

GUIDE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE D'UN PROJET DE PETITE  
CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT

Par

Dominique Bastien

Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de  
l'obtention du grade de maître en environnement (M.Env.)

Directeur : M. Michel Montpetit

CENTRE UNIVERSITAIRE DE FORMATION EN ENVIRONNEMENT

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

Longueuil, Québec, Canada, 27 juin 2011

## **SOMMAIRE**

Mots clés : centrales hydroélectriques, impacts environnementaux, mesures d'atténuation, pays en développement, guide d'évaluation environnementale

Les pays en développement observent une croissance de leur demande énergétique, causée entre autres choses, par une augmentation de leur population. Afin de répondre à ce besoin et suivant leur contexte environnemental, socioéconomique et géographique, ces pays se tournent graduellement vers les énergies propres. Ces régions possèdent un grand potentiel pour la petite hydroélectricité qui, avec ses nombreux avantages, offre de belles opportunités.

Toutefois, celle-ci compte son lot d'impacts sur l'environnement et il est essentiel que ces derniers soient considérés dès la planification, par l'emplacement et les composantes de la centrale, puis lors de la construction, et enfin, lors de l'opération de tout projet hydroélectrique. Ces impacts affectent tous les éléments d'un écosystème, c'est-à-dire, son milieu physique : l'eau, le sol et l'air, ainsi que son milieu biologique : la flore et la faune terrestre et aquatique.

Certains facteurs font varier les impacts, il s'agit du type de centrales et de turbines, puis des milieux qui accueillent les projets, rendant chaque projet unique. Par exemple, une centrale à réservoir engendre généralement des impacts plus importants que sans réservoir.

C'est en effectuant la révision de quatre études d'impacts sur l'environnement de projets hydroélectriques que des mesures pour éviter, atténuer et compenser ses impacts ont été répertoriées. C'est à partir de ces données qu'a été élaboré un guide d'évaluation environnementale de petits projets hydroélectriques, permettant l'identification des impacts environnementaux et proposant des mesures adéquates pour y remédier.

Certaines difficultés surviennent afin de mener à terme un petit projet hydroélectrique durable dans les pays en développement. Les données sont souvent insuffisantes pour déterminer l'état de référence, s'assurer de l'efficacité des mesures mises en place, puis surveiller l'émergence de nouveaux impacts.

## **REMERCIEMENTS**

J'aimerais remercier mon directeur d'essai, M. Michel Montpetit, pour son aide et ses suggestions bien appréciées au cours de cette rédaction. Merci également à M. Jean-Pierre Pelletier et Hélène Chouinard pour les références pertinentes fournies sur le sujet. À Laurence Serra qui a su me motiver à aller travailler avec elle à la bibliothèque, à ma mère Chantal, mon père Pierre et mon copain Olivier qui ont gentiment relu et corrigé l'ensemble du travail. Un merci supplémentaire pour ce dernier qui a acheté la bouteille de champagne bien en avance.

Merci à la boxe, au ski de fond, à la raquette, au bateau dragon et à tout autre sport effectué durant cette session pour m'avoir permis de décompresser et de me changer les idées. Enfin, merci à la maîtrise en environnement pour m'avoir donné l'opportunité de rencontrer autant de gens sympathiques que j'espère avoir la chance de fréquenter encore bien après la fin de cette maîtrise.

## TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION .....	1
1 LES PETITES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES .....	4
1.1 Situation des pays en développement .....	4
1.1.1 Contexte .....	4
1.1.2 Potentiels futurs.....	9
1.1.3 Exigences des organisations financières .....	9
1.2 Caractéristiques d'un petit projet hydroélectrique.....	11
1.2.1 Définition et taille d'une petite centrale.....	11
1.2.2 Principales composantes d'une petite centrale hydroélectrique.....	12
1.2.3 Types de centrales .....	13
1.2.4 Types de turbines .....	14
1.3 Étapes d'un projet de petite centrale hydroélectrique.....	15
1.3.1 Phase de planification.....	15
1.3.2 Phase de construction.....	16
1.3.3 Phase d'opération .....	16
2 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POTENTIELS D'UNE PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE.....	17
2.1 Impacts d'une petite centrale au fil de l'eau en phase de construction.....	17
2.1.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau.....	18
2.1.2 Flore et faune aquatiques.....	20
2.1.3 Sol et air .....	20
2.1.4 Flore terrestre .....	21
2.1.5 Faune terrestre .....	21

2.2 Impacts d'une petite centrale au fil de l'eau en phase d'opération.....	22
2.2.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau.....	22
2.2.2 Flore et faune aquatiques.....	23
2.2.3 Sol.....	29
2.3 Impacts d'une centrale avec réservoir en phase de construction .....	29
2.3.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau.....	29
2.3.2 Flore et faune aquatiques.....	31
2.3.3 Flore et faune terrestres .....	32
2.4 Impacts d'une centrale avec réservoir en phase d'opération .....	33
2.4.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau.....	34
2.4.2 Flore et faune aquatiques.....	34
2.4.3 Sol.....	37
2.5 Facteurs pouvant faire varier les impacts environnementaux.....	37
2.5.1 Types de centrales .....	38
2.5.2 Types de turbines .....	40
2.5.3 Milieu récepteur .....	40
2.6 Impacts cumulatifs .....	43
2.7 Impacts socioéconomiques .....	46
3 RÉVISION DES ÉTUDES D'IMPACTS .....	49
3.1 Ouganda .....	54
3.1.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées.....	55
3.1.2 Analyse des mesures d'atténuation .....	61
3.2 Jamaïque .....	62
3.2.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées.....	62

3.2.2 Analyse des mesures d'atténuation .....	66
3.3 Kenya .....	67
3.3.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées :.....	68
3.3.2 Analyse des mesures d'atténuation .....	70
3.4 Cas du Québec .....	71
3.4.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées :.....	71
3.4.2 Analyse des mesures d'atténuation .....	74
3.5 Informations et analyses complémentaires concernant les études.....	74
3.5.1 Impacts cumulatifs .....	75
3.5.2 Manque d'états de références et méthodologie incomplète .....	75
3.5.3 Autres aspects manquants .....	76
3.5.4 Besoins énergétiques et options .....	76
3.5.5 Difficultés supplémentaires.....	78
3. 6 Occurrence des mesures d'atténuation.....	78
3.6.1 Tableau de l'occurrence des mesures d'atténuation recensées .....	79
3.6.2 Analyses de la récurrence des mesures .....	85
4 GUIDE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE .....	87
CONCLUSION .....	88
RÉFÉRENCES .....	90
BIBLIOGRAPHIE .....	95
Annexe 1 Guide d'évaluation environnementale de petites centrales hydroélectriques dans les pays en développement .....	96

## **LISTE DES FIGURES**

Figure 1.1 Génération d'électricité par région à partir du charbon .....	5
Figure 1.2 Projet de MDP par types .....	7
Figure 1.3 Pays hôtes de projets hydroélectriques de MDP .....	8
Figure 2.1 Niveau de tolérance des poissons aux variations du taux d'oxygène dissous dans l'eau .....	25
Figure 2.2 Échelle du pH.....	27

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 2.2 Catégories de poissons.....	28
Tableau 3.1 Récapitulatif des impacts environnementaux potentiels.....	50
Tableau 3.2 Résumé des études d'impacts sur l'environnement révisées.....	54
Tableau 3.3 Occurrence des mesures d'atténuation recensées pour le milieu physique .....	80
Tableau 3.4 Occurrence des mesures d'atténuation recensées pour le milieu biologique ...	83

## **LISTE DES ACRONYMES, DES SYMBOLES ET DES SIGLES**

CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
EIE	Étude d'impacts sur l'environnement
ESHA	<i>European Small Hydropower Association</i>
GES	Gaz à effets de serre
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IEPF	Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie
IHA	<i>International Hydropower Association</i>
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
MDP	Mécanismes de développement propre
MW	Mégawatts
OECD	<i>Organisation for economic co-operation and development</i>
PPH	Petit projet hydroélectrique
SHA	<i>Sustainable Hydropower Association</i>
TWh	Térawattheures

## LEXIQUE

Biotope	Aire géographique aux frontières définies et offrant des conditions climatiques et écologiques constantes ou cycliques aux espèces qui y vivent en équilibre.
Capacité	Quantité maximale d'électricité qu'un accumulateur peut rendre lors de sa décharge complète. Habituellement mesurée en mégawatts (MW).
Charge de sédiments	Matériaux restant en suspension dans l'eau courante pendant un temps assez considérable sans toucher le fond du lit ni s'y déposer.
Débit minimal	Vitesse d'écoulement de l'eau nécessaire au maintien de l'intégrité biologique du cours d'eau.
Décharge	Trop plein d'eau s'écoulant à un moment donné, généralement exprimée en mètre cube par seconde.
Eaux de ruissellement	Partie des précipitations, des eaux de fonte ou d'irrigation qui s'écoule sur les terres jusqu'aux eaux de surface.
État de référence	Conditions actuelles du milieu avant la réalisation du projet.
Faune benthique	Ensemble des organismes vivants sur les fonds marins ou à proximité.
Hypolimnion	Couche aquatique profonde d'un lac pendant sa stagnation estivale, située au-dessous de la couche du saut thermique et caractérisée par une basse température.
Lacustre	Qui est relatif au lac, qui se trouve à proximité ou dans un lac.

Macro-invertébrés	Animaux dépourvus de colonne vertébrale et visible à l'œil nu.
Mégawatt (MW)	Un mégawatt est une mesure utilisée en électricité et équivaut à un million de watts.
Ouvrages de dérivation	Dispositif permettant le détournement d'un cours d'eau.
Poisson anadrome	Poisson qui migre de l'eau salée à l'eau douce pour se reproduire.
Sédiments	Particules solides transportées au fond ou en surface de la rivière.
Temps de séjour	Période durant laquelle l'eau reste dans le réservoir.
Ubiquiste	Se dit d'une espèce qui est susceptible d'être observée dans de très nombreux habitats.

## **INTRODUCTION**

L'énergie et l'eau sont deux éléments indispensables à l'être humain et de manière globale, leurs demandes ne cessent d'augmenter. La croissance soutenue de la population mondiale et des niveaux de vie ne fait qu'amplifier ce phénomène.

Donnant suite aux diverses conférences sur les changements climatiques et à l'intérêt grandissant accordé aux économies à faible teneur en carbone, les années 2000 ont observé un regain d'intérêts quant aux projets hydroélectriques. Les exigences croissantes des pays concernant la sécurité énergétique et la gestion des ressources en eau ont fait de l'hydroélectricité une source d'énergie de premier choix. De nos jours, un cinquième de l'électricité mondiale, soit 3 288 TéraWattheures (TWh), est fourni par des centrales hydroélectriques et son potentiel est estimé à 16 400 TWh/an, faisant de l'hydroélectricité une source majeure d'énergie renouvelable (International Energy Agency (IEA), 2010).

Encore aujourd'hui, plus du tiers de la population ne possède pas d'accès à l'électricité et d'ici 2025, il est prévu que ce chiffre atteigne 50 % de la population mondiale si aucune action n'est prise (Sustainable Hydropower Association (SHA), 2006). En parallèle, la production énergétique mondiale est principalement assurée par les énergies fossiles. Ces dernières sont responsables d'une grande quantité de gaz à effets de serre (GES) émis dans l'environnement contribuant ainsi aux changements climatiques. Un des principaux défis de ce siècle sera de réduire la pauvreté tout en améliorant la qualité de l'environnement. Le rôle de l'hydroélectricité dans la réduction de la pauvreté et l'assurance d'une sécurité énergétique aux communautés des pays en développement est capital. Par ailleurs, il a été estimé par la Banque Mondiale que 70 % du potentiel futur en hydroélectricité se trouve dans ces pays (World Bank, 2009).

Étant donné les nombreux impacts environnementaux et sociaux négatifs historiquement associés aux grands barrages, une des solutions d'avenir de l'hydroélectricité se trouve dans les petites centrales communautaires. La petite hydroélectricité contribue actuellement à 1-2 % de la production d'énergie mondiale, soit près de 13 GW. Les pays en développement observent un intérêt grandissant pour les petits projets hydroélectriques (PPH) leur

permettant de créer une indépendance énergétique vis-à-vis de la volatilité des prix des énergies fossiles sur les marchés mondiaux et du risque associé à leurs importations. En effet, ces petits projets ont l'avantage pour les pays en développement d'être d'une grande fiabilité, et de n'engendrer que de très faible coût de construction et d'opération. Cependant, malgré leurs petites tailles, ces projets altèrent les écosystèmes et les habitats et il est nécessaire de pouvoir incorporer ces impacts potentiels pour l'environnement dans l'élaboration du projet.

Étant donné leur augmentation soutenue, un outil d'appui dans le développement de PPH sains et durables pour l'environnement des pays en développement devient nécessaire. Afin de répondre à ce besoin, l'objectif général de cet essai est d'élaborer un guide d'évaluation environnementale de ce type de projets. Pour ce faire, différents objectifs spécifiques devront être atteints. Tout d'abord, dresser une liste des impacts environnementaux reliés aux projets hydroélectriques en fonction du type de centrales, des principales phases d'un projet, soit la construction et l'opération et des milieux naturels affectés. Puis, élaborer une liste des mesures pour éviter, atténuer ou compenser ces impacts.

Pour y parvenir, des études d'impacts sur l'environnement (EIE) récentes ont été révisées ainsi que des publications officielles provenant d'organismes internationaux reconnus, tels que l'Agence Internationale de l'Énergie, la Banque Mondiale, l'Institut de l'Environnement et de l'Énergie de la Francophonie (IEPF) et bien d'autres. Cet essai se base sur des documents les plus récents possible. De plus, la pertinence des informations utilisées dans ce travail a été vérifiée tout au long de ce travail, et ce de manière à diversifier les sources et également à éliminer celles dont la crédibilité est discutable. Les critères employés pour décider de la pertinence d'une source sont sa provenance, la qualité de la rédaction, son année de parution et la réputation de l'auteur.

Afin de répondre aux objectifs énoncés plus haut, cet essai se divise en quatre chapitres. Le premier chapitre décrit la situation particulière des pays en développement, puis introduit les caractéristiques et les principales étapes d'un PPH. Le deuxième chapitre porte sur les impacts environnementaux en relation avec les activités d'un projet et classés en fonction du milieu naturel affecté. Puis, il énumère les éléments pouvant faire varier ces impacts. Il

est question du type et de la taille des centrales, du type des turbines et puis des divers milieux climatiques récepteurs au projet. Enfin, les deux sous-chapitres suivants abordent les impacts cumulatifs, puis socio-économiques. Le troisième chapitre analyse des études d'impacts afin d'en faire ressortir les mesures d'atténuation proposées.

Le quatrième et dernier chapitre de cet essai introduit un guide d'évaluation environnementale qui, reprenant les éléments de cet essai, propose des recommandations concernant les mesures d'atténuation adéquates à effectuer en fonction du type et de la taille du projet et des impacts environnementaux qui leur sont associés. Le guide complet est disponible à l'annexe 1.

## **1 LES PETITES CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES**

Ce chapitre porte sur le contexte propre aux pays en développement. Puis, introduit les caractéristiques d'un projet hydroélectrique, soit ses principales composantes et les types de centrales et de turbines employées. Par la suite, les étapes d'un projet sont exposées.

### **1.1 Situation des pays en développement**

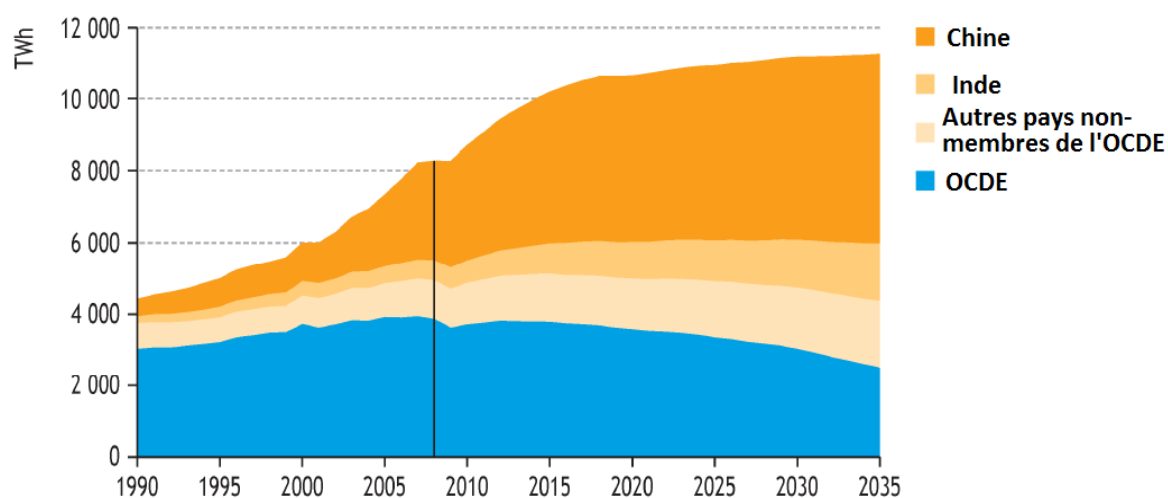
Cette section décrit le contexte spécifique aux pays en développement, soit l'augmentation de la demande énergétique, l'augmentation de la population et de la consommation par habitant. Elle porte aussi sur le rôle que joue l'hydroélectricité comme énergie propre dans ces pays ainsi que son potentiel futur, car certaines zones possèdent un grand potentiel, mais ne sont que très peu exploitées. Enfin, les exigences des organismes de financement sont relatées.

#### **1.1.1 Contexte**

Plus du tiers de la population mondiale n'a pas accès à l'électricité et plus de la moitié ne possède pas d'alimentation électrique fiable. La répartition de l'électricité est très inégale à travers le monde. En Afrique subsaharienne, 80 % de la population n'a pas accès à l'électricité, tandis qu'en Amérique du Nord, où vit moins de 15 % de la population, la consommation s'élève à plus de 30 % de l'électricité mondiale. Par ailleurs, les pays en développement verront leur demande énergétique croître dans les années à venir. En effet, une augmentation exponentielle de la population mondiale est prévue. Cette croissance démographique pourrait atteindre les 9 milliards d'individus en 2050 selon les plus récentes prévisions de l'ONU (Fields, 2009).

Un autre aspect important est l'augmentation énergétique par habitant. En effet, il est prévu par le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur le Climat une croissance, par un facteur de trois à cinq, de la demande énergétique dans les pays en développement, et ce, d'ici 2050 (World Bank, 2006). D'ailleurs, certains pays, plus particulièrement les pays émergents tels que la Chine, l'Inde, le Brésil et la Russie, en plus de voir leur population augmenter, voient la consommation par habitant croître, dû entre autres à une croissance

économique soutenue. Il est, de ce fait, primordial que la production d'énergie, qui procurera l'électricité à cette population future, soit de source propre et renouvelable, et ce, afin d'avoir un impact minimum sur l'environnement. Or, de nos jours, les pays en développement dépendent principalement des énergies fossiles pour produire leur électricité et cette source d'énergie donc possède la plus grande part de cette croissance de la demande. La figure suivante illustre la croissance de la demande des produits pétroliers des pays en développement, en comparaison avec la baisse aperçue dans les pays membres de l'Organisation de Coopération et de Développement Économique.



**Figure 1.1 Génération d'électricité par région à partir du charbon**

(Modifié de Organisation for economic co-operation and development (OECD) and IEA, 2010, p.5)

Cette augmentation de la demande énergétique ne sera pas sans répercussions sur l'environnement. C'est pourquoi il est important de trouver des solutions énergétiques viables et durables. Un accès à une source d'énergie renouvelable et propre est selon la Banque mondiale, la clé de la réduction de la pauvreté, de l'amélioration de l'environnement et de la croissance économique (World Bank, 2006). Certes, les pays en développement ne jouissent pas d'un accès facile à l'électricité et souvent la production d'électricité est associée à la contamination de leur environnement. Des carburants de faible qualité, associés à des contrôles environnementaux quasi inexistantes, sont fréquents dans la

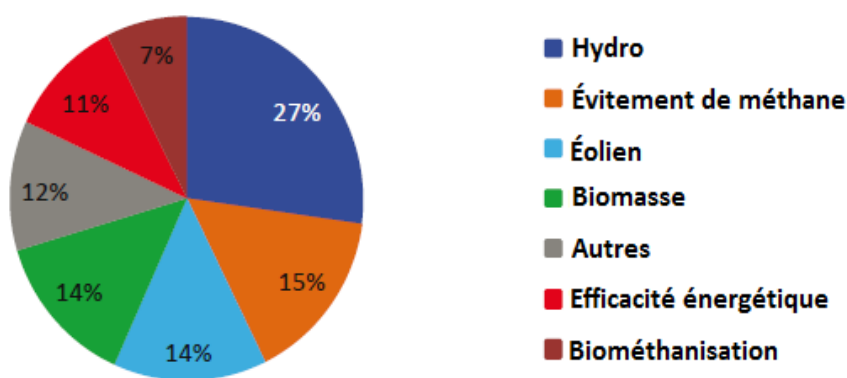
démarche de production énergétique des pays en développement (World Bank, 2010). Cela entraîne de hauts niveaux de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et de particules en suspension dans l'air provenant des centrales thermiques. Les populations, dépendant de la combustion de carburant fossile, tel que le charbon de bois pour cuisiner et se chauffer, souffrent d'un haut taux de maladies respiratoires qui y sont reliées (World Bank, 2006). De plus, l'utilisation massive du charbon de bois entraîne la déforestation et nuit au développement des communautés.

De nos jours, sur une population mondiale de 6,8 milliards d'individus, l'hydroélectricité fournit déjà chaleur et lumière à plus de 1,6 milliard d'entre eux, soit 20 % de la population (Fields, 2009). Le rôle de l'hydroélectricité dans la réduction de la pauvreté et l'assurance d'une sécurité énergétique aux communautés des pays en développement est capital. L'énergie fossile importée est très coûteuse pour les populations des pays en développement qui parfois vivent très isolées. L'utilisation de ressources locales, telles que l'eau, pour générer une électricité fait ainsi partie d'un processus de développement durable (Levet, 2007). En plus d'être un faible émetteur de GES, la capacité de stockage et de flexibilité aux fluctuations de la demande en énergie fait de l'hydroélectricité un acteur de choix dans la production énergétique future. En effet, il est possible d'effectuer un couplage avec d'autres types d'énergies renouvelables, telles que l'éolien et le solaire qui sont des sources d'énergie intermittentes (World Bank, 2009). De plus, la production d'électricité décentralisée à partir de source d'énergie renouvelable est généralement la meilleure option pour ces communautés rurales isolées.

Qui plus est, dans un contexte de changements climatiques, un projet hydroélectrique permet de diminuer la dépendance aux énergies fossiles en se raccordant à une énergie renouvelable. L'Agence Internationale de l'Énergie prévoit une augmentation de l'utilisation de l'hydroélectricité de l'ordre de 6000 TWh, et ce, d'ici 2050. Elle mise, entre autres, sur l'hydroélectricité pour aider à une diminution de moitié des émissions de CO<sub>2</sub> associées à la production d'électricité (IEA, 2010).

Étant donné les nombreux impacts environnementaux et sociaux négatifs associés aux grands barrages, l'avenir de l'hydroélectricité se trouve dans les petites centrales

communautaires. Les pays en développement observent un intérêt grandissant pour les PPH, et ce, principalement afin de créer une indépendance énergétique vis-à-vis de la volatilité des prix des énergies fossiles sur les marchés mondiaux et du risque associé à leurs importations (Fields, 2009). De plus, la place importante accordée aux économies à faible bilan carbone rend attrayante la production d'électricité à faible émission de CO<sub>2</sub>. Par ailleurs, l'intérêt accordé aux changements climatiques et aux mécanismes de développement propre (MDP), comme entendu dans le Protocole de Kyoto, incite les pays de l'Annexe 1 du Protocole à financer des projets d'énergie renouvelable dans les pays en développement (International Hydropower Association (IHA), 2010a). À la fin de décembre 2009, les projets hydroélectriques représentaient, avec 27 %, la plus grande proportion des MDP. De plus, l'hydroélectricité risque de voir sa proportion continuer à croître dans le futur étant donné son grand potentiel, son niveau d'avancement technologique en comparaison aux autres énergies renouvelables et sa densité lui permettant de réduire davantage d'émissions de CO<sub>2</sub> (IHA, 2010b). La figure 1.2 présente les principaux types de projets et leurs proportions à recevoir du financement de MDP.

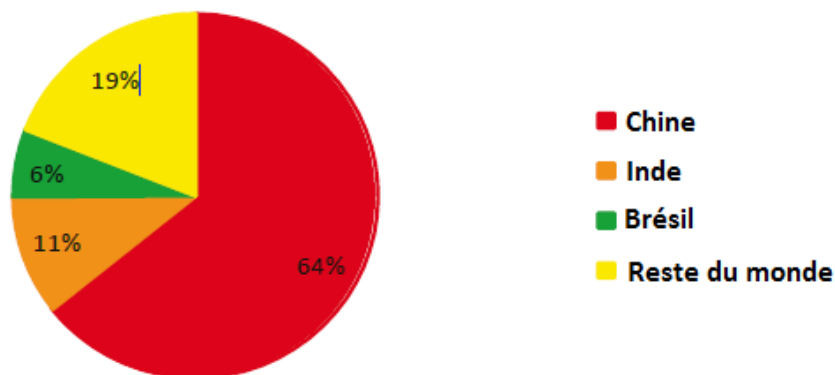


**Figure 1.2 Projet de MDP par types**

(Modifié de IHA, 2010b, p.2)

Comme illustré à la figure 1.3, la grande majorité des projets hydroélectriques de MDP se trouvent en Asie, soit 64 % en Chine et 11 % en Inde. Le reste du monde, 19 %, représente, malheureusement les pays les plus pauvres, majoritairement africains. Les pays donateurs aux projets recevant plus de compensation carbone lorsqu'ils sont en mesure de substituer

centrales thermiques pour des centrales hydroélectriques, comme c'est le cas en Chine. Alors qu'en Afrique, la nouvelle centrale est souvent la première source d'énergie aux communautés, ne diminuant que très peu les émissions totales de CO<sub>2</sub>.



**Figure 1.3 Pays hôtes de projets hydroélectriques de MDP**

(Modifié de IHA, 2010b, p.2)

En plus de l'augmentation de la demande énergétique, la rareté grandissante des ressources en eau dans les pays en développement encourage une meilleure gestion de celle-ci. La mise en place de projets hydroélectriques peut faire partie de la solution. En effet, lorsque bien planifié, un projet hydroélectrique a la capacité d'aider certaines régions à mieux contrôler les risques d'inondations et de sécheresses. De plus, la gestion de la distribution de l'eau entre les utilisateurs peut faire partie intégrante d'un projet hydroélectrique (World Bank, 2006). Ainsi, en plus de produire de l'électricité à des régions en développement, de nombreux PPH visent plusieurs objectifs tels que l'alimentation en eau potable, les aménagements agropastoraux et la protection des écosystèmes.

Dans un contexte de développement, un projet hydroélectrique, en plus de fournir l'électricité à la communauté, met en place des infrastructures importantes pour le développement de la population, telles que des routes, des réseaux de communication et le développement de compétences locales (Fields, 2009). Cet apport en électricité peut jouer un rôle primordial dans le développement socio-économique en procurant lumière pour les études, un meilleur accès à l'information ainsi qu'une aide à l'irrigation grâce au pompage. De plus, l'électricité produite, pouvant être utilisée pour alimenter des sites isolés,

caractéristiques qui sont souvent le lot des populations en développement, fait des petites centrales hydrauliques une solution de choix pour ces pays. De plus, dans des sites isolés où le solaire ou l'éolien est utilisé, une centrale hydroélectrique sert de complément à ces sources d'énergie intermittentes, puisque son débit peut être retenu jusqu'à ce que la source des autres énergies soit interrompue (Sherma, 2007). Par contre, celle-ci devrait être développée à l'intérieur d'un ensemble de critères environnementaux, sociaux et économiques, afin de pouvoir soutenir les futures générations.

### **1.1.2 Potentiels futurs**

Le potentiel hydroélectrique mondial est immense et reste, de nos jours, très peu exploité, et ce, particulièrement dans les pays en développement. En effet, il a été estimé par la Banque mondiale que ce potentiel s'élevait à 1,9 GW, où plus de 70 % n'est toujours pas exploité. Ce chiffre représente le double en capacité par rapport aux 740 GW mondiaux en hydroélectricité aujourd'hui produit (Fields, 2009). Par régions, le potentiel non exploité en énergie hydroélectrique se présente ainsi; 93 % en Afrique, 82 % en Asie du Sud-Est et Pacifique, 79 % en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, 78 % en Europe et en Asie Centrale, 75 % pour l'Asie du Sud et 62 % pour l'Amérique Latine et les Caraïbes. Il existe un énorme potentiel dans le monde en développement pour produire de l'hydroélectricité (IEA, 2010).

Les pays en développement possédant les plus grands potentiels sont en ordre décroissant : la Chine, la Russie, le Brésil, la République démocratique du Congo, l'Inde, l'Indonésie, le Pérou et enfin, le Tadjikistan. Les cinq derniers auraient un potentiel futur s'élevant jusqu'à 2500 TWh par année (IEA, 2010). Afin de développer des projets durables et efficaces, l'immense potentiel, peu développé, de ces pays doit être promu à l'aide de coopérations technologiques financières.

### **1.1.3 Exigences des organisations financières**

Les engagements des organisations financières, telle la Banque Mondiale, vis-à-vis des projets hydroélectriques en pays en développement, sont de s'assurer que les projets financés soient menés dans une perspective de développement durable, et ce, en prenant en

compte, dès les débuts des projets, des impacts sociaux, environnementaux et économiques. De nombreux projets, financés par la Banque, sont à multiples dimensions, c'est-à-dire touchant divers aspects, tels que, certes, la génération d'électricité, mais aussi ceux permettant le captage et stockage des réserves d'eau, améliorant l'irrigation des terres environnantes et réduisant par exemple, les risques d'inondations. Les organismes de financement encouragent fortement le développement de la capacité en gestion environnementale, puisque de meilleures gestions et planifications environnementales diminuent les coûts futurs associés aux impacts qui n'auraient pas été pris en compte dès les débuts d'un projet. Le secteur privé, quant à lui, représente plus particulièrement un rôle de soutien technique dans un projet (Fields, 2009). Néanmoins, de plus en plus, d'investissements proviennent du secteur privé.

Ce sont présentement les projets de centrales au fil de l'eau qui occupent la plus grande proportion du financement de la Banque mondiale en matière de projets hydroélectriques et la majorité de ces projets se situent sur le continent africain (IEA, 2010). Les organismes de financements, de même que les gouvernements de nombreux pays créanciers de projets hydrauliques, font des études d'impacts environnementaux une conditionnalité au financement des projets. Or, en l'absence d'un cadre légal au niveau national, ces études se conforment aux directives des promoteurs du projet ce qui laisse peu de place à l'objectivité (Leslie, 2008). Néanmoins, ces études doivent être entreprises dès l'étape de planification du projet, et ce, afin de pouvoir éviter certains impacts et sinon inclure dès le début les moyens appropriés afin de les atténuer ou de les compenser. Ces études sont menées à l'aide de base de données déjà établie ou en fonction de celles qui seront recueillies sur le site même du projet. Les données recueillies sur le site serviront de référence pour les suivis ayant lieu durant les phases de construction et d'opération du projet. Enfin, l'évaluation d'un projet doit être maintenue tout au long de celui-ci dans le but de vérifier si tout a été fait comme il était prédit dans l'étude préalablement effectuée. Les pays en développement semblent encourager fortement les investissements privés dans la construction et gestion des projets d'énergies renouvelables dans leur pays. C'est pourquoi les études d'impacts sont faites suivant les directives de la Société Financière Internationale (World Bank, 2009).

## **1.2 Caractéristiques d'un petit projet hydroélectrique**

Cette section discute des différentes définitions apportées au terme de petites centrales hydroélectriques. Ensuite, les principales composantes sont présentées et une description plus approfondie est accordée aux types de centrales et de turbines.

### **1.2.1 Définition et taille d'une petite centrale**

Il n'y a pas de différence majeure dans le fonctionnement d'une petite centrale par rapport à une grosse. Techniquement, une centrale hydroélectrique carbure à l'eau courante et il n'y a pas de ségrégation quant à la nature de l'eau à être utilisée. Après son court séjour dans la turbine, l'eau retourne à la rivière où elle reste disponible pour toute autre utilisation. La définition du terme petite centrale n'est pas universelle et reste de nos jours très vague, variant selon les organisations et les pays. Par exemple, l'Union européenne limite la définition de petites centrales à celles inférieures à 10 mégawatts (MW) (European Small Hydropower Association (ESHA), 2006). En Inde et en Chine, il s'agit de celles de puissance inférieure à 25 MW (Sharma, 2007). Tandis qu'au Québec, il est plutôt question des centrales ayant une capacité inférieure à 50 MW (Hydro-Québec, 2005). Parfois, les projets inférieurs à 1 MW sont appelés micro-centrale et ceux inférieurs à 0,1 MW, pico-centrale (Gret, 2006). D'un point de vue environnemental, une définition se basant sur la puissance peut sembler incohérente. En effet, deux centrales de même puissance sont loin d'engendrer les mêmes impacts sur l'environnement, cela dépendra aussi d'autres facteurs.

La classification de grosseur d'une centrale ne se définit pas seulement par sa capacité à générer une certaine quantité d'électricité, mais également en fonction de la hauteur de chute et de son débit. En effet, hauteur et débit sont les deux caractéristiques principales permettant l'identification de la puissance d'une centrale hydroélectrique. Plus la chute est haute, plus le débit est élevé et plus grand est le potentiel de puissance. La hauteur de chute se définit par la différence d'élévation entre deux parties de la même rivière (ESHA, 2006). Les centrales possédant une bonne hauteur de chute sont généralement situées sur des cours d'eau étroits ayant un débit faible et, au contraire, celles à faible hauteur de chute sont situées sur un large cours d'eau à fort débit. Ainsi, un projet à basse chute n'est pas nécessairement petit, il ne sera pas plus puissant sur le plan de la capacité à générer de

l'électricité, mais ses ouvrages seront plus imposants. En effet, un projet à basse chute requiert un plus grand volume d'eau, nécessitant par le fait même de plus grosses turbines (Gret, 2006). La classification par hauteur de chute se définit comme suit; très basse chute, soit inférieure à 3 mètres, basse chute, inférieure à 40 mètres, et enfin, moyenne et haute chute, supérieure à 40 mètres (Sherma, 2007). Dans le cadre particulier à cet essai, il a été décidé que le terme de petite centrale s'appliquera aux projets de puissance inférieure à 25 MW.

Les PPH sont généralement utilisées afin de fournir l'électricité, soit à des réseaux centraux, soit à des sites isolés ou à des systèmes hors réseau. Les principaux avantages des petites centrales sont leur grande fiabilité, leur faible coût de construction et d'opération et enfin, leur apport dans la diminution de la dépendance quant au prix volatil des énergies fossiles (RETSscreen, 2004). En outre, ces projets ont généralement moins d'incidences néfastes sur l'aspect social des communautés. En effet, contrairement aux grands projets de barrages hydroélectriques, les projets de petites centrales ne comprennent pas l'inondation de larges territoires, dont parfois de terres agricoles indispensables aux communautés. De plus, les petites centrales limitent le déplacement de populations associé avec les projets de grands barrages.

Malheureusement, les PPH ne comportent pas que des bénéfices, certains impacts environnementaux négatifs y sont associés et l'importance de les prendre en considération dès la planification du projet est primordiale à la durabilité de celui-ci. Les impacts environnementaux seront approfondis dans les prochains chapitres de cet essai.

### **1.2.2 Principales composantes d'une petite centrale hydroélectrique**

Afin de réaliser un projet de petite centrale, quatre travaux de génie civil sont effectués : le barrage de dérivation, les digues, les conduites d'eau et enfin, la centrale elle-même. Pour les centrales au fil de l'eau, ordinairement utilisées pour un projet de petite centrale, le barrage de dérivation doit rester simple et peu élevé. Celui-ci est fabriqué de béton, de bois ou d'un mélange des deux. Son rôle est de diriger l'eau vers une conduite qui acheminera la ressource dans une turbine-alternateur pour être ensuite relâchée par le canal de fuite dans la rivière plus en aval (RETSscreen, 2004).

