

Texte de la 554^e conférence de l'Université de tous les savoirs donnée le 24 octobre 2004
Bernard Tardieu : « La conception des barrages »

Avant de présenter les différents types de barrage et comment ils sont construits, et avant de parler en particulier du barrage des Trois Gorges, posons brièvement le problème de l'hydroélectricité dans le monde.

Si l'on regarde une carte du monde qui indique, pour chaque région, les puissances installées et ce qui est installable, on constate qu'il n'y a pratiquement pas d'endroit où le potentiel hydraulique soit épuisé. Même en Europe, la demande d'énergie de pointe qu'on peut réaliser avec du turbinage-pompage (deux réservoirs que l'on fait turbiner de l'un sur l'autre) donne à l'hydroélectricité un nouveau rôle, en particulier en appoint de l'éolien ou des énergies renouvelables qui sont relativement imprévisibles.

L'hydroélectricité représente aujourd'hui 19 % de l'énergie mondiale. 61 pays ont leur énergie fournie à plus de 50 % par l'hydroélectricité. Certaines régions du monde, comme l'ensemble de l'Amérique du sud, ou comme la Norvège, pays pétrolier, sont essentiellement hydrauliques, à 80 ou 90 %. C'est dans ces régions que l'électricité est la moins chère du monde, car l'hydroélectricité est, assez rapidement, l'électricité la plus économique.

Enfin, il faut savoir que les deux tiers des barrages du monde sont destinés à l'eau, pour l'irrigation, première façon de lutter contre la pauvreté, et pour les villes. Seuls un tiers des barrages est dédié à l'énergie hydroélectrique.

Un barrage « poids » : le barrage des Trois Gorges

Comme le barrage d'Assouan en son temps, le barrage des Trois Gorges, parmi les centaines de barrages en cours de construction, attire l'attention du monde. Ce barrage se situe sur le Yangtze, le grand fleuve du sud de la Chine. Il se distingue par sa taille et sa puissance (18 000 mégawatts, l'équivalent de vingt centrales nucléaires, puis 24 000 MW).

La puissance, qui s'exprime en mégawatts, diffère de l'énergie, qui s'exprime en mégawatts/heure. Le moteur d'une voiture a une certaine puissance. Pour qu'il dégage de l'énergie, il faut y mettre de l'essence. En hydraulique la puissance est celle des turbines. On y fait passer de l'eau pour produire l'énergie ; on consomme la chute de l'eau (mais pas d'eau) et du temps.

Aux Trois Gorges, les turbines utilisées s'appellent des turbines « Francis », elles ressemblent à des pompes. Il existe deux autres types de turbines, les turbines « Kaplan », ayant l'allure d'hélices et les turbines « Pelton » où l'eau frappe des augets ressemblant à des mains. En général, jusqu'à ces dernières années, notamment au Brésil, les plus grandes roues de turbine faisaient 500 mégawatts. Aux Trois Gorges une roue de turbine permet à elle seule de produire 700 mégawatts, c'est-à-dire presque autant qu'une centrale nucléaire. Ces roues tournent très doucement, à quelques tours par seconde ; elles sont reliées à un alternateur, qui est l'équivalent de la dynamo pour une bicyclette.

Si on regarde une vue simplifiée du barrage des Trois Gorges, on distingue plusieurs éléments : deux usines, une de chaque côté, un ensemble d'écluses, un ascenseur à bateaux et un évacuateur de crue. Un barrage ne produit pas d'eau. Il reçoit l'eau et en régularise le débit. En période de crue, le barrage accumule l'eau pour la rendre pendant la saison sèche. Mais si la crue est trop forte et que le lac est plein, il faut laisser passer cette eau. Les barrages comportent donc toujours un évacuateur de crue.

Pour construire un barrage, et cela a été le cas aux Trois Gorges, on met en place un batardeau, c'est-à-dire un petit barrage qui assèche en aval la zone de construction, en faisant passer l'eau à côté de cette zone. Une fois la construction terminée, on fait rebasculer l'eau à travers le barrage jusqu'à ce qu'on ferme les vannes. Si le barrage des Trois Gorges est gros, il est relativement simple technologiquement. Il s'agit d'un barrage dit « poids ». C'est en effet son poids, grâce à la densité élevée du béton (2,5) qui, par frottement sur le rocher du fond, lui permet de résister à la poussée de l'eau.

