

LA GESTION DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL SUR DE TRÈS LONGUES DURÉES

Bernard PINCENT
ARCADIS

FAUT-IL INSTRUMENTER LES OUVRAGES POUR QU'ILS SE PLACENT DANS UN CADRE DE DÉVELOPPEMENT DURABLE ?

Face aux propositions d'installer des systèmes de surveillance des ouvrages de haute technologie, qui tirent leur raison d'être des progrès technologiques en électronique et en informatique, on peut se poser sincèrement la question de l'apport de l'instrumentation dans l'esprit du développement durable. Certains pensent en effet que les prévisions des ordinateurs sont plus fiables que celles des humains et que, demain, c'est-à-dire dans les mois qui viennent, l'ordinateur et ses calculs remplaceront une partie du personnel humain dont le nombre et la compétence diminuent. Est-ce la bonne voie ?

Le développement durable a mis en avant le temps, la durée, le long voire le très long terme. Alors que dans l'industrie, il est normal qu'une machine s'use et soit mise au rebut, les grands ouvrages ont été conçus et construits pour marquer les générations futures. Dans l'esprit des ingénieurs, la notion de temps pour les ouvrages, c'est plusieurs générations, c'est-à-dire quelque chose qui n'est pas loin de l'éternité.

L'ÉCHELLE DU TEMPS

Posons nous tout d'abord la question de l'espérance de vie¹ d'un ouvrage. Considérons que la durée de vie débute à la fin de la construction et se termine lorsque l'ouvrage ne rend plus le service attendu ce qui le conduit soit à la destruction, soit à l'état de monument s'il présente un intérêt historique, architectural ou sentimental. Dans le Tableau 1, sont indiquées les estimations des durées de vie d'ouvrages en Génie Civil. Du point de vue statistique, la très grande majorité des ouvrages qui ont échappé aux destructions des guerres, sont toujours opérationnels. A l'exception des ouvrages les plus récents, en béton précontraint, le retour d'expérience est plus que centenaire, ce qui justifie cette impression d'éternité. On notera toutefois que, paradoxalement, l'espérance de vie des ouvrages les plus récents, en béton et en béton précontraint, matériaux qui évoluent dans le temps, semble moins élevée que celle des ouvrages plus anciens, en pierre.

¹ L'espérance de vie est une notion statistique. Pour les humains, il s'agit de l'âge moyen au moment du décès. Elle est de plus de 78 ans pour les hommes en France. L'OMS a défini une "espérance de vie en bonne santé" qui n'est que de 72 ans...

	Durée de vie maximum	Observations
Centrales nucléaires	> 40 ans	Réglementation pour l'instrumentation. Démantèlement programmé
Bâtiments	Pierre > 2000 ans Béton armé > 100 ans	Fortifications, palais et bâtiments religieux
Tunnels	> 5000 ans	
Ponts	Pierre > 1900 ans Fonte, acier > 150 ans Béton armé > 100 ans Béton précontraint > 60 ans	Ponts romains : 1er siècle Pont suspendu : 1825 Pont métallique : pont d'Arcole paris 1856, Garabit 1884 Pont béton armé : pont Ribère Perpignan 1901 Pont précontraint : pont sur la Marne (Freysinet) 1946
Remblais, déblais	Routes > 1500 ans Voies ferrées > 150 ans	Quelques voies romaines.. Lignes de chemin de fer
Grands barrages	> 150 ans	Maçonnerie : Alicante 1594 Barrage Furens 1865 Réglementation pour l'instrumentation
Routes	> 1500 ans	Quelques voies romaines.

Tableau 1 - Durée de vie de quelques ouvrages en France.

A contrario, quels sont les éléments à faible durée de vie, d'un ouvrage ?

En se limitant au domaine des ponts, citons : la signalisation et l'éclairage, les peintures, les revêtements qui ont une espérance de vie bien maîtrisée par une bonne politique de maintenance. En revanche, dans le domaine de l'instrumentation, l'espérance de vie est de deux ans pour les accumulateurs des stations sismiques, deux à cinq ans pour les moyens informatiques, cinq à dix ans pour l'électronique et la plupart des capteurs et, exceptionnellement, plus de cinquante ans pour certains capteurs très spécifiques (extensomètres à corde vibrante).

Ainsi, sur une échelle de un mètre représentant un siècle, minimum de l'espérance de vie d'un ouvrage, celle d'un système de mesure électronique n'est donc au mieux, qu'un petit centimètre !

Dans ces conditions, faut-il assurer à tout prix le fonctionnement du système électronique mis en place au nom d'un principe de précaution rudimentaire ou au contraire, s'interroger sur l'utilité de prolonger l'exploitation de l'instrumentation qui a fourni les résultats utiles et adopter une position plus réfléchie, nettement plus efficace et économique, qui consiste à poursuivre les mesures qu'il est absolument nécessaire de poursuivre (voir plus loin) et d'arrêter les autres, toutes les autres ?



