

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

Artikel: L'informatique dans la surveillance des barrages en France
Autor: Cottin, L.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-940532>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 18.05.2025

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

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'ingénierie, 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

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 détérioration 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.

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

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

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

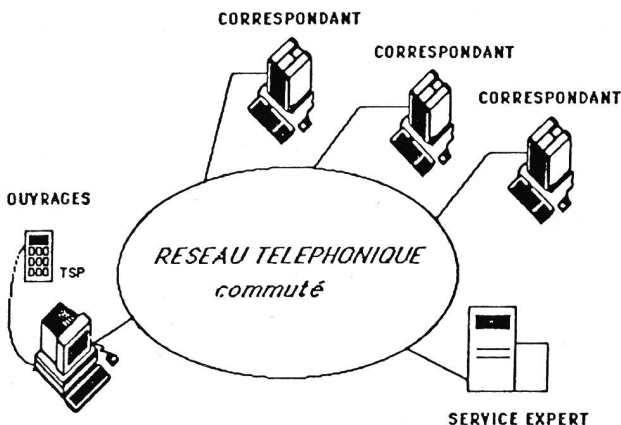


Figure 1. La configuration TAM-TAM.

h = cote retenue du jour de la mesure

RN = retenue normale

H = hauteur du barrage

$F_3(S)$ est une fonction représentative de la température de l'ouvrage. A défaut de pouvoir appréhender correctement la température représentative, il a été convenu de tenir compte de l'effet saisonnier moyen des températures.

$F_3(S) = b_7 \cos(S) + b_8 \sin(S) + b_9 \sin^2(S) + b_{10} \sin(S) \cos(S)$ avec $S = 2\pi n/365$

n = numéro du jour de la mesure

ε est représentatif des erreurs expérimentales ainsi que des variations autres dues à des causes secondaires.

La méthode d'analyse statistique est la méthode des moindres carrés, elle consiste à rechercher les valeurs des coefficients A et b_0 à b_{10} qui sur l'échantillon de mesures analysées, minimisent les valeurs de ε .

En retranchant aux valeurs brutes mesurées, la part réversible $F_2(h) + F_3(S)$ on obtient les valeurs à conditions identiques du phénomène, c'est-à-dire les valeurs qu'on aurait mesurées si la retenue avait été pleine et le barrage dans un état thermique stable choisi comme référence.

Cette détermination des effets réversibles peut se réaliser manuellement lorsque l'échantillon des valeurs est limité en nombre. Très rapidement, l'informatique est venue au secours de l'analyste et un logiciel de traitement a été mis au point. Plus récemment, le matériel informatique disponible sur le marché a été utilisé pour procéder à la saisie des données in situ et pour installer la télémesure des grandeurs surveillées.

Traitement informatique des données

Un logiciel de traitement statistique des données appelé Calipso est en service depuis plus de deux décennies. Il

traite actuellement les informations mesurées sur 160 barrages soit environ 45 000 données chiffrées chaque année. L'intérêt de ce logiciel est de pouvoir traiter de manière comparable toute grandeur mesurée sur l'ouvrage qu'il s'agisse d'une déformation mesurée par topographie ou par pendule, par témoin sonore ou par extensomètre, d'une pression d'eau ou d'un débit de fuite.

Les avantages de ce traitement statistique des données d'auscultation sont nombreux et évidents:

- détermination des effets réversibles hydrostatiques et saisonniers permettant de porter une appréciation sur le comportement du barrage quelle que soit la cote du plan d'eau le jour de la mesure ou la date à laquelle cette mesure est effectuée;
- détection très fine des évolutions à long terme;
- détection rapide des erreurs de mesure ou des anomalies de comportement.

Le développement de l'informatique permet d'envisager un perfectionnement de la méthode notamment par un accroissement de la panoplie des tests automatiques. Par ailleurs des variables explicatives autres que la cote ou la saison peuvent être prises en compte. Déjà des applications ont été faites avec des effets retardés de la cote de retenue, par exemple sur les pressions interstitielles dans les noyaux en terre où le temps de réaction peut-être de plusieurs semaines voire de plusieurs mois.

Actuellement, des recherches se poursuivent pour effectuer une approche spatiale des phénomènes en utilisant la méthode dite d'analyse en composantes principales.

Les résultats semblent prometteurs pour déceler un comportement singulier d'un capteur ou pour identifier ou caractériser les grandeurs extérieures auxquelles les capteurs répondent.

