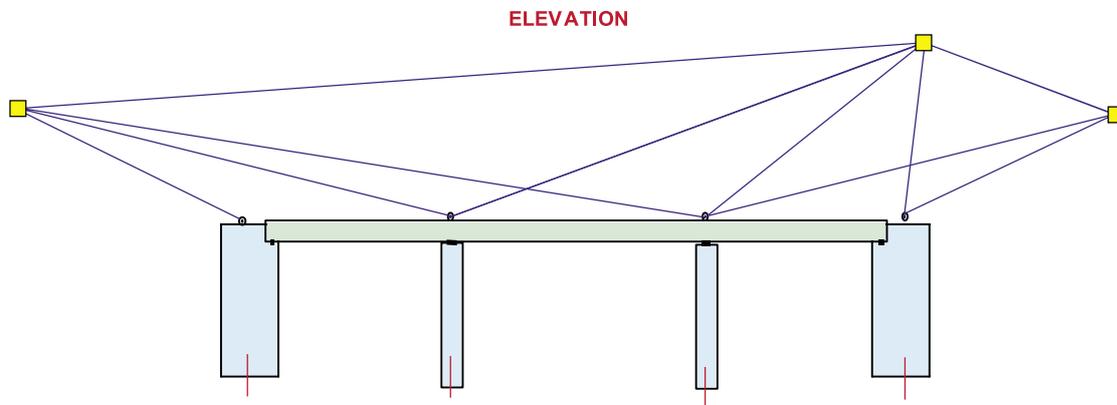
Dans le cadre de la surveillance topométrique des ouvrages d'art, deux types de réseaux sont utilisables :

- ◆ à repère absolu ;
- ◆ à mesures relatives.

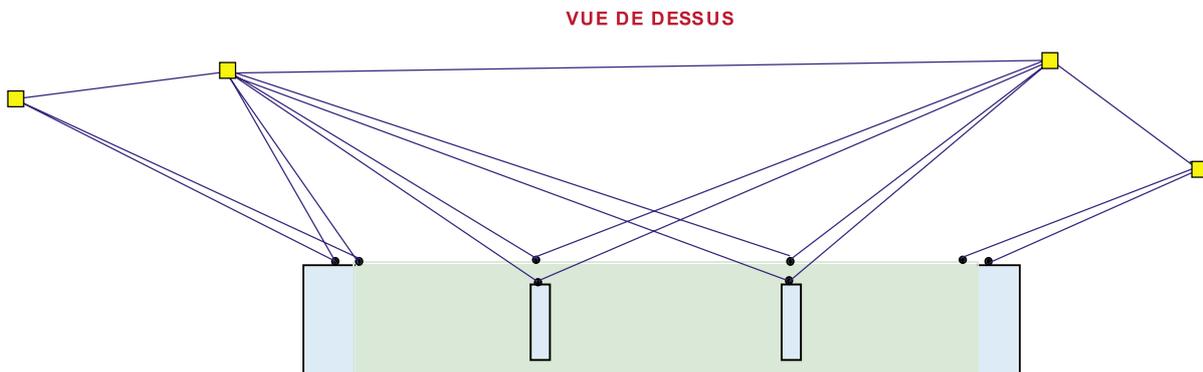
Ils découlent du mode de détermination des déplacements préalablement défini par le cahier des charges.

#### 4.1.1. Le réseau à référence absolue

Il comprend un maillage externe situé hors ouvrage, à partir duquel est déterminée la position des différents points de mesure. Avec un tel réseau, on obtient les déplacements d'un ouvrage par rapport à son environnement. Ils sont alors définis en « **mode absolu** ». Ce réseau peut, en outre, être rattaché à un système de repérage officiel : WGS84 – NTF – NGF.



*Ceci permet d'obtenir la valeur d'un éventuel tassement d'ensemble*



*Ceci permet d'obtenir la valeur d'un éventuel déplacement d'une partie de l'ouvrage ou de l'ensemble*

#### 4.1.2. Le réseau à mesures relatives

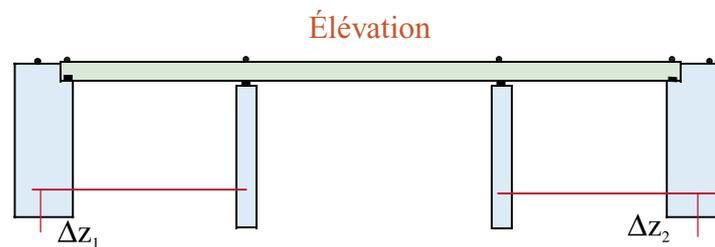
Il est lié à l'ouvrage et non rattaché à des points extérieurs. Il permet la mesure des déplacements relatifs entre divers points de l'ouvrage.

On mesure par exemple le tassement différentiel d'une pile par rapport à une autre, tout en s'affranchissant du tassement d'ensemble de l'ouvrage.

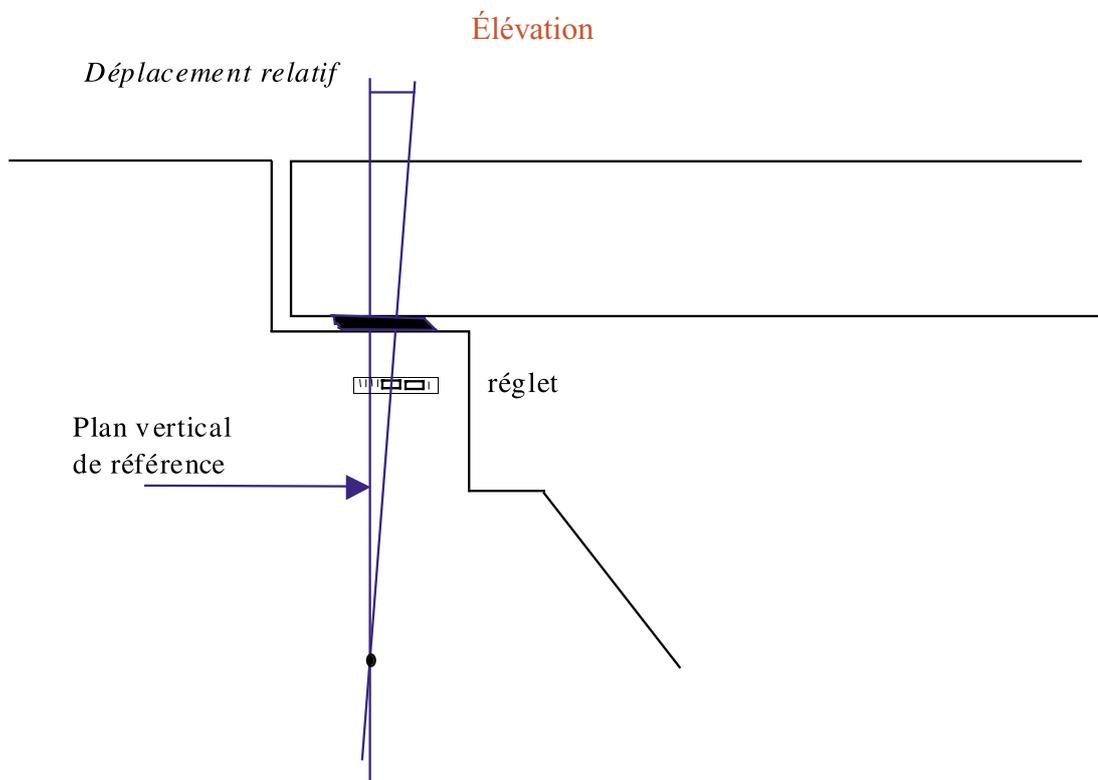
Au rang des applications possibles, on peut citer :

- ◆ les mesures de convergence ;
- ◆ les mesures de rotation d'un appui.

On ne pourra faire le choix de ce type de réseau qu'après avoir préalablement étudié et défini un certain nombre d'hypothèses sur le fonctionnement de l'ouvrage ou de la partie d'ouvrage, et lorsqu'on aura validé le mode « **relatif** » comme étant le plus approprié.



*Ceci permet d'obtenir la valeur d'un éventuel tassement différentiel entre appuis*



Mise en évidence de la rotation de la culée, sans pour autant connaître le déplacement réel de celle-ci.

#### 4.2. Choix du type de réseau

C'est le mode de détermination des déplacements - absolu ou relatif - qui imposera au géomètre le type de réseau à mettre en place.

L'instrumentation de l'ouvrage, le mode opératoire, l'exploitation des résultats découleront du mode de détermination choisi.

#### 4.3. Constitution d'un réseau

L'ossature d'un réseau doit conduire à la détermination la plus pertinente de la position de tout point de mesure.

Outre le mode de détermination, la forme et la densité d'un réseau dépendent :

- ◆ de la topographie du site ;
- ◆ de la géométrie et du type d'ouvrage ;
- ◆ du sens et de l'importance des déplacements recherchés ;
- ◆ de la fréquence des interventions ;
- ◆ des précisions requises.

Sauf dans le cas de reconduction d'une opération, la structure du réseau doit être proposée par le géomètre.

Les ouvrages dont l'importance conduit à réaliser des réseaux dont une dimension excède 100 mètres en altimétrie ou 500 mètres en planimétrie, doivent faire l'objet d'un découpage du réseau.

## Annexe 4

# Éléments pour la rédaction d'un cahier des charges de topométrie

L'annexe 4 constitue un guide pour le rédacteur d'un cahier des charges en matière de topométrie.

### 1. Limite d'emploi

Elle ne prétend nullement constituer un document-type.

A ce titre, elle n'est pas exhaustive, et doit être adaptée à certains cas particuliers (topométrie de haute surveillance, par exemple). Son utilisation nécessite la lecture attentive de l'ensemble du présent fascicule.

### 2. Présentation

Dans sa partie gauche, désignée par « Texte », elle énumère les titres des chapitres et articles, et donne quelques indications ou exemples de rédaction sur son contenu.

Souvent le simple énoncé du paragraphe a été jugé suffisamment explicite pour ne pas détailler une rédaction qui est laissée à l'appréciation du rédacteur.

Quelquefois, il a été jugé utile de proposer une esquisse de texte, afin d'éclairer le rédacteur sur le contenu du paragraphe.

Les mentions portées à droite sous le titre « Commentaires » n'ont de valeur qu'indicative. Elles permettent de préciser au lecteur l'articulation d'un paragraphe par rapport à l'ensemble du document, ou donnent des indications sur des valeurs à choisir.

### 3. Adéquation du cahier des charges à la difficulté de l'opération topométrique

Le cadre de cahier des charges a été bâti pour des opérations topométriques de toutes difficultés.

Il doit, bien évidemment être adapté en fonction de la complexité de l'opération. En particulier, les clauses du paragraphe 3.2 ne sont pas retenues, si elles sont sans objet.

De même, il est, la plupart du temps, inutile de définir des délais partiels au paragraphe 4.5.

Dans le cas où l'opération topométrique ne revêt pas un caractère particulièrement délicat, il suffit d'exiger le contenu du mémoire technique évoqué au 5.1.

Enfin, en ce qui concerne la gestion de la qualité, il faut éviter de demander au moins ce qui est prévu au paragraphe 6.2.

Par contre, le paragraphe 6.3 doit être allégé en tant que de besoin.

## Exemple de cahier des charges

### 1 - Indications générales

#### TEXTE

##### 1.1. Données sur l'ouvrage

1.1.1. Situation

1.1.2. Date de construction

1.1.3. Description sommaire de l'ouvrage

1.1.4. Géométrie de l'ouvrage

1.1.5. Conditions particulières

##### 1.2. Actions de topométrie antérieures

1.2.1. Topométrie initiale

1.2.2. Autres topométries

1.2.3. Réseau(x) préexistant(s).

##### 1.3. Contraintes

1.3.1. Contraintes liées aux conditions de circulation

1.3.2. Contraintes hydrauliques

1.3.3. Contraintes liées aux accès

1.3.4. Conditions météorologiques

1.3.5. Plages de travail imposées ou soumises à conditions

1.3.6. Contraintes particulières

#### COMMENTAIRES

*Le donneur d'ordres juge de l'opportunité de fournir des informations fiables relatives aux fondations de l'ouvrage et aux caractéristiques des sols environnants.*

*Dans la mesure où cette information est connue (facultatif)*

*On se limite aux informations susceptibles d'avoir une influence sur la méthode du géomètre.*

*Par exemple : conditions d'utilisation d'un alternat par feux ou piquets K10.*

*Zones de marnage - plus hautes eaux annuelles.*

*Par exemple : interdiction par température < 0°C - interdiction par vent > 8 m/s.*

*Par exemple : travail entre 22h00 et 6h00 - mesures soumises à conditions de températures particulières («gradient thermique» ...)*

*Des investigations ou des travaux simultanés aux opérations de topométrie peuvent gêner, perturber ou empêcher ces mesures.  
- Les opérations de topométrie.... devront être exécutées en concomitance avec les investigations suivantes : .....*

## 2 - Objectifs

### TEXTE

2.1. Le présent marché a pour objet l'établissement d'une topométrie ..... (\*1)

2.1.2. au sens du Fascicule 04 de la 2° partie de l'Instruction Technique du 10 octobre 1979, concernant la ..... (\*2)

2.2 Cette topométrie a pour objectif d'apprécier les déplacements suivants : ..... (\*3)

### COMMENTAIRES

(\*1) : *initiale*  
 - de surveillance renforcée  
 - de haute surveillance  
 - d'auscultation.

(\*2) : *totalité de l'ouvrage*  
 - partie d'ouvrage : .....

(\*3) : *on porte ici les directions principales des mesures*

## 3 - Consistance des travaux

### TEXTE

3.1. Les travaux comprennent :

3.1.1. La pré-implantation des points de mesure.

3.1.2. La vérification de la compatibilité de cette implantation avec les structures et les réseaux existants.

3.1.3. La fourniture et la mise en œuvre des points de mesure.

3.1.4. La fourniture et la mise en œuvre des points de mesure complémentaires

3.1.5. Les mesures proprement dites, accompagnées de l'enregistrement des paramètres perturbant les mesures, et/ou l'enregistrement des paramètres influençant la géométrie de l'objet observé, laissés à la charge du géomètre.

3.1.6. L'établissement d'un rapport comprenant :  
 - Le plan d'implantation des points de mesure.

### COMMENTAIRES

*Toute commande en matière de topométrie doit comporter les éléments cités à ce paragraphe*

*Il s'agit ici des points de mesures que le géomètre se propose de mettre en œuvre complémentaires aux points de mesure demandés par le donneur d'ordre, et jugés nécessaires pour mener à bien les opérations de topométrie.*

*Ces points doivent être pris en compte lors de l'établissement de la proposition du géomètre. Le donneur d'ordres doit se réserver la possibilité de ne pas retenir comme stables certains points de mesure complémentaires proposés par le géomètre.*

*Par tout moyen : croquis, schémas, notices.*

- La description des points de mesure et de leur mise en oeuvre.
- Le récolement des procédures,
- Les mesures ajustées
- Les déplacements.
- Les résultats sous une forme exploitable.

