

Edouard Proust

Représentation Sociale des barrages & Développement durable

Un exemple historique :
le lac des Bouillouses

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE D'ARCHITECTURE DE TOULOUSE

Sommaire

Avant-propos	4
<i>Notes</i>	6
Introduction	7
<i>Notes</i>	10
1/ Eau, progrès et développement, Eléments de représentation sociale positive des barrages	11
1.1. L'hydroélectricité	14
1.2. L'irrigation	16
1.3. Protection contre les crues et inondations	17
1.4. Alimentation en eau des centres urbains, les fonctions et activités induites	16
<i>Notes / bibliographie</i>	22
2/ Ecosystème et biodiversité, Eléments de représentation sociale négative des barrages	24
2.1. Intégration écopaysagère des barrages	27
2.2. Impacts sur les écosystèmes	29
2.2.1. <i>Emissions de gaz à effet de serre</i>	29
2.2.2. <i>Impacts sur les écosystèmes et la biodiversité</i>	32
2.2.3. <i>Impacts sur les écosystèmes aquatiques : la biodiversité et aval et les plaines d'inondation</i>	34
<i>Notes / bibliographie</i>	40
3/ Populations et grands barrages, Les risques sociaux du développement	45
3.1. Déplacement des populations et pertes des moyens de subsistance	47
3.2. Les mesures de compensation	51
3.3. La santé	55
3.4. Perte du patrimoine culturel	56
<i>Notes / bibliographie</i>	58
4/ Barrages et développement durable, Le remède ?	64
4.1. Le développement durable	67
4.2. L'eau nécessité biologique et facteur de développement	70
4.3. L'énergie, nécessité économique et facteur de progrès	72
4.4. Le débat sur les barrages	75
4.5. La solution : durable ou pas durable ?	77
<i>Notes / bibliographie</i>	81
5/ Un exemple historique: Le Barrage des Bouillouses	84
5.1. Les travaux	85
5.2. Le Barrage des Bouillouses	86
5.3. La ligne de Cerdagne	88
5.4. Le Complexe hydroélectrique	92
5.4.1. <i>L'usine de la Cassagne</i>	92
5.4.2. <i>La centrale de Fontpédrouse</i>	94
5.5. Représentations sociales de l'ensemble de l'installation	94
<i>Notes / bibliographie</i>	100
Annexes	105

Représentation Sociale des barrages
&
Développement durable

Un exemple historique
Le lac des Bouillouses

*« Un jour tout sera bien, voilà notre espérance
Tout est bien aujourd'hui, voilà l'illusion »*
Voltaire

Avant-propos

L'homme est l'homme, il est intelligent et conquérant, il a des envies qui dépassent celles des autres espèces qui l'accompagnent dans son évolution sur le Terre. Inventif et dominant, il a dépassé les nécessités primaires à sa survie ; il en a d'abord assuré les moyens (l'outil) puis s'est créé des besoins n'existant pas à l'état naturel (le confort) : il s'en imagine sans cesse de nouveaux, jusqu'à l'inutilité. Si l'instinct de propriété nécessaire à la continuité de l'espèce (le nid, la tanière, l'habitat), est très relatif chez la plupart des animaux, il l'a, lui, transformé en accumulation de richesses, en économie qui nécessite exploitation et rendement des ressources que la Terre met à sa disposition. C'est ce qu'on appelle le progrès, ce progrès que, dit-on, sans se douter toujours de ses conséquences, on n'arrête pas, qui s'est substitué à un ordre naturel, brutal mais équilibré. La faute à Prométhée ! ⁽¹⁾, génie du feu, l'initiateur de la civilisation humaine, ou destin inéluctable, malédiction pesant sur le seul mammifères doué de raison que son cerveau transforme petit à petit en apprenti-sorcier, abouti de l'âge de fer, ayant brûlé les étapes et oublié de ce que fut réellement cet âge d'or ⁽²⁾ qu'il prétend rechercher toujours mais dont il semble s'éloigner sans cesse : ce temps béni quand « en l'absence de tout justicier, spontanément, sans loi, la bonne foi et l'honnêteté y était pratiquée, quand la Terre, elle-même, aussi, libre de toute contrainte, épargnée par la dent du hoyau, ignorant la blessure du soc, donnait sans être sollicitée tous ses fruits »⁽³⁾.

Pour autant, il ne convient pas de confondre le mythe et la réalité. Le progrès n'est pas en soi condamnable ; il n'est pas seulement un bien ou un mal nécessaire – c'est selon –, il est utile.

Ce n'est pas le remettre en cause fondamentalement que de s'interroger sur les limites de cette nécessité, les avantages réels et les inconvénients certains de son utilité. Il apparaît toutefois qu'arrivé à un certain stade de son génie inventif, de satisfaction de ses besoins considérés – à juste titre en non – comme essentiels, l'homme (et en cela on peut

le qualifier de moderne), après avoir beaucoup détruit puis réfléchi, conscient non seulement de l'échec, mais du danger sans doute imminent que constituerait un point de non retour, remet en cause l'axiome du « progrès pour le progrès » qui n'avait cessé d'être, depuis l'âge de la pierre polie et des premiers métaux, jusqu'alors le moteur de la civilisation. La rupture avec le modèle ancien, qui n'était basé que sur la performance technologique et ses acquis immédiats en termes de production s'est faite dans les années soixante dix. La réflexion sur l'évolution et le destin de la société moderne, la globalisation émergente, a inexorablement conduit (est-ce le début de la sagesse ?) à un changement radical des mentalités : le déplacement des approches basées sur la primauté du temps (visions stadiales) vers des approches basées sur la primauté de l'espace, dû non seulement à une prise de conscience de certaines élites et d'une partie de la population, mais aussi, à des considérations moins philosophiques, autrement dits plus « terre à Terre » comme le changement climatique, et la croissante interaction entre les processus économiques globalisants et les écosystèmes locaux (de quelque nature qu'ils soient). S'est donc considérablement renforcée la « perception sociale » non seulement du rôle des lieux, dans l'existence humaine – et leur pérennité dans le temps – mais aussi de leur utilisation, d'où une sensibilité toujours plus grande à la protection de l'espace géographique, la diversité biologique et leur identité culturelle, le tout étant dès lors considéré, comme des patrimoines à transmettre aux générations futures et comme des éléments fondamentaux de l'espace pour concevoir et réaliser des stratégies de développement humain ; ce qu'on appelle aujourd'hui le développement durable.

Pour autant la dimension culturelle de ce changement radical n'est pas uniforme dans la mesure où celle-ci dépend souvent de l'appartenance à un groupe au niveau du sujet percevant, de la nature de ce qui est perçu où encore des relations plus ou moins directes – voire impersonnelles – entre le percevant et ce qu'il perçoit ou a à percevoir.

Il ne faut toutefois pas s'y tromper. Quand il est question de représentation, l'argument n'a rien de subjectif. Au contraire de la représentation / perception (respectivement, d'une part, l'action de rendre sensible quelqu'un au moyen d'une figure, d'un symbole etc., d'autre part, image mentale, sensation, etc.) purement psychologique, donc plus ou moins subjective (ainsi pour l'art pour lequel la question n'est pas de savoir si cela est beau ou laid, mais si cela plaît ou non, en quelque sorte une « appréhension première »), il s'agit ici de la représentation dans son sens objectif (ce représente un objet pour l'esprit). Ainsi donc, par exemple face au pont de Millau :

- psychologiquement, on le trouve beau ou laid, fruit d'un effort qui valait ou non le coup, pour un coût qui se méritait ou non.
- Philosophiquement, et indépendamment ou non de ce qui précède, était-il nécessaire ou utile qu'on le fasse, compte tenu de ses avantages et de ses inconvénients ; sa finalité justifiait-elle les bouleversements qu'il a nécessités et ceux qu'il entraîne. Que reste-t-il en fin de compte de lui, une fois réalisé, lorsqu'on s'est habitué à sa présence, si on réfléchit bien : une œuvre d'art touristique ou un ouvrage démentiel pour une nécessité qu'on aurait pu résoudre autrement, même pour un coût plus élevé et / ou un confort moindre. Ne fallait-il pas mieux, toutes choses restant par ailleurs égales, sauver une petite espèce de grenouille plutôt que, dans un but certes utile, élever un tel monument à la gloire de la technique et du génie humain. En quelque sorte la différence entre l'idée qu'on en a et l'idée qu'il faudrait en avoir ou qu'on devrait s'en faire (la vision et la conception), la différence entre le subjectif et l'objectif, le présent tout seul ou le présent et l'avenir, l'absolu et le relatif.

NOTES

(1) **Prométhée**. Après avoir formé l'homme du limon de la terre, pour l'animer, il déroba le feu à la roue du char du soleil. Pour le punir, Zeus le fit enchaîner par Héphestos sur le mont Caucase où un aigle lui dévorait le foie.

« *Les métamorphoses* » Ovide (43-18 av. J.C.)

(2)

« Que l'homme était heureux sous le règne de Saturne
Avant que la terre fût ouverte en longues routes !
Le pin n'avait pas encore bravé l'onde azurée
Ni livré une voile déployée au souffle des vents
Dans ses courses vagabondes, cherchant la richesse sur des plages inconnues
Le nautonier n'avait pas encore fait gémir ses vaisseaux sous le poids
Des marchandises étrangères
Dans cet âge heureux, le robuste taureau ne portait point le joug ;
Le coursier ne mordait point le frein d'une bouche domptée ;
Les maisons étaient sans porte ; une pierre fixée dans les champs
Ne marquait point la limite certaine des héritages ;
Les chênes eux-mêmes donnaient du miel ;
Les brebis venaient offrir leurs mamelles pleines de lait
Aux bergers sans inquiétude
On ne connaissait ni la colère, ni les armées, ni la guerre ;
L'art funeste d'un cruel forgeron n'avait pas inventé le glaive. »

Tibulle, (v.50-19av.J.C) « *Élégies* » 1, 3,35-48. Trad. *Héguin de Guerle*, 1862

(3) Les différents âges, « *l'âge d'or* », « *l'âge d'argent* », « *l'âge d'airain* », et « *l'âge de fer* » constituent le mythe des âges de l'humanité :

- « *l'âge d'or* », sous le règne de Saturne, est le premier âge de la création, un éternel printemps d'insouciance et de bonheur. Les hommes ne travaillaient pas et vivaient en accord parfait avec la faune et la flore ; la nature bienfaitrice leur fournissait tout sans effort.

- « *l'âge d'argent* » : Cronos, chassé du ciel par Jupiter cherche refuge sur Terre. Les hommes déçus de leur innocence première éprouvent les vicissitudes inhérentes à leurs nature et condition (le temps, le travail, la mort, etc.)

- « *l'âge d'airain* » : Cronos, n'y ayant point trouvé le refuge nécessaire, quitte la Terre ; cohabitation du Bien et du Mal qui commence à dominer. Avec le sens de la propriété, naissent l'envie, le vol et la guerre.

- « *l'âge de fer* » : c'est le quatrième âge de la création, celui de tous les excès et tous les crimes. La Terre ferme son sein et Astrée, la déesse de la Justice, épouvantée, retourne dans les cieux.

Introduction

*« Le Progrès est le modèle de l'homme.
La vie générale du genre humain s'appelle le Progrès »*

V.

HUGO

Depuis les débuts de son temps, l'énergie est un besoin essentiel de l'Homo Sapiens Sapiens. La force est nécessaire à sa nourriture, à son entretien, à son confort, si primitif soit-il. Sans doute las de n'utiliser que sa propre force pour assurer ses besoins alimentaires toujours croissants et ceux sans cesse plus lourds nécessaires à ses ambitions et auxquels, même la traction animale – au demeurant satisfaisante pour un temps, mais d'un faible rendement – ne suffisant plus, l'homme a été (comme il est et sera encore) à la recherche de nouvelles sources d'énergie. A l'origine il n'eut sans doute qu'à copier ce qui se faisait déjà dans la nature ; il lui vint l'idée d'imiter le castor qui fut le promoteur en matière d'aménagements hydrauliques. Il a suffi aux plus ingénieux de nos ancêtres de tirer les enseignements des digues de toutes sortes, tailles et formes de cet animal chez lequel la résistance des matériaux semble être une science innée ; il sait adapter ses digues en fonction du courant de la rivière, en assurer la solidité, l'imperméabilité et donc l'efficacité ; il sait encore, en cas de besoin, creuser des déversoirs pour limiter l'effet des crues, et des canaux pour le transport des matériaux.

Chez l'homme, les plus anciens aménagements hydrauliques, avant même qu'on songe aux moulins à vent, remontent à la plus haute antiquité, voire la préhistoire. Nombre de citées lacustres ont été construites sur des lacs artificiels tandis que le barrage le plus ancien connu, d'une longueur de 115 m a été construit en Jordanie près de Jawa à la fin du 4^e millénaire avant J.C. Hérodote fait état d'un barrage réalisé à l'initiative du pharaon Ménès, fondateur de la première dynastie (3200-2778 av. J.C) ⁽¹⁾, destiné à l'alimentation en eau de la ville de Memphis ⁽²⁾. Si on ne se préoccupait guère à l'époque de l'impact «écologique», on apprit très vite que de telles constructions n'avaient pas que des avantages, mais présentaient aussi des risques : la première rupture de barrage recensée est celle de Sadd El Kaffara sur le fleuve Wadi Garawi⁽³⁾, près du Caire. Ayant eu lieu entre 2650 et 2465 av. J.C. elle est sans doute à l'origine de la désaffection des populations et des architectes à l'endroit de ce type d'ouvrage pendant plus d'un millénaire. Cependant que le projet d'irrigation du Dujiang, qui alimentait 800.000 hectares en Chine

est vieux de 2200 ans, c'est semble-t-il avec l'instauration de l'Empire, au moment où elle va connaître son apogée, que Rome et ses ingénieurs vont redécouvrir l'utilité des barrages (on peut citer ceux de « Prosperpina » et de Comalvo, à Mérida en Espagne – d'une hauteur de 12 à 19 m réalisés vers 25 av. J.C⁽⁴⁾, – celui de Belas, au Portugal)⁽⁵⁾.

En même temps que s'accélérait au cours des âges la construction de digues et de barrages, afin de, pour l'essentiel, assurer une distribution rationnelle de l'eau des rivières, les techniques se développent. C'est au Moyen-âge que l'énergie potentielle de l'eau fut employée pour alimenter les moulins : la toponymie⁽⁶⁾ de l'époque conserve le témoignage des barrages de rivières édifiés par les paysans ou les moines afin de conserver l'eau, y élever des poissons, effectuer les opérations de rouissage du lin et du chanvre.

Au XIV^e siècle, notamment en France, le moulin à eau⁽⁷⁾ va cesser de servir uniquement à la mouture pour s'ériger en auxiliaire des industries les plus diverses. L'idée de faire marcher une dynamo produisant du courant électrique par le même procédé, n'est venue que plus tard. Il en est résulté finalement, dès la fin du 19^e siècle, le remarquable essor d'une nouvelle énergie qui se substituera pour partie à la vapeur, la « houille blanche »⁽⁸⁾. Assimilée au progrès et à la technique, elle était promise à un grand avenir. Faisant l'admiration des foules qui venaient visiter les ouvrages colossaux qu'elle nécessitait, elle pouvait même devenir, limitant la dépendance d'un pays au charbon et au pétrole, un objet de fierté nationale.

Techniquement un barrage est un ouvrage d'art généralement établi en travers d'une vallée, d'un fleuve ou d'une rivière, transformant en réservoir d'eau un site naturel approprié. Dans une cuvette dont il convient qu'elle soit géologiquement étanche, le barrage est constitué d'une fondation, étanche en amont, perméable en aval, d'un corps de retenue de forme et de conception variables et d'ouvrages annexes, évacuateurs de crues, vidanges de fond, prises d'eau etc. (*voir Annexe 1*). On retiendra essentiellement deux grandes catégories de barrages :

- les barrages de retenue (avec réservoirs) dont la finalité est un stockage annuel (voir dans certains cas pluriannuel) ou saisonnier de la quantité d'eau nécessaire à leur exploitation (Électricité),
- les barrages « au fil de l'eau » (barrage et ouvrages de dérivation qui entravent le fleuve afin de dévier une partie des écoulements vers un canal ou une centrale électrique) qui n'ont pas de réservoir mais peuvent avoir une faible capacité journalière de rétention d'eau.

Si on s'en tient aux estimations il n'existerait pas moins de 800000 barrages dans le monde pour l'hydroélectricité, l'irrigation, la régulation des crues et l'alimentation en eau potable et à usage industriel, dont environ 45000 répondent à la définition de « grands barrages » selon la « Commission Internationale des Grands Barrages, CIGB », fondée en 1928 : *tout barrage ayant une hauteur d'au moins 15 m à partir de la fondation ou encore, pour une hauteur de 5 à 15 m, un réservoir d'un volume supérieur à 3 millions de m³*. La moitié se trouve en Chine. Pour autant 80% ont une hauteur inférieure à 30 m et 1% une hauteur supérieure à 100 m.

Entre 1970 et 1975, 5415 barrages ont été construits, soit le double de ce qui fut construit dans les années 1950 « âge d'or » de la houille blanche. Bien qu'il existe actuellement plus de 1200 barrages en chantier (467 en Inde, 120 en Chine), le rythme de construction s'est considérablement ralenti depuis 1980 à mesure que des craintes s'exprimaient quant aux impacts financiers, sociaux et écologiques desdits ouvrages.

Les grands barrages endiguent aujourd'hui 60% des fleuves de la planète.

