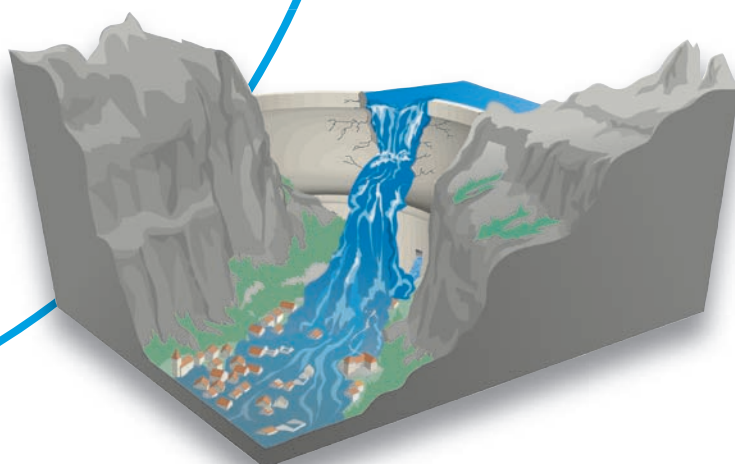


Les ruptures de barrages



DOSSIER D'INFORMATION

Introduction.....	2
--------------------------	----------

Le risque rupture de barrage

Quelques définitions	3
Les barrages	
Les différents types de barrages	
Les différents usages	
Le risque de rupture de barrage en France et sa réglementation	5
Les causes d'accident et les conséquences	6
Le processus de formation	
L'onde de submersion	
Les enjeux humains, matériels et environnementaux	
Votre commune face au risque sur prim.net.....	8
Les événements historiques	9
Les accidents les plus graves	
Le cas français	

La politique de prévention en France et les moyens de secours

La maîtrise du risque à la source	10
La prévision	
La prévention	
La maîtrise de l'urbanisation	13
La planification des secours	13
Le plan communal de sauvegarde	
Les plans Orsec	
Le plan particulier d'intervention	
L'information préventive de la population	15
L'alerte aux populations et les consignes	16
L'indemnisation des victimes	18
Références	19
Organismes de référence, sites internet consultés et bibliographie	

Document d'information édité par
le ministère de l'Écologie et du Développement durable,
direction de la Prévention des pollutions et des risques,
sous-direction de la Prévention des risques majeurs

Conception et réalisation :
Alp'Géorisques [38420 Domène]
Graphies [38240 Meylan]

Décembre 2004

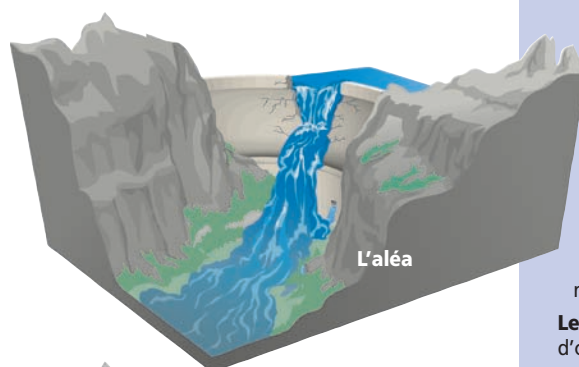
En couverture : voie ferrée roulée par la vague
issue de la rupture du barrage de Malpasset.

Introduction

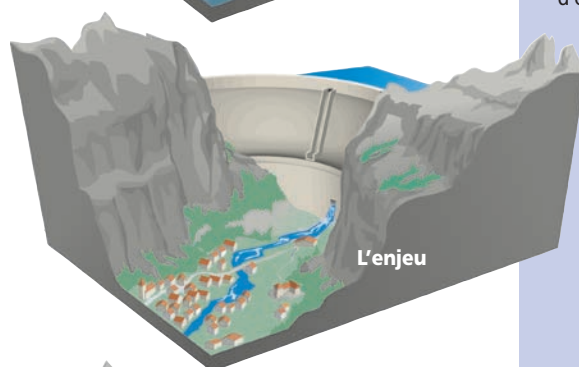
La France compte environ cinq cents barrages qui représentent moins de 2 % du parc mondial. Parmi ceux-ci, quatre cents sont des ouvrages intéressant la sécurité publique, dont 89 « grands barrages ». Dans le monde, on compte 35 000 à 40 000 grands barrages dont 80 % sont inférieurs à 30 m et seulement 1 % supérieur à 100 m.

Quelques grandes catastrophes mondiales très connues ont fait plus de 1 000 morts, mais la plupart des ruptures n'a pas causé de pertes en vies humaines, soit parce que le barrage dominait des régions peu habitées, soit parce que l'alerte avait été donnée à temps. Ainsi, la rupture du barrage de Teton (États-Unis), le plus haut barrage rompu (93 m), n'a causé que 11 morts. Et sur les quatre ruptures enregistrées en Europe depuis 1980, trois n'ont provoqué aucun décès.

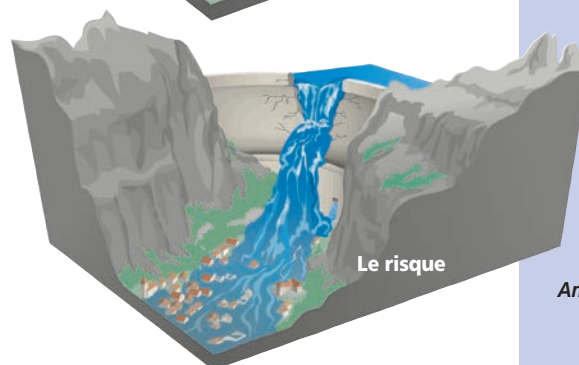
Cependant, en France, 540 personnes ont été victimes de ce phénomène en un siècle, ce qui représente peu de victimes lorsque ce chiffre est ramené à une année. Cette faible valeur ne doit pas conduire à penser que le risque de rupture de barrage est négligeable car elle est le résultat d'efforts attentifs poursuivis inlassablement depuis un siècle.



L'aléa



L'enjeu



Le risque

Si l'on se place dans un contexte mondial, il convient de souligner les **limites de l'analyse du risque** de rupture de barrage. En effet, cette analyse repose notamment sur deux éléments qui ne sont connus qu'avec une certaine incertitude : le nombre de grands barrages et le nombre de ruptures observées.

La première incertitude est due à une définition plutôt imprécise du terme « grand barrage » [voir ci-contre]. La seconde incertitude, qui porte sur le nombre de ruptures observées, est due au fait que tous les pays n'abordent pas de la même façon le phénomène de rupture. En effet, outre le fait que la frontière entre incident grave et rupture soit parfois difficile à fixer, un tel phénomène présente un aspect fortement négatif que certains pays peuvent préférer garder secret.

Quelques définitions sont nécessaires à la compréhension de ce document.

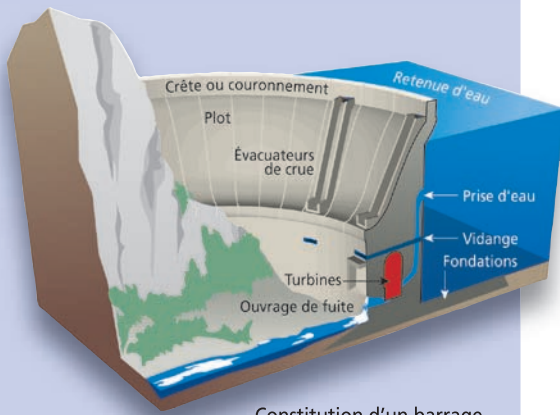
L'aléa est la manifestation d'un phénomène naturel ou anthropique d'occurrence et d'intensité données.

L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens (ayant une valeur monétaire ou non monétaire) pouvant être affectés par un phénomène naturel ou des activités humaines.

Le risque majeur est la conséquence d'un aléa d'origine naturelle ou humaine, dont les effets peuvent mettre en jeu un grand nombre de personnes, occasionnent des dommages importants et dépassent les capacités de réaction des instances directement concernées.

La vulnérabilité exprime et mesure le niveau de conséquences prévisibles de l'aléa sur les enjeux. Différentes actions peuvent la réduire en atténuant l'intensité de certains aléas ou en limitant les dommages sur les enjeux.

