

LE BARRAGE

I- Généralité :

1- Définition :

Barrage, ouvrage artificiel disposé en travers d'un **cours d'eau** pour arrêter son écoulement, créer une **retenue** ou élever le niveau de l'eau en amont.

2- Fonctions :

Plusieurs objectifs conduisent à la construction d'un barrage : concentrer la pente naturelle d'une rivière dans un site donné, rendant ainsi possible la **production d'électricité** à partir de l'énergie potentielle de l'eau (énergie hydroélectrique) ; stocker, puis amener l'eau des rivières vers des **canaux** et des **systèmes d'irrigation** ; augmenter la profondeur des rivières pour la **navigation** ; **contrôler le débit** de l'eau pendant les périodes de sécheresse et de **crue** ; **créer des lacs artificiels** destinés aux loisirs.

3- Historique :

Le **premier** barrage connu a été construit en **Égypte**, vers **4000 av. J.-C.**, pour faire dévier le **Nil** afin de créer un site pour la ville de **Memphis**.

De nombreux barrages en terre ont été bâtis durant l'**Antiquité** (notamment par les **Babyloniens**), pour former des systèmes d'irrigation élaborés, qui ont permis de rendre fertiles des régions jusque-là improductives et d'alimenter en eau d'importantes populations.

Par la suite, l'homme a eu l'idée d'utiliser l'énergie des cours d'eau pour faire tourner des **moulins** et des machines à eau. En raison des ravages provoqués par les inondations périodiques, peu de barrages vieux de plus d'**un siècle** sont encore en fonction.

La construction de barrages durables, d'une hauteur et d'une réserve plus conséquentes, est devenue possible grâce à l'usage du ciment, du béton et de la mise au point d'engins de terrassement et de transport de matériaux.

Dernièrement, de nouveaux types de barrages sont apparus, comme celui de l'**usine marémotrice** de la **Rance** en France, qui retient l'eau de mer amenée par la marée.

Aujourd'hui, il existe dans le monde plus de **35 000 barrages** d'une hauteur supérieure à **15 m**, et plus de **1 500 grands barrages** sont en construction.

II- Conception :

Les conséquences d'une rupture de barrage étant très graves, ces édifices doivent être conçus minutieusement avec d'importantes marges de sécurité, puis surveillés en permanence pendant et après leur réalisation.

1- Sécurité :

La conception d'un barrage doit tenir compte des **caractéristiques hydrologiques, topographiques et géologiques** du milieu où il sera construit.

On doit, **par exemple**, considérer les apports moyens en eau et leurs fluctuations saisonnières ; les caractéristiques topographiques concernent essentiellement l'adaptation du barrage au **relief** ; on doit également tenir compte des risques de **séisme** : des analyses rigoureuses sont effectuées sur les **fondations naturelles** et la **cuvette** à remplir, qui doivent être étanches et avoir la résistance nécessaire pour supporter le poids du barrage, ainsi que celui de l'eau.

Tout défaut d'étanchéité, à l'intérieur ou sous un barrage, doit être prévenu afin d'éviter des pertes d'eau, mais surtout pour empêcher l'affouillement (**érosion**) de la structure elle-même.

Les géologues mesurent également la profondeur à laquelle se trouve le sol rocheux de fondation, sous la couche alluviale.

Un barrage doit être construit de façon à résister aux forces auxquelles il est soumis : la **gravité** — qui tend à provoquer son affaissement sous l'effet de son propre poids —, la **pression hydrostatique** exercée par la retenue d'eau sur toute la hauteur de l'édifice et sur ses fondations (**sous-pression**), les **pressions interstitielles** au sein du massif, les **tensions** et les **contraintes des matériaux** constituant l'ouvrage.

La sécurité concerne également l'**appareillage mécanique** ou **électrique** qui permet de réguler le niveau de la retenue, de réaliser la **dérivation de l'eau** et l'**évacuation des crues**, d'amener éventuellement l'eau vers une **unité de production hydroélectrique**, ou encore le passage des bateaux (**écluse**).

2- Autres critères :

L'objectif **premier** d'un barrage étant la production d'électricité (hydroélectricité), la hauteur de l'ouvrage est cruciale, car la puissance fournie augmente avec la hauteur de l'eau retenue.