*Phasage et contenu des interventions (journal de chantier, conditions d'environnement, ...).*

*Le recours à des outils de traitement statistique des informations peut conduire à des erreurs d'analyse. Sous la forme décrite au §4.5 fournir ceux de ces points qui doivent être considérés comme stables.*

**3.2. Les travaux comprennent en outre :**

*Dans la mesure où l'opération dépasse le cadre d'une opération simple, il convient de retenir les articles ci-contre, pour autant qu'ils soient pertinents au regard de l'opération menée :*

3.2.1. La réalisation des infrastructures ..... (\*), participant à la confection du réseau d'appui ..... (\*) :

*- décrire lesquelles : socle de béton, appareillage métallique, micro-pieu de référence, ...*

3.2.2. La fourniture et la mise en œuvre des moyens d'accès particuliers suivants :.....

3.2.3. La signalisation temporaire nécessitée par les opérations topométriques, conduite selon les prescriptions contenues dans .....

*- préciser ici le document de référence en matière de signalisation temporaire*

3.2.5. L'enlèvement de la végétation susceptible d'entraver ou de gêner les mesures.

3.2.6. La réalisation des infrastructures ....., participant à la confection du réseau à référence absolue.

3.2.7. L'essai de convenance (mesures «à blanc») permettant :

- la validation des méthodes,
- la validation des procédures,
- la validation des moyens,

3.2.8. Les compléments suivants au rapport :

- Le traitement des non-conformités,
- Les valeurs brutes,
- Les méthodes d'ajustement,
- La détermination de la stabilité des points, qui sera accompagnée des corrections et de leurs justifications,

*L'attention du donneur d'ordres est attirée sur le fait que le choix de points réputés invariants, réalisé par le géomètre, peut être contestable (cf : commentaire du § 3.1.4 ci-dessus)*

**3.3. Les travaux ne comprennent pas :**

*On citera ici les sous paragraphes précédents que l'on n'aura pas retenu au § 3.2, pour autant que leur mention soit pertinente dans le cadre de l'opération topométrique.*

## 4 - Spécifications

### TEXTE

Dans cette partie, sera réutilisé les résultats de la réflexion mentionnée au § 4.2. du présent fascicule.

#### 4.1. Implantation des points de mesure

Le schéma (plan) n°. définit les zones d'implantation des points de mesure.

#### 4.2. Mode de détermination des déplacements

Le mode de détermination des déplacements est le mode local/absolu (rayer la mention inutile)

#### 4.3. Direction des déplacements.

Le schéma (plan) n°. définit les directions des déplacements associées aux points de mesure.

#### 4.4. Erreur tolérée sur les valeurs des déplacements.

#### 4.5. Forme des résultats

Les résultats seront présentés sous la forme suivante .....

#### 4.6. Délais

- 4.6.1. Délai global.
- 4.6.2. Délais partiels.
  - Préparation (PAQ, Procédures, Déclaration d'Intention de Travaux, ...)
  - Préimplantation et mise en oeuvre des points de mesure,
  - Essai de convenance (mesures à blanc),
  - Réalisation des mesures et vérification de la validité des résultats bruts,
  - Etablissement du rapport évoqué au §3.1.6

#### 4.7. Périodicité des mesures

### COMMENTAIRES

*Préférer un schéma d'implantation à une description souvent difficile à réaliser*

*Même en cas de recours au mode de détermination local, le réseau comprend des points sur l'ouvrage dont la stabilité n'est pas, a priori, affectée par les désordres.*

*Appliquer l'annexe 6 en topométrie initiale d'ouvrage classique.*

*Pour les autres actions topométriques, se référer au rapport d'expertise ayant conduit à la décision de recours à la topométrie.*

*Le donneur d'ordres doit spécifier l'erreur qu'il tolère. Il importe de veiller à la juste adéquation entre la précision requise au regard des besoins exprimés (à titre indicatif).*

*On peut se rapprocher des valeurs indiquées dans l'annexe 6 du présent fascicule) et l'exigence relative à l'erreur tolérée.*

*Le géomètre doit utiliser les appareils, les méthodes de mesure, les modes opératoires, les modèles de traitements tels que l'erreur en résultant demeure au plus égale à l'erreur tolérée par le donneur d'ordre sur les valeurs des déplacements.*

*Le donneur d'ordres doit préciser sous quelle forme il désire l'édition des résultats : tableau numérique, fichier informatique, graphique,...*

*Sauf dans les cas particuliers (surveillance renforcée, ...) ces délais partiels ne doivent pas faire l'objet d'une contractualisation a priori. Ils doivent être traités dans le P.A.Q. (points d'arrêt).*

*Le cas échéant.*

## 5 - Prescriptions

### TEXTE

#### 5.1. Mémoire technique

Le géomètre fournit un document qui, à partir de l'analyse du problème posé et des conditions d'environnement, précise moyens, méthodes et matériels.

#### 5.2. Réseau

Il fait l'objet d'une description précise.

Dans la mesure où des opérations de topométrie antérieures auraient nécessité la mise en place d'un réseau, il convient d'étudier sa réutilisation.

#### 5.3. Nature des points de mesure

Les points de mesure qui seront mis en place devront être : adaptés au type et à l'objectif de la mesure, robustes, inaltérables, stables, solidaires de la structure à observer et non agressifs vis à vis de celle-ci, discrets, parfaitement discernables de leur environnement

Dans le cas des points de mesure comportant une partie amovible, leur fabrication doit tenir compte des tolérances compatibles avec les besoins

### COMMENTAIRES

*Pour les opérations de topométrie délicates, cette pièce doit être fournie à l'appui de la proposition. Il s'agit d'un élément essentiel permettant de juger de la qualité de l'offre. Pour les autres opérations, cette pièce participe au PAQ*

*L'implantation de ce réseau doit permettre d'assurer sa stabilité et sa pérennité, en particulier au regard des contraintes d'environnement, des phénomènes physiques susceptibles d'affecter le site et des actions humaines (vandalisme, constructions ultérieures, ...)*

*Dans ce cas, fournir au géomètre les documents issus de la campagne antérieure ayant conduit à l'établissement du réseau.*

*Le rédacteur jugera de l'opportunité de retenir tout ou partie des prescriptions portées ci-dessous, en fonction de la complexité de l'opération.*

*Ils évitent au mieux :*

*- l'effet de phase : excentrement de la visée provoqué par le contraste lumineux sur les pièces en relief.*

*- l'effet goutte d'eau : variation géométrique apparente provoquée par la présence d'eau sur le point de mesure.*

*- En mode direct, les points de mesure doivent, dans la zone de scellement, être munis de gorges transversales et longitudinales ou d'une patte de scellement.*

*Les matériaux qui pourront être employés sont le laiton, l'acier inoxydable, le bronze. Sont exclus l'aluminium et l'acier non traité. Les clous, rivets, tiges, gravures, ne seront pas acceptés.*

*En mode indirect, pourront être employés : les cibles percées les marques de visée à anneaux concentriques dont les dimensions seront adaptées au rapport «distance / grossissement» de l'appareil de mesure, les éléments à tête sphérique, ou tout autre dispositif qui devra faire l'objet d'une justification portée au dossier méthodique.*

*Les cibles retroréfléchissantes seront acceptées à condition que le prestataire justifie de la précision obtenue et de leur pérennité à long terme au regard du vieillissement des gravures ou des marques de visée, et du dispositif de réflexion.*

#### 5.4. Matériels

Le géomètre doit justifier de l'adéquation entre le matériel proposé et l'erreur tolérée sur les valeurs des déplacements.

Le géomètre doit s'assurer de la compatibilité entre les moyens mis en oeuvre et les délais imposés, ou ceux permettant d'obtenir la qualité requise et en apporter la preuve.

#### 5.5. Procédures & Mode d'exécution

Le géomètre devra justifier de l'adéquation entre les procédures mises en oeuvre et l'erreur tolérée sur les valeurs des déplacements.

Les mesures seront conduites de manière à obtenir au minimum une double détermination.

En mode de nivellement direct, les visées seront limitées à une trentaine de m.

#### 5.6. Présentation des résultats

Les différents éléments du rapport défini au § 3.1.5. du présent Cahier des Charges, sont communiqués au fur et à mesure de l'avancement des travaux.

Tous les tableaux numériques sont aussi fournis sous la forme de tableurs exploitables avec le logiciel ...

Tous les dessins seront fournis aussi sur supports informatiques exploitables avec le logiciel ...

*Les dimensions des repères de culée, (longueur diamètre), devront tenir compte de l'épaisseur du bardage constituant l'habillage.*

*Le diamètre de perçage des panneaux devra permettre au repère un degré de liberté d'un centimètre.*

*Les chevilles «autoforeuse» ou à expansion sont prohibées.*

*Le géomètre vérifiera l'influence des caractéristiques métrologiques du matériel sur l'incertitude globale.*

*à retenir si nécessaire*

*à retenir si nécessaire*

## 6 - Gestion de la qualité

### TEXTE

#### 6.1. Mise en place de la qualité

Au titre de la gestion de la qualité, le géomètre est tenu d'établir et de tenir à jour un Plan d'Assurance Qualité (P.A.Q.)

#### 6.2. Plan d'Assurance Qualité.

##### Le P.A.Q. traite au minimum :

1. Qualification des intervenants.
2. Vérification de l'adéquation de la méthode aux exigences de la commande, en particulier aux objectifs fixés au chapitre 2 de la présente annexe.
3. Matériels et matériaux :
  - Désignation des matériels,
  - Vérification de l'adéquation du matériel choisi, à la précision requise.
  - Etalonnage et calibrage du matériel de mesure.
  - Constitution et fixation des points de mesure.
4. Gestion des fournitures :
  - Nature des produits utilisés.
  - Traçabilité des fournitures.
5. Etablissement des procédures.
6. Proposition de présentation des résultats
7. Constitution du dossier de suivi de la qualité :
  - Etat des contrôles,
  - Fiches de suivi du matériel,
  - Traitement des non-conformités,

#### 6.3. Assurance de la qualité :

Pendant la période de mise au point du marché, le donneur d'ordres établit un Schéma Directeur de la Qualité (SDQ), traitant des relations entre les différents intervenants

Ce document comprend au minimum, les éléments suivants :

- Procédure de communication des documents.
- Délai de visa.
- Gestion des «non-conformité».
- Contenu du contrôle intérieur.
- Points d'arrêt. (\*)

### COMMENTAIRES

*Les travaux topométriques sont réalisés en application des principes garantissant la maîtrise de la qualité, en s'inspirant :*

- des normes de la série ISO 9000.
- de l'esprit relatif à la qualité spécifié dans le fascicule 65A du CCTG.
- des circulaires T1 - 87 / 89/ 90.

*les contrôles portent sur le matériel et/ou les procédures.*

*Ne retenir ce paragraphe 6.3 que pour les opérations importantes ou délicates*

*(\*) A titre indicatif, au rang des points d'arrêt, on peut citer, en complément du § 4.5.2., les phases d'exécution suivantes :*

- Visa des procédures
- Acceptation des points de mesure.
- Vérification de la conformité du matériel et de sa présence effective
- Détermination de la stabilité du réseau d'appui.



# Annexe 5

## Méthodes et matériels

### PRÉSENTATION

Cette annexe présente au travers de fiches, les méthodes et matériels à la disposition des géomètres.

A chaque fiche méthode est associé un ensemble de fiches matériel.

Le choix d'une méthode et d'un matériel associé est déterminé à la fois par :

- ◆ le domaine d'application de la méthode ;
- ◆ l'adéquation entre la précision requise et celle permise par le matériel.

Cette annexe constitue pour le donneur d'ordres, un guide qui lui permet d'évaluer la pertinence des méthodes proposées par le géomètre et se limite à décrire les principales techniques dont ce dernier dispose.

Elle présente les matériels employés à l'époque de l'écriture du présent fascicule. L'évolution rapide de la technologie dans le domaine de la mesure topométrique doit inciter le lecteur à se tenir informé des récentes évolutions, afin d'actualiser ses connaissances.

# Annexe 5

## Fiches méthode et fiches matériel

Fiche méthode	Famille	Fiche matériels
1 - Nivellement direct	Mesures selon Z	1.1 à 1.4
2 - Mesures de distances	Mesures selon X ou Y	2.1 à 2.2
3 - Écarts a un plan	Mesures selon X ou Y	3.1 à 3.3
4 - Mesures polaires	Mesures ( X + Y + Z)	4.1 à 4.2
5 - Mesures angulaires	Mesures 2 D ou 3 D ( X + Y + Z)	5.1 à 5.3

Fiche matériel	Méthode	Famille	Précision
1-1 Niveau de chantier 1-2 Niveau de précision 1-3 Niveau de haute précision 1-4 Niveau robotisé	Nivellement direct	Mesures selon Z	± 5 mm localement ± 0,5 à 2 mm localement ± 0,3 à 1 mm localement ± 0,4 à 1 mm à 40 m
2-1 Distancemètre 2-2 Distance au fil invar	Mesures de distance	Mesures selon X ou Y	± 1 à 2 mm ± 0,5 mm à 40 m
3-1 Alignements à la lunette 3-2 Lunette nadirale ou zénithale 3-3 Translatomètre	Ecart à un plan	Mesures selon X ou Y Mesures 2D Mesures selon X ou Y	± 1 à 100 m ± 1 à 100 m ± 0,4 à 1 mm à 40 m
4-1 Mesures polaires 4-2 Station robotisée	Mesures polaires	Mesures 3D	± 0,5 à 3 mm à 100 m
5-1 Triangulation	Mesures angulaires	Mesures 2D ou 3D	± 0,5 à 2 mm
6-1 GPS statique 6-2 GPS cinématique	Mesures globales	Mesures 3D	Quelques mm Quelques cm

# Annexe 5

## Fiche méthode 1 Nivellement direct

FAMILLE : MESURES SELON Z

FICHES MATÉRIELS 1.1 À 1.4

### DÉFINITION : MÉTHODE UNIDIMENSIONNELLE

Le nivellement direct consiste à déterminer des altitudes ou des dénivelées entre points à l'aide d'un niveau, par différence de lecture à l'aide de mires posées verticalement sur les points de mesure concernés.

### DOMAINE D'APPLICATION

C'est la technique la plus couramment utilisée en topométrie. Elle concerne une large gamme de précision. On l'utilise notamment sur les tabliers (extrados ou intrados de dalles) et appuis d'ouvrages.

Elle convient à toutes les étapes de la vie d'un ouvrage : construction, surveillance, réparation,...