Anthropique : qui résulte de l'action de l'homme.



Constitution d'un barrage

Les grands barrages : la définition du « grand barrage », telle qu'elle est arrêtée par la Commission internationale des grands barrages (CIGB), est imprécise :

- est « grand barrage » tout ouvrage de plus de 15 m de haut au-dessus de la surface générale des fondations ;
- peut être considéré comme « grand barrage » un ouvrage dont la hauteur serait comprise entre 10 et 15 m et présentant des caractéristiques particulières : grand réservoir, évacuateur de crues important, etc.

LE RISQUE RUPTURE DE BARRAGE

Quelques définitions

■ Les barrages

Un barrage est un ouvrage artificiel ou naturel (causé par l'accumulation de matériaux à la suite de mouvements de terrain) établi en travers du lit d'un cours d'eau, retenant ou pouvant retenir de l'eau.

Les barrages artificiels doivent être placés dans des cuvettes géologiquement étanches. Ils sont composés d'un corps conçu de manière spécifique à chaque type d'ouvrage, reposant sur une fondation étanche ou rendue étanche en amont.

Un barrage en béton est découpé en plusieurs tranches verticales, appelées *plots*. Des ouvrages annexes lui sont associés, tels que les évacuateurs de crues, les prises d'eau, les turbines, les vidanges de fond, etc.

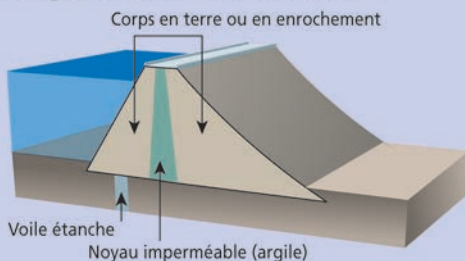
■ Les différents types de barrages

On distingue deux types de barrages selon les matériaux qui les composent. Les barrages en matériaux meubles ou semi-rigides, appelés *barrages en remblai*, peuvent être en terre ou en enrochement. Parmi les *barrages en maçonnerie ou en béton* on distingue plusieurs catégories, selon leur mode de conception.

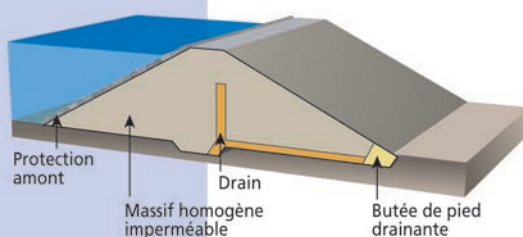
Les barrages en remblai sont souvent appelés *digues*. Ils peuvent être composés d'un seul matériau assurant à la fois la stabilité et l'étanchéité : on parle alors de *barrage homogène*.

Pour les autres digues, la conception consiste à réaliser un noyau ou un parement amont dans des matériaux différents, capables d'assurer la fonction d'étanchéité : argile, béton bitumineux, béton hydraulique ou géomembrane. Les barrages en remblai, d'emprise au sol importante, n'engendrent pas de forte contrainte sur le sol.

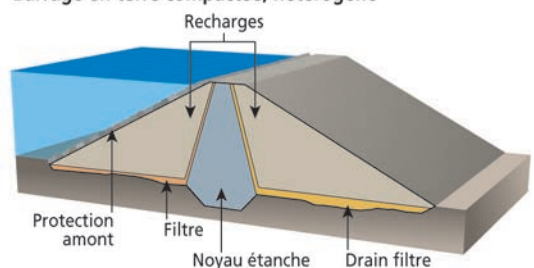
Barrage poids en terre ou en enrochement



Barrage en terre compactée, homogène

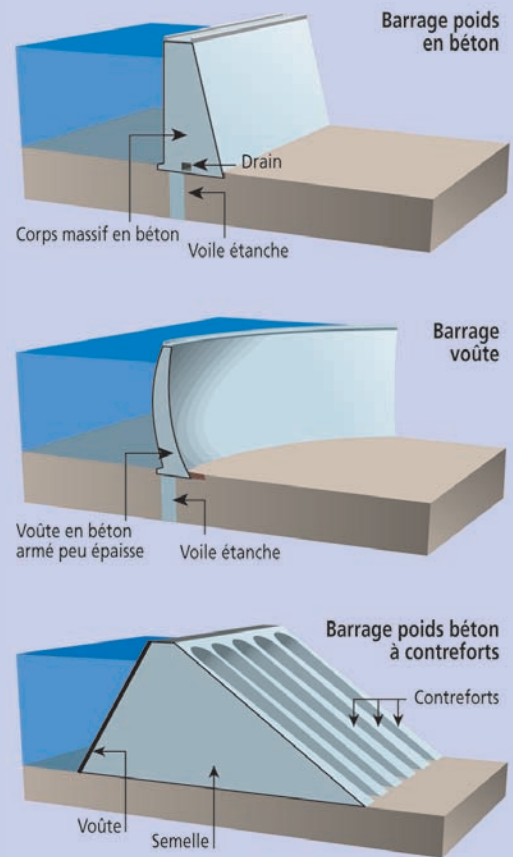


Barrage en terre compactée, hétérogène



Les barrages en maçonnerie¹ ou en béton peuvent être de différents types. Les *barrages poids*, à profil généralement triangulaire, résistent à la poussée de l'eau par leur seul poids. Les *barrages poids évidés* comportent moins de matériaux dans les zones les moins sollicitées et inversement. Les *barrages voûtes* ont une

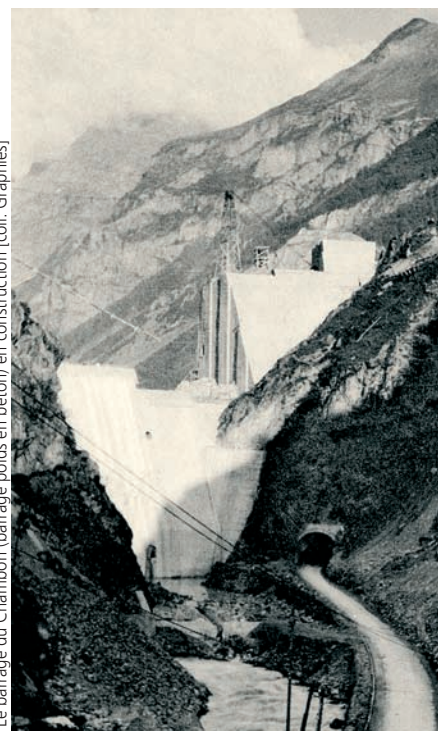
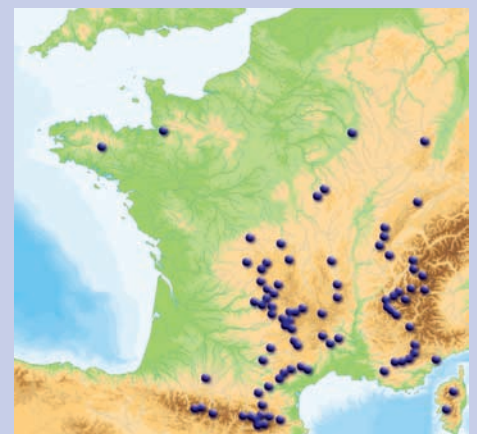
forme convexe tournée vers l'amont, qui permet de reporter la plus grande partie de la poussée de l'eau sur les rives par des effets d'arc. Les *barrages mixtes poids-voûte* (barrage de Bort-les-Orgues en Corrèze) combinent les deux techniques précédentes et réduisent l'emprise au sol par rapport à un barrage poids. Les *barrages à contreforts* sont généralement utilisés dans les vallées trop larges pour accueillir un barrage voûte et dans lesquelles la construction d'un barrage poids, nécessitant beaucoup de matériaux, se révélerait trop onéreuse.



Les *barrages mobiles*, installés sur les grands fleuves, servent à réguler la hauteur d'eau pour la navigation, au moyen de vannes.

La fonction d'un **barrage écrêteur de crue** est de retenir temporairement une partie du débit de la crue et de relâcher ensuite petit à petit le volume correspondant. Les effets de la crue dans la partie aval du bassin versant s'en trouvent réduits d'autant.