Pour les barrages chargés de contrôler les inondations, le volume de la réserve est la considération première. La hauteur d'un barrage est essentiellement limitée par la topographie du site, mais peut être affectée par d'autres facteurs.

Des facteurs limitatifs peuvent être pris en compte, comme les **répercussions écologiques** et l'**interférence de l'ouvrage** avec les autoroutes et les voies ferrées.

Il est généralement préférable que le lac de retenue formé par un barrage soit très étendu et peu élevé. Dans le cas du **lac Kariba**, ce lac est situé à **125 m** au-dessus du lit du **Zambèze**.

Rempli entièrement **en 1963**, il a une longueur de **282 km**, couvre **5 180 km²**, et contient environ **163 milliards de m³ d'eau**.

III- Construction :

La construction d'un barrage nécessite la mise à sec et la **préparation des fondations**. L'assèchement est réalisé au moyen d'un ou de **plusieurs batardeaux, digues** ou barrages provisoires, généralement réalisés en enrochements ou constitués d'un barrage-voûte de faibles dimensions.

Les aménagements sont érigés en amont, et parfois de chaque côté de l'emplacement de l'ouvrage. Ils détournent la rivière pendant la construction au moyen de conduites, de **galeries** ou de **canaux** de dérivation. Les **tunnels** ainsi formés sont souvent transformés et réutilisés après l'achèvement de l'ouvrage.

Si les conditions topographiques empêchent la réalisation de canaux de dérivation, un barrage peut être construit en **deux étapes**. On établit alors un batardeau sur la moitié de la largeur de la rivière, pendant la construction de la partie basse du barrage.

Ce batardeau est ensuite enlevé et un second est établi autour de la partie opposée du site. L'élaboration de grands barrages peut s'étendre sur une période dépassant la **dizaine d'années**. La possibilité d'inondations importantes pendant la période de détournement est un risque à envisager.

Le gigantesque projet hydroélectrique chinois des « **Trois Gorges du long fleuve** », dont la construction sur le **Yang-tseu-kiang** s'est achevée **en 2006**, a donné naissance au plus grand barrage du monde (**2,3 km de long, 185 m de haut**, et la formation en amont d'un lac artificiel de plus de **600 km de long**).

Si le barrage des Trois-Gorges devrait permettre d'éviter les inondations et d'augmenter considérablement la production d'énergie hydroélectrique chinoise lors de sa mise en service **en 2009** (environ **85 milliards de kWh par an**, soit la capacité de production électrique annuelle de **18 centrales nucléaires**), sa construction implique l'évacuation et le relogement d'environ **2 millions de personnes** habitant dans la zone inondable.

De plus, la construction de l'ouvrage a également des répercussions écologiques (érosion accrue des berges, déséquilibre de l'écosystème de la région, etc.) et culturelles (engloutissement de sites archéologiques, etc.).

1- Les bassins de rétention :

L'eau qui retourne à la rivière en aval du barrage ne doit pas avoir la possibilité de creuser ou d'éroder ni le lit de la rivière, ni d'affecter la fondation du barrage par effet de cavitation.

Ainsi, des plans d'eau, appelés **bassins de rétention**, sont prévus pour réduire la vitesse de l'eau, et donc son **énergie cinétique**. Ces bassins constituent un élément majeur du barrage.

Le **bassin en tablier** et le **bassin à chocs** sont des structures courantes, permettant de diminuer l'énergie élevée de la chute de l'eau.

Dans le bassin-tablier, la vitesse importante du courant peu profond issu du barrage est transformée en courant profond de faible vitesse, qui se décharge le long d'un tablier en béton horizontal ou en pente, s'étendant en aval à partir de la base du barrage.

Dans le type de construction avec bassin à chocs, l'extrémité du barrage est formée de manière à détourner le **débit** important vers le haut, loin du **lit de la rivière**. La « secousse » résultante limite l'énergie destructrice de l'eau.

2- Evacuateur des crues ou déversoirs :

Lorsque le niveau normal du **réservoir de retenue** est atteint, des **déversoirs** sont prévus pour garantir le non-dépassement de ce niveau. Ils doivent laisser passer sans dommage les plus grosses crues.

Ainsi, on les appelle parfois des évacuateurs de crues. Un déversoir est donc nécessaire pour évacuer le surplus du débit sans risquer d'endommager le barrage, la **centrale électrique** ou le lit de la rivière en aval du barrage.