A titre indicatif la Chine, à elle seule, a construit environ 22000 grands barrages (elle n'en avait que 22 avant 1949); les Etats-Unis en comptent 6390, l'Inde plus de 4000. Il y en a 1272 en Afrique essentiellement destinés à l'irrigation et à l'approvisionnement

en eau. Le Moyen Orient possède 793 grands barrages servant à l'irrigation et à la régulation des crues. Il y a 1200 de ces ouvrages au Japon. En Europe, la France, avec 744 barrages ayant plus de 10 m de haut dont 296 de plus de 20 m est le second constructeur après l'Espagne qui en compte plus de 1000 ⁽⁹⁾.

Les barrages ont de nombreuses fonctions et avantages lesquels peuvent d'ailleurs se combiner et s'associer : la régulation des cours d'eau permettant de juguler les crues et rendre les fleuves navigables, l'irrigation des cultures, l'alimentation en eau des agglomérations (usage domestique et industriel), la production d'énergie hydroélectrique, la retenue des rejets de mines ou de chantier, le tourisme, les loisirs, voire la lutte contre les incendies.

Il y en eut même un – c'est le seul du genre – édifié par le génie militaire américain entre 1986 et 1989 dont le but fut de retenir et stocker une partie des sédiments provenant de l'éruption majeure du volcan de Mont Saint Helens en 1980.

Mais les barrages ont également, quand ils n'ont pas servi à des fins militaires ou expansionnistes, détourné et dénaturé les cours d'eau, remettant en cause des droits établis et l'accès à l'eau, ce qui a entraîné des impacts quelquefois considérables sur les moyens d'existence de population entières et sur l'environnement ; tandis qu'on compte en millions le nombre de personnes qu'ils ont déplacées dans le monde, ces barrages sont également le plus souvent synonymes d'atteinte aux écosystèmes.

En 2002, la Commission Mondiale des Barrages, (C.M.B.), créée en mai 1998 à l'initiative de la Banque Mondiale et de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (U.I.C.N) estimait que si « Les barrages ont contribué de manière importante et significative au développement de l'humanité, et si leurs bénéfices ont été considérables... dans de trop nombreux cas, un prix inacceptable et souvent inutile a été payé, en particulier en termes sociaux et environnementaux, par les personnes déplacés, les communautés de l'aval, les contribuables et l'environnement naturel ».

On considère aujourd'hui, en terme de représentation sociale des barrages, qu'appliquer une approche purement financière et comptable pour en évaluer les coûts et les bénéfices, en estimant que les pertes, voire les drames subits par une partie de la population se compensent par les avantages qu'en retire la majorité (à l'échelle d'un pays ou d'une région), est inacceptable ; qu'au contraire on doit prendre en compte les droits de l'homme, de son environnement, du patrimoine que l'humanité aura à céder aux générations futures, dans le cadre d'un développement plus durable. Aussi les décisions

relatives à la construction des barrages sont-elles de plus en plus contestées, à mesure que l'expérience et les connaissances s'accroissent et que de nouvelles technologies sont développées.

Les barrages ont apporté une contribution essentielle aux progrès économiques qui furent réalisés au cours du XX^e siècle, et la prospérité de bien des états et de leur population leur en est redevable ; toutefois, tous comptes faits, leur bilan s'avère globalement en dessous des objectifs initialement escomptés et incite à une transparence plus grande, plus ouverte et toujours plus inclusive quant aux décisions à prendre en matière de construction, voire de démantèlement de certains ouvrages.

NOTES

- (1) Dates de son règne :
 - 3185 à -3125 (selon J. Vercoüter)
 - 3150 à -3125 (selon N. Grimal)
- (2) Ville située à l'entrée du delta du Nil, au sud du Caire actuel, capitale de l'Ancien Empire de Basse-Egypte, dont la légende attribue la création au *pharaon Ménès*.
- (3) C'est le plus ancien barrage connu ; d'une longueur de 115m, il fut construit vers -3000 av. J.C
- (4) L'ensemble archéologique de **Mérida** est inscrit au patrimoine de l'UNESCO depuis 1993.
- (5) Il est situé à 10 km au Nord de Lisbonne. Construit en « *opus incertum* », muni de contreforts, il mesure 50m de long, 7 m large, sa hauteur étant de plus de 8m. Il alimentait l'aqueduc d'Amadora qui en conduisait les eaux vers Lisbonne.
- (6) Ainsi en France, les différentes « déclinaisons » des mots « *bief* » et « *Bievre* » (ancien nom du Castor), ex : *Beuvry (castor)* ou *Labeuvrière (La Castorière)*.
- (7) La hauteur de chute utilisable est fixée à quatre « *pieds de roi* », c'est à dire 1,30m. L'ensemble d'une roue et son mécanisme porte le nom de « tournant » et développe environ 30ch. Les « tournants » sont disposés côte à côte en travers du cours d'eau, aménagé lui-même en chutes successives ; c'est cette technique qui a rendu possible l'industrialisation du pays (coutellerie à Thiers, bonneterie à Troyes). Les anciennes unités de mesure furent abolies pendant la Terreur, le 1^{er} août 1793, par la Convention montagnarde, abolition confirmée par la loi du 18 germinal an 3 (7 avril 1793) de la Convention thermidorienne et rendue définitive par la loi du 19 frimaire au 8 (10 déc. 1799) sous le Consulat, au profit du système métrique.
- (8) (8) Dès le XIX^e siècle les roues à aubes sont utilisées pour produire de l'électricité ; à la fin du siècle elles seront remplacées par la turbine qui permet l'apparition des premiers barrages. On peut faire débuter l'histoire de l'hydroélectricité en 1869, lorsqu'**Aristide Bergès (1833-1904)** installe une chute hydraulique à Lancey dans les Alpes pour les besoins énergétiques d'une papeterie. C'est d'ailleurs à **Aristide Bergès** que l'on doit l'expression « *houille blanche* », développée à partir de 1878 à Grenoble au cours de réunions locales. L'expression, tandis que Grenoble est consacrée capitale de la « *houille blanche* », est définitivement popularisée lors de l'exposition universelle de Paris en 1889.
- (9) Pour autant c'est la *Norvège* qui est le premier producteur européen d'énergie hydraulique (6^{em}e rang mondial) pour une puissance installée de 27000 MW et une production annuelle d'environ 110 TWh. (98% de la consommation d'énergie électrique du pays). A titre de comparaison, en *Suisse* la production d'hydroélectricité est inférieure à 40 TWh.

Première partie

Eau, progrès et développement Eléments de représentation sociale positive des barrages

*« La science à fait de nous des dieux avant que
nous méritions d'être des hommes »*

Jean Rostant ⁽¹⁾

Toute entreprise a évidemment ses avantages, mais ceux-ci, avec la même évidence, induisent en eux-mêmes leurs propres inconvénients. En bousculant l'ordre naturel, qui n'est rien d'autre qu'un fragile équilibre, l'homme prend des risques. Et parce que, aidé en cela par une technologie de plus en plus poussée, rien ne lui paraît impossible, il a tendance à exagérer.

En améliorant sans cesse son confort (ce qui n'est pas condamnable en soit, pris au sens général du terme), vivant dans le présent, il n'a pas toujours la conscience qu'il peut obérer l'avenir. C'est ainsi qu'il a longtemps prospéré. C'est une idée nouvelle, en forme de sensation, qui devient pourtant chaque jour plus présente, précise et pressante qu'il peut ou pourrait être lui-même, étant partie intégrante de l'écosystème, victime, comme toutes les espèces vivantes de son biotope, des pollution qu'il créees, sans en avoir, au demeurant, toujours conscience.

Qu'il le veuille en non, au stade où il en est de ses besoins toujours croissants, il va devoir, sinon réparer toutes les erreurs passées, du moins, désormais, rééquilibrer les avantages et les inconvénients de ses projets sur le plan hydraulique.

« Quand un lac de retenue se substitue à une curiosité touristique, lui-même ne tarde pas à devenir un centre d'intérêt puissant. Une végétation en apparence anéantie ne tarde pas à se reconstituer, le lac devient à son tour un merveilleux domaine à empoissonner. Toutes les choses, au bout de quelques années, reprennent leur équilibre » disait en 1956 pour l'éducation des grands et des moyens Monsieur Léon Bertin, professeur au muséum d'Histoire Naturelle, dans le Larousse thématique « La Terre » : un discours et une ingénuité non seulement inacceptables, mais encore incompréhensibles aujourd'hui.

* *
*

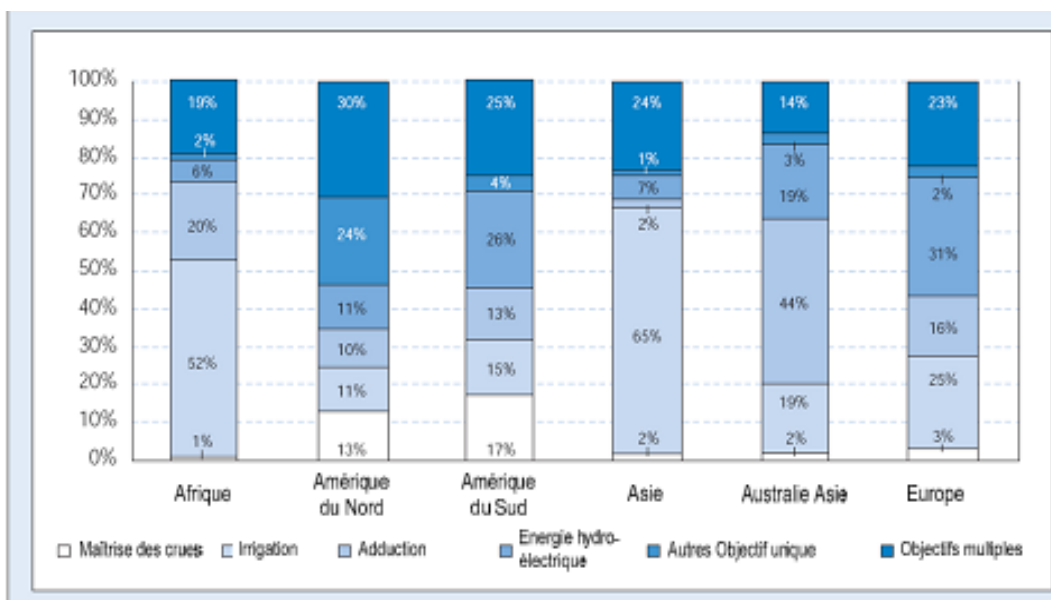
On ne niera pas certes qu'un lac de barrage peut-être un accueil inespéré pour certaines oiseaux migrateurs ou encore un lieu de reproduction pour certains espèces aquatiques. Il n'est pas contestable non plus qu'un lac artificiel améliore souvent les conditions d'écoulement en étiage, ni que certains barrages en rendant des fleuves navigables ont fait la prospérité des régions que traversaient leurs rives endiguées et canalisées.

Il est tout aussi exact – et il serait sot de n'en pas tenir compte – qu'effectivement, certains lacs de retenue accessibles présentent un potentiel touristique et donc économique non négligeable sur un plan local ou régional; que même, dans certains cas, le développement de la pisciculture a pu et peut apporter un plus à des populations déshéritées. Mais ce ne sont là que des activités indirectes, complémentaires et souvent peu significatives.

Les barrages ont naturellement d'autres finalités et avantages si on les tient comme d'importants moyens de satisfaction des nécessités en eau et en énergie ou encore comme des investissements stratégiques à long terme ; irrigation, hydroélectricité, lutte contre les inondations.

Reste que le développement régional, la promotion d'une industrialisation de base, la création d'emplois, la génération de revenus à partir des recettes d'exploitation et donc d'exportation potentielle (énergie électrique, surplus agricoles, production industrielle nécessitant eau et électricité comme par exemple l'aluminium) sont également pris en considération quant à la construction de grands barrages.

1. Répartition des grands barrages existants par région et par objectif



2. Estimations des investissements annuels en barrages dans les années 1990 (en milliards de dollars Etats-Unis par an)

	Pays en développement	Pays développés	Total
Barrages pour l'énergie hydro-électrique	12-18	7-10	19-21
Barrages pour l'irrigation	8-11	3-5	13-18
Barrages pour l'adduction	1,5		
Barrages pour le contrôle de crues	0,5-1,0		
Total	22-31	10-15	32-46

3. Barrages actuellement en cours de construction

Pays	Nombre de barrages	Objectif
Inde	varie entre 695 et 960 selon la source des données	Irrigation, buts multiples
Chine	280	maîtrise des crues, irrigation, énergie hydro-électrique incluant réserve de pompage
Turquie	209	Irrigation, énergie hydro-électrique, adduction
Corée du Sud	132	Irrigation, énergie hydro-électrique, adduction, gestion des crues
Japon	90	maîtrise des crues essentiellement
Iran	48 (de plus de 60 m de haut)	Irrigation, buts multiples

Production de l'électricité hydraulique en térawatt-heure (2004)	
Canada	337,7
Etats-Unis	264,34
Russie	231, 3
France	68,9 (juin 2009)

(Source : CIGB 1997 ;
Journal international de l'énergie hydraulique
et des barrages, 2000)

En fait pour l'essentiel, la construction de grands barrages a pour objet la production d'énergie hydroélectrique ; c'est le cas des grands pays riches en débits et où se trouvent des sites favorables : Canada, Norvège, Brésil, Russie et Etats-Unis. Des barrages sont aussi réalisés pour l'irrigation des cultures ou la mise en culture de zones jusqu'alors semi-arides ; c'est le cas de l'Afrique de l'Est (Egypte), l'Afrique du Sud, l'Australie et l'Espagne auxquelles est nécessaire, du fait d'une pluviométrie très variable entre les saisons, voire d'une année à l'autre, une grande capacité de stockage pour satisfaire la demande courante et se prémunir contre les risques de sécheresse. Il en est de même pour l'Asie de l'Est et du Sud-est qui doivent capter et stocker de grandes quantités d'eau durant la saison pluvieuse de mousson et la restituer en période sèche lorsque le débit des fleuves est jusqu'à 10 fois moins important. La nécessaire maîtrise des crues afin de prévenir des inondations pouvant s'avérer catastrophiques humainement et financièrement est surtout le fait des deux continents américains aux débordements fluviaux qui s'avéraient jusque là incontrôlables.

On note toutefois un intérêt croissant pour les barrages à vocations multiples, maîtrise des crues et réservoirs de pompage pour assurer les pointes de demande en électricité (Asie), d'une part, d'autre part, irrigation et adduction d'eau (Asie du Sud-est, Europe et Amérique du Nord). Tous les autres potentiels, en ceux- là compris la navigation et le tourisme de loisir représentent moins de 5% du nombre des barrages construits.

(Source Rapport de CMB. Chapitre1, eau, développement et grands barrages)

1.1. L'hydroélectricité

La production d'électricité est, il faut le reconnaître la raison première pour la construction des grands barrages, que cette production soit ou non associée à d'autres fonctions. Au cours des 25 dernières années la production mondiale d'électricité a doublé.

Actuellement, l'énergie hydroélectrique fournit près de 20% (soit plus de 715 gigawatts) des besoins en électricité dans le monde. Elle est utilisée dans plus de 150 pays. Dans 24 pays elle représente plus de 90%, et plus de 5% dans 63 autres, de la fourniture totale d'électricité. Actuellement cinq pays, Etats-Unis, Canada, Brésil, Chine et Russie représentent à eux seuls plus de la moitié de la production mondiale d'électricité hydraulique.

(Source C.GIB rapport 1998). Près de 15% de la puissance électrique installée en Europe est d'origine hydraulique)

(Source : Collectif « Images économiques du monde » Panorama annuel 2006- Paris Arman Colin 2005)

L'énergie hydraulique est fournie par le mouvement de l'eau quel qu'en soit la forme, chute, cours d'eau, marée ; l'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine⁽²⁾ puis en électricité par un alternateur⁽³⁾. Les propriétés de l'électricité ont été découvertes dès le XVIII^{ème} siècle. La maîtrise du courant électrique est à l'origine de la seconde révolution industrielle et donc pour partie de la prospérité des grands pays. L'énergie hydroélectrique a, dès l'origine, été perçue et promue comme une source d'énergie renouvelable, propre, d'un coût modéré et basée sur une technologie éprouvée.

L'énergie hydroélectrique est renouvelable en ce sens qu'elle peut être exploitée par l'homme de telle manière que ses réserves ne s'épuisent pas, puisque sa vitesse de formation est plus grande que sa vitesse d'exploitation, ce qui n'est évidemment pas le cas de l'ensemble des combustibles fossiles dont la surexploitation fait craindre la pénurie à moyen terme. A l'échelle mondiale, les niveaux actuels de production d'énergie hydroélectrique compensent 6% de la production pétrolière nécessaire à l'énergie thermique.

L'énergie hydroélectrique peut être aussi considérée comme propre (encore que le fait soit discuté dans le mesure où l'activité bactériologique dans l'eau des barrages, surtout en régions tropicales, relâcherait d'importantes quantités de méthane, ayant un effet de serre 20 fois plus puissant que le CO₂) si on tient compte qu'une énergie propre (ou énergie verte) est une source d'énergie primaire qui produit une faible quantité de polluants lorsqu'elle est transformée en énergie finale et utilisée comme telle. Le concept est toutefois distinct de celui d'énergie renouvelable : une énergie renouvelable traduit le fait qu'elle se reconstitue et non qu'elle ne produise ni pollution ni déchets ; inversement le fait qu'une énergie soit propre n'implique pas qu'elle soit indéfiniment disponible.