Les barrages métropolitains soumis à PPI.



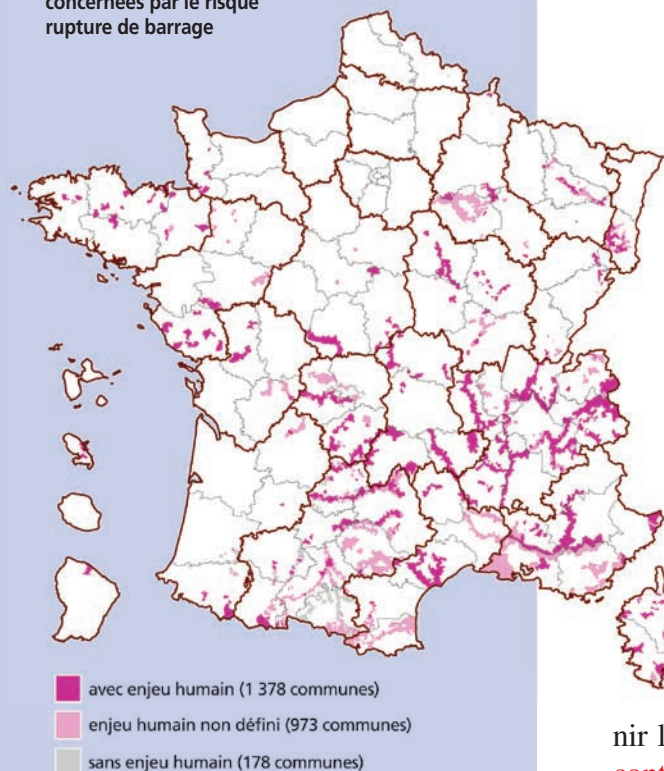
Le barrage du Chambon (barrage poids en béton) en construction [coll. Graphies]

■ Les différents usages

Les barrages sont conçus dans un objectif bien précis, mais certains ouvrages peuvent combiner plusieurs usages. Parmi ces fonctions, on trouve la *régulation des cours d'eau* (maintien d'un niveau minimum des eaux en période de sécheresse, barrage écrêteur de crue), le *stockage d'une réserve d'eau*, utilisée pour **alimenter un canal ou une ville**, *lutter contre les incendies* ou *irriguer les cultures*, la *production d'énergie électrique*, la *plaisance* ou encore *la décantation et le stockage de déchets miniers*.

1 - Matériau moins utilisé actuellement mais composant un grand nombre de barrages existants.

Les communes françaises
concernées par le risque
rupture de barrage



Le risque de rupture de barrage en France et sa réglementation

Le régime juridique des barrages varie selon leur usage, leur impact et leurs dimensions. La législation les concernant [voir tableau ci-dessous] distingue les ouvrages faisant l'objet d'une concession de force hydraulique des autres. Pour les premiers, l'exploitant élabore un dossier de demande de concession, dans lequel doivent être exposés les moyens de surveillance des ouvrages, de détection d'anomalies, d'alerte et d'intervention en cas d'accident ou d'incident. Le service chargé du contrôle de ce type d'ouvrage est la direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (Drire).

La construction des autres types de barrages nécessite une procédure de déclaration ou d'autorisation selon les conséquences de l'ouvrage sur l'écoulement du cours d'eau et sur la sécurité. Les critères pris en compte, ainsi que les différentes procédures à suivre pour effectuer la déclaration ou obtenir les autorisations, sont définis par décret. **Le service chargé du contrôle est le service chargé de la police de l'eau (DDE, DDAF).**

Quel que soit ce régime, les moyens de surveillance à mettre en place dépendent de l'importance de l'ouvrage concerné et de la période d'exploitation : renforcés lors de la première mise en eau de la retenue, ils sont maintenus sous une forme allégée pendant toute la vie de l'ouvrage. Plusieurs circulaires régissent ces modalités.

Pour les plus grands barrages, la rédaction d'un plan particulier d'intervention (PPI) [voir p. 15], dont les modalités d'élaboration sont définies par décret, est nécessaire.

Réglementation précédant la construction de l'ouvrage

Loi n° 92-3 du 03 janvier 1992, dite « loi sur l'Eau »	Réglementent les dossiers d'autorisation à fournir avant la construction d'un barrage quelle que soit sa taille, ainsi que les documents supplémentaires le cas échéant.
Décret n° 93-742 du 29 mars 1993	
Décret n° 93-743 du 29 mars 1993	
Décret du 13 juin 1966	Définissent le rôle et les compétences du Comité technique permanent des barrages, dont l'avis est nécessaire lors de la construction d'ouvrages de hauteur supérieure à 20 mètres.
Arrêté du 30 décembre 1966	
Circulaire n° 75-65 du 27 novembre 1975	
Décret n° 99-853 du 28 septembre 1999	Réglemente les modalités d'élaboration des PPI dans le cas des grands barrages.

Réglementation concernant la surveillance des ouvrages

Circulaire n° 70-15 du 14 août 1970 modifiée par la circulaire n° TE-8562 du 29 septembre 1983	Définit les moyens de surveillance à mettre en place lors de la première mise en eau ainsi que lors de la période d'exploitation des barrages intéressant la sécurité publique.
Circulaire du 13 juillet 1999	Relative à la sécurité des zones situées à proximité ainsi qu'à l'aval des barrages et des aménagements hydrauliques, face aux risques liés à l'exploitation des ouvrages.
Décret n° 94-894 du 13 octobre 1994	Relatif à la concession des ouvrages utilisant l'énergie hydraulique. Ce décret impose l'exposé des moyens de surveillance des ouvrages dans le dossier de demande de concession.
Circulaire du 23 mai 1997	Définit les moyens de surveillance à mettre en place pour les barrages de moyenne importance permettant la production d'électricité.

Les causes d'accident et les conséquences

■ Le processus de formation

Les causes de rupture

Les causes de rupture d'ouvrage peuvent être de différents ordres.

Des problèmes techniques peuvent entraîner la rupture d'un ouvrage. Il peut s'agir d'un défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux ou bien d'un vice de conception, de construction ou de matériaux. **Le type de barrage, les matériaux utilisés, la nature des fondations** ainsi que l'âge de l'ouvrage vont avoir une influence sur l'apparition de ces problèmes. Cependant, l'évolution des techniques de construction rend les barrages modernes beaucoup plus sûrs.

Des causes naturelles peuvent également être à l'origine de rupture de barrage. Il en est ainsi des crues exceptionnelles, d'intensité supérieure à celle retenue pour le dimensionnement des ouvrages évacuateurs, appelée *crue de projet*. Le niveau de sécurité retenu est généralement compris entre la crue millénale et la crue décennale. Les barrages en remblai ne supportent pas la submersion et sont donc plus vulnérables aux débordements. **La phase de chantier pour les barrages en construction est une période sensible aux risques de crue, car les ouvrages d'évacuation ne sont pas encore opérationnels.**

Les glissements de terrains, soit de l'ouvrage lui-même dans le cas de barrages en remblai, soit des terrains entourant la retenue sont également une cause de rupture. L'ouvrage peut être déstabilisé par un glissement (barrage de Malpasset, 1959) ou bien submergé par la vague engendrée par un glissement en amont de la retenue (barrage du Vajont, 1963).

Enfin les séismes peuvent causer des dommages mineurs à ne pas négliger (déformations, tassements, fissures, etc.). En France, le risque sismique est systématiquement pris en compte lors de la conception des ouvrages, même s'il est peu élevé. Les ruptures de barrages dues aux séismes sont d'ailleurs très rares.

Des causes humaines peuvent enfin être à l'origine d'accidents : études préalables pas assez approfondies, contrôle d'exécution **insuffisant, erreurs d'exploitation, défaut de surveillance et d'entretien** ou encore actes de malveillance, sabotage, attentat, guerre (les barrages sont néanmoins protégés par la convention de Genève).



<http://www.mines.u-nancy.fr/wwwstet/webT>

Rupture de barrage en béton.
Le barrage de Malpasset (Var, France, 1959).



http://geoinfo.usc.edu/geos/RecentEQ/Taiwan/Report/Aerial_Survey/Aerial_Survey.html

Rupture de barrage en béton.
Le barrage de Shih-Kang (Taiwan, 1999).