### MODE DE DÉTERMINATION

**MODE ABSOLU** : le nivellement est exécuté à partir du réseau à référence absolue (cf. annexe 3.4).

On obtient les *déplacements absolus* de l'ouvrage ou partie d'ouvrage.

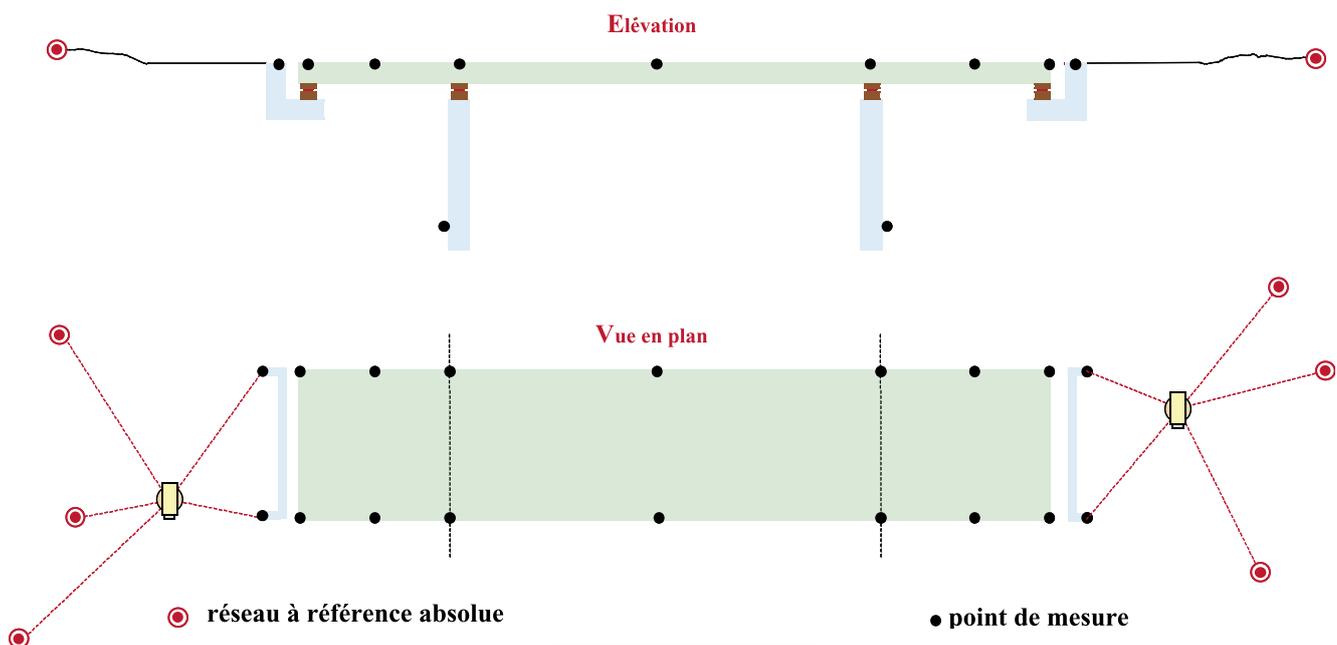


illustration 1

**MODE LOCAL** : le nivellement est exécuté dans le système propre à l'ouvrage. On obtient les *déplacements différentiels* entre parties d'ouvrage.

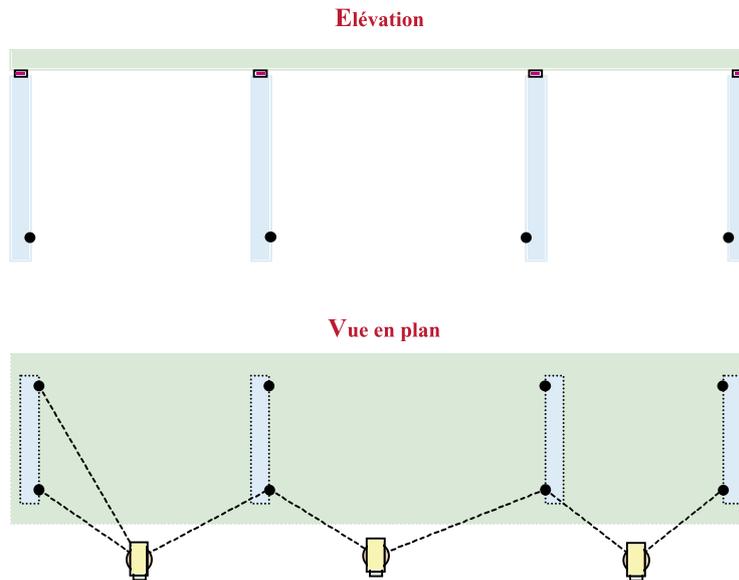


illustration 2

● point de mesure

**MATÉRIEL**

Niveau numérique ou à lecture optique avec ses accessoires  
 Les accessoires tels que mires, nivelles, trépieds,... sont aussi importants que les niveaux.  
 Ils doivent être adaptés à la précision recherchée.  
 L'ensemble de ce matériel doit avoir fait l'objet de procédures de réglage et d'étalonnage.  
 Les différents matériels sont décrits dans les fiches correspondantes.

**PRINCIPE DE LA MESURE DE NIVELLEMENT**

**PAR RAYONNEMENT** : on détermine plusieurs points de mesure à partir d'un même appareil.

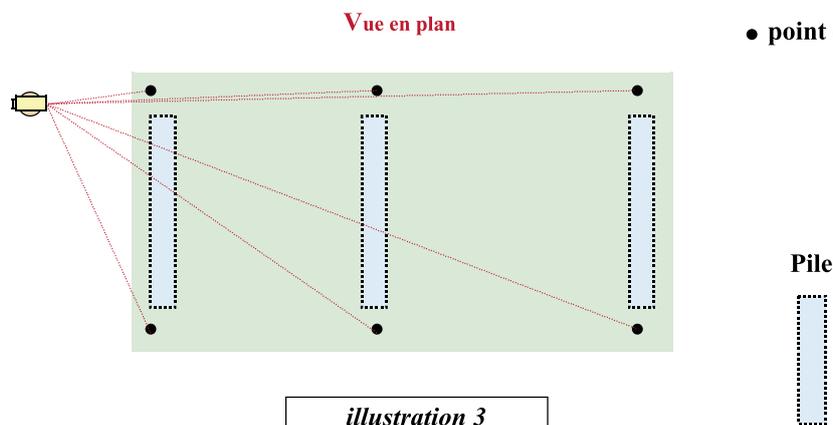
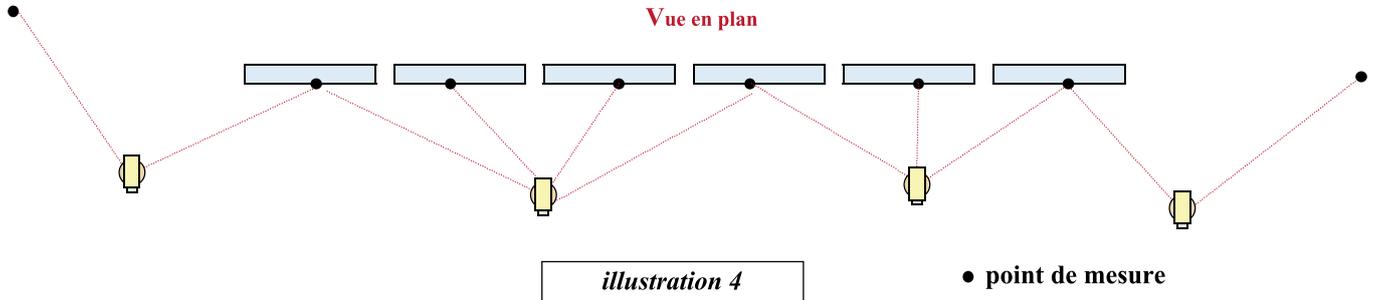


illustration 3

● point de mesure

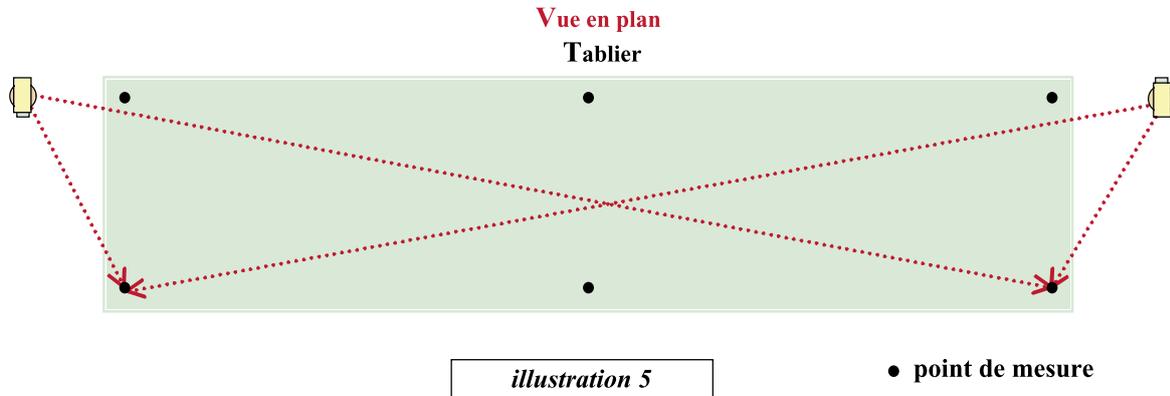
Pile

**PAR CHEMINEMENT** : lorsque la distance « appareil-point de mesure » - appelée également « portée » - ou la dénivellée entre points de mesure sont trop importantes pour le matériel utilisé, on réalise des portées successives qui constituent un « cheminement ».



#### NIVELLEMENT PAR CHEMINEMENT ET RAYONNEMENT

**PAR VISÉES RÉCIPROQUES** : celles-ci permettent d'éliminer l'effet de la courbure terrestre et de la réfraction pour le franchissement d'une brèche, d'un plan d'eau ... lorsque la mise en place d'un niveau est impossible en axe de brèche.





**COMMENTAIRES**

- ◆ principe d'une grande simplicité et de mise en œuvre rapide ;
- ◆ un choix important de matériel permet d'obtenir la précision requise ;
- ◆ la répétabilité des mesures est facile à assurer ;
- ◆ adaptation possible à l'évolution des besoins, par la pose de points de mesure complémentaires ;
- ◆ sa simplicité peut inciter à un emploi abusif ou inadapté ;
- ◆ elle impose d'accéder aux parties d'ouvrage à mesurer pour placer les mires ;
- ◆ les visées sont limitées à des plans horizontaux ;
- ◆ elle s'applique principalement à des structures simples, les portées du nivellement restant limitées.

**PRÉCAUTIONS D'EMPLOI**

Bien que la méthode de nivellement direct soit une technique simple, elle n'exclut pas que l'on prenne certaines précautions.

**VALIDATION DE LA MÉTHODE**

Le géomètre devra valider la méthode par :

- ◆ une reconnaissance du site et de l'ouvrage ;
- ◆ l'analyse des contraintes liées entre autres à la nature des déplacements : absolus ou relatifs ;
- ◆ le choix des matériels permettant d'obtenir la précision requise au regard de la grandeur des mouvements attendus, de la circulation, des accès, des plages de travail, etc.

**ÉTALONNAGE**

Niveaux et mires doivent faire l'objet d'étalonnages et de calibrations dont la fréquence est adaptée à la technologie utilisée.

Les certificats d'étalonnage doivent être tenus à disposition par le géomètre.

**CONTRÔLE DE CONVENANCE EN DÉBUT D'OPÉRATION**

Ils concernent la vérification du matériel au début de chaque opération de nivellement.

Ces contrôles portent sur la verticalité de la mire et l'orthogonalité de son talon par rapport au ruban.

Les contrôles comprennent la vérification et les réglages usuels des appareils de mesure, tels que spécifiés par le constructeur.

Les procédures et résultats des contrôles font partie des éléments du rapport de mesures.

Les mires doivent être rigides. Elles doivent être stabilisées, le cas échéant, à l'aide d'un dispositif approprié aux conditions d'environnement.

Dans le cas d'une méthode nouvelle, d'une opération importante ou de difficultés dans la maîtrise de paramètres extérieurs, une validation de la méthode et du mode opératoire par un essai de convenance sur le site s'avèrent nécessaires.

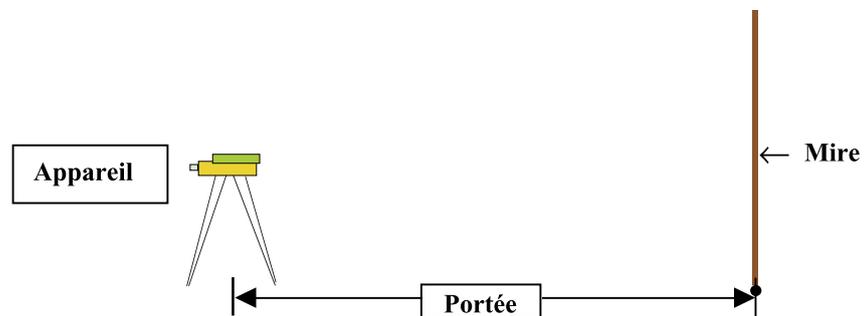
## PROCÉDURES

Elles doivent inclure :

- ◆ des vérifications et contrôles : double cheminement ou détermination, validation en temps réel des mesures ;
- ◆ le respect des critères physiques de la *portée* :
  - sa longueur maximale est généralement limitée à 30 mètres ;
  - cette longueur doit rester compatible avec la précision requise ;
  - application du principe d'équidistance ;
- ◆ l'organisation du nivellement :
  - opérations simultanées avec plusieurs appareils de mesure.

