

Sédiments et barrages hydroélectriques : Aléas, enjeux et risques associés

Jean-René MALAVOI¹

¹ EDF-DPIH – Direction Développement – e-mail: jean-rene.malavoi@edf.fr

RÉSUMÉ. – Dans le cadre des activités de production hydroélectrique d'EDF, l'évaluation des risques engendrés par les processus sédimentaires et leur gestion au niveau des ouvrages est réalisée à partir d'un classement par aléa décliné ensuite par enjeux. La gestion sédimentaire, à l'échelle des barrages mais plus largement à l'échelle des cours d'eau, fait appel à des connaissances scientifiques qui sont encore très largement du domaine de la recherche. C'est le cas notamment de la mesure et de la modélisation fine des processus de transit des sédiments dans les retenues et dans les rivières.

Mots-clés : sédiments, barrages, risques, environnement, usages

Sediments and hydroelectric dams: hazard, issues and associated risks

ABSTRACT. – As part of EDF's hydroelectric production activities, the assessment of the risks generated by sedimentary processes and their management at the level of the structures is carried out on the basis of a ranking by hazard, then broken down by stakes. Sediment management, at the dam scale, but more broadly at the watercourse level, uses scientific knowledge that is still very much in the research domain. This is particularly the case for measurement and fine modeling of sediment transit processes in reservoirs and rivers.

Key-words: sediments, dams, risks, environment, water uses

I. INTRODUCTION : CONCEPTS D'ALÉA/ENJEU/RISQUE

Les concepts utilisés dans le domaine des risques naturels sont ici légèrement « détournés » pour cerner, dans le cadre des activités de production hydroélectrique d'EDF, les risques associés aux sédiments transitant dans les barrages et à leur gestion.

La définition classique du « risque naturel » est la suivante : un risque apparaît lorsqu'un aléa (phénomène naturel généralement dangereux) se produit dans une zone où existent des enjeux (humains, économiques, écologiques, etc.)

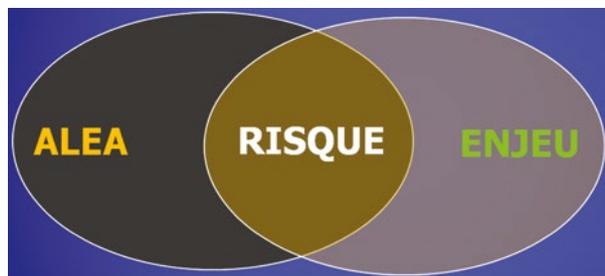


Figure 1 : concepts d'aléa, enjeu, risque, utilisés dans cet article

- L'aléa

Il est le plus souvent défini par une intensité (hauteur et/ou vitesse de l'eau pour l'aléa inondation, magnitude pour un séisme, etc.), une localisation et une périodicité ou une probabilité d'occurrence temporelle (on parle de période de retour pour les crues par exemple). Dans le cas des

sédiments nous pourrions définir l'aléa comme : tout processus (apport de sédiments dans la retenue par le cours d'eau drainant le bassin amont et intercepté par l'ouvrage) ou action (transparence d'ouvrage, curage ou vidange de retenue, etc.) en lien avec les sédiments et à l'origine d'un risque éventuel.

- L'enjeu

Dans le cas des risques naturels, l'enjeu est généralement lié à la présence humaine (personnes, activités économiques, infrastructure) mais on définit de plus en plus souvent aujourd'hui des enjeux environnementaux. Généralement on associe à l'enjeu sa vulnérabilité vis-à-vis de l'aléa. Ainsi la vulnérabilité de l'enjeu « terrain de foot » dans la zone d'aléa inondation n'est pas la même que celle de « maison d'habitation de plain-pied ». Dans le cas des sédiments nous pourrions définir l'enjeu comme toute activité (industrielle, humaine), ou fonctionnalité (des écosystèmes par exemple) pouvant être négativement impactée par l'aléa lié aux processus ou actions de gestion sédimentaires

- Le risque

Il résulte de la confrontation de l'aléa et des enjeux. Dans le cas des sédiments, les risques suivent la même définition que les enjeux, à savoir une perte ou une atteinte grave aux activités et fonctionnalités présentes dans la zone potentiellement concernée par les aléas.

L'évaluation des risques engendrés par les processus sédimentaires et leur gestion au niveau des ouvrages de production hydroélectriques, a été réalisée à partir d'un classement par aléa, décliné ensuite par enjeux (et parfois sous-enjeux) associés puis par risques encourus. Cette approche se veut la plus exhaustive possible.