La fréquence des crues

Une crue de fréquence **millénale** est une crue dont la probabilité d'occurrence annuelle est égale à 1/1 000 soit 0,001 (**une chance sur mille de se produire au cours d'une année donnée**).

Une crue de fréquence **décennale** est une crue dont la probabilité d'occurrence annuelle est égale à 1/10 000 soit 0,0001 (**une chance sur dix mille de se produire au cours d'une année donnée**).



Rupture de barrage en terre.
Le barrage de Teton (Idaho, États-Unis, 1976).

Les types de rupture

Le risque de rupture brusque et inopinée est considéré comme très faible, voire nul. La situation de rupture paraît plutôt liée à une évolution plus ou moins rapide d'une dégradation de l'ouvrage **susceptible d'être détectée par la surveillance et l'auscultation**.

Les barrages en remblai peuvent être touchés par **une rupture progressive**, causée par un phénomène d'érosion externe ou interne.

L'érosion externe est engendrée par des circulations d'eau, même peu importantes, sur la crête des barrages. Le mécanisme d'érosion s'amorce à partir du bord aval de la crête et progresse jusqu'à ce qu'une brèche soit ouverte. Le phénomène peut durer quelques minutes à quelques heures selon la taille des matériaux, leur cohésion, le revêtement de la crête, la hauteur de l'eau qui s'écoule au-dessus du barrage.

L'érosion interne correspond à l'entraînement des matériaux au sein du corps de l'ouvrage **ou de sa fondation**. Elle est **provoquée par des percolations excessives à travers l'ouvrage**. Le conduit de fuite s'agrandit par érosion jusqu'à provoquer l'effondrement de la structure.

Les barrages en maçonnerie ou en béton sont menacés par **une rupture instantanée** partielle ou totale, produite par renversement ou par glissement d'un ou plusieurs plots.

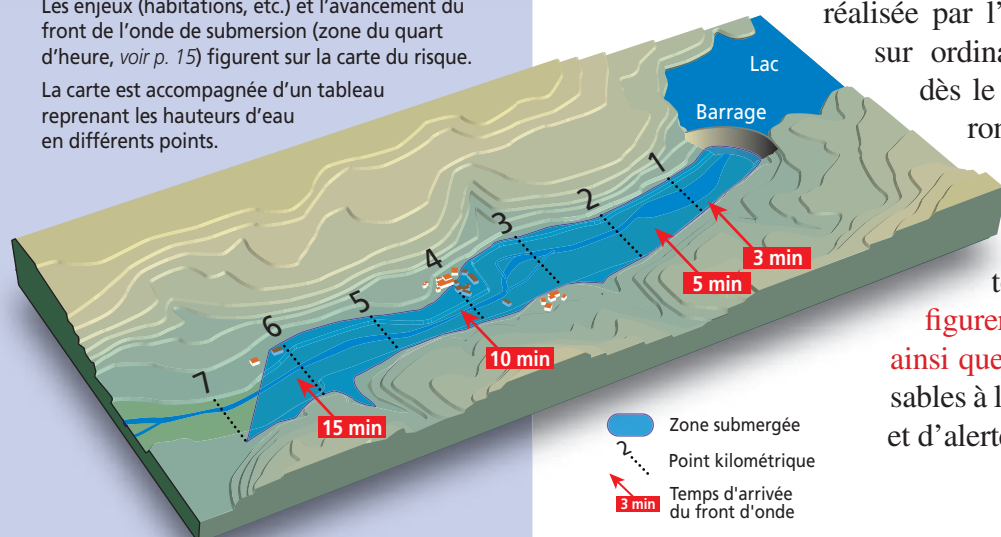
■ L'onde de submersion

L'aléa « rupture de barrage » correspond à la formation d'une onde de submersion, à l'origine d'une élévation brutale du niveau de l'eau à l'aval.

La **carte du risque** représente les zones menacées par l'onde de submersion qui résulterait **de la rupture totale ou partielle de l'ouvrage**. Obligatoire pour les grands barrages, cette carte est réalisée par l'exploitant à partir de simulations

sur ordinateur. Elle détermine à l'avance, dès le projet de construction, quelles seront les caractéristiques de l'onde de submersion : hauteur de l'eau, vitesse, **temps de progression de l'onde**, amortissement, etc., en tous points de la vallée, **en y faisant figurer les enjeux et les points sensibles, ainsi que tous les renseignements indispensables à l'établissement des plans de secours et d'alerte** [voir p. 13 et suivantes].

Les enjeux (habitations, etc.) et l'avancement du front de l'onde de submersion (zone du quart d'heure, voir p. 15) figurent sur la carte du risque. La carte est accompagnée d'un tableau reprenant les hauteurs d'eau en différents points.



■ Les enjeux humains, matériels et environnementaux

L'onde de submersion, par sa force intrinsèque, occasionne d'énormes dommages en aval du barrage. Elle est suivie d'une inondation importante, mêlant eau et matériaux issus du barrage, et de l'érosion intense de la vallée.

Un tel événement a **des conséquences sur les populations** allant de blessures plus ou moins graves à la mort par noyade ou ensevelissement. Les victimes peuvent également être isolées suite à l'inondation des voies de communication ou subir un relogement temporaire durant le temps que dure la crise et le retour à la normale.

Les conséquences sur les biens vont également des simples dommages à la destruction totale des habitations, voies de communication et autres ouvrages. Dans le cas où d'autres barrages seraient présents en aval, l'onde de submersion peut provoquer à son tour leur rupture et accentuer ainsi les dommages.

Les conséquences environnementales sont multiples : la faune et la flore sont détruites par le passage de l'eau ; le sol est emporté, ce qui rend l'exploitation agricole des terrains difficile. Diverses pollutions peuvent être occasionnées par la destruction d'usines et autres bâtiments industriels. Des accidents technologiques dus à l'implantation d'entreprises dans la vallée (déchets toxiques, explosions par réaction avec l'eau, etc.) peuvent avoir lieu suite au passage de l'onde.



Dégâts de la catastrophe de Malpasset

Pour des informations supplémentaires sur Malpasset
http://www.ecolo.org/documents/documents_in_french/malpasset/

Votre commune face au risque sur www.prim.net

Le ministère de l'Écologie et du Développement durable a créé un site Internet entièrement dédié à la prévention des risques majeurs.

On y trouve notamment des informations précises par commune.

The screenshots illustrate the website's layout and the specific information available to citizens regarding major risks, particularly dams and nuclear risks. The main interface includes a navigation menu, a search bar, and a map of France with color-coded regions indicating different risk levels.

http://www.prim.net/cgi_bin/citoyen/macommune/23_face_au_risque.html

Les évènements historiques

■ Les accidents les plus graves

Entre 1959 et 1987, 30 accidents de rupture de barrages ont été recensés dans le monde, faisant 18 000 victimes.

Barrage	Pays	Date de rupture	Hauteur du barrage (m)	Volume de la retenue (hm ³)	Nombre de victimes
Barrage en remblai, rupture durant la construction					
Panshet	Inde	1961	49	214	1 000
Sempor	Indonésie	1967	60	56	200
Barrage en remblai, rupture lors de la première mise en eau					
Dale Dyke	Grande-Bretagne	1864	29	3,2	230
Mena	Chili	1885	17	0,1	100
Barrage en remblai, rupture en service					
Iruhaike	Japon	1868	28	18	1 200
Mill River	États-Unis	1874	13	Inconnu	140
South Fork	États-Unis	1889	21	18	2 200
Walnut Grove	États-Unis	1890	33	11	129
Hyogiri	Corée du Sud	1961	15	0,2	139
Nanak Sagar	Inde	1967	16	210	100
Machu	Inde	1979	26	101	2 000
Gotvan	Iran	1980	22	Inconnu	200
Kantale	Sri Lanka	1986	27	135	127
Barrage poids, rupture lors de la première mise en eau					
Puentes	Espagne	1802	69	13	600
Saint Francis	États-Unis	1928	62	47	450
Barrage poids, rupture en service					
Fergoug I	Algérie	1881	33	30	200
Tigra	Inde	1917	25	124	1 000
Malpasset	France	1959	60	49	423
Khadakwasla	Inde	1961	33	137	1 000
Barrage à contreforts et voûtes multiples					
Gleno	Italie	1923	35	5	600
Vega de Terra	Espagne	1959	33	7,3	140

Seuls les accidents ayant causé plus de 100 morts sont répertoriés dans ce tableau [source : www.hydrocoop.org].

