chapitre I : *Risques d'inondation et rupture d'un barrage*

I- Introduction :

Les inondations sont des catastrophes naturelles qui touchent tous les pays du globe terrestre. Elles sont générées souvent par les débordements des cours d'eau traversant des villes et des agglomérations.

L'étude de ce phénomène est nécessaire pour limiter tous les dégâts et réduire l'impact sur les villes inondée.

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 d'un barrage, suite à sa rupture.

Depuis fort longtemps, plusieurs études sur la formation et la propagation des ondes de submersion ont été réalisées, tant sur modèles physiques que mathématiques, permettant ainsi une meilleure compréhension du phénomène et donc une prédiction adéquate des effets causés par le passage de ces ondes.

Dans ce travail nous contribuons à expliquer quelles sont les caractéristiques et les risques des inondations et quelles sont les mesures pour la protection contre ce phénomène?

I-1-Généralité sur les inondations :

I-1-1-Définition :

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement sans eau. Le risque d'inondation est la conséquence de deux composantes :

- L'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement.
- L'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités [1].

I-1-2-Les inondations en Algérie :

Pour illustrer l'ampleur des inondations en Algérie, on cite quelques évènements enregistrés depuis les années 20 du dernier siècle :

- **27 novembre 1927 :** La plus forte crue dans bassin de la MACTA de l'oued El Hammam (estimé à environ de 5000 m3/s) à causer la rupture totale de l'ancien Barrage Fergoug près de Mascara (Belagoune, 2012).

- **12 octobre 1971:** les fortes pluies orageuses qui se sont abattues sur la localité d'Azzazga (pluie journalière de 183 mm d'eau) causèrent 40 morts et des centaines d'habitations détruites [2].
- **28 au 31 mars 1974 :** les précipitations exceptionnelles dans la wilaya de Tizi-Ouzou a causé la mort de 52 victimes et la destruction de, 4570 maisons avec 130 villages isolés et plus de 18000 sinistrés. Les dégâts matériels ont été estimés à l'époque à 27 millions de Dinars, 13 ponts et quelques Kilomètres de route ont été emportés par les crues [3].
- **11 novembre 1982 :** Des pluies orageuses violentes localisées à Annaba notamment celles enregistrées du 10 au 11/11/1982 soient 167 mm à l'Edough et 160 mm à Seraidi engendrèrent de fortes crues des oueds Bouhdid, Forcha et Aneb (Yahiaoui, 2012).
- **29 août 1984 :** Des pluies exceptionnelles dans la wilaya de Batna engendrant des débits de 127.6 m3/s à la station d'El Kantara et 102.88 m3/s à la station de Djemoura [4].
- **9 au 10 novembre 2001 :** Les pluies exceptionnelles (plus de 240mm), abattu sur Bouzaréah dans la nuit, provoquées par un orage local ont généré une crue catastrophique, estimée à 730 m3 /s, sur un bassin versant de 10 km^2.Cette crue a arraché et emporté avec elle d'énormes quantité de terre (boue), arbres et détritus de toute sorte. La violence meurtrière de cette crue survenue sur Bab El Oued (Alger) à fait presque 1000 morts et importants dégâts matériels (Belagoune, 2012).

En ce qui concerne la région de notre travail qui est le bassin du Hodna, on peut citer quelques catastrophes de l'inondation ces dernières décennies :

- **Septembre 1994 :** les fortes pluies ont provoqué des inondations catastrophiques dans le bassin du Hodna (112 victimes, 300 familles sinistrées) [5].
- **28 septembre 2000 :** Des pluies diluviennes dans la région de Boussaâda ont engendré de fortes crues de l'oued Boussaâda causant des dégâts estimés à un mort, un disparu, treize habitations détruites, trente-huit familles évacuées et 193 têtes de bétail emportées par les eaux [2].
- **20 juillet 2010 :** Les fortes pluies qui se sont abattues le 20et 21 juillet sur le nord de la région ont causé plusieurs décès, des inondations et des accidents de la route (sept morts et 50 blessées) [6].

I-1-3-Etude climatique :

Les conditions climatiques jouent un rôle déterminant sur le régime d'un cours d'eau, ce sont les précipitations surtout liquides, qui constituent le facteur essentiel. Elles interviennent par:

- Leur répartition spatiale.
- Leur répartition temporelle.

Ces différents aspects des précipitions sont plus ou moins modifiés selon un effet combiné des autres paramètres physiques (altitude et exposition) et climatiques (la température l'évaporation, l'évapotranspiration, les vents et l'humidité); des facteurs qui influent sur l'écoulement et le régime hydrologique du bassin.

I-1-4-Les paramètres influençant les inondations :

I-4-1-1-Facteurs anthropiques (humaines)

- ✓ **L'urbanisation et l'implantation d'activités dans les zones inondables**

Elles constituent la première cause d'aggravation du phénomène. En parallèle, l'augmentation du niveau de vie et le développement des réseaux d'infrastructures ont accru dans des proportions notables la valeur globale des biens et la fragilité des activités exposées (vulnérabilité).

- ✓ ***La diminution* des champs d'expansion des crues**

Consécutive à l'urbanisation et parfois aggravée par l'édification de digues ou de remblais, elle a pour conséquence une réduction de l'effet naturel d'écrêtement des crues.

- ✓ **L'aménagement parfois hasardeux des cours d'eau**

Beaucoup de rivières ont été modifiées localement sans se soucier des conséquences en amont ou en aval.

Ces aménagements (suppression de méandres, endiguement, etc.) peuvent avoir pour conséquences préjudiciables l'accélération des crues en aval et l'altération du milieu naturel.

- ✓ **L'utilisation ou l'occupation des sols sur les pentes des bassins versants**

Toute modification de l'occupation du sol (déboisement, suppression des haies, pratiques agricoles, imperméabilisation) empêchant le laminage des crues et la pénétration des eaux, favorise une augmentation du ruissellement, un écoulement plus rapide et une concentration des eaux.