La conduite d'eau est constituée d'une entrée d'eau avec grille crapaudine et vanne afin d'alimenter un canal et un bassin. Le canal d'amenée transporte l'eau à la turbine et des soupapes sont installées à l'entrée et à la sortie du tunnel afin d'y faciliter l'entretien. Enfin, un canal de fuite est construit afin d'acheminer l'eau en aval de la centrale jusqu'à la rivière. Les conduites d'eau peuvent être fabriquées d'acier, de fer, de fibre de verre, de plastique ou de béton (Gret, 2006). Enfin, la dernière composante est la centrale elle-même, où se retrouvent les turbines-alternateurs et tout autre équipement mécanique et électrique (RESTScreen, 2004).

### **1.2.3 Types de centrales**

Trois types de centrales seront présentés dans cet essai; la centrale au fil de l'eau, la centrale à réservoir et enfin, la centrale à pompage.

Tout d'abord, la centrale au fil de l'eau est celle qui est la plus exploitée dans le cadre de petits projets. Celle-ci se divise en deux types distincts. Le premier est lorsque la centrale est installée à même le cours d'eau, elle est alors directement alimentée par celui-ci. Ce système correspond mieux aux besoins des centrales de moins de 5 MW (Gret, 2006). Le deuxième type se présente lorsque le cours d'eau est dévié de son lit principal vers une conduite d'eau forcée, soit un canal ou un tunnel artificiel, où la destination finale consiste en un petit réservoir. La force de l'eau est ensuite libérée en fonction de la demande énergétique, vers un canal qui la transportera jusqu'à la centrale où son énergie mécanique sera transformée en énergie électrique. L'eau retourne ensuite, par le canal de fuite, dans le lit de la rivière en aval. La hauteur de chute des centrales au fil de l'eau est déterminée par des paramètres géographiques et topographiques (Anderson *et al.*, 2006). Cette hauteur est généralement de moindre importance que celle à réservoir. C'est le débit du cours d'eau qui créera la puissance. La capacité de puissance garantie en sera ainsi plus basse (ESHA, 2006).

Afin d'augmenter la hauteur de chute d'une centrale, il y a possibilité de construction d'ouvrages de retenues, tels que les barrages, créant ainsi un réservoir ou bassin de rétention (IEA, 2000a). Il est alors question du deuxième type de centrale, installée près d'un barrage, qui se nomme centrale à réservoir. L'emplacement du réservoir peut être soit

en surface, soit sous terre et son rôle consiste à augmenter la hauteur de chute. Cette hausse du niveau de l'eau permet d'augmenter le volume d'eau et par le fait même, le débit qui est projeté dans la turbine. Le grand avantage des centrales à réservoir se retrouve dans leur grande flexibilité, c'est-à-dire, leur capacité de stockage leur permettant de libérer l'eau selon les besoins du moment. La garantie de puissance d'une centrale à réservoir est plus importante que pour une centrale au fil de l'eau (RETSscreen, 2004). Il existe trois types de réservoirs. Ceux-ci sont généralement classés en fonction de leur capacité à réguler le débit d'un cours d'eau. Le premier type est le large réservoir, employé lors de grand barrage permettant de stocker l'eau à longueur d'année. Le deuxième type est le réservoir saisonnier, permettant de stocker l'eau pendant une saison, généralement la saison humide ou à la fonte des neiges et relâchant celle-ci durant la saison plus sèche. Enfin, le dernier type de réservoir, principalement employé dans le cas de petites centrales, est le journalier. C'est un petit réservoir qui stocke juste assez d'eau pour répondre à une augmentation de la demande pendant certaines heures de la journée (IEA, 2000a).

Le dernier type de centrale se nomme à pompage et est composé de deux réservoirs. Lorsque la demande en énergie est basse, notamment la nuit, l'électricité produite est utilisée afin de pomper l'eau du bassin inférieur jusqu'au bassin supérieur. L'eau du bassin supérieur sera alors relâchée en temps de forte demande énergétique (IEA, 2000a).

#### **1.2.4 Types de turbines**

L'objectif premier d'une turbine est de transformer l'énergie potentielle contenue dans l'eau en énergie mécanique qui sera acheminée à l'alternateur qui à son tour, transformera l'énergie mécanique en énergie électrique (ESHA, 2006).

Dans le cas des petites centrales qui sont généralement installées au fil de l'eau, où le débit de la rivière est très variable, il est important d'installer une turbine qui saura s'adapter et fournir un bon rendement, peu importe le débit présent. Par exemple, dans le cas d'une chute de faible hauteur combinée avec un bon débit de rivière, le choix s'arrêtera sur un type de turbine à réaction, c'est-à-dire qui utilise la pression de l'eau et l'énergie cinétique. Les turbines Francis, Kaplan et à hélices en sont des exemples. La turbine Francis est principalement utilisée pour les hauteurs de chutes se situant entre 10 et 300 mètres. La

turbine Kaplan, pour les chutes de moins de 30 mètres, possède des palmes orientables, lui procurant un avantage dans les centrales au fil de l'eau où le débit du cours d'eau est variable. En effet, il est alors possible d'orienter les palmes de la turbine en fonction du courant. Finalement, la turbine à hélice qui est utilisée lorsque la hauteur de chute est faible, soit moins de 15 mètres. Ce type de turbine est très avantageux puisque ses hélices permettent une grande rapidité de rotation des palmes, ce qui la rend tout aussi idéale pour les petites centrales au fil de l'eau (Pelikan, 2006). Pour les chutes de hauteurs élevées, typiques des centrales avec réservoir, il s'agira d'utiliser une turbine à impulsion, qui utilise l'énergie cinétique d'un jet d'eau à haute vitesse. Les turbines Pelton, Turgo et Crossflow en sont des exemples (RESTScreen, 2004). La turbine Pelton est d'évidence, la plus appropriée pour les très hautes chutes. Sa principale caractéristique se trouve dans ses palmes en forme de cuillère qui récupèrent la force de l'eau (*ibid.*). La turbine Turgo est employée pour les chutes moyennes et son principal avantage se retrouve dans son faible coût (BPR, 2010).

### **1.3 Étapes d'un projet de petite centrale hydroélectrique**

Cette section relate les trois grandes étapes d'un projet hydraulique reliées aux impacts environnementaux, soit l'étape de préparation, de construction et d'opération.

#### **1.3.1 Phase de planification**

La phase de planification est une étape stratégique de dépistage des risques environnementaux potentiels au projet. Ceux-ci sont ressortis afin de les prendre en considération dans la préparation et la gestion future. C'est lors de cette étape que l'étude d'impact sur l'environnement, généralement exigée par le gouvernement national du pays ou par les grandes instances financières au projet, est effectuée. Suite à l'étude, la décision d'aller de l'avant est prise par les différents acteurs reliés au projet. Cette décision doit tenir compte des aspects légaux du pays en suivant les différents processus amenant à l'obtention des permis de construction requis, ainsi que les licences d'opération basée sur l'étude d'impacts sur l'environnement (EIE) (International Hydropower Association (IHA), 2010a). Donnant suite à cette étape, la phase de construction débute, et ce, en considérant la gestion environnementale décrite dans l'étude d'impacts.

### **1.3.2 Phase de construction**

Cette étape génère normalement la majorité des impacts environnementaux. Il est important de suivre en détail l'EIE et les plans de gestion environnementale effectués auparavant. Lors de cette étape, le site final est choisi et les infrastructures de transport et d'hébergement sont développées. Par la suite, la construction débute; les ouvrages de retenues sont effectués afin de contrôler le mouvement de l'eau, la centrale pour la production d'électricité et enfin, les lignes de transport de l'électricité (Pelikan, 2006).

### **1.3.3 Phase d'opération**

Durant la phase d'opération, il est important de maintenir une surveillance et un suivi des impacts environnementaux et des mesures d'atténuation ou de compensation du projet mis en place. Si d'une quelconque manière, il apparaît que les mesures mises en place ne sont pas adéquates, des modifications doivent avoir lieu afin de remédier à la situation. Les projets hydroélectriques ont généralement une longue durée de vie, certains projets fonctionnent toujours après plusieurs décennies.

## **2 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX POTENTIELS D'UNE PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE**

Un projet hydroélectrique n'entraîne pas que des bienfaits et comporte son lot d'impacts sur l'environnement. Les divers milieux, physiques et biologiques, sont susceptibles d'être affectés par ce type de projet. Ce chapitre est divisé en sept sous-chapitres. Les quatre premiers concernent les impacts environnementaux associés aux projets des petites centrales au fil de l'eau sans réservoir et ceux des centrales avec réservoir. Toutefois, il ne sera pas question des centrales à pompages décrites dans le premier chapitre de cet essai, puisque les impacts associés sont semblables à ceux de la centrale avec réservoir. Dans les quatre premiers sous-chapitres, les impacts potentiels en relation avec un projet hydroélectrique sont énumérés et associés aux phases et activités d'un projet, soit la phase de construction puis d'opération. Ces impacts sont ensuite classés en fonction du milieu naturel qui est affecté; c'est-à-dire le milieu physique, l'eau, le sol et l'air, et le milieu biologique, telles la faune et la flore. Le cinquième sous-chapitre énumère les éléments pouvant faire varier ces impacts. Il est question du type et de la taille de centrales, du type de turbines et enfin des divers milieux climatiques récepteurs au projet. Enfin, les deux sous-chapitres suivants abordent l'importance et les limites des impacts cumulatifs et enfin, les impacts socio-économiques.

### **2.1 Impacts d'une petite centrale au fil de l'eau en phase de construction**

Malgré la pensée générale que les projets avec larges réservoirs possèdent des impacts environnementaux plus étendus et durables que les PPH au fil de l'eau, il est capital de ne pas sous-estimer les impacts engendrés par ces derniers. En effet, une accumulation de petits projets sur le même cours d'eau risque de générer des impacts environnementaux plus importants qu'un seul grand (Anderson *et al.*, 2006). L'aspect des impacts cumulatifs est approfondi dans la dernière section de ce chapitre. Ce qu'il faut garder à l'esprit est que chaque projet hydroélectrique peu importe sa taille, engendre des impacts sur son environnement. Ce présent sous-chapitre porte sur l'identification des principaux impacts environnementaux reliés à un projet hydroélectrique de petite taille, dont la principale caractéristique est l'absence de réservoir. Les impacts sont classés en fonction des phases

d'un projet, puis selon le milieu naturel touché. Durant la lecture de ce chapitre, il faut garder en tête qu'il existe généralement une interrelation entre les impacts des différents milieux puisqu'ils sont intimement liés les uns aux autres. Un impact sur l'eau, par exemple, amène facilement un impact sur la faune ou la flore existante.

Bien que limitée en temps, la phase de construction engendre de nombreux impacts sur l'environnement. Il est important de définir l'état de référence du milieu naturel avant cette étape afin de pouvoir effectuer un suivi tout au long des travaux. L'état de référence d'un milieu représente l'état de l'environnement avant de subir l'influence du projet. Il se compose d'une description complète des milieux physiques et biologiques du territoire susceptibles d'être affectés par le projet (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP), 2010). Une majorité des impacts de la phase de construction d'un projet hydroélectrique sont en lien, de manière générale, avec les activités de chantier la construction d'ouvrages associés à tout projet, de ses routes et de ses bâtiments, qu'ils soient temporaires ou permanents. Les autres impacts sont spécifiques aux projets hydroélectriques et se rapportent aux activités de construction ayant lieu dans le cours d'eau. Il sera question des deux dans ce chapitre. Plus particulièrement, cette phase en est une de bouleversement puisqu'elle implique un site de construction dans un environnement auparavant intact. Les principaux impacts rattachés à la phase de construction d'une petite centrale sont énumérés dans cette section.

### **2.1.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau**

L'eau est habituellement le premier élément affecté par un projet hydroélectrique. Lors de l'étape de construction d'une petite centrale, le cours d'eau est dévié par des batardeaux afin de mener la construction des différents ouvrages se situant dans la rivière, tels le barrage de dérivation, les turbines et les différents canaux. La déviation du cours d'eau provoque, le temps de la construction des divers ouvrages, la réduction du débit et du volume d'eau et parfois l'assèchement complet de sections de la rivière naturelle. Certains projets, en plus de modifier le débit, nécessitent des activités d'excavation dans le cours d'eau, altérant ainsi l'équilibre entre débits d'eau et charge sédimentaire. Durant cette étape, de lourds travaux dans le lit de la rivière sont indispensables, les impacts engendrés

sur le débit, le volume et la charge sédimentaire se répercuteront, tel qu'expliqué dans les prochains paragraphes, sur tous les éléments naturels du milieu. Étant donné l'influence du régime hydrologique sur les autres éléments de l'environnement, il est primordial de mener, au prime abord, une évaluation complète des ressources hydriques, comprenant des données déjà recueillies, des données terrains, des statistiques et des modèles. Ces données concernent principalement le débit, le taux de précipitation, les crues saisonnières, les températures et l'évaporation (ESHA, 2006). Les autres utilisations du cours d'eau doivent aussi être connues afin de bien décider de la période des travaux et ainsi, ne pas nuire à celles-ci.

Un autre impact potentiel associé à la phase de construction est une baisse de la qualité de l'eau, laquelle se caractérise par ses paramètres physico-chimiques. Les principaux paramètres susceptibles d'être affectés par un projet hydroélectrique sont les suivants : la turbidité, la couleur, la température, le taux d'oxygène dissous et le pH (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008). Ceux-ci sont expliqués plus en détail dans la section sur la phase d'opération qui suit. Tout ce qui altère les paramètres physico-chimiques de l'eau peut diminuer sa qualité et durant la phase de construction, les risques de contamination sont élevés.

Les déchets, liquides ou solides en lien avec les activités de construction ou celles des employés détériorent la qualité de l'eau. Les débris solides provenant des activités de chantiers, telles que les travaux d'excavation dans la rivière peuvent créer de l'érosion et augmenter la charge sédimentaire dans celle-ci. Cette charge sédimentaire accrue augmente la turbidité et les matières en suspension. Une turbidité élevée modifie la couleur de l'eau et augmente sa température. Enfin, une eau plus chaude diminue son taux d'oxygène dissous, ce qui aura des effets sur les éléments biologiques du cours d'eau (Oram, s.d.). Les eaux usées, si elles ne sont pas bien gérées, dérivent des campements des employés et peuvent atteindre le cours d'eau, augmentant le taux de nutriments dans l'eau (Comtois *et al.*, 2000). De plus, si mal entreposées ou en cas de fuites ou de déversements, les huiles, les graisses et les produits chimiques contaminent en premier lieu le sol, puis sont acheminés par les eaux de ruissellement jusqu'à la rivière. Les eaux de ruissellement sont souvent contaminées dans la phase de construction. Par exemple, les fortes pluies lavent les

chantiers de carrières et se retrouvent dans les eaux de ruissellement en chemin vers le cours d'eau principal (BPR, 2010).

### **2.1.2 Flore et faune aquatiques**

Les impacts associés à la flore et à la faune aquatiques durant la phase de construction sont liés à ceux affectant le régime hydrologique et la qualité de l'eau. Les batardeaux temporaires, déviant le cours d'eau pendant la construction d'ouvrages dans son lit, deviennent un obstacle pour la migration des poissons et constituent une perte de connectivité pour la faune aquatique. Tout ce qui modifie les propriétés physico-chimiques de l'eau a un impact sur sa flore et faune aquatiques. Par exemple, les eaux de ruissellement provenant des zones d'excavation et les eaux usées des bâtiments des travailleurs qui parviennent contaminées jusqu'à la rivière détériorent l'écosystème aquatique. L'augmentation de la température et la diminution du taux d'oxygène dissous qui l'accompagne sont aussi nuisibles pour la faune aquatique. Ce dernier point est expliqué dans la prochaine section. Durant la construction, les habitats, tels que les zones de frai et de nourriture, sont modifiés (Hydro-Québec, 2011). Une augmentation des sédiments en suspension peut blesser les poissons et, durant la période de frai, détruire leurs frayères et leurs œufs (Siegfried, 2008). De plus, lors des périodes de dynamitage des poissons peuvent être blessés (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008). Le déplacement de rochers, constituant des emplacements calmes de choix pour les poissons, aura un impact négatif sur ces derniers (Comtois *et al.*, 2000). Enfin, durant la phase de construction, une présence humaine accrue dans la région peut diminuer le nombre de poissons dû à l'augmentation du nombre de pêcheurs (BPR, 2010).

### **2.1.3 Sol et air**

En ce qui concerne les contaminants du sol et de l'air, ils sont principalement liés aux activités de préparations des aires de travail et de constructions d'ouvrages qu'ils soient permanents ou temporaires. Par exemple, la création et l'utilisation des bâtiments servant aux employés et de routes pour acheminer les matériaux. Durant ces activités, le sol est compacté, creusé et dénudé. La déforestation qui y est associée entraîne un assèchement du sol et augmente les risques d'érosion par le vent et la pluie, particulièrement dans les zones

de fortes pentes (EMA et ECON, 2005). De plus, sans les racines des arbres, le sol devient moins stable ce qui, encore une fois, augmente les risques d'érosion et de glissements de terrain. Cela dénature la zone et modifie les caractéristiques du terrain. Ces modifications peuvent entraîner des diminutions ou augmentations du drainage en fonction de la saison. En effet, le sol excavé peut être lavé par de fortes pluies vers la rivière, augmentant sa sédimentation, son risque d'envasement, et parfois sa salinité. Cela peut aussi entraîner la création de nouveaux ruisseaux (Siegfried, 2008). Comme expliqués dans la section sur l'eau, les déchets solides et liquides multiples, si mal gérés, risquent aussi de contaminer le sol. Concernant la qualité de l'air, les activités de construction telles que la préparation des chantiers, l'excavation et le va-et-vient des camions lourds soulèvent la poussière de la route sur leur passage et contaminent l'air.

#### **2.1.4 Flore terrestre**

Les impacts environnementaux associés à la flore terrestre durant l'étape de construction sont principalement causés par la déforestation et la création de carrières servant à construire les routes d'accès, les bâtiments permanents, tels que la centrale et les digues, et enfin la construction de bâtiments temporaires, par exemple les installations sanitaires des employés. Les sols dénudés par cette déforestation sont endommagés et la repousse naturelle peut prendre un certain temps (Gilbert *et al.*, 2000). Une augmentation du nombre de travailleurs peut aussi générer de la coupe de bois. Les déchets de construction peuvent nuire à la flore terrestre s'il y a contamination du sol. La phase de construction peut amener à la perte du milieu humide. Enfin, les impacts subis par la flore terrestre sont toujours plus significatifs s'il s'agit d'espèces rares ou vulnérables (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008).

#### **2.1.5 Faune terrestre**

Les impacts liés à la faune terrestre sont, quant à eux, intimement liés à ceux de la flore terrestre, puisque celle-ci constitue leur habitat. Ainsi, le plus grand problème touchant la faune terrestre est la déforestation. Modifiant ou dévastant leur environnement direct, un projet hydroélectrique peut entraîner la migration des espèces en recherche de nourriture et d'habitat, vers des zones où ils deviennent alors en compétition avec d'autres espèces

(Gilbert *et al.*, 2000). Autre source de migration, les bruits émis durant la phase de construction peuvent aussi engendrer un stress supplémentaire sur la faune terrestre. Une déviation du cours d'eau peut aussi entraîner la migration de la faune, puisque sa survie y est intimement liée. Cette déviation peut causer l'interruption de la continuité écologique et fragmenter le territoire des différentes espèces. Toute pollution de l'eau ou du sol provenant des activités de construction peut être nuisible pour la faune. Durant les activités de construction, les risques de collisions sur les routes nouvellement construites avec la faune sont accrus. Enfin, l'augmentation du nombre de travailleurs peut augmenter les activités de chasse. Quant aux oiseaux, la déforestation élimine également leur habitat premier, soit les arbres. Ces derniers doivent alors migrer vers une autre région (OPET, 2000).

## **2.2 Impacts d'une petite centrale au fil de l'eau en phase d'opération**

De nombreux impacts environnementaux sont en liens avec les activités d'opération d'un projet hydroélectrique. C'est durant cette phase qu'a lieu le suivi environnemental permettant de mesurer et d'analyser les impacts réels d'un projet hydroélectrique sur son milieu. Durant la phase d'opération de petites centrales au fil de l'eau, les impacts environnementaux sont minimes, mais restent présents.

### **2.2.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau**

L'impact de plus grande importance est le changement de débit, engendré par la déviation du cours d'eau par l'ouvrage de prise d'eau. L'eau est acheminée par un canal artificiel vers l'ouvrage de mise en charge, ou mini réservoir permettant de stocker une petite quantité d'eau afin d'alimenter la turbine. La déviation du cours d'eau provoque la réduction du débit et du volume d'eau dans la rivière naturelle entre la prise d'eau et le canal de fuite. Cette section à débit, dite court-circuitée, peut atteindre quelques centaines de mètres (Levet, 2007). En amont, il peut y avoir une diminution du débit et une augmentation du volume étant donné le barrage de dérivation. Plus loin, en aval des travaux, le débit reste généralement inchangé lorsqu'il s'agit d'une centrale au fil de l'eau sans réservoir. Par contre, des sédiments peuvent être retenus en amont par le barrage de dérivation, créant un déficit de substrats alluviaux en aval et par ce fait une perte d'habitats (Siegfried, 2008).

Une diminution du volume d'eau et un débit plus faible dans la section court-circuitée de la rivière peuvent amener l'accumulation de sédiments, ce qui réduit le niveau d'oxygène dissous dans la rivière. Un débit et un volume d'eau réduit peuvent aussi augmenter la température de l'eau et encore une fois diminuer son niveau d'oxygène dissous (Siegfried, 2008). Cette diminution du débit peut aussi entraîner la fragmentation du régime hydrique, certains tronçons ne connectant plus avec les autres durant la saison sèche (Leslie, 2008). De plus, les canaux artificiels, le canal d'amenée, la conduite forcée et le canal de fuite peuvent entraîner des modifications quant aux eaux de ruissellement et d'infiltration. Il peut alors s'ensuivre, à l'échelle locale, des inondations ou un taux de recharge des eaux souterraines plus faible (*ibid.*).

D'autres problèmes reliés à la qualité de l'eau durant la phase d'opération, sont causés par les activités humaines environnantes, telles que l'utilisation de pesticides et d'engrais chimiques en agriculture et un mauvais traitement des eaux d'égout. (IEA, 2000a). Ces apports de nutriments, d'origines anthropiques, peuvent entraîner l'eutrophisation de l'eau. Qui plus est, si ces contaminants sont déjà présents dans l'eau, la réduction du débit augmentera leur concentration (*ibid.*).

### **2.2.2 Flore et faune aquatiques**

Cette section décrit les effets des modifications de paramètres physico-chimiques de l'eau sur la flore et la faune aquatique.

#### **a) Débit**

Les modifications apportées au débit par l'implantation d'une centrale hydroélectrique représentent un des impacts environnementaux les plus importants sur la faune aquatique. En effet, le débit naturel d'un cours d'eau est ce qui définit un milieu aquatique (Zhao, 2006). Toute modification au débit amène des perturbations quant à l'intégrité écologique du cours d'eau. Afin de maintenir la végétation aquatique et les habitats des espèces aquatiques, il est nécessaire d'y maintenir un débit minimal. Cette variation peut amener à une perte de végétation aquatique et s'il y a déviation du cours d'eau et arrêt du débit, soit un assèchement, les impacts sur la flore sont alors mortels. Sur la faune aquatique, tel que

les macro-invertébrés et les poissons, la réduction du débit d'eau, l'augmentation de la température et la diminution de l'oxygène dissous qui y sont associés, peut entraîner une diminution dans l'abondance des poissons ou à une destruction complète de l'espèce (Gilbert *et al.*, 2000). De plus, un volume d'eau moins important et un débit plus faible produisent un impact négatif sur les habitudes de frai et de migration des poissons. En effet, le débit d'un cours d'eau est en quelque sorte un repère pour faire savoir aux poissons d'un estuaire qu'ils sont au bon endroit pour remonter le courant. Enfin, une diminution du débit peut augmenter pour les prédateurs des poissons l'accessibilité à leur source de nourriture (Leslie, 2008).

## **b) Oxygène dissous**

L'oxygène dissous pénètre dans l'eau de diverses façons. Premièrement : par diffusion à la surface de l'eau; l'oxygène se dissout dans l'eau à la surface de celle-ci et plus la surface de contact est grande, plus haut est le niveau de diffusion de l'oxygène. Les cascades augmentent cette diffusion puisque les remous mélangent l'eau oxygénée de surface avec celle faible en oxygène du fond. Deuxièmement : par la photosynthèse des plantes aquatiques. Néanmoins, une trop grande demande en oxygène, due à un grand nombre de plantes aquatiques, ou une présence accrue de bactéries pouvant provenir de déversement d'eaux usées, fait baisser le niveau d'oxygène dissous dans l'eau.

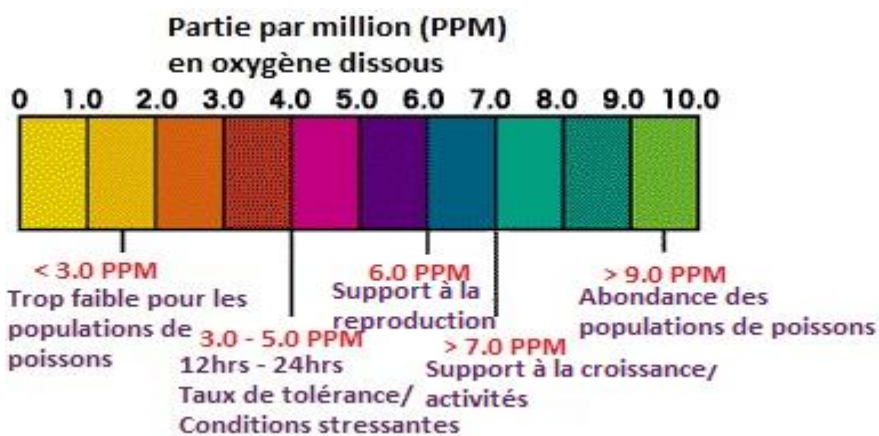
Deux facteurs physiques peuvent modifier la concentration d'oxygène dissous dans l'eau, ce sont la pression atmosphérique et la température. Par exemple, une eau trop chaude diminue le taux d'oxygène dans l'eau, puisque cette dernière s'évapore.

Les besoins en oxygène dissous d'un organisme varient selon l'espèce dont il est question, la présence de contaminants dans l'eau, l'âge de l'organisme et la température de l'eau. Par exemple, une truite nécessite jusqu'à six fois plus d'oxygène lorsque la température de l'eau est à 24 °C en comparaison avec une température de 4 °C (Oram, s.d.). Certains contaminants peuvent modifier le métabolisme des poissons, ainsi en leur présence, ces derniers peuvent avoir une plus grande demande en oxygène dissous. Le tableau 2.1 présente le besoin minimal en oxygène selon les espèces de poissons. En deçà de ce niveau, les poissons meurent.

**Tableau 2.1 Besoin minimal en oxygène dissous de certaines espèces de poissons**

Espèces de poissons	Niveau d'oxygène dissous
Brochet	6,0 mg/L
Achigan	5,5 mg/L
Perchaude	4,2 mg/L
Poisson-arc-en-ciel	4,2 mg/L
Poisson-chat	3,3 mg/L

En terme général, un niveau d'oxygène dissous inférieur à 5 mg/L n'est pas suffisant au maintien dans le temps de la vie aquatique. Sous la barre du 3 mg/L aucune population de poissons ne peut survivre. En effet, même si un poisson adulte vit dans ces conditions, le plus haut niveau d'oxygène dissous nécessaire aux larves et aux œufs fera en sorte que la population disparaîtra. Lorsque le niveau d'oxygène est bas, les espèces à grande demande en oxygène sont remplacées par celles à faible demande. Ainsi, les poissons sont remplacés par des vers et des larves de mouches plus tolérants au faible niveau d'oxygène ainsi qu'aux contaminants (Oram, s.d.). La figure 2.1 présente le niveau de tolérance des poissons à différents taux d'oxygène dissous.



**Figure 2.1 Niveau de tolérance des poissons aux variations du taux d'oxygène dissous dans l'eau**

(Modifié de Oram, s.d.)

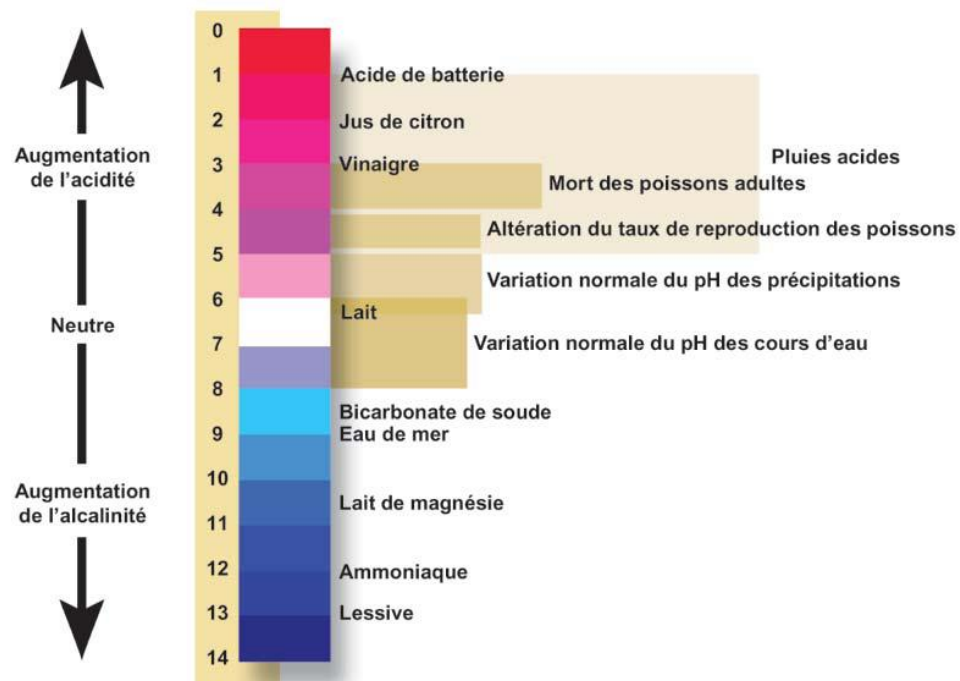
### **c) pH**

Le pH d'un cours d'eau dépend, en autre chose, du type de sol. Par exemple, un sol calcaire neutralise un pH acide, tandis qu'un sol de granit n'a que très peu d'effet. Un autre facteur influençant le pH est la quantité de plantes et de matières organiques présentes dans le cours d'eau. Lorsqu'elles se décomposent, ces matières libèrent du CO<sub>2</sub> qui mélangé à l'eau se transforme en acide carbonique pouvant diminuer le pH. Le déversement de produits chimiques peut aussi altérer le pH, de même que les pluies acides. Les variations de pH nuisent aux organismes aquatiques qui se sont habitués à un pH spécifique. Cela affecte particulièrement les macro-invertébrés, les œufs de poissons et les alevins (Oram, s.d.). Un pH inférieur à 5 nuit aux œufs et aux larves, tandis qu'un pH plus petit que 4 détruit la majorité des organismes aquatiques, exception faite des algues et des bactéries (BPR, 2010). Tandis qu'à un pH inférieur à 4, une majorité des organismes aquatiques ne peut survivre (Oram, s.d.). Il n'y a pas de pH commun à tous les poissons. Puisque chaque poisson naît et grandit dans un environnement possédant un pH qui lui est propre, il n'y a pas de pH qui s'applique à tous les poissons. En règle générale, un poisson d'eau salée préfère un pH alcalin de  $\geq 8.0$ , tandis qu'un poisson d'eau douce se développe, selon les espèces, dans un pH entre 5,5 et 7,5 (*ibid.*).

### **d) Température et turbidité**

La température interne des poissons n'est pas stable et varie en fonction de celle de l'eau, ainsi toute variation dans la température de l'eau aura des répercussions importantes. En effet, une variation, aussi petite que 2 °C, peut entraîner la mort de certaines espèces. La température agit sur la longévité du poisson et sur la concentration en oxygène dissous tel qu'expliqué dans le paragraphe précédent (Oram, s.d.). La faune aquatique est très sensible à toute modification de lumière, de température et de chimie de l'eau. Toutes les variations dans ces paramètres ont des répercussions sur celle-ci. Ainsi, un changement de température de l'eau, causé par la déforestation de la bande riveraine, par exemple, se répercute rapidement dans le comportement des poissons et de leurs proies. En effet, une température plus élevée modifie le niveau d'oxygène dissous et les premiers touchés seront les macro-invertébrés.

## L'échelle du pH



**Figure 2.2 Échelle du pH**

(Tiré de Environnement Canada, 2000, p.29)

Étant source de nourriture pour les poissons, les oiseaux et les amphibiens, une diminution du nombre de macro-invertébrés a un impact sur ces derniers. Ces changements modifient alors le métabolisme des poissons, leurs comportements et de ce fait, leur taux de mortalité (Thérrien *et al.*, 2000). La turbidité de l'eau, elle, est mesurée en fonction de la quantité de lumière dispersée par les solides en suspension dans l'eau. Plus il y a de solides en suspension, plus la lumière sera dispersée et plus haut sera le niveau de turbidité. La turbidité de l'eau augmente avec les fortes pluies, l'érosion ou un débit élevé dans le cours d'eau. Ainsi, le déboisement des rives augmente les risques d'érosion contribuant à une plus grande turbidité de l'eau (Oram, s.d.).

### e) Migration des poissons

Un autre aspect important au sujet de la faune aquatique est l'impossibilité des espèces de poissons migrateurs à traverser un projet hydroélectrique, en opposition aux espèces résidentes qui n'ont pas ce besoin. Les espèces dites diadromes, qui vivent alternativement entre l'eau salée et l'eau douce, sont les espèces les plus vulnérables aux modifications qui dégradent un ou plusieurs de leurs habitats (eau douce ou estuaire) ou qui bloquent leur route migratoire (Ressources naturelles Canada, 2008). Les poissons diadromes se divisent ensuite en trois catégories. La première: les poissons anadromes sont ceux qui migrent de l'eau salée à l'eau douce afin de se reproduire. Le plus connu étant le saumon. La deuxième : les poissons catadromes, c'est-à-dire qui vivent en eau douce, mais se reproduisent dans l'eau de mer. Le plus connu est l'anguille. Enfin, la troisième : les amphidromes qui se déplacent de l'eau douce à l'eau de mer et ainsi de suite, sans objectif de reproduction. Il existe aussi des espèces, dites holobiotiques, qui effectuent des déplacements, mais en restant toujours en eau douce (Sonneville, 2006). Le tableau 2.2 présente des poissons en fonction de leurs principales catégories.

**Tableau 2.2 Catégories de poissons**

Poissons Anadromes	Poissons Catadromes	Espèces Holobiotiques
Gobie	Anguille d'Amérique	Brochet
Écrevisse	Dormeur	Truite
Crevettes		
Esturgeon		

De nombreuses espèces de poissons remontent les cours d'eau dans l'objectif d'atteindre un endroit pour leur reproduction. Or, ceux-ci rencontrent un obstacle de taille sur leurs passages. En effet, les turbines, les évacuateurs de crues et de débordements de centrales provoquent la mortalité des poissons qui essaient de les traverser. Que ce soit en montaison

ou en dévalaison, les petites centrales nuisent à la migration des poissons. Cette migration est essentielle à la survie des populations de poissons.

### **2.2.3 Sol**

Au niveau du sol, les impacts sont liés à l'érosion des berges et des fortes pentes. La déforestation et l'érosion du sol peuvent causer des zones d'envasement. Cet envasement se répercute négativement sur la faune aquatique et terrestre (Thérien *et al.*, 2000). Des pratiques agricoles non adaptées peuvent accroître l'érosion et l'assèchement du sol dans les régions adjacentes au projet.

## **2.3 Impacts d'une centrale avec réservoir en phase de construction**

Ce présent sous-chapitre porte sur l'identification des principaux impacts environnementaux reliés à un projet hydroélectrique au fil de l'eau avec réservoir. Un réservoir permet de stocker l'eau d'une saison pluvieuse pour la relâcher dans les turbines pendant une saison plus sèche ce qui garantit une charge minimale en tout temps. C'est donc la présence, mais surtout la création du réservoir qui crée la majorité des impacts négatifs sur l'environnement. Les centrales, en plus d'engendrer les impacts généraux associés à la construction d'un projet, de ces routes et de ces bâtiments, entraînent des impacts environnementaux bien spécifiques à la création du réservoir. Ce sous-chapitre laisse donc de côté les impacts généraux de projets hydroélectriques discutés dans les sections précédentes et se concentre exclusivement sur les impacts associés à la présence et à la création du réservoir. Le degré de sévérité de ces impacts varie, aussi, en fonction de la grosseur de la centrale et de son réservoir. En effet, plus une centrale est grosse, plus ces travaux sont imposants, plus longue est la phase de construction et plus grands sont ces impacts sur l'environnement.