En considérant l'ensemble des ruptures postérieures à 1800 dans le monde, quelle que soit la hauteur du barrage, on compte 144 ruptures de barrage dont :

- 71 sans victime ;
- 31 avec moins de 10 morts ;
- 17 avec 10 à 99 morts ;
- 25 avec 100 morts et plus.

Plus du quart des accidents de barrages survient lors de crues importantes. Il est donc délicat de distinguer les victimes imputables à la rupture de l'ouvrage de celles qui auraient été noyées par la crue. Ceci explique les larges fourchettes parfois mentionnées dans le tableau ci-dessus. Vraisemblablement, la valeur qu'il conviendrait d'associer à la rupture du barrage est souvent l'estimation la plus faible.

■ Le cas français

Deux accidents ont marqué les esprits sur le territoire français.

En avril 1895, la rupture du barrage de Bouzey (Vosges) d'une hauteur de 18 mètres, a fait 87 morts. Il s'agissait d'une rupture brusque, mais qui avait été précédée par l'apparition de fissures **et de déformations importantes**.

En décembre 1959, le barrage de Malpasset (Var) d'une hauteur de 60 mètres cède, alors que des intempéries ont fait monter le niveau d'eau dans la retenue. Le barrage était implanté sur un bloc rocheux de grand volume reposant sur une faille ; la poussée de l'eau a déchaussé le bloc, qui est tombé vers l'aval. L'onde de submersion a atteint la ville de Fréjus située à une dizaine de kilomètres, avant de se jeter dans la mer. Il y aura 423 victimes et des dommages matériels importants : 155 immeubles détruits, 1 000 hectares de terres agricoles sinistrées, deux milliards de francs de dégâts.



La rupture du barrage de Bouzey, en 1895.
Ci-dessus, les ruines et les dégâts.
Ci-dessous, la reconstruction.



LA POLITIQUE DE PRÉVENTION ET LES MOYENS DE SECOURS

Comme pour les autres risques technologiques, la première priorité de la politique de prévention du risque de rupture de barrage en France est de maîtriser le risque à la source. Pour cela, de nombreuses études sont demandées à l'exploitant, sous le contrôle de l'État. Pour autant, le « risque zéro » n'existant pas, des mesures d'organisation des secours, d'alerte et d'information des populations sont mises en œuvre afin de limiter au maximum les conséquences d'un accident.

La maîtrise du risque à la source

■ La prévision

L'estimation de la date de survenance d'une rupture de barrage étant impossible, la prévision d'un tel phénomène est réduite à l'estimation de ses caractéristiques (intensité, localisation) synthétisées sur la carte du risque [voir p. 7].

■ Les moyens de prévention

L'examen préventif des projets de barrages

Pour les ouvrages créant une différence de niveau d'eau supérieure à 35 cm entre l'amont et l'aval de l'ouvrage, ou une submersion d'une des rives du cours d'eau, un dossier de déclaration ou d'autorisation doit être réalisé avant la construction. Cette obligation relève de l'application de la loi sur l'Eau du 3 janvier 1992 et des décrets n° 93-742 et n° 93-743 du 29 mars 1993.

Les installations susceptibles de présenter des dangers pour la sécurité publique relèvent du régime de **l'autorisation ou de la concession**. Les autres qui, bien qu'elles ne soient pas susceptibles de présenter un tel danger, doivent néanmoins respecter certaines prescriptions définies par le service en charge de la police de l'eau, sont soumises à **déclaration**. Ce service examine les dossiers de déclaration et d'autorisation.

Lorsque l'ouvrage a une hauteur supérieure à 20 m, le Comité technique permanent des barrages (CTPB) doit obligatoirement donner son avis. **Le maître d'ouvrage fait réaliser, en plus du dossier d'autorisation, un dossier préliminaire puis un dossier définitif, qui seront tous deux examinés par le CTPB. L'avis du Comité technique permanent des barrages porte notamment sur les points suivants :**

Les ouvrages concernant la sécurité publique sont ceux dont la rupture éventuelle aurait des répercussions graves pour les personnes.

La procédure de déclaration concerne par exemple des ouvrages de moyenne importance, entraînant la création d'une petite retenue d'eau. Ils peuvent avoir vocation de plaisance, de réserve pour des activités agricoles, etc.

Les ouvrages de moyenne importance sont des ouvrages non classés comme intéressant la sécurité publique ayant une hauteur comprise entre dix et vingt mètres, et $H^2V^{0,5} < 200$ avec H = hauteur en mètre et V = volume de retenue en hm^3 .

- choix du site et du type d'ouvrage ;
- étude hydrologique déterminant la « crue de projet » ;
- étude et traitement des fondations ;
- conception des structures ;
- condition d'exécution, choix du directeur de travaux et de son intérimaire ;
- programme de mise en eau de l'ouvrage ;
- dispositif d'auscultation ;
- étude de l'onde de rupture du barrage.

Pour les ouvrages moins hauts mais concernant la sécurité publique, la consultation du CTPB est envisageable si des éléments particuliers le justifient. Enfin pour les plus grands barrages, un plan particulier d'intervention [voir p. 15] est réalisé conjointement entre l'État et l'exploitant, en complément des mesures déjà citées.

La surveillance constante de l'ouvrage

Pour prévenir toute dégradation, et a fortiori toute rupture, il faut exercer une surveillance constante de l'ouvrage.

L'inspection et la surveillance des barrages intéressant la sécurité publique, dont font partie tous les grands barrages, sont organisées actuellement par la circulaire interministérielle n° 70-15 du 14 août 1970 modifiée par la circulaire du 29 septembre 1983. Ce texte précise que « *propriétaires et concessionnaires ont la charge de maintenir les ouvrages en bon état* ». L'État assure le contrôle de cette surveillance, sous l'autorité des préfets, par l'intermédiaire des services chargés de la police de l'eau et des milieux aquatiques (DDE, DDAF, services spécialisés de la navigation) ou des services ayant le contrôle technique des ouvrages (DRIRE). Cette circulaire distingue plusieurs périodes dans la vie du barrage et préconise des mesures particulières à chacune.

Lors de la mise en eau de l'ouvrage, période essentielle de la vie de l'ouvrage qui permet de déceler d'éventuelles anomalies, une surveillance continue et complète du corps de l'ouvrage est obligatoire. Un dépouillement immédiat des mesures est réalisé afin d'intervenir le plus rapidement possible en cas d'anomalie. Les déformations affectant les fondations et les versants de la retenue sont également surveillées. Le maître d'ouvrage se doit de définir une procédure lors de cette phase et de vérifier sa bonne mise en oeuvre.

Lors de l'exploitation en service normal de l'ouvrage, des examens visuels réguliers sont prévus, ainsi que des mesures plus ou moins espacées, selon que des anomalies sont constatées ou non. Les appareils d'auscultation doivent être extrêmement fiables, robustes, sensibles et précis (pour détecter au plus vite), simples et rapides d'emploi. Un rapport annuel est envoyé au service de contrôle.



Extensomètres sur le barrage de Lardit (Lot). Ces appareils servent à mesurer les déformations du barrage.



Pendule.

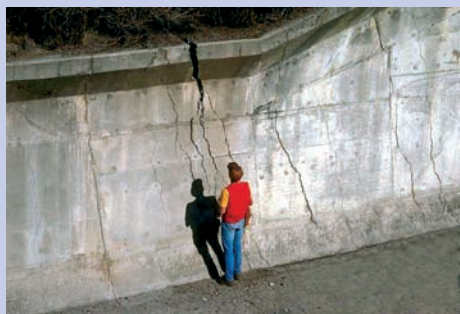


Visite décennale du barrage de Bimont avec inspection subaquatique par sous-marin.

<http://pedagogie.ac-toulouse.fr/col-la-vie-dene-saint-amans-des-cots/accueil/>

P. Le Delliou, BETCGB

<http://www.cemagref.fr/informations/Presse/Dossiers/barrages.htm>



Apparition de fissures sur un barrage en béton à la suite d'un séisme (Austrian Dam, Californie, 1989).