Lors du chantier la production de béton s'élevait d'ailleurs à 2 000 tonnes par heure, alors qu'un chantier normal n'en produit en général que 80 tonnes par heure. Or le béton, une fois produit, doit être acheminé en permanence sur le chantier. Aux Trois Gorges, la technologie utilisée pour cela, qui reposait sur des tours de transport et des tapis roulants, a donc été très développée. Il s'agit, sur ce chantier qui était essentiellement chinois, d'un des plus grands apports de la technologie occidentale.

La retenue d'eau du barrage, c'est-à-dire le volume du lac en amont, fait 39 milliards de m³. Cela ne représente que 9 % du débit annuel. Il est très facile de remplir le barrage et l'eau est renouvelée très facilement chaque année. Toute la zone géographique où l'eau qui tombe arrive un jour où l'autre dans le barrage s'appelle son bassin versant. Aux Trois Gorges, ce bassin versant est très étendu.

A l'inverse, la retenue d'eau des grands lacs africains est importante par rapport au débit annuel des fleuves parfois supérieur à l'apport moyen annuel d'eau. C'est le cas par exemple des barrages situés sur le lac Kariba sur le Zambèze (180 milliards de m³), à Assouan (169 milliards de m³), à Akonsombo au Ghana (153 milliards de m³). La retenue du barrage de Serre-Ponçon est quant à elle beaucoup plus réduite : 1,3 milliards de m³. Il arrive aussi que, sur un barrage, l'usine hydroélectrique n'utilise que les quelques mètres supérieurs d'un lac naturel, c'est le cas de l'usine hydroélectrique d'Owen Falls sur le lac Victoria (qui n'utilise que 2,7 milliards de m³) et sur le lac Léman.

Les Chinois ont construit ce barrage pour trois raisons : contrôler les crues, produire de l'électricité, et améliorer la navigation.

Toute la partie supérieure de la retenue (22 milliards de m³), est destinée à écrêter les crues, c'est-à-dire en limiter l'ampleur. Les Chinois espèrent ainsi transformer les crues de période de retour de 100 ans en crues de période de retour de 10 ans. Le contrôle des crues est essentiel sur le Yangtze car elles y font des dégâts considérables. Ces dégâts sont d'autant plus importants qu'à force de remblayer son lit d'alluvions, le fleuve a contraint à élever les digues au-dessus du niveau de la plaine. Le barrage des Trois Gorges devrait permettre de réhabiliter le lac de Dongtin, au sud. Pour donner une idée de l'impact des crues dans la région, les variations de ce très grand lac, de l'ordre de 100 km, mais très peu profond, conduisent à déplacer 2,5 millions de personnes régulièrement en fonction des crues.

La production d'électricité devrait s'élever à 18 200 mégawatts en première phase, l'équivalent de 20 centrales nucléaires, et 24 000 mégawatts en seconde phase (dans une deuxième usine située dans le même barrage), soit 30 centrales nucléaires ou 50 millions de tonnes de charbon.

Enfin, le barrage va permettre d'améliorer le transport fluvial sur 660 km. Ses écluses ont la taille des écluses du canal de Panama. De même, l'ascenseur à bateaux permet à des bateaux plus petits, des paquebots qui transportent des gens, de franchir plus vite le lac. Les Chinois estiment que les coûts de transport sur le fleuve vont ainsi baisser de 35 %.

Les effets de l'hydroélectricité sur l'environnement

L'électricité produite par le barrage des Trois Gorges équivaldra à celle produite par 50 millions de tonnes de charbon. Le lobby charbonnier nord-américain - le charbon représente plus de 50 % de l'énergie aux Etats-Unis - a tenté d'accréditer l'idée que les barrages émettaient plus de gaz à effet de serre que les centrales thermiques. L'étude du cycle du carbone sur la terre permet de comprendre très simplement pourquoi il s'agit d'un argument pervers.

Tout végétal, pour grandir, prend du carbone dans l'atmosphère et y relâche de l'oxygène. Quand un arbre grandit, il bloque du carbone (le bois, c'est du carbone). Quand il arrive en fin de vie, il peut, comme l'herbe, pourrir (ce qui est le cas de forêts très anciennes comme l'Amazonie) : il va alors surtout émettre du méthane, CH₄. Le bois peut aussi brûler, auquel cas il émettra du CO₂. Dans tous les cas, la durée de vie de l'herbe étant inférieure à un an et celle des arbres de l'ordre de 30 à 40 ans, ce cycle d'absorption puis de libération de carbone se déroule sur un temps court qu'on appelle *le cycle de surface*.