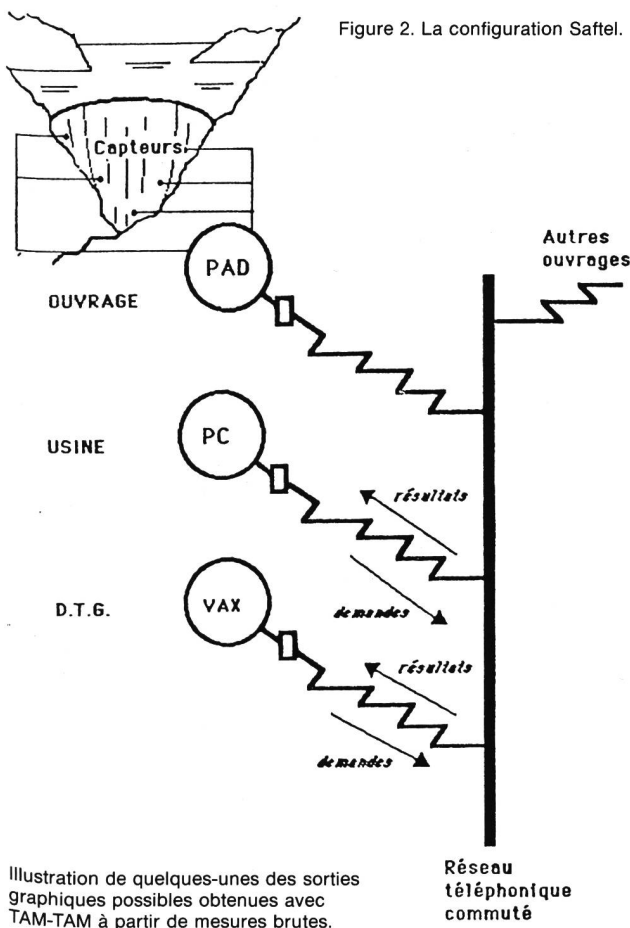


Figure 2. La configuration Saftel.

Tournées d'auscultation manuelle – traitement automatique des mesures TAM-TAM

L'informatique intervient dès la réalisation de la mesure. Un automate portable de saisie assiste l'opérateur lors de la tournée de mesure. Il s'agit d'un matériel Jumbo (Société IBS) que ses caractéristiques (étanchéité, dispositif anti-choc, flottabilité, clavier et affichage luminescent, encombrement réduit et légèreté) rendent particulièrement adapté à une utilisation en milieu exigu et humide.

Cet automate portable est conversationnel. Il fournit le calendrier des tournées, mentionne les appareils de mesure dans l'ordre normal d'une tournée et rappelle les unités de mesure. Pour une mesure donnée, le rappel par l'automate des deux précédentes mesures permet à l'agent une première vérification de la validité de la mesure effectuée. Enfin, son utilisation est souple car l'ordre des tournées de mesure est modifiable. L'agent peut introduire en complément du résultat de la mesure un commentaire libre sur l'appareil et son environnement. Pour un même appareil plusieurs résultats de mesure peuvent être mis en mémoire. Une fois la tournée de mesure effectuée, l'automate portable peut être déchargé de ses informations sur un micro-ordinateur MAC SE relié par un réseau à l'unité centrale VAX de la Division technique générale et au serveur 386 sous Unix du G.R.P.H. Cette liaison informatisée permet de transmettre en quelques minutes sans nouvelle saisie l'ensemble des données aux services spécialisés de la D.T.G.

Une procédure informatique permet le contrôle des données sous forme graphique à partir du micro MAC SE soit au niveau du groupement d'usines soit au sous-groupe, soit à l'unité régionale. De nombreuses possibilités sont alors offertes pour le traitement des mesures brutes:

Illustration de quelques-unes des sorties graphiques possibles obtenues avec TAM-TAM à partir de mesures brutes.