I-4-1-2-Facteurs naturels (pluie, neige)

Les causes naturelles liées aux phénomènes météorologiques et au climat. L'eau de pluie ou de la neige est retenue par le sol, absorbée par la végétation ou évaporée, L'excédent formera les eaux de ruissellement qui, en atteignant les cours d'eau sont à l'origine des crues ou des inondations par élévation des lits des rivières.

Les crues se produisent généralement en automne ou en hiver quand la pluie et la fonte des neiges augmentent considérablement la quantité des eaux de ruissellement et aussi lorsque le sol et la végétation ne peuvent pas assimiler toute l'eau de ruissellement et provoquent une élévation du lit du cours d'eau.

Précipitation ⟶ crue ⟶ inondation

I-1-4-3-La nature et l'occupation de sol :

La nature et l'occupation du sol dictent l'évaporation et la consommation d'eau par les plantes. L'absorption d'eau par le sol, l'infiltration dans le sous-sol ou le ruissellement influencent fortement le temps de concentration des eaux. Enfin, la topographie du lit, la pente et la forme du bassin versant jouent également le même rôle. Ainsi, pour une même quantité de pluie, une crue apparaîtra ou non.

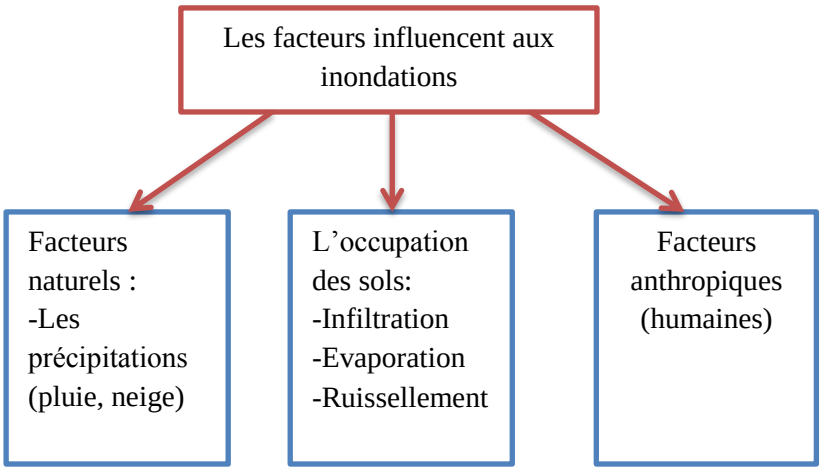


Figure I1: Les paramètres influençant les inondations.

I-1-5-Les types d'inondation :

On distingue plusieurs types d'inondations provoquées par le débordement des cours d'eau et des rivières :

I-1-5-1-Les inondations des plaines :

Les inondations de plaine se produisent à la suite d'épisodes pluvieux océaniques Prolongés mais d'intensités modérée, s'abattant sur des sols où le ruissellement est long à déclencher, sur des bassins versants moyens à grands (supérieur à 500 km^2). Le cours d'eau sort lentement de son lit ordinaire pour occuper son lit majeur et inonder la plaine pendant une période relativement longue. Ces phénomènes concernent particulièrement les terrains bas ou mal drainés. Sa dynamique lente perdure plusieurs semaines.

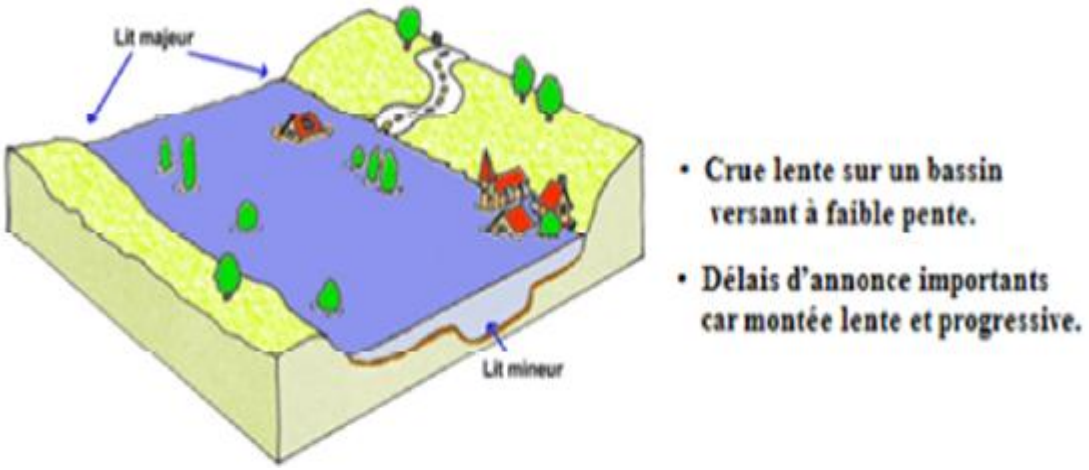


Figure I2: Inondation de Plaine.

Les dommages que provoque ce type d'inondation sont imputables aux hauteurs et durées de submersion.

I-1-5-2-Les remontées des nappes phréatiques :

Elles correspondent à des inondations par débordement indirect qui se manifestent par la remontée de la nappe phréatique qui affleure en surface et/ou par l'intrusion d'eau dans les différents réseaux d'assainissement.