### **2.3.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau**

Tout d'abord, les principales modifications du régime hydrologique proviennent de l'inondation des terres situées en amont de la centrale, du changement de débits et du volume du cours d'eau en aval (IEA, 2000a). Les paramètres influençant la sévérité sont la

rapidité avec laquelle le territoire est inondé, la superficie et la quantité de biomasses inondée et le temps de rétention du réservoir. Les impacts découlant de cette inondation sont la perte d'habitats terrestres et de milieux humides; la modification du milieu humide aura principalement une répercussion sur la production biologique de la faune aquatique. Dans les zones déjà sensibles aux séismes, ceux-ci peuvent survenir si le réservoir est rempli brusquement ou s'il y a des failles dans la conception (IHA, 2010a).

#### **a) Température de l'eau et taux d'oxygène**

Il y a donc transformation d'un environnement terrestre en un milieu lacustre et celle-ci provoque une différence de densité et de température de l'eau qui peut produire la stratification thermique du réservoir. Effectivement, l'étendue d'eau augmente et une plus grande superficie est alors réchauffée par le soleil ou au contraire, refroidie par le vent renforçant les différences de température entre les couches d'eau et augmentant les risques de stratification thermique. La stratification thermique de l'eau nuit à sa qualité en empêchant ou en réduisant la fréquence des brassages entre les couches. Ces brassages sont essentiels à l'oxygénation de l'eau. Un manque de brassage peut provoquer, dans certains cas, l'anoxie de l'hypolimnion, soit un manque d'oxygène dans la couche la plus profonde (Comtois et al., 2000).

#### **b) Turbidité/couleur/température/pH**

Une autre conséquence d'une inondation subite du sol et de la végétation est l'apparition de particules solides en suspension dans l'eau qui altère sa turbidité et parfois, sa couleur. Une eau plus foncée attire davantage les rayons du soleil et provoque une hausse de la température (Comtois et al., 2000). En plus, une modification du pH peut survenir suite à la décomposition de la matière végétale causée par l'inondation. La matière organique qui se décompose émet du CO<sub>2</sub> et celui-ci combiné à l'eau forme l'acide carbonique. Présent en grande quantité, cet acide fera baisser le pH (Oram, s.d.). Cette baisse du pH peut causer des problèmes plus en aval du projet, tel que de la toxicité, des émissions de méthane ou de mauvaises odeurs (IEA, 2000a).

### c) GES

Lorsque le territoire inondé se situe dans une zone forestière dense, une très grande quantité de sol et de biomasse est alors submergée. Celle-ci subit alors une décomposition aérobie ou anaérobie. La décomposition de la biomasse émet des gaz à effet de serre, tels que le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O. Après quelques années, la biomasse ayant terminé sa décomposition, le réservoir cesse d'émettre des GES (Hydro-Québec, 1996). Le plus dommageable est le CH<sub>4</sub> puisque son équivalence CO<sub>2</sub> de réchauffement planétaire est de vingt, c'est-à-dire vingt fois plus nuisible que la même quantité de CO<sub>2</sub> émise dans l'environnement. Le mercure inorganique, qu'il soit d'origine naturelle ou humaine, est présent partout dans l'environnement. Sous sa forme inorganique, son impact sur l'environnement est négligeable. Par contre, lorsqu'il y a inondation des terres, la décomposition de la végétation facilite la transformation du mercure présent dans la végétation par des bactéries sous une autre forme de mercure appelée, méthylmercure. Celui-ci, relâché dans l'environnement, est absorbé par la flore et la faune aquatiques présentes, telle que le plancton, les insectes et les poissons (Schnetagne *et al.*, 2006). En fait, le méthylmercure se transmet à travers la chaîne alimentaire où ses concentrations les plus élevées s'observent à la fin de cette chaîne. En effet, le méthylmercure est un contaminant qui se bio accumule dans la matière grasse, soit la chair des poissons. Ainsi, les poissons prédateurs qui mangent d'autres poissons possèdent un niveau plus élevé que les petits poissons qui ne mangent que des insectes. Il en va de même pour l'homme, dernier prédateur sur la chaîne alimentaire. Peu importe l'endroit dans le monde, dès qu'un réservoir est créé, il y a décomposition de la végétation et augmentation du niveau de mercure. Cette augmentation est présente sur une dizaine d'années, soit le temps nécessaire à la décomposition végétale totale. Par la suite, 20 années sont nécessaires pour un retour à la normale (Hydro-Québec, 1996).

#### **2.3.2 Flore et faune aquatiques**

En conséquence de l'inondation, il y a une prolifération des plantes aquatiques. En effet, la décomposition de la biomasse entraîne une augmentation du niveau de nutriments, des matières organiques et des minéraux présents dans l'eau ce qui accroît la production

biologique du réservoir. Les nouveaux paramètres physico-chimiques de l'eau favorisent aussi la production de phytoplanctons et de zooplanctons (Gilbert *et al.*, 2000). Par contre, lorsque présents en trop grande quantité, les nutriments comme le phosphore et le nitrogène ainsi que la productivité biologique excessive associée, peuvent provoquer l'épuisement de l'oxygène disponible dans l'eau et mener à une eutrophisation du réservoir (Comtois *et al.*, 2000). En plus, un nombre élevé de plantes aquatiques présentes dans l'eau augmente la température de celle-ci, mais diminue sa transparence et l'oxygène disponible à la vie aquatique. L'augmentation de la température contribue alors à la création de strates thermiques. L'eau plus chaude à la surface accélère l'oxydation de la matière organique et la photosynthèse, améliorant ainsi les conditions de la vie aquatique. Par contre, la matière en décomposition se sédimente au fond où elle absorbe tout l'oxygène dissous créant des conditions d'anoxie. Des substances toxiques, telles que les métaux lourds et les sulfites d'hydrogènes, peuvent alors être libérées du sol affectant négativement la vie aquatique lorsque cette substance remonte à la surface (Gilbert *et al.*, 2000). Tel qu'expliqué dans la section précédente, les variations de pH associées avec la création du réservoir peuvent être fatales aux organismes puisque la plupart d'entre eux se sont adaptés à un pH spécifique.

### **2.3.3 Flore et faune terrestres**

Les impacts sur la flore terrestre, quant à eux, découlent principalement de la déforestation et de l'inondation du territoire. Les facteurs qui influencent les impacts sur la flore sont la superficie à être inondée, le type de climat, de sol et de végétation (IEA, 2000b). En effet, les impacts sont plus significatifs lorsqu'il s'agit d'un territoire dense en végétation. Lors de la création d'un réservoir, deux choix s'imposent, soit la déforestation, suivie de l'inondation, soit l'inondation en maintenant la couverture végétale déjà présente, qui se décomposera alors d'elle-même par la suite. Ces deux choix entraînent inévitablement des répercussions sur la flore, puis sur la faune, la survie de la deuxième, dépendant de la présence de la première.

Des zones humides et aussi des habitats terrestres seront transformés en milieu aquatique par la création d'un réservoir (IEA, 2000a). L'inondation du territoire transforme des milieux terrestres et humides. Cela provoque un impact sur la reproduction et l'alimentation

des espèces fauniques résidentes et migratrices. Cette destruction de leur habitat oblige la plupart des animaux à migrer vers de nouveaux territoires où ils entrent en contact, voire en compétition avec d'autres espèces (Gilbert *et al.*, 2000). Certains, ne parvenant pas à fuir, meurent noyés (Leslie, 2008). Pour d'autres, cette modification d'habitats signifie un changement dans l'alimentation et dans la reproduction de l'espèce, entraînant des transformations dans l'écosystème ainsi qu'une variation de l'abondance et de la composition de certaines espèces.

Pour les oiseaux, la création de réservoirs peut amener de nouveaux habitats propices à leur colonisation. En effet, l'augmentation de longueur de rive et de zones humides qui découle de la création du réservoir, de même que des troncs d'arbres submergés et le développement de macro-invertébrés, peut amener une augmentation d'habitat pour la faune riveraine, telle que les amphibiens et les reptiles (Gilbert *et al.*, 2000). Par contre, en aval, la réduction du débit peut appauvrir la végétation riveraine et avoir des conséquences sur la diversité et l'abondance des espèces fauniques. Ainsi, il y aura gains d'habitats et conditions écologiques favorables pour les oiseaux aquatiques, mais pertes d'habitats pour les oiseaux forestiers, dû à l'inondation. Les impacts sur la faune terrestre varient en fonction de la région climatique, de la superficie affectée, de la diversité des habitats substitués et enfin, des espèces présentes (New Energy foundation, 2006).

#### **2.4 Impacts d'une centrale avec réservoir en phase d'opération**

La création d'un réservoir entraîne l'inondation des terres et transforme un milieu terrestre en milieu lacustre. C'est durant les années d'opération de la centrale que les impacts environnementaux d'un tel changement sont atténués et qu'un retour à la normale peut sembler avoir lieu. En effet, les impacts liés avec la décomposition de la biomasse s'estompent et une harmonie entre les espèces et leur milieu s'installe. Par contre, la fragmentation du cours d'eau, associée avec l'implantation de la centrale et de ses turbines, ainsi que les changements apportés au débit en lien avec la présence du réservoir persistent durant la phase d'opération et provoquent des répercussions néfastes sur l'environnement.

### **2.4.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau**

Durant la phase d'opération, le ralentissement du débit dans le réservoir et l'augmentation de la superficie de l'eau au soleil provoquent une plus grande évaporation et des variations de température non saisonnières. Par exemple, dans les zones tempérées, la présence d'un réservoir génère un automne plus chaud, un printemps plus froid et peut causer un retard dans la gelée des lacs (Hydro-Québec, 1996). De plus, les périodes de crues naturelles sont modifiées, ce qui peut empêcher le renouvellement de zones humides (Leslie, 2008).

Les réservoirs peu profonds ou qui subissent un haut taux d'érosion sont à risque d'envasement. De plus, s'il est situé en zone chaude, l'évaporation de l'eau peut diminuer le volume de celle-ci dans le réservoir et augmenter ses chances d'envasement (*ibid.*). Dans les zones estuaires, il peut y avoir des problèmes de salinité de l'eau. L'eau acide qui s'infiltré dans le sol peut dissoudre le substrat rocheux ce qui rend l'eau plus salée (IHA, 2010a).

La création d'un réservoir peut aussi contribuer à l'augmentation des contaminants dans l'eau par la bioaccumulation, la sédimentation et l'absorption (Comtois et al., 2000). C'est le temps de séjour de l'eau dans un réservoir qui est l'une des variantes des plus importantes influençant la qualité de l'eau. En effet, plus l'eau est retenue dans un réservoir, plus il y a de risque d'apercevoir des problèmes hydriques (IEA, 2000a).

### **2.4.2 Flore et faune aquatiques**

Afin de maintenir la vie aquatique, il est important de prendre en considération la température et le débit de l'eau nécessaire au maintien des certaines espèces aquatiques puisque toute modification de température et de débit aura des conséquences sur la faune et la flore aquatique. Tout d'abord, durant la phase d'opération, les modifications au niveau du débit du cours d'eau entraînent des perturbations tant au niveau de la faune que de la flore aquatique. En effet, les régimes biologiques et écologiques sont étroitement liés au débit du cours d'eau. La création du réservoir déstabilise le régime hydrologique en diminuant le débit de l'eau en aval. Un débit plus faible peut augmenter le nombre d'habitats disponibles pour la faune aquatique. Par contre, une réduction soutenue du débit

d'eau, voire un assèchement d'une partie du cours d'eau conduit à un appauvrissement de la végétation (Gilbert *et al.*, 2000). D'un autre côté, une augmentation du débit, s'il devient trop important, provoque une baisse de la vie aquatique. En effet, un trop grand débit déracine les plantes aquatiques et rend ainsi difficile la vie des poissons puisqu'ils se retrouvent sans nourriture. En aval du réservoir, dans la zone où il y a modification du débit de l'eau, il peut y avoir une perte de la végétation (*ibid.*). Un réservoir modifie les périodes de crues naturelles en relâchant son eau en fonction de la demande énergétique plutôt que les besoins environnementaux. Cela peut empêcher le renouvellement de zones humides ou au contraire, noyer des régions à la période de l'année où elles sont généralement asséchées. De plus, bien souvent, l'eau relâchée provient du fond du réservoir ce qui diminuant subitement la température de l'eau en aval. Une eau froide nuit au frai des poissons et diminue la croissance agricole, par exemple celle du riz (IHA, 2010a).

La création d'un réservoir transformant une rivière en lac fait disparaître, peu à peu, la présence des poissons d'eaux avec débit pour laisser la place aux poissons d'eau calme. Il y a donc modification d'environnement, d'habitat et d'espèces (Hydro-Québec, 1996). Ce sont les espèces qui possèdent un meilleur degré d'adaptation qui survivront, tel que les espèces ubiquistes qui parfois remplacent les espèces indigènes plus rares qui sont plus spécifiques dans leur sélection d'habitats (Gilbert *et al.*, 2000). Parfois, la décomposition de la biomasse génère un habitat propice à la vie aquatique et le nombre de poissons augmente. C'est le cas, par exemple, au Québec, où le nombre de zooplanctons a augmenté de 30 à 50 fois suite à la création d'un réservoir (Hydro-Québec, 1996). Ce sont donc des espèces de poissons fringantes de zooplancton qui trouvent leur place dans les premières années d'un réservoir. En revanche, cette dégradation de la biomasse peut entraîner des impacts contraires dans les zones tropicales, étant donné le risque d'eutrophisation et de créations de strates thermales plus élevées, tel qu'expliqué dans la prochaine section. De plus, dans certaines régions tropicales, les endroits où l'eau est peu profonde et protégée des vagues, deviennent des habitats propices aux insectes, parfois porteurs de maladies, et aux mollusques. Le développement de réservoir intensifie ce phénomène (Gilbert *et al.*, 2000). En effet, un réservoir offre une surface d'eau stagnante qui représente un habitat idéal pour les insectes et vers porteurs de maladies (EMA *et al.*, 2005).

### **a) Oxygène dissous**

Un problème, souvent relié avec les réservoirs concerne le niveau d'oxygène dissous. En effet, l'augmentation de surface en contact avec l'air peut entraîner une saturation d'oxygène dissous en aval de l'évacuateur des crues. Au contraire, il peut aussi apparaître un manque d'oxygène dans le réservoir. L'augmentation de la surface d'eau réchauffée par le soleil augmente sa température et une température plus élevée diminue le taux d'oxygène dissous dans l'eau. Ce faible niveau d'oxygène dissous crée les conditions idéales au phénomène d'anoxie et peut faciliter la libération des métaux toxiques emprisonnés dans les sédiments et le sol (Comtois *et al.*, 2000). De plus, en phase d'anoxie, le manque d'oxygène dans l'eau entraîne une plus grande mortalité chez les espèces aquatiques, tel qu'expliqué dans le graphique 2.1

### **b) Migration des poissons**

Un aspect important à considérer est la migration des poissons puisque de nombreuses espèces voyagent pour assurer leur reproduction. Les réservoirs entravent cette migration, nuisant ainsi à la reproduction de l'espèce (IEA, 2000a). En effet, de nombreux poissons restent coincés dans les réservoirs sans moyens pour traverser celui-ci. Les poissons résidant en amont se retrouvent alors isolés de ceux en aval. De plus, la perte des repères de débits et de température incitant la migration et la reproduction des poissons devient un obstacle supplémentaire à leur survie.

### **c) Fragmentation**

Les réservoirs et autres infrastructures perturbent les écosystèmes d'eau douce en modifiant le modèle d'écoulement et en interrompant les liens entre les différentes parties d'une rivière, en séparant les rivières des plaines inondables et des marécages, et souvent en emmagasinant l'eau qui autrement s'écoulerait librement en aval (Leslie, 2008). Cela peut avoir un effet indésirable sur la faune aquatique. Il peut aussi y avoir un impact sur la faune terrestre puisque la création d'une large étendue d'eau fragmente leur territoire.

### **2.4.3 Sol**

Quant aux impacts sur le sol durant la phase d'opération, ils sont principalement reliés au processus de sédimentation. Celui-ci varie en fonction de la pente, du courant, de la profondeur et de la composition du lit de la rivière et de la bande riveraine. En effet, la charge sédimentaire sera plus élevée lorsque la pente, le courant ou la profondeur du bassin sont augmentés. (Comtois et al., 2000). Un réservoir modifie certainement ces caractéristiques et crée ainsi un processus de sédimentation dans le cours d'eau. La grande majorité des centrales avec réservoirs font face à des problèmes de sédimentation, principalement causée par l'érosion du bassin de drainage. Les cas de sédimentation sont encore plus élevés lorsque la couverture végétale de la zone riveraine est faible ou non existante. Plus la charge sédimentaire est élevée, plus la turbidité de l'eau sera importante. Ces sédiments seront par la suite transportés en suspension dans le cours d'eau. Un réservoir diminue aussi la résistance face aux vents et augmente ainsi sa vitesse et l'érosion des berges (IHA, 2010a). Toutefois, dans les régions nordiques, la disparition des crues naturelles réduit l'érosion due aux glaces, épargnant ainsi de nombreuses plantes (Hydro-Québec, 1996).

En terminant, la phase de démantèlement d'un projet hydroélectrique avec réservoir engendre, elle aussi, de nombreux impacts sur l'environnement. En effet, si cette étape demande de vider un réservoir de son eau, les impacts sur la faune et la flore aquatique seront de grandes importances. En effet, la balance écologique qui s'est créée au cours d'années d'opération sera détruite, de même que l'habitat aquatique (*ibid.*).

## **2.5 Facteurs pouvant faire varier les impacts environnementaux**

De manière générale, un projet hydroélectrique transforme un écosystème par la création d'un réservoir ou bien par la modification du débit hydrique. L'amplitude, le type et l'étendue des impacts environnementaux sont très spécifiques à l'emplacement choisi et varient considérablement d'un projet à l'autre. Néanmoins, certains éléments affectant les impacts sont constants. Il s'agit du type et de la taille des centrales, du type de turbine et de la zone géographique du milieu récepteur.

### 2.5.1 Types de centrales

Le type de centrale est un facteur d'importance sur la variation des impacts. Ceux-ci sont de faibles envergures si le cours d'eau exploité est une chute naturelle; par contre, ils sont importants lorsqu'il s'agit de concevoir des retenues ou barrages artificiels (Levet, 2006). Les impacts environnementaux des centrales varient principalement en fonction de la nécessité à produire un barrage. En effet, les centrales ne nécessitant pas de barrage seront celles qui présenteront le moins d'impacts sur l'environnement. Une petite centrale dans un site non aménagé et qui nécessite la construction d'un réservoir de dénivellation verra ses impacts environnementaux augmenter de même que celles nécessitant la création d'un réservoir de stockage d'eau. Par la suite, les impacts environnementaux augmentent avec la grosseur du projet.

Ce sont les centrales avec réservoirs qui sont de loin celles qui possèdent les impacts environnementaux les plus importants. En effet, étant donné la grosseur et l'importance des travaux à effectuer, les modifications du milieu sont majeures. Les réservoirs saisonniers, plus grands que les journaliers, possèdent un impact encore plus marqué. En effet, dans le cas des réservoirs saisonniers, le débordement de la rivière sera fréquent dans les saisons humides, et lors d'années très sèches, celle-ci peut se tarir, modifiant l'importance des impacts. Toute structure hydraulique affecte, d'une manière ou d'une autre, les caractéristiques hydrologiques d'un cours d'eau. Le niveau de l'eau sera toujours plus élevé avec un réservoir que sans. Ainsi, un environnement qui se trouvait autrefois hors de l'eau devient un environnement lacustre. Il y aura donc modification du milieu avec la création d'un réservoir. En comparaison une centrale sans réservoir, ne crée pas ou peu de nouveau milieu lacustre. Une autre caractéristique d'une centrale à réservoir est qu'à l'intérieur du réservoir le débit de l'eau est plus faible. Par contre, ayant une plus grande superficie de surface, la création de vagues est plus fréquente que sans le réservoir puisque celle-ci offre moins de résistance aux vents (Comtois et al., 2000). Autre aspect, les centrales avec un réservoir réduisent le courant, de même que la pente du cours d'eau en amont des ouvrages. En conséquence, la probabilité de transporter des sédiments en est diminuée, entraînant une accumulation de sédiments, tels que les limons, dans le fond du réservoir et pouvant créer de l'envasement (*ibid.*). De plus, les centrales avec réservoirs peuvent capter les sédiments

et ainsi réduire la quantité de sédiments en aval du réservoir, diminuant le taux de nutriments disponible pour les poissons. D'un autre côté, cela entraîne une meilleure transparence de l'eau en aval améliorant la production des poissons.

Les centrales au fil de l'eau, quant à elles, possèdent moins d'impacts environnementaux négatifs, puisqu'elles n'impliquent pas de grande variation de niveau d'eau. Le premier type de centrale au fil de l'eau, où l'eau n'est absolument pas déviée de son cours, génère très peu d'impacts. Par contre, une centrale au fil de l'eau, où l'eau est déviée dans un conduit forcé aura, quant à elle, des répercussions plus significatives sur son environnement. En effet, ce type d'ouvrage aura un impact sur le cours d'eau situé entre l'entrée de l'eau et le canal de fuite. Le volume d'eau naturel est largement réduit par la quantité qui est déviée pour alimenter la turbine. Lorsqu'il y a arrêt de la turbine, l'eau retourne dans le lit naturel de la rivière et génère des fluctuations du débit considérable dans cette partie (*ibid.*).

La taille des centrales et de leurs ouvrages est un autre aspect amenant la variation des impacts. Plus un projet est gros, plus grands seront ses impacts environnementaux. Par exemple, la prolifération d'algues associée aux inondations pour la création du réservoir est de moindre importance lorsqu'il s'agit de petits réservoirs, puisque le temps de séjour de l'eau sera court et le volume minime (Gilbert *et al.*, 2000).

Les conséquences sur la faune varient en fonction du type de cours d'eau. En effet, les centrales installées sur des cours d'eau possédant une bonne hauteur de chute auront moins d'impacts sur la faune, puisque les poissons vivant dans les chutes se font rares. Ainsi plus le débit du cours d'eau est élevé, moins propice est celui-ci pour la vie faunique aquatique et moins importants seront les impacts sur la faune. Certaines centrales, par exemple celles qui ont des structures raides ou des chutes élevées, génèrent une plus grande quantité d'oxygène dissous entraînant la mort de poissons (Gilbert *et al.*, 2000).

Enfin, certaines composantes des centrales, ainsi que leurs emplacements peuvent aussi jouer un rôle sur l'importance des impacts engendrés. Par exemple, l'emplacement des entrées d'eau peut décourager ou encourager la stratification thermique de l'eau, jouant un

rôle important dans l'oxygénation des strates d'eau plus profondes et sa qualité finale (Comtois et al., 2000).

### **2.5.2 Types de turbines**

Comme il est mentionné plus haut dans le texte, de nombreuses espèces de poissons doivent migrer en amont ou en aval d'une rivière avec un projet hydroélectrique, afin de se nourrir et de se reproduire. Lors de leur passage dans les turbines d'une centrale, les poissons sont souvent blessés et parfois meurent. Certains dispositifs, comme les passes à poissons et les grillages peuvent diminuer l'impact négatif. Néanmoins, les poissons les plus jeunes et plus petits se font souvent entraîner malgré tout, dans les turbines. C'est pourquoi au milieu des années 1990 des recherches et développements sur le sujet des turbines et de leurs impacts sur les poissons ont été entrepris. Bien qu'encore sous prototype, la turbine sans danger pour les poissons est une technologie qui minimise les risques de blessures et de morts pour les poissons qui traversent les turbines (Ressources naturelles Canada, 2008). Autre fait intéressant, les turbines conçues pour les basses chutes, soit moins de 5 mètres, sont généralement moins dommageables pour l'écosystème puisqu'elles ne dévient pas l'eau.

Les quatre types de turbines les plus utilisées sont; les turbines Pelton, Kaplan, Wells et Francis. Le taux de mortalité ou de blessures varie en fonction du type de turbine utilisé. Il existe quatre principales causes de mortalité des poissons lors de leurs passages dans une turbine : les chocs mécaniques, les forces de cisaillement dues aux variations de vitesse, les variations de pressions et la cavitation. (Thérien et Bourgeois, 2000).

### **2.5.3 Milieu récepteur**

Cette section porte sur les différents milieux récepteurs de projets hydroélectriques et des impacts respectifs subis par chacun. En effet, le milieu naturel dans lequel la centrale est établie joue un rôle important dans la variation des impacts environnementaux créé par le projet. Il est donc important de comprendre et de faire la distinction entre ces différents milieux. Dans le cadre de milieux hydriques, trois grandes zones existent. Il s'agit de la zone équatoriale et tropicale, de la zone tempérée océanique et tempérée continentale, et

enfin, de la zone boréale et alpine (Comtois et al., 2000). En règle générale, les impacts environnementaux sont plus importants dans les zones tropicales que dans les zones tempérées ou boréales. Ceci est dû, entre autres, à sa densité de végétation beaucoup plus importante. Plus la végétation est dense et plus les impacts sont significatifs. Or en zone tropicale humide, la densité de végétations se situe entre 3 et 10 x 10<sup>5</sup> kg/ha. Tandis que ce chiffre se réduit à 4 x 10<sup>5</sup> kg/ha dans les zones tempérées. Dans les zones tempérées du nord la densité de végétation ne dépasse pas le 1,2 x 10<sup>5</sup> kg/ha (Gilbert *et al.*, 2000).

Dû à cette forte densité, la quantité de biomasses qui se décompose suite à l'inondation du territoire est plus élevée, ce qui intensifie tous les impacts environnementaux en liens avec cette décomposition. Premièrement, les émissions de CO<sub>2</sub> relâchées dans l'atmosphère en zone tropicale seront plus importantes que si la même superficie d'une forêt est inondée dans une zone tempérée. Deuxièmement, les zones tropicales sont plus propices à un faible niveau d'oxygène dissous, puisque la plus grande quantité de matière en décomposition captera l'oxygène disponible dans l'eau. Les réservoirs en zones tropicales sont donc plus propices à provoquer l'anoxie de l'eau. En effet, la grande quantité de biomasses en décomposition et les températures élevées qui sont souvent typiques à ces zones sont des conditions idéales au phénomène d'anoxie ainsi qu'à la formation du méthane (Comtois et al., 2000). Troisièmement, la quantité de nutriments dans l'eau sera plus élevée dans les zones tropicales. Quatrièmement, un milieu tropical augmente les risques de baisse du pH et peut provoquer une hausse de la salinisation, tandis que le phénomène de salinisation est plutôt rare dans les zones tempérées (*ibid.*). De plus, la température plus élevée augmente la vitesse de décomposition. Les impacts sont moindres en zones plus froides et tempérées. Autre aspect, un climat plus chaud favorise une plus grande évaporation. Celle-ci dépend du niveau d'humidité dans l'air et un réservoir situé en zone sèche produit plus d'humidité qu'en zone humide, provoquant des impacts plus importants sur l'environnement. Par contre, il semble que la libération du mercure par l'inondation de la végétation soit plus élevée dans les zones tempérées que dans les zones tropicales (*ibid.*).

Concernant les impacts sur la flore et la faune, eux aussi varient considérablement avec la zone géographique dans laquelle se situe le projet. La prolifération de la flore aquatique, telle que les algues, sera aussi plus probable étant donné la productivité biologique élevée

des zones tropicales. Ces zones sont ainsi plus propices au phénomène d'eutrophisation accélérée qui est associé à leur présence en trop grande quantité (Gilbert *et al.*, 2000). La forte densité et la grande diversité des habitats tropicaux font en sorte que la faune terrestre et aquatique est plus affectée que celle des régions tempérées suite à une perte d'habitat d'une superficie équivalente. De plus, concernant le niveau d'oxygène dissous, les espèces provenant de régions chaudes sont généralement plus tolérantes à une variance dans le niveau d'oxygène que celles des zones plus froides (*ibid.*).

Par contre, en zone sèche, la création d'un réservoir et de nouvelles zones humides et de littoral peut amener à l'émergence de nouveaux habitats pour la faune (Gilbert *et al.*, 2000). De même que l'évapotranspiration couplée avec un débit réduit du cours d'eau encourage la prolifération des plantes aquatiques dans ces zones. En effet, en réduisant le débit, les plantes aquatiques qui autrement ne pourraient prendre racine abondent lorsqu'il y a création de réservoir en zones sèches. Par contre, ces régions connaissent généralement des inondations saisonnières drastiques empêchant toute végétation, et de ce fait, toute vie faunique, à s'installer (*ibid.*). De plus, en zone sèche, le détournement de certains cours d'eau, déjà intermittents, peut empirer leur situation et entraîner l'assèchement complet de ceux-ci.

En résumé, il sera plus difficile de créer un habitat riverain dans un réservoir en région tempérée, à moins que les variantes au niveau de l'eau soient légères. Tandis qu'en région aride, la création du réservoir favorise le développement d'une végétation riveraine. Enfin, en région tropicale, la végétation aquatique peut proliférer et devenir une contrainte (IEA, 2000a). De plus, les activités en périphérie, qu'elles proviennent de l'agriculture, des industries ou des villes, auront un impact plus important en région tropicale en ce qui concerne l'enrichissement de l'eau et la prolifération des plantes aquatiques.

En ce qui concerne la charge sédimentaire des cours d'eau découlant de l'érosion du bassin de drainage, elle varie en fonction de sa composition, et donc, de son milieu. En effet, les plus grandes charges sédimentaires ont été retrouvées dans les cours d'eau de zones arides, semi-arides ou dans les zones montagneuses (Comtois *et al.*, 2000). Dans les faits, les zones arides et semi-arides possèdent un sol, souvent dénudé de toute végétation, et par ce fait,

très sensible à l'érosion causée par les fortes pluies. En conséquence, les centrales installées dans ces régions possèdent de plus grandes probabilités d'engendrer de l'érosion et donc de la sédimentation. Inversement, dans les zones tropicales, la forte couverture végétale diminue les risques d'érosion et de sédimentation causée par l'implantation de centrales hydroélectriques. Un autre aspect se rapportant au sol est que les réservoirs construits en région montagneuse, aride ou semi-aride, ont tendance à s'envaser plus facilement, diminuant l'efficacité des ouvrages hydroélectriques. En effet, l'envasement augmente la charge de sédiments qui sera entraînée dans les turbines de la centrale, augmentant son usure, et par ce fait, réduisant sa productivité et son espérance de vie (*ibid*). Cet envasement sera d'autant plus présent en zone aride où l'évaporation est amplifiée par la chaleur ambiante (Leslie, 2008).

Enfin, les impacts environnementaux associés aux centrales hydroélectriques sont plus négatifs et significatifs dans les zones tropicales humides. La création de réservoirs dans ces zones rend propice l'anoxie des strates thermiques profondes de l'eau, diminue l'oxygène dissous dans l'eau, la baisse du pH et l'augmentation des plantes aquatiques en surface. En zones arides, les impacts négatifs sont souvent en lien avec l'évaporation de l'eau et la modification des crues naturelles, essentielles au renouvellement de la flore. En zone tempérée ou boréale, les impacts y sont moins significatifs.

## **2.6 Impacts cumulatifs**

Les problèmes particuliers reliés aux impacts cumulatifs des centrales hydroélectriques sont abordés dans ce sous-chapitre et il est important de les prendre en considération dès le tout début du projet.

En premier lieu, un impact cumulatif se définit comme étant l'accumulation de changements, qu'ils soient en relation avec des actions passées, présentes ou futures, induits par l'homme sur l'environnement (ACCE, 2010). Ces changements peuvent avoir lieu dans le temps ou l'espace et d'une manière additive ou synergique (Seelos, 2000). Il existe plusieurs types d'impacts cumulatifs. Tout d'abord, un impact additionnel, où un projet à lui seul n'affecte pas significativement l'environnement, mais plusieurs projets additionnés les uns aux autres génèrent un impact considérable. Ensuite, l'impact

synergétique, où plusieurs projets génèrent un impact plus important que la somme de leurs impacts individuels. Il y a l'impact dit de saturation qui représente le point de non-résilience d'un environnement suite à l'addition d'un projet. Enfin, les impacts liés au temps ou à l'espace, où l'environnement n'a pas le temps de récupérer des impacts d'un projet avant d'être soumis à d'autres (Seelos, 2000).

Quatre étapes sont importantes afin de bien identifier les impacts cumulatifs d'un projet. Premièrement, il s'agit d'identifier la portée de l'étude. Deuxièmement, sélectionner les composantes valorisées de l'environnement. Troisièmement, établir les limites spatiales et temporelles. Enfin, déterminer les autres activités d'influences; les activités minières, les coupes forestières, la chasse et la pêche et la construction d'infrastructures qui sont des activités étant souvent examinées à cette étape. Au Québec, il existe une liste préétablie des composantes valorisées de l'environnement susceptibles de subir des impacts cumulatifs suite à des projets hydroélectriques. Cette liste comprend notamment, les espèces fauniques et floristiques à statut particulier, la faune aquatique, la faune aviaire et la faune terrestre ainsi que leurs habitats et les plans d'eau où il y a forte concentration de mercure dans la chair des poissons (Hydro-Québec, 2004). Bien entendu, les composantes valorisées de l'environnement varient en fonction du milieu géographique d'implantation d'un projet.

Par contre, il existe certaines limites à la détermination des impacts cumulatifs. En effet, il est souvent difficile de déterminer la signification de l'impact, puisque l'aspect de probabilité d'occurrence est très présent. Un territoire trop étendu de même que des données manquantes ou peu fiables sont d'autres limites à l'identification des impacts cumulatifs. En effet, afin de pouvoir être considéré, un impact cumulatif doit pouvoir être identifiable, et pour ce faire doit posséder une documentation relative fiable et échelonnée sur plusieurs années. Des données manquantes ou incomplètes posent un obstacle à l'identification des impacts cumulatifs (Hydro-Québec, 2004). Malgré le grand potentiel en hydroélectricité des pays en développement, il existe de nombreux défis à relever pour la mise en place de projets. En effet, l'identification et la gestion des risques environnementaux restent difficiles, principalement dû au manque d'expérience et aux capacités institutionnelles limitées (World Bank, 2009). Il y a une nécessité de mettre en place les infrastructures.

Les éléments généralement considérés dans l'évaluation des impacts cumulatifs de projets hydroélectriques sont les suivants : le système aquatique, la forêt et la végétation, la faune et la météorologie. Les facteurs à considérer lors de l'identification des impacts cumulatifs sont les mètres de bandes riveraines touchées, le nombre et l'importance des barrières à la migration des poissons, le nombre d'habitats pouvant être affecté par les changements de débit d'eau, la réduction du volume d'eau et le nombre de routes à être construites (Abbasi, 2000).

Il y a un débat constant afin de savoir si ce sont les centrales au fil de l'eau ou celles avec réservoir qui pèsent le poids le plus lourd sur l'environnement. Les impacts reliés aux petites centrales sont souvent d'ordre plus grand lorsque sont pris en considération les kilomètres de rivières fragmentées par MW d'électricité produite. Plus une rivière est fragmentée, plus grand seront les problèmes de connectivité des espèces (Abbasi, 2000). Les premiers affectés par une multiplication de projets hydroélectriques sur un même cours d'eau sont les poissons. En effet, ceux-ci doivent remonter le cours d'eau enfin d'atteindre un endroit pour frayer. Or, plus le nombre de centrales est élevé, plus il y aura d'obstacles à traverser pour les poissons et plus ceux-ci arriveront épuisés à leur destination finale (Thérien et Bourgeois, 2000).

En regard aux projets de centrales hydroélectriques, lorsqu'il est question d'impacts cumulatifs il faut considérer les autres projets hydroélectriques présents. De plus, en poussant plus loin, il est possible de vérifier l'impact d'un projet sur les rejets d'émissions de CO<sub>2</sub> total du pays, une centrale avec réservoir pouvant y contribuer. Autre aspect à ne pas négliger, est le débit réduit de la rivière. Plusieurs pans de rivières à débits réduits peuvent engendrer un impact sur le microclimat de la région, ainsi que sur la diminution des habitats. (Anderson *et al.*, 2006).

