

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 84 (1992)
Heft: 1-2

Artikel: L'informatique dans l'auscultation des barrages
Autor: Lombardi, Giovanni
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940531>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 10.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Nach dem Bordeaux das Restwasser

«Kassensturz» mit Schlagseite

scr. In gewohnt süffiger Manier haben am Dienstagabend die «Kassensturz»-Macher des Fernsehens DRS nicht nur gezeigt, dass Bordeaux gleicher Herkunft und mit gleichem Jahrgang zu ganz verschiedenen Preisen angeboten werden; sie haben sich auch noch der Restwasserfrage zugewandt und dabei eine Elektrowatt-Studie über die möglichen Auswirkungen der Gewässerschutzinitiative als wertloses Gefälligkeitsgutachten abqualifiziert. Ein Interview mit dem Direktor des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes, Georg Weber, wurde so präsentiert, dass der Eindruck entstand, auch er halte von der erwähnten Studie nicht eben viel. Dass dies nicht zutrifft, geht aus einem Briefwechsel zwischen Weber und der «Kassensturz»-Redaktion eindeutig hervor.

Der Zuschauer musste den Eindruck gewinnen, in der Elektrowatt-Studie würden unzulässige Hochrechnungen aufgrund von Ergebnissen aus Untersuchungen für einzelne Gewässer gemacht. Darauf lässt sich aus der Sicht des Wasserwirtschaftsverbandes entgegnen, dass die Initiative keine quantitativen Vorgaben enthalte und dass sich in diesem Falle die Abstützung auf die EAWAG-Studie Bundi/Eichenberger durchaus rechtfertigen lasse. Darin postulieren die Verfasser Richtwerte für die Restwasserführung. Diese gelten, so heisst es in der Studie wörtlich, «für die häufig vorkommenden und häufig genutzten Typen ‹Gebirgswildbach› und ‹Bach/Kleinfuss mit Geschiebetrieb in den Voralpen›, nicht aber für die übrigen Gewässertypen». Weiter liest man, die postulierten Richtwerte erlaubten, «die ökologisch-biologischen Ziele für das ‹durchschnittliche Gewässer› zu erfüllen. Es ist aber in jedem Einzelfall der Festlegung von Restwasseranforderungen zu überprüfen, ob die Richtwerte tatsächlich genügen.»

Diesen letzten Satz hat man beim Wasserwirtschaftsverband dahin interpretiert, dass die erwähnten gewässerökologischen Richtwerte bei einer Gesetzgebung aufgrund des Initiativtextes als Restwasser-Mindestwerte in Frage kämen. Es war deshalb sicher nicht abwegig, die Auswirkungen auf die Stromproduktion auf dieser Basis berechnen zu lassen – und zwar von der Elektrowatt Ingenieurunternehmung AG (EWI), einer unter anderem auf ökologische Gutachten spezialisierten Firma. Grünen Kreisen gilt sie zumindest dann als kompetent, wenn ihre Untersuchungen Argumente für eine fortschrittliche Luftreinhaltepolitik oder gegen den Bau von Grimsel-West liefern.

Nun wird im Blick auf die Abstimmung über die Gewässerschutzinitiative, die vom Bundesrat an diesem Montag auf den 17. Mai angesetzt worden ist, darüber zu diskutieren sein, wie zuverlässig sich aufgrund der EWI-Berechnungen die energiewirtschaftlichen Folgen einer allfälligen Annahme des Volksbegehrens ermitteln lassen. Und dabei wird man auch die Frage zu prüfen haben, ob es dafür allenfalls einen anderen, tauglicheren Ansatz gibt als den vom Wasserwirtschaftsverband gewählten. Fest steht vorläufig lediglich, dass die für die Erörterung von Konsumentenfragen bestimmte populäre Sendung für den Versuch benutzt wurde, eine wichtige Entscheidungsgrundlage mit einer Collage aus ein paar Interviews aus der Hüfte abzuschliessen. Dass das schweizerische Monopolfernsehen damit einen brauchbaren Beitrag zur Meinungsbildung über eine energiepolitisch bedeutsame und brisante Vorlage geleistet habe, lässt sich gewiss nicht behaupten.

scr. = Walter Schiesser, aus «Neue Zürcher Zeitung», 31. Jan. 1992, S. 22.

L'informatique dans l'auscultation des barrages

Giovanni Lombardi

1. Introduction

Inutile de rappeler ici que l'informatique envahit actuellement tous les domaines de l'activité humaine et qu'elle sait se rendre indispensable à bien des égards.

Je ne rappellerai pas non plus les avantages que peut présenter l'introduction de l'informatique dans la surveillance des barrages, ni toutes les possibilités qu'elle offre du point de vue des appareillages, instruments et logiciels.

Il est certain que l'informatique peut être un élément à même de contribuer puissamment à une amélioration de la sécurité de ces ouvrages et donc de la sécurité générale du pays. Ayant eu l'occasion, non seulement d'avoir pu contribuer quelque peu à un certain développement dans ce domaine, mais aussi de voir l'usage qui en est fait dans divers pays ainsi que l'évolution en cours, il m'est relativement facile de procéder à certaines comparaisons et de tirer certaines conclusions.

C'est pourquoi je pense concentrer mon propos sur ce que l'informatique n'est pas – ou n'est pas seulement – ou ne doit pas être. Ajoutons encore que ce qui suit s'applique plus aisément aux ouvrages en béton qu'aux ouvrages en matériaux meubles.

2. Limites

Certaines limites à l'emploi de l'informatique sont intrinsèques au système, d'autres sont dues à la façon pas toujours optimale dont elle est mise en œuvre.