Réseau téléphonique commuté

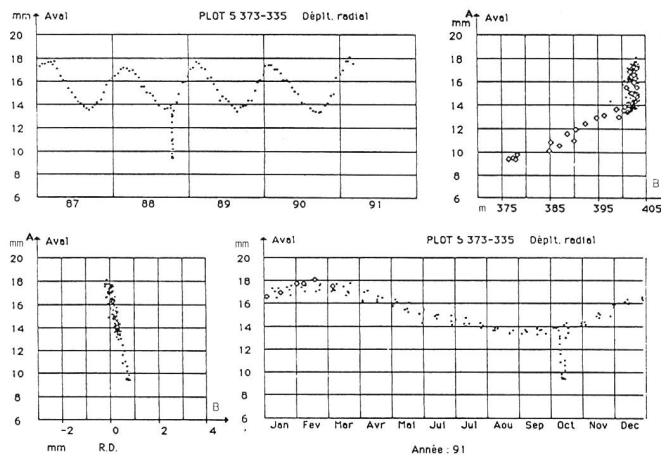


Figure 3, en haut, à gauche. Barrage de Quinson. Déplacements radiaux du plot 5 mesurés par pendule entre les cotes 373 et 335 au cours des cinq dernières années. La déformation particulière observée en octobre 1988 correspond au report vers l'amont de la voûte lors de la vidange complète de la retenue pour inspection décennale.

Figure 4, en haut, à droite. Barrage de Quinson. Représentation du déplacement radial du plot 5 (composante A) en fonction de la cote de retenue (composante B) mesuré au cours de l'année 1988 par pendule entre les cotes 373 et 335. La retenue est exploitée à cote sensiblement constante au cours de l'année (entre les cotes 400 et 403) sauf en octobre 1988 lors de la vidange complète de la retenue.

Figure 5, en bas, à gauche. Barrage de Quinson. Représentation du même déplacement radial (composante A) en fonction du déplacement tangentiel (composante B) mesuré sur le même pendule plot 5 cote 373-335 au cours de cette année 1988.

Figure 6, en bas, à droite. Barrage de Quinson. Représentation superposée des déplacements radiaux mesurés sur le pendule 5 cote 373-335 en fonction du mois de l'année pour les cinq années 1987-1991. Les points mesurés depuis le début de l'année 1991 sont représentés par les losanges. Les points représentatifs des quatre années antérieures sont notés par un simple point. Ce type de graphique justifie pleinement l'analyse statistique prenant en compte un effet thermique saisonnier.

- graphique en fonction du temps au cours des cinq dernières années,
- graphique saisonnier des cinq dernières années,
- graphique en fonction de la cote,
- graphique d'une composante en fonction d'une autre composante,
- graphique des valeurs cumulées (ex.: précipitation annuelle cumulée), sur une période donnée,
- graphique obtenu par combinaison multiplicative de plusieurs composantes (ex.: ratio, puissance...)
- graphique résultant d'une combinaison linéaire de plusieurs composantes (somme des débits...).

Le dispositif TAM-TAM avec toutes ces possibilités demeure d'une grande simplicité puisque le logiciel d'utilisation nécessite une formation des agents d'une durée de deux jours seulement.

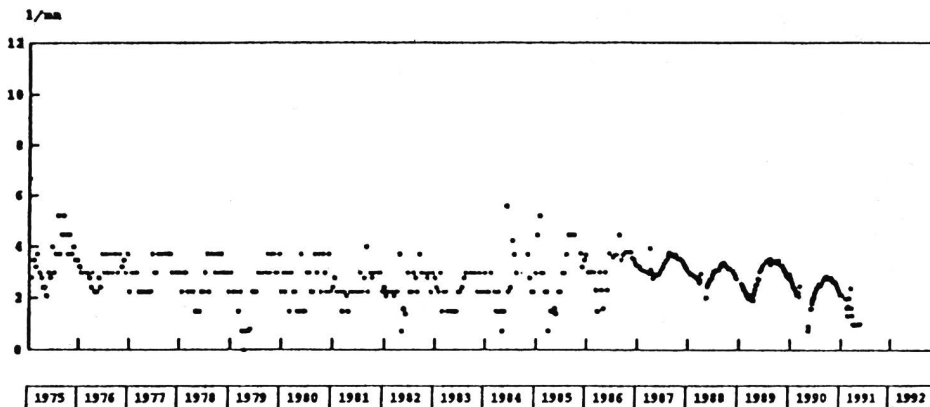


Figure 7. Barrage de Tignes. Ce graphique visualise l'amélioration apportée par télémesure sur les mesures de fuites à la sortie d'une galerie de drainage du barrage.

La plus grande précision de la mesure et sa répétitivité permettent désormais une meilleure analyse des évolutions de ce débit.