On classe toutefois l'énergie hydroélectrique, tout comme l'énergie marémotrice parmi les énergies propres en ce qu'elles ne produisent que peu de gaz à effet de serre,

encore que les barrages en tant que tels (nous le verrons plus loin) n'en soient pas exempts.

Par ailleurs malgré des coûts de réalisation généralement élevés, ceux de la maintenance restant modérés, l'énergie de l'eau étant gratuite et renouvelable si on l'utilise saisonnalement, et enfin parce que les installations sont envisagées pour une longue durée d'exploitation, on considère que l'énergie hydroélectrique a un coût de fonctionnement faible et donc économiquement performant (en particulier pour les projets de dérivation et de réservoirs où la sédimentation ne pose pas de problèmes particuliers). C'est en tout cas un des systèmes de production d'électricité les plus rentables. En outre c'est l'un des plus souples ; en effet l'énergie hydraulique est stockable et immédiatement disponible en tant que force (l'eau du réservoir) et peut donc être utilisée en « pointe » c'est à dire quand la demande est la plus forte sur le réseau public de distribution, encore qu'il ne soit pas inutile de noter :

- que si effectivement la puissance hydroélectrique installée dans le monde représente environ 20% de la puissance électrique, soit 715 gigawatts, la production d'énergie est bien moindre (le l'ordre de 10%) que sa puissance installée pourrait le laisser penser, cette dernière jouant un rôle important pour assurer l'équilibre instantané de la production et de la consommation ; en effet l'énergie électrique ne se stocke pratiquement pas (c'est d'ailleurs le grand problème de l'énergie en général ; son transport dans le temps et dans l'espace); l'énergie électrique est donc condamnée à n'être souvent qu'une variable d'ajustement.

De nombreuses études donnent toutefois l'espoir que dans un avenir relativement proche (30 à 40 ans) , avec l'évolution des technologies, il sera possible de répondre à l'ensemble des besoins énergétiques par des sources renouvelables et plus propres à un coût à peu près comparable à celui des énergies fossiles et nucléaire ; ceci nécessitera un effort très intense de transformation des réseaux de production, stockage et transport de l'énergie, ce qui sous-tend une forte volonté sociétale et politique.

Aussi on comprendra que l'énergie hydroélectrique a toujours représenté un attrait pour les pays – dont les sites s'y prêtaient –ayant peu ou pas de ressources énergétiques fossiles, contraints qu'ils seraient de les importer pour soutenir leur production d'électricité, nécessaire à toute industrialisation et économie. En plus, comme énergie renouvelable décentralisée, elle présente de nombreux intérêts en termes de sécurité énergétique intérieure, militaire et civile, ainsi qu'en matière de risques terroristes.

Elle est basée par ailleurs sur une technologie éprouvée ; même si certains accidents ont pu frapper durablement les esprits et certaines régions, comme fut le drame du barrage de Malpasset le 2 décembre 1959 près de Fréjus, (423 victimes)⁽⁴⁾, du barrage de Vajont en Italie qui le 9 octobre 1963 fit 2000 victimes⁽⁵⁾ , on estime qu'au cours du 20^{em}è siècle , seulement 1% des barrages à travers le monde se sont rompus (entre 1959 et 1987, trente accidents ont fait 18000 victimes dont les 2000 du barrage de Vajont); de la même façon historiquement, les ruptures causées par des séismes sont très peu nombreuses comparées à celles résultant de défauts de conception.

En 2010, en France, conformément à un sondage effectué par BVA pour le compte de l'Ademe, 97% des répondants se déclaraient favorables au développement des ENR, marquant toutefois leur préférence pour :

- le solaire 61% (contre 68% en 2009)
- l'éolien 53% (contre 43% en 2009)
- l'hydraulique 20%
- la géothermie 16%

Il ne s'agit là toutefois que d'une pétition de principe quant à l'acceptabilité générale des ENR, puisque par ailleurs l'Ademe enregistre une baisse de cette même acceptabilité lorsqu'il est question d'installation à proximité des habitations (éolien) ou « sur le toit » (solaire), craignant pour l'éolien une « pollution » visuelle et sonore, estimant pour le solaire qu'il est trop coûteux avec un temps de retour sur investissement trop long.

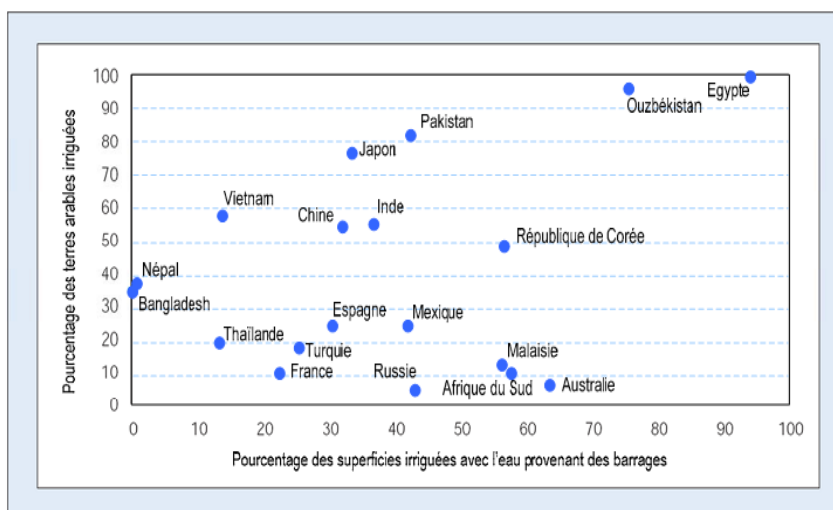
1.2. L'irrigation

Actuellement, environ 3800 kilomètres cubes d'eau douce sont annuellement prélevés dans les lacs, fleuves et rivières du monde : deux fois plus qu'il y a 50 ans. Tout aussi actuellement l'irrigation est la plus importante consommatrice d'eau, à but unique dans le monde. Elle consiste à apporter artificiellement de l'eau à des végétaux cultivés pour en augmenter les rendements et permettre aussi, en cas de déficit pluviométrique, un développement normal des récoltes autant que cela est possible. Elle est liée, par la production qu'elle induit à la sécurité alimentaire d'un pays.

Elle permet aussi, dans certaines conditions de mettre en valeur agricole des terres qui ne l'étaient pas, peu, voire pas du tout, notamment en zones arides. Environ un cinquième des terres agricoles du monde est irrigué, soit plus de 277 millions d'hectares (2002, source F.A.O.) sur 1,4 milliard d'hectares arables donc cultivables. Selon les sources l'agriculture irriguée représente entre 30 et 40% de la production alimentaire mondiale.

La superficie des zones irriguées s'est considérablement accrue et n'a fait qu'augmenter depuis la « révolution verte » des années 1960, conduisant parallèlement à une augmentation des récoltes et à une baisse globale des prix internationaux des principales denrées stratégiques (blé, maïs, orge, riz, betteraves à sucre...).

Toutefois l'accroissement des superficies irriguées a ralenti à 2% de 1970 à 1982, et s'est stabilisé à partir de 1994 à un taux annuel de 1,3 %. La moitié des grands barrages (la majorité en Afrique et en Asie) sont destinés à l'irrigation bien qu'ils puissent avoir des fins multiples (hydroélectricité le plus souvent). En fait on estime que 30 à 40% de ces 277 millions d'hectares irrigués dans le monde dépendent des barrages qui ainsi contribuent pour environ 16% à la production alimentaire mondiale (bien qu'il soit reconnu que l'irrigation par forage des eaux souterraines a de meilleurs rendements pour une quantité d'eau donnée en raison d'une plus grande maîtrise des ressources au niveau des exploitations).



1. Terres agricoles irriguées à partir de barrages

Quatre pays, la Chine, les Etats-Unis, l'Inde et le Pakistan, comptent à eux-seuls pour plus de 50% des superficies totales irriguées au plan mondial. Certes la proportion des grands barrages construits à des fins d'irrigation peut varier de façon significative d'un pays à un autre, en termes de pourcentage de terres agricoles irriguées et d'eau fournie par lesdits barrages.

Ainsi en Egypte notamment, le très controversé barrage d'Assouan fournit l'eau à presque 100% des terres irriguées, tandis qu'au Népal ou encore au Bangladesh, les barrages n'y entrent que pour 1% ; en Inde et en Chine les grands barrages selon les statistiques officielles fourniraient entre 30 et 40% de l'eau nécessaire à l'irrigation. Pour information, et tous systèmes d'irrigation confondus, 80% de la nourriture produite au Pakistan, 70% pour la Chine proviennent de terres irriguées ; en comparaison, seulement 2% pour le Ghana, le Mozambique et le Malawi. Même si là encore le bilan global peut donner lieu à des discussions, il n'est pas contestable que les barrages ont rempli leur mission quand à l'alimentation d'une planète dont la population, actuellement de plus de six milliards, ne cesse d'augmenter.

L'irrigation, pour de nombreux agriculteurs – et pas seulement dans les pays développés – est une assurance de revenus, principalement pour les cultures spécialisées tel que les fruits et primeurs. Il peut même s'agir dans les pays ou régions défavorisées de survie.

De fait l'irrigation est devenue une contrainte dans le process de production ; on n'imagine mal ce que, sans elle, deviendraient les grands producteurs d'oléagineux ou de maïs.

1.3. Protection contre les crues et inondations

La vie naturelle d'un cours d'eau est faite d'alternance entre les périodes de basses eaux et les périodes de hautes eaux. Lorsque celles-ci montent, plus ou moins rapidement, on assiste à un phénomène de crue. On parle d'inondations lorsqu'un espace terrestre est temporairement submergé. Bien que les inondations naturelles aient généralement des effets bénéfiques (les fameuses inondations du Nil, avant le barrage d'Assouan), elles peuvent être une grave menace pour la vie, la santé, les moyens d'existence et les propriétés. Elles sont parmi les désastres les plus dévastateurs du monde. Selon l'Institut International de l'Eau de Stockholm (SIWI) pour la période 1996-2005, environ 80% des catastrophes naturelles étaient d'origine météorologique ou hydrauliques, tandis qu'elle ont en moyenne affecté la vie de 56 millions de personnes annuellement entre 1972 et 1996, soit 40% des accidents dus à toutes les catastrophes naturelles réunies, soit sans commune comparaison avec tous les autres désastres connus par l'humanité y compris les guerres, les sécheresses et les famines. Chaque année 3,3 millions de personnes restent sans abris à cause des inondations.

En termes d'importance régionale, les pertes économiques consécutives aux inondations en Asie ont dépassé celles des Etats-Unis et de l'Europe réunies entre 1987 et 1996. Les causes en sont multiples :

- tout d'abord, causes naturelles liées au changement climatique ou encore à des phénomènes naturels prévisibles (la mousson en Asie), voire accidentels, (ex : glissements de terrain) qui empêche l'écoulement normal de l'eau.
- causes anthropiques directes ; le drainage, l'irrigation intensive, l'imperméabilisation des sols et leur dégradation, la déforestation intensive, qui peuvent accélérer le ruissellement de l'eau et en limiter l'infiltration,

- causes liées aux modifications climatiques globales résultant de l'émission de gaz à effet de serre entraînant la fonte des glaciers qui, elle-même, provoque une remontée générale du niveau des eaux,
- des causes humaines directes ; établissement d'écluses, construction de barrages, qui en facilitant la navigation et le transport fluvial, diminue la pente naturelle des cours d'eau.

Et la situation semble devoir s'aggraver: « d'après les simulations, il est probable que dans les années 2000 de très nombreux millions de personnes supplémentaires seront inondées chaque année suite à l'élévation du niveau de la mer. Les zones très peuplées et de faible altitude où la capacité d'adaptation est relativement faible et qui sont déjà confrontées à d'autres défis tels que les tempêtes tropicales ou la subsidence locale de la côte, sont particulièrement en danger. Le nombre de personnes touchées sera plus grand dans les méga-deltas d'Asie et d'Afrique, tandis que les petites îles sont particulièrement vulnérables L'adaptation pour les régions côtières sera plus difficile dans les pays en voie de développement que dans les pays développés, à cause des contraintes pesant sur la capacité d'adaptation ! ».

(quatrième rapport d'évaluation du Groupe de travail II du G.I.E.C p.7-20)

La restauration de zones humides, voire la réintroduction du castor, la lutte contre le ruissellement et contre l'imperméabilisation urbaine et des sols, la plantation de bandes enherbées, le reboisement et l'entretien de forêts de protection, la restauration de zones d'expansion de crue en amont, dès le haut du bassin versant, etc., sont autant d'actions pouvant s'avérer efficaces contre les crues et les inondations. Mais les barrages participent également à cet effort de protection, puisqu'environ 13% des grands barrages dans le monde – se trouvant dans 75 pays – ont une fonction de maîtrise des crues, bien qu'il existe néanmoins certains cas où les barrages ont créé ou aggravé la situation.

On notera toutefois qu'en ce domaine le bilan est lui aussi limité ; en effet les deux dernières décennies ont apporté une réévaluation exhaustive de ce qui constitue la combinaison appropriée de mesures de prévention, de protection, et d'atténuation des désastres dus aux inondations. Aussi, la focalisation sur le contrôle des eaux d'inondation qui prévalait jusque vers les années 60 à laissé la place à des approches intégrées et nettement plus axées sur l'environnement, c'est à dire, à une meilleure compréhension du fonctionnement des systèmes naturels, acte étant pris que les inondations se produisent malgré la présence des structures mises en place et nonobstant le coût très élevé des solutions technique mises en œuvre.

1.4. Alimentation en eau de consommation et à usage industriel des centres urbains ; les fonctions et activités induites

L'eau est une nécessité vitale pour l'humanité : on estime le besoin moyen par individu au niveau mondial de 20 à 50 litres d'eau par jour (alimentation, hygiène etc.). Reste que les disparités régionales sont énormes (un enfant dans un pays développé consomme 30 à 50 fois plus d'eau que dans un pays en voie de développement). Plus d'un milliard de personnes sont exclues d'un approvisionnement suffisant en eau dont 884 millions en eau potable, notamment en Asie et en Afrique. (En moyenne 22000 personnes meurent chaque jour en raison d'une consommation d'eau insalubre). Selon le contexte géographique et social, l'appréhension du problème de l'accès à l'eau potable varie dans d'importantes proportions. Dans le cas idéal, l'eau est disponible facilement, sûrement et est, de plus, de bonne qualité : c'est globalement le cas dans les pays développés et industrialisés. Cependant force est d'admettre qu'hors ces pays généralement dotés naturellement de ressources suffisantes en eau, à l'inverse ce n'est pas le cas pour

l'ensemble des régions semi-arides à faible pluviométrie où l'eau ne peut être disponible qu'en quantité réduite, voire minime, et encore temporairement durant la saison humide.

Elle peut être au surplus de mauvaise qualité et se trouver à plusieurs heures du lieu de résidence des habitants.

Depuis le 28 juillet 2010 l'accès à l'eau potable est reconnu comme un droit fondamental par l'ONU, l'OMS et l'UNICEF assurent pour le compte des Nations-Unies des projets qui doivent être réalisés en ce domaine. Dans la cible 10 de l'objectif 7 des objectifs du Millénaire pour le développement dont le but escompté est de réduire de moitié d'ici 2015, la proportion de la population mondiale n'ayant pas accès de façon durable à un approvisionnement durable en eau de boisson salubre et à des services d'assainissement de base, l'OMS-UNICEF définit l'eau de boisson salubre et l'assainissement de base comme suit :

- l'eau de boisson désigne l'eau utilisée à des fins domestiques, la boisson, la cuisine et l'hygiène personnelle,
- l'accès à l'eau de boisson signifie que la source de cette eau est située à moins de 1 km du lieu de son utilisation et qu'il doit être possible d'obtenir au moins 20 litres d'eau par habitant et par jour,
- l'eau potable est une eau ayant des caractéristiques microbiennes, chimiques et physiques qui répondent aux directives de l'ONU et aux normes nationales relatives à la qualité de l'eau de boisson,
- l'accès à l'eau potable est indiqué par la proportion de personnes qui utilisent des sources améliorées d'eau potable: raccordement à domicile, bornes, fontaines publiques, trous de sondage, puits protégés, sources protégées.

Pour autant, ces services de base induisent nécessairement – et l'on comprend aisément pourquoi – un assainissement de base (ce n'est toutefois pas l'objet de la présente étude et l'argument est donné pour mémoire) pour l'évacuation hygiénique des excréments et des différentes eaux usées (ce qui en soi peut d'ailleurs, se révéler tout autant consommateur d'eau).

L'association des services d'approvisionnement en eau potable et d'assainissement hygiénique est considéré comme la condition préalable au succès de la lutte contre la pauvreté et la faim ce qui devrait permettre d'éviter, ne serait-ce partiellement, que :

- 1,6 million de personnes meurent chaque année de maladie diarrhéiques (notamment du choléra), sachant que 90% de ces personnes sont des enfants de moins de 5 ans,
- 160 millions de personnes contractent la schistosomiase (autrement dit bilharziose) qui fait des dizaines de milliers de morts chaque année,
- 133 millions d'êtres souffrent d'helminthiases graves (l'helminthe est un ver parasite de l'homme et des vertébrés), dont 1,5 million de cas cliniques d'hépatite A enregistrés chaque année.