L'informatique est certainement tout d'abord un moyen très utile pour mettre en archives des données, les conserver et les manipuler selon les besoins. Mais il est clair que dans la

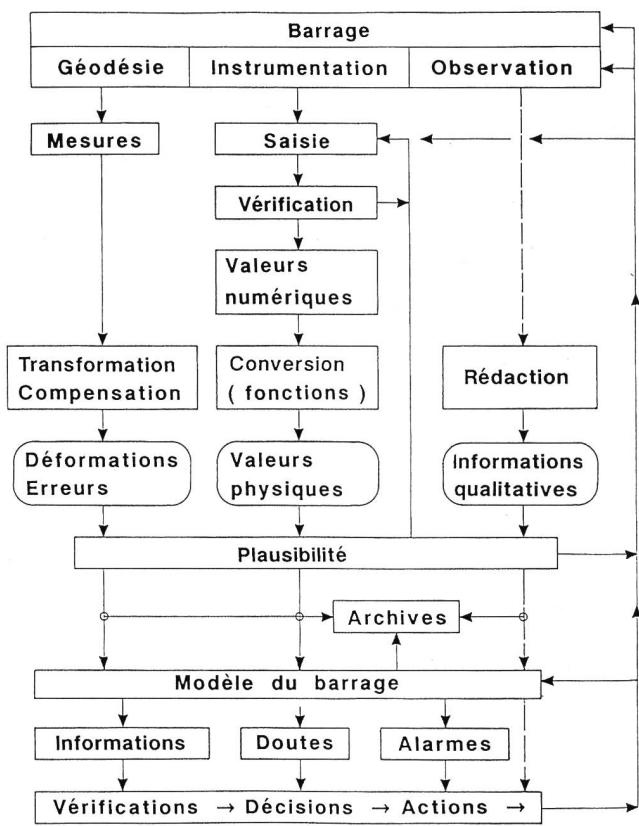


Figure 1. Organigramme général.

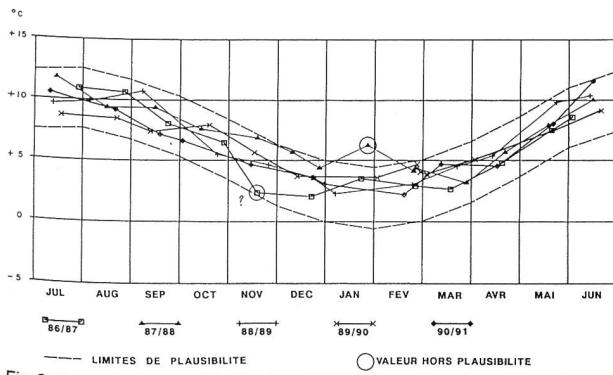


Fig.2. Exemple de contrôle de plausibilité du type historique. Température du béton – thermomètre T8 – cote 1296 – période juillet 1986 à juin 1991.

surveillance des barrages on ne saurait s'arrêter à cette fonction pourtant essentielle. Quoi qu'il en soit, prenons garde à ce qu'un débordement du volume des archives ne se produise, et que les banques de données qui s'accumulent ne finissent par devenir inutilisables, ou pour le moins qu'elles finissent par ne pas être convenablement utilisées. La facilité avec laquelle, à partir de registres électroniques ou de banques de données, on peut tracer des courbes et imprimer des listes fait que certains sont amenés – de par le monde – à imprimer des tableaux sans fin et des graphiques sans nombre, dont on ne sait plus que faire. Une tendance à l'augmentation du volume des rapports périodiques de contrôle des barrages peut être constatée au cours des années sans que la quantité et surtout la qualité de l'information mise à disposition n'augmentent – ou n'augmentent en proportion. Le nombre, la forme et surtout le contenu des tableaux et des graphiques établis ne doivent donc pas dépendre des possibilités du système informatique ou des schémas prévus par les programmes standards, mais uniquement des besoins de l'utilisateur chargé de la surveillance de l'ouvrage. L'informatique n'est pas seulement une machine à dessiner et à imprimer en fonction de schémas préétablis!

Des considérations semblables s'appliquent en principe au nombre parfois exagéré d'instruments lus et de lectures mises en archives, ainsi qu'à la fréquence des lectures qui semble augmenter très nettement avec l'introduction de l'informatique sans que cela corresponde à un besoin réel de l'exploitation et de la surveillance du barrage.

Disons à titre d'exemple que le contrôle du comportement du barrage de Zeuzier, pendant la phase critique bien connue, s'est fait pratiquement sur la base des mesures de trois pendules et de huit thermomètres seulement.

Il en va de même de la possibilité d'établir des statistiques, dont certaines peuvent être utiles mais qui souvent confirment davantage la virtuosité de l'informaticien que le bon comportement du barrage. Ce faisant on oublie par ex. souvent que les données peuvent être biaisées. Citons le fait, parmi d'autres, que le nombre des lectures faites durant la bonne saison est souvent plus élevé que pendant la mauvaise.

La tendance, ou la tentation, est forte aussi de considérer la surveillance des barrages, grâce à un système informatique, comme une procédure tout à fait automatique ou automatisable – ce qui est en principe le propre de l'informatique – et d'en tirer des conclusions que nous pouvons aisément taxer d'aberrantes. C'est ainsi qu'une grande organisation étrangère, propriétaire de très nombreux barrages, a estimé – sous la pression de certains syndicats il est vrai! – que l'on pouvait fort bien confier à du personnel administratif comptable et de secrétariat, en cessation d'emploi, la fonction d'inspecteurs et d'inspectrices de barrages; car enfin il ne s'agirait que de lire des instruments, de reporter des valeurs

dans des fiches et de les taper sur un clavier! Inutile de dire que les déboires commencent à se produire, très nombreux, avec ce système. On ne peut en réalité se passer du jugement du barragiste et du technicien, capables d'appréhender la réalité physique qui se traduit par les nombres ou se cache derrière eux.

3. Principes d'un système informatique de surveillance des barrages

En l'état actuel de la question on peut concevoir le schéma général du flux informatique pour la surveillance du barrage qui est indiqué à la figure 1.

Le comportement de l'ouvrage se traduit par des déformations de sa surface qui peuvent être saisies grâce à un système géodésique d'une part, et d'autre part par une foule d'états physiques (éventuellement chimiques) qui sont mis en évidence par les indications fournies par de nombreux instruments de divers types.

Outre l'auscultation, on a recours aussi à l'observation directe de l'ouvrage.

Les lectures géodésiques donnent lieu à compensation et transformation. Leurs résultats sont des déplacements affectés d'ellipses d'erreurs.