Un impact synergique, donc cumulatif associé avec le pH de l'eau concerne les poissons. Un impact synergique se produit lorsque deux effets produisent un impact plus gros que leur somme. Par exemple, lorsque  $2+2=5$ . Lorsque les eaux acides entrent en contact avec certains produits chimiques, l'impact sur les poissons est plus grave. En effet, un poisson pouvant survivre à un pH de 4,5 en temps normal, mourra à un pH de 5,5 si l'eau, déjà

acide, contient aussi peu que 0,9 mg/L de fer (Oram, s.d.). Les métaux lourds, tels que le fer, le plomb, le mercure, l'aluminium, s'accumulent sur les branchies des poissons.

## **2.7 Impacts socioéconomiques**

Étant donné leur ampleur et leur importance pour les communautés, il est impossible de passer outre certains impacts sociaux et économiques. En effet, il est essentiel de considérer les impacts sociaux et économiques d'un projet dès les prémices de celui-ci. C'est à l'étape de planification qu'une analyse des questions sociales et économiques est effectuée et les risques évalués.

De nombreux impacts sociaux négatifs peuvent émerger lors de la mise en place d'un projet hydroélectrique. Tout d'abord, des conflits sur l'utilisation des terres. En effet, des terres agricoles, des jardins familiaux et des forêts de chasse, peuvent être inondées lors du projet. Ensuite, il peut y avoir perte de sites d'héritage culturel et destruction de paysages valorisés par la communauté (IHA, 2010a). Puis, il peut apparaître une diminution de la santé publique principalement causée par l'agrandissement des zones humides (ex.: malaria et schistosomiasis). Enfin, les pertes de poissons engendrées par un projet peuvent s'avérer fatales pour les communautés qui dépendent essentiellement de cette source de nourriture.

Néanmoins des impacts sociaux positifs sont créés. Il y a création d'emplois, amélioration de l'accès à l'éducation et aux soins de santé, création d'infrastructures et de routes. De plus, dans les pays en développement la majorité des projets hydroélectriques sont multifonctionnels, c'est-à-dire qu'en plus de produire l'électricité, il procure irrigation, eau potable et font la gestion des inondations et des sécheresses (OECD and IEA, 2010b). Par contre, l'accès à ces services, incluant l'accès à l'électricité, doit être partagé de manière équitable entre les différents acteurs. La communauté locale devant être la première à obtenir l'accès à ses services, et ce, à un coût réaliste et abordable.

Une attention particulière doit aussi être portée aux groupes marginalisés, généralement on y retrouve les femmes, les communautés autochtones, les villageois pauvres et les montagnards (World Bank, 2006). Ces groupes sont les plus vulnérables au projet et par ce fait doivent être consultés et considérés à toutes les étapes du projet. Ensuite, il faut faire

attention à l'interrelation qui existe entre les impacts environnementaux et sociaux. Par exemple, les terres agricoles qui sont disponibles aux villageois peuvent être diminuées par l'érosion des berges et une augmentation du débit et du volume d'eau près des berges. Il faut s'assurer que ces interrelations aient bien été comprises et prises en compte lors du projet.

La transparence, la consultation constante de la population et une bonne communication entre les divers acteurs permettent d'établir un lien de confiance et un meilleur taux de réussite au projet (IHA, 2010a). Il est important de consulter la population et que celle-ci soit bien au fait de tout impact, qu'il soit négatif ou positif, qu'elle pourrait subir. Pour ce faire, un processus permettant une consultation régulière des acteurs concernés, incluant les groupes marginalisés et débutant avant l'élaboration du projet doit être mis en place. Celui-ci doit permettre au promoteur d'élaborer un projet qui considère, dès ses débuts, les demandes émises par les citoyens. Ce processus permet aussi de revenir devant les communautés afin de présenter l'avancement du dossier et démontrer que les recommandations émises par la population ont été mises en application. De cette manière, le processus de consultation commence avant que les problèmes n'émergent.

Voici les différents acteurs qui peuvent être liés à un projet hydroélectrique : les gouvernements, les entreprises privées, les communautés, les ONG, la société civile, la banque de développement, la banque commerciale, les donateurs bilatéraux et le gouvernement (OECD and IEA, 2010b). Les responsabilités de chacun pouvant changer le courant du projet, la communication entre les acteurs doit être maintenue tout au long de la durée de vie du projet.

Les impacts économiques, quant à eux, concernent autant l'aspect financier du projet, que ces aspects de développement économique et des potentiels de coûts engendrés par la perte de biens et services des écosystèmes.

Sans financement, un projet ne peut avoir lieu. L'investissement du projet doit avoir démontré dès l'étape de planification et tous les impacts environnementaux et sociaux doivent avoir été pris en compte afin de s'assurer que des fonds nécessaires ont été prévus pour éviter, atténuer ou compenser ces impacts. De plus, des fonds doivent être disponibles

pour gérer des risques inattendus. Pour cela, les externalités économiques doivent avoir été considérées. Les externalités sont des dommages causés par les activités d'un projet, qui affectent l'environnement ou des personnes, mais qui ne sont généralement pas reflétés dans les prix du marché (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2009) Par exemple, les coûts liés à la destruction de l'écosystème, soit les pertes agricoles engendrées par le débit réduit du cours d'eau.

Les externalités peuvent aussi représenter les biens et services des écosystèmes. Par définition, les biens et services des écosystèmes sont les bienfaits résultants d'une nature en santé; l'eau potable, l'air propre et une grande biodiversité en sont des exemples (*ibid.*). Toutes altérations se soldent en un coût pour la société. Ces coûts potentiels futurs doivent être compris dans le budget d'un projet modifiant son environnement. Avant d'entreprendre un projet, une analyse coût-bénéfice doit être entreprise en considérant toutefois les valeurs non comprises dans le marché tel que les biens et services des écosystèmes.

Les impacts économiques positifs sur la population sont généralement une plus grande facilité d'accès à l'éducation, donc un meilleur avenir pour l'emploi (OECD and IEA, 2010b). À court terme, il s'agit d'assurer une indépendance énergétique quant aux prix élevés et volatiles du pétrole (World Bank, 2006). Des emplois peuvent être générés avec l'acquisition de l'électricité, tels que des emplois directs sur les chantiers du projet ou des emplois dans des entreprises qui peuvent être attirées par cette électricité. Enfin, il doit y avoir un partage équitable des bénéfices, les premiers à être touchés négativement par le projet devraient aussi en être les premiers bénéficiaires (OECD and IEA, 2010b).

### **3 RÉVISION DES ÉTUDES D'IMPACTS**

Ce chapitre porte sur la révision d'études d'impacts sur l'environnement de projets hydroélectriques afin d'exposer les mesures proposées pour atténuer les impacts environnementaux. La première section de ce chapitre présente un tableau récapitulatif des impacts observés dans le chapitre précédent, puis décrit brièvement le rôle et l'importance d'effectuer des études d'impacts sur l'environnement avant chaque projet hydroélectrique. La deuxième section porte sur la révision des EIE de projets hydroélectriques et puis sur leurs analyses. Enfin une analyse synthèse est élaborée comportant deux tableaux sur la récurrence des mesures d'atténuation considérées dans les études d'impacts.

Il n'existe pas de système d'évaluation avant-projet sur l'efficacité des mesures appliquées. C'est pourquoi cet essai porte sur une revue de la littérature concernant les mesures d'atténuation applicables aux projets hydroélectriques et non sur l'évaluation de leur efficacité. Cet essai se base sur la récurrence des mesures proposées dans les études d'impacts analysées afin d'en évaluer leur pertinence. Pour ce faire, et afin de limiter l'étendue du travail, il a été décidé que les études d'impacts à être révisées pour cet essai doivent avoir été élaborées dans les cinq dernières années. Celles-ci, au nombre de quatre, doivent détenir une puissance inférieure à 25 MW. Trois des études proviennent de pays en développement et un cas du Québec est révisé à titre comparatif.

Le chapitre précédent a permis d'exposer les impacts environnementaux résultants d'un projet hydroélectrique. Le tableau 3.1 offre un résumé des principaux impacts répertoriés dans la littérature consultée. Ceux-ci sont classés en fonction du milieu naturel touché, soit le milieu physique et biologique.

Les impacts environnementaux, associés à toutes les phases du projet ainsi qu'à ses infrastructures permanentes ou temporaires, doivent être pris en considération dès l'étape de planification du projet. C'est d'ailleurs durant cette étape que l'EIE a lieu. Une étude d'impacts est un document visant à estimer les conséquences sur l'environnement d'un projet afin d'en atténuer ou d'en compenser les impacts. Dans les pays en développement,

l'EIE se doit d'être élaborée selon les directives du pays initiateur au projet, ainsi que du pays récepteur.

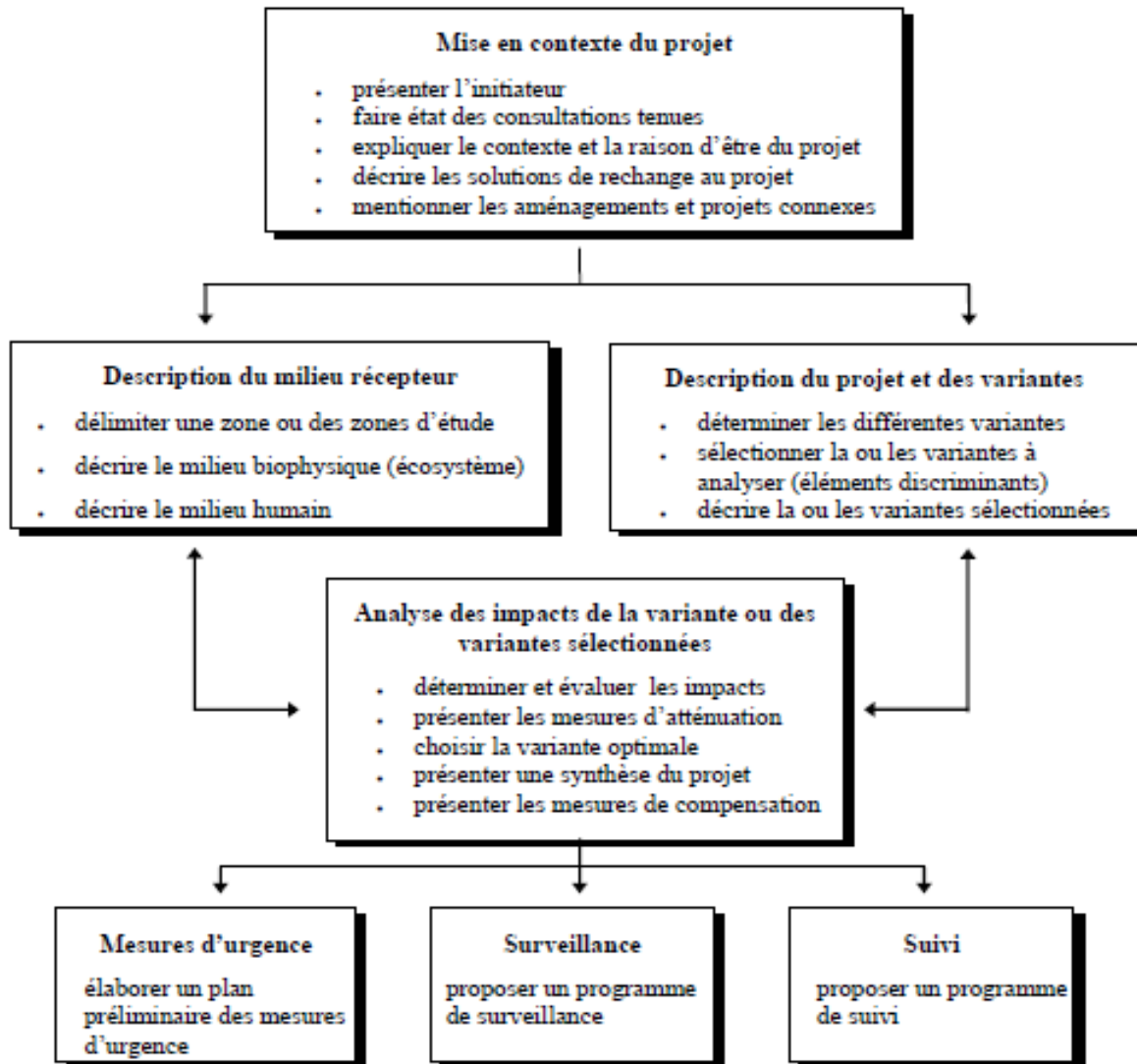
**Tableau 3.1 Récapitulatif des impacts environnementaux potentiels**

Milieu	Éléments	Impacts
Physique	Hydrologie	Évaporation
		Contamination
		Altération du débit et du volume d'eau
		Altération des paramètres physico-chimiques (↑turbidité, ↑température, ↓oxygène dissous, couleur, ↓pH, ↑nutriments)
		Stratification thermique dans le réservoir
		Sédimentation, érosion, particules en suspension et envasement
		Mauvaise qualité des eaux de ruissellement
		Modification du régime d'infiltration de l'eau dans le sol et de recharge des eaux souterraines
		Augmentation de la salinité
		Inondations non saisonnières
	Sol	Modification du territoire
		Érosion, sédimentation et envasement, assèchement
		Contamination

		Diminution de la fertilité des sols agricoles
	Air	Émanation de poussière
		Émissions de GES provenant du réservoir
	Paysage	Modification du paysage
<b>Biologique</b>	Flore et Faune aquatiques	Pertes d'habitats
		Perturbations de la nourriture et des zones de frayères
		Obstacles à la migration
		Perte de connectivité
		Perte de repères à la migration
		Introduction d'espèces étrangères
		Modification du type d'espèces présentes
		Surpêche
		Perturbations et mort
		Création d'habitats d'insectes vecteurs de maladies
		Bioaccumulation de mercure dans les poissons des réservoirs
	Prolifération de plantes aquatiques	
	Flore terrestre	Déforestation
		Augmentation de la pression sur les ressources

		Contamination
		Perte de biodiversité
	Faune terrestre et aviaire	Pertes d'habitats
		Migration
		Noyade
		Création d'habitats pour les oiseaux, les reptiles et les amphibiens
		Fragmentation du territoire
		Perturbations (interférences), bruits, stress
		Collisions sur les routes
		Diminution des sources d'eau et de nourriture
Augmentation de la chasse et du braconnage		

Par exemple, un projet financé et exécuté en partie par le gouvernement du Canada doit suivre les directives pour les études d'impacts imposées par le gouvernement canadien, dans ce cas l'ACDI, mais devra aussi suivre celles du pays hôte, si présentes. Des directives provenant d'organisations internationales peuvent aussi servir de références dans l'élaboration d'études d'impacts de projets en pays en développement. Or, dans le cas de projets hydroélectriques, la majorité des études sont effectuées selon les directives générales de la Banque Mondiale et de la Société Financière Internationale. Cette dernière est chargée des opérations de la Banque avec le secteur privé. Ainsi et malgré le fait que les lois diffèrent d'un pays à l'autre, il semble y avoir un consensus quant au cadre général à suivre pour préparer une étude d'impacts. La démarche habituellement retenue pour la réalisation d'études d'impacts est présentée dans la figure 3.1.



**Figure 3.1 Démarche d'élaboration d'une étude d'impact**

(Tiré de la directive sur les études d'impacts du MDDEP, 2010, p.5)

L'évaluation des impacts environnementaux doit faire partie intégrante de tout projet susceptible de modifier le milieu. L'identification des impacts environnementaux, mais aussi sociaux et économiques, ainsi que la mise en place de mesures pour atténuer les impacts négatifs et maximiser les positifs sont capitales pour assurer un bien-être des générations présentes et futures (IEPF, 2009).

Les études d'impacts révisées concernent, outre le cas du Québec, des projets en provenance de pays en développement et situés dans une région au climat tropical. Sur les quatre projets deux sont des cas de centrales au fil de l'eau avec réservoir, et deux sans réservoir. Les études ont été effectuées entre 2005 et 2010 et les puissances installées varient entre 2 MW et 25 MW. Les quatre pays choisis pour l'évaluation des études d'impacts sont l'Ouganda, la Jamaïque, le Kenya et enfin un cas du Québec. Pour chacune de ces études, il y aura présentation de leur situation, puis une brève description des outils d'évaluation des impacts, enfin, les mesures d'atténuation proposées seront décrites, puis certaines analysées. Les références des études d'impacts révisées dans ce chapitre ne seront présentées qu'une fois, soit dans le premier paragraphe de chaque section. Le tableau 3.2 offre un résumé des études révisées.

**Tableau 3.2 Résumé des études d'impacts sur l'environnement révisées**

Nom du projet	Pays	Puissance	Type de projet	EIE préparée par	Climat	Année de l'EIE
Nyagak	Ouganda	3,5 MW	Au fil de l'eau Avec réservoir	EMA et ECON	Tropical	2005
Laughlands great river	Jamaïque	2 MW	Au fil de l'eau Sans réservoir	BPR Énergie	Tropical	2010
Thuci	Kenya	3,6 MW	Au fil de l'eau Avec réservoir	Que Energy Limited	Tropical	2009
Rivière Sheldrake	Québec	25 MW	Au fil de l'eau Sans réservoir	Alliance environn ement	Tempéré	2008

### 3.1 Ouganda

Le projet hydroélectrique Nyagak, en Ouganda, est un projet de centrale au fil de l'eau avec réservoir d'une puissance de 3,5 MW. Le projet se situe dans un lieu dans isolé, soit non

relié à un réseau central d'électricité, et s'insère dans un climat tropical. Les principales composantes du projet sont un réservoir, un canal d'amenée de 1 km et une conduite forcée. Le réservoir aura une superficie de 15 mètres de longueur et de 9 mètres de largeur, ainsi qu'une profondeur de 12 mètres. La hauteur de chute est de 14 mètres fournissant un débit de 105m<sup>3</sup>/sec lors du passage dans les turbines (EMA et ECON, 2005).

Ce projet a vu le jour dans le contexte d'un programme d'électrification rurale financé par la Banque Mondiale. Le contexte énergétique actuel des deux villages adjacents au projet est une électricité produite à l'aide de génératrice au diesel ne produisant que quatre heures d'électricité par jour. Ce projet vise à offrir l'électricité sur une période de 24 heures par jour. Les impacts positifs en liens avec l'électrification permettront une meilleure éducation et une amélioration économique. En effet, les besoins énergétiques de la population se trouvent principalement dans le secteur agroalimentaire. Cette énergie sera utilisée pour la torréfaction du café, la transformation des grains, du coton et du thé augmentant le niveau économique des communautés vivant de ces secteurs d'activité.

### **3.1.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées**

La méthode d'évaluation de l'importance des impacts environnementaux de cette étude est la matrice de Léopold. Cette matrice est un outil pratique dans le sens qu'elle permet d'identifier les interactions entre les activités du projet et les éléments de l'environnement. Elle est composée d'une double liste de contrôle qui comprend 101 actions projetées et 86 éléments de l'environnement. Il y aura donc 8686 interactions possibles avec cette matrice. Puis, il y a estimation de l'ordre de grandeur de l'impact sur une échelle de 1 à 10. Les critères utilisés afin d'évaluer les impacts sont le degré d'altération, de conservation et les changements des couvertures végétales du système naturel.

Afin de minimiser les conséquences d'un projet sur l'environnement, les mesures d'atténuation doivent être prises en considération dès l'étape de planification. Elles sont associées avec les impacts qui ne peuvent être évités durant chacune des phases du projet. Si l'évaluation des impacts avait détectée la présence d'impacts de grande importance, des changements auraient été apportés quant à la planification et à la conception même du projet. Or, aucun impact majeur ne pouvant être atténué n'a été envisagé dans ce cas

particulier. Cela signifie que tous les impacts potentiels peuvent être minimisés ou éliminés grâce aux mesures proposées. Les impacts et mesures d'atténuation observées dans cette étude sont présentés dans les paragraphes suivants.

La principale caractéristique d'un projet hydroélectrique est qu'il modifie le territoire, et ce, particulièrement s'il s'agit d'une centrale avec réservoir. Or, le projet de centrale de Nyagak en est un avec réservoir et ce sera sa première source d'impacts, que ce soit durant la phase de construction comme dans celle d'opération. Néanmoins, étant donné que le réservoir de ce projet est relativement petit, les impacts associés seront faibles, et pourront être atténués avec les mesures appropriées.

#### **a) Modification du territoire**

Durant la phase de construction, certains impacts sont inévitables et ils concernent généralement la construction des ouvrages. C'est pourquoi les zones d'activités de construction doivent être bien délimitées dès le début de cette phase. En effet, la construction des routes et du réservoir amènera des modifications de territoires, de même que la préparation des chantiers et des sites d'excavation pour y parvenir. Afin de réduire l'érosion et la sédimentation associées à la phase des travaux, il y aura un contrôle des zones à être déboisées, l'objectif étant un minimum de perturbations sur le site. Le drainage dans les zones sensibles sera aussi contrôlé. Pour minimiser les impacts sur la biodiversité, il est proposé d'éviter, dans la mesure du possible, l'abattement de grands arbres. Sur les rives ou les pentes abruptes, s'il est nécessaire d'y enlever la végétation, ce sera effectué à la main et reboisé avec des espèces indigènes après les travaux. Enfin, dans une perspective de développement durable, des méthodes de conservation du sol et de l'eau seront présentées aux fermiers qui utilisent actuellement des pratiques agricoles augmentant les risques d'érosion. Par exemple, effectuer un meilleur terrassement des zones agricoles sur les rives escarpées. Enfin, suivant la phase de construction, toutes les zones qui auront été défrichées seront reboisées, et ce, avec des espèces indigènes.

## **b) Évaporation et débit**

La construction d'un réservoir augmente le taux d'évaporation dans les zones climatiques chaudes. La région dans laquelle se retrouve le projet connaît peu de précipitations et des températures moyennes minimum de 17,5 °C et maximum de 30 °C. En conséquence, son évaporation est élevée. Afin de la réduire, l'étude recommande de planter des arbres pour fournir de l'ombre au réservoir et de poursuivre ces plantations d'arbres en phase d'opération afin de fournir du bois de cuisson aux communautés. Si la construction se fait durant la saison sèche, l'eau utilisée durant cette étape sera prise en aval et non en amont, afin de préserver l'écosystème du bassin versant. Un drainage adéquat est aussi prévu afin d'éviter la pollution dans les digues et les déversoirs lors de travaux.

La construction du réservoir entraînera une réduction du débit entre l'entrée d'eau et le retour de celle-ci sur une distance de 2 km. Le débit réduit risque d'assécher une partie de la rivière et c'est lors de la saison sèche que cet impact sera le plus prononcé puisque durant cette saison, une plus grande section de la rivière sera déviée pour alimenter les turbines. Les impacts engendrés sont une perte d'habitats pour la faune aquatique. Toutefois, le débit de la rivière Nyagak est naturellement très fort, soit en moyenne 5,4 m<sup>3</sup>/sec, ce qui rend la vie aquatique plutôt difficile. La déviation de la rivière aura donc un faible impact sur la vie aquatique. Les effets sur la flore peuvent être l'apparition d'une végétation plus résistante aux sécheresses afin de remplacer celle déjà existante dans la zone de débit artificiellement réduit dans la zone court-circuitée. Ces derniers effets sont considérés de faible ampleur dans l'étude, étant donné la petite zone de 2 km qui serait touchée et que présentement des terres agricoles sont adjacentes à la rivière sur cette distance. Néanmoins, 10 % du débit moyen sera maintenu durant les travaux pour minimiser ces impacts. Ce chiffre provient d'une étude antérieure sur les débits minimums à respecter.

En phase d'opération, la mesure d'atténuation considérée la plus importante est le maintien de l'intégrité du régime hydrologique. Le débit naturel moyen de la rivière est de 5,4 m<sup>3</sup>/sec et peut atteindre 105 m<sup>3</sup>/sec durant la période des crues. Il convient donc de maintenir un débit se rapprochant du débit naturel dans la zone court-circuitée afin d'éviter la perte d'habitat. Pour ce faire, l'eau d'un tributaire sera déviée pour alimenter et maintenir le débit

dans la rivière. De plus, le barrage de diversion comprend un évacuateur de crues adapté à un débit de 105 m<sup>3</sup>/sec, soit construit de manière à dissiper une partie de la force de l'eau avant d'arriver dans un petit bassin diminuant le débit avant son retour dans la rivière.

Plus en aval, le débit de la rivière ne sera plus conforme avec les variations saisonnières naturelles, mais se verra plutôt modifié selon la gestion du réservoir. C'est-à-dire que le débit sera fort lorsque l'eau est relâchée du réservoir et faible lorsque celui-ci accumule l'eau pour une utilisation future dans les turbines suivant la demande en électricité. Par contre, les nombreux tributaires de la rivière ne seront pas affectés par le projet en aval de la centrale et pourront ainsi contribuer à y amener des variations de débit naturelles, maintenant les habitats du Tilapia, principal poisson de cette rivière.

### **c) Qualité de l'eau**

La source de contamination la plus probable de la rivière est la sédimentation. Le débit réduit en amont augmentera le taux de sédimentation dans le réservoir et pourra également entraîner des problèmes de turbidité, de pollution et de salinisation. Pour y remédier, des digues en étage seront construites en amont afin de prévenir l'érosion et la migration de matières en suspension. De plus, afin de diminuer la charge sédimentaire, l'emplacement des carrières sera loin de tous les cours d'eau. Un débit réduit dans le réservoir peut mener à l'eutrophisation accélérée en lien avec la biomasse en décomposition et les pesticides chimiques utilisés par les fermes autour. Des mesures seront prises pour contrer la prolifération de la jacinthe d'eau dans le réservoir. En aval du réservoir, la qualité de l'eau devrait se trouver améliorée par une diminution des sédiments qui restent coincés dans le réservoir.

En ce qui a trait à la pollution du cours d'eau, si un contrôle strict des usages d'huiles et d'essences est respecté, les risques de fuites seront réduits. Les combustibles seront entreposés à l'intérieur d'un réservoir à double paroi pour éviter les fuites puis placés dans un endroit verrouillé, lorsque non utilisés. Tous les changements d'huiles et de carburants seront effectués au-dessus d'un drain qui s'écoulera dans un réservoir temporaire. De plus, toutes activités présentant un risque de contamination, par exemple celles de réparation de véhicules et de construction d'habitations temporaires, seront effectuées loin des cours

d'eau. Puis, à la fin de la phase de construction, les sites de campements seront démantelés avec la plus grande attention concernant les surfaces de béton, les carrières à ciel ouvert, les fosses septiques et tous les autres matériaux non biodégradables. Par exemple, il y aura un traitement adéquat des eaux usées avant leur renvoi dans l'environnement.

Des données concernant la qualité de l'eau sont cruciales pour le maintien de celle-ci. Ces mesures comprennent le suivi de paramètres physico-chimiques de l'eau, telles que le taux d'oxygène dissous, la température, le pH, la turbidité, la couleur, les matériaux solides en suspensions, les nutriments, les huiles et les graisses. Ce suivi des paramètres se concentrera sur tous les changements significatifs observés en comparaison avec les paramètres d'avant-projet. Cependant, aucune donnée n'a été prise avant la planification de ce projet. Les échantillonnages débuteront avant la phase de construction afin d'établir la ligne de référence de ces paramètres. Puis seront effectués tout le long de la durée de vie du projet, et ce, à deux emplacements, soit à 0,5 km en amont de la centrale et à 2,5 km en aval. Ces emplacements ont été retenus étant donné leur risque probable de contamination.

#### **d) Déchets solides**

Toute construction de projet génère des déchets. Pour les déchets provenant de coupes de bois, la majorité sera utilisée pour les remblais. Les autres types de déchets provenant de la construction seront déposés dans un endroit désigné jusqu'à la collecte de transport qui les acheminera dans un endroit adéquat, déterminé avec le consentement du ministère de l'Environnement, pour leur élimination.

#### **e) Carrières**

Lors de l'utilisation des carrières, la végétation naturelle qui peut être laissée intacte le sera afin de faciliter le reboisement à la fin de l'étape de construction ainsi que pour maintenir l'habitat de la faune durant les activités. Après les travaux, les zones de carrières seront transformées soit en zone agricole, soit en développement d'infrastructures sociales ou replantées, suivant les demandes de la population. Au minimum, les carrières seront recouvertes de 800 mm de terres nivelées en terrasses afin de fournir un système d'irrigation par gravité.

## **f) Bruits et qualité de l'air**

Peu de bruits intenses seront produits durant la phase de construction. Les bruits entendus proviendront de l'entretien de la machinerie et des véhicules, et de l'utilisation temporaire de générateurs. Afin d'assurer que le bruit est maintenu au minimum, les véhicules et la machinerie seront vérifiés régulièrement. Une attention particulière sera accordée à la réparation des systèmes d'échappement et des silencieux. Les activités émettant du bruit de manières intermittentes, telles que le forage et le dynamitage seront restreintes aux heures de jour.

La qualité de l'air sera diminuée sur de courtes périodes de temps, soit lors des activités d'excavation et de déplacement de terre et lors du passage des véhicules. Afin de limiter la poussière des véhicules lourds circulants sur les routes, ces dernières seront arrosées à l'aide d'un camion-citerne présent en permanence durant les activités de construction. L'arrosage se fera au jour le jour selon les conditions météorologiques. De plus, les véhicules transportant des matériaux légers et volatiles seront couverts lors de leurs déplacements.

## **g) Maladies**

Puisque l'inondation du territoire crée un habitat idéal pour les parasites et les insectes vecteurs de maladies, telles que la Schistosomiase et la malaria; il y aura collecte de données concernant l'augmentation de ces maladies. Ces données seront récoltées avant la phase de construction du projet, puis tout au long de la durée de vie de celui-ci. Durant l'étape d'opération, il y aura une continuelle surveillance des habitats et des vecteurs de maladies. Les vecteurs suivants seront surveillés; les escargots *Bulimus* et les macro-invertébrés qui forment leurs habitats, les moustiques et leurs habitats, les populations de glossines et enfin, les endroits propices au *Simulium*, tels que l'évacuateur de crues. S'il est observé une augmentation dans leur nombre, des mesures seront prises, telles que l'utilisation d'insecticides et l'élimination de leurs habitats.

### **3.1.2 Analyse des mesures d'atténuation**

Un point fort de cette étude est la division claire qui est faite entre les impacts et les mesures affectant la phase de construction et celles de la phase d'opération. De plus, il est facile de comprendre les liens entre les impacts et les mesures d'atténuation puisqu'ils sont présentés dans le même chapitre, contrairement à la majorité des autres études. Un impact est d'abord décrit puis la mesure lui étant associée est présentée sur le champ.

Toutefois, seulement certaines limites concernant les impacts et leurs mesures d'atténuation sont présentes dans cette étude; il n'est aucunement question d'impacts cumulatifs pouvant survenir sur la rivière. Certes, les usages présents de la communauté sont décrits, mais il n'est pas possible de savoir si d'autres projets, pouvant altérer l'environnement, sont envisagés sur cette même rivière. De plus, il n'est aucunement question des différents usages de l'eau effectués sur le bassin versant.

Ensuite, il est mentionné que la rivière est bordée de terres agricoles et que le reboisement des rives n'est, en ce sens, pas nécessaire. Or, en région agricole, la végétation entourant un cours d'eau est indispensable au maintien de l'intégrité de celui-ci. En effet, les plantes aident à la filtration et à capter les nutriments, par exemple le phosphate et le nitrate provenant justement des activités agricoles. En plus, la végétation aide à stabiliser les berges et ainsi éviter l'érosion (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008). Il est évoqué dans l'étude qu'il pourrait survenir un changement de végétation sur les berges, passant des plantes actuelles vers celles mieux adaptées aux sécheresses. Or aucune mesure n'est considérée puisqu'il s'agit de plantes agricoles. En outre, un débit réduit, entraînant de la sécheresse, risque aussi de nuire aux plantes agricoles, il devrait donc y avoir une mesure pour réduire cet impact. Enfin, l'étude vante une qualité d'eau supérieure en aval, étant donné le blocage des sédiments en amont près du barrage de dérivation. Or, il est important de maintenir un niveau de sédiments, en aval du barrage, semblable à celui de l'état naturel de la rivière. Les sédiments permettent de former des substrats alluviaux qui permettent l'existence d'habitats adaptés à la faune aquatique (Siegfried, 2008).

Une mesure qui n'est pas suffisamment expliquée dans le texte concerne les activités de construction durant la saison sèche; il est dit que l'eau utilisée à cette étape sera prise en

aval et non en amont, afin de préserver l'écosystème du bassin versant. Par contre, il n'est pas clair que l'eau prise en amont soit plus néfaste pour l'environnement à cette période de l'année.

Les mesures prévues pour diminuer les impacts en lien avec les insectes vecteurs de maladies peuvent représenter un danger pour l'environnement. Par exemple, il est suggéré d'utiliser des insecticides sans préciser la possibilité de contamination de l'eau et de l'environnement lors de leur utilisation. De plus, il est dit que les habitats des insectes seront enlevés en cas d'augmentation du nombre de victimes de malaria. Or, le retrait d'un habitat est en soi une destruction de l'environnement et une diminution de la biodiversité. Ces mesures devront être mieux encadrées lors de leur réalisation.

### **3.2 Jamaïque**

La centrale hydroélectrique de Laughland en Jamaïque est un projet de centrale au fil de l'eau sans réservoir, ayant une puissance de 2 MW. Ce projet se situe dans un climat tropical humide. Aujourd'hui, la grande majorité de l'énergie produite en Jamaïque provient de centrales thermiques au gaz. Or, dans un contexte de hausse des prix du pétrole, le pays souhaite augmenter la contribution des énergies renouvelables dans son cartable énergétique. Afin d'y parvenir, le gouvernement encourage fortement le secteur privé à investir (BPR, 2010).

#### **3.2.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées**

La méthodologie utilisée pour faire le recensement, puis l'évaluation des impacts environnementaux consiste en une collecte de données sur le terrain par des échantillonnages, des entrevues, des observations, des groupes de discussion et une revue de la littérature.

Afin de réduire les impacts qui n'ont pu être évités lors de la construction du projet, l'étude propose les mesures d'atténuation suivantes.

### **a) Hydrologie et sédimentation**

Lors de la construction d'un projet hydroélectrique, les modifications du terrain peuvent amener à une perte de connectivité entre les différents cours d'eau. Afin de diminuer les impacts sur les eaux de ruissellement, une attention doit être portée à la construction de la conduite forcée afin qu'elle n'entrave pas à l'écoulement naturel des eaux dans les ravins et les ruisseaux. La conduite forcée sera souterraine, mais durant sa construction elle sera à aire ouverte et l'eau aura tendance à rejoindre la conduite plutôt que de suivre son écoulement naturel vers la rivière. Le sol du site sera relevé durant la construction afin de rétablir le drainage naturel. Si ce n'est pas suffisant, il y aura installation de drainage artificiel. Ce projet étant situé en zone estuaire, des problèmes de salinité de l'eau peuvent surgir. L'eau acide de la région peut dissoudre le substrat rocheux qui est composé de calcaire, ce qui rend l'eau plus salée. Il est important de minimiser l'infiltration de l'eau dans le sol afin de diminuer le processus de dissolution. L'étude suggère l'installation d'une géomembrane en amont du barrage ou l'injection de ciment dans la roche. Une quantité élevée de sédiments peut apparaître dans l'eau lors de la construction d'ouvrage dans le cours d'eau, il faut donc minimiser l'enlèvement de la végétation en zone riveraine, particulièrement dans les régions de fortes pentes. En effet, la végétation filtre les sédiments qui circulent dans l'eau.

### **b) Qualité de l'eau**

Une bonne qualité de l'eau est essentielle au maintien des organismes vivants c'est pourquoi des mesures sont instaurées pour la conserver. Tout d'abord, la gestion des eaux usées doit se faire proprement et l'installation du nombre suffisant de toilettes portables pour tous les employés est la première mesure à appliquer. De plus, comme expliqué auparavant une trop grande charge sédimentaire est source de pollution des cours d'eau et engendre des impacts négatifs sur la vie aquatique. Pour y remédier, la fréquence et la période de l'année de décharge de sédiments dans la rivière seront évaluées. Il est important d'éviter la vidange de sédiments durant les périodes de migration et de reproduction des poissons.

Les déchets solides de construction, sources de contamination de l'eau, seront éliminés dans un endroit approprié. Cet endroit doit se trouver à au moins 50 mètres du cours d'eau. Les sites d'entretien ou de réparation de la machinerie seront, eux aussi, situés à plus de 50 mètres de tous les cours d'eau. Les déchets huileux seront recyclés ou vendus à des entrepreneurs qui utiliseront cette huile à d'autres fins. De plus, il y aura une surveillance régulière sur l'utilisation et l'élimination et la collecte des matières toxiques.