Nous avons ainsi identifié 3 grandes familles d'aléas, au sens défini ci-dessus :

- Les aléas liés aux processus d'apports sédimentaires et de sédimentations dans les retenues
- Les aléas liés à des manœuvres d'exploitation ou de gestion volontariste des sédiments
- Les aléas liés à des modifications de l'hydrologie des cours d'eau en aval des ouvrages

II. ALÉAS LIÉS AUX APPORTS SÉDIMENTAIRES DANS LES RETENUES

Ce type d'aléa, lié à la production sédimentaire naturelle par érosion à l'échelle des bassins versants, se traduit principalement par des processus de sédimentation dans les retenues. C'est probablement l'aléa le plus référencé dans la littérature scientifique et technique internationale dans la mesure où il se traduit par le risque le plus étudié aussi qui est celui du comblement progressif des retenues.

Nous n'avons pas défini de sous-type d'aléa.

7 types d'enjeux sont identifiés :

- Enjeu capacité utile
- Enjeu exploitation
- Enjeu sureté
- Enjeu usages divers autour de la retenue
- Enjeu état des plans d'eau (au sens DCE (Directive Cadre européenne sur l'Eau))
- Enjeu état des cours d'eau en aval (au sens DCE)
- Enjeu état des littoraux

II.1. Enjeu capacité utile

L'enjeu est le volume utile de la retenue et la nécessité ou non de sa préservation vis-à-vis de différents sous-enjeux. A l'échelle mondiale, la perte annuelle brute de volume des grands barrages réservoirs est estimée à environ 1% (CIGB, 2009). Les chiffres pour le parc EDF sont plutôt de l'ordre de 0.1%.



Figure 2 : Comblement rapide du barrage Wushe, sur la rivière Choushui, Taiwan (© morphohydraulic research group, Taiwan University)

II.1.1. Sous enjeu capacité utile pour la production

Il s'agit d'un enjeu majeur, notamment pour les ouvrages de type capacitifs qui ont pour vocation de se remplir pendant une partie de l'année et dont le volume est ensuite géré au cours de la saison de production principale. Risque associé : plus la retenue se comble par processus de sédimentation, plus sa capacité de stockage se réduit, d'où une perte de production ou d'optimisation de la production. C'est notamment le cas sur les ouvrages fonctionnant par éclusées. Ce risque est d'autant plus élevé que la retenue est de faible volume et les apports solides amont importants

II.1.2. Sous enjeu capacité utile pour la démodulation

Certaines retenues jouent un rôle de démodulation des débits d'éclusées provenant de centrales situées en amont. Risque associé : perte de capacité de démodulation.

II.1.3. Sous enjeu capacité utile pour le délimonage

Certaines retenues jouent un rôle de piégeage des sédiments fins, notamment pour éviter leur entrée dans les groupes de production où ils auraient un effet pénalisant (usure prématurée, dysfonctionnement, etc.). Risque associé : perte de capacité de délimonage

II.1.4. Sous enjeu capacité utile pour d'autres usages

D'autres usages parfois greffés sur des ouvrages EDF sont aussi menacés par les processus de sédimentation dans les retenues, comme l'AEP par exemple ou l'irrigation. Risque associé : perte de volume utile pour assurer les fonctions d'alimentation en eau potable ou pour l'irrigation.

II.2. Enjeu exploitation

L'enjeu est ici la préservation ou la restauration d'un mode d'exploitation simple et efficace de l'ouvrage.

Nous n'avons pas identifié de sous enjeu mais deux risques peuvent être décelés : difficultés d'exploitation liées au comblement des ouvrages de prise, y compris lorsqu'un décanteur/dessableur a été prévu ; difficultés d'exploitation liées au comblement des ouvrages de restitution du débit réservé ou des ouvrages de continuité piscicole.

II.3. Enjeu sureté

Cet enjeu peut être décliné en deux sous enjeux

II.3.1. Sous enjeu sureté des aménagements

Il s'agit principalement d'un sous enjeu lié à la possibilité pour l'exploitant d'ouvrir rapidement des organes de vidange ou d'évacuation de crue. Risque associé : impossibilité de manœuvrer ces organes du fait de la présence de sédiments ; Risque de rupture de l'ouvrage sous l'effet du poids des sédiments.

II.3.2. Sous enjeu sureté hydraulique amont retenue

Il s'agit principalement d'un enjeu hydraulique lié au phénomène de delta sédimentaire se développant dans les parties amont de certaines retenues. Risque associé : la présence de ce delta sédimentaire peut réduire la section d'écoulement en crue et aggraver l'aléa inondation au niveau des terrains riverains.