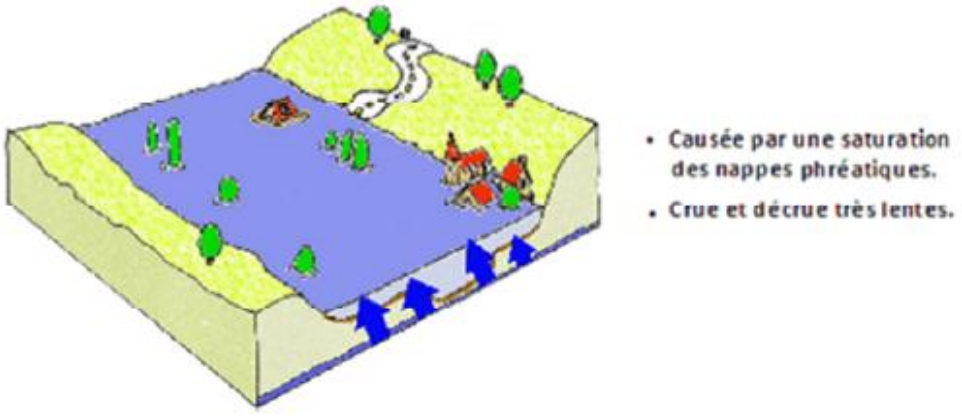


Figure I3: Inondation par remontées des nappes phréatiques.

Les désordres liés à ce type d'inondation se traduisent par des remontées sous bâtisses, l'ennoyage des ouvrages souterrains, la déstabilisé tassements de remblai, des glissements de terrain, des perturbations sur les réseaux publiques, des pressions sous les cons tractions, etc.

I-1-5-3-Les crues torrentielles :

Les crues torrentielles sont des phénomènes brusques et violents résultant d'épisodes pluvieux intenses et localisés, du type orages convectifs. De manière un peu conventionnelle, on parle de crues torrentielles lorsque la durée nécessaire pour qu'une goutte d'eau tombant sur le point « hydrologiquement » le plus éloigné atteigne l'exutoire est inférieure à 12 heures (ou 24 h pour certains auteurs). Les spécialistes retiennent cinq critères pour définir la crue torrentielle : la rapidité de la réponse du cours d'eau, sa pente, le nombre de Froude, le transport solide, les effets de ces crues.

Ces crues touchent principalement les zones de montagne et les cours d'eau du pourtour méditerranéen, elles ont des vitesses d'écoulement importantes, même dans le lit majeur. Les bassins versants qui peuvent être affectés par ces phénomènes sont celles qui ont de petite à moyenne superficie et une forte pente moyenne.

Les crues torrentielles se caractérisent par un très fort transport solide et une profonde modification du lit à l'occasion de l'événement. Les dommages imputables à ces phénomènes sont avant tout liés à la vitesse du courant, renforcés par les matériaux que peuvent charrier les rivières générant de telles crues.

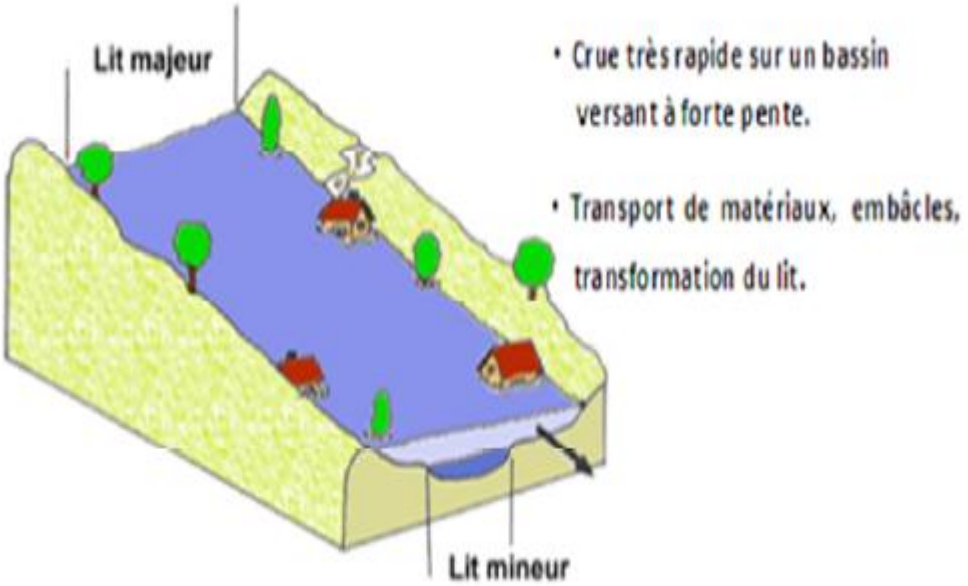


Figure I4: Inondation par crues torrentielles.

I-1-5-4-Le ruissellement pluvial en secteur urbain (rapide) :

Les inondations par ruissellement recouvrent des phénomènes physiques différents selon qu'elles se produisent en milieu rural, périurbain ou urbain. Mais ces phénomènes se caractérisent par leur soudaineté et leur courte durée, ce qui les rend peu prévisibles et difficilement maîtrisables en période de crise. Il s'agit de phénomènes très locaux, intéressant les petits bassins versants.



Figure I5 : Inondation par ruissellement en secteur urbain.

Le ruissellement pluvial urbain provoque d'importantes inondations lorsque les terrains sont plus imperméables, le tapis végétal plus faible, la pente plus forte et les précipitations plus violentes et il demeure un phénomène naturel que l'on ne peut pas empêcher. Malheureusement, l'intervention humaine est parfois source d'aggravation de ce phénomène. Ce fut le cas des inondations de Bâb El Oued du 10 novembre 2001 à Alger, des pluies exceptionnelles et intenses, sur une étendue de 40 km2, de l'ordre de 214 mm pendant 24h, ont causé 750 morts et 120 personnes disparues et plus de 10000 familles sinistrées.

I-1-5-5-La rupture d'une digue :

Dans le cas de rivières endiguées, l'inondation survient brutalement soit par débordement au-dessus de la digue, soit par rupture de la digue. Le phénomène peut être très brutal et d'autant plus dommageable que le site est proche de la digue. Le fait d'être derrière un ouvrage de protection dimensionné pour un certain niveau de crue peut donc rehausser le seuil de risque en cas de rupture ou dépassement de ce dernier.