Figure 1 - Un repère de nivellement à Paris matérialisé par une plaque en fonte [3]



Figure 2 – Un repère de nivellement gravé dans une pierre (carrières à Paris)
et sur un des piliers de la cathédrale de Bourges [2 et 3]

PRÉVISIONS ET MESURES

L'intérêt se porte donc aujourd'hui sur l'évolution et sur le devenir des ouvrages neufs sur une période qui atteint le siècle et au-delà et sur la transmission aux prochaines générations. Nous entrons alors dans le domaine de la prévision à très long terme, d'ouvrages construits quelquefois avec des matériaux pour lesquels le retour d'expérience n'est que de quelques décennies et des méthodes d'extrapolation à visibilité limitée.

Et pour prévoir, il faut vérifier :

- lors de la construction et en début d'exploitation, que l'ouvrage réagit bien aux sollicitations, conformément aux calculs, que son 'état de santé' est celui du cahier des charges et qu'il peut servir de référence aux constats et diagnostics du futur – c'est l'état zéro' ;
- en cours d'exploitation, que les paramètres de comportement restent dans des limites acceptables, qu'il n'y a pas d'évolution anormale.

Sur les grands ouvrages neufs, on installe des systèmes de surveillance sophistiqués dont l'utilité pour l'exploitant n'est pas toujours évidente et qui doivent durer autant que l'ouvrage... éternellement, tout en restant économique !

Pour un développement durable, il faut replacer l'instrumentation dans ce contexte de très longue durée. On constate alors que l'organisation de l'instrumentation, la conservation des données, la continuité de la précision des mesures et la qualité des informations par exemple, doivent avoir largement la priorité sur la technologie. Il faut en effet garantir *la continuité de la précision des mesures, la continuité des mesures à très long terme et la pérennité de l'information*.

CONTINUITÉ DE LA PRÉCISION DES MESURES

La continuité de la précision des mesures ne peut s'envisager sans la qualité de la mesure de référence et sans la pérennité du réseau de mesure. Dans cet esprit, quels sont les types de mesure et les réseaux de points de mesure qui ont montré une grande espérance de vie ?

- La position des étoiles dans le ciel. Les observations astronomiques sont plus que millénaires et les étoiles donnent depuis toujours, le référentiel pour tous les systèmes de localisation terrestre, le plus récent étant le GPS.
- Les réseaux de points géodésiques. En France, des repères de nivellement qui sont plus que centenaires, sont encore visibles – repères en fonte (Figure 1) ou gravures (Figure 2) traversent allègrement le temps.
- Des mesures sur des barrages qui sont assurées depuis plus de 50 ans.
- Les réseaux de mesures météorologiques.
- Les mesures de crues.

Il existe une très forte similitude entre les mesures des déplacements d'un ouvrage et les mesures de géodésie. La différence réside dans le caractère absolu des mesures géodésiques (position x , y , z d'un point) et relative de la mesure d'un déplacement ($x-x_0$, $y-y_0$, $z-z_0$).

Profitons de cette similitude pour extrapoler le système de repérage géodésique aux ouvrages de génie Civil : il faut soit installer des repères solides, résistants à la corrosion (en fonte, bronze² ou céramique³) soit graver dans la pierre ou le béton un signe permettant de positionner avec une grande précision le point. Ce type de dispositif n'est pas original, il est mis en œuvre depuis plus de cinquante ans sur les barrages. Dans le domaine des ponts, la réutilisation de celui installé sur le pont Sidi Rached en 1954, à Constantine (Algérie), a permis de déterminer les déplacements du pont (amplitude et direction) et de sa culée Est, jusqu'en 2001 avec, il est vrai, une absence de mesures de 37 ans.

Malheureusement, on constate aujourd'hui que la partie de la surveillance des ouvrages que nous pourrions appeler « surveillance topographique », est souvent mal conçue : points de référence instables induisant des mesures alarmistes alors que l'ouvrage est stable. Cette conception du réseau de mesure est d'autant plus indispensable que les dimensions des grands ouvrages rendent les mesures très complexes. C'est le cas pour les onze kilomètres du tablier du Pont Vasco de Gama qui sont au dessus de l'eau, ou en raison de la « souplesse » du tablier au passage de camions, qui interdit les mesures de nivellement alors que celles ci doivent être réalisées sans interruption de la circulation.

