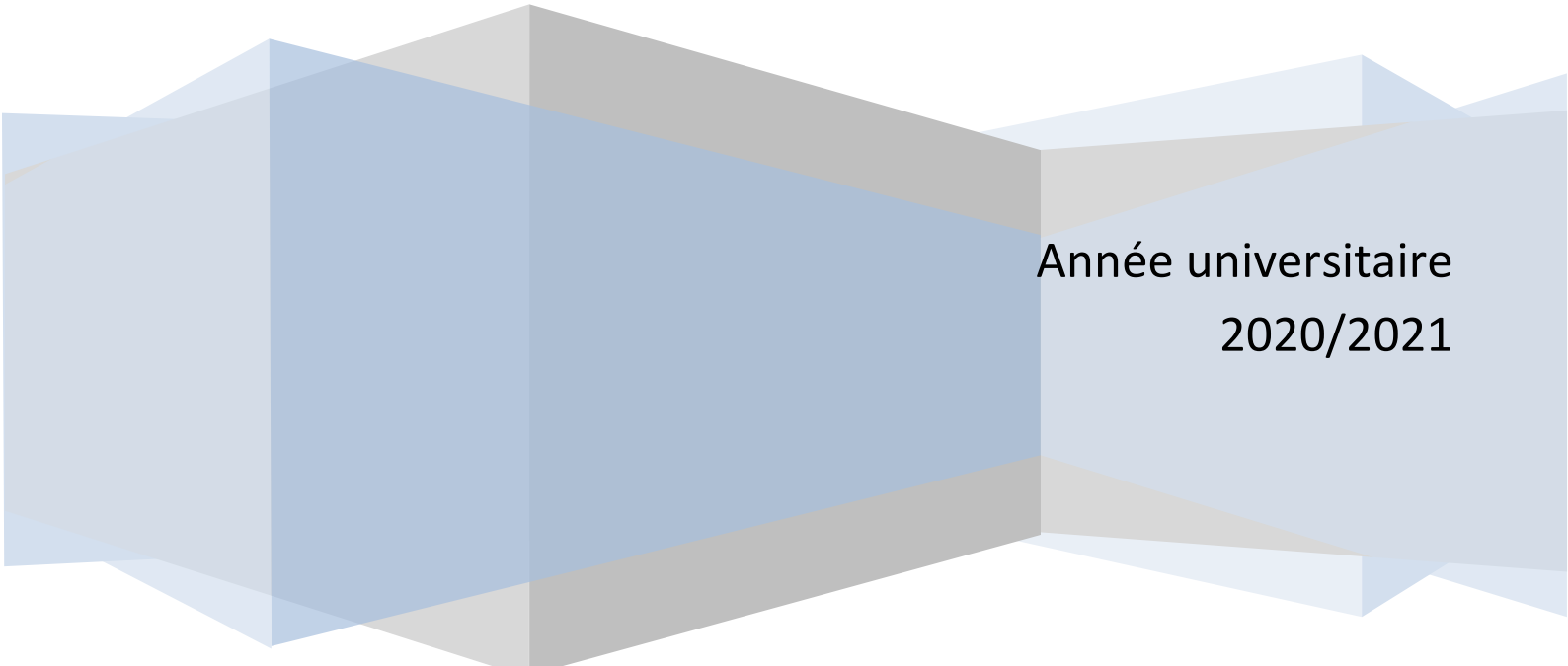


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOSTAFA BEN BOULAID-BATNA
FACULTE DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DE GEOLOGIE

COURS DE BARRAGES AU PROFIT DES ETUDIANTS DE MASTER 2 EN HYDROGEOLOGIE



Année universitaire
2020/2021

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION GENERALE
2. HISTOIRE DES BARRAGES
3. QUELQUES EXEMPLES DE GRANDS BARRAGES DANS LE MONDE
4. ELEMENTS DE CALCUL
5. TYPES DE BARRAGES
- 5.1 LES BARRAGES EN REMBLAIS
- 5.2 LES BARRAGES EN BETON
6. ELEMENTS CONSTITUTIFS DES BARRAGES
7. IMPACT DES BARRAGES
8. USAGES DES EAUX DES BARRAGES

1. INTRODUCTION GENERALE

Un **barrage** est un ouvrage d'art construit en travers d'un cours d'eau et destiné à en réguler le débit et/ou à stocker de l'eau, notamment pour le contrôle des crues, l'irrigation, l'industrie, l'hydroélectricité, la pisciculture, une réserve d'eau potable, etc.. Dans la nature, il existe aussi des barrages de castors.