Des secteurs habituellement hors de l'eau peuvent se trouver brutalement inondés.

Un embâcle consiste en l'obturation d'un cours d'eau par la constitution d'une digue naturelle entraînant une retenue d'eau importante. La digue peut être constituée par des éléments solides arrachés à l'amont et charriés par le cours d'eau ou par un glissement de terrain. La rupture d'embâcle peut se produire plusieurs jours après une période de pluies exceptionnelles ou l'apparition d'un mouvement de terrain.

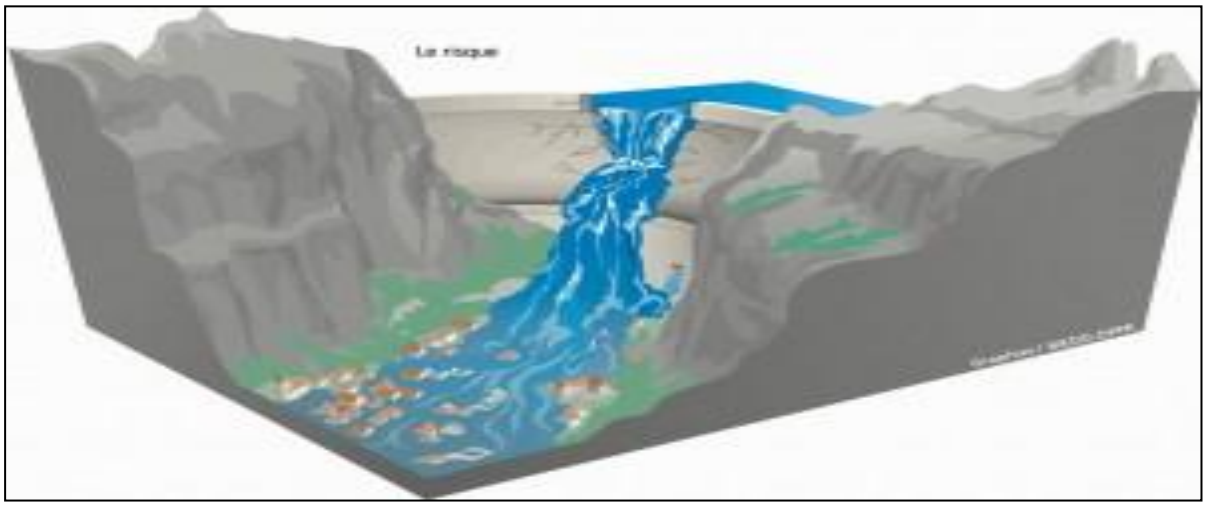


Figure I6: L'inondation par la rupture d'une digue.

I-2-rupture des barrages :

I-2-1-Les barrages à travers l'histoire :

Des cours d'eau et des rivières ont été modifiés, au cours de l'histoire de l'humanité, pour satisfaire les besoins de l'homme. Les nombreux barrages et digues construits en travers de ces cours d'eau en sont témoins. D'ailleurs ceux-ci ne cessent de se multiplier, leur effectif devient de plus en plus importants [7] passant de 5000 en 1949 pour atteindre près de 45000, répartis entre 140 pays, à la fin du vingtième siècle.

Les barrages, de par leurs rôles et leurs fonctions sont conçus à des fins [8] d'irrigation 48.6%, de la production d'énergie hydroélectrique 17.4%, d'approvisionnement en eau 12.7 %, de contrôle des crues 10%, de loisirs 5.3%, et de navigation et pisciculture 0.6%. Outre cela ils accroissent l'utilisation potentielle des cours d'eau.

Le nombre de grands barrages à travers le monde ne cesse de croître. Leurs capacités techniques et les dispositions constructives sont en évolution permanente. Les projets d'ampleur se multiplient de façon très rapide comme le barrage des Trois Gorges en Chine qui devra assurer l'irrigation des terres, la lutte contre les crues (inondations de 1998), et la production d'énergie. D'impressionnantes retenues de plusieurs milliards de mètres cubes d'eau ont pu être

réalisées grâce au génie de l'homme tel que Saad el Ali en Egypte qui retient Lac Nasser de 5000 km2et de 157 km^3 [9].

L'accroissement rapide de la population mondiale implique nécessairement une augmentation supplémentaire de la demande en eau, en irrigation et en énergie. Pour répondre à ces nouveaux besoins, d'autres projets de construction de barrages de plus grande envergure sont en cours.

I.2.2) Types des barrages :

a) Barrages poids en béton :

Les barrages rigides en béton sont construits selon les principes de la résistance des matériaux et la théorie d'élasticité. [10]

Le plus souvent ces ouvrages sont réalisés en béton conventionnel vibré.

L'emploie du BCR pourrait être envisagé dès que le volume du barrage dépasse 40 000 m3 .Le type le plus ancien des barrages rigides est le barrage poids, appelé ainsi parce qu'il oppose son poids à la poussée des eaux. Il peut être simple, de profil triangulaire, précontraint en faisant participer des Tirants d'acier à la reprise des charges, évidé lorsqu'on ménage des vides dans son profil ou mobile lorsqu'une grande partie du parement amont est constituée de vannes qui transmettent la pression de l'eau sur des piles et au radier de l'ouvrage.

Les reliefs accidentés ont permis le développement, d'ouvrages plus élancés, les barrages voûtes, dont la forme reporte les efforts dus à la pression de l'eau sur les rives. On exploite de plus en plus les avantages d'une double courbure.

