

# Avant-propos

## Peut-on endiguer les risques dus aux digues ?

En novembre 2004, le Comité français des grands barrages et le ministère de l'Écologie et du Développement durable ont organisé à Orléans le colloque « Sécurité des digues fluviales et de navigation, diagnostic, maintenance et confortement ». Ce colloque est venu à point nommé pour au moins trois raisons :

- au cours de la dernière décennie, des crues importantes ont touché des vallées endiguées avec des conséquences assez dramatiques, sur l'Aude, le Vidourle, le Gardon et trois fois le Rhône aval. Il en résulte un net regain de prise de conscience, y compris au niveau national ;
- les études et travaux réalisés dans la même période sur la Loire et sur les grands axes de navigation Rhin et Rhône, offrent maintenant un éventail très complet d'expériences dans les divers volets de la sécurité des digues ;
- troisième raison enfin, dans le cas des digues fluviales, le ministère de l'Écologie a initié un ensemble de mesures réglementaires ouvrant de grands chantiers pour peut-être les deux décennies à venir.

Sans doute pour ces mêmes raisons, le colloque a vraiment mobilisé une grande majorité des acteurs concernés par la sécurité des digues françaises, services de contrôle, maîtres d'ouvrages, géotechniciens, chercheurs... et ainsi rassembler les fruits de leur expérience. Ces travaux devraient donc faire date.

### Un patrimoine particulièrement important de digues...

Pour les digues fluviales (ou digues sèches), on compte environ 7 000 km de digues protégeant environ 15 000 km<sup>2</sup> et 1,5 à 2 millions d'habitants. Pour le seul fleuve Loire, ce sont 700 km de digues, 1 000 km<sup>2</sup> de zones protégées et 300 000 personnes.

Les autres digues sont en eau. Pour la navigation, plus de 4 000 km de canaux et 2 700 km de rivières partiellement endiguées sont gérés par VNF<sup>1</sup>. Pour l'hydroélectricité, EDF<sup>2</sup> gère 584 km de canaux, et la CNR<sup>3</sup> gère 396 km de digues dont 216 pour l'endiguement des retenues et 180 pour l'endiguement des canaux d'amenée.

1. Voies navigables de France.
2. Électricité de France.
3. Compagnie nationale du Rhône.

### ... mais aussi, une vulnérabilité très importante...

À titre d'exemple, en basse vallée du Rhône, la crue de décembre 2003 qui a sollicité environ 500 km de digues a occasionné plus de 100 désordres, dont 6 brèches et a entraîné pour 845 M€ de dégâts. La crue du Gard de septembre 2002 avait occasionné 1 200 M€ de dégâts et malheureusement 5 victimes, suite à une rupture de digues.

De plus, la vulnérabilité a augmenté significativement dans les années récentes. Ainsi on estime que la population menacée par les digues de la Loire a été multipliée par 10 de 1900 à 1980. Les causes de cette augmentation sont multiples : on peut citer la plus grande facilité à viabiliser les terrains plats du lit majeur, le sentiment de protection qui diminue la conscience du risque, le plus grand brassage des origines géographiques qui diminue la mémoire du risque et enfin, l'effet pervers d'une très bonne mutualisation du risque par la société.

### ... ainsi qu'un aléa important et méconnu...

Les modes de rupture ou de dégradation des digues sont bien connus. Ce sont les érosions de surface dues à la surverse, dues au courant ou dues au batillage provoqué par la navigation, ce sont les érosions internes ainsi que les mécanismes de glissement. La surverse ou l'érosion interne conduisent la plupart du temps à des ruptures brutales et on doit affirmer avec force qu'une digue protège pour une crue faible ou moyenne et peut mettre en danger pour une crue forte. Tous ces problèmes ont une origine mécanique et sont locaux, et il convient d'ajouter qu'un seul point de rupture suffit à provoquer l'inondation brutale de tout un secteur géographique.