Enfin, il y aura un suivi régulier, c'est-à-dire que des échantillonnages mensuels seront effectués au cours de la période des travaux à trois endroits : soit en amont de l'entrée d'eau, dans la zone de débit réduit et en aval de la centrale. L'eau sera testée pour les paramètres suivants : pH, température, oxygène dissous, conductivité, turbidité et demande en oxygène biochimique. Si une dégradation marquée est observée dans la qualité de l'eau, soit par des variations extrêmes d'un mois à l'autre, soit en dépassant les valeurs reconnues acceptables, les sources de contaminations seront trouvées et des mesures prises immédiatement pour remédier à la situation.

### **c) Érosion**

L'érosion des sols est un phénomène de haute préoccupation lors de projets hydroélectriques, c'est pourquoi les études présentent toutes un chapitre sur le sujet. Dans cette étude, il est prévu d'identifier dès la planification, les sols à danger d'érosion afin d'y éviter, dans la mesure du possible, toute construction. Lorsque nécessaires, des murs de soutien seront installés dans les endroits à risques, tels que les fortes pentes. De la végétation sera plantée afin de stabiliser le sol près des ouvrages, plus particulièrement près de la conduite forcée. Enfin, pour prévenir l'érosion causée par le débit de l'eau à la sortie du canal de fuite, les berges seront stabilisées.

### **d) Végétation**

L'intégrité écologique doit être maintenue dans la mesure du possible lors d'un projet. Pour ce faire, cette étude propose de conserver les milieux humides, les arbres matures ou ceux possédant une grande valeur auprès de la population, ainsi que la végétation des berges. Pour conserver les ressources forestières, la zone du projet sera clôturée et il sera interdit

aux employés de couper des arbres. À la fin des travaux, les aires de construction seront reboisées avec des espèces indigènes et aucun déversement de déchets toxiques ne sera autorisé sur les terres avoisinantes.

La végétation a été prise en compte dans la conception même du projet. Par exemple, la conduite forcée sera constituée de polyéthylène de haute densité. Ce choix a été fait considérant un rendement supérieur pour un diamètre plus petit. Un faible diamètre minimise l'élimination de la végétation.

#### **e) Faune aquatique**

Lors des activités de construction, tout sera fait pour éviter des perturbations majeures des habitats, du débit et des zones de frayères. De plus, tous les matériaux seront entreposés et les déchets jetés loin du cours d'eau. Durant la construction et l'opération de la centrale, un débit minimum réservé sera maintenu dans la zone court-circuitée de la rivière. Afin de préserver l'habitat des populations de poissons présents dans le cours d'eau, un débit  $0,11\text{m}^3/\text{sec}$  a été identifié par l'Autorité des ressources en eau de la Jamaïque. C'est pourquoi une conduite forcée sera érigée dans le barrage de diversion pour laisser passer une certaine quantité d'eau, et ce, de manière constante.

Des mesures sont proposées afin d'aider les poissons à franchir la centrale. Par exemple, des lumières seront installées sous l'eau de manière à attirer les larves dans la passe à poissons plutôt que dans l'entrée d'eau menant à la turbine. D'autres lumières situées en aval, cette fois, repousseront de la fuite d'eau les poissons essayant d'y entrer pour remonter la rivière dans un objectif de reproduction. Ces derniers seront dirigés vers la passe à poissons. De plus, l'entretien annuel de la centrale, qui sous-entend l'arrêt des turbines, se fera durant la période de migration des poissons, afin de leur laisser une meilleure chance de franchir l'obstacle qu'est la centrale.

Enfin, la faune aquatique étant très sensible à tout changement brusque de température de l'eau, la conduite forcée sera sous terre, donc à l'abri du soleil, afin de s'assurer que sa température reste inchangée entre son entrée dans la conduite jusqu'à son rejet plus en aval.

## **f) Faune terrestre**

Pour minimiser les perturbations sur la faune, les activités de construction auront lieu de jour seulement, puisque normalement il y a plus de bruits et d'activités le jour que la nuit; les animaux y sont habitués. De plus, les arbres seront maintenus ou replantés après les travaux pour attirer la faune et les oiseaux.

### **3.2.2 Analyse des mesures d'atténuation**

Cette étude est bien faite dans son ensemble, mais manque parfois de précision sur les mesures d'atténuation et sur certains détails de la méthodologie. Par exemple, il est noté que des échantillonnages mensuels seront effectués afin d'avoir un bon suivi de la qualité de l'eau durant les travaux. Il est vrai que récolter des données durant la phase des travaux est essentiel au suivi, néanmoins l'échantillonnage d'avant travaux l'est tout autant. Les données d'avant travaux permettent de créer un état de référence de l'écosystème avant l'insertion du projet qui pourra servir d'état de comparaison avec les données futures. Concernant les paramètres physico-chimiques, des échantillonnages doivent être pris avant le début de la construction, et ce, à différentes périodes de l'année. Durant le suivi effectué lors des travaux, il est important de comparer des données en provenance de même période de l'année. Par exemple, il ne faut pas comparer des échantillons d'avant les travaux, qui auraient été prélevés en période de pluie, avec des échantillons pendant les travaux, qui eux proviendraient d'une période de sécheresse. Or, cette étude ne prévoit qu'un seul échantillonnage pour créer son état de référence, ce n'est pas suffisant.

D'un côté plus positif, certaines décisions concernant les composantes de la centrale ont été effectuées dans une perspective environnementale. Par exemple, le matériau choisi pour la conduite forcée est le polyéthylène de haute densité. Ce choix a été fait considérant un rendement supérieur pour un diamètre plus petit, minimisant l'élimination de la végétation pour sa construction. Concernant le type de turbine, le choix s'est arrêté sur une turbine Turgo, puisque contrairement à la Francis, il est plus facile de gérer le débit idéal pour l'environnement. En effet, la turbine Turgo est plus flexible et s'adapte facilement aux variations de débits. Cela permet de maintenir le débit naturel de la rivière, ainsi que ses fluctuations saisonnières, diminuant l'impact négatif en lien avec les modifications

artificielles du débit sur l'écosystème. Enfin, le choix de ne pas construire de réservoir est expliqué et provient du type de sol présent dans la région. Le sol karstique de la région facilite l'infiltration de l'eau, ainsi la pression engendrée par un réservoir aurait entraîné une trop grande infiltration de l'eau dans le sol provoquant une dissolution des minéraux et une augmentation de la salinisation des eaux souterraines. Toutefois, sans réservoir, il est impossible de stocker l'eau d'une saison pluvieuse et de la relâcher dans les turbines lors d'une saison plus sèche afin de maintenir une production énergétique constante, ce qui diminue l'efficacité de cette centrale.

### **3.3 Kenya**

Cette EIE, préparée pour le gouvernement du Kenya, présente le projet de PPH de Thuci situé dans la région de Nithi. Cette centrale au fil de l'eau avec réservoir aura une puissance de 3,6 MW et une hauteur de chute de 150 mètres. Le débit résiduel de la zone court-circuitée de la rivière sera de  $3\text{m}^3/\text{sec}$  (Que Energy Limited, 2009).

Au Kenya, 68 % de l'énergie est produite avec le charbon de bois, entraînant la déforestation massive du pays et de lourdes conséquences sur l'environnement. En région rurale, où la majorité des Kenyans vivent, seulement 4 % de la population a accès à l'électricité. Comme expliqué dans le chapitre un, l'utilisation excessive du charbon de bois dans des habitations mal ventilées contribue aux maladies respiratoires.

C'est dans ce contexte que le gouvernement du Kenya souhaite voir l'apparition de projets d'énergies renouvelables. Pour ce faire, il encourage les investissements privés. Dans le cas présent, le PPH a été privilégié pour ses faibles impacts sur l'environnement, sa possibilité de couplage avec des énergies renouvelables intermittentes (vent et solaire) et sa capacité de fournir de l'énergie en périodes de pointe. En outre, l'hydroélectricité possède un intérêt multifonctionnel, puisqu'elle peut être jumelée à l'irrigation des terres agricoles et contrôler les inondations. Enfin, ce projet hydroélectrique a été choisi pour ses capacités à fournir de l'électricité dans les régions éloignées des grands centres.

Le but du projet hydroélectrique de Thuci est l'électrification d'une usine de thé et par la même occasion, des communautés avoisinantes. La région n'est actuellement pas électrifiée

et l'usine de thé utilise le charbon de bois dans ses chaudières, entraînant le déboisement de la région. Il y a quelque temps, l'usine employait du carburant fossile, mais dû à l'augmentation des prix du pétrole, l'usine a changé pour le charbon de bois.

### **3.3.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées :**

La méthodologie employée pour l'identification des impacts consiste en une revue de la littérature, des observations et collectes de données sur le terrain, des questionnaires et entrevues avec la population et des consultations publiques. Une fois les impacts potentiels identifiés, des échanges de données avec les autorités locales ont eu lieu afin d'obtenir confirmation de ces impacts. La plus grande préoccupation ressortie de ce processus concerne les impacts liés au débit d'eau en aval de la centrale ainsi qu'aux modifications du drainage naturel.

#### **a) Régime hydrologique et qualité de l'eau**

L'impact prédominant est le changement de débit dû à la création du réservoir. Le débit sera plus faible et le volume d'eau plus élevé en amont, en aval le débit sera réduit. Les impacts appréhendés sont une altération de la température, voire une stratification thermique dans le réservoir, une baisse en oxygène dissous, et une augmentation de la turbidité et des matières en suspension suite à l'inondation. De plus, les travaux qui comprennent l'excavation et le dynamitage risquent d'augmenter la charge sédimentaire de la rivière durant la phase de construction. Afin d'atténuer les impacts en liens avec la diminution du débit en aval, 30 % du débit naturel sera maintenu comme indiqué dans le décret sur l'eau de 2007. De plus, le long des berges la plantation de végétation sera encouragée afin d'améliorer le captage de l'eau.

#### **b) Eau de ruissellement**

Les modifications de terrains associées aux travaux peuvent changer le processus de drainage naturel et les eaux d'excavation à forte charge sédimentaire peuvent être entraînées vers le cours d'eau lors de fortes pluies. Une dénivellation et le drainage adéquat

seront effectués, ainsi que les végétaux plantés afin de contrôler et de filtrer l'eau de ruissellement qui se rend à la rivière.

### **c) Envasement**

La création du réservoir dans un pays chaud amplifie l'évaporation de l'eau ce qui augmente les risques liés à l'envasement du réservoir. Pour atténuer cette situation, le désenvasement sera effectué sur une base régulière et des trappes à sédiments seront construites. Enfin, les eaux pluviales, qui amènent avec elles une charge élevée en sédiments, seront déviées du réservoir afin d'en réduire l'envasement.

### **d) Érosion du sol**

La déforestation des arbres et autres végétaux pour la construction des routes et des bâtiments augmente la fragilité du sol face aux vents et aux fortes pluies, élevant son risque d'érosion. Pour diminuer ce risque, les routes et emplacements de travaux seront construits dans les lieux appropriés et des espèces végétales indigènes plantées en bordure. Les routes seront construites étroites, dans la mesure du possible, et les sentiers protégés avec des roches et des herbes ou toute autre mesure pour prévenir l'érosion. De plus, l'utilisation de machineries lourdes sera évitée et il y aura construction de remblais autour de la centrale.

### **e) Diversité biologique**

Lors des activités de construction, il y aura érosion du sol, destruction de la flore et perturbations sur la faune. Par exemple, il pourrait survenir un plus haut taux de mortalité chez certaines espèces de petits animaux puisque la végétation qui constitue leur habitat sera enlevée. Afin de remédier à la situation, les mesures suivantes sont proposées. Premièrement, tous les arbres qui seront enlevés durant la construction du canal seront replantés par la suite. Les espèces à être reboisées seront les mêmes que celles ayant été enlevées. Une attention particulière sera portée au *Prunus Africana*, une espèce en danger. De plus, le reboisement et le développement de pépinières seront encouragés auprès de la population pour contrer les effets des changements climatiques.

#### **f) Qualité de l'air**

Les routes et les sites de carrières seront arrosés afin de réduire l'émanation de poussière et des dispositifs appropriés seront installés afin d'éviter le relâchement de fumées toxiques dans l'atmosphère.

#### **g) Déchets**

Les déchets solides et liquides, tels que les sacs de plastique, les papiers, le verre brisé, les restants de nourriture, les déchets végétaux, les déchets humains, les eaux usées et autres, seront pris en charge. Par exemple, des poubelles seront placées aux endroits stratégiques et triées en déchets biodégradables et non biodégradables. Les déchets solides, comme le papier, le verre brisé et les sacs de plastique seront recyclés, alors que les autres déchets seront brûlés ou incorporés au compost. Les déchets végétaux seront utilisés comme engrais dans le jardin afin d'augmenter la fertilité du sol. Les eaux usées se verront jetées dans le système de traitement d'eau. Enfin, des toilettes sèches pour les employés et les visiteurs seront installées loin du cours d'eau.

#### **h) Fuites d'huiles et de carburants**

Dans le cas de fuites d'huiles, de pétrole ou de diesel, le terrain contaminé sera traité immédiatement. Les contaminants provenant de la machinerie seront éliminés de manière à ne pas nuire à l'environnement et les véhicules révisés avant utilisation afin de s'assurer qu'ils sont en bon état. Enfin, l'emplacement du réservoir de carburant se fera loin des activités régulières afin de diminuer les risques de déversements accidentels.

### **3.3.2 Analyse des mesures d'atténuation**

Cette étude ne décrit que très brièvement ses mesures d'atténuation et présente de nombreux impacts environnementaux sans expliquer de quelles manières ils seront évités, atténués ou compensés. Par exemple, concernant les mesures sur la qualité de l'air, il est dit que pour respecter la loi sur les émanations de fumées toxiques dans l'atmosphère, des dispositifs appropriés seront installés. Toutefois, il n'est aucunement question du détail de ces dispositifs et des activités de chantiers qui en auront besoin. Il peut être déduit, que ces

mesures s'appliqueront aux émanations en provenance des véhicules. De plus, peu de mesures d'atténuation sont prévues pour diminuer les impacts sur la faune, alors que dans la section impacts de l'EIE, certains concernent la faune aquatique. D'autres impacts ne sont pas mentionnés. Par exemple, le projet s'insérant dans un milieu tropical humide, il devrait donc y avoir mention de mesures concernant la possibilité de maladies telle que la malaria. En effet, la création d'un réservoir, aussi petit soit-il, entraîne la formation d'habitats propices aux insectes vecteurs de la maladie.

Enfin, aucune mention n'est faite sur les impacts cumulatifs et donc sur les mesures entreprises pour les surveiller ou les atténuer. Il est toutefois dit que les communautés de la région utilisent l'eau à des fins domestiques et agricoles. Ainsi, la diminution du débit en aval pourrait les affecter, ce qui ne semble pas être pris en considération dans cette étude.

### **3.4 Cas du Québec**

Une étude d'impacts d'un projet québécois est révisée dans cette section afin d'effectuer une analyse comparative des mesures d'atténuation proposées dans les études en provenance de pays en développement (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008).

La centrale hydroélectrique de Sheldrake, située dans la région de Minganie au Québec, est une centrale au fil de l'eau sans réservoir qui possède une puissance de 25 MW. Sa raison d'être est de pallier à l'accroissement de la demande énergétique de la province et de développer l'économie locale de la région. La hauteur de chute du projet est de 67 mètres pour un débit maximal de  $42\text{m}^3/\text{sec}$ .

#### **3.4.1 Outils d'évaluation utilisés et mesures d'atténuation proposées :**

Les critères d'évaluation des impacts de cette étude sont la valeur relative de la composante environnementale, l'intensité de l'impact, son étendue et sa durée. L'identification des impacts potentiels du projet est présentée sous forme de matrice ayant d'un côté les composantes du milieu et de l'autre les sources d'impacts.

### **a) Débit**

Afin de construire les ouvrages, l'eau de la rivière devra être déviée temporairement, asséchant une partie de celle-ci. Un débit réservé écologique de 0,3 m<sup>3</sup>/sec sera maintenu dans la zone court-circuitée, c'est-à-dire entre la prise d'eau et le canal de fuite. Ce débit est nécessaire afin de préserver l'habitat de l'omble de fontaine. Un débit réservé écologique se définit au Québec comme étant le débit minimum requis pour maintenir les habitats du poisson (Faune et Parcs Québec, 1999). De plus, plusieurs ouvrages de contrôle seront installés afin de conserver les superficies mouillées dans les zones les plus importantes.

### **b) Qualité de l'eau**

Lors de la construction, la qualité de l'eau peut être modifiée en aval des ouvrages. Avec une hausse de matières en suspensions, de la turbidité et de la conductivité pourraient être occasionnées. Les paramètres physico-chimiques suivants seront mesurés fréquemment, soit la température, le pH, la conductivité et l'oxygène dissous. Afin de diminuer ces impacts, une station de pompage des eaux d'excavation acheminera celles-ci vers un bassin de sédimentation. Lors de l'utilisation de batardeaux, ceux-ci seront constitués de matériaux granulaires et non de particules fines afin d'éviter leurs dispersions dans l'eau. Pour ne pas contaminer l'eau, tout déchet provenant du bétonnage sera lavé à plus de 30 mètres d'un cours d'eau. La circulation des véhicules devra se faire à l'intérieur de zones bien délimitées.

Les eaux de ruissellement et de drainage seront orientées vers les zones de végétation pour favoriser la filtration naturelle. Enfin, les déchets ligneux, les matériaux fins de construction, par exemple l'argile, le sable et le béton, seront entreposés à plus de 30 mètres des cours d'eau. Les pleins d'essence et réparations mécaniques seront aussi effectués dans un endroit consigné à plus de 30 mètres d'un cours d'eau et un système d'urgence mis en place dans les cas de déversement. Enfin, un équipement sanitaire adéquat pour les employés sera installé.

### **c) Érosion des berges**

Le projet nécessitant le déboisement des rives, une limite a été instaurée pour que seuls les premiers 500 mètres soient touchés. À la fin des travaux, les végétaux seront replantés. De plus, le sol à risque d'érosion sera stabilisé à l'aide de barrières à sédiments et les pentes, avec la végétation. L'étude propose de s'assurer en tout temps que le niveau de l'eau en amont ne dépasse pas le niveau des crues printanières actuellement vécues. Si cela est respecté, le projet n'amplifiera pas le processus d'érosion naturel.

### **d) Végétation terrestre**

La déforestation pour la construction des routes et des aires de travaux engendrera une perte d'habitats fauniques et aviaires. Avant le début des travaux, ces aires seront clairement identifiées afin de minimiser la perte de végétation. À la fin des travaux, ces aires seront couvertes de sol arable pour permettre un meilleur recouvrement végétal. Pour conserver la biodiversité, les routes d'accès éviteront tous les milieux humides et les cours d'eau intermittents.

### **e) Faune aquatique**

Durant la construction des ouvrages, les activités effectuées pourront augmenter les sédiments et les matériaux en suspension pouvant blesser les poissons. Pour atténuer ces impacts, les matériaux utilisés pour les batardeaux seront exempts de particules fines et recouverts d'une géomembrane. Par contre, ces mesures ne garantissent pas une étanchéité complète et des particules fines peuvent apparaître dans l'eau lors de leur mise en place et de leur retrait. C'est pourquoi tous les matériaux seront récupérés à la fin des travaux. Pour le dynamitage, les poissons seront effrayés avant l'enclenchement de l'activité pour qu'ils puissent fuir la zone et ainsi éviter les blessures.

Une faible partie de la rivière devra être asséchée pendant la construction du canal de fuite, la rendant temporairement inutilisable pour les poissons. Afin de diminuer l'impact, les travaux seront effectués l'hiver, soit dans une période de faible activité des poissons. En temps d'exploitation de la centrale, des grilles fines empêcheront les poissons de pénétrer

dans la prise d'eau et le débit réduit à cet endroit leur permettra de s'en éloigner. De plus, l'orientation des grilles dirigera les poissons vers la passe qu'ils pourront emprunter pour effectuer leur dévalaison. Pour remonter, les saumons seront tentés d'emprunter le canal de fuite. Ils pourront facilement se rendre jusqu'aux turbines, par contre à cet endroit, les roues des turbines seront situées au-dessus du niveau, soit entre 0,9 et 1,9 mètre décourageant les saumons qui voudraient s'y aventurer. De plus, l'absence de zone de repos dans le canal de fuite pourrait dissuader les saumons avant leurs arrivées aux turbines. En amont, l'augmentation du volume d'eau offrira plus d'habitats pour la faune aquatique. Enfin, les aires d'habitats du poisson seront conservées dans la zone intermédiaire.

#### **f) Faune aviaire**

Afin de diminuer l'impact de la perte d'habitats pour les oiseaux causée par la déforestation, les activités de construction auront lieu à l'automne et l'hiver, soit en dehors de la période de nidification. Les aires de travaux seront reboisées à la fin de ceux-ci.

### **3.4.2 Analyse des mesures d'atténuation**

Ce qui ressort de l'étude du Québec est l'intégration des impacts cumulatifs et de l'importance de les considérer dès l'élaboration du projet. Ensuite, l'état de référence, c'est-à-dire les conditions actuelles du milieu naturel avant la réalisation du projet, est bien défini. Cela est rendu possible grâce à la grande documentation déjà présente sur l'environnement québécois, ainsi qu'aux visites terrains supplémentaires.

### **3.5 Informations et analyses complémentaires concernant les études**

Suite à la révision effectuée sur chacune des études, il est possible de voir certaines similitudes quant aux éléments présents ou absents dans ces études d'impacts des pays en développement. Cette section analyse l'ensemble des études d'impacts révisées et amène des notions complémentaires.

### **3.5.1 Impacts cumulatifs**

Tout d'abord, il n'y a aucune mention des impacts cumulatifs liés aux projets ou à la région réceptrice aux projets. Seule l'étude du Québec prévoit une section sur le sujet. Pourtant, tel qu'expliqué dans le chapitre deux de cet essai, il est important de prendre en compte les impacts cumulatifs afin de maintenir l'intégrité future d'un écosystème et ainsi incorporer le projet dans une perspective de développement durable. Les divers usages des cours d'eau sont peu détaillés ce qui rend impossible la déduction d'impacts cumulatifs potentiels. Ensuite, toutes les études, effectuées sur des pays en développement, manquent de cartes ou de précisions sur les endroits présentant une plus grande fragilité, par exemple les endroits à risque d'érosion et les milieux humides. Il est important que ces zones se retrouvent dans les études afin d'éviter, lors de la construction, d'y effectuer des travaux.

### **3.5.2 Manque d'états de références et méthodologie incomplète**

En second lieu, il y a un grand manque d'états de références dans les études d'impacts des pays en développement. Cela est probablement dû aux difficultés monétaires et techniques pour recueillir des données fiables dans ces pays (World Bank, 2009). En comparaison, l'état des références est déjà bien établi dans l'EIE du Québec. Néanmoins, certaines études planifient d'effectuer des collectes de données avant la phase de construction afin d'établir cet état de référence manquant. Une autre tendance observée dans les études des pays en développement est la grande proportion que prennent l'évaluation et l'atténuation des impacts socio-économiques. Cette tendance reflète peut-être la situation socio-économique difficile vécue dans ces pays et par le fait, les exigences marquées des pays ou organismes financiers aux projets.

Parfois, la méthodologie utilisée dans l'évaluation des impacts n'est que sommairement décrite, ce qui rend très subjectifs les impacts et diminue par le fait même la pertinence de l'EIE. En plus de cela, très peu d'indicateurs sont énoncés afin d'expliquer de quelle manière les données de références ont été récoltées. L'importance d'indicateurs est encore plus grande lorsqu'il s'agira d'analyser l'efficacité des mesures lors de suivi environnemental.

### **3.5.3 Autres aspects manquants**

D'autres impacts sont identifiés dans les études, mais l'importance leur étant accordée est si faible qu'aucune mesure n'est présentée pour les atténuer. Par exemple, l'aspect de la biodiversité est très peu élaboré. Il est connu et dit dans les études avec réservoir que la création de ce dernier entraînera une modification du territoire, entraînant la perte de milieu terrestre au profit de milieu aquatique. Or, cela signifie que des espèces aquatiques vont prendre la place des espèces terrestres, que des amphibiens et des reptiles vont coloniser le plan d'eau. Les conséquences associées à ce changement important restent floues et sont décrites comme plutôt normales dans les études. Toutefois, c'est tout un écosystème qui se trouve ainsi transformé, les conséquences ne peuvent être que de grande ampleur.

Plusieurs impacts, généralement associés à tout projet hydroélectrique, sont omis dans ces études. Par exemple, des impacts techniques associés à une diminution de l'oxygène lors du rejet dans la rivière d'eau provenant de tuyaux. Les études parlent peu des variantes techniques, alors qu'elles sont d'une grande importance dans la minimisation des impacts sur l'environnement. Dans ce cas, un aérateur pourrait être installé avant le rejet de l'eau dans la rivière.

### **3.5.4 Besoins énergétiques et options**

Afin d'éviter les impacts environnementaux dès le début du projet il est essentiel de tenir compte des besoins énergétiques de la population, puis des options, variantes et emplacements disponibles pour la réalisation de ce projet. Tout d'abord, il faut s'assurer que la demande en énergie de la communauté est réelle car tout projet hydroélectrique, si petit soit-il, a un impact sur l'environnement. La démonstration des besoins permet de créer une balance entre les besoins réels et les divers projets de développement proposés. Or, lorsque la demande de la communauté a été démontrée, la prochaine étape consiste à décider de la grosseur de la centrale. Bien souvent, dans les pays en développement il y a surestimation de la demande en énergie (Leslie, 2008). Les besoins doivent venir de la population et être basés sur des objectifs de développement local, puis régional et national. Le contexte de pauvreté et de développement de la communauté doit être bien compris par

tous les acteurs associés au projet, particulièrement par les investisseurs puisqu'ils décideront de l'orientation du projet.

Seulement une des études aborde le sujet des variantes possibles aux composantes de la centrale dans le but de diminuer les conséquences négatives sur l'environnement. Par exemple, il aurait pu être question des types d'ouvrages afin de faire un choix éclairé pour l'environnement. Un canal d'amenée souterrain pouvant engendrer des impacts différents qu'un canal hors terre. La lecture d'études d'impacts supplémentaires permet d'observer que l'importance des conséquences environnementales diffère d'une variante à l'autre. L'emplacement du projet est la première variante à analyser, puisqu'il constitue le premier facteur d'impact. Un emplacement efficace en est un qui pour un même nombre de kWh produits, génère le moins d'impacts sur son environnement (Anderson *et al.*, 2006). Par la suite, les variantes associées à l'emplacement du point de restitution de l'eau dans la rivière doivent être analysées. Il est important de tenir compte de la disponibilité des habitats de poissons lorsque vient le moment de décider du point de restitution de l'eau dans la rivière car le débit fort associé avec le point de restitution nuit aux habitats aquatiques. L'arrivée d'eau soudaine dans la rivière augmente sa superficie, ce qui peut bouleverser les conditions hydrologiques (Faune et Parcs Québec, 1999). Le niveau d'exploitation du bief en amont est une autre variante à considérer puisqu'une différence de hauteur d'eau en amont correspond à une superficie plus élevée de zones inondées pouvant entraîner une perte d'habitats pour la faune terrestre. D'un autre côté, la perte d'habitats terrestres peut correspondre à gain d'habitats aquatiques. Il s'agit donc de cerner l'importance des impacts, par exemple en observant les espèces terrestres et aquatiques concernées et en déterminant leur niveau de vulnérabilité. En plus, si le territoire inondé s'avère être une tourbière, par exemple, les nutriments comme le phosphore peuvent enrichir l'eau et faire diminuer le taux d'oxygène dissous (Alliance Environnement et Groupe AXOR, 2008).

Il existe également des variantes dans la manière d'appliquer les mesures d'atténuation. Étant donné son importance dans l'intégrité de l'écosystème, le maintien du débit réservé écologique dans la zone court-circuitée de la rivière est une mesure prescrite par toutes les études. Cette zone se situe entre la prise d'eau et le canal de fuite, c'est la zone où le cours d'eau est dévié afin d'alimenter les turbines. Malgré la constance de cette mesure, chaque

étude présente une manière différente de la mettre en application. Tout d'abord, le projet en Ouganda propose de dévier un tributaire de façon à ce qu'il alimente cette zone en eau. Le projet de la Jamaïque, lui, suggère de percer des trous dans son barrage de dérivation pour permettre un écoulement d'eau constant dans cette portion de la rivière. Cette même étude propose aussi d'installer des drains dans la conduite forcée pour permettre un faible écoulement de l'eau dans la zone court-circuitée. L'étude du Québec, elle, prévoit l'installation de divers ouvrages de contrôle pour conserver le débit.

### **3.5.5 Difficultés supplémentaires**

Certaines difficultés sont communes à l'élaboration de EIE dans les pays en développement. Les données environnementales sont généralement difficiles à obtenir et l'application des mesures d'atténuation n'y est jamais certaine. Il peut être question de financement incertain ou de corruption dans les différentes sphères gouvernementales. De plus, le suivi des impacts et de l'efficacité des mesures mises en place n'est pas chose courante, ce qui augmente les difficultés pour l'identification des impacts cumulatifs potentiels.

En conclusion, les études d'impacts ne semblent que très partielles dans les pays en développement lorsqu'elles concernent des PPH. Les impacts environnementaux varient indéniablement avec le milieu récepteur au projet. Par conséquent, les mesures d'atténuation employées sont particulières à chaque projet. Elles doivent être spécifiques à chaque cas et chaque région en considérant l'environnement naturel et inclure, dans la mesure du possible, les technologies et données les plus récentes. De nombreux impacts sont manquants ou très peu considérés dans ces études environnementales.

### **3. 6 Occurrence des mesures d'atténuation**

Afin d'analyser convenablement les mesures d'atténuation d'un projet, il est nécessaire d'avoir accès au suivi environnemental effectué durant la phase de construction, puis d'opération. Considérant que la majorité des projets révisés sont toujours en phase de planification ou de construction, aucun suivi n'est pour l'instant disponible. De plus, leur localisation en pays en développement rend l'accès aux documents de suivi plus difficile.

En regard à ces éléments, cette section délaisse l'analyse de l'efficacité des mesures d'atténuation pour plutôt se pencher sur l'analyse de l'occurrence de ces mesures.

### **3.6.1 Tableau de l'occurrence des mesures d'atténuation recensées**

À la lumière des informations obtenues dans les études d'impacts, cette section présente deux tableaux répertoriant les mesures d'atténuation les plus utilisées. Pour cela, ils énumèrent toutes les mesures rencontrées, puis celles-ci sont mises en relation avec les études d'impacts dans lesquelles elles se retrouvent. Le tableau 3.3 expose les impacts du milieu physique et le 3.4 ceux du milieu biologique.

**Tableau 3.3 Occurrence des mesures d'atténuation recensées pour le milieu physique**

Milieu naturel	Sources d'impacts	Impacts	Mesures d'atténuation	Uganda	Jamaïque	Kenya	Québec	
Eau	Inondation et augmentation de la surface de l'eau, chaleur	Évaporation	Augmenter les zones d'ombrage en plantant des arbres	X				
	Canal de dérivation	Diminution du débit dans la zone intermédiaire	Maintenir un débit réservé écologique	X	X	X	X	
	Construction d'ouvrage et réservoir	Altération des paramètres physico-chimiques	Effectuer des échantillonnages régulièrement		X	X		X
			Pour augmenter l'oxygène dissous, oxygéner artificiellement l'eau du réservoir		X			
		Érosion, Sédimentation et particules fines en suspensions	Plantation d'arbres pour stabiliser les berges et augmenter le filtrage des sédiments		X	X		
			Installation d'une station de pompage des eaux d'excavation vers un bassin de sédimentation					X
			Utiliser des batardeaux qui ne sont pas fabriqués de particules fines					X
		Envasement	Déviation des eaux pluviales du canal de dérivation				X	
			Installation puis vidanges de trappes à sédiments				X	
		Mauvaise qualité des eaux	Reboisement le long des ruisseaux pour filtrer l'eau				X	
			Orienter les eaux de ruissellement					X

	Génération de déchets liquides et solides		contaminées vers des zones de végétation pour favoriser le filtrage naturel				
			Effectuer les entretiens mécaniques loin du cours d'eau	X	X	X	X
			Limiter la circulation de véhicules près des cours d'eau				X
			Utilisation de produits biodégradables				
			Traitement des eaux usées	X	X	X	X
			Installation de toilettes sèches		X	X	X
			Entreposer les déchets dans un endroit prévu à cet usage et se situant loin des cours d'eau		X		X
Sol	Érosion		Identification des zones à risques		X		X
			Contrôle des zones à être déboisées	X			
			Stabilisation des berges en reboisant	X	X		X
			Stabilisation des routes en reboisant			X	
			Stabilisation des pentes				X
			Protection des sentiers avec herbes ou roches			X	
			Installation de murs de soutiens dans les endroits à risque; fortes pentes ou près des ouvrages		X	X	X
			Éviter l'utilisation de machineries lourdes			X	
			Modification des pratiques agricoles	X			
	Modification du territoire lors de construction d'ouvrages	Mauvais écoulement de l'eau de ruissellement		Effectuer des travaux de dénivellation du sol		X	X
Drainage artificiel					X	X	

	Inondation sur un sol perméable	Infiltration d'eau et augmentation de la salinité des eaux souterraines	Installation d'une géo membrane		X		
			Injection de ciment dans la roche		X		
	Déversement de produits toxiques	Contamination du sol	Effectuer les changements d'huiles et de carburant au-dessus d'un drain et d'un réservoir prévu à leur collecte	X			
			Révision des véhicules avant opération			X	
			Recyclage des huiles à des entreprises locales		X		
			Incinération des déchets solides	X			
			Recyclage des déchets solides			X	X
			Compostage			X	
	Déchets		Réutilisation des déchets de coupes pour faire les remblais	X			
Air	Passage de véhicules lourds	Émanation de poussière	Arroser les routes	X	X	X	
			Couvrir les véhicules transportant des particules fines	X	X		

**Tableau 3.4 Occurrence des mesures d'atténuation recensées pour le milieu biologique**

Milieu naturel	Sources d'impacts	Impacts	Mesures d'atténuation	Uganda	Jamaïque	Kenya	Québec	
Faune et Flore aquatiques	Construction d'ouvrages dans la rivière	Pollution de l'eau	Éviter les périodes sensibles pour la faune aquatique avant de larguer des sédiments dans la rivière		X			
			Éviter d'utiliser de matériaux avec des particules fines pour la construction				X	
			Déchets jetés loin des cours d'eau	X	X		X	
	Diminution du débit	Perturbations de la nourriture et des zones de frayères	Pertes d'habitats					
			Maintenir le débit réservé écologique	X	X			
			Effectuer les travaux durant une période de faible activité des poissons				X	
	Constructions d'ouvrages	Barrière à la migration	Création d'habitats					X
			Installation de lumières pour éloigner les poissons de la prise d'eau		X			
			Installation d'une grille à l'entrée de la prise d'eau				X	
			Diminution du débit à la prise d'eau				X	
			Installation d'une passe à poisson				X	
		Effectuer la maintenance (arrêt des turbines) durant la période de migration	X					
		Morts	Faire peur aux poissons avant le dynamitage					X
	Transfert des poissons durant les travaux						X	

	Augmentation du nombre de travailleurs	Pression sur la population de poissons					
	Inondation	Création d'habitats d'insectes vecteurs de maladies	Surveillance des habitats propices	X			
			Utilisation d'insecticide	X			
			Destruction des habitats propices	X			
Flore terrestre	Construction d'ouvrages	Déforestation	Limiter le nombre d'arbres à être coupés		X		X
			Conserver les arbres matures		X		
			Préservation des espèces à statut particulier			X	
			Préserver la végétation des berges	X	X		X
			Reboisement après les travaux	X	X	X	X
			Reboisement avec des espèces indigènes	X	X	X	
			Installation de pépinières			X	
	Augmentation du nombre de travailleurs	Augmentation de la pression sur les ressources	Clôturer la zone du projet pour éviter les coupes de bois		X		
			Interdiction pour les employés à couper le bois pour usage personnel		X		
	Ouvrages	Perte de biodiversité	Conserver les milieux humides		X		X
Faune terrestre	Ouvrages	Pertes d'habitats	Minimisation du déboisement				X
	Bruits lors des travaux	Perturbations (interférences)	Effectuer les travaux durant le jour seulement	X	X		
		Diminution des sources d'eau et de nourriture					
	Augmentation du nombre de travailleurs	Augmentation de la pression	Interdiction pour les employés de chasser pour usage personnel				
Faune aviaire	Construction d'ouvrages	Perte d'habitats	Reboisement après travaux		X		
			Éviter d'effectuer les travaux durant la période de nidification				X

### 3.6.2 Analyses de la récurrence des mesures

Les mesures les plus souvent répertoriées dans les études d'impacts sont celles atténuant les problèmes d'érosion, le débit de l'eau, sa qualité et le déboisement. Il est possible d'en déduire que ces quatre éléments sont d'une grande valeur pour la population. Par exemple, les impacts peuvent être de moindre intensité, mais étant donné la grande valeur accordée à l'élément par les communautés, il est important de les atténuer. Il peut être question d'endroits écologiques sensibles. Voici les mesures les plus recommandées pour chacun des problèmes relevés. Pour l'érosion, il est proposé d'identifier les zones à risques et puis d'y planter des arbres afin de stabiliser le sol ou d'y installer des murs de soutien. Quant à la qualité de l'eau, les mesures suggèrent d'effectuer des échantillonnages réguliers des paramètres physico-chimiques, de contrôler les usages et entretiens mécaniques et de les réaliser dans un endroit à bonne distance de tous les cours d'eau. En effet et étant donné l'usage d'appareils hydrauliques, des mesures de préventions et de corrections des risques de fuites doivent être considérées dès l'élaboration du projet. Pour le déboisement, il est tout d'abord conseillé de préserver la végétation, lorsque possible, puis de reboiser avec des espèces indigènes suite aux travaux.