Un troisième type de barrage rigide, le barrage à contreforts, fait appel aux deux principes précédents de reprise des charges. Ses éléments, soigneusement adaptés au terrain, lui permettent d'équilibrer la poussée des eaux par leur poids et par le report des charges sur le terrain en aval.

b) Barrages en remblai :

Les barrages en remblai sont d'un comportement plus souple sous la charge hydraulique. Comme leurs constructions sont en terre ou en enrochement, ces barrages peuvent atteindre des dimensions importantes grâce aux progrès de la mécanique des sols et de la géotechnique, largement utilisées dans leur conception. Ils peuvent avoir des techniques très différentes, homogène ou à noyau d'étanchéité, à masque amont et à drain aval [10].

Sur le plan de la conception du remblai, trois points méritent, cependant, de faire l'objet d'une attention particulière :

- **L'étanchéité de la fondation** : les couches d'altération de surface, souvent épaisses et hétérogènes, peuvent être très perméables (argiles à canaux).
- **La protection du remblai** : pas toujours facile à concevoir du fait de la carence des matériaux grossiers.
- **L'évacuateur de crue** : est fondamental pour un remblai ne supportant pas, la sur verse ou les affouillements et qui devient, le facteur technico-économique prépondérant dès que la surface interceptée est importante [11].

Plusieurs types d'ouvrages d'évacuation dits fusibles sont mis en place depuis peu. Leur fonction consiste en effet, à se rompre lorsque la crue devient trop importante et à limiter les conséquences du dépassement de capacité.

Les barrages sont souvent construits selon des règles très strictes et sont sujets à une surveillance et un entretien réguliers. Les 4/5 des barrages du parc mondial, selon les dernières statistiques auront franchit le cap des 50 ans d'ici peu de temps. De ce fait, ces barrages auront vu leur niveau de risque de rupture augmenter.

I-2-3-Rupture de barrage :

Une rupture de barrage est définie comme étant une destruction totale ou partielle de l'ouvrage, de ses appuis ou de ses fondations le rendant complètement inopérant.

Les constructions hydrauliques peuvent subir des accidents de rupture plus ou moins graves. Le milieu naturel étant, d'une part, difficile à déterminer, les crues et les séismes qui sont des phénomènes aléatoires rendent difficile l'appréciation de leurs intensités extrêmes possibles sur la durée de vie ouvrages.

D'autre part, les connaissances et les matériaux intervenant dans la construction des ouvrages demeurent imparfaits, malgré les progrès technologiques rapides en matière de conception et de réalisation de ces ouvrages survenus ces dernières décennies. Pour toutes ces raisons, il est facile de comprendre comment il ya eu ce nombre important de ruptures d'ouvrages et admettre aussi qu'il y en aura d'autres dans le futur.

Le nombre de ruptures de barrage depuis les premières constructions se chiffre en milliers de cas.

Les données les plus récentes indiquent que le nombre de ruptures de grands barrages est en moyenne de 1,5/an.

Ces ruptures peuvent avoir des conséquences imprévisibles qui se résument en milliers pertes de vies humaines depuis le début du siècle passé, ainsi que des pertes économiques considérables et des destructions marquantes. C'est le cas de notre étude.

I-2-4-Causes de rupture des barrages :

Le phénomène de rupture de barrage correspond à une destruction partielle ou totale d'un barrage.

Parmi toutes les causes de rupture les plus connues, on cite singulièrement celles-ci :

Techniques : défaut de fonctionnement des vannes permettant l'évacuation des eaux, vices de conception, de construction ou de matériaux, vieillissement des installations ;

Naturelles : séismes, crues exceptionnelles, glissements de terrain (soit de l'ouvrage lui-même, soit des terrains entourant la retenue et provoquant un déversement sur le barrage) ;

Humaines : insuffisance des études préalables et du contrôle d'exécution, erreurs d'exploitation, de surveillance et d'entretien, malveillance.

Une rupture de barrage entraîne la formation d'une onde de submersion se traduisant par une élévation brutale du niveau d'eau à l'aval.

I -2-5-Quelques catastrophes de rupture :

Il existe aujourd'hui environ 45000 barrages dans le monde pour la production hydroélectrique, L'alimentation en eau, ou bien la régulation des cours d'eau. Comme tout ouvrage de génie civil, les barrages peuvent connaître des défaillances de sécurité, qui peuvent aboutir à des accidents plus ou moins graves. Le taux de rupture moyen annuel est d'environ 3 pour l'ensemble des barrages construits dans le monde. Quelques catastrophes ont causé des dommages considérables et fait des centaines ou des milliers de victimes [12].

- Malpasset (Var, France) : le 2 décembre 1959, le barrage-voûte barrant la rivière Reyran cède à cause d'un défaut géologique dans le massif où s'ancrait la voûte. Une vague de 40 mètres déferle sur la vallée et atteint la ville de Fréjus. Des blocs rocheux (jusqu'à 600 t !) sont entraînés et détruisent le quartier de Malpasset. En tout, ce sont 423 victimes qui sont déplorées.

- Vajont (Italie) : le 9 octobre 1963 un glissement de terrain a mobilisé 260 Mm^3de terres et de roches dans la retenue du Vajont barrée par un barrage-voûte achevé en 1959. Deux vagues d'une hauteur prodigieuse (150–200 m) se sont engouffrées dans l'étroit ravin à l'aval du

barrage 150 mètres de haut. La masse d'eau dévaste Longarone, Pirago, Rivalta, Villanova et Faè et de nombreux petits villages aux alentours. On estime à 1909 le nombre de personnes tuées. Le barrage n'a subi que de très légers dommages.

- Le barrage de Molare (bordure sud des Alpes italiennes au nord-est de Gênes) cède en août 1935 après des pluies diluviennes. Les évacuateurs de crue furent dans l'impossibilité d'évacuer le débit de crue généré par des pluies d'une intensité exceptionnelle (environ 500 mm dans la journée du 13 août 1935), ce qui entraîna la rupture de la digue de Zerbino. Une vagued'une hauteur de 20 mètres dévasta la vallée de l'Obra, causant environ la mort de 100 personnes. aux États-Unis, à Tom Sauk dans les collines du Missouri, une retenue d'environ 5 millions de m^3 implantée à 1500 m d'altitude a cédé en décembre 2005 et a généré une onde de submersion dévastatrice (dénivellation de l'ordre de 700 m). [13].