2. HISTOIRE DES BARRAGES

Les barrages existent probablement depuis la préhistoire, notamment en Égypte (réserve d'eau potable, d'irrigation, viviers, piscicultures). Un barrage d'une longueur de 115 mètres fut construit dans la vallée de Garawi en Égypte vers 3000 av. J.-C. Et, selon N. Schnitter-Reinhardt, le plus ancien barrage poids connu est situé près de Jawa, en Jordanie, vers la fin du IV^e millénaire av. J.-C. Hérodote cite un barrage construit par le pharaon Ménès, fondateur de la première dynastie, à Koshe ish, pour alimenter la ville de Memphis.

En l'an 560, l'historien byzantin Procope de Césarée mentionne un barrage-voûte en amont, en maçonnerie (barrage de Daras).

Les Romains en construisirent, notamment en Espagne, dans la région de Mérida, avec les barrages d'Almonacid (hauteur 34 m), de Proserpine (hauteur 22 m) et de Cornalvo (hauteur 28 m), ou encore, au Portugal, avec le barrage de Belas.

Mais c'est au Moyen Âge qu'ils se sont fortement développés en Europe, notamment pour alimenter les moulins à eau. Il semble qu'ils aient parfois pu s'appuyer sur des sédiments accumulés en amont d'embâcles naturels, ou sur les lieux de barrages de castors dont la toponymie conserve des traces (par exemple, en France, les mots *bief* et *bièvre*, ancien nom de castor, qui pourraient être liés, ou des noms de communes tels que Beuvry, un des anciens noms de castor, ou Labeuvrière, la «castorière»). Les cartes anciennes, de Cassini par exemple, portent témoignage des nombreux barrages de petites rivières faits par les paysans ou les moines locaux, pour conserver l'eau et y élever du poisson ou pour le rouissage du lin ou du chanvre.

Au XVI^e siècle, les Espagnols réalisèrent de grands barrages en maçonnerie. Le plus remarquable est celui de Tibi, à 18 km au nord d'Alicante, construit en 1594. Haut de 45 m, il est encore utilisé.

800 000 barrages ont été construits au cours du XX^e siècle, dont 52 En France, à l'est de Toulouse, le barrage de Saint-Ferréol est construit entre 1667 et 1675 pour les

besoins de l'alimentation en eau du canal royal du Languedoc (canal dénommé de nos jours «canal du Midi»). Avec une hauteur de 35 m depuis les fondations et une longueur de couronnement de 786 m, les dimensions de ce barrage en font le plus grand au monde à son époque.

Le premier barrage-voûte moderne fut construit par François Zola, père d'Émile Zola, entre 1843 et 1859 près d'Aix-en-Provence.

3. QUELQUES EXEMPLES DE GRANDS BARRAGES DANS LE MONDE

Considérés comme des grands barrages, la Chine (46 %), les États-Unis (14 %) et l'Inde (9 %) totalisant près des trois quarts de ces grands barrages.

- ✓ États-Unis : barrage Hoover (1931-1935) ;
- ✓ Égypte : barrages d'Assouan sur le Nil ;
- ✓ République démocratique du Congo : barrages d'Inga sur le Congo ;
- ✓ Brésil & Paraguay : barrage d'Itaipu sur le Paraná, sur la frontière ;
- ✓ Québec : centrale Robert-Bourassa ;
- ✓ Angola : barrage de Kapanda sur le Cuanza ;
- ✓ République populaire de Chine : barrage des Trois-Gorges ;
- ✓ Suisse le barrage de la Grande-Dixence ;
- ✓ Turquie : barrage Atatürk sur l'Euphrate ;
- ✓ Québec : barrage Daniel-Johnson sur la Manicouagan ;
- ✓ Venezuela : barrage de Guri ;
- ✓ République populaire de Chine : barrage de Jinping I (305 m), le plus haut du monde.

4. ELEMENTS DE CALCUL

Un barrage est soumis à une force horizontale liée à la pression exercée par l'eau sur sa surface immergée. La pression hydrostatique en chaque point est fonction de la hauteur d'eau au-dessus de ce point.