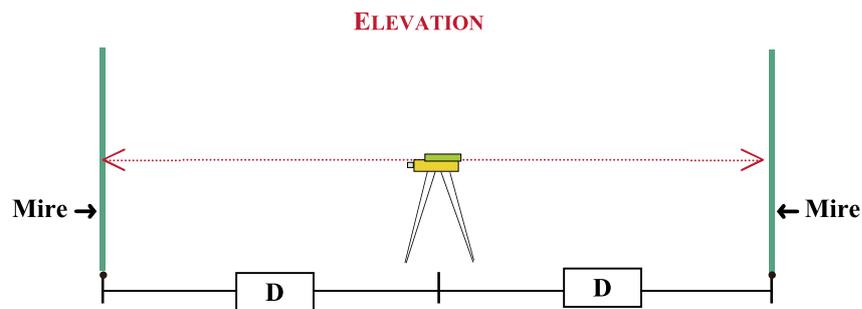
### PORTÉE D'UN APPAREIL

*C'est la distance entre l'appareil de mesure et la mire de lecture*

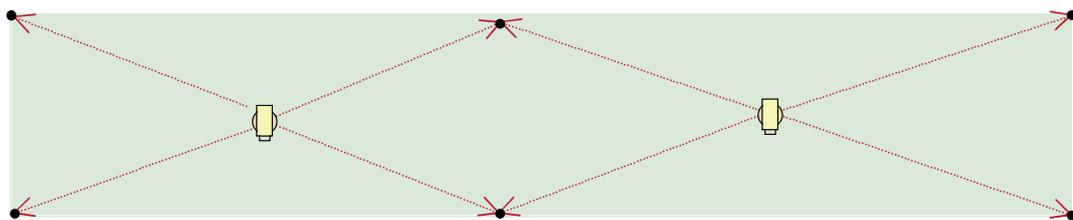


### ÉQUIDISTANCE DES PORTÉES

*Elle permet d'éliminer certaines erreurs instrumentales dans le calcul de la dénivellée entre deux points de mesure*

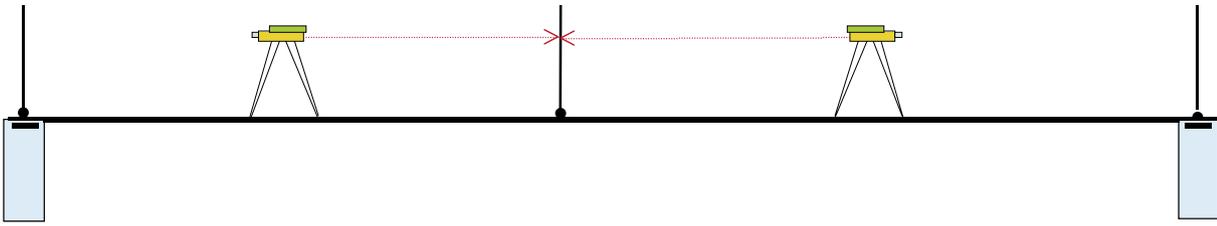


### NIVELLEMENT PAR MESURES SIMULTANÉES à l'aide de 2 appareils



**ÉQUIDISTANCE DES PORTÉES**

*Elle permet d'éliminer certaines erreurs instrumentales dans le calcul de la dénivelée entre deux points de mesure*



**Longueur de la travée = 100m**

*illustrations 8*

**TRAITEMENT DES MESURES**

Il comprend une étude de stabilité destinée à valider les points du réseau de référence. Les calculs doivent inclure l'ensemble des mesures, traitées globalement par la méthode des moindres carrés. Dans les documents remis doivent figurer, outre les résultats, toutes les mesures, faisant alors apparaître les « résidus »...

Une visualisation graphique de ces résultats s'avère essentielle car elle permet de déceler d'éventuelles anomalies. Elle contribue au diagnostic de l'évolution géométrique de l'ouvrage.

# Annexe 5

## Fiche méthode 2 Mesures de distances

FAMILLE : MESURES SELON X OU Y

FICHES MATÉRIELS 2.1 À 2.2

### DÉFINITION : MÉTHODE UNIDIMENSIONNELLE

Elle permet d'obtenir la longueur et/ou les variations d'un segment représentatif de la distance entre deux points de mesure, par exemple entre deux appuis.

### DOMAINE D'UTILISATION

Après détection de désordres :

- ◆ pour mesurer des déplacements relatifs : par exemple le déplacement de la tête d'un pylône relativement à une autre partie de la structure ;
- ◆ pour mettre en évidence des déformations géométriques : convergences en tunnel.

### MODE DE DÉTERMINATION

Le mode de détermination est principalement un mode local propre à l'ouvrage sans rattachement à un réseau extérieur : on obtient les mouvements différentiels entre parties d'ouvrage.

### MATÉRIEL

- ◆ distancemètre électro-optique associé ou non à un théodolite. Le support du matériel de mesure doit faire l'objet d'une étude et la réalisation doit être confiée à un professionnel ;
- ◆ distancemètre à fil invar.

### PRINCIPE DE MESURE

- ◆ mesure électronique de la distance séparant un émetteur d'un réflecteur ;
- ◆ mesure mécanique par lecture sur un vernier solidaire d'un fil invar.

### POINTS DE MESURE

- ◆ prisme réflectorisant. Support élaboré et réalisé par un professionnel ;
- ◆ cible réflectorisante ente liée à la structure par un procédé adapté ;
- ◆ pièces d'amarrage spécifiques aux appareils à fil invar.

### COMMENTAIRES

- ◆ principe de mesure simple ;
- ◆ choix possible entre deux modes de mesure suivant les besoins ;
- ◆ dispositif pouvant être couplé à un système d'alerte ;
- ◆ mesures en continu possibles, associées à une chaîne de mesure ;
- ◆ les mouvements ne sont déterminés que dans une seule direction : suivant l'axe Ox, Oy ou Oz.

- ◆ on ne mesure pas des déplacements, mais une augmentation ou une réduction de la distance mesurée entre deux points ;
- ◆ peut nécessiter une coupure de circulation au cours des mesures par fil invar.

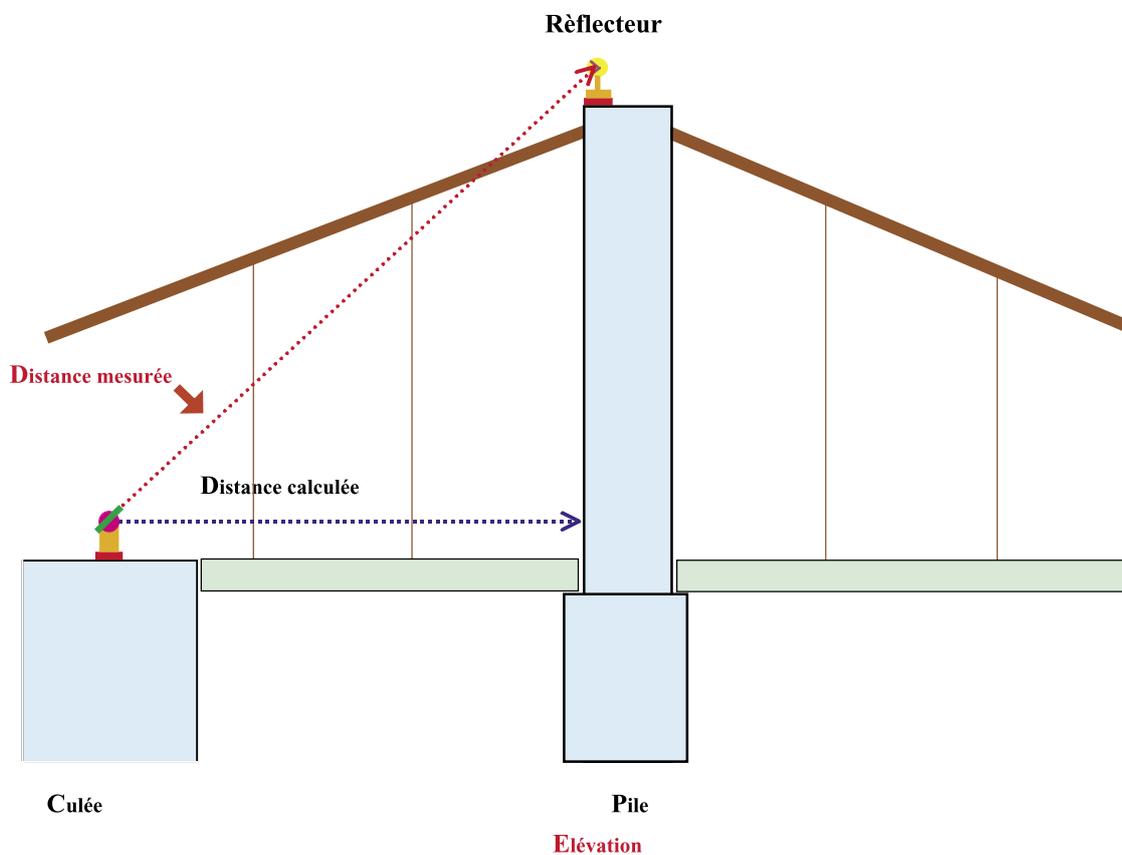
### PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

#### POUR LES MÉTHODES

Chaque segment doit être déterminé par des séries de mesures, jusqu'à l'obtention d'un écart type préalablement défini en fonction de la précision requise.

#### POUR LE CALCUL

En ce qui concerne les distances mesurées par procédé électro-optique, celles-ci seront corrigées des effets de la température et de la pression atmosphérique.



# Annexe 5

## Fiche méthode 3 Écart à un plan

FAMILLE : MESURES SELON X OU Y

FICHES MATÉRIELS 3.1 À 3.3

### DÉFINITION : MÉTHODE UNIDIMENSIONNELLE

Elle permet d'obtenir l'écart et ses variations entre un plan prédéfini et une partie d'ouvrage.

### DOMAINE D'UTILISATION

- ◆ Mesures de déversement d'ouvrages ;
- ◆ Piles d'ouvrages, piédroits, murs de fronts, murs de soutènement ;
- ◆ Limite d'utilisation pour les murs dans le cas de détermination en mode absolu : linéaire important, courbure en plan très prononcée.

### MODE DE DÉTERMINATION

**MODE ABSOLU** : Le plan contient des points ou des références fixes extérieurs à l'ouvrage.

**MODE LOCAL** : Le plan contient un point de la structure.

### MATÉRIEL

- ◆ théodolite de précision équipé d'un micromètre à lame plan parallèle, associé à une mire de lecture ;
- ◆ lunette nadirale ou zénithale ou nadiro-zénithale ;
- ◆ laser d'alignement.

### PRINCIPE DE MESURE

Mesure de la distance séparant divers points de mesure, d'un plan vertical de référence matérialisé sur le site par une lunette ou un laser.

### POINTS DE MESURE

- ◆ plots métalliques à tête hémisphérique scellés horizontalement ;
- ◆ mirettes à chiffrage demi-centimétrique ;
- ◆ points de mesure situés en tête et en pied de structure, ainsi qu'à des niveaux intermédiaires dans le cas d'étude de la déformée d'ouvrage de grande hauteur.

### COMMENTAIRES

- ◆ principe de mesure simple ;
- ◆ très bonne précision ;
- ◆ met en œuvre des moyens de traitement simples ;

- ◆ peut être asservi à un dispositif d'alerte ;
- ◆ problème d'accessibilité du point de mesure ;
- ◆ ne convient pas aux ouvrages de très grande hauteur. Méthodologie difficilement applicable aux parties d'ouvrage franchissant une voie à grande circulation et lorsque la topographie du site ne s'y prête pas : masques, piles en rivière ...

## **PRÉCAUTIONS D'EMPLOI**

### **POUR LES THÉODOLITES**

Dans le cas de mesures en absolu le centrage du théodolite doit être assuré avec précision sur le poste d'observation qui doit être situé en un endroit réputé stable.

### **POUR LES MIRES**

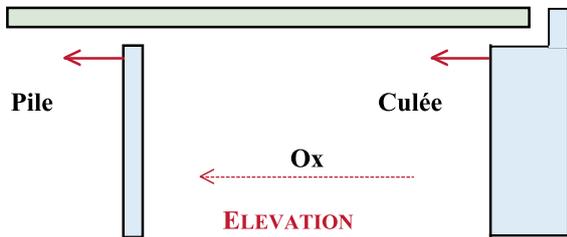
- ◆ une mire doit être soigneusement étalonnée et contrôlée. Les fiches de contrôle seront fournies par le géomètre ;
- ◆ les mires doivent être maintenues horizontales, placées orthogonalement au plan de mesure et stabilisées.
- ◆ dans le cas où des mirettes sont utilisées, celles-ci sont placées sur la structure avec l'origine des graduations parfaitement repérée par rapport au plan de visée.

### **POUR LES PROCÉDURES DE MESURES**

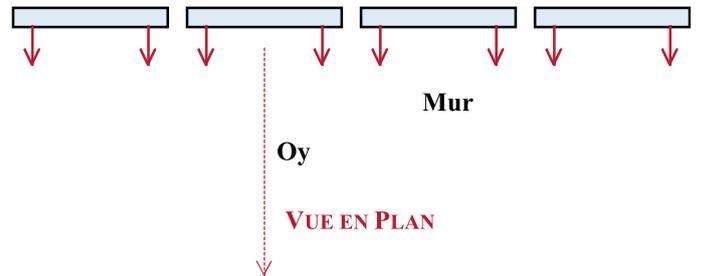
- ◆ les mesures doivent faire l'objet au minimum d'une double détermination ;
- ◆ lorsque les faces d'une pile sont inclinées, le poste d'observation doit être placé dans un plan orthogonal au plan contenant les points de mesure ;
- ◆ limiter la longueur de la base d'observation définissant le plan vertical de référence à  $\approx 80$  m ;
- ◆ la distance du plan vertical à la structure doit être la plus courte possible.