Celui-ci effectue des **visites annuelles** lorsque la retenue est pleine. Il s'assure de la compétence de l'exploitant et de l'efficacité de son organisation dans sa mission de surveillance des ouvrages et contrôle le bon état d'entretien des différents organes de sécurité de l'ouvrage. Une **visite décennale** est effectuée au moins une fois tous les dix ans à l'occasion d'une vidange complète de l'ouvrage ou par des moyens subaquatiques après octroi d'une dérogation ministérielle ; cette inspection décennale s'intéresse plus particulièrement aux parties habituellement noyées.

Après la première mise en eau du barrage, l'ouvrage n'est pas inerte : il vit, il travaille et se fatigue, comme toute construction. De sa santé dépend la sécurité des personnes dans la vallée.

Par ailleurs, les organes de sécurité (évacuateurs de crue et vidanges) sont conçus en tenant compte des défaillances possibles et font l'objet d'essais réguliers.

Toutes les informations recueillies par la surveillance permettent une analyse et une synthèse rendant compte de l'état du barrage, ainsi que l'établissement, tout au long de son existence, d'un « diagnostic de santé » permanent. Si cela est nécessaire, des travaux d'amélioration ou de confortement sont réalisés.

Pour les ouvrages hydroélectriques concédés, la circulaire n° 70-15 du 14 août 1970 est appliquée pour tous les barrages de plus de 20 m de hauteur et pour ceux de hauteur inférieure intéressant la sécurité publique. Pour les barrages de moyenne importance, une circulaire du 23 mai 1997 reprend de manière allégée des dispositions de nature comparable. Ici aussi la surveillance de l'ouvrage est continue et complète lors de la mise en eau. Lors de l'exploitation normale, les méthodes et moyens de surveillance, le dispositif éventuel d'auscultation, la périodicité des tournées et mesures et les conditions d'interprétation des résultats, sont définis par l'exploitant et présentés au service de contrôle. Un **ingénieur compétent**, désigné par l'exploitant, doit effectuer une visite au moins tous les deux ans. Le service de contrôle (DRIRE) effectue une visite complète au moins tous les cinq ans, pour un examen visuel de l'ouvrage, de ses abords et, le cas échéant, des zones instables des versants.

Dans le cas des ouvrages faisant l'objet de concessions hydroélectriques mais n'entrant pas dans le champ d'application des précédentes circulaires, les moyens de surveillance sont définis par le service de contrôle.

Enfin, concernant les ouvrages qui ne menacent pas la sécurité publique et qui ne font pas l'objet de concession, les prescriptions concernant leur surveillance sont définies par les arrêtés d'autorisation délivrés par le service en charge de la police de l'eau.

La gestion active

Pour la sécurité de l'ouvrage des *lâchures de barrage* (ou lâchers d'eau) peuvent être réalisées : il s'agit d'évacuations contrôlées d'une fraction d'eau de la retenue. Ces lâchures sont réalisés lors des crues ou des intempéries importantes afin d'empêcher la cote de la retenue d'atteindre son niveau critique ou lorsque l'ouvrage présente des signes de faiblesse. Dans ce dernier cas, le niveau de l'eau dans la retenue doit diminuer afin de réduire les contraintes exercées sur l'ouvrage. Néanmoins ce scénario est extrêmement rare et les lâchers d'eau interviennent essentiellement comme régulation pendant l'exploitation normale de l'ouvrage.

La maîtrise de l'urbanisation

Face au risque rupture de barrage, la seule mesure d'urbanisme applicable pourrait être l'interdiction de construire au sein des zones **les plus menacées**. Néanmoins, celles-ci couvrent de si grandes surfaces, **qu'une telle mesure serait disproportionnée par rapport à la probabilité d'occurrence du risque**.

La planification des secours

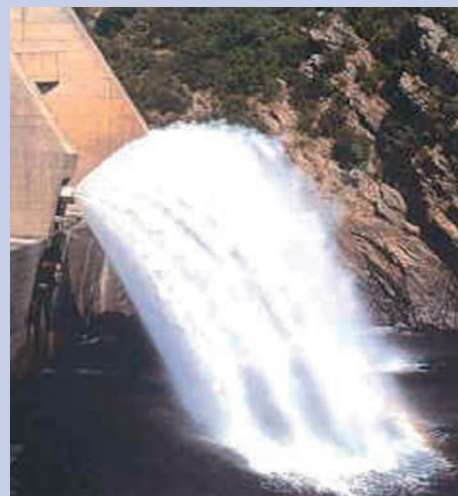
■ Le plan communal de sauvegarde

Au niveau communal, c'est le maire, détenteur des pouvoirs de police, qui a la charge d'assurer la sécurité de la population dans les conditions fixées par le code général des collectivités territoriales. À cette fin, il prend les dispositions lui permettant de gérer la crise et peut, si nécessaire, faire appel au préfet représentant de l'État dans le département.

Le plan communal de sauvegarde détermine, en fonction des risques connus, les mesures immédiates de sauvegarde et de protection des personnes, fixe l'organisation nécessaire à la diffusion de l'alerte et des consignes de sécurité, recense les moyens disponibles et définit la mise en oeuvre des mesures d'accompagnement et de soutien de la population. Ce plan est obligatoire dans les communes comprises dans le champ d'application d'un PPI, dont les grands barrages sont tous pourvus.

■ Les plans Orsec

En cas de catastrophe concernant plusieurs communes, **les plans de secours départementaux** sont mis en application, conformément à la loi du 22 juillet 1987. La loi de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 a réorganisé les plans de secours existants,



Lâcher d'eau.

<http://www.ac-grenoble.fr/risqma/realisations/73/beaufort/surveillance.htm>

Le préfet est alerté par l'intermédiaire d'une ligne téléphonique directe, contrôlée en permanence, entre le local de surveillance et la préfecture du département où l'ouvrage est implanté, doublée d'un circuit téléphonique par le réseau commuté.

Les périodes de **vigilance renforcée** sont notamment définies :

- lors de la mise en service de l'ouvrage ;
- en cas de crue dangereuse pour la sécurité de l'ouvrage ;
- en cas de constatation de faits anormaux susceptibles de compromettre sa tenue ;
- dans les situations d'insécurité (risques d'attentats).

En cas de vigilance renforcée, une présence permanente est assurée dans un local de surveillance implanté à proximité et à l'aval de l'ouvrage, à l'abri de l'onde de submersion. Ce local est équipé de moyens de transmission et de commandes à distance. Par ailleurs, des projecteurs, prévus par l'exploitant, permettent l'éclairage du barrage.

selon le principe général que lorsque l'organisation des secours revêt une ampleur ou une nature particulière, elle fait l'objet dans chaque département d'un plan Orsec.

Le plan Orsec départemental, arrêté par le préfet, détermine, compte tenu des risques existants dans le département, l'organisation générale des secours et recense l'ensemble des moyens publics et privés susceptibles d'être mis en oeuvre. Il comprend des dispositions générales applicables en toute circonstance et des dispositions propres à certains risques particuliers, tel que le risque « rupture de barrage ».

Lorsque au moins deux départements d'une zone de défense sont concernés par une catastrophe ou que la mise oeuvre de moyens dépassant le cadre départemental s'avère nécessaire, **le plan Orsec de zone** est mis en service.

Les dispositions spécifiques des plans Orsec prévoient les mesures à prendre et les moyens de secours à mettre en oeuvre pour faire face à des risques de nature particulière ou liés à l'existence et au fonctionnement d'installations ou d'ouvrages déterminés. Il peut notamment définir un plan particulier d'intervention (PPI) pour des barrages hydroélectriques.

C'est le préfet qui déclenche la mise en application du plan Orsec et assure la direction des secours. Le Premier ministre peut placer le pilotage des opérations de secours sous la direction du représentant de l'État dans l'un de ces départements ou recourir au préfet de la zone de défense concernée.

Il existe une veille permanente assurée par des centres départementaux, inter-régionaux (ce sont les zones de défense) et national. Leur coordination est assurée par la direction de la défense et de la sécurité civiles du ministère de l'Intérieur.