Mais il n'y a pas que le cycle de surface. Quand la matière organique meurt, elle est emportée par la pluie qui lave le sol. Emportée dans les lacs, cette matière organique, faite de carbone, va être transformée en tourbe par des tas de petits organismes, les (phyto et zoo) planctons. Si cette tourbe est noyée, elle pourra, à très long terme, se transformer en charbon ou en pétrole. Emportée dans la mer, la matière organique pourra, là aussi, à très long terme, être transformée en calcaire (carbonate de calcium) par les phytoplanctons et les zooplanctons. Sur la terre le plus gros stock de carbone est constitué de calcaire et de craie. La craie que l'on voit le long des côtes de Haute Normandie constitue un exemple de réservoir de carbone, que l'on libère quand on brûle la craie pour faire de la chaux.

La question de fond n'est pas de savoir si on émet - ou pas - du carbone ou du gaz carbonique. La question c'est de savoir si on participe au cycle de surface - et toute végétation y participe - ou si, en plus, on libère dans un temps très court du carbone qui a été séquestré il y a un ou deux milliards d'années, au carbonifère par exemple (période dont le nom même est significatif).

Les vaches sont accusées d'émettre du méthane. Mais l'herbe qu'elles évacuent a pris son carbone six mois avant, au printemps. Elles ne font donc que participer au cycle de surface. En revanche, si l'homme, comme il le fait actuellement, libère brusquement du gaz carbonique, du carbone qui a été séquestré il y a très longtemps, ce carbone s'ajoute au cycle de surface. Il y a alors une action nouvelle, et c'est cela dont nous sommes incapables de prévoir les conséquences.

Une nouvelle technologie : le béton compacté au rouleau

Le béton compacté au rouleau (BCR) est un béton comprenant très peu de ciment, très peu d'eau, peu de gros cailloux et beaucoup de sable. La centrale à béton transporte le béton sur des tapis roulants, puis des camions le répartissent. Il est alors poussé au bulldozer comme si c'était de la terre, à quoi il ressemble d'ailleurs. Ensuite ce béton va être roulé avec un rouleau. Progressivement, il va devenir complètement lisse et prendre des caractéristiques qui vaudront à peu près celles du béton traditionnel. On peut noter au passage que ce béton traditionnel doit être vibré à l'aide d'aiguilles vibrantes alors que le BCR l'est que par le

passage du rouleau vibrant. (Il n'y a pas d'aciers, de « fers à béton », dans la masse des barrages en béton quels qu'ils soient).

Les avantages de ce type de béton sont multiples. D'abord, il chauffe très peu ; les risques de fissure sont donc plus faibles et beaucoup moins de joints sont nécessaires. Le béton traditionnel, quand il s'hydrate, chauffe, ce qui lui fait prendre du volume. Sur les grands ouvrages en béton, quand l'extérieur refroidit (ce qui réduit son volume) mais que le cœur est encore chaud, des risques de fissures apparaissent. Le béton compacté au rouleau réduit ces risques.

Ensuite, ce béton se construit extrêmement vite. Cela limite les risques associés aux crues pendant le chantier car on construit pendant moins d'années. Cela limite aussi l'exposition aux risques financiers, car les emprunts sont réalisés sur des durées plus courtes.

Au total, cette nouvelle technologie (qui n'a pas été utilisée aux Trois Gorges) permet de réaliser des barrages de type « barrages poids » mais en les construisant beaucoup plus vite et à un coût nettement inférieur (de l'ordre de 30 % moins cher).

Les barrages à masque

Deux exemples de ce type de barrage ont par exemple été construits au Brésil, sur le Rio Pelotas, affluent de l'Uruguay au débit très important. Le barrage de ITA est constitué par un simple tas d'enrochement. Une carrière est réalisée dans la retenue, puis l'enrochement est abattu en carrière pour produire des blocs, dont les plus gros font entre 80 cm et 1 mètre. Ces blocs sont ensuite placés en tas, celui-ci étant juste un peu organisé pour mettre plutôt les blocs les plus fins à l'amont et les autres à l'aval. Le tas d'enrochement une fois terminé, une couche de béton de 40 à 50 cm d'épaisseur, pleine d'acier et à joints longitudinaux, est appliquée dessus. C'est ce que l'on appelle le masque. Le béton descend, simplement, dans des goulots à partir du haut, et tout en bas les gens le répartissent latéralement, en couches minces, à l'aide d'une table vibrante. La largeur des dalles est de 20 ou 25 m ; l'étanchéité entre elles est assurée par des joints en cuivre.