Par ailleurs, que déduire de la faible durée de vie des piliers de référence et des repères qui doivent se trouver en dehors du territoire de l'ouvrage pour des raisons de qualité de la mesure ? Sinon concevoir des repères « invisibles »⁴ comme ceux installés pour la surveillance des grands glissements de Constantine en Algérie et utiliser le référentiel GPS (Figure 4) dont la précision (GPS différentiel) encore insuffisante pour certains, paraît bien adaptée pour les mesures à long terme si on prend en compte la pérennité du référentiel et qu'on inclut dans le dispositif plusieurs points *a priori* stables à très long terme (fondations profondes peu sollicitées par exemple), ce qui permet de corriger les conséquences d'un changement toujours possible de technologie.

Signalons enfin une technique de mesure très ancienne – nous avons des représentations datant du moyen âge (Figure 3) – très utilisée pour la surveillance des barrages⁵ : le fil à plomb appelé pendule (direct ou inverse) dans sa forme métrologique, comme les pendules du barrage de Bissorte fonctionnent depuis 1952⁶.

La surveillance du déplacement de la tête des piles d'un pont pourrait être assurée, en continu, de cette façon. Malheureusement, le dessin des piles des grands ponts qui sont rarement parfaitement verticales, ne permet pas d'installer un pendule dans les piles ; il faut trouver une autre solution, celle d'installer un chapelet de pendules qui suivent la forme de la pile par exemple.

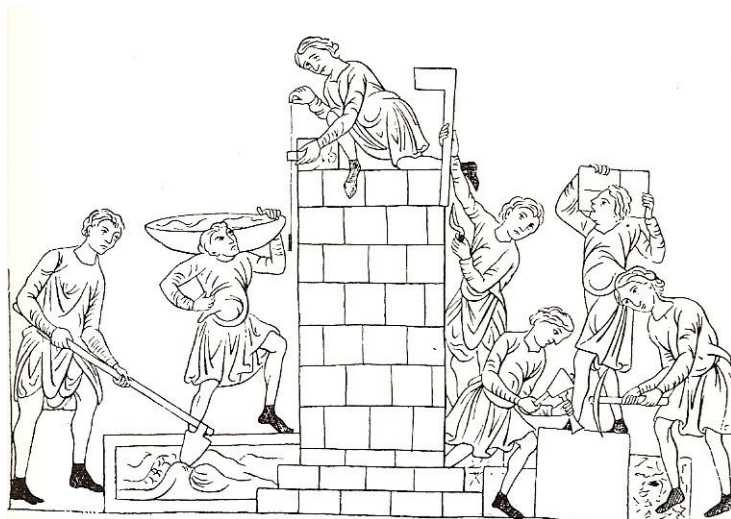


Figure 3 – L'usage du fil à plomb est très ancien. Miniature XVème (Berne).

² L'archéologie a montré la résistance de certains métaux. Il n'est pas certain que l'acier dit inoxydable ne se dégrade pas de manière significative au bout de 100 ans.

³ Des repères en céramique sont utilisés pour la surveillance topographique de barrages ou du niveau des eaux (échelles limnimétriques en pierre émaillée).

⁴ La partie inférieure du repère est enterrée, dégagée au moment de la mesure. La partie supérieure, adaptée au nivellement et aux mesures GPS est amovible.

⁵ L'inclinaison de la Tour de Pise est surveillée de cette façon.

⁶ J.P. Fabre EDF DTG Toulouse et Ch. Leverger EDF DTG Grenoble.



Figure 4 – Une technique très récente : GPS différentiel. Un pilier de référence pour la construction du pont de Carregado au Portugal

CONTINUITÉ DES MESURES

Quelles sont les mesures dont il faut assurer la continuité pendant toute la durée de vie de l'ouvrage ? Elles sont peu nombreuses !

Ce sont tout d'abord les déplacements des éléments qui assurent la stabilité de l'ouvrage : tassements des fondations en priorité. Ce sont ensuite celles qui sont liées à des événements exceptionnels : les accélérations au cours d'un séisme, d'un choc de bateau ou encore, mais dans une moindre mesure, la vitesse du vent, les accélérations et déplacements dynamiques, lors de grandes tempêtes. En l'absence de tempêtes, les coups de vent, plus fréquents, peuvent permettre, dans une certaine mesure, d'extrapoler le comportement de l'ouvrage aux très forts vents.

En phase d'exploitation, il est inutile de poursuivre des mesures générales ou de suivi d'un comportement particulier, au-delà de trois à cinq ans si, dans ce délai, comme ce doit être le cas pour toute instrumentation bien conçue, on possède la réponse à la question posée. Il faut envisager alors non pas de poursuivre les mesures, mais au contraire, de *démonter le dispositif de mesure* qui, s'il repose sur des moyens électroniques ne devrait pas tarder à être inopérant ou à coûter fort cher en maintenance !

Quant à l'instrumentation en phase de construction ou d'exploitation qui vise à analyser un phénomène particulier, elle doit être développée à condition que ses objectifs soient bien définis en impliquant fortement les concepteurs de l'ouvrage (et non le prestataire d'instrumentation seul, comme c'est souvent le cas) et qu'elle soit arrêtée dès qu'elle a répondu à ces objectifs, normalement dans un délai de trois ans.