I -2-6-Onde de submersion d'un barrage :

Lorsqu'un barrage se rompt, l'eau du réservoir s'écoule librement et une onde de crue se propage dans la vallée en aval. Souvent, une grande partie de la réserve se perd. On observe généralement des débits beaucoup plus importants que ceux des crues naturelles et une zone inondée plus étendue. La montée des eaux survient plus brutalement et il est plus difficile de s'en protéger. La violence des écoulements s'accompagne de fortes érosions, de modifications majeures à la vallée et de destructions de ses infrastructures. Dans certains cas, la rivière peut changer son lit et des modifications d'envergure peuvent affecter de façon permanente le paysage [14,15].

La présence d'un barrage dans une vallée peut lui accorder une meilleure résistance aux crues naturelles, mais elle engendre une possibilité de crue de rupture qu'il faut réussir à définir dans le cadre des mesures de sécurité et de protection des populations [14,15].

L'onde de submersion qui se produit suite à une rupture d'un barrage est déterminée par les équations des écoulements non stationnaires déduites de celles de Saint-Venant [13].

I .2.6.1) Les équations de Saint-Venant :

Les crues de rupture de barrage sont des écoulements à surface libre, non permanents, non uniformes à composantes principales horizontales.

Les équations de Saint-Venant décrivent leur passage et leur transformation à travers les différentes sections de la vallée, appelés laminage de la crue de rupture. On écrit cette formulation de Saint-Venant sous la forme d'un système de deux équations, l'une représentant la

conservation de la masse du fluide, l'autre, la conservation de sa quantité de mouvement. Ces conservations supposent une distribution verticale de pression hydrostatique de même que des vitesses verticales nulles et des accélérations verticales faibles. [14].

- **Equation de continuité :**

Les équations qui régissent les écoulements à surface libre sont connues sous le nom d'équation de Saint Venant. Elles se composent de deux équations différentielles aux dérivées partielles. L'équation de continuité (I.8), qui traduit le principe de conservation de la masse et l'équation de la quantité de mouvement (I.9), qui traduit l'équilibre entre les forces de frottements, de gravité et d'inertie.

$$\frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = ql$$

Q : Débit.

S : Section mouillée.

ql : Débit latéral par unité de longueur.

- **Equation de la quantité de mouvement**

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (QV)}{\partial x} + \mathrm{g}S\frac{\partial h}{\partial x} = \mathrm{g}S(I - J) + kqv$$

kqv: Variation de quantité de mouvement.

V : Vitesse moyenne.

h: hauteur d'eau dans la section.

g: Accélération de la pesanteur.

I : Pente du fond de la rivière.

$$i = \frac{\Delta \mathrm{H}}{L}$$

J : Pente de la surface libre de la rivière. $J = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R_h^{4/3}}$

R_h : Rayon hydraulique.

I.2.6.2) Modèle de calcul :

Selon le problème posé, les possibilités de calcul vont des calculs à la main par un modèle unidimensionnel jusqu'à la résolution par ordinateur d'un modèle bidimensionnel.

a) Calcul à la main (utilise les Abaques) :

Le débit au site du barrage, de même que son atténuation en divers points caractéristiques situés à l'aval peut être déterminé à l'aide de formules simples et de diagrammes.

Le débit maximal à l'instant de la rupture peut être calculé avec de simples formules de la géométrie de la brèche. Des brèches de forme rectangulaire sont typiques pour des barrages-poids ou des barrages en rivière, la forme triangulaire pour des barrages-voûtes, tandis que les formes trapézoèdres et paraboliques sont attribuées à tous les barrages, mais surtout aux barrages en remblai.

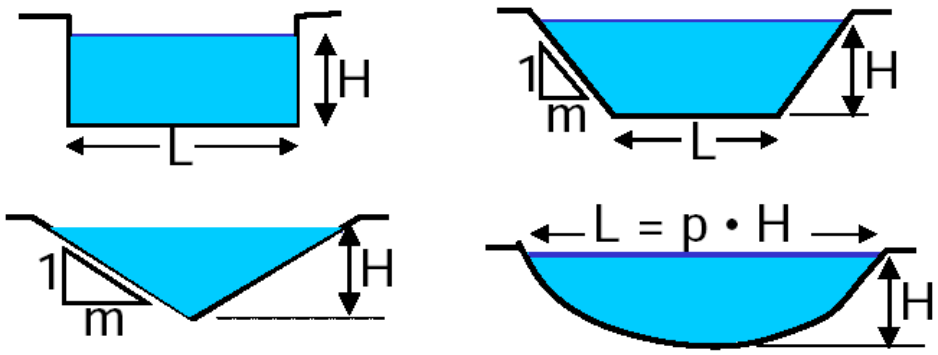


Figure I7: Les différentes formes de la brèche

Formules simples pour déterminer le débit au droit du barrage :

- Brèche rectangulaire $Q_b = 0{,}93.L.H^{3/2}$
- Brèche triangulaire $Q_b = 0{,}72.m.H^{5/2}$
- Brèche trapézoïdale $Q_b = 0{,}93.L.H^{3/2} + 0{,}72.m.H^{5/2}$
- Brèche parabolique $Q_b = 0{,}54.L.H^{3/2}$

Pour déterminer le débit maximum (si le cas d'un écoulement unidimensionnel) dans une section choisi on utilise l'abaque (Figure. I.9**) :**

$$\frac{Q_{max}}{Q_b} = f\left(\frac{x}{V_v^{1/3}}, j K^2\right)$$

x : distance entre le barrage et le point choisi situe à l'aval en (m) ;

V_v : capacité de la retenue qui doit correspondre à la cote maximale qui puisse être atteinte en (m^3).