Parmi les nombreux avantages de ce dispositif on peut citer:

- la facilité de saisie par les agents opérant les mesures,
- la diminution du nombre des erreurs de mesure grâce au test immédiat de saisie,
- la saisie unique des données qui supprime toute les erreurs de recopiage,
- la rapidité de transmission des données à l'unité centrale de la D.T.G.,
- la possibilité de traiter localement les mesures brutes et de procéder à un premier diagnostic, développant ainsi auprès des responsables locaux leur intérêt pour le comportement de l'ouvrage.

La télémesure d'auscultation ou acquisition automatique des données d'auscultation (A.A.D.A.)

Le dispositif d'acquisition automatique des données d'auscultation mis au point par E.D.F. et fonctionnant actuellement sur une dizaine d'ouvrages a pour but de permettre à l'exploitant d'acquies à distance et à la demande, depuis l'usine ou depuis le Service régional responsable ou depuis la D.T.G. à Grenoble des mesures sur des capteurs et d'en stocker les résultats dans une banque de données.

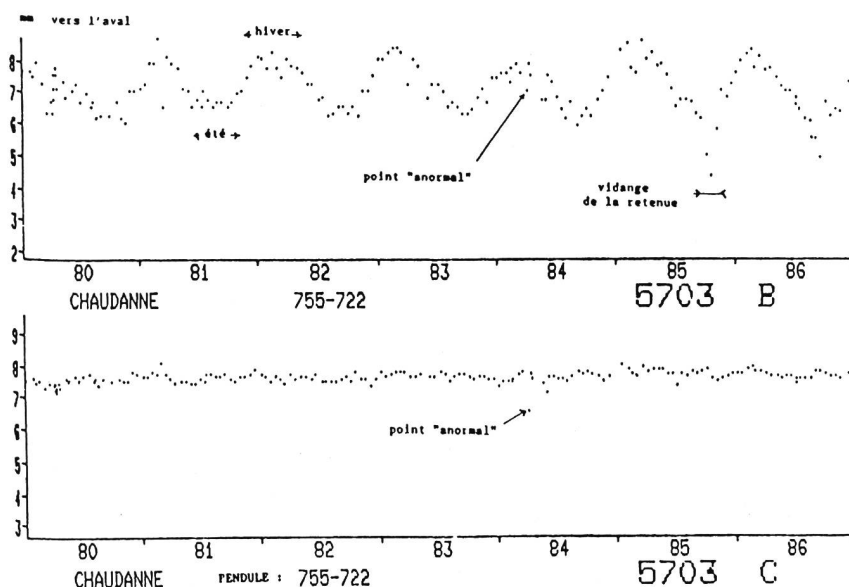
Cette saisie automatique des mesures à distance, s'intègre dans l'organisation générale de la surveillance et ne vient pas remplacer une surveillance visuelle des agents qui demeure indispensable. Bien au contraire, elle peut permettre à l'agent déchargé des tâches manuelles de mesures et de saisies des données de se consacrer davantage à cette inspection visuelle.

Des capteurs électroniques ont été mis au point ou adaptés:

- des capteurs de déplacements: télépendule optique Saftel Top
- des capteurs de fuite: débitmètre à ultra-sons Saftel Deus
- des capteurs piézométriques: capteurs à corde vibrante Télémac
- des capteurs de variation de longueur: capteur Distofoir, type Télémac
- des capteurs inclinométriques: capteurs Clinofor, type Télémac
- des capteurs extensométriques: capteur de déformation à corde vibrante Télémac
- des capteurs de cote de retenue: codeurs Rittmeyer ou Nértec.

Le dispositif A.A.D.A. comprend outre ces capteurs

- un poste d'acquisition décentralisé PAD situé sur le barrage ou à proximité immédiate
- un poste centralisé: PC situé à l'usine ou au groupement d'usines
- un poste d'interrogation D.T.G. situé dans l'unité centrale de la D.T.G. à Grenoble
- des liaisons entre tous les organes.



Figures 8 et 9. Barrage de Chaudanne. Ces deux graphiques montrent la visualisation obtenue à l'écran par le logiciel de traitement Calipso en haut en mesures brutes, en bas en mesures corrigées des efforts hydrostatiques et saisonniers. Le point anormal d'avril 1984 qui disparaît dans le nuage des mesures brutes est nettement mis en évidence sur le graphique des valeurs corrigées.

A contrario la vidange complète de la retenue en octobre 1985 visible en mesures brutes disparaît du fait de l'analyse. Le «point anormal» était une erreur de mesure.