La chaîne informatique qui part des instruments passe par la saisie de l'information (éventuellement automatisée), par la vérification de la valeur numérique et par la conversion de celle-ci en valeur physique significative pour l'interprétation du comportement. Ainsi la lecture du niveau du plan d'eau au-dessus d'un déversoir de mesure pourra être convertie en débit, ou bien la valeur d'une résistance électrique pourra être traduite en température.

Ces valeurs physiques significatives doivent faire l'objet d'un contrôle de plausibilité, par ex. de type historique ou fonctionnel ou encore corrélationnel.

Lors de la vérification des valeurs saisies, ainsi que du contrôle de plausibilité, des retours en arrière sont possibles et parfois même impératifs.

Le noyau du procédé est désigné dans le graphique par la notion de «modèle». Il s'agit d'un modèle mathématique du barrage, dont on dira plus en détail par la suite. On peut imaginer que certaines observations directes soient introduites dans le modèle, outre les valeurs numériques provenant de la géodésie et des instruments.

L'information sortant de l'élaboration, qui se fait dans le cadre du modèle, peut assumer diverses formes, soit:

- celle de la simple représentation des données,
- celle de «doute» sur la validité des informations reçues,
- celle indiquant une évolution plus ou moins lente de l'ouvrage et donc de sa sécurité au cours du temps,
- celle d'alerte, et enfin
- celle assumant la forme d'une alarme.

Pour des raisons évidentes on ne saurait, tout au moins dans l'état actuel de la question, confier à l'ordinateur le déclenchement des actions à entreprendre (par ex. la vidange du bassin) que les informations émises suggèrent ou exigent.

C'est aux personnes responsables de la sécurité de prendre les décisions qui s'imposent et qui comporteront, en bonne règle, une étape de vérification relative

- soit à l'ouvrage,
- soit aux instruments,
- soit à la chaîne informatique,
- soit enfin, au modèle utilisé.

Selon le résultat de ces vérifications, des décisions seront prises et des actions promues.

Il va de soi que le système doit être conçu de façon que puissent être éliminées le plus possible les erreurs de saisie

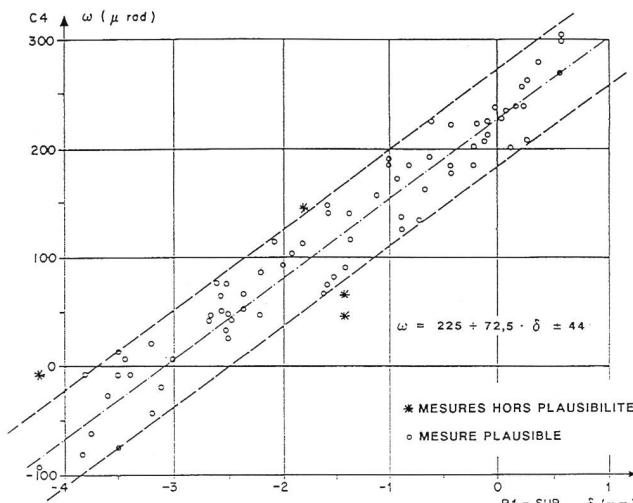


Fig. 3. Exemple de contrôle de plausibilité du type corrélationnel. Période de mesure 6-3-87 à 15-6-90 – relation entre les lectures de l'inclinomètre C4 et les déformations radiales du pendule P1 (sommet du pendule).

et que l'on puisse détecter le plus rapidement possible la défaillance de tel ou tel autre instrument.

Il doit, à la fin, créer une banque de données – c'est-à-dire des archives – qui puisse être exploitée en fonction des besoins.

Il faut qu'il fournit des informations les plus sûres possible, en évitant d'encombrer l'utilisateur de données superfétatoires ou incertaines.

Ajoutons encore – en prenant exemple de la géodésie – qu'il ne devrait pas suffire de produire simplement des valeurs numériques, mais qu'il faudrait également fournir une indication quant à leur fiabilité. Il s'agit en fait d'une notion qui correspond à l'ellipse d'erreur chère aux géodétes.

Le système doit également être une incitation à une saisie de données plus régulière et plus attentive, car il devrait exiger des inspecteurs de l'ouvrage une plus grande discipline. En fait on note – sur certains ouvrages et dans certains cas – une amélioration de la qualité des mesures depuis qu'un système informatique a été introduit. Les erreurs quadratiques moyennes ont tendance alors à diminuer quelque peu; au moins jusqu'au prochain changement d'inspecteur!

Le schéma directeur ci-devant présenté induit aussitôt à distinguer deux groupes d'informations – et donc en particulier d'instruments –, à savoir:

- ceux dont la fonction est de déceler avec certitude toute anomalie de comportement qui pourrait se produire, et qui de ce fait demandent à être lus plus fréquemment, et
- ceux dont le rôle est de servir à la recherche de la cause et à l'analyse de l'anomalie découverte. La fréquence de saisie peut de ce fait être moindre, tout au moins durant les périodes de comportement normal de l'ouvrage.

Nul besoin de dire par ailleurs que les systèmes généralement en usage varient, dans un sens ou dans l'autre, d'une manière plus ou moins importante par rapport au schéma théorique représenté par la figure 1.

4. Contrôle de plausibilité

La notion de plausibilité des mesures et des lectures d'instruments est, à mon avis, fondamentale.

Elle évite d'introduire dans les archives des valeurs incertaines ou même erronées. On peut en principe en distinguer trois types.

La figure 2 montre un exemple de contrôle de plausibilité du type historique. On sait par expérience que les températures dans le béton sont comprises entre des limites bien dé-

finies en fonction de la saison. Toute mesure se situant en dehors du champ ainsi déterminé doit être considérée comme douteuse et vérifiée immédiatement. On conçoit ainsi aisément qu'une analyse plus fine que la simple indication de bornes inférieures et supérieures, ou d'un maximum et d'un minimum, est possible.

La figure 3 se réfère à un autre type de contrôle de plausibilité dit corrélationnel. Il s'agit dans cet exemple d'une barre-gravité de faible hauteur, et l'on met en relation le déplacement mesuré au couronnement par pendule avec la rotation en ce même point indiquée par un inclinomètre. On peut établir une certaine corrélation ainsi qu'une bande de confiance qui permet de mettre en évidence des mesures erronées. L'ampleur de la bande n'est pas déterminée dans ce cas uniquement par les erreurs propres aux deux variables mais par le fait que la relation fonctionnelle entre les deux n'est pas la même pour les divers cas de charge, tels que variations du plan d'eau et variations thermiques.