A ce jour d'une manière globale, la consommation des zones urbaines représente 7% du total de l'eau prélevée dans les cours d'eau et 22% de celle prélevée dans les lacs. De nombreux réservoirs (ce qui sous-entend barrages) ont été construits pour assurer un approvisionnement fiable, c'est à dire stable et suffisant en vue de satisfaire les besoins urbains et industriels qui croissent de plus en plus rapidement. Ils ont été construits en particulier dans les régions régulièrement soumises à la sécheresse et où les sources naturelles d'eau de surface, les lacs et cours d'eau étaient considérés comme insuffisants en rapport des besoins. De manière globale, environ 12% des grands barrages sont des barrages d'adduction d'eau. 50% de ces barrages se trouvent en Amérique du Nord et en Europe (à titre d'exemple, dans la région Saxe en Allemagne, les barrages fournissent 40% de l'eau destinée à 2 millions de personnes, à Los Angeles 37%, tandis qu'Ho Chin Min

Ville obtient 89% de son eau à partir des eaux de surface et Hanoi 100% à partir des eaux souterraines), tandis que la répartition pour les autres continents est la suivante :

- Afrique : 6%
- Amérique du Sud : 13%
- Asie : 7%
- Australie / Asie du Sud et Insulaire : 19%

On comprend donc qu'un effort considérable reste à faire pour permettre à l'OMS et à l'UNICEF d'atteindre leurs objectifs : s'engager à élargir la couverture mondiale en eau salubre, pour la faire passer de 77% en 1990 à 88,5% en 2015 sachant qu'au cours de la période 1990-2002, elle a augmenté de 5%, passant de 77% à 82% ; cela signifie que près d'un milliard de personnes supplémentaires ont obtenu l'accès à des sources d'eau pendant cette période et laisse espérer que la cible envisagée pour l'eau potable sera sans doute atteinte, sauf évidemment en Afrique subsaharienne qui reste largement à la traîne derrière les autres régions en développement (à titre indicatif, pour les même période en matière d'assainissement, augmentation de 9% à 50% ; il faudrait que la couverture mondiale passe à 75% d'ici à 2015 alors qu'elle n'était que de 49% en 1990 ce qui signifie que si la tendance faible se poursuit, eu égard à l'augmentation subséquente de la population, en 2015 il restera autant de personnes exclues d'un environnement assaini qu'en 1990, soit 2,4 milliards).

Pour satisfaire aux besoins fixés par l'OMS-UNICEF (qui permettrait d'éviter 470.000 décès et offrir 320 millions de journées de travail productives chaque année, ce qui permettrait d'engendrer des gains économiques de 3 à 34 USD par dollar initialement investi), on pourrait donc concevoir, qu'à l'image des pays occidentaux (Amérique du Nord / Europe) la solution passe par la réalisation de barrages ayant pour finalité le stockage et la distribution d'eau aux populations. Ce n'est pas si simple.

La Commission Mondiale des Barrages considère à juste titre que la finalité de tout projet doit-être durable pour l'humanité, ce qui suppose un progrès notable du développement humain, sur une base qui soit

- économiquement viable
- socialement équitable
- écologiquement durable

Certes, si un grand barrage est le meilleur moyen d'atteindre cet objectif – ce qui aura malgré tout nécessairement un coût qui ne sera pas que financier – il convient, pour la Commission, dès lors d'en soutenir le projet avec l'appui de la Banque Mondiale. Si d'autres options offrent de meilleures solutions, il faudra alors les préférer aux grands barrages, c'est une évidence.

Mais le problème se pose avec une particulière acuité, lorsque justement, pour satisfaire aux besoins il n'existe pas, malgré tous les risques encourus, d'autre solutions : c'est le cas avéré du haut barrage d'Assouan qui bien qu'il ne soit pas en lui-même destiné seulement à régler des problèmes urgents d'eau potable, est emblématique des craintes que l'on peut nourrir à l'endroit de tels ouvrages.

Envisagé dès 1954 par le colonel Nasser alors président d'Egypte, ce barrage hydroélectrique d'une capacité de retenue de 169 milliards de m³, (long de 3800 m, épais de 980 m à sa base, 40 m à son sommet, de 111 m de haut et pesant 42,7 millions de m³ de béton contenant 12 générateurs électriques de 175 mégawatts chacun, développant une puissance totale de 2,1 gigawatts), à été terminé en 1970 après bien des discussions et polémiques.

Dépassant la querelle relative au déplacement des temples s'Abou Simbel de Ramsès II et de Philae, au demeurant anecdotique eu égard aux besoins réels du point de vu social qui étaient alors ceux de l'Égypte, il faut bien reconnaître que ce barrage, qui reste encore l'un des plus grands du monde a permis :

- l'alimentation du pays en eau,
- la régulation des crues du Nil qui, pour utiles qu'elles furent pendant des millénaires d'humanité, pouvaient s'avérer catastrophiques, réduisant toute une population à la famine et à la misère,
- la mise en place d'un système d'irrigation durant toute l'année, entraînant une hausse considérable des rendements (double récolte) et donc un progrès social et économique sans précédent,
- l'amélioration de la navigation,
- de fournir tout le pays en électricité.

Mais le revers de la médaille est à l'échelle des avantages procurés :

- un ver du groupe des acéломates nommé bilharzie (la Bilharziose) ⁽⁶⁾ s'installe dans les eaux stagnantes et provoque des maladies (parasites d'organes - reins, vessie, foie, rate - provoquant des hémorragies).
- L'érosion et l'apport des limons ne sont plus équilibrés, entraînant la modification géologique du delta du Nil. Le Nil coule plus vite qu'auparavant et érode son lit à raison de 1,7 cm par an.
- L'eau salée pénètre de façon plus importante dans les terres proches du delta, et la nappe phréatique remonte.
- Le limon fertilisateur est retenu par le barrage, ce qui entraîne sa sédimentation ainsi que le recours des agriculteurs aux engrais chimiques.
- Le débit du Nil étant moindre, il n'existe plus le contre-courant à l'embouchure du canal de Suez qui limitait les échanges d'eaux et de faunes entre Méditerranée et Mer Rouge. L'apparition de nouvelles espèces invasives passant par le canal de Suez pour rejoindre la Méditerranée a ainsi augmenté de manière significative depuis la construction du barrage (*voir partie II*).

Ayant de l'eau à profusion, les agricultures font de moins en moins attention aux quantités qu'ils utilisent. Ce qui pourrait s'avérer dangereux pour le futur de l'Égypte. De plus, le barrage n'est pas bénéfique à 100% car, se situant dans un climat aride, l'eau s'évapore très vite avec le soleil. Ce genre d'exemple nourrit donc le débat sur les barrages, mettant en question les options de développement et de gestion des ressources d'eau. C'est le sens des discussions et des polémiques qui s'installent en ce qui concerne les nouveaux projets, tel que celui, pharaonique si on peut dire, du Grand Inga sur le Congo (République Démocratique du Congo)⁽⁷⁾ prévu pour 2014 ou encore le complexe Belo Monte⁽⁸⁾, en Amazonie brésilienne, susceptible, en inondant 160000 ha de forêts vierge, avec toutes les destructions que cela suppose, d'égaliser le gigantisme des travaux qui furent nécessaires à la réalisation du Canal de Panama.

Il faut donc que l'homme sache choisir entre les avantages incontestables qu'apportent les barrages dans leur vie quotidienne, en termes généraux (qui font généralement fi des droits et intérêts particuliers) et les nuisances, destructions, pollutions et pertes irrémédiables qu'ils produisent ou induisent.

NOTES

- (1) **Jean Rostand** (1894–1977), biologiste français. Travaux sur la parthénogenèse expérimentale et la place de la biologie dans la culture humaniste dont il se réclamait.
- (2) Une *turbine* est le dispositif rotatif qui utilise la force d'un fluide (eau, vapeur, gaz, air) dont le couple (l'effort en rotation appliqué à un axe par deux forces égales de sens contraire) est transmis au moyen d'un arbre (organe mécanique qui transmet la puissance). L'énergie du fluide, caractérisée par sa vitesse et son enthalpie (c'est une fonction d'état extensive de la thermodynamique dont la variation permet d'exprimer la quantité de chaleur mise en jeu pendant la transformation à pression constante - isobare - d'un système thermodynamique au cours de laquelle celui-ci reçoit ou fournit un travail mécanique ; l'enthalpie à la dimension d'une énergie et s'exprime en joules).
- (3) Un *alternateur* (ou machine synchrone) est une machine électrique génératrice de tensions et de courants électriques, c'est à dire qui produit un courant électrique alternatif dont la fréquence est déterminée par la vitesse de rotation de la machine (générateur).
- (4) **Barrage de Malpasset** : ce barrage – voûte dont la conception fut confiée à André Coyne (concepteur de plus de 70 de ce type de barrage dans le monde, dont le « *Daniel Johnson au Canada* »), avait une hauteur de 60 m et couvrait une surface de 200 ha (48,1 Mm³ de capacité). Il était uniquement destiné à l'irrigation de la plaine de Fréjus en retenant les eaux du Reynan, torrent qui ne coule qu'en hiver. Sa mise en eau s'est faite en 1954. Fin 1959, après des pluies diluviennes sur la Côte d'Azur, le 2 décembre 1959 le barrage se fissure et avant que les responsables n'aient eu le temps d'ouvrir les vannes, il cède. L'eau d'une hauteur de 40 m déferle à 70 km /h dans la vallée dévastant tout sur son passage. La catastrophe fera 423 morts et disparus. Le barrage ne fut pas reconstruit. Son concepteur *André Coyne* (1891-1960), très affecté par la rupture de son barrage mourra 6 mois plus tard le 21 juillet 1960. Polytechnicien (corps des Ingénieurs des Ponts et Chaussées, il fut changé de cours à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Il a inventé le système des procédés acoustiques d'auscultation et le principe de l'ancrage des ouvrages par des tirants d'acier prétendus. Il avait fondé son propre bureau d'étude en 1947 (*Coyne et Bellier* qui est d'ailleurs toujours en activité) et reçu en 1953 le grand prix d'architecture pour l'ensemble de ses réalisations (voir également la note nr.12 consacrée à la catastrophe dans l'annexe I)
- (5) **Barrage de Vajont**. Construit entre 1956 et 1959 il est situé au dessus du village de *Longarone* dans la province de Belluno à 100 km de Venise, au pied du mont Toc. Il est désaffecté depuis la catastrophe du 9 octobre 1963. D'une hauteur de 22,11 m, d'une longueur de crête de 190 m (22 m à la basse), il avait une retenue d'eau de 150 Mm³ et était essentiellement destiné à l'hydroélectricité. Lors du remplissage du barrage, on constata une modification dans la roche et un premier glissement de terrain eut lieu le 4 novembre 1960. La Societa Adriatica Di Elettricità, soucieuse de vendre le barrage à un service public, considéra qu'une catastrophe était peu probable. On remplit puis vida le lac à trois reprises. Le 9 octobre 1963 à 22h 39, un glissement terrain a fait s'écrouler 260Mm³ de terre et de roches dans l'eau du réservoir à plus de 110 km / h. Deux vagues de 25 Mm³ chacune se propagent en aval et en amont, débordant en aval sur plus de 150 m de hauteur. L'air seul, propulsé par l'eau qui dévale à une vitesse considérable, commence à faire des ravages dans l'étroite vallée. Puis c'est l'eau, qui ravage *Longarone, Pirago, Rivalta, Villamora et Faé*, faisant 2000 morts et disparus. Quand au barrage, il ne fut pratiquement pas endommagé. L'un des responsables du désastre se suicida. Selon la meilleure tradition, les politiques et administratifs furent absents. On condamna un lampiste, Alberico Biadene, à cinq ans de prison en 1977 (14 ans après) qui bénéficiera d'une mesure de grâce un an plus tard (voir la chanson « *La Bombe Atomique* » de *Boris Vian*). Cette catastrophe sans précédent en Europe, à inspiré le film « *La Folie des hommes* » de Renzo Martinelli.
- (6) **Théodore Bilharz** (1825-1862) physicien allemand et pionnier de la parasitologie. Il a laissé son nom à une parasitose grave, endémique en Egypte, la schistosomiase ou bilharziose. C'est en 1951, alors qu'il travaillait à l'hôpital Kasr el Aini au Caire qu'il découvrit le ver parasite vecteur de cette maladie (*Distonium haematobium*) qui peut survivre de 20 à 30 ans dans les vaisseaux sanguins des organes internes des humains et des vertébrés. Il mourut du typhus lors d'une expédition.
- (7) **Barrage Grand Inga** : projet de barrage hydroélectrique sur le *fleuve Congo* en *République Démocratique du Congo*. Il serait établi à proximité des *chutes d'Inga* dans la province du Bas-Congo. Deux barrages Inga I et Inga II existent déjà sur le site. De fait, ce projet Grand Inga viendrait compléter non seulement les deux premiers barrages, mais un troisième, Inga III, nécessitant de ce fait des investissements et travaux colossaux. Grand Inga permettrait (prévisions) de produire 39000 MW par la construction d'un barrage en amont de la prise d'eau de Nikokolo (double du potentiel des Trois Gorges en Chine).
- (8) **Barrage de Belo Monte (Amazonie-Brésil)**. Ce projet pourtant annulé en 1989 semble ressortir des cartons. Prévu pour être le troisième plus grand complexe de barrages au monde , il serait avec 6 km de long sur le fleuve Xingu, des canaux de dérivation gigantesques, un désastre pour l'écologie et les populations locales indiennes (600 km² de forêt inondée et 200 km² de rivière asséchés ; plus de 10000 famille vont devoir déménager sans indemnité car la loi brésilienne ne prend en compte que les personnes touchées par la montée des eaux. Elles vont donc s'entasser dans les bidonvilles d'Altamira en plus de celles

qui ont été déplacées suite à la construction (10000) de Tucuri « C'est comme si on construisait un canal de Panama au milieu de la forêt » déclare fièrement et bêtement l'ingénieur du projet, *Sirio Gomez*.

BIBLIOGRAPHIE

- **Michel Heshung** : « Guide pour la réhabilitation des moulins hydrauliques en vue de la production d'électricité. (Master en Architecture et développement durable .112 p)

FFAM : 10 rue de l'Echarpe – 31000 Toulouse »

- **Jacques Vernier** : « Les énergies renouvelables » P.U.F. - Paris 2005
- **Christian Kert** : « La Sécurité des barrages en question. Rapport de l'OPCEST, 9 juillet 2008
- **Marcel Foucou** : « Malpasset : une tragédie déjà entrée dans l'histoire : naissance, vie et mort d'un barrage » M. Foucou, Fréjus 1978, 40p.
- **Commission Mondiale des Barrages**. Rapport – final 1998 / 2000 (sur internet : taper « eau, développement et grands barrages »

Deuxième partie

Écosystèmes et biodiversité Eléments de représentation sociale négative des barrages

« L'humanité gémit,
à demi-écrasée sous le poids des progrès qu'elle a faits »
Bergson ⁽¹⁾

Tout progrès est une combinaison complexe de savoir, de technique et de mise en œuvre, mais aussi en ce qui concerne cette dernière, de tâtonnements et pourquoi pas d'erreurs et par voie de conséquence des corrections qui sont nécessaires : ce qu'on peut résumer sous le terme général d'expérience.

Mais il existe toujours un certain décalage, plus ou moins long, entre la mise en œuvre d'une technique et l'expérience qu'on en tire ; ne serait-ce qu'en raison de tout ce qu'on ignorait jusqu'alors. Le simple soupçon ne fut jamais – ou en tout cas guère – suffisant, avant qu'on ait inventé « le principe de précaution » (*Voir annexe IV*) pour contrecarrer la mise en œuvre de ce qui était considéré comme un progrès, qui par essence ne pouvait avoir que des avantages positifs, immédiats et nécessaires, mais dont les inconvénients et conséquences dommageables n'apparaîtraient qu'ultérieurement.

On peut même ajouter qu'en ce qui concerne ces conséquences, il eût fallu en être préoccupé, c'est à dire conscient. Ce n'est que de la prise de conscience d'abord

individuelle, puis collective que découle la morale ; laquelle au demeurant, et c'est bien connu, est, si on peut dire, à « géométrie variable » en ce sens qu'elle est fonction de l'époque, du lieu, du climat, de l'implication directe ou indirecte, donc des mentalités que tous ces critères façonnent en raison du style de vie, donc des civilisations qu'ils imposent. Et ce n'est qu'ensuite, au nom de cette morale (c'est à dire ce qu'il faut faire ou ne pas faire) que se développe l'ensemble des règles particulières de conduite qu'il convient de respecter dans tel ou tel domaine : autrement dit l'éthique qui fait avancer les fondements et les applications de la morale. Ce qui était donc pardonnable au temps de l'ignorance, ne l'est plus à celui de la connaissance. Alors, ce qui pouvait n'être que regrettable devient criminel et donc inadmissible.

C'est de cette connaissance, elle même descendante, petite fille, si ce n'est arrière - petite fille de l'expérience et du savoir que sont nés les concepts nouveaux d'écologie et plus récemment de « développement durable » qui vont, sans doute d'ailleurs ne pas tarder à bousculer les fondements mêmes de la sociologie en ce qu'elle a pour but de comprendre et expliquer l'impact du social sur les représentations (façon de penser) et comportements (façon d'agit) humains.

On sait aujourd'hui, avec le recul nécessaire ce qu'il serait souhaitable de ne pas faire ou d'éviter à tout prix parce qu'on en connaît (et peut- être, ignorons- nous encore beaucoup) les impacts négatifs susceptibles de remettre en cause, même très involontairement ce qui nous doit être le plus précieux, la Nature dans son ensemble (à défaut de l'ordre naturel stricto sensu qui évolue seul et n'a pas besoin pour cela de l'intervention positive ou négative de l'homme), dont nous, les humains, « volens nolens », faisons intégralement et irrémédiablement partie.