Le PAD se présente sous la forme d'une armoire électronique et assure:

- l'enregistrement des demandes locales ou émises à distance
- la commutation des capteurs choisis
- l'exécution des mesures demandées
- l'affichage des résultats et leur retransmission vers l'usine ou la D.T.G.
- la gestion des constantes nécessaires au fonctionnement du PAD.

Le poste centralisé est un micro-ordinateur qui permet à l'exploitant d'interroger à la fréquence souhaitée le PAD, de recevoir et de traiter les résultats, de faire les visualisations graphiques nécessaires, l'édition et le stockage des mesures.

Le poste d'interrogation de la D.T.G. permet aux ingénieurs de Grenoble, d'acquérir automatiquement à la fréquence programmée les données d'auscultation, mais également de disposer dans des situations particulières ou exceptionnelles des mesures à la fréquence adaptée au phénomène étudié.

La télémesure en tant que moyen d'acquisition des données présente des nombreux avantages par rapport à la saisie manuelle des lectures:

- la facilité des mesures. Le champ des mesures disponibles se trouve accru notamment pour tous les ouvrages inaccessibles en hiver, pour tous les capteurs disposés dans des zones d'accès dangereux ou difficiles. Le nombre de mesure peut être augmenté à la demande dans des conditions particulières d'exploitation: remplissage exceptionnel lors d'une crue, vidange complète de la retenue, ou lors d'événements inhabituels: séismes...
- l'adaptation de la fréquence de mesure. La fréquence peut être adaptée aux contraintes de la réglementation mais aussi à la vitesse d'évolution du phénomène étudié ou aux besoins des méthodes de traitement moderne.
- l'amélioration de la qualité des mesures qui peut être due à la rapidité d'exécution, au choix de l'heure de la mesure, aux suppressions des saisies manuelles à la possibilité de tester, confirmer ou infirmer toute mesure semblant anormale.
- la rapidité de saisie, de transmission et donc d'analyse par des spécialistes de l'auscultation.
- l'amélioration globale de la surveillance en favorisant et valorisant l'inspection visuelle de l'agent de contrôle.

Par contre, si on n'y prend pas garde, le pouvoir accru donné à l'électronique et à l'informatique peut démobiliser le personnel non spécialiste. Il convient donc, parallèlement à la mise en place d'un dispositif de télémesure de formaliser les contrôles périodiques en revalorisant le jugement de l'agent chargé de l'inspection visuelle.

Autres retombées de l'informatique

Si l'informatique a permis des progrès considérables dans la qualité et la rapidité de la collecte de l'analyse et du stockage des mesures d'auscultation, on ne peut pas passer sous silence les conséquences de cette technologie dans le domaine des calculs et des études auxquels la surveillance des barrages peut avoir recours pour appréhender le comportement inhabituel d'un ouvrage particulier et tenter une projection sur l'avenir.

En effet, par la rapidité de traitement et les capacités toujours croissantes, il est possible dans des délais extrêmement raisonnables d'utiliser des modèles mathématiques tridimensionnels prenant en compte différentes hypothèses de comportement rhéologique des matériaux et de rechercher les paramètres représentatifs de l'ouvrage et de sa fondation permettant de reconstituer par le calcul l'histoire du comportement de l'ouvrage. Une fois cette première étape franchie, une projection prudente sur l'avenir peut permettre à l'ingénieur d'appréhender les conséquences d'une poursuite des évolutions observées.

Ce type d'étude a été réalisé pour le barrage de Vouglans, barrage-voûte de 130 m de hauteur connaissant une évolution lente de la crête vers l'aval probablement due à un retrait différé du béton et pour le barrage du Chambon, barrage-poids de 88 m de hauteur atteint par une fissuration importante liée à un gonflement des bétons (réaction alcali agrégat). Dans les deux cas, les calculs tridimensionnels rendus possibles par l'informatique ont permis à l'exploitant de mieux comprendre les phénomènes observés et de prendre les mesures conservatoires nécessaires pour tenir compte des évolutions irréversibles constatées.

Adresse de l'auteur: L. Cottin, ingénieur divisionnaire des T.P.E., Ministère de l'industrie et du commerce extérieur, Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement Rhône Alpes, Bureau d'étude technique et de contrôle des grands barrages, 15, rue des Colibris, F-38030 Grenoble, Cedex 2.

Conférence tenue lors des Journées d'études du 12 et 13 septembre 1991 à Stans, organisées par le Comité national suisse des grands barrages.