II.4. Enjeu usages divers autour des retenues

Cet enjeu recouvre un certain nombre d'usages (enjeux finalement) potentiellement affectés par les processus de sédimentation dans nos retenues. Ces usages, non exhaustifs sont les suivants : AEP, baignade, sports nautiques, accès aux plages. Les risques associés sont assez nombreux : interdiction de baignade, difficultés de mise à l'eau pour des bateaux ou d'accès aux plages du fait de dépôts de sédiments fins, disparition des plages sous l'effet de la sédimentation fine, difficultés de navigation pour les embarcations du fait d'une réduction des profondeurs, mauvaises odeurs, vents de sable, etc.

II.5. Enjeu DCE état des plans d'eau

Ce type d'enjeu réglementaire européen (DCE) est lié à l'obligation d'atteindre ou de préserver un « bon état » des plans d'eau, y compris les retenues artificielles. Risque associé : non atteinte du bon état du fait de la présence de sédiments fins en trop grande quantité (aspect habitat), ou de sédiments pollués (aspect qualité).

II.6. Enjeu DCE état des cours d'eau en aval

La sédimentation dans les retenues peut aussi être qualifiée de « piégeage » des sédiments par les retenues, piégeage pouvant affecter l'état sédimentaire des portions de cours d'eau situées en aval. Risque associé : ce piégeage peut engendrer un déficit sédimentaire en aval et donc un risque de non atteinte du bon état écologique, sous-tendu par la présence d'un substrat alluvial auquel sont inféodées la plupart des biocénoses aquatiques.

II.7. Enjeu état des littoraux

II.7.1. Sous enjeu DCE état des masses d'eau côtières et de transition.

La DCE demande, comme pour les cours d'eau et les plans d'eau, l'atteinte d'un bon état des masses d'eau côtières et de transition (estuariers). Risque associé : le piégeage des sédiments, notamment fins, par les retenues, risque d'engendrer un risque de non atteinte du bon état pour ces milieux aval où les sédiments fins représentent des habitats primordiaux.

II.7.2. Sous enjeu fonctionnalité des deltas.

Cet enjeu n'est probablement pas très répandu en France, hormis sur le delta du Rhône. Il commence en revanche à être de plus en plus souvent évoqué pour de nombreux grands ouvrages dans le monde, dont le piégeage sédimentaire se traduit aujourd'hui par un affaissement d'un certain nombre de grands deltas (Mékong, Gange entre autres). Risque associé : affaissement du delta et submersion progressive, remontée d'eau salée. Les enjeux humains sur certains grands deltas sont gigantesques (plusieurs dizaines de millions de personnes concernées).

II.7.3. Sous enjeu état des côtes.

Là encore, la France n'est pas le pays le plus concerné par cet enjeu, même si des questions se posent aujourd'hui sur le lien entre l'érosion de certaines côtes (Landes, Médoc, Languedoc-Roussillon) et la réduction des apports de sable à

la mer du fait du piégeage sédimentaire dans les retenues de barrages. Risque associé : aggravation de l'érosion des côtes

III. ALÉAS LIÉS AUX MANŒUVRES D'EXPLOITATION OU DE GESTION SÉDIMENTAIRE

Cette seconde famille d'aléas sédimentaires peut engendrer des risques associés à divers types de manœuvres d'exploitation pouvant mobiliser des sédiments (vidanges particulièrement) ou à des opérations volontaristes de gestion de ces sédiments (transparences, chasses, curages, transit des sédiments via les groupes). Cette famille d'aléas est déclinée en 4 sous-familles.

III.1. Aléa lié aux vidanges ou autres manœuvres d'exploitation de même nature

Les vidanges de retenues sont généralement réalisées soit pour inspecter diverses parties de l'ouvrage normalement sous l'eau (particulièrement le parement amont, l'état de la vanne de fond, etc.), soit pour réaliser des travaux (modification ou changement d'une vanne, etc.).

Deux types d'enjeux sont potentiellement concernés.

- Enjeu état des cours d'eau en aval (DCE)
- Enjeu usages en aval

III.1.1. Enjeu état des cours d'eau en aval

Deux sous enjeux peuvent être évoqués.

- Sous enjeu Etat des cours d'eau (DCE)

La mauvaise réalisation d'une vidange va engendrer des apports plus ou moins massifs de polluants et de MES dans le tronçon situé en aval. Risques associés : mortalité piscicole engendrée par l'atteinte de seuil létaux de MES, oxygène dissous etc. Dégradation plus ou moins durable des habitats en aval (ensablement, colmatage de surface et interstitiel).