4. Même si la morphologie peut aussi s'expliquer par la mécanique.

Mais il est trop souvent oublié que les digues sont aussi concernées par des mécanismes plus globaux, que l'on peut qualifier de morphologiques<sup>4</sup>. La rivière peut connaître des évolutions en plan que sont la migration ou la translation des méandres, ou bien les coupures de méandre. Il est évident que si ce changement de tracé vient empiéter sur le tracé d'une digue, celle-ci est inéluctablement détruite ou endommagée.

La rivière peut aussi connaître des évolutions du profil, soit en s'enfonçant par érosion régressive ou progressive, soit, moins fréquemment, en s'exhaussant. L'enfoncement (ou incision) entraîne des risques généralisés de glissements de berge. Si la digue est située en bordure immédiate de la berge, elle est elle-même menacée par le risque de glissement et ce risque est également généralisé. L'exhaussement ne cause pas directement de désordre aux berges ou aux digues, mais il augmente la fréquence des crues débordantes et donc il augmente les risques de brèche par surverse. De surcroît, les évolutions, à la hausse ou à la baisse, du fond du lit n'ont aucune raison de se faire de manière homogène sur toute la longueur d'un tronçon endigué. Les débordements peuvent alors se produire en certains endroits particuliers qui seront donc sujets de manière privilégiée à l'érosion.

### ... nécessitent des diagnostics modernes...

Les digues, souvent anciennes, construites pour l'essentiel avec les matériaux disponibles à proximité et parfois perméables, souvent mal connues, nécessitent un diagnostic de sécurité. La méthodologie de diagnostic peut se résumer ainsi :

- 1) connaissances préalables (témoignages et archives, topographie, bathymétrie, hydrologie et hydraulique, morphologie fluviale, examen visuel...);
- 2) reconnaissances géophysiques ;
- 3) reconnaissances géotechniques ;
- 4) diagnostic ;
- 5) avant-projet de confortement, ou définition d'un programme d'entretien.

Pour les reconnaissances préalables, signalons l'intérêt d'une étude hydraulique qui montrera si le niveau altimétrique des digues est cohérent ou s'il existe des zones basses, qui seront submergées en priorité. La bathymétrie est une technique appelée à se développer, pour reconnaître le pied des digues de navigation, mais aussi certaines digues fluviales, avec en particulier les bons résultats du sonar latéral.

Il peut être intéressant de réaliser un premier diagnostic (rapide) de la sécurité des divers tronçons de digue, avant même d'avoir entrepris des reconnaissances géophysiques ou géotechniques forcément coûteuses. Ce premier diagnostic, à partir d'une grille de notation des risques, permettra, au vu des renseignements disponibles, de préciser quels tronçons méritent un examen plus approfondi, et même de hiérarchiser leur importance.

Avec ou sans diagnostic rapide, les connaissances préalables permettent de préciser quelles méthodes géophysiques ou géotechniques sont les mieux adaptées. Les reconnaissances géophysiques sont non destructives, les méthodes géotechniques sont intrusives.

La batterie des méthodes géophysiques connues dans le domaine des barrages est *a priori* applicable aux digues : sismique réfraction, méthodes électriques, méthodes électromagnétiques, méthode microgravimétrique... Mais, les digues étant des ouvrages de petite taille et de grande longueur, on cherche à favoriser des méthodes à grand rendement. Il est alors particulièrement intéressant de réaliser deux types de mesures géophysiques :

- des mesures linéaires à grand rendement ;
- des mesures locales dans une zone de faiblesse repérée soit par l'étape initiale (reconnaissance visuelle) soit par la géophysique à grand rendement.

Parmi les méthodes géophysiques à grand rendement [électromagnétique à basse fréquence, géoradar, radio magnéto tellurique (RMT)], la méthode électromagnétique basse fréquence en champ proche Slingram se révèle comme particulièrement performante, surtout dans sa configuration « tractable ». La méthode RMT peut donner des renseignements complémentaires. On recommandera d'ailleurs, surtout dans les cas complexes, de juxtaposer diverses méthodes.