L'ensemble reste très rustique et peut donc être construit très rapidement. Les barrages d'une façon générale doivent avoir des technologies simples car ils sont construits à l'extérieur, avec des gens souvent embauchés sur place. Les opérations à accomplir doivent être réduites au plus simple, car c'est la simplicité qui garantit la qualité d'exécution.

Un autre type de masque peut être appliqué, le masque en béton bitumineux, à l'aspect d'un parking de grande surface. Il est mis en place par les mêmes machines, notamment des finisseurs. La seule différence est que le béton bitumineux est en pente, à environ 2 pour 1. On peut y marcher mais c'est raide, les moteurs des matériels qui circulent sur le masque – tenus par des treuils en crête du barrage- sont donc basculés car ils n'aiment pas être en pente. Une première couche de béton bitumineux de 10 cm est appliquée, puis deux couches de 5 cm. Bien que cela ressemble à une route, comme il est important que le masque soit étanche, on préfère mettre un peu plus de bitume, plus de matériaux fins, de la farine de roche, de façon à le saturer. Ce béton bitumineux a tendance à « beurrer », et si on faisait ça pour une route elle glisserait énormément. Ce n'est pas tout à fait la même technologie de formulation du béton bitumineux routier, mais c'est la même méthode.

Les barrages voûtes

En France, le concept de barrage est souvent associé au concept de barrage voûte. Il est vrai que cette technologie y a été très développée, à la suite du barrage de Mareges, premier grand barrage voûte en France. La rupture, en 1959, du barrage de Malpasset, qui était un petit barrage voûte mais qui a fait des dégâts considérables, plus de 400 morts, a aussi contribué à inscrire les barrages voûtes dans l'imaginaire des Français.

La première chose à faire quand on construit un barrage voûte c'est de connaître parfaitement la géologie, mieux encore que pour les autres types de barrages. Faire des reconnaissances, faire des sondages, faire des galeries, pour comprendre parfaitement les défauts possibles de la roche. Un « défaut » de la roche est pire que tout le reste. L'obsession de l'ingénieur, c'est de tout vérifier et de trouver ces faiblesses. Car si la roche n'est pas responsable de ses défauts, l'ingénieur, lui, en devient responsable.

Pour faire des reconnaissances, des galeries sont construites dans la roche. Ces galeries servent à faire ce qu'on appelle un voile d'étanchéité. Dans les zones où l'étanchéité est incertaine (ce qui est toujours le cas à proximité du barrage, parce que la tectonique a toujours un peu desserré le rocher et ses fissures) on fore des trous environ tous les 3 mètres. Ensuite un mélange d'eau, de ciment et de différents adjuvants est injecté pour aller boucher toutes les petites fissures. Ces opérations demandent un soin très important, surtout dans les fondations calcaires. L'eau qui ruisselle dissout en effet le calcaire et crée dans ces zones des avens et des rivières souterraines, ce qu'on appelle des karsts. On est donc toujours certain, dans les zones calcaires, qu'il y a des conduits cachés à trouver.

Le rocher doit être parfaitement préparé, propre comme un sou neuf. A la fin, c'est un travail de ménagère. Ce n'est d'ailleurs pas parce qu'un chantier donne l'impression d'être sale de loin qu'il n'est pas très propre de près.

Décider que le rocher est bon et que l'on peut construire constitue, sur ce type de chantiers, la décision la plus importante. Parfois, il faut renforcer le rocher par de l'acier, par du béton, jusqu'à avoir la conviction intime qu'il peut supporter les efforts qu'on va lui faire porter. Il faut en effet avoir à l'esprit que l'eau ne s'appuie pas sur l'extérieur des parois : l'eau pénètre dans le rocher, elle est dans les fissures, elle est dans le béton. Il n'y a pas un intérieur et un extérieur. Il faut donc vraiment une compréhension mécanique et géo mécanique fine pour s'engager dans la construction.