Figure 3 : Mortalité piscicole suite à une vidange de barrage mal gérée en Italie (© Simone Bastasi)

- Sous enjeu Etat sanitaire des cours d'eau

Sil la qualité sanitaire des sédiments de la retenue est mauvaise, une vidange mal maîtrisée peut entraîner le relargage de polluants. Risque associé : risque sanitaire

III.1.2. Enjeu usages aval

Ce type d'enjeu regroupe tous les usages situés en aval de l'ouvrage et potentiellement impactés par une vidange mal maîtrisée : captages AEP, prises d'eau diverses, baignade,

navigation etc. Risques associés : contentieux avec les avalisants en raison, soit à d'une dégradation de la qualité de l'eau (AEP, baignade), soit d'un comblement sédimentaire (prises d'eau), soit encore d'une dégradation des rives par dépôt de sédiments fins (baignade, tourisme, navigation, etc.).

III.2. Aléa lié aux manœuvres de gestion par transparence

Un certain nombre d'ouvrages, notamment certains barrages mobiles en rivière (BMR) ou autres ouvrages équipés d'organes de fond d'une capacité hydraulique suffisante, sont gérés par transparence, c.a.d barrage totalement ouvert en crue d'une fréquence déterminée.

Cet aléa peut concerner 4 grands types d'enjeux :

- Enjeu état des cours d'eau en aval (DCE)
- Enjeu production
- Enjeu exploitation
- Enjeu usages en aval

III.2.1. Enjeu état des cours d'eau en aval

On retrouve les mêmes enjeux et risques associés que pour les vidanges.

- Sous enjeu Etat des cours d'eau (DCE)

La mauvaise réalisation d'une vidange va engendrer des apports plus ou moins massifs de polluants et de MES dans le tronçon situé en aval. Risques associés : mortalité piscicole associée à l'atteinte de seuil létaux de MES, oxygène dissous etc ; dégradation plus ou moins durable des habitats en aval (ensablement, colmatage de surface et interstitiel)

- Sous enjeu Etat sanitaire des cours d'eau

Sil la qualité sanitaire des sédiments de la retenue est mauvaise, une transparence mal maîtrisée peut entraîner le relargage de polluants. Risque associé : risque sanitaire

III.2.2. Enjeu production

La réalisation de chasses/transparence à vocation de gestion sédimentaire nécessite de vider rapidement la retenue avant les crues, de laisser passer le débit de crue sans l'entonner, de remplir à nouveau la retenue après la crue afin de reprendre la production. Risque associé : pertes énergétiques, désoptimisation de la production.

III.2.3. Enjeu exploitation

La réalisation des chasses et transparences en crue nécessite la mobilisation de personnel. Risque associé : difficultés d'organisation en termes de personnel.

III.2.4. Enjeu usages aval

Ce type d'enjeu regroupe les mêmes usages et les mêmes risques que ceux concernés par les vidanges. Tous les usages situés en aval de l'ouvrage et potentiellement impactés par une chasse/transparence mal maîtrisée : captages AEP, prises d'eau diverses, baignade, navigation etc. Risques associés : contentieux avec les avalisants en raison, soit d'une dégradation de la qualité de l'eau (AEP, baignade), soit d'un comblement sédimentaire (prises d'eau), soit encore à d'une dégradation des rives par dépôt de sédiments fins (baignade, tourisme, navigation, etc.).

III.3. Aléa lié aux opérations de curage

C'est le mode de gestion actuellement le plus fréquent sur le parc EDF. Plusieurs types d'objectifs sont visés : restaurer tout ou partie de la capacité utile, dégager les ouvrages de prise d'eau, les vannes de vidange de fond, les vannes d'évacuation de crue etc., dégager le parement amont en vue d'une inspection, anticiper une vidange en évacuant mécaniquement une partie des matériaux qui pourraient être relargués lors de l'opération, etc.

Les opérations de curage peuvent être déclinées en 3 grands sous types :

- Curage/dilution : les matériaux sont curés en un point de la retenue et réinjectés dilués soit dans l'ouvrage de prise puis transitent via les groupes, soit dans le TCC si les débits de celui-ci sont suffisants pour accepter la charge en MES.
- Curage/extraction puis stockage à terre : les matériaux sont extraits et dirigés selon leur nature (fin, grossier, pollués/inertes etc.) vers différents types de stockage, temporaire ou définitif.
- Curage/extraction puis réinjection en aval : cette modalité de gestion est encore peu mise en œuvre et a pour vocation principale la restauration de la continuité sédimentaire des alluvions grossières. Elle est cependant parfois réalisée sur certains ouvrages dans le cas d'opérations de dégagement d'ouvrage de prise par exemple.