Les méthodes de reconnaissance géotechniques classiques issues du domaine des barrages sont applicables (sondages carottés valorisés par des essais d'eau *in situ* et par des essais en laboratoire, éventuellement équipés en piézomètre, pénétromètre, pressiomètre, sondages destructifs avec enregistrement des paramètres de

forage...). L'une des principales limites des techniques précédentes réside dans le faible nombre de points de mesure comparé au linéaire très important à ausculter. Pour lever cette difficulté, signalons l'intérêt du pénétromètre dynamique portatif PANDA qui permet une reconnaissance détaillée rapide et plutôt économique si les sols sont fins.

Dans le cas des digues en eau, moins classique, l'auscultation thermométrique dans des tubes vibrofoncés ou dans des piézomètres est particulièrement précieuse pour caractériser des zones fuyardes ou évaluer la perméabilité des zones d'écoulement. La fibre optique pourrait constituer dans très peu d'années un mode de suivi précieux des problèmes d'étanchéité des digues en eau sur toute leur longueur.

Encore peu utilisée pour les ouvrages hydrauliques, l'analyse de risque est un bon outil pour l'établissement des priorités de confortement et pour la mise en évidence de défauts du système endigué, que les approches classiques pourraient avoir négligés. Elle devrait se développer dans un futur proche.

### **... conduisant parfois à des confortements...**

Les digues en eau du Rhin et du Rhône appartiennent à des maîtres d'ouvrage fortement structurés (EDF, CNR auxquels on peut rajouter VNF pour les digues de canaux navigables) qui mettent en œuvre une démarche de maintenance préventive et dont le retour d'expérience en matière de diagnostic et de confortement est précieux.

Les digues sèches ne sont pas forcément aussi bien loties, même si on assiste désormais à une mobilisation des maîtres d'ouvrage pour faire face à leurs obligations. De nombreuses digues fluviales ont d'ailleurs vécu le processus complet diagnostic puis confortement. Le vaste programme de réhabilitation des levées de la Loire Moyenne entrepris dans le cadre du « Plan Loire Grandeur Nature » en est un exemple, ainsi que plus récemment, la remise à niveau de digues de Camargue.

Le premier défaut que l'on cherche à corriger sur une digue est sa perméabilité excessive, qui peut induire soit un risque d'érosion interne, soit un risque d'instabilité. L'étanchement est donc la première méthode de confortement des digues, mais pas l'unique.

Les techniques utilisées sont nombreuses depuis les très classiques recharges amont étanches, ou aval drainantes, jusqu'aux très technologiques palplanches et parois moulées en passant par les écrans minces vibrés, les géosynthétiques, les gabions enherbés...

Il apparaît bien qu'un ouvrage finalement très rustique a un fonctionnement complexe et devra être conforté par des techniques parfois sophistiquées, en tous cas jamais passe-partout. Les communications ont toutes montré la nécessité d'une grande technicité pour prendre en compte les spécificités géotechniques et hydrauliques des digues et leur environnement. Il s'avère que les solutions techniques existent et sont bien maîtrisables.

Le recul des digues (déplacement de l'endiguement vers la terre) est une solution difficile à négocier, mais qui devrait être plus souvent envisagée pour les digues construites au-dessus des berges, surtout lors des réparations.

Il ne faut pas oublier que des confortements dans l'urgence resteront nécessaires. On ne peut que recommander aux Maîtres d'ouvrages d'anticiper sur les situations de crise, tant sur le plan de l'organisation de la gestion de crise que celui des projets de bouchure de brèche qui pourraient être définis à l'avance. Ce domaine doit encore progresser.

### **... ou à l'implantation délicate, mais nécessaire, de déversoirs...**

Les digues en terre, même confortées, resteront des ouvrages fragiles à la surverse. Il n'y a pas de solution miracle et la plus grande vigilance doit rester de mise pour éviter que des ruptures ne mettent en danger des vies humaines ou des enjeux économiques majeurs. Une solution intéressante, mais délicate à négocier, consiste à implanter des déversoirs. Ils présentent les avantages suivants :

- la surverse sur la digue est retardée ;
- le déversement inonde le lit majeur de manière contrôlée et progressive alors qu'une brèche se produit brutalement et à un endroit imprévu ;
- la position du déversoir peut être choisie de manière à minimiser les impacts en fonction de l'occupation ;
- la surverse ultime sur la crête de digue se produit alors que la vallée est partiellement noyée, ce qui limite les risques de rupture par surverse ;

- le déversement a un effet d’alerte et facilite la prise de conscience du fait qu’il faut évacuer ou tout au moins se mettre en sécurité ;
- le déversoir s’oppose à l’impression pernicieuse d’une protection absolue ;
- le remplissage du lit majeur permet de laminer la crue exceptionnelle.