■ Le plan particulier d'intervention

Chaque **barrage de plus de 20 m de hauteur et de capacité supérieure à 15 hm³** fait l'objet d'un plan particulier d'intervention (PPI), plan d'urgence spécifique, qui précise les mesures destinées à donner l'alerte aux autorités et aux populations, l'organisation des secours et la mise en place de plans d'évacuation. Ce plan s'appuie sur la carte du risque et sur des dispositifs techniques de surveillance et d'alerte.

Après avis du Comité technique permanent des barrages sur les documents techniques préparatoires à l'établissement du PPI, le PPI est arrêté par le préfet et mis en oeuvre par les services de l'État chargés de la protection civile. Certains dispositifs techniques, en particulier au niveau du barrage, restent à la charge du gestionnaire de l'ouvrage.

Ce plan découpe la zone située en aval d'un barrage en trois zones suivant l'intensité de l'aléa. La **zone de proximité immédiate** peut être submergée dans un **délai ne permettant qu'une alerte directe** ; la population doit l'évacuer dès l'alerte donnée. Dans la **zone d'inondation spécifique**, la submersion est plus importante que celle de la plus grande crue connue. Dans la troisième zone (**zone d'inondation**), la submersion est généralement moins importante.

L'information préventive de la population

La loi du 22 juillet 1987 a instauré le droit des citoyens à une information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis sur tout ou partie du territoire, ainsi que sur les mesures de sauvegarde qui les concernent. Cette partie de la loi a été reprise dans l'article L125.2 du Code de l'environnement.

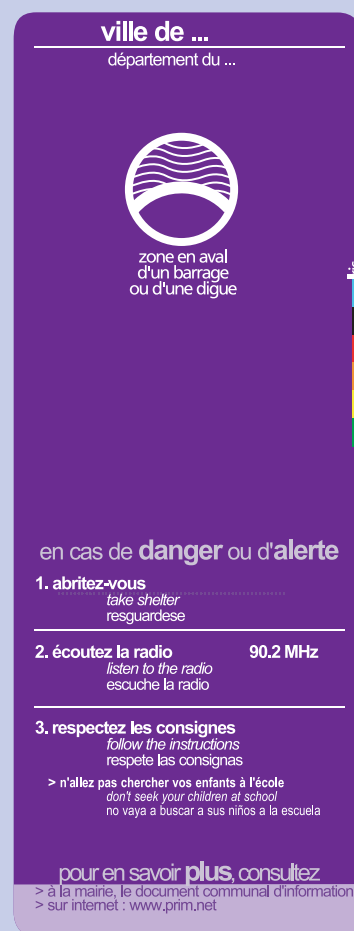
Établi sous l'autorité du préfet, le dossier départemental des risques majeurs (DDRM) recense à l'échelle d'un département l'ensemble des risques majeurs par commune. Il explique les phénomènes et présente les mesures de sauvegarde. À partir du DDRM, le préfet porte à la connaissance du maire les risques dans la commune, au moyen de cartes au 1 : 25 000 et décrit la nature des risques, les événements historiques, ainsi que les mesures d'État mises en place.

Le maire élabore **un document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM)**. Ce document présente les mesures de prévention et les mesures spécifiques prises en vertu des pouvoirs de police du maire. Le DICRIM peut être accompagné d'une communication (au moins tous les deux ans si la commune est couverte par un plan de prévention des risques) et d'une campagne d'affichage. Ces deux documents sont disponibles en mairie.

Dans les communes concernées par un ouvrage faisant l'objet d'un plan particulier d'intervention (PPI), une campagne d'information «PPI» doit être réalisée. Son objectif est de faire connaître les risques et les consignes de sécurité spécifiques. Ces campagnes doivent être renouvelées au maximum tous les 5 ans.

Électricité de France réalise notamment des campagnes d'information en bordure des cours d'eau, afin de sensibiliser les usagers (pêcheurs, promeneurs, baigneurs et pratiquants de sports d'eaux vives).

Le plan de communication établi par le maire peut comprendre divers supports de communication, ainsi que des plaquettes et des affiches, conformes aux modèles arrêtés par les ministères chargés de l'environnement et de la sécurité civile (arrêté du 27 mai 2003).



Le maire peut imposer ces affiches :

- dans les locaux accueillant plus de 50 personnes ;
- dans les immeubles regroupant plus de 15 logements ;
- dans les terrains de camping ou de stationnement de caravanes regroupant plus de 50 personnes.

Les propriétaires de terrains ou d'immeubles doivent assurer cet affichage (sous contrôle du maire) à l'entrée des locaux ou à raison d'une affiche par 5 000 m² de terrain.

L'alerte aux populations et les consignes

Le signal national d'alerte

Le signal national d'alerte consiste en trois émissions successives d'une minute chacune et séparées par des intervalles de cinq secondes, d'un son modulé en amplitude ou en fréquence. Des essais ont lieu le premier mercredi de chaque mois à midi.

Le signal est diffusé par tous les moyens disponibles et notamment par le réseau national d'alerte et les équipements des collectivités territoriales. Il est relayé par les dispositifs d'alarme et d'avertissement dont sont dotés les établissements recevant du public, et par les dispositifs d'alarme et de détection dont sont dotés les immeubles de grande hauteur. Il ne doit pas être confondu avec le signal d'alerte lié aux ouvrages hydrauliques, qui est spécifique.

Le signal d'alerte lié aux ouvrages hydrauliques

Il comporte un cycle d'une durée minimum de deux minutes diffusé par un réseau de sirènes type corne de brume, installées par le maître d'ouvrage.

Les essais des sirènes des ouvrages hydrauliques, effectuées par l'exploitant, ont lieu une fois par trimestre : les premiers mercredis des mois de mars, juin, septembre et décembre pendant douze secondes à 12h 15. Le **signal d'essai** comporte un cycle de douze secondes composé de trois émissions sonores de deux secondes séparées par un intervalle de trois secondes.

Les différents niveaux d'alerte

Pour les barrages dotés d'un PPI, celui-ci prévoit plusieurs niveaux d'alerte en fonction de l'évolution de l'événement.

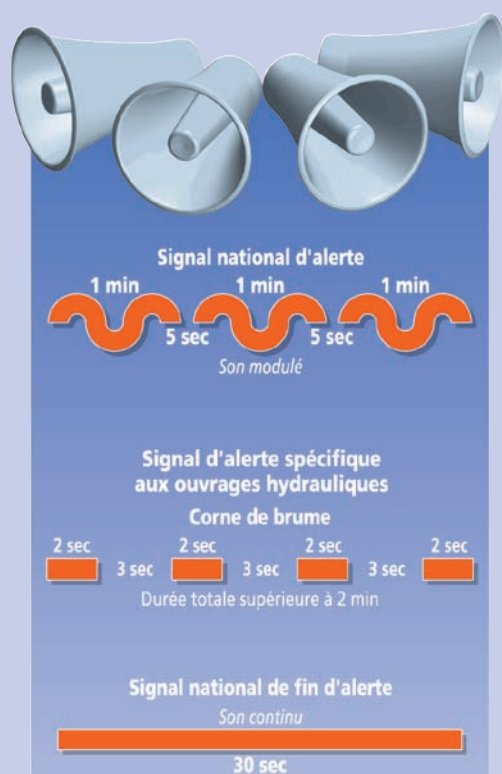
Le premier degré est l'état de vigilance renforcée pendant lequel l'exploitant doit exercer une surveillance permanente de l'ouvrage et rester en liaison avec les autorités.

Le niveau supérieur, niveau d'alerte n° 1, est atteint si des préoccupations sérieuses subsistent (cote maximale atteinte, faits anormaux compromettants, etc.). L'exploitant alerte alors les autorités désignées par le plan et les tient informées de l'évolution de la situation, afin que celles-ci soient en mesure d'organiser si nécessaire le déclenchement du plan (déclenchement effectué par le préfet).

Lorsque le danger devient imminent (cote de la retenue supérieure à la cote maximale, etc.), **on passe au niveau d'alerte n° 2**. L'évacuation est immédiate. En plus de l'alerte aux autorités, l'exploitant alerte directement les populations situées dans la

Le **signal d'alerte** est déclenché sur ordre du Premier ministre, du ministre chargé de la sécurité civile, du représentant de l'État dans le département (ou dans la région, si plusieurs départements sont concernés) ou du maire en tant qu'autorité de police compétente.