MODE DE DETERMINATION A REFERENCE ABSOLUE

MESURE DES DEPLACEMENTS SUIVANT O<sub>x</sub>



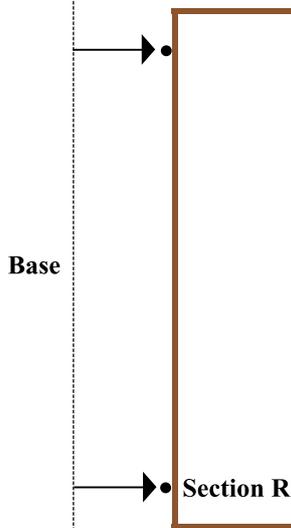
MESURE DES DEPLACEMENTS SUIVANT O<sub>y</sub>



Pôle d'observation



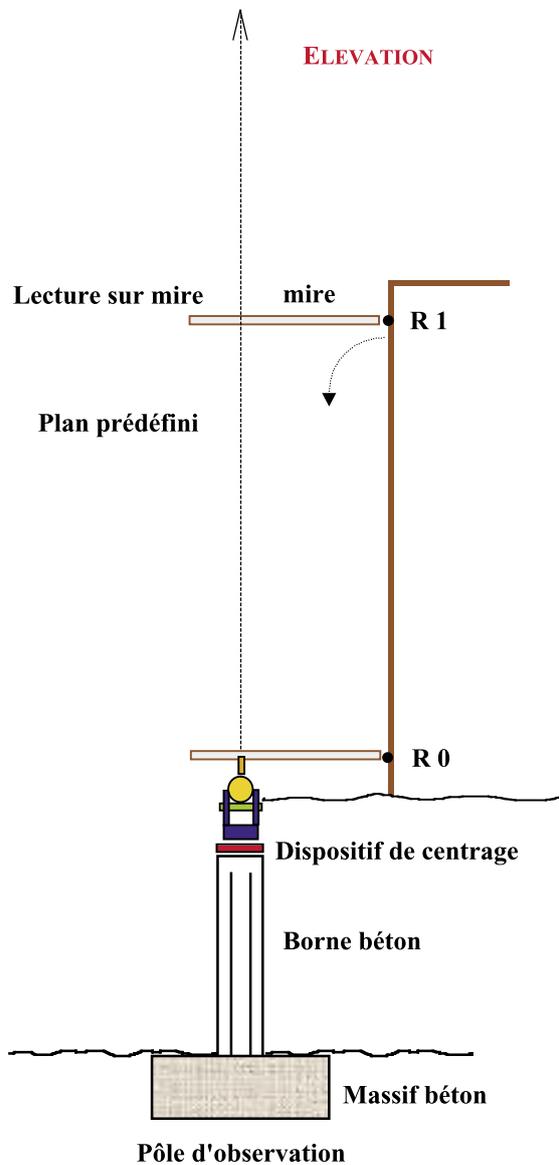
Ecart mesuré



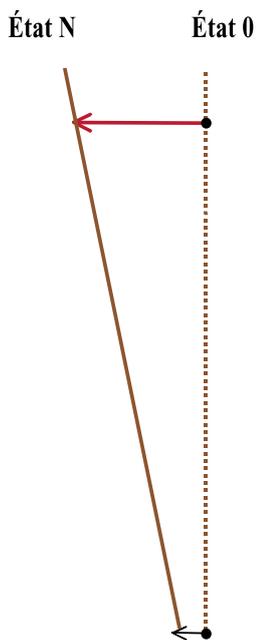
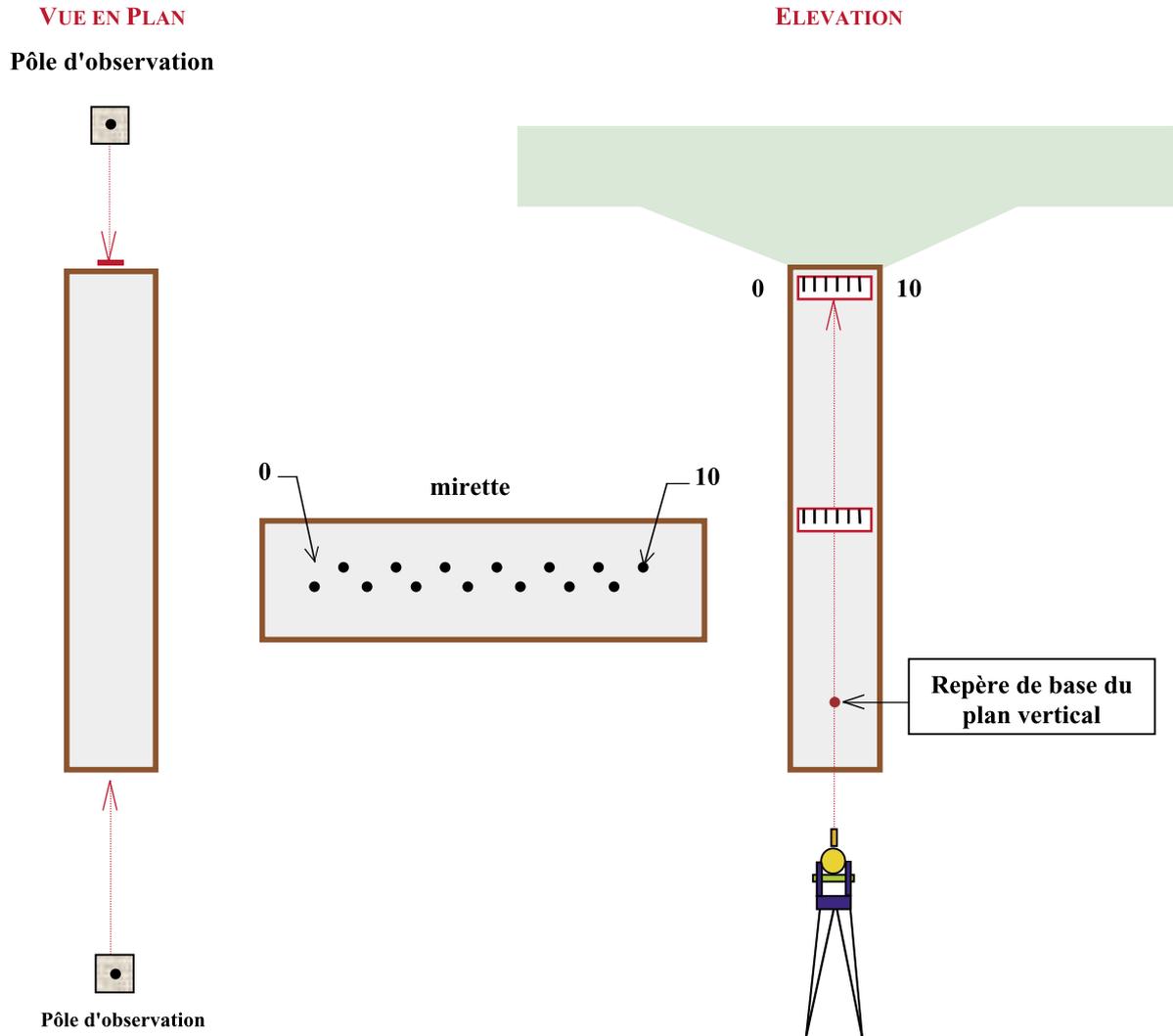
Pôle d'observation



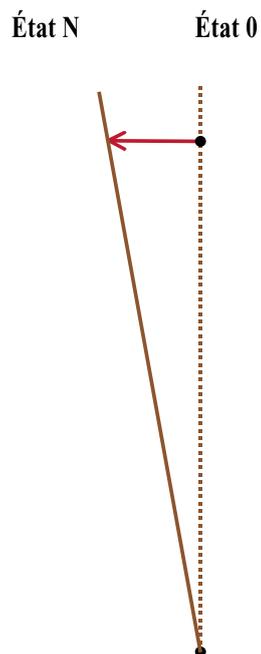
ELEVATION



MODE DE DETERMINATION A MESURES RELATIVES



Déplacements en référence absolue



Déplacement en mesures relatives

# Annexe 5

## Fiche méthode 4 Mesures polaires

<b>FAMILLE : MESURES ( X + Y + Z )</b>	<b>FICHES MATÉRIELS 4.1 À 4.2</b>
--	-----------------------------------

**DÉFINITION** : Méthode tridimensionnelle basée sur l'utilisation d'instruments mesurant simultanément des angles et des distances.

Elle permet d'obtenir les coordonnées rectangulaires (X+Y+Z) de tout point mesuré.

Dans certains cas, le choix de cette méthode peut être une solution technique ou économique pour répondre à un besoin limité aux X+Y ou au Z.

### DOMAINE D'UTILISATION DE LA MÉTHODE

- ◆ Elle s'applique :
  - à la détermination d'une géométrie d'ensemble d'un ouvrage ;
  - aux mesures de déplacements horizontaux et/ou verticaux d'éléments d'ouvrages ;
  - aux mesures de convergence.
- ◆ Elle est utilisable en lieu et place de la méthode du nivellement direct :
  - lorsque, par exemple, pour des contraintes d'exploitation, celle-ci n'est pas applicable ;
  - lorsqu'elle apporte une meilleure précision et/ou un moindre coût.
- ◆ Son but est d'obtenir :
  - soit des mesures absolues pour obtenir l'état géométrique d'un ensemble de points de mesures à un instant donné ;
  - soit des mesures relatives pour obtenir l'évolution de certains éléments par rapport à d'autres et *en couplage éventuel avec la mesure d'autres paramètres.*

### MODE DE DÉTERMINATION

Les données polaires (angles et distance) sont obtenues :

- ◆ sur le point de mesure lui-même par Laser ;
- ◆ par rayon infrarouge avec réflecteur sur lequel le pointé peut être manuel ou automatique.

Seuls les réflecteurs, de par la matérialisation du point de mesure, permettent d'obtenir une précision inférieure au millimètre. Dans le cas de mesures directes sans réflecteur, la précision reste centimétrique.

### MATÉRIELS

- ◆ théodolite intégrant un distancemètre, manuel ou robotisé, éventuellement piloté par ordinateur ;
- ◆ moyens informatiques de calcul en temps réel ou différé ;
- ◆ dispositif pouvant être couplé à des systèmes d'alerte.

## PRINCIPE DE LA MESURE

L'instrument enregistre simultanément :

- ◆ les lectures angulaires horizontale et verticale ;
- ◆ la distance entre le centre instrumental et le point de mesure.

Les appareils actuels sont équipés de calculateurs permettant des traitements en temps réel.

## POINTS DE MESURE

- ◆ pour les positionnements absolus, ils sont nécessairement scellés ;
- ◆ pour les mesures relatives, ce sont les centres des réflecteurs :
  - dans le cas de mesures absolues, les points rattachés (ex centre d'un réflecteur) devront être parfaitement positionnés par rapport aux points de mesures matérialisés ;
  - dans le cas de mesures relatives, seules des variations de position sont recherchées et le réflecteur ne doit pas obligatoirement être positionné par rapport à un point de mesure matérialisé.

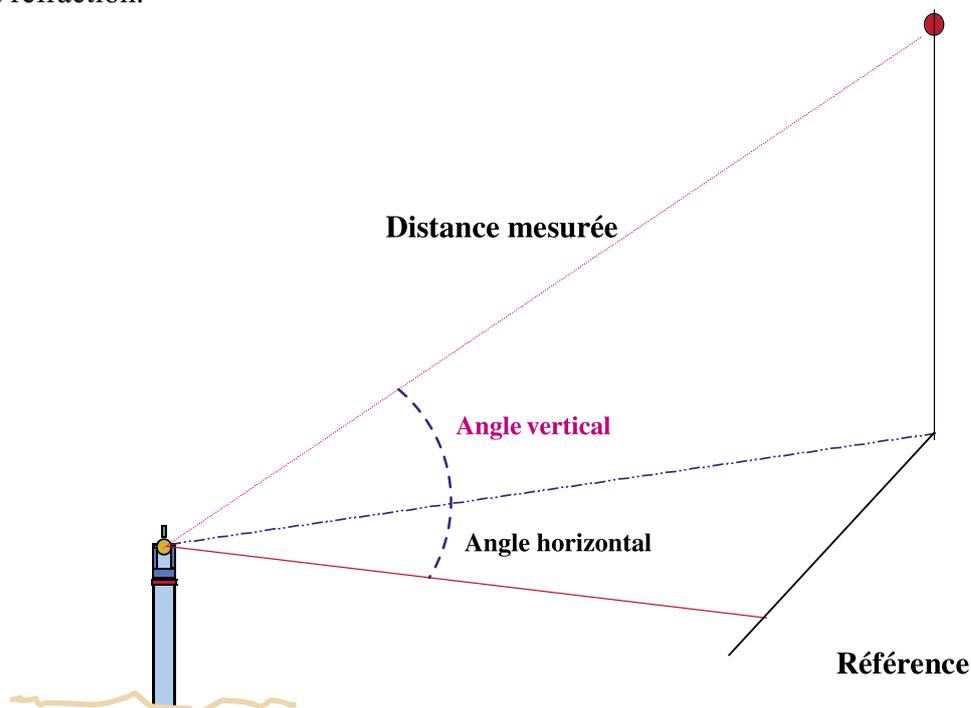
## COMMENTAIRES

- ◆ grande souplesse de mise en œuvre pour les ensembles complexes ;
- ◆ richesse des mesures entraînant la « robustesse » des résultats ;
- ◆ rapidité du traitement : possibilité de résultats en temps réel ;
- ◆ nécessité d'équipement et de compétences complémentaires liée aux études de déformations ;
- ◆ méthode pouvant être surabondante dans les cas simples ;
- ◆ précision directement liée aux moyens mis en œuvre : matériel de mesure et de traitement.

## PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Pour les mesures dépassant les 100 mètres, il faut prendre en compte dans le traitement :

- ◆ la sphéricité de la Terre ;
- ◆ la réfraction.



# Annexe 5

## Fiche méthode 5

# Mesures angulaires

<b>FAMILLE : MESURES 2 D OU 3 D ( X + Y + Z )</b>	<b>FICHES MATÉRIELS 5.1 À 5.3</b>
---	-----------------------------------

### DÉFINITION : MÉTHODE MULTIDIMENSIONNELLE

Elle permet, grâce à des mesures angulaires, de positionner un ensemble de points d'une structure, dans un système de coordonnées planimétriques voire altimétrique, suivant les besoins.

### DOMAINE D'UTILISATION

- ◆ ouvrages ou parties d'ouvrages de tout type : piles et culées, piédroits, murs de fronts, de soutènement ;
- ◆ en alternative aux méthodes de mesurage « direct » lorsqu'elles ne sont pas applicables pour des raisons d'accessibilité, de géométrie, de topographie du site... ;
- ◆ la méthode par mesures angulaires est à privilégier pour des ouvrages de dimensions inférieures à la centaine de mètres. Au delà, il sera souhaitable d'intégrer la mesure des distances (voir mesures polaires).

### MODE DE DÉTERMINATION

Le choix du mode de détermination doit être fait par le gestionnaire.

**MODE ABSOLU** : l'ensemble des points de mesure est déterminé à partir d'un réseau à référence absolu. On obtient les déplacements « absolus » de l'ouvrage.

**MODE LOCAL** : on mesure directement les déplacements différentiels entre parties d'ouvrage, à partir d'un réseau à référence relative non rattaché à des points extérieurs.

### MATÉRIEL

Théodolites dont la précision doit correspondre aux besoins et aux moyens informatiques de calculs.

### PRINCIPE DE MESURE

Chaque point de mesure fait l'objet de visées à partir de plusieurs postes d'observation.

Cette technique met en œuvre des mesures précises d'angles définis dans les plans horizontaux et verticaux. Elle est appelée « intersection ».

Les postes d'observation peuvent constituer un réseau à référence absolu (ex : théodolite en centrage forcé sur piliers), ou n'avoir qu'un rôle de support (ex : stations libres travaillant dans un réseau à référence relative combinant points d'appuis et de mesures).

A chaque campagne un contrôle de stabilité du réseau est nécessaire.

**POINTS DE MESURE**

Éléments élaborés par le géomètre et réalisés par un professionnel.

Dispositifs fournis par les distributeurs de matériel spécialisé : marques de visées, cibles gravées, plots métalliques, tiges cylindriques...