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

où

- ✓ ρ est la masse volumique de l'eau, 1 000 kg/m³ ;
- ✓ g est la pesanteur, environ 9,81 m/s² ;
- ✓ h est la hauteur d'eau au-dessus du point considéré.

La force résultante est l'intégrale des pressions hydrostatiques s'exerçant sur la surface immergée du barrage.

$$F = \int_S p ds$$

Cette formule ne s'intègre pas facilement pour les barrages à géométrie complexe. En revanche, une expression analytique peut être obtenue pour un élément de barrage poids (un « plot », de largeur et de hauteur immergée constante) :

$$F = \rho g L \int_0^H h dh$$

d'où :

$$F = \rho g L \frac{H^2}{2}$$

La poussée exercée par l'eau sur un barrage augmente avec le carré de la hauteur de la retenue (ce qui est vrai pour tout type de barrage). Elle ne dépend pas du volume d'eau stocké dans la retenue. Le point d'application de cette force se situe au barycentre du diagramme des pressions, soit généralement au tiers de la hauteur de retenue.

Les calculs ci-dessus ne concernent que les barrages en matériaux rigides (béton, maçonnerie...), quel que soit leur type (poids, voûte, contreforts...). En revanche l'intégration *par plots* n'intéresse que les barrages de type *poids* ou *contreforts*, qui sont régis par la statique du solide. Pour les voûtes, les efforts étant reportés latéralement par des mécanismes de flexion et de compression, un calcul par plots ne prenant en compte que les forces verticales n'est pas suffisant et il est nécessaire de recourir à la résistance des matériaux (déformation élastique) et, souvent, à des méthodes numériques avancées (méthode des éléments finis linéaires voire non-linéaires).

En revanche, en ce qui concerne les barrages en matériaux meubles (sol, terre, enrochements, remblais...), les calculs sont apparentés à des calculs de stabilité de pente des talus qui doivent prendre en compte l'état saturé ou non de ces remblais.

5. TYPES DE BARRAGES

On distingue donc, de façon schématique, divers types de barrages :

Suivant leur **fonction**, sachant qu'un même ouvrage sert le plus souvent à plusieurs fonctions : - Accumulation d'eau restituée pour la production d'énergie, l'alimentation en eau ou l'irrigation ; - Régulation d'un cours d'eau pour la navigation ou la gestion des crues et des étiages.

Suivant leurs **caractéristiques géométriques** : - Barrages réservoirs, de grande hauteur ; - Barrages au fil de l'eau, sur le cours d'une rivière.

Suivant leur **conception** : - Barrages poids, pour lesquels, comme leur nom l'indique, c'est la masse de l'ouvrage qui s'oppose à la pression de l'eau ; - Barrages voutes, pour lesquels la pression de l'eau est transmise par l'ouvrage sur les parois latérales.

Un barrage comporte toujours divers **composants** : - le barrage proprement dit, qui retient l'eau, avec un masque d'étanchéité ; - un évacuateur de crues, évitant un excès d'eau dans le réservoir ; - des dispositifs de contrôle et de surveillance.

Pour les barrages réservoirs : - une prise d'eau, pour envoyer l'eau vers son utilisation ; - une vanne de fond, pour permettre la vidange du réservoir.

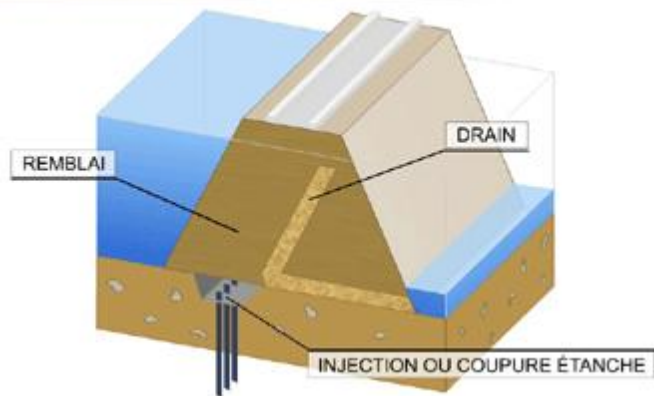
Pour les barrages au fil de l'eau : - des vannes de régulation du débit ; souvent des écluses et des passes à poissons.

5.1 LES BARRAGES EN REMBLAIS

Les barrages en terre présentent notamment l'avantage de pouvoir reposer sur des fondations de médiocre qualité, c'est-à-dire compressibles. Tous les barrages en terre peuvent être considérés comme des barrages-poids, c'est-à-dire qu'ils résistent à la pression de l'eau par leur propre poids. C'est ce qui explique leur section de forme trapézoïdale. On en trouve de trois types : - homogène, - à noyau, - à masque.