Dans le cas des ouvrages soumis à l'exigence d'un PPI, le signal national d'alerte peut être déclenché par l'exploitant, dans les conditions fixées par le préfet.



Le signal national d'alerte peut être écouté sur le site internet de l'Ifforme :

http://www.ac-versailles.fr/pedagogi/iffo-rme/d03-plan_sesam/sesam.htm

« zone de proximité immédiate » et prend lui-même les mesures de sauvegarde prévues aux abords de l'ouvrage, sous le contrôle de l'autorité de police. L'alerte aux populations s'effectue par sirènes pneumatiques du type corne de brume mises en place par l'exploitant. Plus à l'aval du barrage, il appartient aux autorités locales de définir et de mettre en œuvre les moyens d'alerte et les mesures à prendre pour assurer la sauvegarde des populations.

Le niveau d'alerte n°2 est bien entendu atteint lorsque la rupture est constatée, partielle ou totale.

Enfin, pour marquer la fin de l'alerte, par exemple si les paramètres redeviennent normaux, un signal sonore continu de trente secondes est émis. Cependant la fin de l'alerte ne marque pas nécessairement la fin de la vigilance renforcée. La montée en puissance du dispositif d'alerte doit permettre au préfet d'alerter les municipalités des communes concernées suffisamment tôt pour que les mesures de sauvegarde soient prises à temps, notamment en évacuant les personnes présentes sur les zones submersibles.

Pour les autres barrages intéressant la sécurité publique, mais sans PPI, aucune disposition spécifique n'existe. Les services administratifs compétents (DDAF, DDE, Drire, etc.) doivent s'assurer que les gestionnaires prennent toutes les mesures nécessaires pour que la sécurité publique ne soit pas menacée.

Pour les populations éloignées des ouvrages, et si la commune est dans la zone du PPI, il est de la responsabilité du maire de répercuter l'alerte auprès de ses administrés.

Les consignes

Un certain nombre de consignes générales à suivre « avant, pendant et après » une alerte ont été définies. Elles sont complétées par des consignes spécifiques à chaque risque (voir tableaux ci-contre).

En matière de risque rupture de barrage, il est nécessaire de connaître le système d'alerte spécifique pour la zone de proximité immédiate, ainsi que les points hauts assurant un refuge.

CONSIGNES SPÉCIFIQUES	
AVANT	<p>Connaître le système spécifique d'alerte pour la « zone du quart d'heure ».</p> <p>Connaître les points hauts sur lesquels se réfugier (collines, étages élevés des immeubles résistants, etc.), les moyens et itinéraires d'évacuation (voir le PPI).</p>
PENDANT	<p>Évacuer et gagner le plus rapidement possible les points hauts les plus proches cités dans le PPI ou, à défaut, les étages supérieurs d'un immeuble élevé et solide.</p> <p>Ne pas prendre l'ascenseur.</p> <p>Ne pas revenir sur ses pas.</p>
APRÈS	<p>Aérer et désinfecter les pièces.</p> <p>Ne rétablir l'électricité que sur une installation sèche.</p> <p>Chauffer dès que possible.</p>

CONSIGNES GÉNÉRALES

AVANT

Prévoir les équipements minimums :

- radio portable avec piles ;
- lampe de poche ;
- eau potable ;
- papiers personnels ;
- médicaments urgents ;
- couvertures ;
- vêtements de rechange ;
- matériel de confinement.

S'informer en mairie :

- des risques encourus ;
- des consignes de sauvegarde ;
- du signal d'alerte ;
- des plans d'intervention (PPI).

Organiser :

- le groupe dont on est responsable ;
- discuter en famille des mesures à prendre si une catastrophe survient (protection, évacuation, points de ralliement).

Simulations :

- y participer ou les suivre ;
- en tirer les conséquences et enseignements.

PENDANT

Évacuer ou se confiner en fonction de la nature du risque.

S'informer : écouter la radio. Les premières consignes seront données par France-Inter (1 852 mGO soit 162 kHz ou 87.8 FM).

Inform le groupe dont on est responsable.

Maîtriser le comportement :

- de soi et des autres ;
- aider les personnes âgées et handicapées ;
- ne pas téléphoner ;
- ne pas fumer.

APRÈS

S'informer : écouter et suivre les consignes données par la radio et les autorités.

Inform les autorités de tout danger observé.

Apporter une première aide aux voisins ; penser aux personnes âgées et handicapées.

Se mettre à la disposition des secours.

Évaluer :

- les dégâts ;
- les points dangereux et s'en éloigner.

Ne pas téléphoner.

L'indemnisation des victimes

Depuis la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels, en cas de survenance d'un accident industriel endommageant un grand nombre de biens immobiliers, l'état de catastrophe technologique est constaté. Un fonds de garantie a été créé afin d'indemniser les dommages sans devoir attendre un éventuel jugement sur leur responsabilité.

Références

Organismes de référence

- <http://www.prim.net>
Site du ministère sur la prévention des risques majeurs
- Comité français des grands barrages (CFGB)
<http://www.barrages-cfgb.org>
- Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement (Drire)
<http://www.drire.gouv.fr/>
- Service technique de l'énergie électrique et des grands barrages (STEEGB)
61, boulevard Vincent-Auriol - 75703 Paris cedex 13
- Comité technique permanent des barrages (CTPB)
61, boulevard Vincent-Auriol - 75703 Paris cedex 13
- Bureau d'étude technique et de contrôle des grands barrages
44, avenue Marcelin Berthelot - 38030 Grenoble Cedex 2
Mél : betcgb@industrie.gouv.fr
- Ministère de l'écologie et du développement durable
<http://www.ecologie.gouv.fr>

Sites internet consultés

- <http://www.edf.fr/html/fr/decouvertes/voyage/barrage/barrage.html>
Site pédagogique d'Électricité de France expliquant le fonctionnement des barrages, leurs usages, etc.
- http://www.industrie.gouv.fr/energie/hydro/fl_bar.htm
Site du ministère donnant des informations sur la réglementation, les mesures de surveillance, les barrages existants, etc.
- <http://www.structurae.info/structures/stype/index.cfm?ID=3>
Base de données internationales sur les ouvrages d'art et notamment les barrages
- <http://www.irma-grenoble.com/04risques/042risques-techno/barrages.htm>
Site de l'Institut des risques majeurs en Isère donnant des informations sur le risque de rupture de barrage
- http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/21_9_risque_barrage.html
Définition du risque de rupture de barrage et références des documents de synthèse existants dans ce domaine
- <http://www.cemagref.fr/Informations/Presse/Dossthem/barajdig.htm>
Dossier sur le travail du Cemagref en matière de barrages
- <http://www.hydrocoop.org/rsmclassificationof.htm>
Recensement de la majeure partie des ruptures de barrages dans le monde

Bibliographie

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, DPPR/BICI, 1989, *Procerisq, procédures et réglementations applicables aux risques technologiques et naturels majeurs*.

Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, DPPR/SDPRM/ CARIAM, 2001, *Recueil des textes fondateurs, textes relatifs à la prévention des risques naturels majeurs*, Cellule d'information documentaire sur les risques majeurs, 154 pages.

Mission inter-services des risques naturels de l'Isère (MIR-NAT), 2001, *Mémento du maire et des élus locaux, prévention des risques d'origine naturelle et technologique*, Institut des risques majeurs (IRMA).

Ministère de l'intérieur et de l'aménagement du territoire, Direction de la sécurité civile, 1994, *Organisation-Prévention et Planification, Services de secours, volume 1 et 2*, Journal officiel de la République française, 934 pages.

Degoutte G. et Royet P., 1993, *Sécurité des barrages en service*, Session de formation continue de l'ENGREF, Montpellier (France), 25-28 mai 1993, 237 pages.

IRMA, 2002, *Les barrages et le risque sismique*, in revue *Risques infos*, bulletin de liaison n°13, dossier : *Le risque sismique en Rhône-Alpes*. Article extrait du bulletin du : Service technique de l'énergie et des grands barrages n° 13, 3^e trimestre 1995, p. 20 à 22.