Le type le plus courant de déversoir est le **dégorgeoir**. Pour permettre une utilisation maximale du volume de la réserve, des **vannes mobiles** sont parfois installées au-dessus de la crête (sommet du barrage), afin de réguler le surplus.

Dans les barrages, comme celui du **Mississippi**, les déversoirs de crues ont une telle importance que le dégorgeoir occupe la largeur entière du barrage, et la structure globale apparaît comme une succession de piles verticales, supportant des **vannes mobiles**.

La **glissière**, autre type de dégorgeoir, est un large **chenal** à pente douce en béton, construit généralement aux extrémités d'un barrage de remblai de hauteur moyenne.

Le type de déversoir dépend parfois de la topographie du site sur lequel le barrage est construit. Dans les vallées étroites, **par exemple**, les parois des barrages sont généralement trop escarpées pour qu'on puisse y installer des déversoirs de type dégorgeoir.

Le barrage **Hoover**, sur le fleuve **Colorado**, aux États-Unis, est équipé d'un déversoir en forme de puits. Les puits déversoirs sont adaptés aux barrages dans des zones de drainage restreint, où les

inondations sont rarissimes. Dans ces déversoirs, un puits vertical en amont du barrage évacue l'eau du réservoir lorsque le niveau est trop haut. Le puits vertical est raccordé à un conduit horizontal, en travers du barrage, qui mène à la rivière située plus bas.

Des galeries et des puits de drainage sont creusés dans la masse du barrage pour collecter et évacuer les eaux qui pourraient s'infiltrer dans le corps de l'ouvrage et diminuer ainsi la sous-pression.

Les galeries de drainage (réparties sur plusieurs niveaux) acheminent les eaux recueillies par les puits de drainage jusqu'aux rives et dans les profondeurs de la roche d'assise.

3- Prises d'eau :

Outre les déversoirs, des ouvrages d'évacuation sont nécessaires pour extraire l'eau du réservoir en continu. Cette eau est renvoyée à la rivière en aval du barrage ou fournit de l'énergie hydroélectrique *via* des **turbines** ; on peut également l'utiliser pour irriguer ou alimenter les grandes **villes**.

L'évacuation des barrages est réalisée au moyen de **tuyaux** et de **galeries**, avec des canaux placés à côté du niveau minimal du réservoir. De tels canaux sont pourvus de portes et de vannes permettant de réguler le débit.

4- Vidanges de fond :

Les barrages sont généralement équipés d'un ouvrage de vidange, construit au fond de la retenue d'eau. Celui-ci doit pouvoir vider la retenue en **huit** ou **dix jours** en cas de danger, ou lors du contrôle, de l'entretien, ou de la réparation du barrage et de ses constructions annexes.

Lorsque le barrage sert à produire de l'électricité, l'usine hydroélectrique fait partie des ouvrages annexes. Elle est le plus souvent séparée du barrage ; parfois, elle est intégrée dans le corps de la construction.

5- Surveillance de l'ouvrage :

On doit repérer les fuites et les suintements éventuels, ainsi que les déformations et les fissures : il s'agit de l'**auscultation** de l'ouvrage, qui s'effectue après l'achèvement des travaux et parfois même au cours de la construction.

On utilise des **procédés topographiques** pour déterminer les zones de déplacement superficielles de l'ouvrage ; on mesure les déplacements internes au moyen de **tassomètres** et de **clinomètres** pour

les barrages en matériaux meubles, et par **pendule** pour les ouvrages en béton ; on évalue les déformations, les débits de fuite, les **pressions interstitielles**, les **contraintes**.

IV- Typologie des barrages :

1- La Barrage-poids :

Le barrage-poids moderne est une solide structure en béton à **profil triangulaire**, épaissie à sa base et affinée vers le haut. Vu du dessus, il est rectiligne ou légèrement incurvé, ce qui permet de réduire son volume, et donc son prix.

Le côté en amont est pratiquement vertical. La stabilité et la résistance à la pression d'un tel barrage sont assurées par son propre poids, qui l'empêche de basculer ou de glisser sur sa base.

2- Barrage de Grand Coulée : (Washington, États-Unis)

Il s'agit du type de barrage le plus stable et qui nécessite le moins de maintenance. La hauteur d'un barrage-poids est généralement restreinte par le type de fondation.