Prenons le cas d'un barrage voûte construit dans le sud de la Turquie, à Berké. Ce barrage fait 200 mètres de hauteur à la base et il s'ancre dans une gorge de 400 mètres de profondeur. Le barrage va s'appuyer des deux côtés et au fond de l'excavation qui a été produite. Sur ce barrage, la pression est de 200 tonnes par m², ce qui fait vingt bars, soit, pour se faire une idée, dix fois la pression qu'il y a dans les pneus de voiture.

Pour faire ce genre de barrage, on installe une espèce de téléphérique, qui monte et descend l'ensemble du matériel. Le barrage est construit par plots, c'est-à-dire par morceaux. En effet, le béton chauffe, il prend du volume, et donc si on ne faisait rien il se fissurerait. Afin d'éviter ces fissures, on construit des éléments de taille limitée, tout en refroidissant délibérément le béton par des tuyaux d'acier ou de plastique qui font passer de l'eau fraîche. Dans chacun des grands joints verticaux sont placées des étanchéités en caoutchouc, prises dans le béton de part et d'autre. On envoie de l'eau et du ciment -du coulis-, qui fait prise et qui bloque comme un vérin la voûte dans sa position.

Ce barrage sert à faire de l'énergie. L'usine a une puissance de 500 mégawatts. Les roues de turbine sont au nombre de trois, elles sont beaucoup plus petites qu'aux Trois Gorges. Il ne faut justement pas qu'elles soient trop grandes, car la production électrique doit

s'adapter aux évolutions de la demande. Or une roue a une certaine courbe de puissance, ce qu'on appelle une colline de puissance, et il faut arriver à la faire tourner toujours à son optimum, comme un moteur de voiture. En cas de fortes variations de la demande électrique, il n'est donc pas recommandé d'avoir une très grande roue.

Il y a un évacuateur de crue sur le barrage, qui lâche l'eau à très grande hauteur avec des petits treplins qui commencent à briser l'énergie de la chute. Juste en aval, un « petit » contre-barrage (qui fait quand même 50 mètres de hauteur) a été construit pour faire un coussin d'eau. L'eau qui sort du barrage va tomber dans ce coussin d'eau, évitant ainsi qu'elle n'agresse les deux rives de la gorge.

Le barrage de Berké, peu épais, construit dans une gorge étroite et s'appuyant sur les côtés, est typique des barrages voûtes. En sites étroits, ces barrages sont assez simples à dessiner. Ce n'est pas le cas en site large.

Le barrage de Katsé, au Lesotho, est un exemple de barrage voûte en site large. Entouré de grandes montagnes un peu arides mais neigeuses, faites de grandes nappes de basalte apparues à la limite du crétacé et du tertiaire, le site est extrêmement large. Le barrage fait 185 mètres de hauteur et 1 700 mètres de longueur.

Une tour située à l'amont du lac, qui fait 90 mètres de hauteur, permet d'envoyer l'eau, à travers 40 kilomètres de tunnels, en amont, vers le nord, vers Johannesburg, seule grande ville au monde d'ailleurs à être située au bord ni de la mer ni d'une rivière, mais d'une mine d'or. Il n'y a pas besoin de pomper, au contraire, en utilisant la charge d'eau on turbine même un peu au passage pour faire de l'énergie pour le Lesotho.

Comme précédemment à Berké, ce barrage a été construit en utilisant des plots, mais ceux-ci sont beaucoup plus épais. En effet, la pression dépend de la hauteur, mais la force dépend du rayon. Plus le rayon du barrage est grand, plus il doit être épais. L'épaisseur étant proportionnelle au rayon, à Katsé celle-ci atteint, au bas du barrage, 50 mètres.

En cas de séisme, les plots vont bouger. Pour éviter qu'ils ne le fassent séparément, ce qui serait dangereux car ils pourraient se toucher - ce qui est arrivé pour des barrages à contrefort - une forêt d'acier traverse la crête du barrage. Cet acier sert de ceinture parasismique : il permet aux différents plots de bouger ensemble pendant les quelques dizaines de secondes que durent un séisme.

Par ailleurs, ce barrage a la particularité de ne pas avoir d'évacuateur de crues équipé de vannes. Dans cette région très isolée, on ne veut pas prendre le risque d'avoir des vannes, donc l'évacuateur est un seuil déversant un peu en dessous de la crête du barrage. Quand la crue arrive, elle passe par-dessus le barrage.