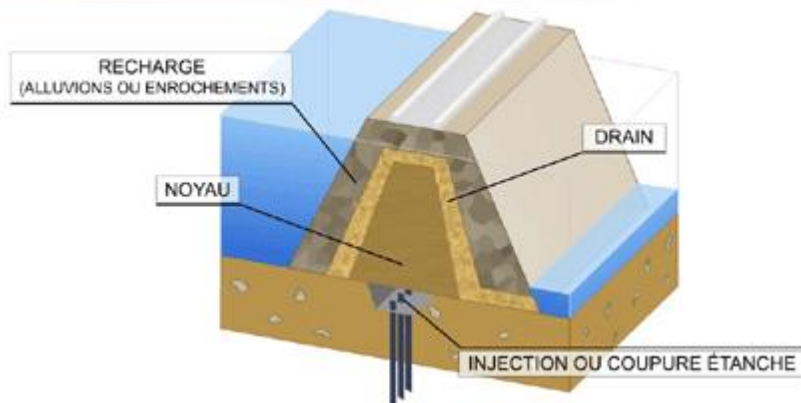
- **Barrage homogène** Un barrage en terre est dit homogène lorsqu'il est constitué d'un même matériau à dominante argileuse, relativement imperméable. Selon les ouvrages, la pente des talus sera plus ou moins forte, en fonction notamment des caractéristiques du matériau employé.

BARRAGE HOMOGÈNE



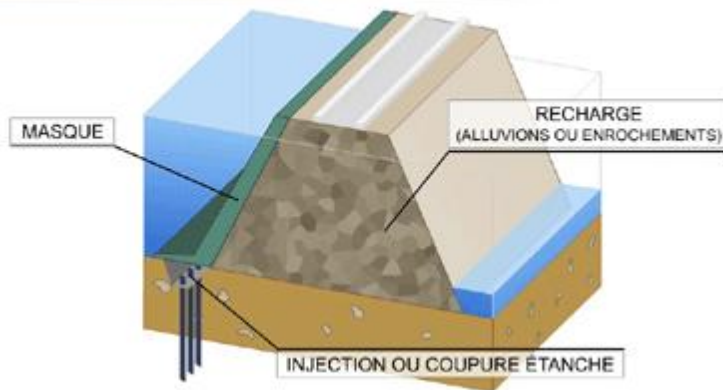
- **Barrage à noyau** Dans un barrage à noyau, les fonctions de résistance et d'étanchéité sont en quelque sorte séparées. La résistance est assurée par les recharges placées sur les flancs de l'ouvrage, et l'imperméabilité par le noyau central. Le noyau au centre de l'ouvrage va être constitué de la terre la plus imperméable possible. Il sera tenu de part et d'autre par des recharges composées, selon les cas, de terre plus perméable, d'alluvions ou d'enrochements.

BARRAGE A NOYAU



- **Barrage à masque** Il peut aussi exister des sites où aucune terre n'est disponible, mais seulement des enrochements. Ceux-ci sont alors employés pour réaliser le corps du barrage, tandis que l'étanchéité est assurée par un masque de béton, ciment ou béton bitumineux posé sur l'ouvrage lui-même, côté amont.