Ce serait peu dire que les grands barrages ont aujourd'hui perdu de leur innocence première, eux qui, à la faveur des avantages qu'ils procuraient, furent, pendant un temps largement plébiscité par les populations – même s'il conviendrait de nuancer le propos – pour différentes raisons (certes quelquefois contradictoires et purement subjectives).

La remise en cause des besoins des hommes n'étant pas concevable, il serait tout aussi vain de remettre en cause la nécessité des moyens pour les satisfaire. Les grands barrages, avec leurs avantages certains et leurs inconvénients avérés ou possibles y participent pour une part trop importante (on l'a vu) pour qu'on puisse sérieusement penser pouvoir les compenser, du moins dans un avenir relativement proche, par des énergies de substitution qui seraient tout à la fois renouvelables, propres et moins agressives sur le plan environnemental, pris au sens le plus large du terme. Mais les géniaux ingénieurs y ont déjà pensé. On peut même dire qu'elles existent et pas toujours seulement à l'état de projets :

- ***L'énergie solaire thermique⁽²⁾*** se caractérisant par l'émission d'un rayonnement thermique par un corps émettant (en l'occurrence le soleil) dont l'énergie calorifique diminue par augmentation de celle du corps recevant. C'est en gros le système de fonctionnement des panneaux solaires chauffants et des différentes applications qui en découlent (fours solaires),
- ***L'énergie photovoltaïque⁽³⁾***, basée sur l'effet photoélectrique afin de créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique dont la source peut- être naturelle (encore le soleil) ou artificielle (une ampoule),
- ***L'énergie éolienne⁽⁴⁾*** qui utilise l'énergie mécanique créée par les déplacements de masses d'air (vent) à l'intérieur de l'atmosphère (les moulins d'autrefois, les éoliennes d'aujourd'hui),

- *la biomasse*⁽⁶⁾, autrement dit l'énergie solaire stockée sous forme organique grâce à la photosynthèse, exploitée par combustion,
- *l'énergie géothermique*⁽⁶⁾ transformant en électricité ou directement en chauffage la chaleur produite plus ou moins profondément par la radioactivité naturelle des roches constituant la croûte terrestre (l'énergie nucléaire),
- toutes les énergies **hydrauliques** moins connues comme *l'énergie marine*⁽⁷⁾, utilisant la puissance du mouvement des vagues, *l'énergie marémotrice*⁽⁸⁾, issue du mouvement de l'eau créé par la marée, *l'énergie hydrolienne*⁽⁹⁾ se servant du sens et de la force des courants marins, *l'énergie thermique des mers*⁽¹⁰⁾ produite en captant la différence de température entre les eaux superficielles et les eaux profondes des océans, *l'énergie osmotique*⁽¹¹⁾ tirée de la diffusion ionique provoquée par l'arrivée d'eau douce dans l'eau salée de la mer. (*Voir annexe III*)

Mais la caractéristique à priori première de tous types de centrales d'avoir à fournir une énergie effectivement et indéfiniment renouvelable apparaîtra illusoire à l'aune de leur véritable efficacité confrontée aux contraintes économiques, sociales et environnementales, ne serait-ce qu'en raison du fait établi qu'une énergie renouvelable n'est pas nécessairement propre (c'est à dire ne produisant pas ou peu de polluants ou qui disparaissent rapidement) et inversement.

On peut certes toujours rêver et penser que rien n'est impossible, mais sauf un effort financier énorme, et une volonté politique rompant avec les contingences électorales et compromissaires, leur disponibilité restera limitée. S'il advenait même qu'elles soient effectivement susceptibles de réduire significativement, voire de remplacer l'utilisation et la consommation d'énergie fossile, restera encore à déterminer si contrairement à la manière qu'a le grand public et les écolos amateurs de les aborder, elles seront la solution efficace aux différents problèmes d'actualité ; notamment celui du réchauffement climatique et si contrairement à toute attente, elles n'induiront pas de nouvelles pollutions dont il faudra à nouveau penser à réduire les impacts. Sait-on, par exemple que l'énergie fournie par une centrale marémotrice (celle de la Rance par exemple) n'est pas créée ex nihilo parce que les marées existent et que l'usine (et à fortiori s'il devait en exister autant que de barrages) qui la fournit, en s'opposant aux mouvements des marées, transfère de ce fait un peu de l'énergie de la rotation de la terre par rapport au couple Lune –Terre et ralentit donc de façon infinitésimale la rotation de celle-ci : en freinant ainsi artificiellement, même de façon infinitésimale la rotation de la Terre, on aggrave dans les mêmes proportions le mouvement naturel d'éloignement de la Lune par rapport à la Terre (effet de l'invariance du moment cinétique – c'est à dire la grandeur physique qui joue dans le cas d'une rotation un rôle analogue à celui de la quantité du mouvement pour une translation)⁽¹²⁾ ce qui aura pour effet de :

- diminuer la vitesse du cycle thermique terrestre (période diurne et nocturne plus longue),
- augmenter les écarts de température entre les jours et les nuits entraînant des implications atmosphériques (changement de climat, tempête, pluviométrie différente, etc.).

Par ailleurs, si les fonctions des barrages sont multiples et peuvent être combinées (électricité, irrigation, eau de consommation, régulation des crues, etc.), les énergies nouvelles dont il vient d'être fait état, n'auront qu'un but unique, certes essentiel, mais en l'état insuffisant : produire de l'énergie.

Cela ne veut pas dire que faute de pouvoir s'en passer, il faut donner l'absolution sans confession à nos grands barrages ; car ils ont de gros et grands impacts,

inconvénients majeurs auxquels il convient de tenter (si faire se peut) de remédier et qu'il faudrait réparer pour ceux qui sont déjà construits, voire d'éviter pour ceux qui le seront :

- impacts concernant les conséquences physiques, chimiques et géomorphologiques de l'eau par l'obstruction d'un cours d'eau et par voie d'effet de l'altération de sa distribution spatiale naturelle et de son écoulement normal dans le temps,
- impacts concernant les déséquilibres dans la productivité biologique des écosystèmes entraînant des effets sur la flore aquatique et sur les habitats en aval (zones humides)
- impacts relatifs à la destruction de la faune,
- enfin parce qu'ils ne sont pas des plantes et pas seulement des animaux, les impacts directs (et indirects au vu de ce qui précède) sur les individus, les populations et tout ce qui les concerne.

Mais avant cela nous désirons nous arrêter quelques instants, parce qu'il s'agit d'une question relativement mineure en rapport de tout le reste et en ce qu'ils sont pour partie purement subjectifs, sur les impacts éco-paysagés et visuels des barrages.

2.1. Intégration éco-paysagère des barrages

A notre échelle de temps, le paysage, si ce n'est par l'intervention malencontreuse et pas toujours subtile de l'homme, est globalement invariable. Ce n'est naturellement pas le cas à l'échelle-temps de la planète qui a vu des bouleversements catastrophiques autres que ceux que l'homme est capable de produire, même dans sa plus grande folie, bouleversements apocalyptiques ayant entraîné la disparition de mondes, d'espèces animales et végétales dont on ne pourra d'ailleurs jamais connaître le nombre exact... et pourtant tel le Phénix⁽¹³⁾, toujours elle a pu renaître.

Ce n'est pas une raison, qu'on l'aime ou qu'on ne l'aime pas pour ne pas tenir compte du paysage et au nom de la nécessité du progrès, sacrifier celui de ceux dont il constitue l'horizon ou de ceux qui ne négligent pas de le contempler.

Un barrage par définition est un ouvrage technique qui a ses contraintes de construction et parce qu'il n'est pas là pour faire joli, a un impact direct sur le paysage qu'il affecte ; encore qu'il faille, quand il s'agit d'impact paysager (et même quelquefois et dans une certaine mesure d'impacts écologiques) distinguer selon que l'installation (petit ou grand barrage) concernée est réalisée dans un milieu déjà artificialisé ou que l'aménagement projeté vise un espace encore sauvage. Un barrage peut être techniquement admirable, il ne peut pas être esthétiquement convenable en ce sens que, objectivement, sans lui, le paysage concerné serait resté ce qu'il était, en son état « naturel » ; cela d'autant plus qu'il nécessite et induit des constructions et des installations connexes (centrales hydro, pylônes, lignes à haute tension, canaux de dérivation, déversoirs, etc.) dont on ne peut contester qu'elles sont une véritable « pollution visuelle ».

A notre connaissance, il n'existe que deux exemples de tentative d'intégration architecto-arto-écopaysagère de barrages qui, qu'on le veuille ou non, ne restera jamais qu'un mur plus ou moins haut de béton en travers d'une vallée ou d'un fleuve.

Le barrage Daniel Johnson⁽¹⁴⁾

En travers de la vallée de la rivière Manicouagan au Québec (Canada) ; il s'agit d'un barrage-voûte à contrefort (le plus grand du monde). Mis en service en 1970, le

propriétaire Hydro-Québec qui a voulu allier économie de matériaux et esthétique en a confié la conception architecturale au français André Coyne (1891-1960) le malheureux concepteur du barrage de Malpasset.

Le parti pris architectural, techniquement non nécessaire, le distingue nettement des autres réalisations du même type. On remarquera notamment les arcs de plein cintre qui, par l'évidement créé, donnent non seulement de la légèreté à l'ensemble, mais encore (c'était sans doute l'effet escompté), avec sa voûte centrale évoquant un grand portail, lui donne un air de basilique romane : manière d'allier une grande clarté fonctionnelle et une symbolique quasi religieuse.



Le barrage de Tignes

Situé dans le département de la Savoie (France), il fut en son temps le plus grand barrage voûte d'Europe en altitude. Ayant nécessité pour sa réalisation le dynamitage de l'intégralité des habitations, les habitants qui ont longtemps lutté contre sa construction se rendent en pèlerinage sur les bords de leur village englouti tous les dix ans lorsqu'EDF vide le barrage.



Le lac occupe une superficie de 270 ha et sa mise en eau fut réalisée en 1952. Sur la voûte du barrage un projet de peinture fut initié, qui pris tournure durant l'été 1989. L'auteur Jean-Pierre Pierret a imaginé un héros mythologique soutenant de ses épaules la voûte du barrage à l'image d'Atlas condamné par Zeus à soutenir la voûte du ciel : façon consciente ou non de conjurer le mauvais sort ? ⁽¹⁵⁾

Alors beau ou pas beau ? En matière d'art tout dépend des goûts et des dégoûts de chacun. Ce qui est certain, c'est qu'il en va des barrages comme des champs d'éoliennes : il ne suffit pas de peindre le bas de leurs pylônes en vert et le reste en bleu ciel pour les faire disparaître du paysage à moins qu'un Daniel Buren⁽¹⁶⁾ ou un Christo⁽¹⁷⁾ qui ne sont jamais à cours d'idées ne viennent à passer par là ; ce qui au demeurant, c'est sûr, ne plaira pas à tout le monde.

Encore qu'il soit remarquable que l'humain – l'expérience le prouve – peut s'habituer à tout, au beau comme au laid, quitte à ce qu'après un certain temps l'admiration et la contemplation dans le premier cas, la révolte et la critique dans le second, ne le cède à la pire des indifférences.

Or c'est précisément ce qui semble se passer en matière de barrages, du moins pour ceux qui sont accessibles et donc fréquentés par les touristes, constituant une source de

revenus pour les communes ayant la chance de pouvoir exploiter de tels trésors ; l'humain ne voit pas verticalement le barrage (ou encore l'oublie facilement) bien qu'il ait par essence quelque chose de très inquiétant par delà la prouesse technique, mais seulement horizontalement le réservoir, ce lac quelquefois immense, calme, bleu et magnifiquement synonyme de ballade, pique-nique, bronzage, pédalo et canne à pêche. Il est confondant de considérer que les communes concernées, sur leurs dépliants touristiques, ne mettent jamais en avant, pour attirer le vacancier, le barrage lui-même, mais toujours le plan d'eau.

Et dans le village, à l'exception de l'écolo forcené de service (qui à souvent raison s'il ne prétend qu'à l'écologie), le reste de la population ne verra dans le barrage qu'une bénédiction pour les affaires, l'activité et le développement local... à moins naturellement d'habiter à Malpasset. Et cela pas seulement en France ou en Occident, car il y a toujours quelque chose de plus à tirer d'un barrage, autre que ce pourquoi il a été construit.

Alors visuellement polluant un grand barrage !
Sans aucun doute, mais en fait pas vraiment ... et cela quelques soient par ailleurs les très regrettables conséquences de sa présence.

2.2. Impacts sur les écosystèmes

2.2.1. Émissions de gaz à effet de serre

A tout seigneur, tout honneur, commençons par ce qui semble préoccuper les gouvernements et inquiètent effectivement les populations : les gaz à effet de serre (GES).

Les GES sont les composants gazeux absorbant le rayonnement infra rouge émis par la surface terrestre, contribuant ainsi à l'effet de serre lequel de son côté est un processus naturel qui, pour une absorption donnée d'énergie électromagnétique provenant du Soleil confère au corps qui la reçoit (en l'état la Terre, mais c'est aussi valable pour les autres planètes de notre système solaire, notamment Vénus) une température de surface nettement supérieure à celle qui existerait « sans effet de serre » (ce qui serait invivable). « L'effet de serre » est donc un équilibre nécessaire, pour rendre la planète vivable, entre cette absorption par la Terre de l'énergie électromagnétique provenant du Soleil et la présence de GES dans l'atmosphère. En clair, une partie du rayonnement solaire traverse l'atmosphère et atteint le sol, qui en retour émet un rayonnement thermique qui, lui, est absorbé par les GES, ce qui a pour effet de chauffer l'atmosphère qui elle même réchauffe le sol (dans le cas de la Terre, la croûte terrestre, la biosphère et l'hydrosphère). A l'état naturel, cet équilibre toujours fragile fait que la Terre n'est pas une grosse boule de glace ni une boule de feu.

Par contre une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère aura pour conséquence un réchauffement climatique général (non naturellement équilibré) qui dans le pire cas de figure aurait pour résultat de s'emballer lui-même par un effet de « boule de neige » ; le réchauffement conduirait à un réchauffement encore accru du fait de la disparition des glaces, mais aussi et surtout de la libération des stocks de GES actuellement fixés par le pergélisol (un sous-sol gelé en permanence au moins pendant deux années), les hydrates de méthane marins (clathrate de méthane, composé organique naturellement présent dans les fonds marins, sur certains talus continentaux ainsi que dans le permafrost des régions polaires). Ces hydrates de méthane, stables à basse température et à forte pression sont d'ailleurs une source potentielle d'énergie fossile pour remplacer le pétrole, bien que, semble-t-il difficilement

exploitables ⁽¹⁸⁾. Appelé familièrement « glace qui brûle » ou glace de méthane, ce composé est inflammable dès qu'il fond en présence d'oxygène ou d'un oxydant. Ce méthane ainsi piégé est issu de la décomposition par des bactéries anaérobies de matières organiques relativement récentes par rapport à celles qui ont donné le pétrole et le gaz naturel.

On pense que c'est d'ailleurs à la suite d'un « emballement de l'effet de serre », dont les réactions ne se terminent qu'après avoir produit une très grande augmentation de la température, qu'ont été anéanties de façon massive les espèces du Permien-Trias (il y a donc environ 252 millions d'années) ; ont disparu alors 95% des espèces marines et 70% des espèces terrestres). Le méthane étant 21 fois plus puissant que le fameux dioxyde de carbone comme gaz à effet de serre, on s'imagine aisément l'effet que pourrait avoir les énormes quantités de ce gaz libérées de la toundra sibérienne qui commence à dégeler.

Certes, en soi l'effet de serre n'est pas nocif aux écosystèmes. Le danger pour les écosystèmes réside en fait dans la variation trop rapide et trop importante des conditions climatiques pour que la plupart des espèces dites évoluées puissent s'adapter en cas de changement radical de la température et de la pluviométrie. Les écosystèmes marins et littoraux seraient également touchés par une hausse du niveau de la mer, la modification des courants marins et des conditions physico-chimiques de l'eau de mer (acidité, taux de gaz dissous).

Les populations humaines seraient elles-mêmes gravement affectées, bien qu'elles aient largement prouvé leurs facultés d'adaptation depuis qu'elles sont sur Terre. Le GIEC (Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'évolution du climat) estime que si l'augmentation des rejets de GES continue au rythme des vingt dernières années, la hausse des températures sur Terre pourrait varier de 1,5° à 6° C. Les GES ne disparaissant de l'atmosphère que très lentement, même un arrêt immédiat et total des rejets de carbone n'empêcherait dès lors cependant pas la température de la planète d'augmenter pendant encore plusieurs dizaines, voire centaines d'années⁽¹⁹⁾. Les GES qui naturellement participent à l'effet de serre sont :

- la vapeur d'eau 60% ⁽²⁰⁾
- le dioxyde de carbone (CO₂): 25%
- le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux ou protoxyde d'azote (N₂O) : 6%
- l'ozone (O₃) : 8%

Mais à ceux-là il convient bien sûr d'ajouter ceux qui sont uniquement dus à l'activité humaine tels que les halocarbones lourds (fluorocarbones chlorés c'est-à-dire les CFC, le fréon et le perfluorométhane) et l'héxafluorure de soufre (SF₆), ou bien voient leur concentration dans l'atmosphère augmenter en raison de cette activité ; c'est le cas, du méthane et du dioxyde de carbone résultant de la combustion des carbones fossiles comme le charbon, la lignite, le pétrole ou le gaz naturel. Quant à l'ozone fournie en grande quantité par l'activité humaine elle est paradoxalement détruite par les CFC encore largement utilisés ce qui aboutit à un double phénomène dommageable :

- une accumulation d'ozone dans la troposphère au dessus des régions industrialisées augmentant l'effet de serre,
- une destruction de l'ozone dans la stratosphère au dessus des pôles laissant passer les rayons infra rouge du soleil.