Les barrages en remblai

Plus des trois-quarts des barrages du monde sont des barrages en remblai. Ceci est dû au fait que ces barrages sont complètement autochtones : ils sont construits en prenant de la terre et des cailloux sur place et les organisant différemment de façon à en faire un barrage.

Pour illustrer la construction de ce type de barrage, prenons le cas du barrage Moulay Hassan 1^{er} au Maroc, qui fait 2,5 km de long. Les deux parties latérales du barrage ont été construites en premier, pour laisser passer le fleuve, qui a des crues assez fortes, au centre de la vallée. Puis le fleuve a été envoyé dans une grande conduite et la partie centrale a alors été construite à toute vitesse, en une saison.

Le barrage a pour forme générale un grand tas de sable. Les matériaux utilisés sont des alluvions (des sables, des graviers qu'on trouve dans la retenue, le plus près possible). La partie étanche est faite de matériaux argileux, qu'on trouve aussi sur place. Souvent ils sont prélevés sur les rives parce qu'il y a eu soit des glissements de terrain ancien, soit une concentration de matériaux fins. Les couches, de 30 à 40 cm, sont compactées, comme le béton compacté évoqué précédemment. Les enrochements, par couche d'un mètre, vont aussi être compactés soigneusement pour garantir l'étanchéité.

Afin que cette espèce de pyramide presque verticale d'argile puisse tenir, on la retient par des matériaux qui dans ce cas là sont des sables et des graviers et des blocs de cailloux qui sont aussi compactés de la même façon.

Pratiquement, un chantier de barrage à remblai, c'est un chantier de transport. Cela consiste à avoir des camions, des *dumpers*, et à transporter, transporter, transporter. On use de l'essence et des pneus. Ainsi, en dehors du ciment utilisé pour construire l'évacuateur de crue (indispensable pour éviter l'érosion de la terre par l'eau en vitesse), tous les matériaux nécessaires à la construction des barrages à remblai sont prélevés sur place.

Un point essentiel concerne les filtres et les drains. C'est ce qui fait que si, dans le masque, dans l'argile, l'eau arrive à passer (parce qu'il y a une fissure, ou un report de force, ou quelque chose qui n'a pas été prévu) les matériaux fins vont se bloquer dans le sable, qui sert de filtre, tandis que l'eau filtrée va passer à travers le sable et va être collectée par le drain.

Bien que ce mécanisme paraisse très simple, c'est probablement ce qui demande le plus de finesse, parce que le matériau doit être pris sur place, doit être compris, interprété, parfois être mélangé. Les barrages à remblai sont ainsi les barrages les plus intégrés à la nature sur place.

Les populations

Les ingénieurs que nous sommes consacrent autant de temps à préparer les chantiers que de temps à construire. Nous sommes des forains : une fois que le barrage est construit et qu'il rend son service, nous partons, ailleurs. Mais le temps que nous passons avant, à préparer, à imaginer et à être proche des gens, est le plus beau que l'on puisse avoir.

Dès le premier jour du chantier, il faut s'intéresser aux gens. Lors de la construction d'une retenue en Guinée, à Garafiri, qui a permis d'alimenter la ville de Konakry, il y avait 22 villages à déplacer, 2 000 personnes, pour faire 14 nouveaux villages. Des puits, des sources, des compensations : tout cela a été fait avec des ONG locales, avec Médecins du Monde et d'autres ONG. C'est peu de choses, mais c'est quand même très important. A titre d'illustration, bien que ce soit un tout petit barrage, il y avait deux présidents de la République pour l'inaugurer.

Le Canada participant au financement du barrage, un ambassadeur du Canada était allé voir les villageois en leur demandant leur avis sur ce qui se passait. « Jamais un ambassadeur n'était venu chez nous, jamais » ont-ils répondu. L'essentiel était que l'on s'était intéressé à eux.

De façon générale, si un barrage n'est pas le lieu du développement, à la fois pour ceux qui profitent de ce qu'il produit mais aussi pour les gens qui sont autour, on commet une erreur majeure.

Par exemple, on sait que l'éducation des filles est entièrement liée à la distribution de l'eau. S'il n'y a pas de distribution d'eau, les filles, qui sont chargées d'aller la chercher, ne vont pas à l'école. Les barrages doivent donc toujours être construits en fonction de leur impact sur les populations locales, afin de servir de levier pour leur développement.