BARRAGE A MASQUE



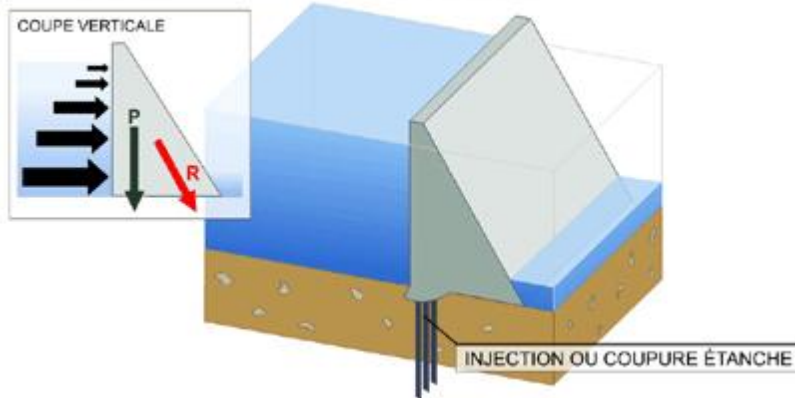
5.2 LES BARRAGES EN BETON

L'avantage du béton est notamment d'autoriser l'édification d'ouvrages plus résistants. Il en existe deux principaux types : - les barrages poids, - les barrages voûte. S'y ajoutent les barrages à contrefort et à voûtes multiples, variantes des deux premiers. • **Barrage poids** Comme son nom l'indique, ce type de barrage oppose son poids à l'eau pour la retenir. En fonction des propriétés de résistance du matériau, la forme triangulaire à l'aval de l'ouvrage s'est peu à peu imposée.

• **Barrage voûte** Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids. On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules. L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale. En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci.

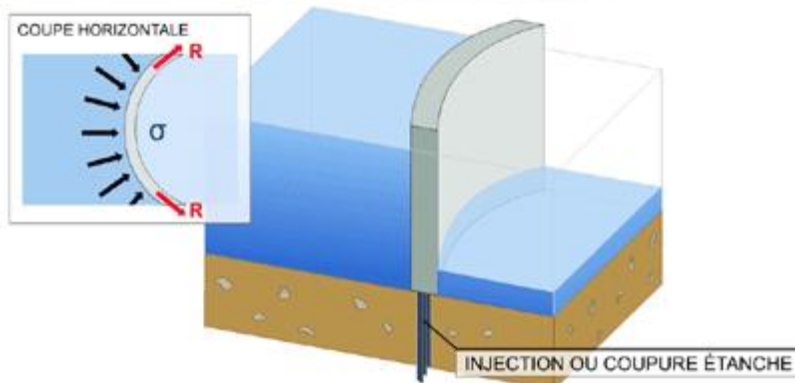
• **Barrages à contrefort et à voûte multiple** Les autres formes de barrages voûtes sont des variantes des deux premiers types. Le barrage à contrefort est ainsi un barrage poids allégé de l'intérieur. Le barrage à voûtes multiples, quant à lui, repose sur des appuis intermédiaires,

BARRAGE EN BÉTON - TYPE POIDS



- **Barrage voûte** Le barrage voûte représente l'ultime aboutissement de l'utilisation des propriétés du béton en termes de résistance. Il permet des économies de volume d'au moins 30 % par rapport à un barrage-poids. On pourrait comparer sa forme à celle d'un pont couché sur l'un de ses côtés, et qui chargerait de l'eau au lieu de véhicules. L'effort de résistance est ainsi en partie reporté par l'arc central sur les rives, permettant de construire des ouvrages moins volumineux, à performance égale. En revanche, les fondations, sur lesquelles se reporte une grande partie de l'effort, doivent posséder des caractéristiques mécaniques élevées afin de supporter celui-ci.

BARRAGE EN BÉTON - TYPE VOÛTE



- **Barrages à contrefort et à voûte multiple** Les autres formes de barrages voûtes sont des variantes des deux premiers types. Le barrage à contrefort est ainsi un barrage poids allégé de l'intérieur. Le barrage à voûtes multiples, quant à lui, repose sur des appuis intermédiaires, lorsqu'une trop grande portée sépare les deux rives d'un cours d'eau.

6. ELEMENTS CONSTITUTIFS DES BARRAGES

Selon le type d'utilisation auquel il est destiné, le barrage pourra comprendre plusieurs éléments constitutifs parmi les suivants :

- ✓ Le réservoir du barrage : il s'agit de toute l'aire en aval barré par l'ouvrage dont on accumule l'eau ;
- ✓ Le corps du barrage : il s'agit de l'ouvrage en béton, en enrochement ou en terre qui barre le passage du cours d'eau ;
- ✓ L'évacuateur de crues qui draine le surplus d'eau du réservoir lors d'une crue ;
- ✓ Les ouvrages de prise d'eau ;
- ✓ Les ouvrages de contrôle ;
- ✓ Les ouvrages de drainage du corps du barrages ;
- ✓ Les machines hydrauliques et hydroélectriques (vannes de fons, turbines....) ;
- ✓ Les ouvrages de dissipation d'énergie en amont.