**COMMENTAIRES**

- ◆ la méthode par intersections permet d'obtenir les mouvements d'un point quelconque dans les trois dimensions :  $Ox$ ,  $Oy$  et  $Oz$  ;
- ◆ elle permet également de travailler, soit dans le plan horizontal ( $Ox$ ,  $Oy$ ), soit dans le plan vertical  $Oz$ , pour la détermination altimétrique de points inaccessibles en mode direct. Dans ce cas le gestionnaire bénéficiera de données enrichies des coordonnées planimétriques qu'il pourra exploiter ultérieurement ;
- ◆ on peut suivant les besoins traiter l'ensemble d'un ouvrage ou une partie de l'ouvrage ;
- ◆ les contrôles d'exactitude nécessitent au minimum trois visées d'intersections sur chaque point faisant l'objet de mesures, ce qui entraîne la création de réseaux relativement lourds ;
- ◆ les opérations de topométrie sur un ensemble de points de mesure sont parfois longues et peuvent ne pas refléter exactement la photographie «instantanée» de l'ouvrage.
- ◆ la méthode peut nécessiter l'utilisation d'une nacelle ou d'alpinistes pour l'implantation et le scellement des points de mesure ;
- ◆ dans certains cas, on a la possibilité de traitement en temps réel à l'aide de logiciels appropriés.

**PRÉCAUTIONS D'EMPLOI**

La technique par intersections nécessite suivant la topographie du site, la nature de l'ouvrage, les précisions recherchées, une étude très approfondie de la part de l'homme de l'art.

**POUR LES THÉODOLITES :**

Avant chaque campagne de mesures, le théodolite doit faire l'objet d'un contrôle et si besoin d'un réglage approprié. Le centrage du théodolite doit être assuré avec précision.

**POUR LES DISTANCIEMÈTRES *nécessaires aux mesures du réseau* :**

- ◆ l'appareil de mesure associé à un réflecteur doit être étalonné. La constante de calibrage doit faire l'objet d'une vérification. Contrôle et réglage de la parallaxe de l'émetteur-récepteur si le distancemètre n'est pas coaxial. Les fiches d'étalonnage et de contrôle doivent être fournies par le géomètre (peut être supprimé si l'on ne décrit que la méthode de lever).

**POUR LES MÉTHODES ET MODES OPÉRATOIRES :**

- ◆ chaque point de mesure doit être déterminé à partir d'un minimum de trois postes d'observation ;
- ◆ les angles sont mesurés par la méthode du tour d'horizon résultat final de la combinaison de plusieurs séquences d'observations ;
- ◆ méthode du centrage forcé pour le stationnement des appareils ;
- ◆ contrôle du réseau d'appui à chaque campagne de mesures.

**PARAMÈTRES POUVANT INFLUENCER LES MESURES**

Vent, soleil, vibrations, réfraction atmosphérique.

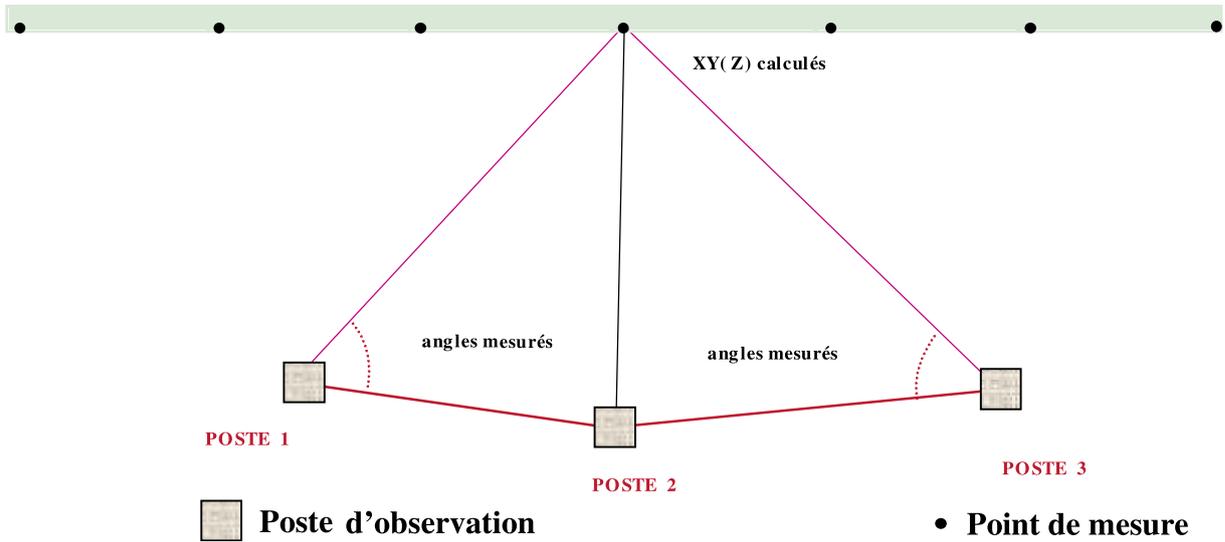
**POUR LE TRAITEMENT**

Privilégier les méthodes globales de calcul.

Les résultats doivent être assortis de la précision réellement obtenue.

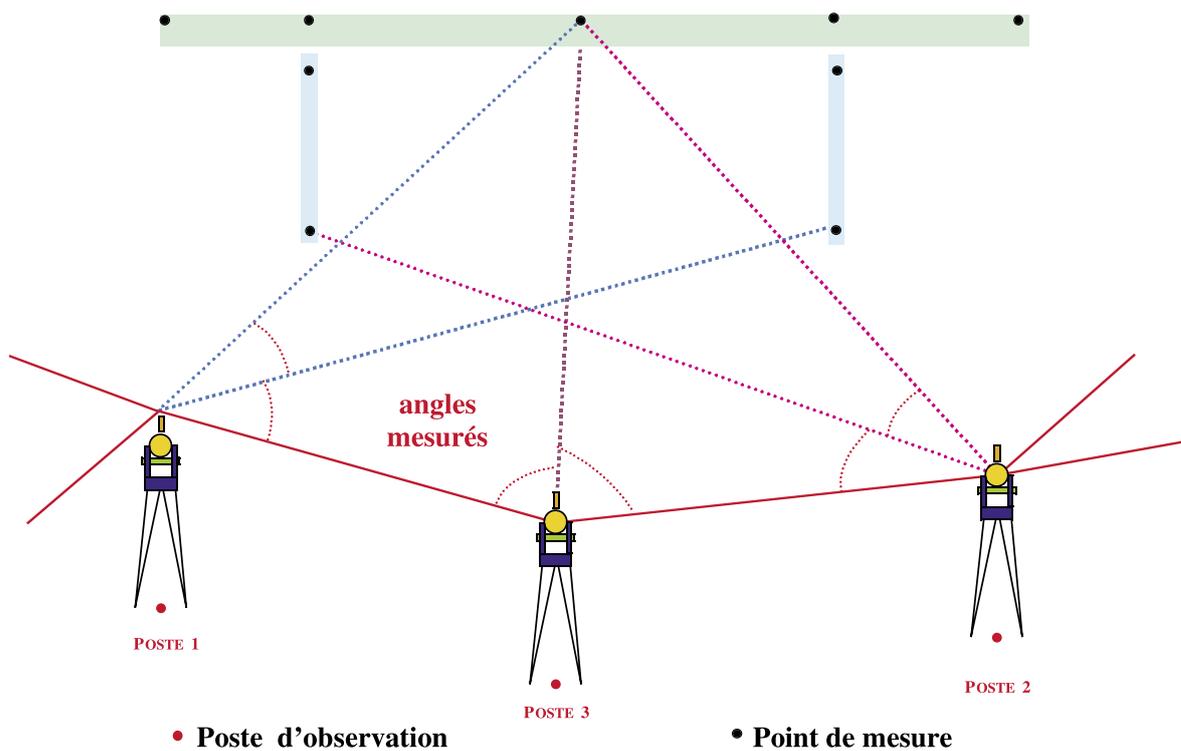
**Murs de soutènements**

VUE EN PLAN



**Tablier et appuis**

VUE EN PLAN



# Annexe 5

## Fiche matériel 1-1 Niveau de chantier

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon Z	$\pm 5$ mm localement	1 : Nivellement direct

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ contrôles très simples sur de petits ouvrages ;
- ◆ déterminations ou contrôles peu précis sur ouvrages ou parties d'ouvrages, pour l'estimation de phénomènes ;
- ◆ déterminations de l'allure, de profils en long ou en travers de tabliers, à partir de génératrices préalablement définies.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

Nivellement direct à effectuer sur des points de mesure existants, ou directement sur des parties d'ouvrages préalablement définies (boulon, pierre) :

- ◆ le principe est de mesurer des dénivelées :
  - soit directement entre points de mesures ;
  - soit par cheminements si ces points sont éloignés.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

La température dans les cas où elle a une influence sensible sur la géométrie des structures mesurées.

### COMMENTAIRES

- ◆ limiter l'emploi du niveau de chantier à des opérations de contrôles sommaires ;
- ◆ simplicité et faible coût ;
- ◆ utilisation d'un personnel peu qualifié possible ;
- ◆ mesures ponctuelles et de faible précision.

### EXEMPLES

- ◆ à la suite de la crue d'une rivière, vous souhaitez vérifier l'intégrité d'un petit ouvrage en maçonnerie qui la franchit et ce dernier n'est pas équipé de points de mesures. Un niveau de chantier est suffisant pour estimer l'ordre de grandeur des éventuelles déformations ;
- ◆ évaluation de l'évolution marquée d'un profil lors d'un événement accidentel.

# Annexe 5

## Fiche matériel 1-2 Niveau de précision

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon Z	$\pm 0,5$ à 2 mm localement	1 : Nivellement direct

### DOMAINES D'APPLICATION

Celui des ouvrages courants.

Il trouve ses limites lorsque la précision recherchée est impossible à obtenir, il faut alors utiliser le nivellement de haute précision.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ les déterminations altimétriques sont réalisées sur ouvrages ou parties d'ouvrages par rapport à des points du réseau de référence, situés sur des éléments naturels ou construits à proximité, ou sur l'ouvrage lui-même ;
- ◆ les niveaux sont numériques ou à lecture optique munis de lames à face parallèles et les mires seront en invar ;
- ◆ le nivellement est impérativement réalisé sur des points de mesures spécifiques.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

La température, le vent, le niveau des nappes phréatiques ou des marées en bord de mer peuvent avoir une incidence sur les structures et nuire à la bonne réalisation des mesures.

### COMMENTAIRES

- ◆ ce type de matériel et les méthodes associées répondent à l'essentiel des besoins topométriques de contrôle des ouvrages d'art courants ;
- ◆ actuellement et dans certains cas, il existe une alternative à ce matériel : emploi des tachéomètres de précision pour des déterminations polaires ;
- ◆ simplicité et coût modéré, pour une précision satisfaisante ;
- ◆ possibilité d'intervention locale en fonction des besoins ;
- ◆ des informations sur des translations et rotations d'éléments d'ouvrages peuvent être déduites si l'on a installé un réseau adapté ;
- ◆ ce matériel nécessite un savoir-faire pour les mesures et le traitement de ces mesures.

### EXEMPLES

- ◆ contrôles périodiques d'ouvrages d'art ;
- ◆ suivi du fluage des grandes consoles.

# Annexe 5

## Fiche matériel 1-3 Niveau de haute précision

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon Z	$\pm 0,3$ à 1 mm localement	1 : Nivellement direct

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ le domaine d'utilisation est commun avec celui des niveaux de précision ;
- ◆ l'objectif est de fournir des données très précises, pour des études de laboratoire ou le suivi durant des travaux de renforcement.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ le niveau d'exigence doit être adapté à la plus grande précision requise ;
- ◆ les mesures peuvent être couplées à des enregistrements de données complémentaires par des laboratoires.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

La température, le vent, le niveau des nappes phréatiques ou des marées en bord de mer.

### COMMENTAIRES

- ◆ le nivellement direct ou indirect reste l'élément essentiel de toute opération de topométrie ;
- ◆ il est nécessaire de réaliser l'étude de stabilité des points du réseau référence en regard de la précision exigée ;
- ◆ fiabilité et compréhension aisée des résultats, qui sont de nature unidimensionnelle ;
- ◆ possibilités d'intervenir localement suivant les besoins ;
- ◆ équipe exclusivement professionnelle, donc coût plus élevé que pour une précision moindre.

### EXEMPLES

Tassements différentiels d'appuis.

# Annexe 5

## Fiche matériel 1-4 Niveau robotisé

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon Z	$\pm 0,4$ à 1 mm à 40 mètres	1 : Nivellement direct

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ contrôle en continu de la stabilité d'ouvrages, dans le cadre d'une topométrie de haute surveillance ;
- ◆ suivi en continu durant une ou plusieurs périodes de temps, dans le cadre d'une campagne intégrant d'autres capteurs, pour déterminer une loi de comportement d'un ouvrage en topométrie de surveillance renforcée et d'auscultation.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

Un niveau tournant numérique, piloté par ordinateur, réalise des cycles de mesures sur des mirettes «code-barre» fixées sur des éléments de la structure concernée.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

Ce type de mesures n'a de sens, qu'intégré dans un ensemble d'opérations incluant l'enregistrement des paramètres d'environnement sensibles.

### COMMENTAIRES.

- ◆ beaucoup moins souple d'utilisation que le théodolite robotisé, il a toutefois une meilleure précision lorsque la distance des mesures n'excède pas les 20 m. ;
- ◆ la précision altimétrique est celle du nivellement ;
- ◆ réalisation des mesures 24h/24 ;
- ◆ absence d'erreur de mesure ;
- ◆ exploitation et analyse des résultats en temps réel, pouvant être couplée à des systèmes d'alerte ;
- ◆ faible coût par rapport à celui d'un théodolite motorisé ;
- ◆ lourdeur de mise en place ;
- ◆ gestion des dérèglements ;
- ◆ la zone couverte se limite à un disque horizontal ne dépassant pas quelques dizaines de mètres autour de la station.

### EXEMPLES

- ◆ 1996 : suivi d'une station de métro maintenue en activité à Berlin lors de travaux de génie civil proches.
- ◆ 1997 : suivi de stabilité d'immeuble à Paris lors de l'implantation de micropieux.

# Annexe 5

## Fiche matériel 2-1 Distancemètre

<b>FAMILLE</b> Mesures selon X ou Y	<b>PRÉCISION</b> ± 1 à 2 mm	<b>MÉTHODE</b> 2 : Mesures de distances
--	--------------------------------	--

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ toutes les études de déformations ;
- ◆ le distancemètre peut être utilisé pour le contrôle direct de variations de distances entre repères ou pour la mise en œuvre de réseaux de points de mesure par une méthode de trilatération (distances).

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

C'est une mesure électronique de distance : elle est obtenue par le comptage du temps mis par une onde pour parcourir le trajet aller-retour entre le « centre de phase » du distancemètre et une cible positionnée qui réfléchit cette onde.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

Condition météorologiques.