Les déversoirs sont d’ailleurs désormais obligatoires pour les nouveaux endiguements.

### **... nécessitent aussi une surveillance sans relâche et un entretien parfois difficile**

La surveillance est du ressort unique du gestionnaire qui peut voir son travail facilité et pérennisé par des systèmes d’information géographique. La gestion de la végétation est un point clef vis à vis du risque d’érosion interne ainsi que du bon diagnostic et de la bonne surveillance. Mais que faire avec des digues oubliées et entièrement boisées ? Des méthodes opérationnelles de gestion sont proposées dont les objectifs sont d’assurer la sécurité tout en optimisant les autres fonctions de la végétation, écologiques, sociales ou économiques.

### **... ainsi qu’un contrôle rigoureux**

Dans le domaine des petits barrages, l’expérience des deux dernières décennies a montré que l’action du contrôle avait singulièrement amélioré la sécurité du parc. Pour les digues également, le service de contrôle est un intervenant clef dans la chaîne de sécurité moyennant une délimitation claire de ses missions et de celles de l’exploitant. Son rôle est essentiel pour motiver des maîtres d’ouvrage dispersés à s’associer, pour faire émerger la nécessité d’un diagnostic, pour aider au partage des expériences entre les maîtres d’ouvrages à forte technicité et les autres, pour s’assurer qu’aucun des impératifs de la sécurité n’est perdu de vue, pour repérer quelles digues intéressent la sécurité publique. Ce dernier point est important car il permet de ne pas diluer tous les moyens sur les quelque 10 000 km de digues. Pour classer les digues intéressant la sécurité publique, il commence à être possible de simuler l’onde de crue en cas de rupture en intégrant l’incertitude de localisation et de dimension de la brèche.

La technicité du contrôle doit être partout à la hauteur des enjeux. Dans cet esprit, tout récemment, plusieurs ministères ont organisé en commun un pôle d’appui aux services en charge du contrôle des ouvrages hydrauliques (PATOUH).

### **Concluons que les digues ne sont décidément pas des petits barrages**

Paradoxalement, la sécurité des digues constitue un domaine nouveau trop longtemps négligé. Les digues ne sont en apparence que de modestes très petits barrages. Mais ce sont des ouvrages très longs, mal connus, placés sous la garde d’intervenants nombreux et diversifiés, soumis aux aléas hydrauliques et aux aléas de sol, difficiles à deviner. Ils exigent une aussi grande interdisciplinarité que les barrages.

Ce domaine trop longtemps négligé l’est de moins en moins.

Plusieurs organismes techniques ou de recherche se sont impliqués, aboutissant à des travaux à caractère méthodologique d’ores et déjà disponibles. Les méthodes de reconnaissance progressent bon train. Les modèles hydrauliques progressent aussi. Le ministère de l’Écologie et du Développement durable (MEDD) a initié un ambitieux travail de recensement des digues, de recherche d’une maîtrise d’ouvrage consistante, de classement de certaines digues au titre de la sécurité publique. Voilà qui va mobiliser services de contrôle, collectivités, cabinets d’ingénierie et prestataires de service, modélisateurs et chercheurs...

Gageons que la sécurité des digues fluviales devrait ainsi singulièrement s’améliorer dans les deux décennies à venir. Mais surtout, n’oublions pas que cela ne doit pas conduire à baisser la garde quant à la maîtrise de la vulnérabilité.