Les activités humaines dégagent donc une abondance de GES et cette augmentation des teneurs en gaz d'origine anthropique (qui sous l'action de l'homme a pour effet la transformation d'espaces, de paysages ou de milieux naturels) est à l'origine du réchauffement climatique que nous connaissons ou prévoyons.

Dans le premier graphique, les émissions sont pondérées par le potentiel de réchauffement global de chaque gaz avec :

- 72 % de CO₂
- 18% de méthane
- 9% d'oxyde d'azote
- 1% d'autres gaz

A la lecture de ce graphique on voit donc que les centrales énergétiques (toutes confondues) contribuent pour 21,3% aux émissions de GES. Quitte à aller à l'encontre de la fable selon laquelle l'hydroélectricité ne produit que des effets atmosphériques positifs tels que la réduction de l'émission de dioxyde de carbone, des oxydes d'azote

et des oxydes sulfuriques, se distinguant ainsi des sources de production d'énergie n'utilisant que des combustibles fossiles, il nous faut pourtant bien faire la part d'émission de GES imputable aux barrages et à leurs réservoirs.

Comparée aux énergies fossiles et même à l'énergie nucléaire, aux yeux du grand public, l'énergie hydraulique apparaît évidemment comme une énergie vertueuse.

Pourtant les barrages ne sont pas exempts d'émissions de gaz à effet de serre. Comment pourrait-il d'ailleurs en être autrement, puisqu'on sait que les réservoirs naturels (non retenus par un barrage) émettent des GES ; ils peuvent alternativement stocker du carbone ou agir comme puits de carbone. Mais il est donc fort compliqué de calculer l'effet exact des barrages en la matière d'autant plus que :

- par exemple, une forêt tropicale de plaine d'inondation en Amazonie dégage du méthane à partir du sol et au même moment absorbe le dioxyde de carbone par son feuillage,
- les déplacements de populations nécessités par le barrage entraînent un changement des méthodes d'utilisation des terres,
- de même viennent fausser tout calcul éventuel les activités d'extraction des ressources et d'autres activités économiques induites qui peuvent constituer une partie des contributions nettes à l'émission des GES associées à la construction du barrage.

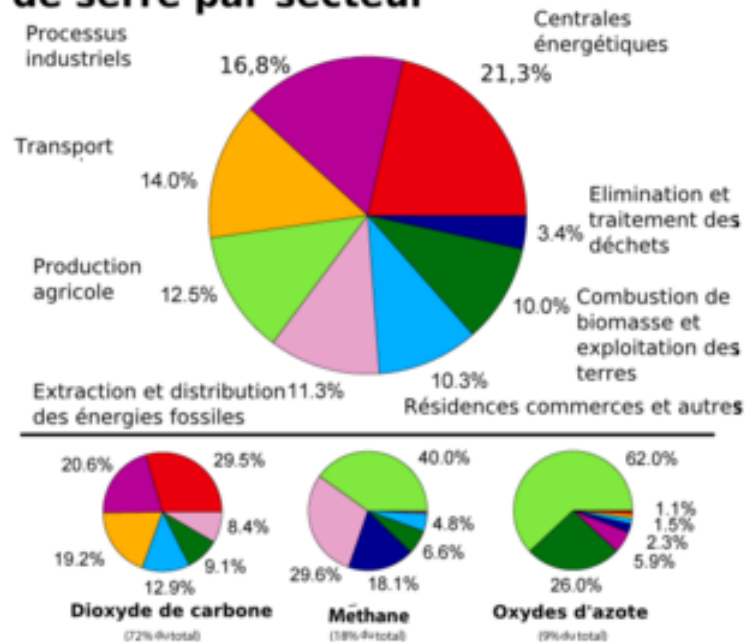
Pour l'avenir les calculs de la contribution des nouveaux barrages au changement climatique devront inclure une évaluation de l'émission naturelle ou de l'effet puits de carbone avant barrage en vue de déterminer son impact exact : les caractéristiques des réservoirs et des bassins versants ont eux même leur importance afin de déterminer le niveau possible des émissions de GES (*recommandations de la CMB*).

Il en reste néanmoins ce qu'on sait :

- la construction du barrage nécessite des travaux prométhéens engageant des quantités énormes (plusieurs dizaines de millions de m³) de béton et de gravats, ce qui conduit à une dépense énergétique initiale colossale, fortement émettrice

(Source : Wikipédia « Gaz à effet de serre »)

Emissions annuelles de gaz à effet de serre par secteur



de gaz carbonique (ce qui réduit d'autant sa rentabilité énergétique – voir note 2) : pour obtenir du béton il est nécessaire de chauffer le calcaire à 1450° C pour le décarboniser : la chaleur nécessaire à cette opération est obtenue en brûlant des combustibles généralement (pour ne pas dire toujours) fossiles (fioul, gaz méthane, pneus...). Cependant nous admettons volontiers que cela n'a rien à voir avec la construction d'une centrale thermique qui brûlera pendant des décennies des millions de tonnes de charbon, de fioul ou de gaz.

- Dans les régions tropicales, lors de la mise en eau d'un barrage, la végétation engloutie se décompose et dégage une importante quantité de méthane, notamment lors des premières années. Certes ces émissions se poursuivent ensuite faiblement, au fur et à mesure que la biomasse se décompose dans le réservoir, mais n'est jamais nulle puisqu'elle se poursuit avec le développement et la putréfaction des algues si l'eau est chaude et manque d'oxygène (ce qui est caractéristique des retenues tropicales). Il résulte de ce constat quant aux émissions initiales et continues de méthane que, sur une exploitation d'une centaine d'année, les plus « mauvais » barrages tropicaux dégagent autant de gaz à effet de serre qu'une centrale thermique et les « meilleurs » de 5 à 10 fois moins (*source d'évaluation ONG « Générations Futures »*). La revue thématique de la CMB (*II.2 changement global*) confirme ces évaluations y ajoutant encore sur le long terme, l'apport de carbone en provenance du bassin versant qui peut avoir une grande stabilité dans le temps, selon les conditions de celui-ci.

Sur la base de la compréhension existante des émissions de GES par les barrages, deux constantes toutefois se dégagent :

- les réservoirs peu profonds situés dans les zones tropicales chaudes sont plus susceptibles d'émettre (et dans d'importantes proportions) des GES, comparés à ceux des barrages situés dans les zones boréales froides ou très froides,
- dans le cas des barrages à vocation hydroélectrique les barrages tropicaux (ayant une capacité installée faible et de grands réservoirs peu profonds) sont plus susceptibles d'avoir des émissions brutes de gaz proches de celle des centrales thermiques que les réservoirs petits et profonds ayant une puissance installée élevée ; les barrages situés dans les régions tempérées ou d'altitude en rejettent de 28 à 70 fois moins.

Selon une première estimation, les émissions brutes de GES identifiées comme ayant un impact écosystémique (sur le climat) en provenance des bassins versants des barrages de stockage, peuvent constituer entre 1% et 28% du potentiel de réchauffement de la planète par les GES.

2.2.2. Impacts sur les écosystèmes et la biodiversité

La construction d'un barrage de stockage et l'inondation subséquente du réservoir a pour premier effet de prendre la place des plantes et des forêts qui sont englouties, de déplacer les animaux dont elles constituaient le biotope, c'est à dire une aire géographique, souvent très petite offrant des conditions constantes ou cycliques aux espèces constituant la biocénose qui est l'association équilibrée des animaux et des végétaux dans un périmètre donné. De nombreuses espèces privilégiant le fond des vallées, vont ainsi disparaître des habitats rares de faune, outre le risque d'affecter encore plus gravement des populations d'espèces déjà et par ailleurs menacées d'extinction.

La mise en eau du fond de vallée peut aussi entraîner l'occupation et le défrichage des bassins versants amont par les paysans en compensation des terres perdues. Cette mutation dans l'exploitation des terrains a non seulement des effets directs en termes de perte d'habitat, de disparition ou à tout le moins dispersion de la flore et de la faune, mais entraîne aussi des effets rétroactifs sur le lac artificiel créé par des altérations de la fonction hydrologique : la perte de la couverture végétale stimule par voie de conséquence une hausse de la sédimentation accentuée par l'intensité des orages et les eaux de ruissellement. Elle entraîne également une baisse de la qualité de l'eau et des changements variables dans le rythme saisonnier de sa production. Ce même barrage, et toujours en amont, peut être un frein ou un blocage à la migration d'espèces aquatiques, ce qu'on nomme fragmentation écologique (ou morcellement des écosystèmes) savoir tout phénomène artificiel de division de l'espace, qui peut ou pourrait empêcher une ou plusieurs espèces vivantes de se déplacer comme elles devraient et pourraient le faire si l'obstacle ainsi artificiellement créé n'existait pas. Certes les individus, les espèces, les populations sont différemment affectés par la fragmentation de leur habitat, étant plus ou moins vulnérables selon leurs capacités adaptatives, leur degré de spécialisation, en fonction de leur dépendance à certaines structures écopaysagères et de la biologie de leurs populations. L'enjeu principal est donc celui de l'intégrité écologique du milieu : un milieu (un paysage, un écosystème, un cours d'eau ou une zone biogéographique) peut être dégradé au point de perdre tout ou partie de ses écopotentialités (les potentialités écologiques d'un espace naturel traduisant l'importance que cet espace est susceptible d'avoir – probablement ou potentiellement – pour la préservation de la biodiversité à l'échelle du territoire considéré) ou fonctionnalités écologiques.

Et ce alors que la communauté scientifique (*évaluation des écosystèmes pour le millénaire, commandé en 2000 par Kofi Annan, alors secrétaire général de l'ONU*) considère que la fragmentation écologique est devenue une des premières causes d'atteinte à la biodiversité, avant même la pollution. « L'Observatoire wallon de la biodiversité » estime ainsi qu'en 2000, 5 à 15% des espèces avait déjà disparu, tandis que 30 à 50% sont en voie de régression et cela du seul fait de la fragmentation écologique. En effet, elle :

- induit le remplacement d'éléments écopaysagés par d'autres,
- modifie le contexte spatial, en altérant la connexion écologique (autrement dit l'interrelation fonctionnelle qui lie ou relie des éléments écopaysagés entre eux, du point de vue d'un individu, d'une espèce, d'une population ou d'une association de ces entités pour tout ou partie de leur stade de développement, à un moment et une période donnés) et donc le degré d'intégrité écopaysagère.
- Est un facteur important d'isolement écologique de milieux naturels ou semi-naturels au sein d'un environnement plus hostile (altéré par les activités humaines et leurs conséquences secondaires).
- augmente les risques d'extinction par l'insularisation qu'elle provoque en diminuant le taux de dispersion et de migration.

Évidemment les barrages-réservoirs et ceux qui traversent les fleuves participent à cette fragmentation écologique : notamment en bloquant les migrations – les échelles à poissons étant d'une efficacité plus que relative – ; ils sont dans certaines zones à l'origine directe de la disparition du saumon et de l'anguille, pour ne citer que ces animaux- là.

2.2.3. Impacts sur les écosystèmes aquatiques : la biodiversité en aval et les plaines d'inondation ⁽²¹⁾

En générant des modifications hydrauliques, bouleversant le débit naturel, c'est à dire saisonnier des cours d'eau, les barrages, affectent non seulement le niveau des nappes mais encore par le transfert des matières en suspension et autres sédiments, ont des effets à la fois directs et différés sur les écosystèmes de zones parfois vastes tant en aval qu'en amont : ils compromettent purement et simplement les fonctions dynamiques des fleuves dont le rôle est fondamental pour le maintien des caractéristiques des écosystèmes aquatiques. La nature des sédiments en mouvement dans le cours d'eau ou encore la composition des matériaux en constituant le lit et les berges, structurent les espèces en favorisant ou non leurs habitats respectifs.

La dynamique naturelle – et non les conditions moyennes (et que dire des délestages massifs) liées aux opérations du barrage – comprenant alternativement des éléments de hautes et de basses eaux, assure l'intégrité de l'écosystème qui existe et ne vit qu'en fonction du régime fluvial. A l'évidence l'ampleur des impacts est variable selon que l'eau est prélevée, déviée ou conservée dans le lit du fleuve.

L'introduction volontaire ou non d'espèces « exotiques », la modification de la qualité de l'eau (transformation physico-chimique, température, oxygène, nutriments), la désintégration de sa dynamique unifiée et équilibrée et donc la perte de sa capacité à maintenir la continuité de l'écosystème, ont pour corollaire la modification écologique du système fluvial.

On sait que le régime des écoulements est la variante déterminante des écosystèmes aquatiques en aval : les crues par leur rythme, leur durée et leur fréquence, si elles peuvent s'avérer quelquefois critiques pour la survie des plantes et des animaux de l'aval ont, si elles s'inscrivent dans un cycle régulier, globalement un impact positif, entre autres :

- les séquences de crues modestes jouent le rôle de déclencheurs biologiques des mouvements migratoires pour les poissons et les invertébrés,
- les crues majeures créent et favorisent le maintien – voire la création – des habitats par la conservation ou le transport des sédiments,
- ce qui permet, eu égard à la variabilité naturelle des réseaux fluviaux, la subsistance de communautés biologiques complexes qui sont différentes de celles qui sont adaptées (ou ont réussi à s'adapter) aux débits d'un régime fluvial stabilisé.

Les barrages de stockage (en particulier ceux des centrales hydroélectriques les plus modernes) ont la particularité regrettable de refroidir la température de l'eau et sa composition chimique par le timing de la modification des débits en aval, perturbant ainsi le régime des cours d'eau (fluctuations saisonnière différant des niveaux de débit naturel) ; par ailleurs cela favorise l'apparition d'algues dans les réservoirs et le chenal, du fait du dépôt de nutriments provenant des eaux stockées. C'est ainsi qu'une baisse générale de la quantité de poissons autochtones dans le fleuve Colorado est imputable aux lâchers d'eau froide des grands barrages régulant le fleuve, et que la population de silures (*Tandarus Tandarus*) a disparu du fleuve australien Murray en raison des fluctuations rapprochées des niveaux d'eau dues aux lâchers nécessaires pour répondre aux besoins d'eau en aval.

D'autre part les barrages quand ils sont particulièrement élevés créent une sursaturation en gaz lorsque l'eau passe sur les déversoirs destinés à évacuer un débit depuis le réservoir amont vers un canal de décharge, servant donc à assurer la sécurité de

l'ouvrage en cas de crue : cette pratique a pour effet quasi immédiat la mort des poissons peuplant la zone, affectant en premier lieu les poissons migrateurs. De la même façon la très forte diminution du débit en aval tout comme la disparition des courants en amont, ainsi que le lissage ou la disparition des débits saisonniers est de nature à favoriser l'apparition d'espèces aquatiques dites « invasives » : plantes, poissons, escargots, insectes. Celles-ci finissent généralement, dans l'âpre lutte pour la vie par l'emporter au grand préjudice – souvent irréparable – d'espèces autochtones rares ou génétiquement différentes, modifiant alors les écosystème qui peuvent devenir instables, se transformer en vecteur de maladies et n'être plus capables de supporter leurs composantes environnementales et sociales historiques.

C'est ce qui s'est passé en Afrique du Sud où la déviation du fleuve Orange vers le fleuve Great-Fish a eu pour effet la multiplication par six du volume d'eau de ce fleuve, devenu permanent alors qu'il n'était qu'intermittent : le principal bénéficiaire en fut la larve du puceron noir (*simulium chutteri*) qui dans des conditions normales ne survit pas à l'assèchement ; les conséquences furent immédiates : pertes de bétail, réduction des activités récréatives, irritation des populations riveraines... Qui n'ont d'ailleurs souvent qu'à s'en prendre à elles-mêmes, puisqu'elles devraient savoir ou être informées que le risque d'invasion biologique est de 2,4 à 300 fois plus élevé dans les lacs de retenue que dans les lacs naturels !

L'intensité et la nature des activités nautiques, et la pêche sportive favorisent – et l'homme en est alors le principal colporteur – la dissémination de nombreux organismes, dont la moule zébrée qui s'accroche aux bateaux, les myziophilles invasifs polluant les portes-bateaux, les éperlans arc-en-ciel et une écrevisse invasive qui furent utilisés comme appâts (aujourd'hui interdits). La menace est d'autant plus grave qu'elle commence à atteindre les lacs naturels du fait de l'augmentation des retenues artificielles touchées, dont le nombre à presque partout diminué la distance entre les eaux « contaminées » et les eaux naturelles.

Ce qui est valable pour les animaux, poissons et insectes « exotiques » est tout aussi valable pour les plantes de même espèce : jacinthes d'eau et fougères d'eau (dont le système racinaire subi un effet de raclage moindre au pied des barrages comparé à un fleuve naturel) envahissent l'Afrique et le roseau phragmite australis s'est répandu sur 41000 ha des berges du fleuve Orange après stabilisation de ses débits.