J : la pente entre le barrage et le point choisi.

K : coefficient de Strickler globale ($m^{1/3}/s$).

Q_b : Débit au droit de barrage à l'instant de la rupture (m^3/s).

Q_{max} : Débit maximum dans la section (m^3/s).

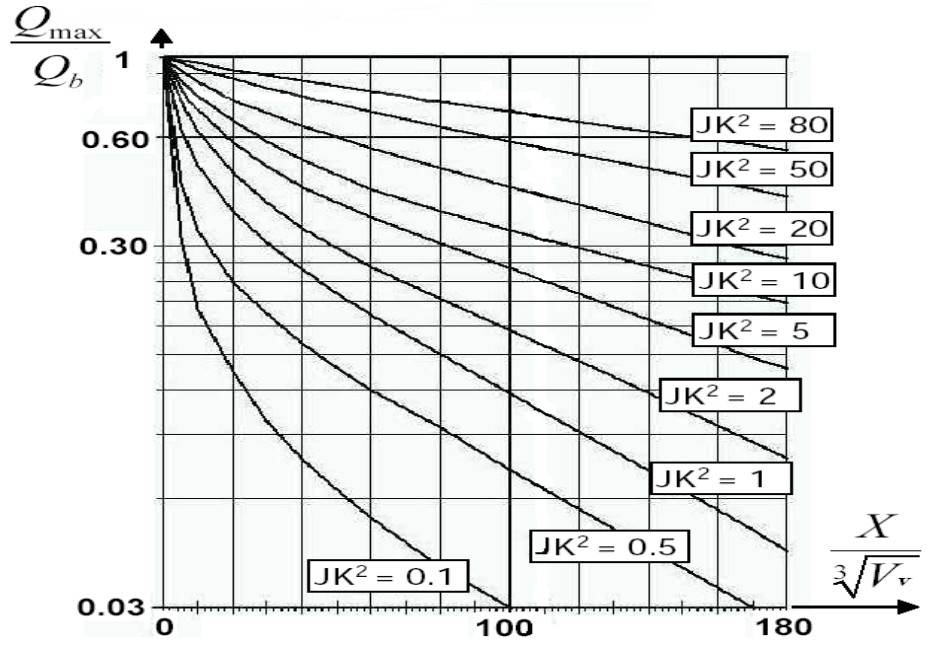


Figure I8 Abaque: $\frac{Q_{max}}{Q_b} = f\left(\frac{x}{V_v^{1/3}}, j K^2\right)$

Pour déterminer la hauteur d'eau au point x qui nous intéresse, il faut dessiner la section transversale et l'attribuer à une des 4 sections de géométrie-type. Avec les valeurs données: débit maximumQ_{max}, pente locale J et coefficient local de Strickler k ainsi qu'avec les paramètres correspondants L et m de la section, on peut déterminer la hauteur d'eau h.

Pour l'obtenir, on calcule la variable intermédiaire D_{max} avec une simple formule. La formule contient les valeurs données pour la section considérée. La formule pour la section trapézoïdale généralement utilisée [16] **:**

•pour une brèche rectangulaire : $D_{max} = \frac{Q_{max}}{K.J^{1/2}.L^{8/3}}$

•pour une brèche triangulaire : $D_{max} = \frac{Q_{max}.(1+m^2)^{1/3}}{K.J^{1/2}.m^{5/3}}$

•pour une brèche trapézoïdale : $D_{max} = \frac{Q_{max}.m^{5/3}}{K.J^{1/2}.L^{8/3}}$

•pour une brèche parabolique : $D_{max} = \frac{Q_{max}}{K.J^{1/2}.P^{16/3}}$

Avec la valeur calculée $D_{\max}$ on entre dans un deuxième abaque (Figure I.10) pour évaluer une autre variable intermédiaireV_{max}.

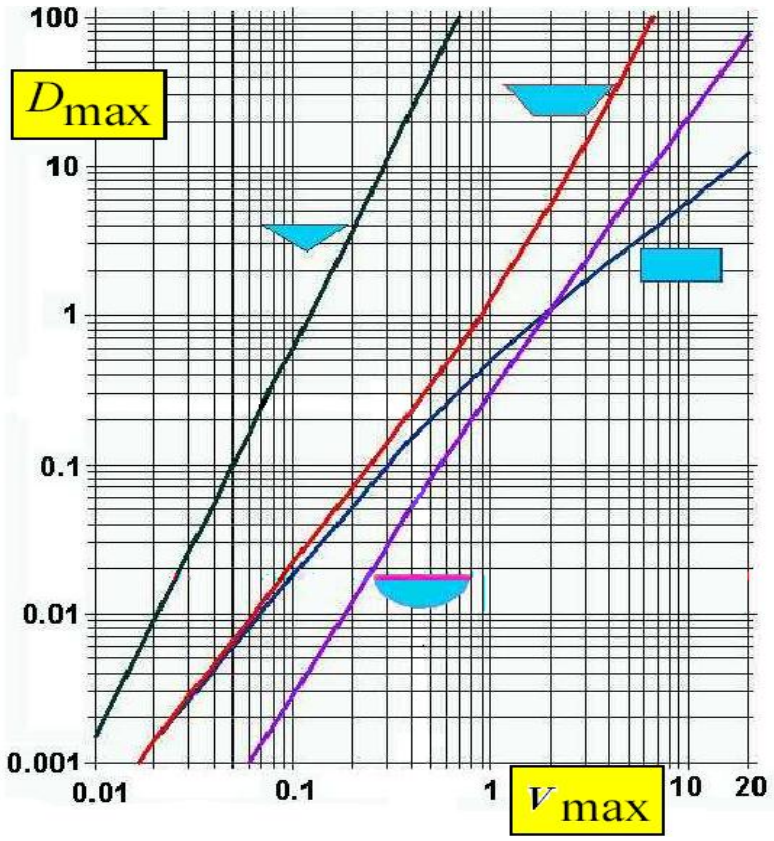


Figure I9: **Abaque : $V_{max} = f$ (D_{max} , type de brèche)**

Les 4 courbes correspondent aux 4 sections de géométrie-type. On à D_{max} sur la courbe du profil trapézoïdal on lit la valeur correspondante de U_{max} .Finalement la hauteur d'eau h estcalculée avec une simple formule qui correspond à la section géométrique.