Il est possible d'observer dans ce tableau que certains impacts n'ont pas de mesures associées. C'est le cas lorsque les études n'en présentaient pas puisque ce sont des impacts considérés de faible importance par les études d'impacts. Peu de mesures sont présentées pour préserver la faune aquatique. Il pourrait être conseillé d'aménager des abris et de nouvelles frayères pour les poissons. La création d'aménagements végétaux afin de fournir ombre et racines procure abris pour les poissons juvéniles.

Pour le débit, toutes les études conseillent de maintenir un débit minimum réservé dans la zone court-circuitée de la rivière. Un débit minimal est le débit nécessaire au maintien des habitats aquatiques. Un débit minimal en tout temps évite que les poissons restent piégés dans des cuvettes et facilite leur migration. Toutefois, avant d'effectuer des mesures afin de décider du débit minimal d'un cours d'eau, il faut d'abord connaître les espèces aquatiques qui le fréquentent, puisque chaque espèce nécessite un débit qui lui est propre. Autre aspect important à connaître, est la période durant laquelle ces espèces, par exemple

les poissons migrateurs, y sont présentes. Enfin, les raisons pour lesquelles ces espèces y sont, c'est-à-dire, leur alimentation, leur reproduction, pour les abris et le repos, ou bien pour l'incubation des œufs (Faune et Parc Québec, 1999). Le débit minimal devrait être augmenté lorsqu'apparaissent des problèmes liés à la qualité de l'eau, à la libre migration, à la frayère ou à l'habitat des poissons, aux eaux souterraines, par exemple l'approvisionnement en eau potable ou la teneur en eau des sols agricoles, ou enfin, lorsqu'il y a présence de biotopes ou biocénoses rares (Siegfried *et al.*, 2008). L'augmentation du débit lors de la période de reproduction des poissons est une mesure de plus en plus utilisée. Enfin, de nouveaux modèles de turbines ont été conçus en considérant le passage des poissons. Ces turbines possèdent une vitesse de rotation lente permettant la migration des poissons (RhonalPenergie, 2006).

## **4 GUIDE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE**

Ce chapitre introduit un guide d'évaluation environnementale des petits projets hydroélectriques dans les pays en développement. Celui-ci identifie les impacts et les mesures pour y remédier lors de la mise en œuvre de tels projets. Le guide complet est disponible à l'annexe 1.

Afin de faciliter son utilisation, ce guide prend la forme d'un document autonome. Il débute par une brève introduction, puis l'objectif du guide et son utilité sont présentés. Par la suite, les types et composantes d'un petit projet hydroélectrique sont introduits. La section suivante est divisée selon les trois étapes d'un projet hydroélectrique, soit la planification, la construction et l'opération. Cette section dresse une liste d'éléments environnementaux à considérer durant chaque étape. Le résultat final est une série de tableaux exposant les sources d'impacts environnementaux d'une part, les impacts d'autre part et enfin, les mesures disponibles pour y remédier. Les mesures présentées sont retenues selon trois catégories, soit les mesures d'évitement, les mesures d'atténuation et les mesures de compensation, référant à des efforts supplémentaires.

Ce guide a été réalisé suite à une révision d'études d'impacts environnementaux de petits projets hydroélectriques dans les pays en développement ainsi que de nombreuses documentations pertinentes. Toutes les références utilisées pour produire ce guide se retrouvent dans le présent essai.

## CONCLUSION

Les pays en développement, voyant leur population et leur besoin en énergie accroître et, considérant leur dépendance face aux énergies fossiles, cherchent à diversifier leurs ressources énergétiques. Afin d'y parvenir et, suivant les préoccupations de développement propre et de gestion des ressources en eau, ces pays augmentent le nombre de petits projets hydroélectriques. L'hydroélectricité offre de nombreux avantages, tels ses faibles coûts d'opération et ses possibilités d'électrification de zones isolées, deux aspects d'importance pour ces pays.

Cependant, la construction de centrales hydroélectriques suscite bien souvent des conflits sur l'utilisation des ressources. Par exemple, la déviation des cours d'eau altère l'écosystème en aval aussi bien qu'en amont, des habitats terrestres et aquatiques sont détruits, des populations humaines et animales peuvent être déplacées, des forêts et des terres agricoles submergées. Les impacts environnementaux ne peuvent plus être vus seulement comme des incidents de parcours qui sont considérés après la construction d'un projet, mais doivent plutôt être incorporés dans l'élaboration de celui-ci.

Afin d'éviter, d'atténuer et de compenser ces impacts environnementaux, des mesures doivent être prévues dans la planification, puis mises en place durant la construction et l'opération de la centrale. C'est en ce sens que l'essai répond à l'objectif principal en élaborant un guide d'évaluation environnementale des petits projets hydroélectriques. Ce guide facilite l'identification des impacts environnementaux et suggère des mesures pour aider à y remédier. En plus de cet objectif premier, ce guide pourra servir à l'élaboration d'études d'impacts sur l'environnement de ce type de projet.

Cet essai a permis d'observer les difficultés pouvant survenir pour mener à terme un petit projet hydroélectrique respectueux de l'environnement dans les pays en développement. Par exemple, les données sont souvent insuffisantes pour déterminer l'état de référence, étape importante pour l'identification des impacts, et pour s'assurer de l'efficacité des mesures mises en place. En effet, il est important d'effectuer un suivi régulier des mesures proposées et de surveiller l'émergence de nouveaux impacts.

Lors de toutes ces démarches, il faut néanmoins garder en tête que chaque projet se situe dans un environnement, que ce soit, naturel, social, économique ou légal qui lui est propre.

## RÉFÉRENCES

- Abbasi, S.A. Abbasi, N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *In Applied Energy* 65. 121-144p.
- Alliance Environnement, Groupe AXOR. (2008). Étude d'impacts sur l'environnement. Aménagement hydroélectrique de la rivière Sheldrake au site de la Courbe du Sault. 328 p.
- Agence Canadienne d'Évaluation Environnementale. (ACEE). (2010). Guide du praticien sur l'évaluation des effets cumulatifs. [En ligne]. <http://www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=43952694-1&offset=1&toc=show#tphp> (Page consultée le 23 février 2011)
- Anderson, E. Pringle, C. Rojas, M. (2006). Transforming tropical rivers: an environmental perspective on hydropower development in Costa Rica. *In Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, USA* p.15
- BPR. (2010). Environmental assessment report Laughland great river hydroelectric project. *In Industrial cooperation program. Canadian International Development Agency.*148p.
- Commission Mondiale des Barrages. (2000). Barrage et développement : un nouveau cadre pour la prise de décisions. [En ligne]. [http://www.dams.org/report/wcd\\_tour.htm](http://www.dams.org/report/wcd_tour.htm) (Page consultée le 23 novembre 2010)
- Comtois, Y. Côté, C. Gillaud, C. Massé, B. Pérusse, M. (2000). Physical and chemical environment. *In IEA Hydropower Agreement. Implementing agreement for hydropower technologies and programmes. Annex III Hydropower and the environment : Present context and guidelines for futur actions. Volume 3 Appendice D.*
- Égré, D. Milewski, J. (2002). The diversity of hydropower projects. *Energy Policy*. Vol 30, 1225-1230p.
- EMA et ECON. (2005). Environmental impacts statement for Nyagak minihydro. *In West Nile concession Commitee* 171 p.
- Environnement Canada. (2000). [En ligne]. Notions élémentaires sur l'eau douce. *In Environnement Canada.* <http://www.ec.gc.ca/Publications/F5EE4082-323A-45A3-9E77-1129CD2359A1/Notions-élémentaires-sur-l'eau-douce--Questions-et-réponses.pdf> (Page consultée le 23 février 2011)

- European Small Hydropower Association, ADEME, IEE, France Hydro Electricité, (2008). Application de l'ISO 14001 : Système environnemental de gestion aux petites centrales hydroélectriques. *In* European Small Hydropower Association
- European Small Hydropower Association. (2006). Environmental Integration of Small Hydropower Plant. *In* Thematic Network on Small Hydro. European Union. [En ligne]. [http://www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/publications/Brochure\\_EN.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/Brochure_EN.pdf) (Page consultée le 21 février 2011)
- Faune et Parcs Québec. (1999). Politique de débits réservés écologiques pour la protection du poisson et de ses habitats. Direction de la faune et des habitats. 23p.
- Fields, D. Revell, G. World Bank. (2009). Directions in Hydropower, scaling up for developement. [En ligne]. <http://go.worldbank.org/68WVUM1450> (Page consultée le 10 janvier 2011)
- Gilbert, L. Lessard, M. Pérusse, M. (2000). The flora and the fauna. *In* IEA Hydropower Agreement. *Implementing agreement for hydropower technologies and programmes*. Annex III Hydropower and the environment : Present context and guidelines for futur actions. Volume 3 Appendice E.
- Gret, J.M. (2006). Micro-centrale hydraulique. *In* Réseau International d'Accès aux Énergies Durables. *Site du réseau international d'accès aux énergies durables* [En ligne]. <http://www.riaed.net/spip.php?article49> (Page consultée le 8 janvier 2011).
- Hydro-Québec. (1996). Le complexe hydroélectrique La Grande : La qualité de l'eau, le plancton et le benthos. Fiche signalétique. Montréal, CA, Hydro-Québec, 6 p.
- Hydro-Québec. (2004). Centrale de l'Eastmain-1-A et dérivation Rupert. Étude d'impacts sur l'environnement. Volume 4. [En ligne]. [http://www.hydroquebec.com/rupert/fr/pdf/vol\\_04\\_fr\\_web.pdf](http://www.hydroquebec.com/rupert/fr/pdf/vol_04_fr_web.pdf) (Page consultée le 8 février 2011)
- Hydro-Québec. (2011). Les aménagements hydroélectriques et les communautés de poissons. *In* Hydro-Québec site web. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/poissons.html> (Page consultée le 7 février 2011)
- Institut de l'énergie et de l'environnement de la francophonie (IEPF). (2009). Énergie et évaluation environnementale. Liaison Énergie-Francophonie. Numéro 83, 2ième trimestre 2009, 122p.
- International Energy Agency. (2000a). Hydropower and the environment : Present context and guidelines for futur actions. *In* IEA hydropower Agreement. Annex III. Subtask 5. Volume 1 Summary and recommandations.

- International Energy Agency. (2000b). Hydropower and the environment :Effectiveness of mitigation measures. *In* IEA Hydropower Agreement. Annex III. Subtask 6.
- International Energy Agency, (2010). Renewable energy essentials : Hydropower. [En ligne]. <http://www.iea.org/> (Page consultée le 8 janvier 2011)
- International Hydropower Association (2010a). Hydropower Sustainability Assessment Protocol. *In* Hydropower Sustainability Assessment Forum. Londres. November 2010.
- International Hydropower Association (2010b). Policy statement: Hydropower and the clean development mechanism. March 2010.
- Leslie, J. (2008). *La guerre des barrages*. 2<sup>ième</sup> édition, Paris, Buchet-Chastel, 360p.
- Levet, J. (2007a). Petites centrales hydroélectriques : généralités. *In* Réseau International d'accès aux énergies durables. [En ligne]. <http://www.riaed.net/spip.php?article917> (Page consultée le 25 janvier 2011)
- Levet, J. (2007b). Petite hydroélectricité et environnement. *In* Réseau International d'accès aux énergies durables. [En ligne]. <http://www.riaed.net/spip.php?article204> (Page consultée le 1 février 2011)
- Levet, J. (2007c). Quelle technologie hydroélectrique pour l'électrification rurale décentralisée? Les centrales au fil de l'eau. *In* Réseau International d'accès aux énergies durables. [En ligne]. <http://www.riaed.net/spip.php?article201> (Page consultée le 1 février 2011)
- Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. (2010). Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet de digue, de barrage, de centrale hydroélectrique ou de détournement d'un fleuve ou d'une rivière. *In* Direction des évaluations environnementales. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/documents/Centrale.pdf> (Page consultée le 4 octobre 2010)
- New Energy foundation (2006). Hydropower good practices. Environmental mitigation measures and benefits. *In* IEA Implementing Agreement for Hydropower Technologies and programmes. Annex VIII. Japan.
- Oram, B. (s.d). Watershed assessmdent, education, training and monitoring resources in Northeastern Pennsylvania. *In* Water research center. [En ligne]. <http://www.water-research.net/Watershed/index.htm> (Page consultée le 24 février 2011)

- Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency . (2010a). World energy outlook 2010. [En ligne]. <http://www.iea.org/weo/> (Page consultée le 3 février 2011)
- Organisation for Economic Co-operation and Development and International Energy Agency. (2010b). Energy Poverty: How to make modern energy access universal? *In* World energy outlook. [En ligne]. [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010\\_poverty.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_poverty.pdf) (Page consultée le 3 février 2011)
- Organisation for the Promotion of Energy Technologies (OPET). (2000). Guide to environmental impacts assessment of small hydropower plants. *In* Energie. European Union's fifth framework programme for research technological development and demonstration. European Commission. Brussel, Belgique. 111p.
- Pelikan B, Papetti L. Thematic network on small hydro. (2006). *Environmental integration of small hydropower plants*. Belgique. European Small Hydropower Association. 20 p.
- Poff L. N., Allan J. D., Bain M. B., Karr J. R., Prestegard K. L., Richter B. D., Sparks R. E. et Stromberg J. C. (1997). The Natural Flow Regime, a paradigm for river conservation and restoration. *In* Bioscience Vol.47 Num.11. 769p.
- Que Energy Limited. (2009). Environmental impact assessment project for the proposed Thuci small-hydropower station in Thuita location. *In* Ministry of Energy. Republic of Kenya. Nithi constituency, Nithi district. 67 p.
- Ressources naturelles Canada. (2008). Renewable: Small-hydropower, fish friendly turbines. *In* CanmetEnergy. Ressources Naturelles Canada. [En ligne]. [http://canmetenergy-canmetenergie.nrcanrncan.gc.ca/eng/renewables/small\\_hydropower/fishfriendly\\_turbine.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcanrncan.gc.ca/eng/renewables/small_hydropower/fishfriendly_turbine.html) (Page consultée le 24 février 2011)
- RETSscreen International. (2004). Analyse de projets de petite centrale hydroélectrique. [En ligne]. [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net) (Page consultée le 6 décembre 2010)
- RhonalPenergie Environnement. (2006). Petites centrales hydrauliques pour la production d'électricité : Difficultés et perspectives d'amélioration. *In* Intelligent Energy Europe. [En ligne]. [http://www.raee.org/administration/publis/pop\\_up\\_publis/32.pdf](http://www.raee.org/administration/publis/pop_up_publis/32.pdf) (Page consultée le 16 mars 2011).
- Seelos, K. (2000). Cumulative Impacts. *In* IEA Hydropower Agreement. *Implementing agreement for hydropower technologies and programmes*. Annex III Hydropower and the environment : Present context and guidelines for futur actions. Volume 3 Appendice G.

- Sharma, M.P. (2007). Environmental impacts of small hydro power projects. *In* International Conference on Small Hydropower. Hydro-Sri Lanka. 22-24 Octobre, 2007.
- Schnetagne, R. Plante, M. Babo, S. (2006). La question du mercure dans les réservoirs hydroélectriques. *In* Hydro-Québec Production. [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/pdf/mercure/mercure1.pdf> (Page consultée le 1 février 2011)
- Siegfried, A. Bolliger, R. Pfammatter, R. (Ernst Blaster + Partner) (2008). Catalogue de critères pour les centrales hydroélectriques écologiques. *In* WWF Suisse, Pro natura. Rapport final du 7 juillet 2008. [En ligne]. [http://www.pronatura.ch/content//data/2008\\_Critres%20ch\\_eco.pdf](http://www.pronatura.ch/content//data/2008_Critres%20ch_eco.pdf) (Page consultée le 15 mars 2011).
- Sonneville, A. (2006). Les conséquences d'un barrage sur les poissons. Institut de recherche pour le développement. Fiche 23. 2p.
- Sustainable Hydropower Foundation. (2006). Sustainable hydropower. [En ligne]. <http://www.sustainablehydropower.org/site/info/contacts.html> (Page consultée le 1 février 2011)
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). (2009) For National and International Policy makers. Summary : Responding to the value of nature 2009. *In* teebweb. [En ligne]. <http://www.teebweb.org/LinkClick.aspx?fileticket=I4Y2nqqliCg%3d&tabid=924&language=en-US> (Page consultée le 23 février 2011).
- Thérien, J. Bourgeois, G. (2000). Fish passage at small hydro sites. *In* IEA Implementing Agreement for hydropower technologies and programmes. Annex II. Small-Scale hydro.
- World Bank, (2006). Clean energy and development : towards an investment framework. *In* World Bank [En ligne]. <http://go.worldbank.org/BEUCQN31A0> (Page consultée le 10 janvier 2011)
- World Bank. (2010). Hydropower. *In* World Bank [En ligne]. <http://web.worldbank.org/WBSITE/EXTERNAL/TOPICS/EXTWAT/0,,contentMDK:21633264~menuPK:4602437~pagePK:210058~piPK:210062~theSitePK:4602123,00.html> (Page consultée le 4 octobre 2010)
- Zhao, J. (2006). Environmental integration of small hydropower development. *In* SHP News. Summer 2006.

## BIBLIOGRAPHIE

- Commission Mondiale des Barrages. (2000). Barrages et développement : Un nouveau cadre pour la prise de décisions, [En ligne].  
[http://www.unep.org/dams/WCD/report/WCD%20report\\_Barrages%20et%20D%C3%A9veloppement\\_pr%C3%A9face.pdf](http://www.unep.org/dams/WCD/report/WCD%20report_Barrages%20et%20D%C3%A9veloppement_pr%C3%A9face.pdf) (Page consultée le 21 septembre 2010)
- Giles, J. (2006). Les barrages plus polluants que les centrales à charbon, [En ligne].  
<http://www.infosdelaplanete.org/1427/les-barrages-plus-polluants-que-les-centrales-a-charbon.html?L=FR> (Page consultée le 4 octobre 2010)
- Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture. (2002). Le mahseer pour nourrir les communautés montagnardes, [En ligne].  
<http://www.fao.org/french/newsroom/news/2002/5131-fr.html> (Page consultée le 8 octobre 2010)
- Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture. (2000). Base de données géoréférences pour les barrages africains. [En ligne]  
<http://www.fao.org/nr/water/aquastat/damsafrica/indexfra.stm> (Page consultée le 4 octobre 2010)
- Palmer, M. (2010). Water resources : Beyond infrastructure. *Nature*, vol 467, p. 534-535.
- Roy, A. Lefèvre, J.F. Romanelli, C.M. (2003). Études d'impacts et développement durable : Pour une perspective macroécologique, [En ligne].  
[http://www.grame.org/etudes%20dimpacts\\_et\\_developpement\\_durable\\_pour\\_une\\_perspective\\_macroecologique.pdf](http://www.grame.org/etudes%20dimpacts_et_developpement_durable_pour_une_perspective_macroecologique.pdf) (Page consultée le 4 octobre 2010)
- Vorosmarty, C.J. et al. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, vol 467, p. 555-561

**ANNEXE 1 GUIDE D'ÉVALUATION ENVIRONNEMENTALE DE PETITES  
CENTRALES HYDROÉLECTRIQUES DANS LES PAYS EN DÉVELOPPEMENT**

# Guide d'évaluation environnementale de petites centrales hydroélectriques dans les pays en développement

---

Par Dominique Bastien

Juin 2011

# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	1
<b>1 COMMENT UTILISER CE GUIDE</b> .....	2
<b>2 DÉFINITIONS TYPES ET COMPOSANTES D'UNE PETITE CENTRALE</b>	
<b>HYDROÉLECTRIQUE</b> .....	4
<b>3 PLANIFICATION</b> .....	6
<b>3.1 Besoins énergétiques réels</b> .....	7
<b>3.2 Options au projet</b> .....	8
<b>3.2.1 Variantes au projet</b> .....	9
<b>3.2.2 Emplacement</b> .....	11
<b>3.3 Impacts socio-économiques potentiels</b> .....	13
<b>3.3.1 Impacts sociaux</b> .....	13
<b>3.3.2 Impacts économiques</b> .....	15
<b>3.4 Impacts environnementaux potentiels</b> .....	17
<b>4.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau</b> .....	19
<b>4.2 Érosion et sédimentation</b> .....	25
<b>4.3 Biodiversité</b> .....	28
<b>4.4 Contamination de l'air et du sol</b> .....	36
<b>4.5 Réservoir</b> .....	38
<b>5 OPÉRATION</b> .....	42
<b>5.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau</b> .....	43
<b>5.2 Érosion et sédimentation</b> .....	46

<b>5.3 Biodiversité</b> .....	47
<b>5.4 Réservoir</b> .....	50
<b>6 IMPACTS CUMULATIFS</b> .....	54
<b>RÉFÉRENCES</b> .....	56

## INTRODUCTION

Donnant suite aux diverses conférences sur les changements climatiques et à l'intérêt grandissant accordé aux économies à faible teneur en carbone, les années 2000 ont observé un regain d'intérêt quant aux projets hydroélectriques. Les exigences croissantes des pays concernant la sécurité énergétique et la gestion des ressources en eau ont fait de l'hydroélectricité une source d'énergie de premier choix. De nos jours, un cinquième de l'électricité mondiale, soit 3 288 TWh, est fourni par des centrales hydroélectriques et son potentiel est estimé à 16 400 TWh/an, faisant de l'hydroélectricité une source majeure d'énergie renouvelable.

Encore aujourd'hui, plus du tiers de la population ne possède pas d'accès à l'électricité et d'ici 2025, il est prévu que ce chiffre atteigne 50 % de la population mondiale si aucune action n'est prise. Le rôle de l'hydroélectricité dans la réduction de la pauvreté et l'assurance d'une sécurité énergétique aux communautés des pays en développement est capital. Par ailleurs, il a été estimé par la Banque Mondiale que 70 % du potentiel futur en hydroélectricité se trouve dans ces pays.

Étant donné les nombreux impacts environnementaux et sociaux négatifs associés aux grands barrages, une des solutions d'avenir de l'hydroélectricité se trouve dans les petites centrales communautaires. La petite hydroélectricité contribue aujourd'hui à 1-2 % de la production d'énergie mondiale, soit près de 13 GW. Les pays en développement démontrent un intérêt grandissant pour les petits projets hydroélectriques leur permettant de créer une indépendance énergétique vis-à-vis de la volatilité des prix des énergies fossiles sur les marchés mondiaux et du risque associé à leurs importations. En effet, ces petits projets ont l'avantage pour les pays en développement d'être d'une grande fiabilité, et de n'engendrer que de très faibles coûts de construction et d'opération.

## 1 COMMENT UTILISER CE GUIDE

Ce guide est un outil d'appui dans le développement de petits projets hydroélectriques sains et durables pour l'environnement des pays en développement. Il se veut aussi une aide à la rédaction d'études d'impacts sur l'environnement de ces projets. Enfin, il facilite l'identification des impacts environnementaux et le choix des mesures à entreprendre pour les éviter, les atténuer ou les compenser.

Paramètres à considérer lors d'un petit projet hydroélectrique :

- ✓ Développement durable, i.e. que le développement d'un projet doit répondre aux besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs.
- ✓ Protéger les ressources naturelles.
- ✓ Réduire la pauvreté.
- ✓ Posséder de multiples objectifs (électricité, irrigation, eau potable, etc.).
- ✓ Faire preuve de responsabilité sociale et de la transparence.
- ✓ Bénéficier à la population locale.
- ✓ Consulter tous les acteurs au projet

La première section de ce guide présente les composantes d'un petit projet hydroélectrique. La deuxième section se rapporte aux étapes d'un projet hydroélectrique, soit la planification, la construction et l'opération. Cette section dresse une liste d'éléments environnementaux à considérer dès la planification d'un projet afin d'informer et de prioriser des actions pour y remédier. Ce guide a été réalisé suite à une révision d'études d'impacts environnementaux de petits projets hydroélectriques dans les pays en développement ainsi que de nombreuses documentations pertinentes présentées en bibliographie de ce document. Toutes les références utilisées dans ce guide se retrouvent dans la partie I de cet essai.

Le résultat final est une série de tableaux permettant d'examiner les possibles sources d'impacts environnementaux d'un petit projet hydroélectrique. Ces tableaux sont divisés en trois colonnes, la première énumérant les sources d'impacts, la seconde les impacts

environnementaux, et la troisième les mesures disponibles pour éviter, atténuer ou compenser ces impacts. Les mesures présentées sont classées selon les thématiques suivantes :

- ☑ Mesures d'évitement
- ✓ Mesures d'atténuation
- Mesures de compensation
- ! Mesures expliquées plus en détail en retrait des tableaux

Ainsi, chaque tableau est suivi des détails relatant certaines des mesures présentées dans celui-ci. Puis, les principales interrelations entre les sources et leurs impacts sont démontrés. Le guide se termine avec une section sur les impacts cumulatifs.

Il est à noter que ce guide présente de manière générale un ensemble d'impacts susceptibles d'apparaître lors d'un projet hydroélectrique. Or, le lecteur doit garder en tête que chaque projet est différent et qu'un projet ne produira pas nécessairement tous les impacts énumérés dans ce guide. Par exemple, il est peu probable qu'une centrale au fil de l'eau sans réservoir produise une quantité significative de GES. Il reste au jugement du lecteur de discerner les impacts ne s'appliquant pas et d'identifier d'autres impacts en fonction de l'emplacement et de la topographie du secteur.

Chaque pays est régi par des lois et celles-ci diffèrent d'un pays à l'autre. Les projets hydroélectriques sont soumis aux lois des pays dans lesquels ils sont implantés. Dans de nombreux cas où les projets ont lieu dans des pays en développement, en plus de devoir se soumettre aux lois du pays hôte, les projets doivent être conçus de manière à se conformer aux lois des pays ou institutions financières au projet. Ainsi, certains projets auront des exigences plus pointues que d'autres.

Ce guide se concentre principalement sur les impacts environnementaux. Toutefois, étant donné leur ampleur et leur importance pour les communautés, il est impossible de passer outre certains impacts sociaux et économiques. C'est dans ce but qu'une section de ce guide leurs est dédiée.

## 2 DÉFINITIONS TYPES ET COMPOSANTES D'UNE PETITE CENTRALE HYDROÉLECTRIQUE

Cette section du guide donne une définition des petites centrales hydroélectriques des différents types de centrales existantes. Ensuite, les composantes d'une centrale sont exposées et une emphase est placée sur celles qui génèrent des effets sur l'environnement.

Il n'existe pas de consensus quant à la définition d'une petite centrale hydroélectrique, celle-ci variant selon les organisations et les pays. Par exemple, l'Union Européenne limite la définition de petites centrales à celles inférieures à 10 MW. En Inde et en Chine, il s'agit de celles de puissance inférieure à 25 MW. Tandis qu'au Québec, il est plutôt question des centrales ayant une capacité inférieure à 50 MW. D'un point de vue environnemental, une définition se basant sur la puissance peut sembler incohérente, étant donné que deux centrales de même puissance sont loin d'engendrer les mêmes impacts sur l'environnement, cela dépendra aussi du type de centrale.

Pour les centrales au fil de l'eau, habituellement utilisées lors d'un petit projet hydroélectrique, **le barrage de dérivation** doit rester simple et peu élevé. Celui-ci est généralement fabriqué de béton, de bois ou d'un mélange des deux. Il peut être aussi constitué de terre et d'enrochement. Son rôle est de diriger l'eau vers une conduite qui acheminera la ressource dans une turbine-alternateur, pour être ensuite relâchée par le canal de fuite dans la rivière plus en aval.

**La conduite d'eau** est composée d'une **entrée d'eau** avec **grille crapaudine** et **vanne** afin d'alimenter un canal d'amenée et un **bassin**. Le **canal d'amenée** dirige l'eau à la turbine et des soupapes sont installées à l'entrée et à la sortie du tunnel afin d'y faciliter l'entretien. Enfin, un **canal de fuite** est construit afin d'acheminer l'eau en aval de la centrale jusqu'à la rivière. Les composants de la conduite d'eau peuvent être fabriqués d'acier, de fer, de fibre de verre, de plastique ou de béton.

La dernière composante est la **centrale** elle-même, où se retrouvent les **turbines-alternateurs** et tout autre équipement mécanique et électrique. L'objectif premier d'une turbine est de transformer l'énergie potentielle contenue dans l'eau en énergie mécanique qui sera acheminée à l'alternateur qui, à son tour, transformera l'énergie mécanique en énergie électrique.

Il existe trois types de centrales hydroélectriques : au fil de l'eau, à réservoir et à pompage.

Une **centrale au fil de l'eau** utilise le débit naturel de l'eau. Celle-ci se divise en deux types distincts. Le premier est lorsque la centrale est installée à même le cours d'eau, elle est alors directement alimentée par celui-ci. Le deuxième type se présente lorsque le cours d'eau est dévié de son lit principal vers une conduite d'eau forcée, soit un canal ou un tunnel artificiel, puis dirigé vers les turbines de la centrale où son énergie mécanique est transformée en énergie électrique. L'eau retourne ensuite par le canal de fuite dans le lit de la rivière en aval.

Une **centrale à réservoir** est installée près d'ouvrages de retenues (tels que les barrages), créant ainsi un réservoir ou bassin de rétention, et ce afin d'augmenter la hauteur de chute de la centrale. Cette hausse du niveau de l'eau permet d'augmenter le volume d'eau et, par le fait même, le débit qui est projeté dans la turbine. Le grand avantage des centrales à réservoir se retrouve dans leur grande flexibilité, i.e. leur capacité de stockage leur permettant de libérer l'eau selon les besoins du moment. La garantie de puissance d'une centrale à réservoir est plus importante que celle d'une centrale au fil de l'eau.

Une **centrale à pompage** est composée de deux réservoirs. Lorsque la demande en énergie est basse, notamment la nuit, l'électricité produite est utilisée afin de pomper l'eau du bassin inférieur jusqu'au bassin supérieur. L'eau du bassin supérieur sera alors relâchée en temps de forte demande énergétique.

### 3 PLANIFICATION

La phase de planification est une étape stratégique de dépistage des risques sociaux, économiques et environnementaux potentiels au projet. C'est durant cette étape que tous les risques et opportunités reliés au projet sont énoncés et ce, afin de pouvoir les prendre en considération dans la préparation et la gestion future du projet. C'est aussi à cette étape qu'est effectuée l'étude d'impacts environnementaux du projet, généralement exigée par le gouvernement national du pays ou par les grandes instances financières au projet. C'est suite à l'étude d'impacts du projet que la décision d'aller de l'avant est prise par les différents acteurs reliés au projet. La décision sera prise en considérant les aspects légaux du pays et en suivant les différents processus amenant à l'obtention des permis de construction requis, ainsi que les permis d'opération basés sur l'étude d'impacts sur l'environnement. Donnant suite à cette étape, la phase de construction débute, et ce, en considérant la gestion environnementale décrite dans l'étude d'impacts.

#### **Éléments à considérer à la phase de planification:**

- ⇒ Les besoins énergétiques réels
- ⇒ Les options, variantes au projet, l'emplacement
- ⇒ Les impacts sociaux potentiels
- ⇒ Les impacts économiques potentiels
- ⇒ Les impacts environnementaux potentiels

### 3.1 Besoins énergétiques réels

Étant donné que la seule énergie qui ne pollue pas est celle qui n'est pas produite, il est essentiel de prendre le temps nécessaire pour bien cerner et définir les besoins réels de la communauté en énergie.

#### **Objectif :**

- ✓ Les besoins énergétiques de la population sont réels et ont été démontrés.

La décision d'aller de l'avant avec un projet doit venir de la population et être basée sur des objectifs de développement tout d'abord au niveau local, puis régional et en dernier lieu national. Le sujet de la demande énergétique est important puisqu'il permet de créer une balance entre les besoins réels et les divers projets de développement proposés. Par exemple, un projet hydroélectrique servant les besoins en énergie d'une industrie minière étrangère énergivore, n'employant que très peu la population locale, ne pourrait satisfaire ce critère. Par comparaison, un projet aidant à alimenter un moulin à grain pour la communauté et fournir de la lumière dans les maisons serait considéré nécessaire au développement de la région. Il faut donc se poser les questions suivantes :

- ◆ Le projet aide-t-il au développement de la communauté?
- ◆ Qu'elle est la signification du mot développement pour cette communauté?
- ◆ Ce projet de développement est-il une solution à la pauvreté?
- ◆ Qui est l'investigateur au projet et quels intérêts sert-il?
  - La population
  - Les entreprises privées
  - Les investisseurs
  - La communauté
  - Les donateurs

## 3.2 Options au projet

Les options au projet désignent les façons existantes et potentiellement faisables de parvenir au même résultat final, soit produire l'énergie demandée par la communauté.

### **Objectif :**

- ✓ Le projet hydroélectrique est la meilleure option pour générer l'énergie requise par la population.

Le projet est comparé à d'autres options. Toutes les options doivent être considérées de manières réalistes, c'est-à-dire en dire en analysant les risques techniques, environnementaux, sociaux et économiques.

### Exemples d'options à envisager :

- ◆ Mesures d'efficacité énergétiques.
- ◆ Autres sources d'énergies propres tels l'éolien et le solaire.
- ◆ Variantes dans les composantes du projet
- ◆ Choix de l'emplacement du projet
- ◆ La non réalisation du projet.

### 3.2.1 Variantes au projet

Les variantes au projet évoquent les différentes composantes pouvant être employées pour obtenir un résultat semblable en production d'énergie. Les variantes au projet incluent ses composantes (turbines, le barrage, le réservoir, etc.) et toutes autres infrastructures.

#### **Objectif :**

- ✓ Les composantes du projet choisies sont les plus efficaces, considérant un point de vue environnemental, technique, social et économique.

#### Principales variantes dans les composantes à considérer:

- ◆ Le type de turbine

Les centrales au fil de l'eau sont installées directement sur la rivière et le débit de l'eau, n'étant pas contrôlé, y est très variable. La turbine doit s'adapter et fournir un bon rendement, peu importe le débit présent. Ainsi, le type de turbine choisi varie en fonction de la hauteur de chute et du débit de la rivière. Par exemple, dans le cas d'une chute de faible hauteur combinée avec un bon débit de rivière, le choix s'arrêtera sur un type de turbine à réaction, c'est-à-dire qui utilise la pression de l'eau et l'énergie cinétique. Les turbines Francis, Kaplan et à hélices en sont des exemples. Pour les hauteurs de chute élevée, typiques des centrales avec réservoir, il s'agira d'utiliser une turbine à impulsion qui utilise l'énergie cinétique d'un jet d'eau à haute vitesse. Les turbines Pelton et Crossflow en sont des exemples. La turbine Turgo, par exemple, contrairement à la Francis, s'adapte au débit de l'eau plus facilement. Il existe aussi de nouveaux modèles de turbines conçus en considérant le passage des poissons. Ces turbines possèdent une vitesse de rotation lente permettant la migration des poissons

- ◆ Le type de canal d'amenée

Un canal d'amenée souterrain engendre des impacts différents qu'un canal hors terre. Par exemple, sous terre, le canal est à l'abri du soleil et l'eau à l'intérieur se réchauffe moins vite. De plus, sous terre, il ne pose pas d'obstacle aux animaux qui souhaitent le traverser.