Le type de contrôle de plausibilité dit fonctionnel consiste à fixer des limites de tolérance à certaines valeurs calculées sur la base de fonctions théoriques, déterministes ou bien empiriques; la figure 4 en montre un exemple.

Quoiqu'il en soit, il convient de souligner le fait que des critères de plausibilité peuvent être établis soit a priori sur la base d'un modèle mathématique et de lois physiques même approchées, soit par contre sur la base de données historiques statistiquement exploitées caractérisant le comportement du barrage. Il va de soi qu'un tel contrôle de plausibilité permet, certes, d'éliminer les erreurs grossières de lecture ou de transmission, mais ne filtre évidemment pas les imprécisions inhérentes à toute mesure.

Il est bien évident par ailleurs, si une valeur ne satisfait pas aux conditions de plausibilité, qu'il ne s'agit pas de l'éliminer, car toute indication d'un comportement anormal serait alors automatiquement écartée. Il faut au contraire répéter immédiatement la lecture pour vérification et, le cas échéant, prendre les mesures qui s'imposent.

5. Modèle du barrage

Pour pouvoir juger du comportement du barrage et de sa sécurité le contrôle de plausibilité ne suffit toutefois pas; il faut disposer d'éléments de comparaison précis, c'est-à-dire de termes de référence, donc d'un modèle mathématique.

En fait, on peut envisager trois types de modèle différents:

- un modèle déterministe,
- un modèle statistique, ou même
- un système expert.

| Type | Caractéristiques |
|----------------|---|
| Déterministe | Etabli a priori Base physique Adaptable à intervalles |
| Statistique | Etabli a posteriori Base numérique Autoadaptable |
| Système expert | Evolutif Base mixte |

Table 1. Types de modèles pour barrage.

Les caractéristiques principales des ces trois types de modèle sont résumées à la table 1.

Le *modèle déterministe* est établi a priori sur la base des éléments de projet en ayant recours aux lois de la physique, en particulier à celles de la résistance des matériaux, ces lois et les paramètres qui sont introduits représentant par leur nature une simple approximation de la réalité. Il est donc souhaitable que le modèle soit mis à jour à des intervalles de temps plus ou moins conséquents en fonction des résultats obtenus.

Le *modèle statistique* est établi a posteriori sur la base du comportement de l'ouvrage observé. Sa base est donc purement numérique et mathématique. Il n'a pas besoin, en principe, de faire référence aux lois de la physique. Il peut être conçu pour s'adapter progressivement au comportement de l'ouvrage.

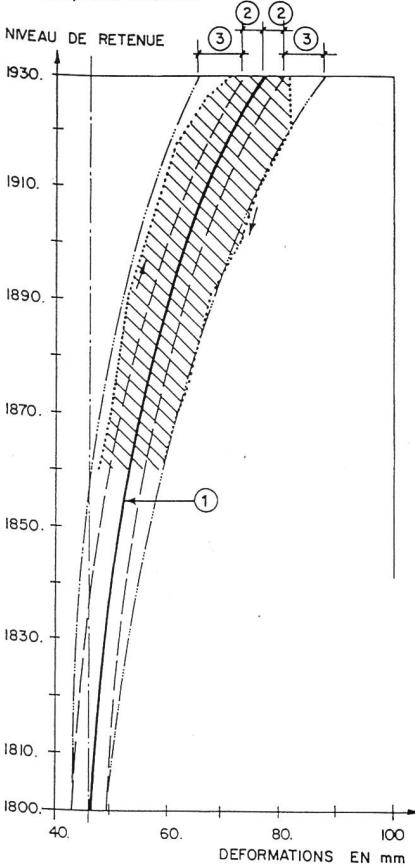
On peut aussi faire appel à la notion de «*système expert*». C'est un système évolutif par principe, qui tient progressivement compte du comportement réel de l'ouvrage pour se préciser et s'affiner lui-même. Il peut néanmoins être construit à partir d'une base déterminée a priori. Par définition, il devrait pouvoir se substituer à l'homme, pour imposer les décisions de cas en cas ou du moins pour donner des directives quant à ces décisions.

Notons encore que parfois le «modèle» n'est pas formellement explicité; il peut être implicitement contenu dans «l'expérience» de l'exploitant et dans la «*connaissance intime*» qu'il a de son ouvrage. C'est une forme de modèle qui présente quelques risques, ne fût-ce que celui de pouvoir facilement être perdu si la personne qui le «possède» n'est plus disponible.

Figure 4. Exemple de contrôle de plausibilité de type fonctionnel.

1 Modèle théorique a priori. 2 Tolérance constante sur la mesure instrumentale. 3 Tolérance proportionnelle sur la valeur physique.

4 Champ des mesures.



Inutile de dire que l'on trouve – et que l'on trouvera toujours – des partisans plus ou moins acharnés de l'une ou de l'autre forme de modèle. Il convient néanmoins de garder présents à l'esprit quelques aspects fondamentaux du problème.

L'expérience démontre que les barrages présentent les plus grands risques lors des premières années d'exploitation, en particulier lors de la première mise en eau. Ainsi donc, un modèle statistique – qui, évidemment, ne peut être établi qu'au cours des années successives – perd beaucoup de son importance et de sa signification. Si l'on veut assurer la sécurité de l'ouvrage dès son début, il faut inévitablement faire recours à un modèle déterministe a priori.

On ne voit pas alors pour quelle raison il faudrait par la suite abandonner ce modèle déterministe pour se rabattre sur un modèle statistique puisque, ainsi que cela vient d'être signalé, le modèle déterministe peut et doit même être mis à jour périodiquement par le changement des valeurs d'un certain nombre de paramètres numériques.

Reste le cas d'ouvrages anciens qui n'ont jamais été surveillés et que l'on se met tout à coup à ausculter sans vouloir ou même sans pouvoir procéder à un calcul statique complet. On ne dispose pas dans ces cas d'un modèle déterministe. Mais il existe aussi pour tout barrage des variables (par ex. les débits d'infiltration) que l'on ne saurait prévoir par des considérations théoriques. Ces cas ne peuvent être traités que sur bases statistiques.