Enfin et compte tenu des interrelations biologiques qui s'étendent tout au long d'un fleuve, aussi bien la réduction de son débit que la fragmentation écologique résultant des longs réservoirs qui s'étendent sur plusieurs kilomètres dans les vallées du cours supérieur (en formant ainsi une barrière pour les espèces vivant de chaque côté des rives) peuvent affecter des populations auxquelles on ne penserait pas de prime abord : les grands animaux, tels que les éléphants, les cerfs, les antilopes, qui venaient s'abreuver au fleuve notamment pendant la saison sèche : leur survie physique et génétique dépend d'un fleuve qu'ils ne peuvent plus aujourd'hui franchir.

Dans un autre ordre d'idée la réduction ou le blocage du transport naturel des sédiments ou des nutriments derrière un barrage a nécessairement des impacts sur la morphologie du chenal, la plaine d'inondation et le delta côtier, causant la perte de l'habitat pour les poissons et d'autres espèces (celles vivant du poisson). Les changements dans la turbidité (teneur en boues et troubles d'un cours d'eau) affecte le biotope de façon continue et notamment la production du plancton nécessaire à la nourriture des poissons. La réduction du mouvement des sédiments en aval du barrage mène à la dégradation des plages et des mares qui étaient les habitats naturels, réduisant d'autant les populations de poissons autochtones et autres espèces aquatiques y compris les oiseaux. Invariablement, la réalisation de barrages réduit l'apport de sédiments ce qui se traduit par une augmentation accrue de la dégradation des deltas :

- l'arrêt de la lente accumulation par le barrage d'Assouan des sédiments dans le delta du Nil, a pour effet la perte de qualité des terres agricoles, une salinité accrue, une érosion pouvant atteindre de 5 à 8 mètres par an (en certains endroits jusqu'à 240 m),
- au Togo et au Bénin, l'érosion des vagues n'étant plus compensée par les apports d'alluvion du fleuve Volta (barrage d'Akosombo au Ghana) les zones littorales sont amputées de 10 à 15 m par an⁽²²⁾,
- en France, au lieu des 12 millions de tonnes de sédiments qu'il transportait en Méditerranée avant la construction des barrages qui l'entravent, le Rhône n'en déverse plus que 4 ou 5 millions d'où un niveau d'érosion sur les plages de Camargue et du Languedoc atteignant 5 m par an et un budget de millions d'euros pour assurer tant bien que mal la protection de la côte.⁽²³⁾

Enfin – ce qui précède ne suffisant pas quant aux dégâts écologiques causés par les barrages – venons-en aux impacts résultant du blocage des mouvements migratoires des organismes aquatiques, qui se caractérisent par des différences significatives quant au mode de migration (D'où l'inefficacité des échelles à poissons).

Ainsi, pour ne prendre que ces exemples :

- les saumons adultes migrent en amont pour se reproduire, tandis que les jeunes redescendent le fleuve pour se développer,
- les anguilles ont un mode migratoire inverse.

Les poissons migrateurs sont totalement dépendants de divers environnements pour les phases successives de leur cycle de vie : reproduction, protection des juvéniles, croissance et maturité. Ceux-ci sont les premiers à pâtir de la construction des barrages : les saumons et les aloses ont disparu de la plupart de leurs lieux de reproduction naturelle et les esturgeons de la mer Caspienne⁽²⁴⁾, pour leur survie en tant qu'espèce ne dépendent plus que des fermes d'élevage, les barrages construits en Union Soviétique ayant totalement stoppé la migration naturelle de reproduction. Les pertes, quand il n'y a pas disparition complète d'une espèce due à la construction d'un barrage varient de 19 à 55%. Deux raisons à cela :

- dans 36% des projets de construction de barrage il n'y a eu aucune anticipation de leurs impacts sur les flux migratoires,
- dans le cas contraire, les passes (ascenseurs, escaliers) à poissons se sont révélées d'une utilité et d'une efficacité très relative étant souvent mal conçues, constituant le plus souvent un trajet, donc un effort, épuisant pour le migrateur (ainsi par exemple la réalisation de passes à poissons construites sur chacun des barrages du complexe du Hells Canyon au États-Unis a été un échec total, les saumons n'ayant jamais migré au delà du barrage). On comprendra que dans ces conditions, il importe peu (ou si peu) de savoir quels sont les pays qui ont fait l'effort, et le pourcentage des barrages ainsi aménagés.

On peut certes penser qu'il existe toujours une solution adéquate au problème qui est posé. C'est ainsi qu'en France, dans le Sud-ouest, plus précisément sur la Garonne entre Carbonne (Haute-Garonne) et Camon (Ariège)⁽²⁵⁾ où l'enchaînement de cinq barrages empêche toute migration, les poissons sont piégés à une extrémité de la chaîne, identifiés et transportés par camion à l'autre extrémité.⁽²⁶⁾ C'est ingénieux, mais pour autant il convient de ne pas avoir le ridicule de considérer ce type de solution, comme pouvant constituer sérieusement une alternative.

Même problème en général pour les plaines d'inondation. La réduction du régime annuel des crues en aval affecte la productivité naturelle des zones riveraines des plaines d'inondation et des deltas dont la végétation est soumise aux interactions des crues et de la sédimentation qui s'en suit. De nombreuses espèces dépendent des aquifères (nappes) peu profonds des plaines d'inondation, rechargés régulièrement par les crues d'un fleuve. Ainsi donc les espaces végétaux qui sont adaptés au régime naturel des eaux ont le plus souvent à souffrir des impacts significatifs et complexes des barrages. Il en va notamment ainsi pour les forêts riveraines qui dépendent directement des éléments spatio-temporels des crues : les prélèvements importants d'eau par les barrages réduisent leur régénération (cas des forêts d'eucalyptus dans la région de Murray en Australie), tandis que les variations artificielles de débits produites par les lâchers au mauvais moment peuvent finir de les détruire (cas de la forêt d'acacia du Pongolo en Afrique du Sud en deça du barrage Pongolapoort) ⁽²⁷⁾.

La maîtrise des crues par les barrages (réduction de la quantité d'eau en saison humide, accroissement en saison sèche) par la discontinuité du système fluvial naturel, qui s'ajoute à la perte d'habitat qui lui est associée dans la zone d'inondation, a non seulement un impact négatif sur les végétaux, mais encore sur la diversité et les populations de poissons et d'oiseaux adaptés aux crues saisonnières qui seules leur permettent d'assurer leur alimentation et leur reproduction. Et que dire en cas d'un assèchement total ou quasi total : perte progressive et irrémédiable de la fertilité des sols autrefois vouées à l'agriculture de décrue, réduction dramatique du remplissage de la nappe phréatique. En Afrique notamment, les changements du régime hydraulique des fleuves, en affectant les zones naturellement humides d'une importance économique essentielle, mettent en péril, la pêche, l'élevage et les forêts qui constituent l'élément organisationnel des moyens de subsistance et de la culture des communautés riveraines.

* *
*

Il n'est pas évident que le problème posé par l'existence des grands barrages quant à leur impact direct et conséquent sur les écosystèmes, ait une solution.

C'est plutôt semble-t-il une question de choix. Il ne s'agit pas en effet que de conséquences indirectes pour les populations d'hommes, susceptibles de n'intéresser que quelques écologistes en manque de provocation et de tapage, de quelques scientifiques sourcilieux rédigeant leur thèse de doctorat ou encore de journalistes en quête d'un sujet porteur destiné à des populations occidentales à l'aise dans leur confort et supposées s'en moquer comme d'une guigne. Les hommes, en nombre croissant dans un monde dont les richesses sont inégalement distribuées sont en réalité directement et durement touchés par tous les phénomènes qui viennent d'être étudiés.

Pour beaucoup de populations, dans les régions très pauvres et dans les pays en développement, avec l'agriculture de subsistance, la pêche constitue une activité non négligeable (quand elle n'est pas essentielle) pour leur simple survie alimentaire ou à tout le moins économique. Or, le blocage des sédiments et des nutriments, la régulation, (ou la dérégulation, comme on veut) des débits et l'élimination du régime naturel des crues ont des effets très négatifs non seulement sur la pêche en aval des barrages, mais encore, lorsqu'ils altèrent ou dévient l'écoulement de l'eau douce, sur la pêche marine ou estuarienne, mettant en danger de malnutrition ou de famine des millions d'individus.

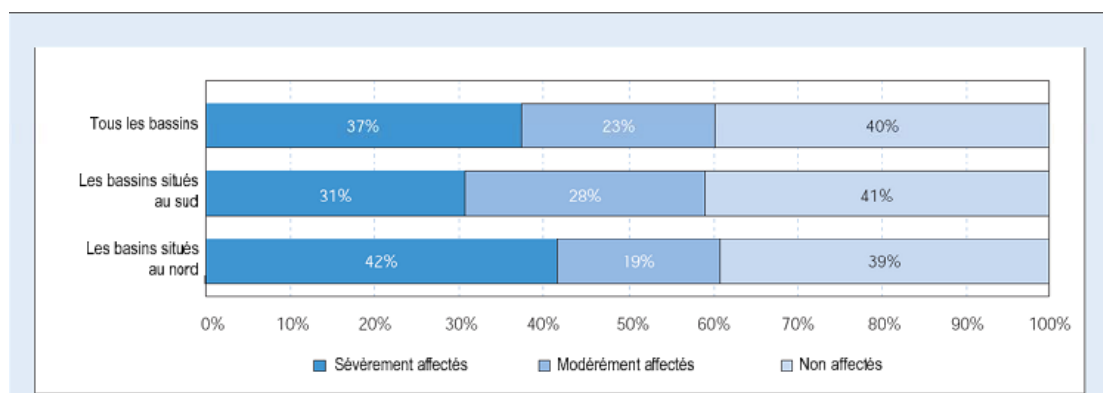
Alors qu'il est établi que la productivité en poissons augmente de façon linéaire avec le volume d'un fleuve, il convient de ne pas ignorer non plus que les mêmes cours d'eau douce sont un soutien à la production marine :

- de nombreuses espèces se reproduisent dans les cours d'eau (saumons, anguilles) mais aussi dans les deltas et les estuaires,
- une baisse du volume d'eau douce et donc de nutriments imputables aux barrages affectent les zones de reproduction et de croissance des alevins,
- par une augmentation de la salinité, la réduction des aliments disponibles et l'invasion des prédateurs (poissons et autres).

Encore une fois le barrage d'Assouan se distingue par ses effets dévastateurs : la réduction des nutriments transportés en mer ayant fait baisser la production de la chaîne trophique à tous les niveaux a pour conséquence un déclin dramatique des prises côtières (sardines et autres espèces). Et les exemples peuvent être multipliés à l'infini dont nous retiendrons :

- le barrage de Porto Primavera⁽²⁸⁾ au Brésil, bloquant la migration des espèces a fait chuter les prises de 80% au détriment de la subsistance des populations locales.
- Le barrage de Pak Mun⁽²⁹⁾, dans la vallée du Mékong en Asie de l'est, région abritant d'ordinaire une grande variété d'espèces assurant la subsistance et la culture des communautés villageoises, bâties autour de la pêche, a entraîné une baisse catastrophique des prises en amont (les migrations naturelles ont été dérivées vers les défluent du fleuve Mun),
- 11250 tonnes annuelles de poissons ont été perdues qui provenaient auparavant du fleuve Sénégal ; même chose pour les « yaeres » (plaines d'inondations du Logone, aujourd'hui pratiquement asséchées) au Cameroun, la plaine d'inondation du Pongolo en Afrique du Sud, le fleuve Niger en Afrique de l'ouest en deça du barrage de Kainji⁽³⁰⁾, le Zambèze au Mozambique ou l'impact de la modification des écoulements saisonniers sur la pêche locale de crevettes est estimé annuellement à 10 millions de dollars.

Fragmentations dans 225 bassins de grands fleuves (Source : Revenga et Al, 2000)



Certes dans certains cas et dans une certaine mesure, les barrages peuvent compenser les pertes qu'ils provoquent par une activité annexe d'élevage plus ou moins industriel (prévu ou non à l'origine du projet) dans les eaux de réservoirs qui bénéficient des décharges de nutriments. Reste que si la décharge provient d'une couche inférieure du réservoir, la baisse subséquente de température dans les eaux d'accueil peut généralement

réduire ou éliminer les espèces d'eau chaude, nécessitant alors le repeuplement par des espèces allogènes, exotiques d'eau froide ; non seulement cela élimine les espèces locales, mais encore nécessite des programmes d'alevinage supplémentaires et l'introduction d'invertébrés d'eaux froide pour servir d'aliments aux poissons.

On comprend, puisque le remède à la « pollution initiale », est l'introduction d'une nouvelle espèce, que ces programmes ne peuvent avoir qu'une incidence relative sur la perte éprouvée par ailleurs. De plus les objectifs en matière de pisciculture n'ont jamais été atteints ou sont très en deça des prévisions.

Il n'était pas inutile d'y penser avant d'aborder le chapitre suivant.

NOTES

- (1) **Henri Bergson** (1859-1941) philosophe français. Il fait de l'intuition le seul moyen de connaissance de la durée et de la vie. Auteur de « L'Évolution créatrice » (1907). Prix Nobel de littérature 1927.
- (2) **Énergie solaire thermique** ou transformation du rayonnement solaire en énergie thermique ; deux principes fondamentaux, éventuellement combinés : - captage de l'énergie de la lumière visible grâce à un corps noir ; - concentration du rayonnement solaire en point. Le « solaire thermique » marque le pas face au « photovoltaïque » du moins en ce qui concerne les centrales destinées à produire de l'électricité. Si certains projets industriels de type classique sont en cours de développement au Moyen-Orient et en Australie, d'autres ont été abandonnés, faute de rentabilité : - la *centrale solaire Thémis* à Targassone près de Font-Romeu (France) qui a produit de l'électricité dans les années 80 et - la *centrale d'Almeria* en Espagne. Néanmoins, il semblerait qu'avec la hausse du prix du pétrole et dans les zones très ensoleillées que la rentabilité soit établie : une centrale thermique au Maroc est amortie au niveau énergétique en 5 mois (c'est à dire qu'elle aura produit plus d'énergie qu'en a nécessité sa construction et son démarrage) ce qui est comparable à l'éolien (4 à 7 mois), par rapport au modules photovoltaïques (3 à 5 ans pour « rembourser » leur dette énergétique). Sa capacité serait de 3 GW en Europe et 15 GW pour la planète, avec un fort potentiel dans les pays en développement très ensoleillés où l'impact serait, en plus, modéré (déserts, zones arides). Parmi les principales centrales solaires thermiques actuellement en fonctionnement : - la *centrale de Mojave* en Californie qui avait fait figure de pionnière en ce domaine ; - la *centrale thermo-solaire Nevada Solar One* à Boulder City (USA) raccordée au réseau avec une puissance de 64 MW (troisième puissance au monde) ; - la *centrale de Séville* (Espagne) *PS10* inaugurée en 2007, ayant une production prévisible de 23 GWh. La «Pacific Gas and Electric (USA) a annoncé une centrale à *San Luis Obispo* pour une production de 177 MW. Par ailleurs est à l'étude un des projets les plus ambitieux de la planète, une tour solaire de 1000 m de hauteur qui fournit la même puissance qu'un petit réacteur nucléaire. A noter que la première centrale de ce type à été construite par l'ingénieur allemand, **Jörg Schlaich**.
- (3) **Énergie photovoltaïque** : la cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Evidemment l'ensoleillement est essentiel. Même si la constante solaire est de 1,367 kW / m² il convient de tenir compte des pertes de lumière lors de la traversée de l'atmosphère, ce qui ramène l'énergie effectivement reçue au sol à environ 1kW / m² de panneau solaire exposé en plein soleil au midi vrai. Viennent s'ajouter à cette déperdition, celles liées à la nébulosité, et à l'inclination du soleil (donc de l'épaisseur de l'atmosphère à traverser, variant en fonction de l'heure de la journée). Retenons également que le « nombre d'heures d'équivalent plein soleil est bien moindre que le nombre d'heures où le soleil à brillé au sens de la météorologie ce qui en fait (*Source : Inspection générale des Finance-septembre 2010*), compte tenu de l'investissement, « la source d'énergie la plus coûteuse des sources d'énergie renouvelables » étant 3,3 fois plus chère que l'hydroélectricité, 2,85 fois plus chère que l'éolien terrestre... (en France 20 à 25 centimes Euro par kWh pour une centrale, 40 centimes pour un particulier alors qu'il est de 7 à 8 cents pour l'éolien...). Par ailleurs elle n'est pas sans effets polluants indirects (fabrication, installation et élimination des panneaux. La *centrale d'Amarelaja* (Portugal) à coûté 261 M Euros et produit 93GWh / an. La *centrale de Mildura* (Australie) va coûter au moins 230M Euros et devrait produire 270 GWh/an. En France, le parc photovoltaïque représente 614 MW (120000 centrales, toutes confondues) raccordés au réseau d'ERDF et 89 MW raccordés dans les DOM-TOM (septembre 2010).
- (4) **Énergie Eolienne** : le rendement est naturellement fonction de la vitesse du vent, plus précisément du cube de cette vitesse (de 4 à plus de 200 km / h soit 1 à 60 m / s). En comparaison :
 - une éolienne de 2 MW fonctionnant à pleine puissance pendant 1 / 4 de l'année produit 4 à 5 GWh, une éolienne de 5 MW offshore, un peu plus de 15 GW / h ;
 - un aérogénérateur de quelque kW jusqu'à 6 MW (la plupart des grandes éoliennes installées en France ont une puissance de 1 à 3 MW et sont rassemblées en fermes de 6 à 210 MW) ;
 - une centrale thermique à flamme : 120 à 720 MW ;
 - une centrale solaire photovoltaïque de quelques centaines de watts à 20 MW (*centrale solaire à Beneixama* en Espagne) ;
 - une hydroélectrique : de quelques kW à 3000 MW (Barrage *des Trois Gorges* en Chine) ;
 - un réacteur nucléaire : de l'ordre de 900 à 1300 MW en général (Centrale *de Civaux* au sud de Poitiers – France).En France la puissance totale installée est de 3404 MW (*pour plus d'information on se reportera utilement à : « Le Sens du vent, notes sur la nucléarisation de la France au temps des illusions renouvelables » Ed. L'Encyclopédie des nuisances, 2010*).
- (5) **La Biomasse** : elle désigne l'ensemble des matières organiques d'origine végétale, animale ou fongique pouvant devenir une source d'énergie par combustion (ex : le bois), après méthanisation (ex : biogaz) ou après transformation chimique (biocarburant). C'est la première énergie renouvelable en France (2009) : production de 11984 kTep (équivalent pétrole) en comparaison de 667 kTep pour l'éolien, et 66 kTep pour le solaire (*Source Insee*). Cette énergie n'est toutefois soutenable que s'il n'y a pas surexploitation ; elle est polluante potentiellement (CO, CO₂, fumées, goudrons) (*voir « Quelles ressources en biomasse pour un système énergétique durable ? note de synthèse, IFP Energies nouvelles ; téléchargeable version PDF, 1,4 Mo*).
- (6) **L'énergie géothermique** : 3 types : géothermie peu profonde à basse température, profonde à haute température, très profonde à très haute température. Le manteau terrestre étant chaud, la croûte terrestre laisse filtrer cette chaleur. La plus grande partie de la chaleur de l'eau (87 %) est produite par la radioactivité des roches constituant le manteau et la croûte terrestre : radioactivité résultant de la désintégration naturelle