LA PÉRENNITÉ DE L'INFORMATION

Qui peut affirmer que les coordonnées initiales de points d'un ouvrage seront encore connues un siècle plus tard ? Il s'agit ici d'un problème de conservation des informations sur une longue durée. Pour le stockage de déchets nucléaires l'ANDRA⁷ s'est posée la question de la transmission de celles concernant le stockage des déchets radioactifs sur une période de 400 ans [3]. Pour les documents essentiels, sur les conseils des experts archivistes, la solution choisie est l'impression sur un papier spécial et l'archivage à la Bibliothèque Nationale, qui possède plus de 340 ans d'expérience dans le domaine.

Extrapolons à nouveau cette idée à notre système de mesure : les repères dont il est question plus haut, devraient inclure, comme sur certains repères de nivellement anciens (Figure 2), l'information de la position initiale du point, la date de la mesure et le référentiel associé !

⁷ Agence Nationale pour la Gestion des Déchets Radioactifs

La conservation des documents, surtout s'il n'est pas envisagé de les déposer à la Bibliothèque Nationale, doit faire l'objet d'une réflexion approfondie : quels documents conserver ? Sous quelle forme⁸ ? En quel endroit ? Il ne serait pas absurde de concevoir une bibliothèque des ouvrages sur le modèle de la bibliothèque nationale dans sa version moderne. C'est ce type d'organisation qui est généralement adoptée par de grands organismes français gestionnaires d'ouvrages, mais avec toutefois, une disparité importante des procédures, des moyens et des lieux d'archivage.

FAUT-IL INSTRUMENTER LES OUVRAGES ?

L'instrumentation des ouvrages neufs est indispensable pour leur surveillance car l'œil et le cerveau de l'homme s'ils constituent ensemble un excellent détecteur, sont un piètre capteur. Mais à côté de l'observation visuelle de l'ouvrage, constante intangible du suivi et de la surveillance d'un ouvrage, quelle instrumentation mettre en oeuvre ?

Se placer dans une perspective de plus de cent ans, fait apparaître nettement des défauts et lacunes dans la conception de l'instrumentation telle qu'elle se pratique aujourd'hui. Le cadre du développement durable impose de revoir la conception de l'instrumentation des ouvrages et des systèmes de mesure dont l'objectif est aujourd'hui un objectif à court terme de « sécurisation » des intervenants et dans laquelle le high-tech marketing a pris une place anormalement importante.

Il est en effet nécessaire d'adjoindre aux mesures et particulièrement aux mesures électroniques, le paramètre 'durée'. Après trois à cinq ans d'exploitation d'un ouvrage, ne devraient rester en place que les systèmes de mesures utiles à très long terme : sismomètres en zone sismique et/ou pour les chocs de bateaux, éventuellement mesures liées au vent et mesures de déplacements des éléments structurants de l'ouvrage.

Pour ce dernier point, il est impératif de réhabiliter les mesures de déplacements à très long terme par les techniques géodésiques de précision, avec un repère local lié à un repère dont la pérennité est garantie, le plus adapté étant, semble-t-il, le repère mondial instauré par le GPS.

Il est indispensable d'organiser l'instrumentation, de structurer les données, d'adopter des procédures d'accès à l'information en tenant compte de l'espérance de vie de l'ouvrage, mais aussi des ruptures d'organisation que constituent le passage de la phase de construction à celle d'exploitation, des changements de personnel, d'organisation qui ne manqueront pas durant le siècle ou plus d'exploitation de l'ouvrage.

Enfin, l'instrumentation des ouvrages neufs est indispensable pour faire avancer les connaissances ; c'est particulièrement le cas lorsque les ouvrages sortent du domaine classique. Elle doit favoriser les mesures de type « recherche », elles aussi placées dans le long terme, tout en veillant à ce que le financement, les objectifs, les limites soient définis au plus tôt et que les interventions soient menées indépendamment des mesures de surveillance de l'ouvrage. Mélanger les deux types d'intervention, surveillance et recherche, conduit à une dilution des responsabilités, à un manque de durabilité de l'instrumentation, particulièrement lorsque la technologie de dernier cri a pris le pas sur les technologies éprouvées et sur la réflexion.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] G.Thomas. Paris, des hauts et des bas. Revue XYZ n°105. 4^e trimestre 2005
- [2] R.Vincent. Le premier nivellement géodésique de la France. Revue XYZ n° 101. 4^e trimestre 2004
- [3] Préserver la mémoire des centres de stockage pour les générations futures. ANDRA Collection Les Essentielles ; Mai 2006 ;

⁸ Le support informatique a une très faible durée de vie, sans oublier les modifications de format des documents.