**Gérard Degoutte**

CGGREF – Cemagref  
3275 Route de Cézanne  
CS 40061

13182 Aix-en-Provence Cedex 5

# Foreword

## Can we control risks from dykes?

In November 2004, the French Committee for large Dams and the Ministry of Ecology and Sustainable Development organised a symposium in Orleans on the Safety of Flood Protection and Canal Embankments, Diagnosis, Maintenance and Consolidation. It came at a very opportune moment in time, for at least three reasons:

- Over the last ten years, severe river floods have occurred in embanked valleys with quite dramatic consequences, on the Aude, Vidourle and Gard rivers and three times on the lower reach of the Rhone. This has prompted a discernible increase in awareness of the issue throughout the country.
- Theoretical and practical work carried out over the same period on the Loire river and the major river traffic corridors on the Rhine and Rhone is now providing us with ample feedback on the various aspects of river and canal embankments.
- The third reason concerns flood protection dykes along rivers. The ministry of ecology has set in train an ensemble of regulatory measures which open the door to major remediation work for perhaps two decades to come.

Probably because of the same considerations, the Orleans symposium attracted the attention of the majority of stakeholders in the French embankment safety issue, monitoring and control agencies, owners, geotechnicians, researchers, etc., reporting on the fruits of their experience. This work should therefore be seminal.

### **An abundant inventory of dykes and embankments...**

In the matter of normally-dry river flood protection dykes, there are some 7,000 km of embankment protecting approximately 15,000 km<sup>2</sup> of land and 1.5 to 2 million people. The Loire river alone has 700 km of dykes, 1,000 km<sup>2</sup> of protected land and 300,000 people.

The other types of embankment, generically known as canal embankments, are permanently in contact with the water. Inland waterways represent more than 4,000 km of canal and 2,700 km of partially embanked river under the control of *Voies Navigables de France* (VNF). In hydro-electric development, *Électricité de France* (EDF) operates 584 km of canal and *Compagnie Nationale du Rhône* (CNR) owns 396 km of embankment, 216 km around reservoirs and 180 km along diversion canals.

### **... but a high level of vulnerability...**

For example, the December 2003 flood in the lower Rhone valley affected approximately 500 km of dyke with more than 100 instances of distress, including six breachings, and €845 million of damage. The Gard river flood in September 2002 had already caused damage worth €1,200 million and unfortunately five fatalities, due to dyke failures.

Vulnerability has increased considerably in recent years. The number of people threatened by the Loire dykes is estimated to have increased tenfold from 1900 to 1980. There are many causes for this rise, such as the fact that it is easier to develop bottom land in the flood plain, the feeling of being protected which prevents people from realising the actual risk, greater population mobility with newcomers to an area having no experience of past disasters and finally the paradoxical effect of society underwriting much of the risk.

### **... and an unrealised major hazard...**

The failure mechanisms of river dykes and canal embankments are well known surface erosion due to overtopping, currents and waves cause by passing traffic, internal erosion and sliding and sloughing processes. Overtopping and internal erosion usually lead to sudden breaching and it is undeniable that a dyke provides protection against small and moderate river floods but may be a positive danger in the event of a major flood. All these issues are a question of mechanics and are localised, but it must be realised that a single breach is sufficient to flood a whole tract of land without warning.

1. Even if morphology can also be explained by mechanical processes.

It is too often forgotten that dykes and embankments are also involved with less localised mechanisms which might be qualified as morphological<sup>1</sup>. The river might change its course by progressively meandering until a cut-off occurs. Such changes of course will cut through the dyke and inevitably destroy or damage it.

A river channel might also undergo changes in profile, with the bed either lowering through retrogressive or progressive erosion or, less frequently through aggradation. Retrogression of bed levels is accompanied by a general danger of bank slides. Dykes located at the very edge of the natural bank are also in danger of sliding or caving, another generalised risk. The raising of the river bed does not have any direct deleterious effect on the bank or dyke but allows smaller river floods to reach the crest more frequently and thus aggravates the risk of overtopping. Furthermore, there is no reason why raising or lowering of the river bed should occur evenly over a complete stretch of embanked river, and overtopping may occur at particular points which will therefore be more exposed to erosion than others.