7. IMPACT DES BARRAGES

La construction d'un barrage a généralement de nombreux impacts économiques, grâce à la production hydroélectrique et l'irrigation des terres, en effet un lac de barrage peut être une source de production d'énergie renouvelable, lorsqu'il s'agit d'un barrage hydroélectrique. Par exemple, dans le cas de la Chine et du barrage des Trois-Gorges, devenu la plus grande centrale hydroélectrique du monde avec sa production annuelle de 84,7 milliards de kWh, on a constaté une amélioration de la qualité de l'air dans la région, grâce à l'économie en Chine de 50 000 tonnes de charbon chaque année. La conception d'un barrage, comme le haut barrage d'Assouan, permet de gérer ainsi que de rationaliser l'utilisation de la crue du fleuve. Ainsi la gestion des crues, qui furent autrefois meurtrières à plusieurs reprises, permet un meilleur développement des régions traversées par le fleuve Bleu, sur lequel est construit le barrage.

La navigation des bateaux permise sur les fleuves, favorise le commerce, le désenclavement économique de certain pays.

Les barrages d'irrigation ou d'eau potable sont aussi construits pour apporter des bienfaits pour l'agriculture et l'alimentation en eau. Ces impacts doivent donc être pesés au même titre que les inconvénients portés au milieu aquatique ou à la pêche de loisir.

Un lac de barrage peut être un lieu d'accueil d'oiseaux migrateurs, un lieu de reproduction de certaines espèces aquatiques, peut améliorer les conditions d'écoulement en étiage. De plus en plus, les barrages hydroélectriques participent à un soutien d'étiage, permettant une vie estivale de rivières par ailleurs affectées par de nombreux prélèvements (autorisés ou non), d'améliorer le refroidissement des eaux, et la dilution des pollutions en aval.

Néanmoins les études d'impacts environnementaux ignorent ou sous-estiment généralement les possibles modifications du régime fluvial :

- ✓ Sédimentation dans les réservoirs
- ✓ Dégradation des lits fluviaux à l'aval
- ✓ Modifications de morphologie des lits des cours d'eau
- ✓ Sous-estimation de l'influence de la modification du régime des crues et étiages sur les eaux souterraines, la faune et la flore

Les effets sur les eaux des retenues :

- ✓ Eutrophisation ;
- ✓ Développement de nouvelles plantes aquatiques (parfois importées)
- ✓ Pertes par évaporation à grande altitude

Les barrages créent parfois de nouveaux environnements propices au développement de maladies :

- ✓ Les parasites se développent dans les eaux stagnantes des retenues ;
- ✓ La réduction ou la disparition d'inondations mène à l'utilisation des engrais chimiques Les eaux dans les réservoirs des petits barrages sont facilement polluées (agriculture, eaux usées, ...).

La construction de grands barrages nécessite parfois le déplacement de populations importantes :

- ✓ Des populations vivant de l'agriculture dans les plaines alluviales bordant les fleuves sont souvent déplacées vers des régions moins fertiles ;
- ✓ Le déplacement et le repeuplement dans d'autres régions peut créer des tensions ethniques ;
- ✓ L'utilisation de l'eau est parfois limitée en cas de périodes sèches, au profit de la production d'hydro-électricité, créant des conflits sociaux ;
- ✓ Les retombées économiques ne profitent pas toujours à la population locale ou déplacée,

L'inondation par les retenues de grands barrages et pertes culturelles :

- ✓ L'inondation par les lacs de barrages peut faire disparaître des lieux archéologiques ou importants pour la culture et la religion des populations locales ...

Les barrages sur les fleuves et rivières transfrontaliers :

- ✓ Problèmes de partage des eaux (au niveau international et inter-régional)
- ✓ Manque d'une législation sur le partage des eaux dans un bassin
- ✓ Mise en place et gestion d'agences de bassin internationales se heurte à de nombreuses difficultés d'ordre politique

La gestion des eaux sur un fleuve avec des barrages à usages multiples est complexe du fait :

- ✓ Du nombre d'acteurs institutionnels (ministères et agences, agriculture, travaux publics, énergie, transport, intérieur, économie, ...)
- ✓ Difficulté de la gestion en temps de crise (inondations, sécheresse, demande croissante, ...).

8. USAGES DES EAUX DES BARRAGES

Les eaux des barrages peuvent être utilisées pour plusieurs fins :

- ✓ Approvisionnement en eau potable ;
- ✓ Approvisionnement en eau d'irrigation ;
- ✓ Production d'énergie électrique ;
- ✓ Navigation ;
- ✓ Tourisme aquatique.