- ◆ Ouvrage de retenues

Des sédiments peuvent être retenus en amont par le barrage de dérivation, créant un déficit de substrats alluviaux en aval et par ce fait une perte d'habitats. Le fait de concevoir le projet avec des vannes à décharges de sédiments dans l'ouvrage de retenues permet de diminuer la charge sédimentaire emprisonnée derrière ces derniers lors d'ouvertures régulières de ces vannes.

- ♦ Le point de restitution de l'eau dans la rivière

Il est important de tenir compte de la disponibilité des habitats de poissons lorsque vient le moment de décider du point de restitution de l'eau dans la rivière. Un débit fort associé avec le point de restitution inadéquat nuit aux habitats aquatiques. L'arrivée d'eau soudaine dans la rivière augmente sa superficie, modifie sa température ce qui peut en bouleverser les conditions hydrologiques.

### 3.2.2 Emplacement

Une fois les besoins énergétiques d'une communauté démontrés, il faut maintenant choisir l'emplacement optimal pour un tel projet. Une étude de différents emplacements possibles citant leurs avantages et inconvénients doit être effectuée. La raison du choix de l'emplacement final doit être claire et acceptée par les différents acteurs au projet, y compris la population. D'un côté technique, il faut tenir compte du type de sol, du débit de la rivière et de l'accessibilité du projet.

#### **Objectif :**

- ✓ L'emplacement choisi est le plus approprié en tenant compte des aspects environnementaux, techniques, sociaux et économiques.

#### On doit considérer ces variantes dans le choix de l'emplacement:

- ♦ Se situer sur un tributaire, plutôt que sur un important cours d'eau.
- ♦ Se situer sur des rivières déjà développées.
- ♦ Éviter de situer le projet dans une zone fragile ou de haute biodiversité.
- ♦ Éviter les sites comprenant des espèces vulnérables ou en danger.
- ♦ Éviter de détruire l'intégrité écologique d'un écosystème.
- ♦ Se situer sur un site qui minimise le territoire inondé par kW produit.
- ♦ Éviter de détruire des ressources desquelles les gens dépendent (i.e. agricole, bois, pâturages).
- ♦ Éviter les zones où il y aura des gens à déplacer.

Le choix de l'emplacement final doit, dans la mesure du possible, favoriser un projet à objectifs multiples. Par exemple, le situer à un endroit où, en plus de produire de l'électricité, il pourra servir à l'irrigation des terres, améliorer la qualité et l'accès à l'eau potable et gérer les risques d'inondations et de sécheresses.

## **Type de milieux**

Lors du choix de l'emplacement, il faut garder en tête le type de climat du milieu récepteur au projet. Le milieu naturel dans lequel la centrale est établie joue un rôle important dans la variation des impacts environnementaux créés par le projet. Règle générale, les impacts environnementaux sont assez importants dans les zones tropicales et dans les zones arides qui caractérisent souvent le paysage des pays en développement. La haute densité de la biomasse observée dans les zones tropicales intensifie la majorité des impacts environnementaux reliés à la décomposition de la biomasse dans les réservoirs (exemple, les émissions de GES). En zones arides, les impacts négatifs sont souvent en lien avec l'évaporation de l'eau et la modification des crues naturelles, essentielles au renouvellement de la flore.

### **Zone tropicale humide**

(Caractérisée par une haute densité de végétation et des températures élevées)

- ↑ Émissions de GES
- ↑ Nutriments
- ↓ pH
- ↑ Plantes aquatiques
- ↓ Oxygène dissous
- ↑ Eutrophisation accélérée
- ↑ Évaporation de l'eau
- ↑ Habitats aux insectes vecteurs de maladies

### **Zone aride**

(Caractérisée par un faible niveau de précipitation et des températures élevées)

- ↑ Évaporation de l'eau
- ↑ Assèchement de zones humides
- ↑ Charge sédimentaire
- ↑ Érosion
- ↑ Envasement du réservoir
- ↑ Salinisation (lors des inondations du sol asséché)

## 3.3 Impacts socio-économiques potentiels

### 3.3.1 Impacts sociaux

Les impacts sociaux d'un projet doivent être considérés dès les prémises de celui-ci. C'est à l'étape de planification qu'une analyse des questions sociales est effectuée et les risques évalués.

#### Objectifs :

- ✓ Le projet évite, minimise et compense les impacts sociaux négatifs.
- ✓ Les retombées positives pour les communautés avoisinantes au projet sont plus importantes que les impacts négatifs.
- ✓ Tous les acteurs au projet ont été identifiés et chacun a eu l'opportunité d'exposer sa pensée sur le projet et en tenir compte.

#### Exemples d'impacts sociaux négatifs:

- ◆ Des conflits sur l'utilisation des terres. Des terres agricoles, des jardins familiaux et des forêts de chasse pouvant être inondées lors du projet.
- ◆ Perte de sites d'héritage culturel.
- ◆ Diminution de la santé publique, principalement causée par l'agrandissement des zones humides (ex.: malaria et schistosomiasis).
- ◆ Destruction du paysage.
- ◆ Perte de nourriture pour les populations qui tirent leur alimentation essentiellement de la pêche.

#### Exemples d'impacts sociaux positifs:

- ◆ Création d'emplois.
- ◆ Un meilleur accès à l'éducation et aux soins de santé.
- ◆ Création d'infrastructures et de route.

- ♦ Des centrales multifonctions qui gèrent en plus de l'électricité, l'irrigation, l'accès à l'eau potable, les risques d'inondations et de sécheresses. Par contre, l'accès à ces services, incluant l'accès à l'électricité, doit être partagé de manière équitable entre les différents acteurs. La communauté locale devant être la première à obtenir l'accès à ces services et ce, à un coût réaliste et abordable.

Une attention particulière doit aussi être portée aux groupes marginalisés, qui généralement on y retrouve les femmes, les communautés autochtones, les villageois pauvres et les montagnards. Ces groupes sont les plus vulnérables au projet et par ce fait doivent être consultés et considérés à toutes les étapes du projet. Ensuite, il faut faire attention à l'interrelation qui existe entre les impacts environnementaux et sociaux. Par exemple, les terres agricoles qui sont disponibles aux villageois peuvent être diminuées par l'érosion des berges et une augmentation du débit et du volume d'eau près des berges. Il faut s'assurer que ces interrelations aient bien été comprises et prises en compte lors du projet.

La transparence, la consultation constante de la population et une bonne communication entre les divers acteurs permettent d'établir un lien de confiance et un meilleur taux de réussite au projet. Il est important de consulter la population et que celle-ci soit bien au fait de tout impact, qu'il soit négatif ou positif, qu'elle pourrait subir. Pour ce faire, un processus permettant une consultation régulière des acteurs concernés, incluant les groupes marginalisés et débutant avant l'élaboration du projet, doit être mis en place. Celui-ci doit permettre au promoteur d'élaborer un projet qui considère dès ses débuts les demandes émises par les citoyens. Ce processus permet aussi de revenir devant les communautés afin de présenter l'avancement du dossier et démontrer que les recommandations émises par la population ont été mises en application. De cette manière, le processus de consultation commence avant que les problèmes n'émergent.

Voici les différents acteurs qui peuvent être liés à un projet hydroélectrique : les gouvernements, les entreprises privées, les communautés, les ONG, la société civile, la banque de développement, la banque commerciale et les donateurs bilatéraux. Les responsabilités de chacun pouvant changer le courant du projet, la communication entre les acteurs doit être maintenue tout au long de la durée de vie du projet.

### 3.3.2 Impacts économiques

Les impacts économiques concernent autant l'aspect financier du projet, que ces aspects de développement économique et des potentiels coûts engendrés par la perte de biens et services des écosystèmes.

#### **Objectifs :**

- ✓ Il y a des investisseurs au projet et ceux-ci sont en mesure de gérer les ressources adéquatement et de financer les mesures d'atténuation et de compensation nécessaires.
- ✓ Les coûts externes associés à la perte de biens et services des écosystèmes ont été considérés.
- ✓ Les impacts positifs de développement économique de la communauté sont maximisés.

Sans financement, un projet ne peut avoir lieu. L'investissement du projet doit avoir été démontré, et ce, dès l'étape de planification. Il est primordial de posséder les fonds suffisants pour mettre en place les mesures d'atténuation et de compensation. Pour cela, les externalités économiques doivent avoir été considérées. Les externalités sont des dommages causés par les activités d'un projet qui affectent l'environnement ou des personnes, mais qui ne sont généralement pas reflétées dans les prix du marché. Par exemple, les coûts liés à la destruction de l'écosystème, soit les pertes agricoles engendrées par le débit réduit du cours d'eau. Tous les impacts environnementaux et sociaux doivent avoir été pris en compte afin de s'assurer que des fonds nécessaires aient été prévus pour éviter, atténuer ou compenser ces impacts. De plus, des fonds doivent être disponibles pour gérer des risques inattendus.

Les externalités peuvent aussi représenter les biens et services des écosystèmes. Par définition, les biens et services des écosystèmes sont les bienfaits résultants d'une nature en santé; l'eau potable, l'air propre et une grande biodiversité en sont des exemples. Toutes altérations se soldent en un coût pour la société. Ces coûts potentiels futurs doivent être

compris dans le budget d'un projet modifiant son environnement. Avant d'entreprendre un projet, une analyse coût-bénéfice doit être entreprise en considérant toutefois les valeurs non comprises dans le marché tel que les biens et services des écosystèmes.

L'impact économique positif sur la population est généralement une plus grande facilité d'accès à l'éducation. Ceci est gage de meilleurs emplois. À court terme, il s'agit d'assurer une indépendance énergétique quant aux prix élevés et volatils du pétrole. Des emplois peuvent être générés avec l'acquisition de l'électricité, tels que des emplois directs sur les chantiers du projet ou des emplois dans des entreprises qui peuvent être attirées par cette électricité. Enfin, il doit y avoir un partage équitable des bénéfices, les premiers à être touchés négativement par le projet devraient aussi en être les premiers bénéficiaires.

### 3.4 Impacts environnementaux potentiels

Les impacts environnementaux sont ceux affectant le régime hydrologique, la biodiversité, la qualité de l'eau, du sol et de l'air. Bref, tout ce qui perturbe l'intégrité de l'écosystème.

#### **Objectifs :**

- ✓ Les impacts environnementaux ont bien été identifiés et des mesures pour les éviter, les minimiser, les atténuer ou les compenser sont présentées.
- ✓ Les impacts environnementaux positifs sont maximisés.
- ✓ Les impacts cumulatifs potentiels sont pris en compte.

Les impacts environnementaux, associés à toutes les phases du projet ainsi qu'à ses infrastructures permanentes ou temporaires, doivent être pris en considération dès l'étape de planification du projet. C'est d'ailleurs durant cette étape que l'étude d'impacts sur l'environnement a lieu. Aucune décision de construction ne doit être prise avant que l'étude d'impacts ne soit approuvée par le gouvernement et les acteurs concernés. Les impacts cumulatifs doivent aussi être considérés dès cette étape. Des plans et programmes de suivi et de surveillance des impacts et de l'efficacité de leurs mesures sont élaborés. Un plan d'urgence et de gestion des risques environnementaux est effectué. Un inventaire complet de la faune et de la flore afin d'obtenir un état de référence est essentiel avant d'entreprendre les travaux. Si les données disponibles ne sont pas suffisantes pour faire l'inventaire, des collectes sur le terrain se feront avant de débiter l'étape de construction. L'importance d'un impact diffère d'un projet à l'autre, suivant la valeur accordée par la communauté à cet aspect environnemental, mais aussi beaucoup à l'organisme subventionnaire de même que le degré de sévérité de l'impact sur son environnement. Un bon projet hydroélectrique est multifonctionnel et en plus d'apporter l'électricité aux communautés, peut gérer l'eau potable, l'irrigation aux terres cultivables, contrôle les crues, la gestion de la pêche et protège l'écosystème.

## 4 CONSTRUCTION

Bien que limitée dans le temps, l'étape de construction génère normalement la majorité des impacts environnementaux. Il est essentiel de s'assurer de la continuité des éléments considérés à l'étape de la planification et de suivre en détail l'étude d'impacts et les plans de gestion environnementale auparavant effectués. L'état de référence du milieu naturel doit aussi être défini avant cette étape afin de pouvoir effectuer un suivi tout au long des travaux. Cette phase en est une de bouleversement puisqu'elle implique un site de construction dans un environnement parfois intact. En effet, c'est durant cette étape que les infrastructures de transport et d'hébergement sont développées. Par la suite, la construction débute : les ouvrages de retenues sont effectués afin de contrôler le mouvement de l'eau, la centrale pour la production d'électricité et enfin, les lignes de transport de l'électricité. En plus des éléments considérés à l'étape de planification, s'ajoutent des éléments plus précis sur l'environnement.

### **Éléments à considérer durant l'étape de construction:**

- ⇒ Régime hydrologique et qualité de l'eau
- ⇒ Érosion et la sédimentation
- ⇒ Biodiversité
- ⇒ Contamination de l'air et du sol
- ⇒ Réservoir

## 4.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau

Le régime hydrologique représente les variations d'état et de caractéristique d'un cours d'eau. Il comprend les changements de débit et de volume engendrés par le projet, mais doit aussi tenir compte des variations saisonnières. Chaque rivière possède un régime hydrologique qui lui est propre. La construction d'un projet hydroélectrique amenant des variations non naturelles dans un cours d'eau, l'étude et la compréhension du régime hydrologique particulier à celui-ci devient une nécessité lors de tout projet dans son lit. Le régime hydrologique joue un rôle de premier plan dans l'intégrité de l'écosystème. Il doit être compris dans son ensemble avant de décider de l'implantation d'une centrale hydroélectrique. Un projet altère l'équilibre entre débits d'eau et sa charge sédimentaire. De lourds travaux dans le lit de la rivière sont généralement indispensables, entraînant des impacts sur tous les éléments naturels du milieu.

D'un point de vue technique, la compréhension du régime hydrique permet de choisir le type de turbine à installer, les caractéristiques du réservoir, la conception des canaux d'amenée, de dérivation et de fuite.

La qualité de l'eau, quant à elle, se caractérise par ses paramètres physico-chimiques. Ses principaux paramètres, et ceux susceptibles d'être affectés par un projet hydroélectrique, sont les suivants : la turbidité, la couleur, la température, le taux d'oxygène dissous et le pH.

La **turbidité** se calcule par le taux de pénétration du soleil dans l'eau. Plus grande est la quantité de particules dans l'eau, plus faible est le taux de pénétration des rayons du soleil dans l'eau et plus élevée sera la turbidité. L'érosion, la sédimentation et les particules en suspension augmentent la turbidité de l'eau.

La **couleur** joue sur la température de l'eau. Une couleur plus foncée de l'eau attire les rayons du soleil et augmente la température de l'eau. Une eau avec forte turbidité est généralement plus foncée, et ainsi plus chaude.

Des variations dans la **température** de l'eau peuvent s'avérer fatales pour la vie aquatique qui s'y trouve. Chaque espèce est adaptée à une température bien précise, une variation de quelques degrés peut être mortelle.

Le **taux d'oxygène dissous** est indispensable à la respiration des espèces aquatiques. Un taux élevé augmente la vie aquatique, alors qu'un taux trop bas peut l'entraver. Les besoins en oxygène dissous d'un organisme varient selon l'espèce dont il est question, la présence de contaminants dans l'eau et la température de l'eau. En terme général, un niveau d'oxygène dissous inférieur à 5 mg/L n'est pas suffisant au maintien dans le temps de la vie aquatique.

Le **pH**, quant à lui, représente l'acidité d'un cours d'eau. Chaque espèce est adaptée à un pH particulier et toute modification dans son taux peut entraîner la mort. Un pH inférieur à 5 nuit aux œufs et aux larves, tandis qu'un pH plus petit que 4 détruit la majorité des organismes aquatique, exception faite des algues et des bactéries.

Tout ce qui altère les paramètres physico-chimiques de l'eau peut diminuer sa qualité et, durant la phase de construction, les risques de contamination sont élevés.

### **Objectifs :**

- ✓ Une évaluation complète des ressources hydriques a été effectuée, comprenant des données déjà recueillies, des données terrains, des statistiques et des modèles. Ces données concernent principalement le débit, le taux de précipitation, les crues saisonnières, les températures et l'évaporation.
- ✓ Toutes les utilisations du cours d'eau présentes et futures sont prises en considération.
- ✓ La disponibilité des ressources hydrologiques est prise en considération dans la conception du projet.
- ✓ Le maintien d'une bonne qualité de l'eau.

## Régime hydrologique

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Activités de chantiers</b> <b>Construction des ouvrages dans le cours d'eau :</b> <b>Le canal de fuite, l'entrée d'eau, le canal d'amenée, le déversoir, la centrale et les turbines</b>	Pour effectuer ces travaux, il y a assèchement provisoire de la rivière, construction de batardeaux et excavation	✓ <b>Effectuer les travaux dans les périodes les moins stressantes pour l'écosystème</b> ✓ <b>Minimiser le temps où le débit est dévié complètement</b>
<b>Canaux artificiels (opération)</b>	Modification du ruissellement des eaux et de son infiltration dans le sol Modification du taux de recharge des eaux souterraines Inondations	✓ <b>S'assurer de l'étanchéité des canaux artificiels</b>
<b>Barrage de dérivation</b> <b>Déviation du cours d'eau</b> <b>Modification du débit hydrique en aval (opération)</b>	Diminution du débit et du volume dans la section court-circuitée de la rivière, c'est-à-dire entre l'entrée et la sortie d'eau	<b>! Maintenir un débit résiduel minimal (ou débit réservé)</b>

### Détails

**! Maintenir un débit résiduel minimal (ou débit réservé)**

Construire des zones de déversement dans le barrage de dérivation pour assurer débit constant dans la zone court-circuitée.

### Interrelations

Construction des ouvrages → Déviation temporaire du cours d'eau → Assèchement

Canaux artificiels → Modification du ruissellement des eaux et de leur infiltration dans le sol → Augmentation ou diminution du taux de recharge des eaux souterraines → Inondations

## Qualité de l'eau

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Préparation des chantiers</b>  <b>Construction d'ouvrages</b>	Diminution de la qualité de l'eau	<input checked="" type="checkbox"/> Utiliser des matériaux propres lors de la construction des barrages et des digues  <input checked="" type="checkbox"/> Interdiction et contrôle sur le rejet de déchets solides ou liquides dans la rivière  <input checked="" type="checkbox"/> Respecter un périmètre autour des cours d'eau  <input checked="" type="checkbox"/> Utilisation de produits biodégradables  <input checked="" type="checkbox"/> Si possible, effectuer les travaux loin des rives  <input checked="" type="checkbox"/> Entreposer les déchets dans un endroit prévu à cet usage et se situant loin des cours d'eau  <input checked="" type="checkbox"/> Empiler les déchets ligneux à bonne distance d'un cours d'eau  <input checked="" type="checkbox"/> Disposer des déchets solides et liquides aux endroits appropriés  <input checked="" type="checkbox"/> Traiter les résidus solides ou liquides en provenance des sites de construction ou des employés  <b>!</b> Reboisement le long des ruisseaux pour filtrer l'eau
	Turbidité élevée causée par l'érosion  Particules et débris solides en suspensions	<input checked="" type="checkbox"/> Limiter la circulation de véhicules près des cours d'eau  <input checked="" type="checkbox"/> Piège à sédiments  <input checked="" type="checkbox"/> Installer un bassin de décantation pour retenir les boues
	Augmentation des nutriments causés par les eaux usées	<input checked="" type="checkbox"/> Traitement des eaux usées  <input checked="" type="checkbox"/> Installation de toilettes sèches
	Déversement d'huile	<input checked="" type="checkbox"/> Désigner un site exclusivement utilisé pour les entretiens mécaniques des équipements moteurs et des véhicules. Ce site devant

		<p>être très loin d'un cours d'eau.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Système de rétention de l'huile</li> <li>✓ Assurer une bonne supervision lors d'usage d'huile et de carburants ou autres contaminants</li> <li>✓ Posséder un matériel d'urgence pour les traitements des déversements accidentels.</li> </ul>
<b>Chantiers</b>	Mauvaise qualité des eaux de ruissellement	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Site de carrière loin d'un cours d'eau</li> <li>✓ Orienter les eaux de ruissellement contaminées vers des zones de végétation pour favoriser le filtrage naturel</li> </ul>
<b>Barrage de retenue (opération)</b>	Salinisation des eaux souterraines	<b>! Empêcher l'infiltration de l'eau dans le sol</b>
	<p>Détérioration de la qualité de l'eau</p> <p>Modification des paramètres physico-chimiques</p> <p>Augmentation du volume et réduction du débit en amont</p> <p>↑ Turbidité</p> <p>↑ Température</p> <p>↓ Oxygène dissous</p> <p>↑ Nutriments</p> <p>Diminution du volume et du débit en aval</p> <p>↑ Turbidité</p> <p>↑ Température</p> <p>↓ Oxygène dissous</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Assurer un débit d'eau minimum</li> <li>✓ Installation d'entrées d'eau à divers endroits pour diminuer les risques de chocs thermaux en aval</li> <li>✓ Modification de l'évacuateur de crue afin de créer du brassage en aval pour augmenter les transferts de gaz</li> <li><b>! Forcer l'aération de l'eau</b></li> <li><b>! Modifier le canal de fuite de manière à diminuer la saturation de l'eau par des gaz</b></li> <li><b>! Limiter l'entrée de l'eau à forte turbidité en amont</b></li> </ul>

## Détails

! Reboisement le long des ruisseaux pour filtrer l'eau

Les plantes aident à la filtration et à capter les nutriments, par exemple le phosphate et le nitrate provenant justement des activités agricoles.

! Empêcher l'infiltration de l'eau dans le sol

Par exemple, installer une géomembrane en amont du barrage pour empêcher l'infiltration. L'idéal est de situer le projet dans un lieu où le type de sol ne favorise pas l'infiltration.

! Forcer l'aération de l'eau

Néanmoins, un apport trop grand en oxygène peut provoquer une surcroissance des bactéries.

! Modifier le canal de fuite de manière à diminuer la saturation de l'eau par des gaz

Éviter les entrées d'eau trop brusques dans la rivière en aval. Un petit bassin peut être créé avant le retour de l'eau dans la rivière afin de diminuer son débit.

! Limiter l'entrée de l'eau à forte turbidité en amont

Peut être fait en filtrant l'eau qui entre en amont.

## Interrelations

Augmentation des déchets (Débris solides) / (Eaux usées) / (Déversements d'huiles) liés à la construction d'ouvrages → Baisse de la qualité de l'eau (Augmentation de la turbidité) / (Augmentation de la température) / (Diminution de l'oxygène dissous) →

Déviations du cours d'eau → Réduction du débit et du volume d'eau dans la portion déviée de la rivière → Augmentation de la température → Diminution de l'oxygène dissous

## 4.2 Érosion et sédimentation

L'érosion est un processus naturel qui est amplifié par les utilisations anthropiques d'un cours d'eau. Les activités de construction, par le déboisement, l'utilisation de machinerie lourde et l'excavation, contribuent de façon significative à accélérer le processus d'érosion des sols, puis de sédimentation, dans les cours d'eau.

Le type de sol (sable, argile, etc.), l'importance du couvert végétal et la pente des berges permettent une résistance plus ou moins importante des berges à l'érosion.

### Objectif :

- ✓ Les problèmes d'érosion et de sédimentation associés avec le projet sont évités, minimisés, atténués et compensés.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Construction d'ouvrages dans le cours d'eau</b> <b>Fluctuations du volume d'eau</b> <b>Variation du débit</b>	Érosion, sédimentation et particules fines en suspensions dans l'eau  Une charge sédimentaire élevée qui diminue la durée de vie du réservoir et des turbines.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Utiliser des batardeaux qui ne sont pas fabriqués de particules fines pour diminuer leur répartitions dans l'eau</b></li> <li>✓ <b>Captage des sédiments</b></li> <li>✓ <b>Entretien fréquent des conduites d'eau</b></li> <li>✓ <b>Plantation d'arbres pour stabiliser les berges et augmenter le filtrage naturel des sédiments</b></li> </ul>
<b>Travaux d'excavation</b>	Lors de fortes pluies, les eaux des sols excavés sont entraînées vers la rivière  Salinisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Installation d'une station de pompage des eaux d'excavation vers un bassin de sédimentation</b></li> </ul>
<b>Préparation des chantiers</b> <b>Déforestation et l'excavation</b>	Érosion, glissement de terrain et sédimentation	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> <b>Identification des zones à risques</b></li> </ul>

<p><b>du sol</b></p> <p><b>Constructions des bâtiments</b></p> <p><b>Construction des routes</b></p> <p><b>Dynamitage</b></p>	<p>Modification du drainage</p> <p>Assèchement du sol</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Respecter un périmètre dans les zones de pentes abruptes</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Éviter l'utilisation de machineries lourdes</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> <b>Contrôle des zones à être déboisées</b></p> <p>✓ <b>Stabilisation des routes en reboisant</b></p> <p>! <b>Stabilisation des pentes fortes</b></p> <p>○ <b>Protection des sentiers avec herbes ou roches</b></p>
<p><b>Modification du volume et du débit de l'eau (opération)</b></p>	<p>Érosion des berges</p> <p>Transport des sédiments</p>	<p>✓ <b>Construction de digue dans les zones de débits résiduels pour augmenter le niveau de l'eau dans la zone court-circuité</b></p> <p>✓ <b>Stabilisation des berges par la végétation ou des roches</b></p> <p>✓ <b>Filtrage naturel des sédiments par la plantation de végétaux sur les berges</b></p>
<p><b>Sédimentation en amont du barrage de déviation</b></p>	<p>Déficits de sédiments / substrats alluviaux en aval du barrage et perte d'habitats</p>	<p>! <b>Installer un passage dans le barrage pour laisser échapper les sédiments</b></p>

### Détails

! Stabilisation des pentes fortes

Exemple : Installer de murs de soutènement dans les endroits à risque : fortes pentes ou près des ouvrages. Néanmoins, le mieux est d'éviter les endroits fragiles comme les pentes fortes.

! Installer un passage dans le barrage pour laisser échapper les sédiments

Les sédiments doivent être relâchés à petites doses et de manière constante afin d'éviter de laisser passer de trop grandes charges qui perturberaient l'écosystème en aval.

## Interrelations

Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages (Bâtiments temporaires ou permanents) / (Routes) → Sol compacté, écrasé et dénudé → Augmentation ou diminution du drainage → Sol excavé lavé par de fortes pluies et entraîné vers la rivière → Augmentation de la sédimentation et de la salinité de la rivière → Perte de vie aquatique

Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages (Bâtiments temporaires ou permanents) / (Routes) → Déforestation → Assèchement du sol → Augmentation des risques d'érosion par le vent et augmentation des risques de glissement de terrain

Fluctuations du volume d'eau et variations du débit → érosion des berges

Dynamitage → Glissement de terrain

## 4.3 Biodiversité

La biodiversité se définit comme la variété des organismes vivants, y compris celles des différents écosystèmes. Elle se compose d'écosystèmes en santé qui sont en mesure d'effectuer leurs rôles d'approvisionnement, de régulation, de soutien et de services culturels pour les communautés. Le sujet de la biodiversité inclut les habitats, la migration des poissons et le contrôle des espèces envahissantes.

### Objectif :

- ✓ Les impacts négatifs sur la biodiversité sont évités, atténués ou compensés.

### Faune aquatique

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Construction d'ouvrages dans la rivière</b>	Barrières à la migration des poissons Perte de connectivité	<b>! Choix de la période des travaux afin de minimiser les impacts sur la faune terrestre et aquatique.</b>
<b>Augmentation de la charge sédimentaire</b> <b>Pollution du cours d'eau (eaux usées) / (eaux de ruissellement de sites d'excavation)</b> <b>Particules en suspensions</b> <b>Modification de la turbidité et du taux d'oxygène dissous</b>	Perte de biodiversité des poissons Perte de zones de frayères Perte de zones humides Diminution des sources de nourriture Perte d'habitats Perturbations, Blessures et Morts	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Respecter un périmètre dans les zones avec des habitats fauniques importants, tel que les zones humides</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Protéger la végétation des rives et celle alluviale</b> <input checked="" type="checkbox"/> <b>Porter une attention spéciale aux espèces protégées selon la Convention de Washington</b>
<b>Diminution du débit et du volume d'eau</b> <b>Diminution du substrat alluvial en aval (opération)</b>	Perte d'habitats et de zones de frayères du poisson	<b>! Délocalisation des espèces</b> <b>! Maintenir un débit minimal proche du débit naturel de la rivière</b> <input type="checkbox"/> <b>Mettre en place un programme de repeuplement dans la rivière à la fin de la période de travaux</b> <input type="checkbox"/> <b>Repeuplement ailleurs avec un fonds de protection de la biodiversité pour</b>

<p><b>Déplacement de rochers pour la construction</b></p>	<p>Perte de zones calmes constituant des habitats et des aires de repos pour les poissons</p>	<p>les poissons en danger</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Contrôle de température de l'eau en fonction des espèces de poissons</li> <li>! Ajouter du nitrogène et du phosphore dans la rivière, de même que de la nourriture à poissons</li> <li>! Apport de sédiments</li> <li>○ Créer de nouvelles frayères</li> <li>○ Créer des abris, installer des rochers</li> <li>○ Reboisement des berges</li> <li>○ Protection des bassins versants</li> <li>☑ Quotas de pêches attribués aux employés durant la période des travaux</li> </ul>
<p><b>Augmentation du nombre de travailleurs</b></p>	<p>Surpêche</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>☑ Déboisement des zones à être inondées</li> <li>✓ Ne pas encourager leur introduction au départ</li> </ul>
<p><b>Modification du milieu</b></p>	<p>Introduction d'espèces étrangères parfois mieux adaptées qui repoussent les espèces indigènes</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Assurer une bonne supervision lors d'usage d'huile et de carburants ou autres contaminants</li> <li>✓ Posséder un matériel d'urgences pour les traitements des déversements accidentels.</li> <li>✓ Traiter les résidus solides ou liquides en provenance des sites de construction et des employés</li> <li>! Type de turbines</li> <li>! Échelles à poissons</li> <li>! Mécanismes de détournement /éloignement des entrées d'eau</li> <li>✓ Ascenseurs à poissons</li> <li>! Installer des pièges à poissons pour les déplacer manuellement</li> <li>○ Programme de repeuplement</li> </ul>
<p><b>Travaux de construction (opération)</b></p>	<p>Contamination des cours d'eau</p> <p>Obstacles à la migration et reproduction des poissons</p>	

### Détails :

#### ! Choix de la période des travaux

Effectuer les travaux durant les mois où il n'y a pas de nidification des reptiles ou de migration des poissons.

Inonder un territoire lentement et à l'extérieur des périodes de reproduction. Par exemple, effectuer des travaux l'hiver lorsque l'activité des poissons est réduite.

#### ! Délocalisation des espèces

Les espèces déplacées peuvent subir un stress important et certaines peuvent trouver la mort durant ce transfert. Une fois dans leur nouvel habitat, les espèces perturbées auront plus de difficultés à survivre.

#### ! Type de turbines

Il existe aussi de nouveaux modèles de turbines conçus en considérant le passage des poissons. Ces turbines possèdent une vitesse de rotation lente permettant la migration des poissons.

#### ! Échelle à poisson

Les types d'échelles à poissons sont nombreux et présentent un fort taux de réussite, mais aussi d'échec à la migration des poissons. C'est pourquoi il est primordial de bien connaître le milieu dans lequel s'inséra une échelle à poissons. Chaque rivière possédant ses caractéristiques propres, avant de planifier une échelle à poissons, il faut connaître les espèces qui sont propices à l'utiliser. La largeur, la hauteur des marches, le volume d'eau minimal et le débit sont des variables qui devront être adaptées aux espèces de poissons à accommoder. Ainsi, des choses simples et faciles à concevoir proprement, telle la hauteur des marches, peuvent s'avérer fatales pour la réussite du projet. Des marches trop hautes ne permettent pas aux poissons d'une espèce particulière de les franchir. Celles-ci doivent être conçues pour les espèces de poissons migratrices de la rivière. Il faut, entre autres, bien cerner les périodes de montaison ou dévalaison des poissons.

#### ! Mécanismes de détournement /éloignement des entrées d'eau

Afin de permettre aux poissons de s'éloigner des entrées d'eaux, telles que la prise d'eau en amont ou le canal de fuite en aval, il existe des mécanismes de détournement. Il faut s'assurer que les poissons empruntent les échelles, plutôt que les turbines pour effectuer leur migration. Un des premiers éléments à considérer est l'installation de grilles aux différentes entrées d'eau. Ces grilles doivent être très fines afin d'empêcher les gros et les petits poissons de passer. La grille peut être inclinée de manière à orienter les poissons vers

un canal qui les guidera jusqu'à l'échelle à poissons. Ensuite, un faible débit à la prise d'eau (par exemple  $< 4\text{m/sec}$ ), permet aux poissons de s'en éloigner. Pour ce faire, il existe des systèmes pour attirer les poissons vers les échelles. À titre d'exemple citons les barrières lumineuses (telles des lampes au sodium ou au mercure), et/ou un système sonore. Encore une fois, ces systèmes devront être adaptés aux espèces migratrices spécifiques à la rivière réceptrice au projet.

#### ! Pièges à poissons et transfert

Le transfert se fait de façon manuelle et doit être fait sur une base régulière pour ne pas laisser les poissons longtemps dans le piège. Néanmoins, les poissons peuvent vivre un grand stress et certains pourraient mourir lors du déplacement.

#### ! Ajouter du nitrogène et du phosphore dans la rivière, de même que de la nourriture à poissons

Attention cela peut attirer les mauvaises espèces et l'ajout de phosphore peut entraîner une prolifération des algues et créer un manque oxygène et la mort des poissons.

#### ! Apport de sédiments

Les apports en sédiment permettent de créer des habitats pour les poissons en aval du barrage de dérivation.

#### ! Maintenir un débit minimal

Le débit minimal est le débit requis pour maintenir les habitats du poisson. Chaque espèce nécessitant un débit lui étant propre. Normalement ce qui s'approche du débit naturel de la rivière maintient les habitats et les poissons du milieu.

#### Interrelations :

Augmentation de la charge sédimentaire et pollution du cours d'eau (eaux usées) / (eaux de ruissellement de sites d'excavation) → Particules en suspensions → Modification de la turbidité et du taux d'oxygène dissous → Diminution de la qualité des zones de frais et des habitats → Diminution de la vie aquatique

Déplacement de rochers pour la construction → Pertes de zones calmes constituant des habitats et des aires de repos pour les poissons

Augmentation du nombre de travailleurs → Surpêche

## Flore Terrestre

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Modification du milieu</b>	Déboisement et perte de végétation  Perte de zones humides	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Éviter de construire les routes et chantiers dans des zones sensibles.</b> Ex : zones humides  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Optimiser le projet afin de minimiser la perte de végétation et de préserver la forêt</b>  <input type="checkbox"/> <b>Reboiser avec des espèces indigènes dans les zones d'excavation et de construction</b>
	Introduction d'espèces étrangères parfois mieux adaptées qui repoussent les espèces indigènes	<b>! Barrières physiques</b>
	Perte de biodiversité	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Protection légale des espèces considérées rares, vulnérables et/ou en danger</b>  <input type="checkbox"/> <b>Création de zones de conservation</b>  <b>! Collecter et préserver les semences à des fins de conservation et de transplantation à d'autres sites</b>
<b>Travaux de construction</b>	Contamination des sols	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Assurer une bonne supervision lors d'usage d'huile et de carburants ou autres contaminants</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Posséder un matériel d'urgences pour les traitements des déversements accidentels.</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Traiter les résidus solides ou liquides en provenance des sites de construction et des employés</b>

## Détails

### ! Barrières physiques

Ces barrières, efficaces dans le cas de la faune, ne le sont pas toujours pour la végétation et les semences voyageant avec l'air.

### ! Collecter et préserver les semences à des fins de conservation et de transplantation à d'autres sites

Mesure intéressante pour les espèces vulnérables. Par contre, il faut faire attention de ne pas transférer une espèce qui pourrait s'avérer envahissante dans sa région d'accueil.