### COMMENTAIRES

- ◆ la procédure doit comporter le suivi instrumental et doit intégrer les paramètres tels que la météo ainsi que les centrages assurant la répétitivité ;
- ◆ rapidité d'exécution ;
- ◆ la fiabilité s'améliore régulièrement ;
- ◆ il subsiste le risque de confusion entre la résolution et la procédure de mesure.

# Annexe 5

## Fiche matériel 2-2 Distances au fil invar

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon X ou Y	$\pm 0,5$ mm à 40 mètres	2 : Mesures de distances

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ mises à l'échelle de réseaux triangulés ;
- ◆ mesures de convergence de haute précision dans les tunnels et sur les ouvrages d'art.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ mesures de distances à l'aide d'un fil invar étalonné qui est mis sous tension contrôlée entre des repères fixes ;
- ◆ il existe plusieurs systèmes de mise en œuvre qui restent assez complexes :
  - fil maintenu en tension constante à l'aide de poids sur pieds tenseurs : méthode IGN ;
  - fil spécifique de longueur fixe mis en œuvre sur des repères centreurs : méthode CETE de Lyon.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

- ◆ la température est prise en compte dans les procédures de mesures car elle peut avoir une incidence sur la géométrie de l'objet mesuré ;
- ◆ le vent peut nuire à la qualité des mesures ou les rendre impossibles.

### COMMENTAIRES

- ◆ matériel mis en concurrence par les interféromètres, les distancemètres et les stations totales de haute précision ;
- ◆ ce matériel de mesure reste l'ultime recours dans les cas exigeant la plus grande rigueur ;
- ◆ très grande fidélité du matériel, les fils invar servant par ailleurs à vérifier les bases d'étalonnage ;
- ◆ le dispositif reste très long et lourd à mettre en place et reste incompatible avec toute circulation.

### EXEMPLES

Tunnels, ouvrages sous remblais, convergence de culées,

# Annexe 5

## Fiche matériel 3-1 Alignements à la lunette

<b>FAMILLE</b> Mesures selon X ou Y	<b>PRÉCISION</b> $\pm 1$ mm à 100 mètres	<b>MÉTHODE</b> 3 : Écarts à un plan
--	---	--

### DOMAINES D'APPLICATION

Recherche de flèches en tête de murs, digues ou autres ouvrages inférieurs à 100 m de longueur.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ une ligne référence est défini entre deux repères et comporte un réseau de points intermédiaires ;
- ◆ on mesure les écarts à cette ligne de référence en utilisant une mirette «code-barre» que l'on positionne successivement sur chaque point intermédiaire.

### COMMENTAIRES

- ◆ très intéressant pour des mesures relatives locales, jusqu'à 60 m environ ;
- ◆ grande simplicité dans le cas de mesures à courte distance ;
- ◆ il faut assurer l'horizontalité de la mire et sa perpendicularité par rapport à la visée ;
- ◆ il ne faut travailler que dans les limites de lisibilité ;
- ◆ c'est une méthode manuelle, donc elle reste limitée.

# Annexe 5

## Fiche matériel 3-2 Lunette nadirale ou zénithale

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures 2D (X+Y ou X+Z ou Y+Z)	$\pm 1$ mm à 100 mètres	3 : Écarts à un plan

### DOMAINES D'APPLICATION

Toute détermination ou tout contrôle d'aplomb.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ on définit une verticale par visée optique directe avec une lunette nadiro-zénithale qui est en fait constituée par un niveau muni d'une lunette coudée pour viser selon une direction verticale vers le haut ou vers le bas ;
- ◆ on peut travailler indifféremment de haut en bas ou de bas en haut ;
- ◆ si la ligne de visée de l'appareil présente un décalage avec son axe principal, elle décrira un petit cône dont le centre sera l'aplomb recherché ;
- ◆ il est possible de déterminer des aplombs parfaits même avec un instrument imparfait.

### COMMENTAIRES

- ◆ avec sa méthode, elle reste le matériel le plus précis dans ce domaine de mesure ;
- ◆ très grande précision et fiabilité ;
- ◆ bonne souplesse d'emploi ;
- ◆ nécessité de se centrer sur l'aplomb recherché et de vérifier ses résultats.

# Annexe 5

## Fiche matériel 3-3 Translatomètre

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures selon X ou Y	$\pm 0,4$ à 1 mm à 40 mètres	3 : Écarts à un plan

### DOMAINES D'APPLICATION

Suivi d'éléments verticaux ou de plans horizontaux superposés, lors d'essais ou pour de longues durées.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

Au moyen d'un niveau numérique muni d'un renvoi rigoureusement vertical, on mesure dans la direction de la lunette, les déplacements vers le haut ou vers le bas, par lectures sur une mire « code-barre » fixée horizontalement à l'aplomb de ce niveau.

### COMMENTAIRES

- ◆ matériel qui peut être mis en œuvre pour le suivi d'ouvrage, à court ou à long terme ;
- ◆ mesures très fiables et automatiques pour un faible coût ;
- ◆ possibilité limitée à un couple de points de mesure, donc une seule mesure par instrument.

### EXEMPLES

- ◆ pont à haubans sur l'Elorn à Brest : contrôle du sommet des pylônes lors des essais ;
- ◆ cathédrale de Meaux : Suivi de la charpente durant 1 an et demi, lors de sa réfection.

# Annexe 5

## Fiche matériel 4-1 Mesures polaires

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures 3D (X+Y+Z)	$\pm 0,5$ à 3 mm à 100 mètres	4 : Mesures polaires

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ réalisation de réseaux de contrôle d'ouvrages ;
- ◆ étude de la déformation globale de tunnels ou de structures complexes justifiant des besoins en « 3D ».

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ on détermine directement les coordonnées de points de contrôle, par mesures simultanées d'angles et distances à l'aide de stations totales ;
- ◆ la précision des mesures est liée :
  - aux mesures d'angles lorsque les distances mesurées sont courtes ;
  - aux mesures de distances lorsque ces dernières deviennent importantes.
- ◆ les points de contrôle sont matérialisés par des prismes ou des cibles réfléchissantes ;
- ◆ gain de temps, car un point est déterminé par une visée et contrôlé par une seconde.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

Conditions météorologiques si on utilise des distancemètres.

### COMMENTAIRES

- ◆ méthode « 3D » la plus économique, du fait de la durée des observations ;
- ◆ les erreurs les plus courantes proviennent de l'omission des étalonnages, des changements d'instruments ou d'erreurs de visées lorsque celles-ci sont biaisées ;
- ◆ pour les sites complexes, il convient de distinguer les résultats locaux et globaux qui peuvent nécessiter un calcul global par la méthode des « moindres carrés ». Les progrès des stations totales permettent la baisse des coûts et le développement de ce type de déterminations ;
- ◆ simplicité, rapidité et enregistrement automatique des données par les stations totales, pour fournir des données globales ;
- ◆ il est nécessaire d'utiliser des cibles permettant les mesures de distances ;
- ◆ les procédures doivent être strictes pour garantir la répétitivité et l'exactitude globale ;
- ◆ il faut tenir compte en particulier de l'étalonnage et des corrections météorologiques pour les distancemètres.

# Annexe 5

## Fiche matériel 4-2 Station robotisée

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures 3D (X+Y+Z)	± 0,5 à 3 mm à 100 mètres	4 : Mesures polaires

### DOMAINES D'APPLICATION

- ◆ étude de la déformation globale de structures ou sites, dans le cadre de la surveillance ou celui de la prévention de risques ;
- ◆ étude du comportement d'une structure d'ouvrage avec la variation de paramètres d'influence.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ on détermine cycliquement de façon globale les coordonnées de points de contrôle matérialisés par des prismes ou des cibles réfléchissantes ;
- ◆ on réalise ensuite l'étude de déformation sous l'influence de paramètres tels que la température, le vent, la hauteur des nappes phréatiques, etc.

### COMMENTAIRES

- ◆ matériel associé à une méthode apparue pour le suivi de sites vers 1990 et qui s'est simplifiée depuis ;
- ◆ matériel à utiliser seul ou en complément d'instruments de laboratoire ;
- ◆ on obtient des données globales pour la recherches de diagnostic, pour des contrôles ou pour définir des modèles de comportement ;
- ◆ procédures à mettre au point au cas par cas afin de garantir la répétitivité et l'exactitude globale ;
- ◆ si l'on utilise des distancemètres, il faut tenir compte en particulier de l'étalonnage et des corrections météorologiques ;
- ◆ il convient d'être prudent sur la méthodologie de mise en œuvre, car les résultats directs peuvent être faussés :
  - par des paramètres extérieurs ;
  - par les mouvements de la station et/ou des points servant de référence.

### EXEMPLES

- ◆ suivi de stades : Parc des Princes, Stade de France ;
- ◆ suivi de chantier : parois moulées à Colombes ;
- ◆ surveillance de sites : la Séchilienne.

# Annexe 5

## Fiche matériel 5-1 Triangulation

<b>FAMILLE</b> Mesures 2D ou 3D	<b>PRÉCISION</b> $\pm 0,5$ à 2 mm	<b>MÉTHODE</b> 5 : Mesures angulaires
------------------------------------	--------------------------------------	--

### DOMAINES D'APPLICATION

Détermination de réseaux de référence ou d'opérations de contrôles sur ouvrages d'art.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ la triangulation consiste à déterminer la position « 2D » ou « 3D » de points, à partir de mesure angulaires réalisées avec des théodolites ;
- ◆ la triangulation assure une grande précision du fait que les visées angulaires horizontales et verticales peuvent être dissociées et réalisées le plus finement possible ;
- ◆ la détermination vérifiée d'un point demande trois intersections bien configurées géométriquement et la précision décroissant avec les distances, les figures de détermination sont souvent complexes pour assurer une qualité homogène des résultats.

### COMMENTAIRES

- ◆ c'est la méthode la plus robuste pour déterminer la « géométrie » d'un ouvrage, puisque les angles sont les seuls éléments physiques vérifiables du fait que la somme des angles d'un tour horizon est égale à  $2\pi$  radians ;
- ◆ la mise en œuvre est plus lourde que pour le nivellement, afin d'obtenir des résultats en « 2D » ou « 3D ». Ces derniers sont plus difficiles à interpréter ;
- ◆ de moins en moins employée seule, depuis la généralisation des tachéomètres et des GPS ;
- ◆ méthode qui reste une excellente alternative sur le plans de la qualité des résultats et celui de la simplicité des moyens qu'elle engage ;
- ◆ précision et fiabilité des résultats ;
- ◆ simplicité des équipements : cibles et théodolites ;
- ◆ toutes les mesures sont contrôlables ;
- ◆ lourdeur de mise en œuvre ;
- ◆ nécessité d'une bonne maîtrise technique ;
- ◆ elle reste une méthode onéreuse.

# Annexe 5

## Fiche matériel 6-1 GPS Statique

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures 3D (X+Y+Z)	quelques mm	6 : Mesures globales

### DOMAINES D'APPLICATION

Détermination de réseaux de référence ou suivi de points de contrôle limités en nombre.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ détermination du « X+Y+Z » séparant deux antennes fixes recevant les signaux de satellites spécifiques ;
- ◆ la précision qui peut atteindre quelques millimètres, dépend :
  - de la configuration des satellites au moment des observations ;
  - des obstacles au sol ;
  - de la durée des mesures.
- ◆ les ondes ne traversent pas la matière et peuvent subir des réflexions, en particulier en milieu urbain.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

Les conditions météorologiques et les obstacles.

### COMMENTAIRES

- ◆ elle peut suffire pour le contrôle d'un faible nombre de points comme le sommet des pylônes de ponts haubanés ou suspendus. Elle peut être utilisée en complémentarité avec des méthodes topométriques, si un grand nombre de points de contrôle sont nécessaires ;
- ◆ automatisme complet et résultats dans un système de référentiel mondial ;
- ◆ nécessite un récepteur par point de contrôle ;
- ◆ hauteur des masques limitée de 10 à 15° environ sur l'horizon ;
- ◆ limites de pénétration des ondes limitant son emploi en milieu urbain ou forestier.

# Annexe 5

## Fiche matériel 6-2 GPS cinématique

FAMILLE	PRÉCISION	MÉTHODE
Mesures 3D (X+Y+Z)	Quelques cm	6 : Mesures globales

### DOMAINES D'APPLICATION

Détermination de profils peu précis.

### ÉLÉMENTS TECHNIQUES

- ◆ détermination du « X+Y+Z » séparant deux antennes recevant des signaux de satellites spécifiques avec des précisions :
  - de l'ordre du centimètre en mode cinématique : déplacement en temps réel ;
  - de quelques millimètres en mode statique : poste fixe de durée variable.
- ◆ les ondes sont arrêtées par des obstacles ou peuvent subir des réflexions, en particulier en milieu urbain.

### PARAMÈTRES D'INFLUENCE

Les conditions météorologiques et les obstacles.

### COMMENTAIRES

- ◆ elle peut suffire pour le contrôle d'un faible nombre de points comme le sommet des pylônes de ponts haubanés ou suspendus. Elle peut être utilisée en complémentarité avec des méthodes topométriques, si un grand nombre de points de contrôle sont nécessaires ;
- ◆ automatisme complet et résultats dans un système de référentiel mondial ;
- ◆ nécessite un récepteur par point de contrôle ;
- ◆ hauteur des masques limitée de 10 à 15° environ sur l'horizon ;
- ◆ limites de pénétration des ondes limitant son emploi en milieu urbain ou forestier.

# Annexe 6

## Fiches guides d'implantation des points de mesure en topométrie initiale

### PRESENTATION DE L'ANNEXE 6

- ◆ Les fiches suivantes proposent le principe de l'implantation des points de mesure, des directions à observer et des précisions requises, lors de la mise en oeuvre de la topométrie initiale, en se limitant aux ouvrages classiques.
- ◆ En ce qui concerne les autres ouvrages, le gestionnaire conduit une réflexion associant le spécialiste en structures et le géomètre (compétences que l'on peut trouver dans le réseau technique) pour définir la topométrie initiale. Ce processus est également mené pour les ouvrages anciens n'ayant pas bénéficié de topométrie initiale et pour lesquels, le gestionnaire a jugé utile d'y recourir.
- ◆ Ces fiches peuvent également servir de base de réflexion pour les autres topométries. Il y a lieu, dans ce cas, de reconsidérer les précisions requises qui sont généralement plus contraignantes que celles figurant dans la présente annexe.
- ◆ Les mesures réalisées dans le cadre d'une topométrie initiale sont destinées à servir de référence au cours de la vie de l'ouvrage, et plus particulièrement pour les mesures réalisées lors de l'apparition de désordres ou d'événements pouvant affecter le fonctionnement de la structure. Elles sont archivées à titre conservatoire dans le dossier d'ouvrage.
- ◆ L'implantation des points de mesure dépend de la nature de la structure, de son fonctionnement attendu et des désordres susceptibles de l'affecter.