### ... calls for modern diagnostic methods...

Flood dykes, many of them built many years ago, mostly with materials available nearby and frequently pervious, for which records rarely exist, need a safety diagnosis. The diagnostic methodology can be summarised as follows:

- 1) Records (eyewitness accounts and archives, topography, bathymetry, hydrology and hydraulics, river morphology, visual inspection, etc.).
- 2) Geophysical investigations.
- 3) Geotechnical investigations.
- 4) Diagnosis.
- 5) Design of consolidation works or preparation of maintenance programme.

On the subject of investigations, a hydraulic study will be most instructive, since it will show whether dyke crest level is everywhere consistent with conditions or if there are low parts which will be overtopped first. The bathymetric technique is destined to become more commonplace as a means of exploring the toes of canal embankments and some flood dykes also. Sidescan sonar in particular has yielded good results.

It may be useful to run a quick preliminary safety diagnosis on separate lengths of dyke before undertaking what are necessarily expensive geophysical and geotechnical investigations. Using a score matrix, a quick diagnosis will determine, on the basis of the available information, which sections of dyke should be investigated in greater detail. An order of priority might even be drawn up.

Whether or not there has been a quick diagnosis, the records available will suggest which geophysical or geotechnical methods are the most appropriate. Geophysical tests are non-destructive. Geotechnical methods are intrusive.

All the geophysical methods commonly used in dam engineering are in theory suitable for dyke investigations: seismic refraction, resistivity, electromagnetic and microgravimetric methods, etc. But since embankments are small but very long structures, preference is usually given to high productivity methods. This means that two types of geophysical investigation approaches are especially attractive:

- high productivity linear measurements;
- localised measurements in a zone of known weakness, identified either from the initial visual inspection or from the high productivity geophysics.

Of all the high productivity geophysical methods – low frequency electromagnetics, ground-penetrating radar, radio magnetotellurics (RMT) – the near-field low frequency electromagnetic Slingram method is found to be particularly efficient, especially in the « portable » configuration. RMT may yield additional data. Using several different methods in conjunction is to be recommended, especially in complex settings.

The geotechnical investigation methods used routinely in dam engineering are suitable (cored boreholes, which can be subsequently used for *in situ* water tests with laboratory tests on the core samples, and sometimes for implanting piezometers, penetrometers, and pressuremeters, uncored boreholes with recordings of the drilling parameters, etc.). One of the main disadvantages of these methods lies in the fact that they can only investigate a small number of points compared to the very great length of embankment to be covered. This difficulty can be overcome by means of the Panda portable dynamic penetrometer, which is a quick but detailed and quite economical investigation method in fine-grained soils.

In the case of canal and river embankments permanently in contact with water, less commonplace, thermometers inside casings vibrated into the ground or in piezometer holes are particularly instructive for characterising leaky zones and evaluating the permeability of zones where there is flowing water. Fibre optics might well be providing in a very few years'time a valuable means of monitoring problems of canal embankments over their whole length.

Although not yet widely used in connection with water-retaining structures, risk analysis is a useful tool to setting priorities for consolidation work and for finding defects in the embanked system which the more routine approaches might not have detected. It should be coming into more widespread use in the near future.

### **... sometimes leading to consolidation...**

The Rhine and Rhone embankments belong to highly structured bodies (EDF, CNR), and VNF which operate a preventive maintenance policy and have a highly valuable store of experience in diagnosis and consolidation.

In contrast, the normally-dry flood dykes are not so well furnished, although owners are rousing themselves to meet their obligations. Many flood dykes have in fact already been through the full diagnosis and consolidation process. The vast rehabilitation programme for the dykes on the middle reaches of the Loire river undertaken as part of the *Loire Grandeur Nature* plan is an example, as well as the more recent upgrading of the Camargue delta dykes.

The first flaw to be looked for on a dyke is excessive permeability which may involve a risk of internal erosion or a risk of instability. Improving watertightness is the first method of dyke consolidation, but not the only one.

Many techniques are used, from the classic addition of impervious fill on the water face or free-draining fill on the air face, to sheet piling and diaphragm walls or vibrated thin barriers, geosynthetics, grassed gabions, etc.