En raison de leur poids, les édifices de plus de **20 m** de haut sont souvent construits sur des fondations rocheuses, et non sur un **sol alluvial**.

Achévé en **1961**, le barrage de **Grande Dixence**, en **Suisse**, a une hauteur de **285 m** : c'est l'un des plus hauts barrages au monde. Il s'agit d'un **barrage-poids** en béton de près de **700 m** de longueur, bâti sur des fondations rocheuses très stables.

On peut également citer le barrage de **Grand Coulée**, terminé en **1942**, sur le fleuve **Columbia**, dans l'État de Washington aux États-Unis. Il a une hauteur de **168 m**, une longueur de **1 592 m** et est constitué d'environ **8 millions de m³** de béton.

3- Le Barrage-voûte :

Le barrage-voûte emploie les mêmes principes de structure que le **pont en arche**. La **voûte** s'incurve vers le courant d'eau et la charge d'eau principale est répartie le long du barrage, mais surtout vers les parois latérales de la vallée étroite ou du **canyon** dans lesquels de tels barrages sont construits.

À la courbure en plan s'ajoute parfois une courbure verticale, le barrage étant alors appelé **barrage-coupole**. La courbure des barrages-voûtes était initialement circulaire, mais les **outils informatiques**

(**modélisation mathématique**) ont permis de concevoir de nouvelles formes, comme les **spirales logarithmiques**, proposées par les ingénieurs de l'**EDF**.

Dans des conditions favorables, les **barrages-voûtes** contiennent moins de béton que les **barrages-poids** et leur stabilité est obtenue plutôt par leur forme que par leur masse propre.

Relativement peu de sites conviennent à ce type de barrage. En effet, ils ne sont adaptés qu'à des vallées étroites. Ce sont les ouvrages les plus sûrs lorsque les points d'appui sont immuables.

Le premier barrage-voûte aurait été érigé en **Iran**, à la fin du **XIII^e siècle**. Il s'agit du barrage de **Kebar**, haut de **45 m** et large de **55 m**.

Le barrage de **Inguri**, construit **en 1980** en **Géorgie**, constitue l'un des plus hauts barrages-voûtes au monde (**272 m** de haut, **680 m** de large).

Le type combiné poids et voûte le plus haut est le barrage **Hoover**, situé sur le fleuve **Colorado**, le long de la frontière de l'**Arizona** et du **Nevada**. Achevé **en 1936**, il a une hauteur de **210 m** et une longueur d'environ **400 m**.

Le **lac Mead**, soutenu par le barrage Hoover, est l'un des plus grands lacs artificiels du monde, avec une superficie de **694 km²** et une longueur de littoral de **885 km**. En **France**, on peut citer le barrage de **Tignes**, sur l'**Isère**.

Il existe une solution intéressante pour les vallées larges, que l'on doit à l'ingénieur **A. Coyne** : le **barrage à voûtes multiples**.

Il s'agit, au départ, d'une simple variante du **barrage à contreforts** minces, dans laquelle on a substitué, à la paroi amont, une paroi constituée de voûtes cylindriques en béton armé, de portée réduite.

Par exemple, le barrage canadien **Daniel-Johnson (Manicouagan V)**, construit **en 1968** sur le **Manicouagan**, comprend **12 voûtes** de **75 m** de portée et une voûte centrale de **120 m** d'ouverture. D'une hauteur de **285 m**, sa largeur en crête atteint **1 314 m**.

4- Le Barrage à contreforts :

Un **barrage à contreforts** comporte un voile d'étanchéité s'appuyant sur des piliers régulièrement espacés. Il est formé d'un mur amont, ou plate-forme, appelé masque plan amont, qui supporte l'eau retenue.

L'édifice est équipé d'une série de renforts, ou murs triangulaires verticaux, construits pour supporter la plate-forme et redistribuer la poussée de l'eau vers les fondations.

Le **voile d'étanchéité** est généralement très incliné vers l'aval, pour que le poids de l'eau plaque le barrage contre le terrain qui le supporte. Le poids de l'eau retenue par le barrage permet ainsi de compenser sa relative légèreté.

Ces barrages sont parfois appelés barrage-poids creux, car ils requièrent seulement de 35 à 50% du béton utilisé dans un barrage-poids de taille comparable.