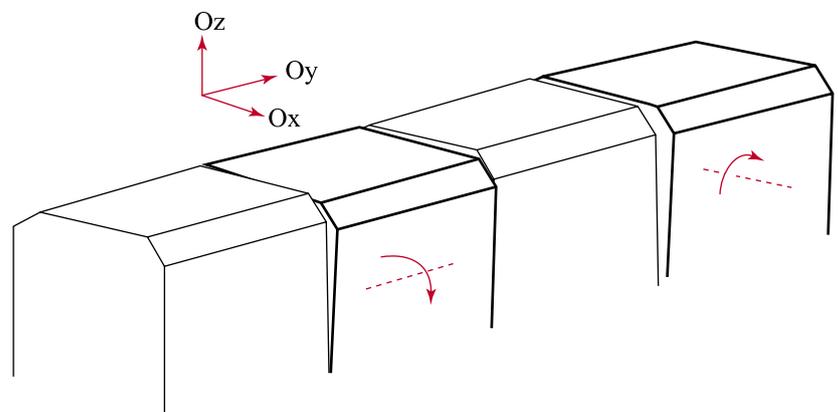
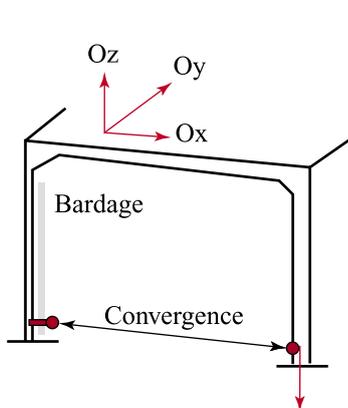
### Chaque fiche indique :

- ◆ en 1° colonne : la partie d'ouvrage et les déplacements à surveiller ;
- ◆ en 2° colonne : l'implantation des points de mesure préconisée ;
- ◆ en 3° colonne : la précision requise, spécifiée au géomètre. En topométrie autre qu'initiale, il faut mentionner l'erreur tolérée sur les déplacements. On retiendra comme valeur de la précision requise en topométrie initiale, une valeur comparable à celle qui sera requise ultérieurement pour l'erreur tolérée sur les déplacements ;

- ◆ en 4° colonne : le déplacement minimum significatif : cette valeur, à l'intention des gestionnaires et donnée à titre indicatif, estime le seuil au delà duquel le déplacement issu de la différence entre 2 campagnes de mesure devient significatif. Elle n'est à prendre en compte que si la topométrie initiale a été réalisée à l'achèvement des travaux.
  - ◆ en 5° colonne : la direction des déplacements ;
  - ◆ en 6° colonne : le mode de détermination « local » ou « absolu » (cf. annexe 3) ;
  - ◆
- Enfin, des schémas illustrent les implantations décrites dans les textes.

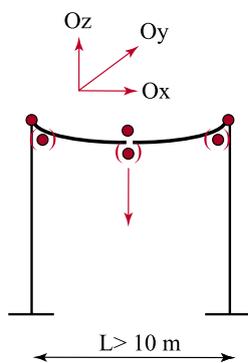
◆ **TYPE D'OUVRAGE : CADRES & PORTIQUES**

Partie d'ouvrage et déplacements attendus	Implantation des points de mesure	Précision requise	Déplacement minimum significatif	Directions des grandeurs à obtenir	Mode de détermination	Commentaires
<b>PIEDROITS.</b> PORTIQUE simple ou multiple : - Tassements différentiels entre piédroits ou au sein d'un même piédroit.	Sur base des piédroits ( $\approx 0,50$ m du TN). Le nombre de points de mesure par piédroit est à définir en fonction de sa longueur. Au minimum 1 point de mesure à chaque extrémité et 1 à chaque joint.	$\pm 0,4$ mm	3 mm	Oz	LOCAL	Mesure effectuée généralement par nivellement direct de précision.  APPAREILLAGE : la présence de bardage impose la fixation de repères spéciaux pour tenir compte des déplacements réels de la structure.
PORTIQUE simple ou multiple : - Convergence des piédroits.	Idem	$\pm 1$ mm	2 mm.	Ox	LOCAL	<i>Etude de l'opportunité de recourir au mode optoélectronique (laser,...)</i>



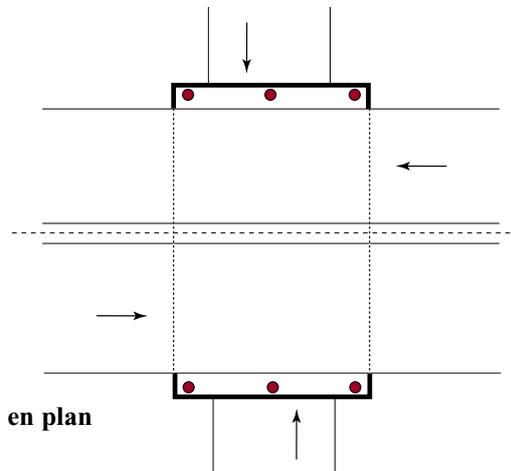
## ◆ TYPE D'OUVRAGE : CADRES &amp; PORTIQUES

Partie d'ouvrage et déplacements attendus	Implantation des points de mesure	Précision requise	Déplacement minimum significatif	Directions des grandeurs à obtenir	Mode de détermination	Commentaires
<b>TRAVERSES</b> <i>Ouverture &gt; 10 mètres:</i> Evolution de la flèche des ouvrages.	- Soit en rive de traverse sur appuis et à mi-portée (sur contre-corniches).  - Soit en sous-face de la traverse.	$\pm 0,4 \text{ mm}$	<b>1 mm</b>	<b>Oz</b>	<b>LOCAL</b>	Mesure effectuée généralement par nivellement direct de précision. En sous-face nivellement direct ou indirect suivant la hauteur des piédroits. <b>On obtient également le tassement différentiel des piédroits.</b>



Coupe longitudinale

(●) Alternative à l'implantation des points de mesure

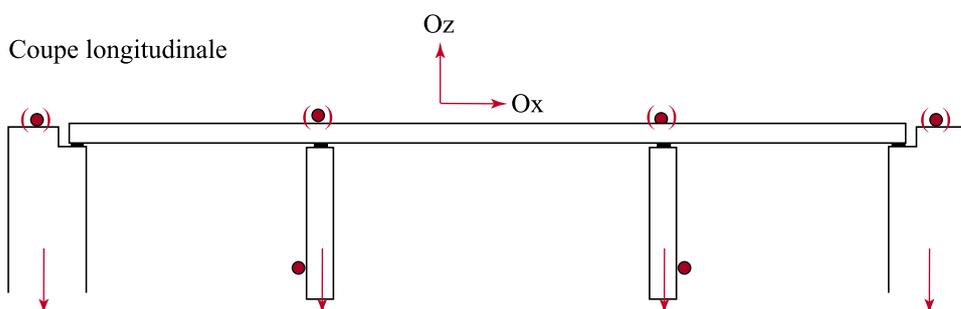


Vue en plan

## ◆ TYPE DE PARTIE D'OUVRAGE : PILES &amp; CULÉES

Partie d'ouvrage et déplacements attendus	Implantation des points de mesure	Précision requise	Déplacement minimum significatif	Directions des grandeurs à obtenir	Mode de détermination	Commentaires
<b>TASSEMENTS DIFFÉRENTIELS ENTRE DEUX LIGNES D'APPUI</b>	- Soit à la base des appuis : le nombre de points de mesure est à définir en fonction de la dimension des appuis et de leur nombre (au minimum 2 par appui). - Soit sur tablier au droit des lignes d'appui (sur chaque bord libre de tablier ou sur contre-corniches).	$\pm 0,4 \text{ mm}$	<b>20 mm</b>	<b>Oz</b>	<b>LOCAL</b>	Dans ce cas l'incertitude doit être très faible compte-tenu des conséquences d'un tassement différentiel entre lignes d'appui.

TASSEMENTS DIFFÉRENTIELS ENTRE DEUX LIGNES D'APPUI

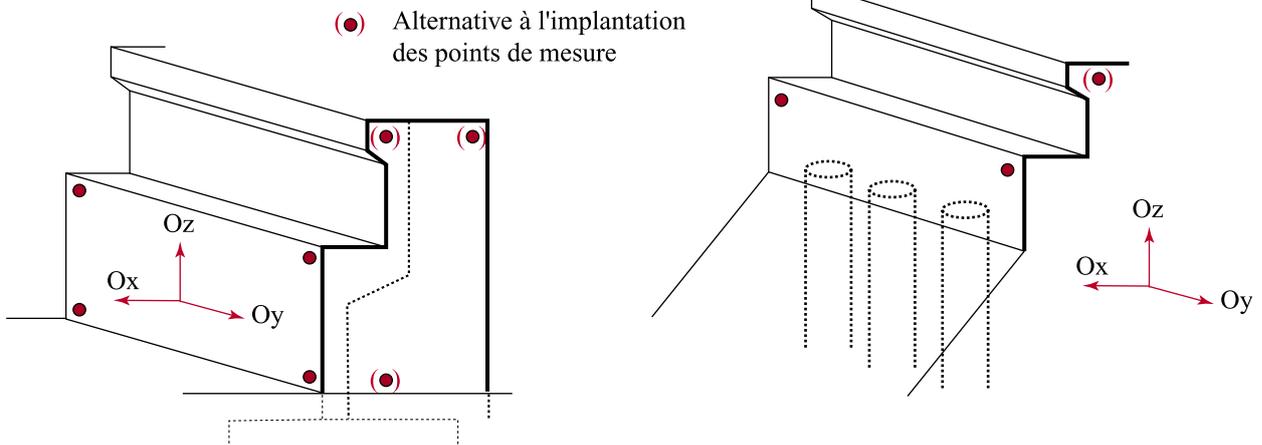


Coupe longitudinale

◆ **TYPE DE PARTIE D'OUVRAGE : PILES & CULÉES**

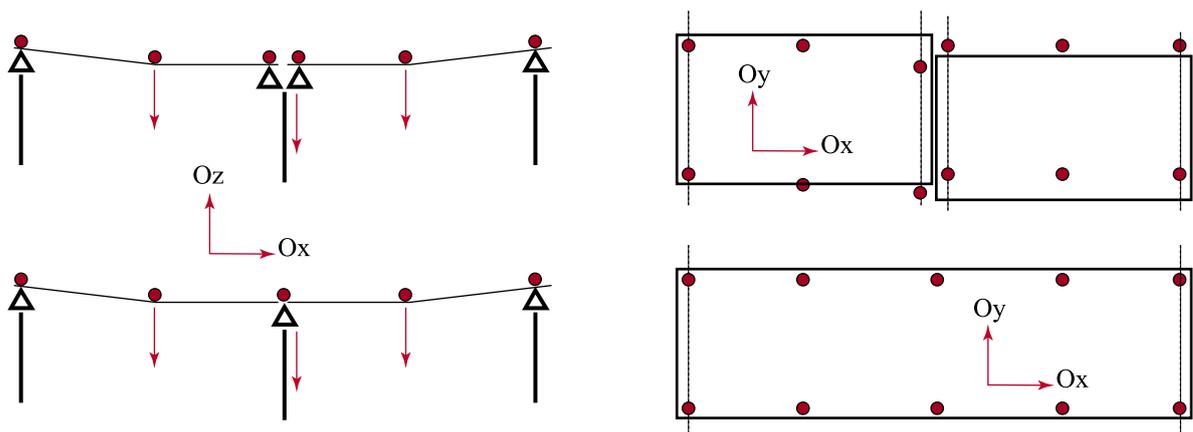
Partie d'ouvrage et déplacements attendus	Implantation des points de mesure	Précision requise	Déplacement minimum significatif	Directions des grandeurs à obtenir	Mode de détermination	Commentaires
<b>CULÉES</b> Convergence entraînant la mise en butée du tablier	A la base et en tête du mur de front, à raison de 4 points de mesure par appui - ou sur les faces de la culée - le cas échéant sur le sommier Dans le cas d'ouvrages avec appuis intermédiaires, il y a lieu de compléter le dispositif par des mesures de convergence sur ces appuis.	<b>± 1 mm</b>	<b>10 mm</b>	<b>Ox</b>  <b>ou</b> <b>Ox &amp; Oy</b>	<b>LOCAL</b>	Les distances entre culées peuvent être obtenues : - soit par mesures de convergence directe (mesures de distance). - soit par micro-triangulation

**CULÉES**



◆ **TYPE D'OUVRAGE : TABLIERS**

Partie d'ouvrage et déplacements attendus	Implantation des points de mesure	Précision requise	Déplacement minimum significatif	Directions des grandeurs à obtenir	Mode de détermination	Commentaires
<b>DÉFORMATION DU TABLIER</b>	Sur le tablier, au droit des axes des appuis et à l'axe de chaque travée, sur chaque bord (sur la contre-corniche).	<b>± 0,4 mm</b>	<b>1 mm</b>	<b>Oz</b>	<b>LOCAL</b>	Ceci permet d'obtenir le tassement différentiel entre deux lignes d'appui



46 avenue  
Aristide Briand  
BP 100  
92225 Bagneux Cedex  
France  
téléphone :  
33 (0)1 46 11 31 31  
télécopie :  
33 (0)1 46 11 31 69  
internet : [www.setra.equipement.gouv.fr](http://www.setra.equipement.gouv.fr)

Ce document constitue l'un des 21 fascicules qui composent la deuxième partie de l'Instruction technique pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art du 19 octobre 1979 révisée.

Destiné par nature aux services de l'état, son champ d'application s'étend à l'utilisation de la topométrie dans l'ensemble des actions de gestion des ouvrages d'art (surveillance, entretien, auscultation, diagnostic).

Ce document ne constitue pas un guide complet d'entretien, ou une aide à rétablissement de diagnostics liés aux pathologies, mais il doit permettre au gestionnaire de juger de l'opportunité de recourir à la topométrie dans le cadre de ses missions de surveillance.

Il a donc pour objet d'indiquer les conditions d'utilisation de la topométrie, ainsi que quelques unes de ses possibilités et de ses limites.

Les prescriptions de ce document pourront être utiles à tous les autres gestionnaires, notamment à ceux qui ont en charge des patrimoines départementaux ou communaux.



Ce rapport est consultable et téléchargeable sur les sites web du Sétra :

- internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>
- I2 (réseau intranet du ministère de l'Équipement) : <http://intra.setra.i2>

Conception graphique : Sétra  
L'autorisation du Sétra est indispensable pour la reproduction, même partielle, de ce document.  
© 2006 Sétra – Référence : 0642w – ISRN : EQ-SETRA-06-ED16--FR

Le Sétra appartient  
au Réseau Scientifique  
et Technique  
de l'Équipement