Par ailleurs, alors que le modèle déterministe permet de mettre en évidence le biais de certaines mesures, le modèle statistique est plus enclin à les accepter et à s'y conformer.

Quant au système expert, de grosses questions se posent à

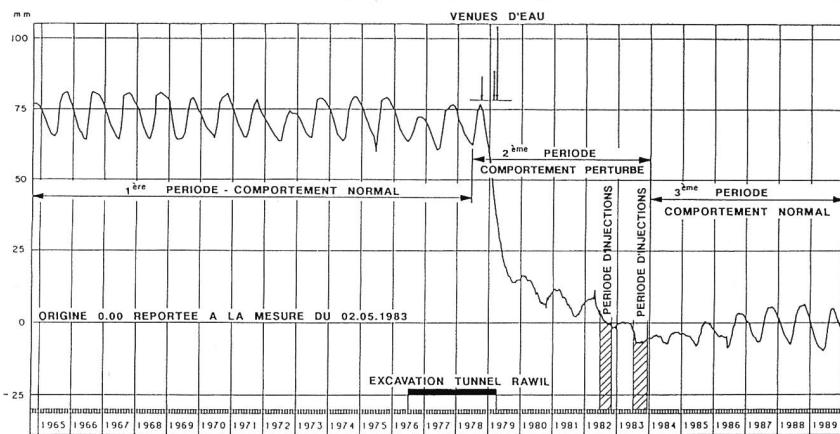


Figure 5. Barrage de Zeuzier. Evolution des déformations radiales mesurées – pendule médian (P2) – niveau 1740,40 – période: octobre 1964 à décembre 1989.

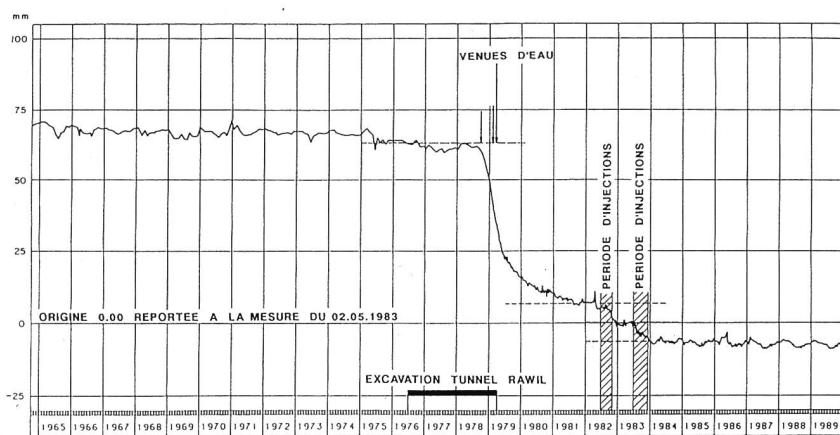


Figure 6. Barrage de Zeuzier. Déformations de comparaison théoriques radiales – pendule médian (P2) – niveau 1740,40 – période: octobre 1964 à décembre 1989.

son sujet. Tout d'abord, par sa nature il se laisse influencer – comme le modèle statistique – par des mesures imprécises étant entendu qu'il peut évidemment détecter, comme tout autre système, des mesures franchement fausses.

Son plus grand inconvénient est sans doute représenté par le fait qu'il entend se substituer au jugement de l'homme et prendre les décisions à sa place. Si un tel système devait être effectivement installé, on noterait certainement, auprès des personnes chargées de la surveillance et de la sécurité, un certaine tendance à faire confiance au système, à renoncer à leur propre jugement et même à relâcher toute vigilance. Cela évidemment jusqu'au moment où une situation grave se présenterait.

Il existe par ailleurs certains doutes que l'on puisse concevoir un système expert susceptible d'interpréter correctement des situations imprévues – c'est-à-dire non prévues ou non prévisibles par les experts humains au moment de son établissement – et de prendre les décisions qui s'imposent. Le cas du barrage de Zeuzier est certainement un bon exemple à ce sujet. Le système expert se contenterait alors, comme tout autre système, de signaler une anomalie de comportement. Il la signalerait toutefois à des personnes qui auraient perdu l'habitude de se poser des questions, puisque jusqu'à ce jour le système expert avait toujours raison et avait tout «compris».

6. Interprétation

A titre d'exemple d'interprétation de mesures, les figures 5 et 6 montrent l'analyse statistique faite en vue d'expliquer les tassements exceptionnels qui se sont produits justement au barrage de Zeuzier. La première figure indique les variations des déformations fournies par le pendule central au niveau 1740 m s.m., alors que la figure suivante reprend les mêmes valeurs qui ont été épurées des déformations dues aux variations du niveau de la retenue et des influences thermiques ainsi que des phénomènes cycliques résiduels. Les températures introduites dans le calcul sont celles réelles de la masse de béton en un certain nombre de points.

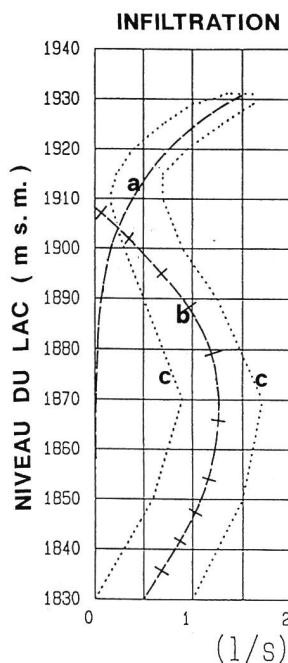


Fig. 7. Exemple de superposition des effets de deux causes couplées.

- a) Effet présumé de la retenue.
- b) Effet présumé des variations thermiques.
- c) Champ des mesures.