La formule contient la variable intermédiaire V_{max}sortie de l'abaque et les paramètres de la section :

•Brèche rectangulaire h = L. V_{max}

•Brèche triangulaire h = 10.V_{max}

•Brèche trapézoïdale h =$\frac{L}{m}$.V_{max}

•Brèche parabolique h= p^2.V_{max}

Enfin, la vitesse d'écoulement V peut être calculée avec le débit maximum Q_{max}et la hauteur d'eau h. La surface de la section d'écoulement S est définie par la géométrie et la vitesse V est obtenue par la division de Q_{max} par S. maintenant nous connaissons h et V qui nous permet de calculer l'intensité de submersion.

I-3-Débit de rupture :

On peut considérer deux types différents de rupture : la rupture instantanée et la rupture progressive. La rupture instantanée est l'hypothèse la plus pessimiste, (montée de crue extrêmement rapide). La rupture d'un barrage de glissement de terrain est partielle mais permet la libération de la totalité du volume d'eau.

Nous allons détailler ci-dessous les calculs de débits à la rupture, dans les cas de rupture instantanée et progressive, Parmi les logiciels de modélisation de crue, certains utilisent des formules de rupture instantanée et d'autres de rupture progressive [16]**.**

I-3-1-Rupture instantanée ou graduelle (progressive) :

La rupture d'un barrage est rarement instantanée. Que cela soit pour un barrage en béton ou bien en remblai, il y a en généralement la formation d'une brèche dans le barrage, qui s'agrandit progressivement. La libération de l'eau se fait donc de façon graduelle. Ce processus de formation de brèche dans un barrage ou une digue a fait l'objet de plusieurs études pour en étudier la dynamique. Cela reste un processus complexe et en général, on fait l'hypothèse que le volume d'eau est lâché instantanément : on parle d'effacement du barrage.

a-Rupture instantanée :

Dans ce cas, on donne arbitrairement dès le départ une forme à la brèche. Il est ainsi possible d'obtenir des formules donnant le débit de rupture au droit du barrage en fonction de la géométrie de la brèche.

Les relations ci-dessous présentent quelques exemples de relations pour lesquelles on suppose une retenue infinie sans pente ni frottement :

- Pour une forme rectangulaire formule de Ritter

Q_{max}= 0.9² $L\ H_0^{1.5}$

Pour une forme triangulaire :

Q_{max}= 0.72 m $H_0^{2.5}$

- Pour une forme trapézoïdale :

Q_{max}= 0.93 L $H_0^{1.5}$ + 0.72 m$H_0^{2.5}$

Pour une forme parabolique :

Q_{max}= 0.54 K' H_0^2

Avec :

Q_{max}: Débit max (m^3/s)

H_0**:** Profondeur initiale d'eau en amont

L **:** Longueur en crête du barrage

m : fruit des berges de la brèche (inverse de la pente)

K' : Coefficient égal à 1 pour une rupture par submersion et 0,7 pour une rupture par érosion interne.

b- Rupture progressive

Les formules empiriques donnant le débit de pointe issu de la rupture progressive d'un barrage naturel sont pour la plupart déduites d'observations réalisées sur des barrages mesurant plus de 10m de haut.

- **Formules faisant intervenir la hauteur du barrage, H en m :**

- U. S. Bureau of Reclamation: Q_{max}= 19.1 $H^{1.35}$
- U. S. Bureau of Reclamation: Q_{max}= 4.22 $H^{2.14}$

- **Formules faisant intervenir la hauteur du barrage, H en m, et le volume de la retenue, V_v en millions de m^3 :**

- Formule de Costa :Q_{max}= *325 (H.*$\frac{Vv}{10^6}$)$^{0.42}$
- Formule de Molinaro :Q_{max} *=0.166 (*g . *H*)$^{0.5}$.*H²*. ($\frac{Vv}{H^3}$)$^{0.22}$
- Da Costa:Q_{max} *=11.9 H* $^{1.72}$. Vv$^{0.17}$(I.33)
- Costa et Schuster : Q_{max} *=1.81 (H* .Vv)$^{0.43}$

- **Formules faisant intervenir le volume du barrage V_v en millions dem^3 :**

- Costa et Schuster : Q_{max}= 672 Vv$^{0.56}$
- Le temps requis (T (s)) pour atteindre Q max est donné par cette équation

  T = 10 $\frac{Vv^{0.5}}{g^{0.5}}$ · H

Où :

Vv : Volume d'eau de la retenue (millions m$^{3)}$.

H : Hauteur d'eau de la retenue (m).

I-4- Conclusion :

À travers cette étude on a conclu que les inondations dépendent de plusieurs facteurs, toutefois la pluie c'est le facteur principal et dominant. En Algérie, la majorité des crues causant des inondations sont dues à des précipitations torrentielles ce qui engendre dans la plupart des cas des dégâts humains et matériels considérables.

Le calcul des écoulements résultants d'une crue engendrée par une rupture de barrage est fonction d'un certain nombre de paramètres hydrodynamiques.

Pour éliminer les risques de ruptures des barrages d'importants efforts sont fournis par les scientifiques et chercheurs pour mettre au point des méthodes de calcul de la propagation des crues de rupture plus fiables.