Figure 4 : Exemple d'opération de curage dans une retenue de barrage (©Jean-Luc Massinon)

III.3.1. Enjeu extraction et gestion des sédiments extraits

Les enjeux concernés sont liés aux modalités d'extraction et plus encore aux modalités de stockage des sédiments extraits. Ne sont pas indiqués les enjeux liés à la dilution qui rejoignent ceux liés soit à la qualité des cours d'eau aval (aléas vidanges ou transparences), soit ceux liés au passage par les groupes.

- Sous enjeu extraction.

L'extraction des matériaux est une opération relativement lourde qui nécessite des hommes et du matériel. Risque associé : coût plus ou moins élevé de l'opération en fonction des sites, de leur accessibilité, de la nature des matériaux curés (de quelques euros à plusieurs dizaines d'euros le m³)

- Sous enjeu gestion des sédiments extraits.

Deux risques sont identifiables : Coût élevé. Lié à la distance entre le lieu de curage et le site de dépôt. Lié aussi à la nécessité d'utiliser des sites de dépôts particuliers et plus coûteux pour stocker les sédiments pollués ; difficulté pour trouver des sites de stockage peu éloignés des ouvrages (cf risque précédent).

- Sous enjeu production

Les opérations de curage nécessitent souvent une vidange partielle du plan d'eau voire un arrêt des groupes. Risque associé : perte ou désoptimisation de la production

III.4. Aléa lié au transit des sédiments par les groupes

Cet aléa est lié à un transit non souhaité (généralement) ou souhaité (mode de gestion volontariste) de sédiments fins ou moyens par les groupes. Risque associé : usure des turbines ou autres pièces des groupes, dégradation de la performance, etc.

IV. ALÉAS LIÉS À LA MODIFICATION DE L'HYDROLOGIE

Comme pour l'aléa sédimentation dans les retenues, nous n'avons pas retenu de sous type d'aléa hydrologique, même si l'on pourrait éventuellement distinguer la modification de l'hydrologie « moyenne » et la modification de l'hydrologie de crue.

Nous passons donc directement aux enjeux concernés.

Deux enjeux majeurs apparaissent :

- Enjeu sureté hydraulique en aval de l'aménagement
- Enjeu état des rivières en aval de l'aménagement

IV.1. Enjeu sureté hydraulique en aval de l'aménagement

La modification des débits, notamment la réduction de la fréquence des débits de crue fait apparaître deux types de risques en lien avec les sédiments. Risques associés : excédent sédimentaire au droit de certaines confluences du fait de la raréfaction des crues capables de mobiliser les alluvions apportées et aggravation locale du risque inondation ; La réduction de la fréquence des crues semble favoriser, notamment du fait d'une plus grande stabilité des alluvions déposées sur les bancs, une croissance exacerbée de la

végétation alluviale, ce qui réduit la capacité d'écoulement du lit mineur et aggrave le risque d'inondation dans la plaine alluviale adjacente.

IV.2. Enjeu état des rivières aval aménagement

La modification des débits, tant moyens que de crue entraîne la survenue de plusieurs risques : détérioration des habitats aquatiques et rivulaires du fait d'un excédent sédimentaire sur certains tronçons ; non atteinte du bon état du fait du colmatage des habitats alluviaux grossiers colmatés par des sédiments fins que la rivière ne peut pas évacuer en raison de la modification de son régime hydrologique

V. CONCLUSION

La gestion sédimentaire des barrages exploités pour la production hydroélectrique est complexe et soumise à de nombreuses contraintes tant techniques, qu'économiques, écologiques et sociétales. La plupart des grandes entreprises de production, à l'échelle mondiale, commencent à en prendre la mesure et à mettre en place des procédures permettant de l'optimiser, dans le respect des différents usages associés aux retenues elles-mêmes mais aussi aux cours d'eau sur lesquels elles sont installées.

Cependant, la gestion sédimentaire, à l'échelle des barrages mais plus largement à l'échelle des cours d'eau, fait appel à des connaissances scientifiques qui sont encore très largement du domaine de la recherche. C'est le cas notamment de la mesure et de la modélisation fine des processus de transit des sédiments dans les retenues et dans les rivières. C'est aussi encore très largement le cas des relations existant entre les processus sédimentaire (érosion, transport, sédimentation) et le fonctionnement des biocénoses aquatiques et rivulaires.