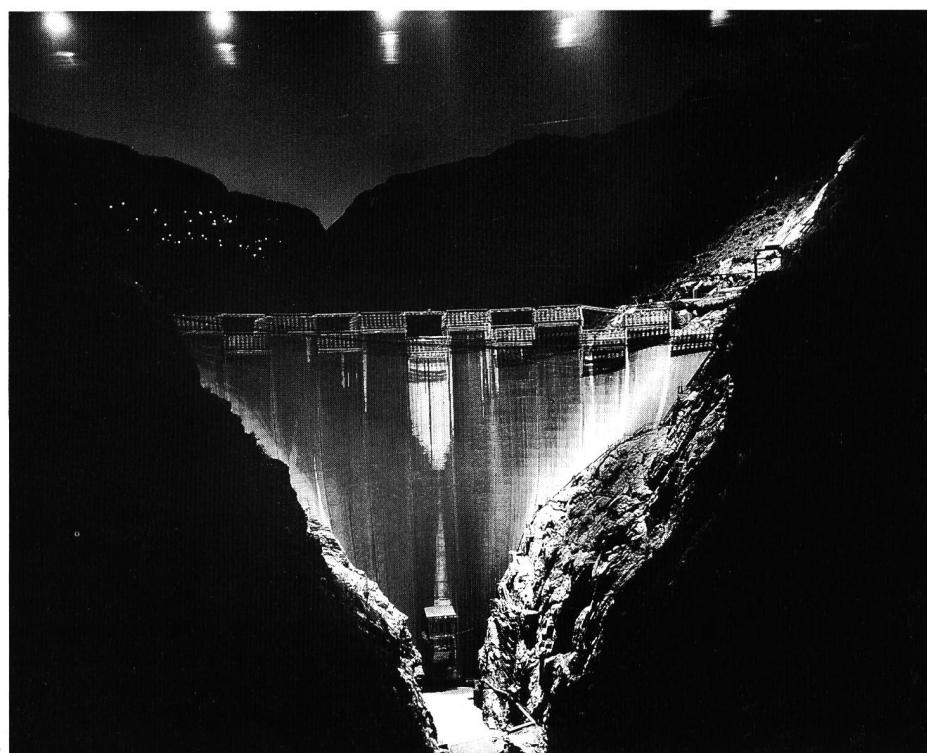


Figure 8. Bétonnage de nuit de la digue de Verzasca (Photo: J. Mulhauser, Fribourg, 3-6-1964).

Les phénomènes cycliques mentionnés sont sans doute dus aux variations thermiques annuelles de la masse de roche superficielle. Il est hors de doute que, sur la base de résultats aussi clairement exprimés, des conclusions dignes de confiance peuvent être tirées.

La simple analyse statistique ne peut expliquer certains phénomènes. Ainsi, la figure 7 montre l'allure des débits d'infiltration d'un barrage. L'étude statistique indique la forme sigmoïdale de la fonction. Seul le recours à un modèle déterministe ou intuitif ou enfin deductif (c'est-à-dire la connaissance de l'ouvrage) permet de comprendre que la pointe relative aux hauts niveaux est due à l'effet statique, c'est-à-dire au niveau de la retenue, alors que le maximum observé aux alentours du niveau 1870 est, lui, dû aux effets thermiques.

L'exploitation de l'ouvrage en cycle annuel fait que les deux raisons du phénomène ne sont pas indépendantes. Or il n'est pas possible, pour des raisons logiques évidentes, de séparer par des méthodes statistiques les effets de deux causes, si celles-ci varient de manière synchrone, donc si elles sont liées l'une à l'autre, c'est-à-dire couplées.

Les figures suivantes montrent enfin quelques exemples à ne pas imiter.

La figure 8, qui est une simple analyse harmonique, met en évidence une tendance à l'augmentation de la valeur mesurée alors que tout observateur averti conclut que la stabilité a été atteinte depuis 5 ans déjà. Une transformée de Laplace aurait été par ex. bien plus appropriée dans ce cas que l'analyse harmonique.

La figure 9 démontre que l'on n'a pas pris soin de procéder à un contrôle de plausibilité et que des valeurs manifestement erronées déterminent ou modifient l'allure de la courbe harmonique lissée.

La figure 10 montre que l'analyse aurait fourni une amplitude cyclique de signe contraire si elle s'était limitée à la période mi-1987/fin-1989. Sans recours à un modèle déterministe on n'aurait pu décider quant au signe de la dite amplitude.

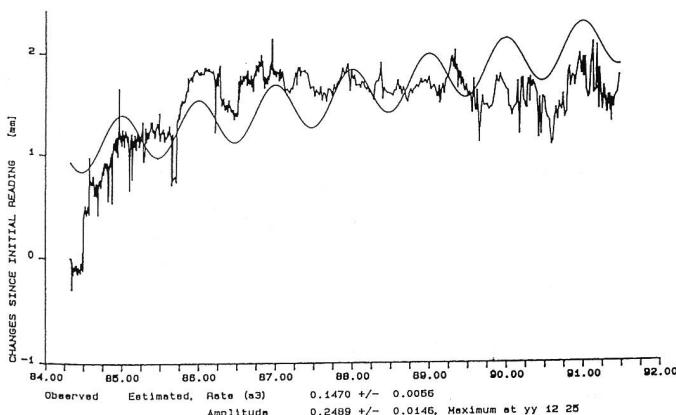


Figure 9. Exemple d'analogie statistique de type non adéquat. Le calcul harmonique indique une tendance à l'augmentation alors que le phénomène s'est stabilisé depuis cinq ans déjà.

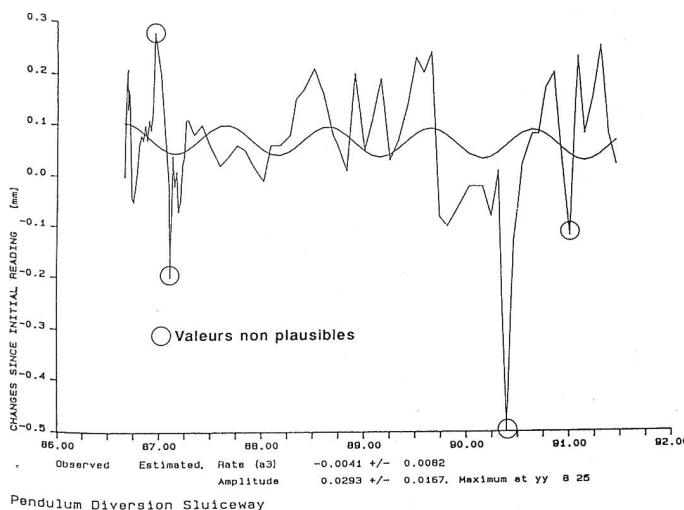


Figure 10. Exemple de contrôle de plausibilité non effectué. On n'a apparemment pas éliminé, ni corrigé les valeurs non plausibles.