de l'uranium, du thorium et du potassium. Dans la croûte terrestre (30 à 70 km d'épaisseur) il existe un gradient de température ; en moyenne 3° par 100m de profondeur. Ce type d'énergie est disponible dans plus de 20 pays dans le monde, dont la France. L'Indonésie possède le plus grand potentiel (97 GW soit 40% des réserves mondiales) avant les Etats-Unis et les Philippines (28% de son énergie consommée, 17% de la production totale d'énergie). C'est évidemment l'énergie principale de l'Islande. La seule référence française en la matière est la centrale de *Pouillante* (Guadeloupe) non loin du volcan de la Soufrière qui, avec un premier forage d'une profondeur de 300m réalisé en 2001 et une centrale, construite en 2003 - *Bouillante 2* - portent la puissance totale à 16 MW, soit 10% des besoins annuels de l'île. *Pour en savoir plus : liste des forages à but géothermique en France disponible sur « Infoterre » le visualisateur du BRGN.*

- (7) **Energie marine des vagues.** La faisabilité en a été étudiée en Angleterre : le système couplé à des dispositifs flottants ou des ballons déplacés par les vagues dans une structure en béton en forme d'entonnoir produirait de l'électricité : le projet fut abandonné. Par contre depuis 2003 *l'Ecole centrale de Nantes* en collaboration avec *l'Ecole normale supérieure de Cachan* essaie de mettre au point un système appelé « *Searev* », ressemblant à un petit sous-marin utilisant l'énergie de la houle. Au Portugal un projet utilise des machines *Pelamis*, une structure semi-immersée composée de 4 cylindres reliés par des articulations afin de récupérer l'énergie des vagues et l'acheminer sous forme d'électricité par un câble sous-marin. Ce projet au large d'*Aguçadoura* devrait fournir 2,25 MW d'énergie (économie de 2000 t / an de GES).
- (8) **Energie marémotrice** utilisant le mouvement d'eau créée par les marées (*voir annexe I*).
- (9) **Energie hydrolienne.** L'hydrolienne est une turbine sous-marine (ou posée sur l'eau et à demi immergée) utilisant l'énergie cinétique des courants marins ou des cours d'eau comme une éolienne utilise l'énergie cinétique de l'air. La turbine permet la transformation de l'énergie hydraulique en électricité par un alternateur. Le potentiel européen de l'énergie hydrolienne est de 12,5 GW qui pourraient produire 487 TWh annuels (20% de ce potentiel en France).
- Avantages:
- beaucoup plus petites que les éoliennes pour une puissance égale (la masse volumique de l'eau est 800 fois supérieure à celle de l'air) ;
 - le potentiel des courants marin est très important (3 GW soit 2 réacteurs nucléaire de type EPR) ;
 - il s'agit d'une énergie renouvelable et semble-t-il totalement propre.
- Inconvénients :
- elles sont susceptibles de créer des zones de turbulence modifiant la sédimentation et les courants ;
 - les poissons et les mammifères marins pourraient heurter les hélices et être affectés ;
 - érosion rapide des pales d'hélice du fait du sable en suspension (entretien lourd) ;
 - emploi d'un antifouling régulièrement pour éviter le développement des algues sur l'engin.
- (10) **Energie thermique des mers (ou énergie marethermique).** Elle exploite la différence de température entre celle des eaux superficielles et celle des eaux profondes des océans. On en attribue l'idée à *Jules Verne* (1828-1905), mais c'est le physicien *Arsène d'Arsonval* (1851-1940) qui en conceptualisa l'idée. Le premier prototype fut celui de *Georges Claude* (1870-1960) fondateur de « *l'Air liquide* ». Le système est possible parce que dans les océans les couches froides ne se mélangent pas aux couches chaudes et la différence de température peut être exploitée par une « machine thermique ». L'ETM fonctionne avec un différentiel de température de 20° minimum ; elle n'est donc possible que si la température de surface est d'au moins 24°C ce qui n'est le cas que dans la zone « Tropic du Cancer / Tropic du Capricorne » (entre 30° et - 30° latitude - un projet d'étude est en cours sur *Hawaï*). L'ETM aurait un double intérêt ; la production d'énergie et la production d'eau potable à partir de l'eau des profondeurs et un impact environnemental très modéré (du moins selon les prévisions ; quant au CO2, l'ETM en rejetterait 4 fois moins qu'une usine thermique fossile. (*Voir une étude intéressante sur le site de l'Ifremer « l'énergie thermique des mers »*).
- (11) **Energie osmotique :** il est théoriquement possible d'exploiter cette énergie au voisinage des estuaires où l'eau douce se mélange à l'eau salée : par un phénomène d'osmose, si de l'eau douce et de l'eau salée sont séparées par une membrane semi-perméable l'eau douce migre à travers la membrane. Mais dans l'état de la technique, la réalisation de ces membranes pose problème : il serait nécessaire d'une membrane de 200 à 250.000 m² par MW. Le système est le suivant : si le réservoir d'eau salée est à une pression supérieure à celle de l'eau douce, l'eau douce migre vers l'eau salée tant que la différence de pression n'excède pas la valeur limite de 27 bars ; la surpression ainsi créée peut être utilisée pour actionner une turbine ; dans la pratique on envisage d'opérer avec une surpression de 1 Mpa (10 bars). Ainsi un débit d'eau douce de 1m³ 2s⁻¹ générerait 1MW. La Norvège a inauguré le premier prototype à *Tafte* (près d'Oslo) le 24 novembre 2009 : puissance de 4 kW. On estime que le potentiel de cette énergie en Norvège est de 1370 MW.
- (12) L'eau des océans, en raison du surcroît d'attraction lunaire du côté de la Lune et de sa valeur plus faible du côté opposé à celle-ci a, en coupe, une allure d'ellipse, dont le grand axe est orienté sur la direction Terre-Lune. La Terre tournant en 24 heures (approximativement) tandis que la Lune ne le fait qu'en 28 jours, le mouvement de rotation de la Terre dans cette masse d'eau fixe produit le phénomène des marées. Or lorsqu'on retient cette eau par un barrage, on en freine le mouvement, et donc du même coup - d'une façon infinitésimale- la Terre. Cela a, en raison de la loi de l'action et de la réaction, un effet sur la Lune : puisqu'il y a conservation du moment d'inertie et que la Terre ralentit, l'effet du freinage est donc que la Lune s'éloigne (de façon infinitésimale elle aussi par rapport à sa distance). Ainsi à la fin du XIX^e siècle, l'année faisait 365,242196 jours et aujourd'hui 365,242190 jours (on remarquera que la différence porte déjà sur la 9^e

décimale, alors que les astronomes travaillent plus volontiers avec 16. Un effet de huit ordres de grandeurs en dessous est donc remarqué par eux s'il se cumule sur plus d'une dizaine d'années, ce qui est le cas pour la *Rance*).

- (13) Oiseau fabuleux de la mythologie égyptienne, symbole de l'immortalité puisqu'il avait la faculté de renaître de ses propres cendres.
- (14) **Barrage Daniel Johnson** (Canda). Il fait partie avec *Manic-5*, la centrale *Manic-5-PA* d'un ensemble hydraulique situé sur la côte nord du Québec ; haut de 214 m, d'une longueur de crête de 1314 m, doté de 13 voûtes et de 14 contreforts il a été inauguré en 1968 et mis en service en 1970. Sa hauteur de chute est de 141,8 m et fournit plus de 2660 MW de puissance.
- (15) Il s'agit du plus grand trompe l'œil du monde en ce qu'il couvre une surface de 12000 m² ayant nécessité 6 tonnes de peinture spécialement étudiée, passée au rouleau à partir de nacelles par 9 ouvriers spécialistes de la haute montagne ; coût de l'opération : 33 millions de francs soit 500.000 E (à noter que 37 ans plus tôt le service des Domaines de l'état français avait négocié jusqu'au dernier centime l'indemnisation des habitants).
- (16) **Daniel Buren** (né le 25 mars 1938). Artiste conceptuel français connu entre autre pour ses « colonnes du Louvre ».
- (17) « **Christo** » **Vladimirof Javacheff** artiste bulgare (né en 1935 à Gabrovo). Il rejoint le groupe des « nouveaux réalistes » en 1963. Faisant œuvre commune avec son épouse **Jeanne-Claude de Guillebon**, il est connu pour ses « emballages » (le Pont Neuf, le Bundestag de Berlin, etc.). On peut s'imaginer une éolienne à la manière de Buren ou encore un barrage, à celle de Christo.



Christo - Valley Curtain, Rifle,

- (18) Les japonais toutefois, ayant un besoin vital d'énergie ont beaucoup investi dans le domaine de l'exploitation de cet hydrate de méthane sous marin. Deux extractions expérimentales devraient voir le jour en 2012 et 2014 dans le sud du pays. Des hydrates de méthane ont déjà été exploités à *Messoïakha* (Sibérie occidentale). Un projet allemand vise à extraire du méthane marin et à stocker à sa place de CO₂. Néanmoins la récupération de cet hydrate de méthane est difficile et coûteuse et pourrait s'avérer catastrophique pour le climat, le risque étant qu'en exploitant cet hydrate sous marin instable, on en fasse involontairement remonter de grandes quantités dans l'atmosphère (un peu comme si on exploitait du gaz naturel avec des fuites énormes).
- (19) En réalité on observe néanmoins depuis bientôt 10 ans une stagnation puis une légère baisse de la température moyenne terrestre.
- (20) En réalité en tenant compte de l'effet de serre des nuages, l'ensemble vapeur d'eau + nuages représente au moins 90% de l'effet de serre).
- (21) Les barrages ont transformé les cours d'eau du monde entier : *L'Institut des Ressources Mondiales (IRM)* à établi qu'au moins 46% des 106 versants primaires du monde ont été modifiés par un grand barrage. Ainsi les Etats-Unis et l'UE régulent l'écoulement de 60 à 65% des cours d'eau sur leur territoire. En Asie, seul moins de la moitié des cours d'eau est doté de plus d'un grand barrage. La modification des cours d'eau transfrontaliers ont des implications particulières : 261 bassins versants sont partagés par 2 ou plusieurs pays, couvrant environ 45% de la surface de la terre, représentant 80% des cours d'eau au plan mondial, ce

dont par conséquent est affecté 40% de la population mondiale. Les problèmes qui en découlent vont de la qualité de l'eau à la quantité des volumes d'écoulement et aux vives tensions qui en découlent entre les états.

- (22) voir note (17 Partie III).
- (23) On puise dans le **Rhône** chaque année, pour subvenir aux besoins en eau pour la population et l'industrie 2200 Mm³; le volume moyen annuel de graviers extraits du Rhône en aval du lac Léman est de 900000m³. Du fait de ses barrages, il produit 20% de l'énergie hydroélectrique française, soit avec les 7 centrales nucléaires qui s'y trouvent installées, 1 / 4 de l'énergie électrique du pays.
- (24) **La Mer Caspienne** est un lac issu de la fermeture d'une mer ancienne; elle est bordée par la Russie, l'Azerbaïdjan, le Turkménistan, l'Iran et le Kazakhstan. Elle a une superficie de 371000 km² (salinité 1,2% soit le tiers de la salinité des autres mers). Elle est alimentée par les fleuves Volga, Oural, Koura et Emba (la Volga, 3700 km, assure à elle seule 80% des apports en eau douce), 8 grands barrages entravent sous cours (surface du lac de retenue, volume, production, électricité, date de construction):
- barrage d'Ivankovo (327 km²; 1,12 Km³; production électrique : 130GWh ; construit en 1937)
 - barrage d'Ouglitch (249 km²; 1,25 Km³; production électrique : 1212GWh ; construit en 1940)
 - barrage de Rybinsk (4550 km²; 25,42 Km³; production électrique : 1100GWh ; construit en 1979)
 - barrage de Nijni Novgorod (1591 km²; 8,7 Km³; production électrique : 11513GWh ; construit en 1955)
 - barrage de Tchekoboksary (2100 km²; 14,2 Km³; production électrique : 3280GWh ; construit en 1980)
 - barrage de Saratov (1850 km²; 12,9 Km³; production électrique : 5400GWh ; construit en 1967)
 - barrage de Volgograd (3317 km²; 32,1 Km³; production électrique : 11100 GWh ; construit en 1958).
- (25) **Camon**, l'un des « 100 plus beaux villages de France ».
- (26) **La Garonne** et son estuaire accueillent encore huit espèces de migrateurs amphihalins : la grande alose, espèce de la famille des sardines, dont la population connaît une baisse préoccupante d'effectif, l'alose feinte, l'anguille, l'esturgeon européen qui est sur la liste des espèces menacées de « l'Union Internationale pour la conservation de la nature (UICN), la lamproie fluviatile, la lamproie marine (espèce migratrice la plus abondante), le saumon atlantique (disparu dans les années 70, mais qui semble repeupler le bassin), la truite de mer.
- (27) **Barrage de Pongolapoort** (Afrique du Sud). Achievé en 1973, il a une hauteur de 89 m et un réservoir de 2267068000m³, sur la rivière *Pongolo*.
- (28) **Barrage de Prima Primavera** (Brésil) sur la rivière *Paraná*, à vocation hydroélectrique. Ouvrage en terre. Fait partie du complexe des 4 grands barrages sur le secteur brésilien du *Paraná* avant celui d'*Itaipu* : le barrage d'*Ilha Solteira*, le barrage de *Jupia*, le barrage de *Prima Primavera* puis celui d'*Ilha Grande*.
- (29) **Barrage de Pak Mun** (Thaïlande) sur la rivière *Mun* affluent du Mékong. Ce barrage construit en 1994 a fait l'objet de nombreuses controverses sur les plans écologique et humain. Une grosse centaine d'espèces de poissons a disparu et le produit de la pêche a diminué de 50%. Pour le reste, il est voué à l'hydroélectricité.
- (30) **Barrage de Kainji** sur le fleuve *Niger* (Nigeria); sa construction a débuté en 1962 et il fut mis en eau en 1968. Le barrage mesure plus de 10 km avec sa grande digue en terre; mais la partie centrale qui abrite la centrale hydroélectrique est en béton et mesure 548 m pour une hauteur de 65m. Son lac mesure 135 km de long et 30 km dans sa plus grande largeur. Sa puissance est de 800 MG (sur les 1000 prévus). Il est doté d'une écluse permettant le passage des bateaux. Impact écologique énorme et déplacement de 55000 personnes.

BIBLIOGRAPHIE

- **Jean François Sacadura** : « Initiation aux transferts thermiques » p.89
- **Adelphi Consult (Institut Wuppertal pour le climat, l'environnement et l'énergie)**: « Importance des énergies renouvelables pour la politique sécuritaire » (2007) Internet
- **François Ewald, Ch. Gollier, N.de Sadeleer** : « **Le principe de précaution** » PUF2001
- **Michel Callon, Pierre Lascoumes, Tannick Barthe** : « Agir dans un monde incertain » Éd. Seuil (la couleur des idées) 2001
- **Jean Pierre Dupuy** : « Pour un catastrophisme éclairé - Quand l'impossible est certain » Ed. Seuil (la couleur des idées) 2002
- **Dominique Lecourt** : « La Santé face au principe de précaution » PUF. 2009
- **Gérald Bronner, Etienne Géhin** : « L'inquiétant principe de Précaution » PUF. 2010
- **Gérard Pardini** : « Principe de précaution et goût de l'inaction » IHESJ 2010
- **Gérard Lambert, Jérôme Chappellaz, J.P.Foucher, Gilles Ramstein** : « Le méthane et le destin de la Terre : les hydrates de méthane : rêve ou cauchemar ? », Ed.EDP Sciences 2006
- **Stefan Jay Gould** : « La mort en masse ; Darwin et les grandes énigmes de la vie », Éd. Points, coll. Science 1997
- **Commission Mondiale des Barrage** : Revue Thématique (déjà citée)