## Interrelations :

Préparation des chantiers → Déforestation

Construction d'ouvrages → Augmentation des déchets → Contamination du Sol → Contamination des végétaux

Augmentation du nombre de travailleurs → Coupes de bois

## **Faune terrestre et aviaire**

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages</b> <b>Déforestation</b>	Perte d'habitats Migration des espèces	<input checked="" type="checkbox"/> Sélectionner le site avec le moins d'impacts sur la faune <input checked="" type="checkbox"/> Poursuite de l'inventaire de la faune <input checked="" type="checkbox"/> Éviter l'élimination des sites de nidification des oiseaux migrateurs <input checked="" type="checkbox"/> Diminuer ou éviter d'effectuer des travaux durant les périodes de naissances, de nidifications et de migration  <b>! Délocalisation des espèces vulnérables</b>  <input type="checkbox"/> Coupe sélective d'arbres pour favoriser les habitats des espèces comme les orignaux qui nécessitent plus d'espace  <input type="checkbox"/> Reboiser les sites d'excavation afin

		<p>de créer de nouveaux habitats pour la faune</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Création de nouveaux habitats pour les oiseaux migrateurs, tels des îlots dans le réservoir avec plantes et graines leur servant de nourriture</li> <li>○ Création de baies et d'étangs</li> <li>○ Créer des aires de conservation et des réserves dans les zones adjacentes au projet</li> <li>○ Création d'un fonds de protection et de conservation de la faune</li> </ul>
<b>Passages des camions lourds sur les routes</b>	Bruits → Stress	✓ Limiter les périodes de bruits dans le jour
<b>Travaux de construction</b>	Contamination du sol et de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Assurer une bonne supervision lors d'usage d'huile et de carburants ou autres contaminants</li> <li>✓ Posséder un matériel d'urgences pour les traitements des déversements accidentels.</li> <li>✓ Traiter les résidus solides ou liquides en provenance des sites de construction ou des employés</li> </ul>
<b>Construction de routes et passages des camions</b>	Collisions avec les animaux	! Installer des barrières de protection le long des routes
<b>Déviations du cours d'eau</b>	Fragmentation du territoire	✓ Construction d'une passerelle pour faciliter le mouvement des animaux sauvages d'un côté à l'autre des différents canaux
	Morts ou blessures de grands mammifères Assèchement de cours d'eau et Migration des espèces	✓ Installation d'un système récoltant les larges débris aux endroits de passages des animaux
<b>Augmentation du nombre de travailleurs</b>	Sur chasse et braconnage	☑ Quotas de chasse attribués aux employés durant la période des travaux

## Détails

### ! Délocalisation des espèces

La délocalisation des espèces peut entraîner une augmentation de la compétition avec d'autres espèces sur le nouveau territoire. De plus, le processus de transfert en lui-même engendre un niveau de stress élevé et pouvant modifier leur comportement futur, et dans les cas extrêmes, pouvant engendrer la mort de certains.

### ! Installer des barrières de protection le long des routes

Peut engendrer la fragmentation du territoire en empêchant le déplacement des animaux à l'intérieur de leur territoire.

## Interrelations

Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages (Bâtiments temporaires ou permanents) / (Routes) → Déforestation → Perte d'habitats → Migration des espèces → Compétition avec d'autres espèces dans un nouveau territoire

Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages (Bâtiments temporaires ou permanents) / (Routes) → Bruits → Stress → Migration des espèces → Compétition avec d'autres espèces dans un nouveau territoire

Préparation des chantiers et Construction d'ouvrages (Bâtiments temporaires ou permanents) / (Routes) → Contamination du sol et de l'eau → Perte de la faune terrestre

Construction de routes et passages des camions → Collisions avec les animaux

Augmentation du nombre de travailleurs → Surchasse

Déviations du cours d'eau → Fragmentation du territoire

Déviations du cours d'eau → Migration des espèces → Compétition avec d'autres espèces dans un nouveau territoire

## 4.4 Contamination de l'air et du sol

La contamination de l'air et du sol est inévitable durant la phase de construction. Cette contamination peut facilement être atténuée grâce à une bonne gestion des activités de construction.

### Objectif :

- ✓ Les déchets et les problèmes de qualité de l'air associés avec la construction du projet sont évités, minimisés, atténués et compensés.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
Passage de véhicules lourds	Émanation de poussière	<ul style="list-style-type: none"> <li>! Arroser les routes</li> <li>✓ Couvrir les véhicules transportant des particules fines</li> </ul>
Déversement de produits toxiques  Déchets des travailleurs et des activités de construction	Contamination du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> Révision des véhicules avant opération</li> <li>✓ Effectuer les changements d'huiles et de carburant au-dessus d'un drain et d'un réservoir prévu à leur collecte</li> <li>✓ Recyclage des huiles à des entreprises locales</li> <li>! Incinération des déchets solides</li> <li>✓ Recyclage des déchets solides</li> <li>○ Compostage</li> <li>○ Réutilisation des déchets de coupes pour faire les remblais</li> </ul>

## Détails

### ! Arroser les routes

Un camion-citerne est dédié à la tâche. Étant donné la grande quantité d'eau qui peut être utilisée pour cette tâche, les routes ne sont arrosées que lorsque nécessaires et requièrent une bonne gestion du temps. Pour effectuer cette tâche l'eau est prise en amont ou en aval dépendant de la période de l'année.

### ! Incinération des déchets solides

S'il existe d'autres moyens, tels que des sites municipaux, ceux-ci sont utilisés. L'incinération à lieu en dernier recours et ne doit pas comporter de matériaux toxiques pour l'environnement.

## Interrelations

Préparation des chantiers (excavation) / (Passage de camions lourds) et Construction d'ouvrages → Soulèvement de poussières → Diminution de la qualité de l'air

## 4.5 Réservoir

Le rôle du réservoir est de stocker l'eau d'une saison pluvieuse afin de la relâcher dans les turbines lors d'une saison plus sèche, ce qui garantit une charge minimale en tout temps. Les paramètres influençant la sévérité des impacts sont la rapidité avec laquelle le territoire est inondé, la superficie et la quantité de biomasses inondées et le temps de rétention du réservoir.

### Objectif :

- ✓ La préparation et le remplissage du réservoir sont gérés de manière à éviter, minimiser ou compenser les impacts environnementaux, sociaux et économiques qu'il peut engendrer.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<p><b>Inondation du territoire</b></p> <p><b>Décomposition de la matière organique</b></p>	<p>↑ Nutriments</p> <p>↑ Plantes aquatiques</p> <p>↓ Oxygène dissous</p> <p>↓ pH</p> <p>↑ Turbidité et couleur plus foncée de l'eau</p> <p>↑ Température de l'eau</p> <p>Sédimentation au fond du réservoir</p> <p>Émissions de CO<sub>2</sub></p> <p>Débris et particules en suspension</p> <p>Libération de métaux lourds</p> <p>Libération de mercure et</p>	<p><b>! Déboiser ce qui doit être inondé afin de diminuer les émissions de GES, les métaux et d'éviter des débris solides en surface</b></p> <p><b>✓ Excavation et traitement des sites contaminés avant l'inondation</b></p>

	Bioaccumulation chez les espèces aquatiques	
<b>Inondation du territoire</b>  <b>Modification du milieu (milieu terrestre à milieu lacustre)</b>	Perte de végétation et d'habitats  Migration et Compétition avec d'autres espèces dans un nouveau territoire  Morts d'animaux noyés	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Sélectionner le site avec le moins d'impacts sur la faune et la flore</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Effectuer une inondation graduelle</b>  <b>! Délocalisation des animaux</b>
	Augmentation de la longueur de rive et création d'habitats  Apparition de nouvelles espèces	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Surveiller la place que prennent les nouvelles espèces en rapport avec les espèces d'avant barrage et entreprendre les actions spécifiques lorsque nécessaire</b>
<b>Activités de chantiers</b>	Déboisement	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Prévoir des sites d'excavation à l'intérieur du territoire à être inondé afin de diminuer les pertes d'habitats</b>
<b>Travaux et inondation</b>	Érosion et sédimentation du réservoir	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Gestion des pentes et des sols</b>
<b>Transformation du milieu (opération)</b>	Invasion d'espèces de poissons migratrices mieux adaptées aux lacs	
<b>Stagnation de l'eau (opération)</b>	Apparition d'insectes vecteurs de maladies	<b>! Éliminer les habitats propices aux insectes en maintenant un débit constant</b>
<b>Blocage des sédiments dans le réservoir (opération)</b>	Envasement du réservoir Érosion et sédimentation dans le réservoir Érosion des plages en aval, car diminution des	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Déboiser ce qui doit être inondé afin d'éviter des débris solides en surface</b>  <input checked="" type="checkbox"/> <b>Barrage ou digue pour attraper la terre et le sable</b>

	sédiments qui s’y rendent Perte d’efficacité des turbines	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Construction d’un tunnel d’évacuation des sédiments</b></li> <li>○ <b>Reboisement des rives pour solidifier les berges et filtrer les sédiments</b></li> </ul>
<b>Ralentissement du débit dans le réservoir</b>  <b>Augmentation de la superficie de l’eau au soleil (opération)</b>	Évaporation  Variation de températures non saisonnières	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Boiser les berges afin de fournir de l’ombre au réservoir</b></li> </ul>
<b>Baisse du débit</b>  <b>Augmentation du volume d’eau (opération)</b>	Salinité	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Reboisement</b></li> <li>✓ <b>Conservation des espèces autochtones</b></li> <li>✓ <b>Maintenir un débit pour diluer la salinité</b></li> </ul>
<b>Présence du réservoir</b>  <b>Augmentation du volume d’eau (opération)</b>	Séisme	<ul style="list-style-type: none"> <li><input checked="" type="checkbox"/> <b>Bien choisir le site de la centrale en faisant des études géotechniques</b></li> <li>✓ <b>Remplir le réservoir lentement</b></li> <li>✓ <b>Ne pas remplir le réservoir à un niveau d’eau trop haut</b></li> </ul>
	Débordement du réservoir	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Construire un évacuateur des crues et des canaux d’irrigation</b></li> <li>✓ <b>Construire des digues pour empêcher les inondations d’habitats fauniques</b></li> </ul>

### Détails

! Déboiser ce qui doit être inondé afin de diminuer les émissions de GES, les métaux et d’éviter des débris solides en surface

En zone tropicale, la matière organique est dense et la végétation repousse très vite, c’est pourquoi il est nécessaire de bien gérer le temps entre la coupe des arbres et l’inondation. De plus, une inondation graduelle diminue la gravité des impacts.

! Délocalisation des animaux

Voir section biodiversité.

### Interrelations

#### *Qualité de l'eau*

Inondation du territoire → Décomposition de la matière organique → Émissions de CO<sub>2</sub> → Formation d'acide carbonique → Diminution du pH

Inondation du territoire → Décomposition de la matière organique → Émissions de CO<sub>2</sub> et de NH<sub>4</sub> (Mercure)

#### *Flore et faune aquatiques*

Inondation du territoire → Décomposition de la matière organique → Libération de mercure → Bioaccumulation du mercure dans les espèces aquatiques

Inondation du territoire → Décomposition de la matière organique → Augmentation des nutriments et Eau plus chaude → Prolifération de plantes aquatiques → Épuisement de l'oxygène → Eutrophisation accélérée du réservoir

Inondation du territoire → Décomposition de la matière organique → Sédimentation de la matière au fond du réservoir → Diminution de l'oxygène → Libération de métaux lourds et de sulfites d'hydrogènes

#### *Flore terrestre*

Inondation du territoire → Perte de végétation terrestre

#### *Faune terrestre*

Inondation du territoire → Pertes d'habitats → Morts ou Migration des espèces → Compétition avec d'autres espèces dans un nouveau territoire

Inondation du territoire → Augmentation de la longueur de rives → Création d'habitats (troncs submergés) pour les oiseaux, les reptiles, les amphibiens

Inondation du territoire → Augmentation des particules en suspension dans l'eau → Altération de la turbidité et de la couleur (plus foncé) → Augmentation de la température

## 5 OPÉRATION

Durant la phase d'opération, il est important de maintenir un suivi des impacts environnementaux et des mesures d'atténuation ou de compensation du projet mis en place. Un programme de suivi doit permettre d'identifier les problèmes en lien avec l'exploitation de la centrale. Pour ce faire, des échantillonnages, des visites terrains et des discussions avec les communautés sont nécessaires. Si, d'une quelconque manière, il est constaté que les mesures mises en place ne sont pas adéquates, des modifications doivent avoir lieu afin de remédier à la situation. Il peut aussi y avoir émergence de nouveaux problèmes qui ne sont pas en lien avec les impacts environnementaux et les mesures d'atténuation prévues à l'étape de planification et de construction. Étant donné que certains projets ont une durée de vie très longue (parfois plusieurs décennies), le suivi de l'efficacité des mesures d'atténuation et la surveillance constante de l'émergence de nouveaux impacts sont deux éléments clés à une phase d'opération réussie.

### **Éléments à continuellement surveiller durant l'étape d'opération:**

- ⇒ Régime hydrologique et qualité de l'eau
- ⇒ Érosion et la sédimentation
- ⇒ Biodiversité
- ⇒ Réservoir

## 5.1 Régime hydrologique et qualité de l'eau

Le régime hydrologique comprend l'ensemble des éléments physiques d'un cours d'eau. Il s'agit de son débit, son volume, ses crues saisonnières, le taux de précipitation, les températures et l'évaporation. Tous les usages humains entourant un cours d'eau sont susceptibles d'amener des modifications au régime hydrologique. Durant la phase d'opération d'un projet hydroélectrique, le régime hydrologique naturel peut être perturbé. Le régime hydrologique étant ce qui définit un milieu aquatique, toute altération conduit à des modifications sur l'écosystème dans son ensemble.

Certaines incertitudes futures peuvent altérer le régime hydrologique, par exemple les changements climatiques, une croissance soutenue de la population et de nouveaux usages de l'eau en amont de la centrale.

Une eau saine est vitale à la santé de l'écosystème dont elle fait partie puisqu'elle nourrit les êtres qui y vivent. Une bonne qualité de l'eau se reflète dans des paramètres physico-chimiques stables. Ces principaux paramètres comprennent la température, le pH, le taux d'oxygène dissous, la couleur et la turbidité.

### **Objectifs :**

- ✓ L'intégrité du régime hydrologique est maintenue y compris le régime d'écoulement en aval.
- ✓ Un suivi du régime hydrologique et de la qualité de son eau est effectué et tout problème émergeant est réglé dans les plus brefs délais.
- ✓ Un suivi est effectué quant aux mesures d'atténuation et de leur efficacité
- ✓ Les risques potentiels de modification du débit et du volume sont connus et surveillés.
- ✓ Les diverses utilisations du bassin versant sont connues.
- ✓ L'opération de la centrale n'entrave pas les autres usages de la rivière.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Barrage de dérivation</b> <b>Déviation du cours d'eau</b> <b>Modification du débit hydrique en aval</b>	Diminution du débit et augmentation du volume d'eau en amont	<b>✓ Maintenir un volume et un débit d'eau suffisant dans la rivière</b>  <b>✓ Gérer la température de l'eau</b>  <b>! Gérer les crues</b>  <b>! Maintenir l'intégrité du régime hydrique</b>
	Diminution du débit et du volume dans la section de la court-circuitée de la rivière, c'est-à-dire entre l'entrée et la sortie d'eau	
	Perte de connectivité entre les différentes sections du cours d'eau	
	Modification des paramètres physico-chimiques Augmentation du volume et réduction du débit en amont ↑Turbidité ↑Température ↓Oxygène dissous ↑Nutriments Diminution du volume et du débit en aval ↑Turbidité ↑Température ↓Oxygène dissous	
<b>Rejet d'eaux usées ou de produits agricoles</b>	Contamination	<b>✓ Suivi des contaminants extérieurs au projet tel que les eaux usées, les déchets et les sites contaminés</b>

Détails :

! Gestion de l'eau

Relâcher périodiquement l'eau en amont du barrage de dérivation afin de recréer le cycle d'inondations naturelles et les variations du débit d'avant centrale.

! Maintenir l'intégrité du débit hydrique

Le débit hydrique doit être spécifié pour chaque saison. Par exemple, connaître les débits minimaux et maximaux pour les saisons sèches et des pluies.

Interrelations :

Débit → Biodiversité → Poissons → Nourriture

Déviations du cours d'eau → Réduction du débit et du volume d'eau dans la portion déviée de la rivière → Sédimentation → Diminution de l'oxygène dissous

La qualité de l'eau affecte les poissons, l'accès à l'eau potable des populations, les pratiques agricoles du bassin versant affectent la qualité de l'eau.

Contamination de l'eau par apports de nutriments des fermes + Diminutions du débit → Concentration plus élevée de contaminants chimiques

## 5.2 Érosion et sédimentation

L'érosion est un processus naturel qui est amplifié par les utilisations anthropiques d'un cours d'eau. Durant la phase d'opération, ce sont les variations du débit et du volume de l'eau qui sont les principales sources d'érosion. Le type de sol (sable, argile, etc.), l'importance du couvert végétal et la pente des berges permettent une résistance plus ou moins importante des berges à l'érosion.

### Objectifs :

- ✓ Les problèmes d'érosion et de sédimentation associés avec le projet sont évités, minimisés, atténués et compensés.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Modification du volume et du débit de l'eau</b>	Érosion des berges Transport des sédiments	✓ <b>Gestion du débit et du volume de l'eau afin d'éviter l'érosion des berges</b>
<b>Pratiques agricoles non adaptées</b>	Assèchement et érosion des sols avoisinants le cours d'eau	✓ <b>Suivi et éducation des agriculteurs pour de meilleures pratiques agricoles</b>

### Interrelations

Déforestation et modification du volume et débit d'eau → Érosion et sédimentation → Envasement / Assèchement

## 5.3 Biodiversité

La biodiversité reste affectée durant la phase d'opération et un suivi régulier doit y être attribué.

### Objectifs :

- ✓ L'intégrité de l'écosystème est maintenue, soit aucune perte de productivité des milieux récepteurs.
- ✓ Un suivi rigoureux est effectué quant à l'efficacité des mesures d'atténuation et, si nécessaire, de nouvelles mesures sont mises en places.
- ✓ L'émergence de nouveaux impacts sur la biodiversité est surveillée.

### Faune aquatique

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Barrage de dérivation et turbines</b>	Obstacles à la migration et reproduction des poissons	<b>! Maintenir les repères physico-chimiques</b> ○ Programme de repeuplement
<b>Diminution du débit et du volume d'eau</b>	Perte d'habitats et de zones de frayères du poisson  Apparition d'insectes vecteurs de maladies	✓ Suivi du maintien du débit minimal ✓ Maintenir l'accès aux zones de frai et s'assurer que les œufs ne sont ni gelés, ni asséchés ○ Protection des bassins versants ✓ Installation d'un petit bassin de dessablage à l'entrée du canal de dérivation afin de capturer les insectes ✓ Gestion de l'eau pour éviter des périodes de stagnation ✓ Assurer un débit permanent ans le canal de dérivation
<b>Modification du</b>	Introduction d'espèces	✓ Suivi du contrôle des espèces prédatrices

milieu	étrangères	<b>et celles qui entrent en compétition avec les poissons</b> <b>✓ Éliminer les espèces indésirables</b>
--------	------------	---

### Détails

! Les repères physico-chimiques

Les changements de température et de débits fournissent des signaux à la migration des poissons. Le cycle saisonnier de débit et de variations de température doit être maintenu.

## Végétation

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<b>Modification du débit</b>	Perte de végétations	<b>! Maintenir un débit semblable au débit naturel afin de préserver la végétation riveraine</b>

### Détails

! Maintenir un débit semblable au débit naturel afin de préserver la végétation riveraine.

Un débit trop fort déracine les plantes. Les plantes riveraines capturent les sédiments et permettent ainsi de filtrer l'eau. De plus, elles stabilisent le sol avec leurs racines, diminuant les risques d'érosion. La végétation riveraine est vitale pour les oiseaux et la productivité biologique en général.

## Faune terrestre et aviaire

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
	Perte d'habitats et de ressources pour la faune terrestre et aviaire Perte de biodiversité	<input checked="" type="checkbox"/> <b>Protection légale des espèces considérées rares, vulnérables et/ou en danger</b> <b>✓ Suivi de la gestion de la faune et poursuite de l'inventaire</b> <b>! Gestion des niveaux d'eau et relâches d'eau en amont du barrage de dérivation</b> <input type="checkbox"/> <b>Reproduction en captivité, puis relâchement dans l'habitat naturel pour les espèces rares ou en danger</b>

## Détails

! Gestion des niveaux d'eau et relâches d'eau en aval du barrage de dérivation

Permet de recréer le cycle d'inondation naturel et favoriser le développement de la végétation adéquate pour maintenir les populations d'oiseaux.

## Interrelations

Modification du débit → Perte de végétation aquatique

Modification du débit → Augmentation de la température → Diminution de l'oxygène dissous → Diminution de la faune aquatique, poissons, macro-invertébrés ou modification des espèces (espèces qui nécessitent moins d'oxygène remplaceront celles qui en ont besoin de plus)

Modification du débit → Perte de repères pour la migration des poissons

Déforestation de la bande riveraine → Perte d'ombre sur le cours d'eau → Augmentation de la température → Perte ou modification des espèces présentes dans le cours d'eau

Déforestation de la bande riveraine → Érosion et sédimentation → Perte de faune aquatique

Centrale, canaux, etc. → Obstacles à la migration des poissons → Impossibilité de migrer ou mort

## 5.4 Réservoir

Un réservoir transforme un milieu terrestre en milieu lacustre. C'est durant les années d'opération de la centrale que les impacts environnementaux d'un tel changement sont atténués et qu'un retour à la normale peut sembler avoir lieu. En effet, les impacts liés avec la décomposition de la biomasse s'estompent et une harmonie entre les espèces et leur milieu s'installe. Par contre, certains impacts négatifs en lien avec la présence du réservoir persistent durant la phase d'opération et provoquent des répercussions néfastes sur l'environnement.

### Objectifs :

- ✓ Le barrage est régulièrement entretenu, de sorte que l'environnement et la vie des gens sont protégés contre des défaillances ou une rupture du barrage

Mesures : entretien, gestion des débris (particulièrement en période de mousson), érosion, gestion des activités multiples au réservoir, gestion des inondations, sédimentation du réservoir, qualité de l'eau, biodiversité, invasion d'espèces, maladies.

Sources d'impacts	Description des impacts	Mesures
<p><b>Ralentissement du débit dans le réservoir</b></p> <p><b>Faible renouvellement de l'eau (stratification thermique)</b></p>	<p>Eutrophisation accélérée des réservoirs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <b>Suivi de l'apparition des plantes aquatiques, si nécessaire enlèvement à la main du phytoplancton à la surface du réservoir</b></li> <li>! <b>Enlever les autres débris de surface</b></li> <li>✓ <b>Contrôle et destruction de plantes aquatiques à l'aide de rejets périodiques des eaux de surfaces</b></li> <li>! <b>Utilisation de pesticides pour contrôler les plantes</b></li> <li>✓ <b>Contrôle des activités d'agraires, industrielles ou en provenance des villes</b></li> </ul>

		<b>! Traiter les eaux usées qui parviennent des tributaires</b>
<b>Transformation du milieu</b>	Invasion d'espèces de poissons migratrices mieux adaptées aux lacs	✓ <b>Éliminer les habitats propices aux insectes en maintenant un débit constant</b>
	Stagnation de l'eau et apparition d'insectes vecteurs de maladies	
<b>Blocage des sédiments dans le réservoir</b>	<p>Envasement du réservoir</p> <p>Érosion et sédimentation dans le réservoir</p> <p>Érosion des plages en aval par la diminution des sédiments qui s'y rendent</p> <p>Perte d'efficacité des turbines</p>	✓ <b>Effectuer la vidange régulière des sédiments pris dans le réservoir</b>
<p><b>Ralentissement du débit dans le réservoir</b></p> <p><b>Augmentation de la superficie de l'eau au soleil</b></p>	<p>Évaporation</p> <p>Variation de températures non saisonnières</p>	✓ <b>Suivi de la végétation des berges afin de fournir de l'ombre au réservoir</b>
<p><b>Baisse du débit</b></p> <p><b>Augmentation du volume d'eau</b></p>	Salinité	✓ <b>Suivi du débit nécessaire pour diluer la salinité</b>
<b>Réservoir</b>	Séisme	<p>✓ <b>Suivi du niveau d'eau dans le réservoir</b></p> <p>✓ <b>Effectuer un entretien régulier du barrage pour s'assurer de son bon état</b></p>
<b>Modification des crues</b>	Débordement du réservoir	✓ <b>Turbidité : augmenter le temps de rétention de l'eau dans le réservoir en période de fortes pluies</b>
	<p>Perte des crues naturelles saisonnières</p> <p>Perte des repères de débits et de température pour la migration, la reproduction des poissons</p>	<p>✓ <b>Maintenir un débit qui imite le cycle naturel dans la rivière</b></p> <p><b>! Maintenir les crues saisonnières</b></p>

<b>Relâchement d'eau provenant du fond du réservoir</b>	L'eau froide empêche le frai des poissons	<b>! Gestion de la température de l'eau relâchée vers l'aval</b>
	Perte de rentabilité agricole	

### Détails

**! Enlever les débris de surface**

Particulièrement en période de moussons.

**! Utilisation de pesticides pour contrôler les plantes**

Les pesticides sont néfastes à l'environnant; il faut les employer très modérément. Il est plutôt suggéré d'utiliser des mesures biologiques.

**! Traiter les eaux usées qui parviennent des tributaires**

Permet de réduire la charge en nutriments et la prolifération des plantes aquatiques. C'est aussi un investissement social important pour les communautés locales, puisque le traitement leur permet d'avoir accès à une eau potable.

**! Maintenir les crues saisonnières**

La modification des périodes de crues naturelles peut empêcher le renouvellement de zones humides ou au contraire, noyer des forêts à la période de l'année où elles sont généralement asséchées, ce qui peut entraîner un désastre écologique.

**! Gestion de la température de l'eau relâchée vers l'aval**

La vidange d'eau d'un réservoir se fait habituellement avec l'eau du fond de celui-ci diminuant subitement la température de l'eau en aval. Une eau froide nuit au frai des poissons et diminue la croissance agricole, par exemple celle du riz. Afin de tiédir la température de l'eau, il est recommandé de relâcher, en même temps, l'eau plus chaude provenant de la surface du réservoir.

## Interrelations

Transformation du milieu (terrestre à lacustre) → Augmentation de la superficie de l'eau exposé au soleil → Augmentation de la température → Stratification thermique du réservoir

Inondation du territoire → Transformation d'un milieu terrestre à un milieu lacustre → Modification des espèces présentes

Augmentation de la superficie réchauffée par le soleil ou refroidis par les vents → Modification de la température de l'eau et de la densité → Stratification thermique du réservoir → Diminution des fréquences de brassages de l'eau → Anoxie de l'hypolimnion (ou manque d'oxygène de la couche la plus profonde)

Diminution du débit en aval → Perte de végétation → Perte d'habitats pour la faune

Fragmentation du territoire par le réservoir → Obstacles à la migration d'animaux

Inondation → Stagnation de l'eau et augmentation de la température → Création d'habitats pour les insectes et vers vecteurs de maladies

Inondation du territoire → Augmentation de la superficie de l'eau au soleil → Évaporation

Fragmentation des rivières → Modification du modèle d'écoulement → Assèchement des certaines sections de rivières et augmentation du volume dans d'autres → Impacts sur la vie aquatique

Lâchés d'eau → Augmentation du débit → Déracinement des plantes → Perte d'habitats et de nourriture

Disparition des crues naturelles → Empêche le renouvellement des zones humides

Vidanges des sédiments de fond du barrage vers l'aval de la rivière → Augmentation temporaire des sédiments et de matières en suspensions en aval → Perte de vie aquatique

Érosion, sédimentation et évaporation du réservoir → Envaselement

Diminution du débit → Apparition d'espèces adaptées aux eaux calmes et disparition des espèces d'eau vive

Décomposition de la biomasse → Augmentation de la vie aquatique

Évacuateur des crues → Augmentation du brassage → Saturation d'oxygène dissous

## 6 IMPACTS CUMULATIFS

Un impact cumulatif se définit comme étant l'accumulation de changements, qu'ils soient en relation avec des actions passées, présentes ou futures, induits par l'homme sur l'environnement. Ces changements peuvent avoir lieu dans le temps ou l'espace et d'une manière additive ou synergique. Il existe plusieurs types d'impacts cumulatifs. Tout d'abord, un impact additionnel, où un projet à lui seul n'affecte pas significativement l'environnement, mais plusieurs projets additionnés les uns aux autres, génèrent un impact considérable. Ensuite, l'impact synergétique, où plusieurs projets génèrent un impact plus important que la somme de leurs impacts individuels. Il y a l'impact dit de saturation qui représente le point de non-résilience d'un environnement suite à l'addition d'un projet. Les impacts reliés au temps ou à l'espace, où l'environnement n'a pas le temps de récupérer des impacts d'un projet avant d'être soumis à d'autres. Le sujet des impacts cumulatifs reste très complexe puisque ces impacts varient en fonction de plusieurs variables, dont les capacités de résilience des milieux. Cette section du guide veut sensibiliser les lecteurs à ce problème afin qu'ils puissent tenir compte de l'émergence d'impacts cumulatifs lors de l'élaboration projet.

- ✓ Effectuer une gestion intégrée de l'eau par bassins versants
- ✓ Tous les usages humains d'un cours d'eau, ainsi que ses exigences environnementales, sont pris en compte

### **Étapes d'identification des impacts cumulatifs :**

- ◆ Identifier la portée de l'étude
- ◆ Sélectionner les composantes valorisées de l'environnement
- ◆ Établir les limites spatiales et temporelles
- ◆ Déterminer les autres activités d'influences, par exemple, les activités minières, les coupes forestières, la chasse et la pêche et la construction d'infrastructures

**Les éléments du milieu susceptibles de subir des impacts cumulatifs lors de tout projet hydroélectrique sont les suivants :**

- ◆ Les espèces fauniques et floristiques à statut particulier
- ◆ La faune aquatique
- ◆ La faune aviaire
- ◆ La faune terrestre ainsi que ses habitats
- ◆ Les plans d'eau (ex. la concentration de mercure dans la chair des poissons)

**Facteurs à considérer lors de l'identification des impacts cumulatifs :**

- ◆ Les mètres de bandes riveraines touchées
- ◆ Le nombre et l'importance des barrières à la migration des poissons
- ◆ Le nombre d'habitats pouvant être affecté par les changements de débit d'eau
- ◆ La réduction du volume d'eau
- ◆ Le nombre de routes à être construites

Les impacts liés aux petites centrales sont souvent d'ordre plus sérieux lorsque sont pris en considération les kilomètres de rivières fragmentées par MW d'électricité produite. Plus une rivière est fragmentée, plus grand seront les problèmes de connectivité des espèces. Les premiers affectés par une multiplication de projets hydroélectriques sur un même cours d'eau sont les poissons. En effet, ceux-ci doivent remonter le cours d'eau afin d'atteindre un endroit pour frayer. Or, plus le nombre de centrales est élevé, plus il y aura d'obstacles à traverser pour les poissons et plus ceux-ci arriveront épuisés à leur destination finale.

Enfin, il est essentiel de ne pas sous-estimer les impacts cumulatifs pouvant survenir lors d'un projet hydroélectrique. Ceux-ci sont souvent oubliés, puisqu'ils peuvent prendre des années avant d'apparaître et que souvent ils émergent à distance de la centrale.

## RÉFÉRENCES

- Abbasi, S.A. Abbasi, N. (2000). The likely adverse environmental impacts of renewable energy sources. *In Applied Energy* 65. 121-144p.
- Agence Canadienne d'Évaluation Environnementale. (ACEE). (2010). Guide du praticien sur l'évaluation des effets cumulatifs. [En ligne]. <http://www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=43952694-1&offset=1&toc=show#tphp> (Page consultée le 23 février 2011)
- Anderson, E. Pringle, C. Rojas, M. (2006). Transforming tropical rivers: an environmental perspective on hydropower development in Costa Rica. *In Institute of Ecology, University of Georgia, Athens, Georgia, USA* p.15
- Commission Mondiale des Barrages. (2000). Barrage et développement : un nouveau cadre pour la prise de décisions. [En ligne]. [http://www.dams.org/report/wcd\\_tour.htm](http://www.dams.org/report/wcd_tour.htm) (Page consultée le 23 novembre 2010)
- EMA et ECON. (2005). Environmental impacts statement for Nyagak minihydro. *In West Nile concession Committee* 171 p.
- European Small Hydropower Association (ESHA). (2006). Environmental Integration of Small Hydropower Plant. *In Thematic Network on Small Hydro. European Union.* [En ligne]. [http://www.esha.be/fileadmin/esha\\_files/documents/publications/publications/Brochure\\_EN.pdf](http://www.esha.be/fileadmin/esha_files/documents/publications/publications/Brochure_EN.pdf) (Page consultée le 21 février 2011)
- Fields, D. Revell, G. World Bank. (2009). Directions in Hydropower, scaling up for development. [En ligne]. <http://go.worldbank.org/68WVUM1450> (Page consultée le 10 janvier 2011)
- Gret, J.M. (2006). Micro-centrale hydraulique. *In Réseau International d'Accès aux Énergies Durables. Site du réseau international d'accès aux énergies durables* [En ligne]. <http://www.riaed.net/spip.php?article49> (Page consultée le 8 janvier 2011).
- Hydro-Québec. (2011). Les aménagements hydroélectriques et les communautés de poissons. *In Hydro-Québec site web.* [En ligne]. <http://www.hydroquebec.com/developpementdurable/documentation/poissons.html> (Page consultée le 7 février 2011)
- International Energy Agency, (2010). Renewable energy essentials : Hydropower. [En ligne]. <http://www.iea.org/> (Page consultée le 8 janvier 2011)

- New Energy foundation (2006). Hydropower good practices. Environmental mitigation measures and benefits. *In* IEA Implementing Agreement for Hydropower Technologies and programmes. Annex VIII. Japan.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), International Hydropower Association (IEA). (2010). Energy Poverty: How to make modern energy access universal? *In* World energy outlook. [En ligne]. [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010\\_poverty.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_poverty.pdf) (Page consultée le 3 février 2011)
- Organisations for the Promotion of Energy Technologies (OPET). (2000). Guide to environmental impacts assessment of small hydropower plants. *In* Energie. European Union's fifth framework programme for research technological development and demonstration. European Commission. Brussel, Belgique. 111p.
- Que Energy Limited. (2009). Environmental impact assessment project for the proposed Thuci small-hydropower station in Thuita location. *In* Ministry of Energy. Republic of Kenya. Nithi constituency, Nithi district. 67 p.
- Ressources naturelles Canada. (2008). Renewable : Small-hydropower, fish friendly turbines. *In* CanmetEnergy. Ressources Naturelles Canada. [En ligne]. [http://canmetenergy-canmetenergie.nrcanrncan.gc.ca/eng/renewables/small\\_hydropower/fishfriendly\\_turbine.html](http://canmetenergy-canmetenergie.nrcanrncan.gc.ca/eng/renewables/small_hydropower/fishfriendly_turbine.html) (Page consultée le 24 février 2011)
- RETSscreen International. (2004). Analyse de projets de petite centrale hydroélectrique. [En ligne]. [www.retscreen.net](http://www.retscreen.net) (Page consultée le 6 décembre 2010)
- Seelos, K. (2000). Cumulative Impacts. *In* IEA Hydropower Agreement. *Implementing agreement for hydropower technologies and programmes*. Annex III Hydropower and the environment : Present context and guidelines for futur actions. Volume 3 Appendice G.
- Siegfried, A. Bolliger, R. Pfammatter, R. (Ernst Blaser + Partner) (2008). Catalogue de critères pour les centrales hydroélectriques écologiques. *In* WWF Suisse, Pro natura. Rapport final du 7 juillet 2008. [En ligne]. [http://www.pronatura.ch/content//data/2008\\_Critres%20ch\\_eco.pdf](http://www.pronatura.ch/content//data/2008_Critres%20ch_eco.pdf) (Page consultée le 15 mars 2011).
- Sustainable Hydropower Foundation. (2006). Sustainable hydropower. [En ligne]. <http://www.sustainablehydropower.org/site/info/contacts.html> (Page consultée le 1 février 2011)
- Thérien, J. Bourgeois, G. (2000). Fish passage at small hydro sites. *In* IEA Implementing Agreement for hydropower technologies and programmes. Annex II. Small-Scale hydro.

World Bank, (2006). Clean energy and development : towards an investment framework.  
[En ligne]. <http://go.worldbank.org/BEUCQN31A0> (Page consultée le 10 janvier 2011)