One comes to realise that what appears to be a simple structure functions in a very complex way and the techniques used to consolidate it may have to be sophisticated, or at least, rule-of-thumb methods will never be suitable. The papers all showed the need for a high level of expertise to factor in the geotechnical and hydraulic specifics of embankments and their environments. They show that solutions exist, and are fully mastered.

Moving an embankment back some distance is an alternative that is not easily negotiated but which should be considered more often when the embankment is built from the edge of the river bank, especially when repair works are being considered.

It must not be forgotten that emergency consolidation measures will always be necessary. Owners can only be advised to plan for crisis situations by setting up a crisis management organisation or having designs ready for plugging breaches. Progress is still needed in this area.

### **... or providing spillways, not easy but necessary...**

Even after consolidation, embankments will always be susceptible to overtopping. There is no miracle solution and the utmost vigilance is called for to prevent breaches endangering human lives or causing major economic damage. An interesting solution which will nevertheless be difficult to negotiate is building spillways. Their advantages are many:

- they delay overtopping of the dyke;
- spilling causes the flood plain to flood in a controlled, gradual manner whereas a breach occurs suddenly at an unexpected location;
- the spillway can be sited where flooding will have the least impact in terms of land occupation;
- eventual overtopping of the dyke will be delayed until the valley has already been partially flooded, which reduces the risk of overtopping causing a breach;
- when the spillway begins to discharge, this acts as a warning signal and makes people realise that they must evacuate or otherwise seek safety;
- the presence of a spillway destroys the pernicious impression of absolute safety;
- filling the flood plain reduces the peak of exceptional river floods.

Spillways are now in fact compulsory on all new-build embankments.

### **... needing unstinting monitoring and maintenance which may be difficult...**

Monitoring is the works manager's job and he may see it made easier and more permanent with geographical information systems. Vegetation management is a key point with respect to internal erosion, as well as proper diagnosis and proper maintenance. But what is to be done with forgotten dykes covered in trees? Operational management methods are put forward whose objectives are to ensure safety while optimising the other, environmental, social and economic functions of vegetation.

### **... and strict controls**

Experience with small dams in the last two decades has shown that the work of the policing authorities had singularly improved dam safety. With flood dykes and canal embankments, too, the policing agency is a key component in the safety chain, provided there is an unambiguous definition of its duties and those of the operator. It plays a vital role in motivating scattered owners to join forces, in bringing to the fore the need for diagnostic studies, in promoting the pooling of experience of owners with high standards of skills at their disposal and others, in ensuring that none of the key safety requirements are overlooked, and in identifying which embankments constitute a public safety issue. This last point is important because it prevents resources being spread too thinly over the whole 10,000 km of embankment. In order to list embankments that are a public safety issue, it is becoming possible to simulate the flood wave despite the uncertainty on breach location and size.

The professional standards of the policing agency must be commensurate with the potential losses. Realising this, several ministries have set up a joint support unit to help agencies in charge of policing water-retaining structures, known under the acronym PATOUH.

### **We conclude that embankments are not small dams**

Paradoxically, embankment safety is a new discipline that has been neglected for too long. Embankments and dykes look like modest, very small dams. But they are very long structures, poorly documented, owned by many different and disparate bodies, exposed to the vagaries of water and the soil that are hard to predict. They need an interdisciplinary approach, just as much as dams.

Too long ignored as a distinct branch of engineering, a new understanding is beginning to emerge.

Several engineering and research bodies have become involved, and have produced work of a methodological nature that is available now. Investigation methods are progressing at a rapid pace. Hydraulic modelling is also breaking new ground. The french Ministry for Ecology and Sustainable Development has set in train an ambitious plan to catalogue all flood dykes and canal embankments, find the substantive owners, and list those which involve a public safety issue. This is a task which will call on the resources of the policing agencies, local authorities, engineering consultancies and service providers, modelling experts and research scientists, and many more.

We can expect flood dyke safety to singularly improve in the next two decades. But we must not allow this to make us lower our guard in the matter of controlling vulnerability.

**Gérard Degoutte**

CGGREF – Cemagref  
3275 Route de Cézanne  
CS 40061  
13182 Aix-en-Provence Cedex 5  
Translated by Rd. CHADWICK