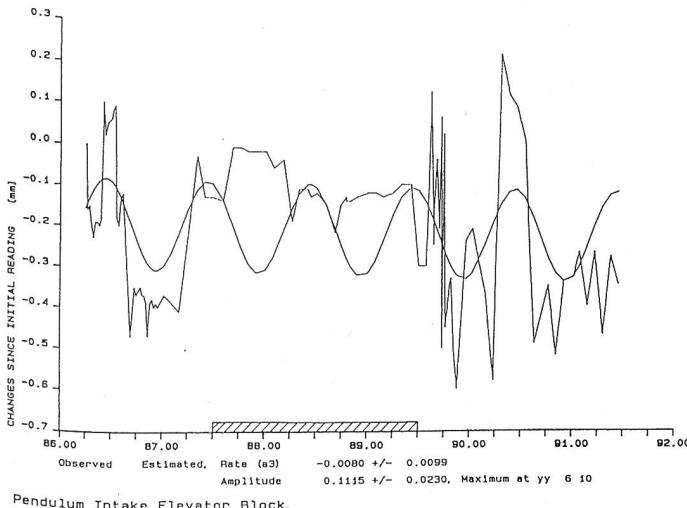


Figure 11. Exemple d'incertitudes de l'analyse statistique. Calculée sur la période 1987 à 1989, l'amplitude cyclique aurait été de signe contraire.

Le lissage exposé à la figure 11 montre clairement une tendance à l'augmentation (1), alors que tout observateur remarque tout aussi clairement une tendance à la diminution [(2) ou (3)]. L'analyse statistique faite n'est pas de type adéquat. On peut se demander par ailleurs comment un système expert aurait bien pu réagir à la fin de l'année 1988.

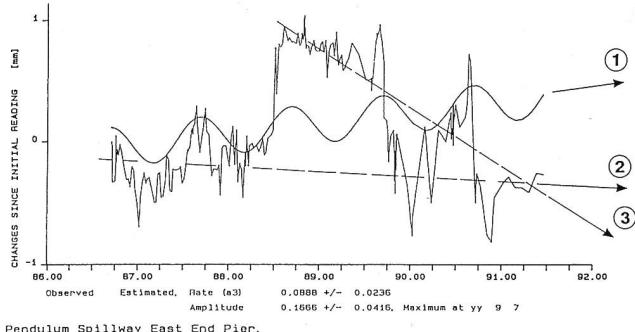


Figure 12. Exemple de conclusion erronée due à l'application trop rigide et automatique d'une méthode d'analyse. 1 Tendance calculée (augmentation). 2 Tendance possible (légère diminution). 3 Tendance probable (forte diminution).

7. Considérations finales

Il va de soi que ce qui vient d'être présenté se base sur l'état actuel de la technique et ne représente que mon opinion personnelle.

Il se pourrait que d'importants développements aient lieu dans ce domaine dans un avenir rapproché qui pourraient amener à modifier ces points de vue. Je pense toutefois que certaines considérations resteront toujours valables, à savoir:

L'état d'un barrage et sa sécurité ne peuvent être jugés uniquement sur la base de données numériques provenant des instruments et mesures, mais le jugement doit également s'étendre à l'observation directe visuelle de l'ouvrage. Il s'agirait d'une dichotomie dangereuse si l'on voulait réservé à l'homme l'observation directe mais lui interdire l'accès à l'interprétation des mesures qui serait elle strictement réservée à la machine.

Toute interprétation des valeurs saisies ne peut se faire sérieusement, si ce n'est dans le cadre d'un référentiel bien défini qui ne peut être en définitive qu'un modèle mathématique du barrage. Ce dernier ne peut être conçu que par un ingénieur civil spécialiste du domaine.

Pour l'établissement des programmes de contrôle et de surveillance d'un barrage, auquel doivent participer plusieurs personnes, il est hautement préférable que la direction du projet soit confiée à un ingénieur civil expert en la matière, plutôt qu'à un informaticien, même si celui-ci est évidemment le mieux à même d'exploiter et d'utiliser toutes les ressources offertes par l'informatique et ses machines. En d'autres termes, il faut savoir ce qu'est un barrage avant de développer un programme sur son compte.

De toute façon, le système doit être conçu de manière que les personnes chargées de la surveillance et de l'interprétation soient entraînées à devoir utiliser constamment leur jugement technique, afin qu'elles puissent en toutes circonstances prendre les décisions qui s'imposent, même dans le cas d'une défaillance du système informatique à quelque niveau que ce soit.

Il conviendrait aussi, sans doute, de distinguer deux aspects de l'auscultation et de l'instrumentation:

- celui ayant pour but de déceler et de signaler immédiatement tout anomalie, et
- celui qui permettra d'expliquer et d'analyser par la suite en détail et avec précision la nature de cette anomalie, ses causes et ses conséquences possibles.

On conçoit que la fréquence de la saisie des données et de leur mise en archives peut être différente.

On peut se demander enfin s'il ne pourrait y avoir quelque intérêt à standardiser les formes de présentation des résultats d'auscultation et d'analyse et même, dans une certaine mesure, les rapports de surveillance. On faciliterait la comparaison entre divers ouvrages.

Il faut enfin, dans ce domaine aussi, suivre le principe de l'économie des moyens à mettre en œuvre pour obtenir le résultat désiré qui, dans notre cas, est celui de garantir la sécurité du barrage et ne pas se laisser entraîner par l'enthousiasme du néophyte qui découvre les possibilités inouïes de l'informatique.

Adresse de l'auteur: Dr.-Ing., Dr. h.c. *Giovanni Lombardi*. Studio d'ingénieria, via A. Ciseri 3, casella postale 567, CH-6601 Locarno.