Le type de barrage à **dalles planes** ou à **voûtes multiples** est un **exemple** courant de barrage à contreforts, comme le barrage de **Girotte**, dans les **Alpes**.

Dans un barrage à contreforts en dalles planes, le mur qui supporte la charge de l'eau est un rideau étanche de dalles en béton armé, encerclant l'espace entre les renforts.

Malgré une économie considérable sur les matériaux utilisés, les barrages à contreforts ne sont pas forcément moins coûteux que le barrage-poids.

Le coût des ouvrages à forme complexe et l'installation en acier pour les consolider compensent les économies sur le béton.

De tels barrages sont parfois nécessaires dans des sites dont le terrain d'appui est médiocre, ou lorsque la vallée est trop large pour permettre la construction d'un barrage-voûte.

Le premier barrage à contreforts en béton armé a été construit à **Theresa**, dans l'État de **New York**, en 1903. Le barrage **Alcantara II**, construit en 1969 en **Espagne**, est un barrage à contreforts de 128 m de hauteur et de 570 m de longueur.

5- Le Barrage mobile :

Également appelé **barrage à niveau constant**, le barrage mobile a une hauteur limitée ; il est généralement édifié dans la partie aval du cours des rivières, de préférence à l'endroit où la pente est la plus faible.

Il est muni en des endroits d'une **bouchure** — partie mobile permettant de réguler le niveau en amont — comportant des **vannes métalliques** ; la partie fixe correspond à un **radier (revêtement)** étanche.

En réglant l'ouverture des vannes, on peut maintenir un niveau d'eau constant à l'amont. On peut utiliser ce type de barrage dans l'aménagement des **estuaires** et des **deltas**.

6- Le Barrage en terre :

Il existe des **barrages en terre** homogène, en général constitués d'un massif en terre compactée, et des barrages à profil zoné.

Les barrages en terre homogène — **levées** et **digues** — sont les structures les plus couramment utilisées pour retenir l'eau. Ils sont construits avec des matériaux naturels collectés à proximité du barrage (terre argileuse, roche, pierre).

Cette diversité de matériaux explique les formes diverses et la composition variée de ces ouvrages. Les matériaux ne sont pas simplement déversés, mais sont également arrosés, puis tassés et compactés à l'aide de gros engins tractés à rouleaux vibrants.

Le développement de grands engins de terrassement a rendu leur construction particulièrement économique par rapport aux barrages en béton.

En raison de la stabilité de la plupart des matériaux terreux agglomérés en pente douce, il est nécessaire que la base de ce type de barrage soit de **quatre à sept fois** plus large que sa hauteur.

Le **suintement** est inversement proportionnel à la distance que l'eau doit parcourir. Le large renfort de terre est donc bien adapté pour des sites aux fondations perméables.

Les barrages en terre conviennent également lorsque la roche en place n'a pas les qualités requises pour des fondations de barrages en béton, ou lorsqu'elle est recouverte d'une épaisse couche d'alluvions qu'il serait trop coûteux de retirer.

Par exemple, le haut barrage d'**Assouan** sur le **Nil** a une hauteur de **111 m** et une longueur de **3 600 m** ; il est essentiellement construit à base de sable.

7- Le Barrage en enrochements :

Le **barrage en enrochements** peut être constitué uniquement d'un matériau imperméable, tel que l'**argile**. Il peut également avoir un noyau central imperméable, vertical ou incliné, compris entre des massifs d'appui (à l'aval) ou de protection (à l'amont).

Ce massif peut être fait de matériaux plus perméables, tels que le gravier sableux. Sur la face en contact avec l'eau, on dispose parfois un tapis d'étanchéité souple, ou « **masque** », réalisé avec des produits bitumineux, qui s'adapte bien à la surface à couvrir et à un éventuel tassement du barrage.

Le noyau peut s'étendre bien plus bas que le niveau de la fondation du barrage principal, dans le but de réduire le suintement.

Le barrage de **Tarbela**, achevé **en 1976** sur l'**Indus**, au **Pakistan**, a une hauteur de **148 m** et une longueur de **5 043 m**.

Il contient **1 206 millions de m³** de terre et de remblai dans le barrage principal (**3 fois** le barrage d'Assouan), le plus grand volume jamais utilisé dans un barrage en enrochements.

Le projet, y compris les installations pour l'énergie hydroélectrique, a coûté plus de **14 milliards de dollars**.