Version aménagée et complétée d'une conférence tenue lors des journées d'étude «L'informatique dans la surveillance des barrages» des jeudi et vendredi 12 et 13 septembre 1991 à Stans. Les journées ont été organisées par le Groupe de travail pour l'observation des barrages du Comité national suisse des grands barrages.

L'informatique dans la surveillance des barrages en France

L. Cottin

Bien que la réglementation en matière de surveillance des grands barrages soit unique (circulaire interministérielle n° 70-15 du 14 août 1970) en France, l'organisation de cette surveillance et les méthodes utilisées diffèrent selon la destination de l'ouvrage et la personnalité du responsable. Cet exposé se limitera aux ouvrages hydro-électriques concédés qui constituent un parc de 140 barrages de plus de 20 m de hauteur dont 14 ont une hauteur supérieure à 100 m. Ce sont les ouvrages les plus importants du parc national. Leur exploitation est assurée par Electricité de France, E.D.F., sous le contrôle des services extérieurs du Ministère de l'industrie et du commerce extérieur.

Après un rapide rappel des structures existantes ayant en charge la surveillance et le contrôle de ces grands barrages et des méthodes utilisées pour l'analyse des mesures d'auscultation nous tracerons la part importante prise par l'informatique dans le traitement des données depuis plusieurs décennies, mais également les développements actuels de l'informatique dans la collecte des informations et les mesures à distance.

Organisation de la surveillance des ouvrages hydro-électriques

La surveillance et l'exploitation d'un barrage relève de la responsabilité d'un *seul individu*, le chef du Groupe régional de production hydraulique (G.R.P.H.), concessionnaire et exploitant de l'ouvrage. Pour ce faire, il est assisté de collaborateurs compétents qui procèdent à la collecte des mesures, aux inspections visuelles périodiques, aux travaux

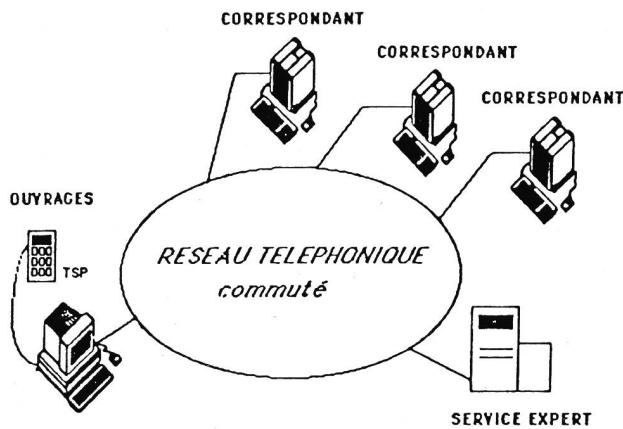


Figure 1. La configuration TAM-TAM.

d'entretien, à l'archivage des données et informations collectées, à l'élaboration des rapports de surveillance... A ce niveau, un *premier contrôle* des mesures est effectué et un premier diagnostic sommaire peut être élaboré.

Les données d'auscultation sont également transmises dès leur collecte sur le terrain à une autre unité d'Electricité de France, la Division technique générale, *unité indépendante* du G.R.P.H., réunissant des spécialistes hautement qualifiés en matière de contrôle des barrages.

A la Division technique générale, les données reçues sont *immédiatement* contrôlées, analysées et stockées. Un rapport de synthèse est établi tous les 2 ans pour chaque barrage. Ce rapport analyse le comportement du barrage depuis sa mise en service et souligne les évolutions se manifestant au cours des deux dernières années écoulées. Ce *deuxième contrôle*, interne à E.D.F., mais indépendant de l'exploitant responsable et centralisé dans une unité hautement spécialisée, facilite la généralisation et la standardisation des méthodes de traitement et des matériels.

De son côté, l'Administration française se réserve un droit de *contrôle externe* tant pour garantir la sécurité du public que pour s'assurer du bon entretien des ouvrages concédés à E.D.F. Son organisation est également à deux niveaux:

- d'une part, les directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (D.R.I.R.E.) qui au sein de chaque région s'assurent du respect des textes réglementaires et procèdent aux inspections périodiques,
- d'autre part, le Bureau d'étude technique et de contrôle des grands barrages (B.E.T.C.G.B.) basé à Grenoble qui réunit une compétence de spécialistes à la disposition des D.R.I.R.E. pour assurer ce contrôle externe. Outre leur participation à certaines visites particulières comme les visites décennales, les ingénieurs du B.E.T.C.G.B. sont chargés d'établir pour chaque barrage un rapport faisant la synthèse des éléments connus (hydrologie, géologie, calculs de stabilité, matériaux utilisés, mode de réalisation...) et portent un jugement sur le comportement actuel de l'ouvrage. Ces rapports décennaux sont destinés à aider les ingénieurs des D.R.I.R.E. dans la connaissance des ouvrages dont ils ont la charge.

Méthodes d'analyse statistique

L'étude des accidents et ruptures de barrages dans le monde montre que hormis les cas de force majeure (crues, séismes...) la rupture d'un barrage en exploitation est toujours précédée de signes avertisseurs, traduisant une lente déterioration de l'ouvrage ou de sa fondation.

La méthode d'analyse statistique consiste donc à déterminer les évolutions irréversibles des grandeurs mesurées en retranchant des valeurs brutes des mesures les effets réversibles hydrostatiques et saisonniers déterminés sur un échantillon représentatif des mesures.

On exprime que chaque grandeur mesurée peut s'écrire sous la forme:

$$X = A + F_1(t) + F_2(h) + F_3(S) + \varepsilon$$

dans laquelle:

A est un terme constant

$F_1(t)$ est une fonction représentative du temps permettant de traduire une accélération du phénomène, un amortissement, une poursuite à vitesse constante ou une absence d'évolution.

$$F_1(t) = b_0 t + b_1 e^{-t} + b_2 \text{ et}$$

$F_2(h)$ est une fonction représentative de la charge hydrostatique

$$F_2(h) = b_3 Z + b_4 Z^2 + b_5 Z^3 + b_6 Z^4 \text{ avec } Z = (RN-h)/H$$

avec: