



UNITED NATIONS
INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION



Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité **CONCEPTION**

Partie 8 : Évaluation des impacts sociaux et environnementaux

SHP/TG 002-8 : 2019



CLAUSE DE NON-RESPONSABILITÉ

Le présent document n'a pas été revu par les services d'édition de l'Organisation des Nations Unies. Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Secrétariat de l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel (ONUDI) aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites, ou à leur système économique ou degré de développement. Les qualificatifs tels que « développé », « industrialisé » et « en développement » ne sont employés que pour des raisons de commodité statistique et n'expriment pas nécessairement un jugement sur le stade de développement atteint par un pays ou par une zone particulière. La mention de noms de sociétés ou de produits commerciaux ne signifie pas que l'ONUDI approuve lesdites sociétés ou produits. Bien que les auteurs du présent document aient veillé avec le plus grand soin à l'exactitude des informations y figurant, l'ONUDI et ses États Membres n'assument aucune responsabilité en ce qui concerne les conséquences qui pourraient découler de leur utilisation. Le présent document peut être cité ou réimprimé librement, mais une telle utilisation doit faire mention de la source.

Directives techniques pour le
développement de la petite hydroélectricité
CONCEPTION

Partie 8 : Évaluation des impacts sociaux et environnementaux

SHP/TG 002-8 : 2019

REMERCIEMENTS

Les directives techniques sont le fruit d'une collaboration entre l'Organisation des Nations unies pour le développement industriel (ONUUDI) et le Centre International sur la Petite Hydraulique (INSHP). Environ 80 experts internationaux et 40 organismes internationaux ont participé à l'élaboration et à l'examen par les pairs du document, fournissant observations et suggestions concrètes pour garantir le professionnalisme et l'applicabilité des directives.

L'ONUUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique apprécient grandement les contributions apportées lors de l'élaboration de ces directives et en particulier celles des organisations internationales suivantes :

- Le marché commun de l'Afrique orientale et australe (COMESA)
- Le réseau mondial de centres régionaux pour les énergies renouvelables (GN-SEC), en particulier le Centre de la CEDEAO pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (ECREEE), le Centre d'Afrique de l'Est pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (EACREEE), le Centre du Pacifique pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (PCREEE) et le Centre des Caraïbes pour les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique (CCREEE).

Le gouvernement chinois a facilité la finalisation de ces directives et a joué un rôle important dans leur élaboration.

L'élaboration de ces directives a grandement bénéficié des apports précieux, de la révision, des commentaires constructifs et des contributions reçues de M. Adnan Ahmed Shawky Atwa, M. Adoyi John Ochigbo, M. Arun Kumar, M. Atul Sarthak, M. Bassey Edet Nkposong, M. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Mme. Arun Kumar, M. Atul Sarthak, M. Bassey Edet Nkposong, M. Bernardo Calzadilla-Sarmiento, Mme Chang Fangyuan, M. Chen Changjun, Mme Chen Hongying, M. Chen Xiaodong, Mme Chen Yan, Mme Chen Yueqing, Mme Cheng Xialei, Mme Chileshe Kapaya Matantilo, Chileshe Kapaya Matantilo, Mme Chileshe Mpundu Kapwepwe, M. Deogratias Kamweya, M. Dolwin Khan, M. Dong Guofeng, M. Ejaz Hussain Butt, Mme Eva Kremere, Mme Fang Lin, M. Fu Liangliang, M. Garaio Donald Gafiye, M. Guei Guillaume Fulbert Kouhie, M. Guo Chenguang, M. Guo Hongyou, M. Harold John Annegam, Mme Hou ling, M. Hu Jianwei, Mme Hu Xiaobo, M. Hu Yunchu, M. Huang Haiyang, M. Huang Zhengmin, Mme Januka Gyawali, M. Jiang Songkun, M. K. M. Dhareesan Unnithan, M. Kipyego Chelugot, M. Kolade Esan, M. Lamysier Castellanos Rigoberto, M. Li Zhiwu, Mme Li Hui, M. Li Xiaoyong, Mme Li Jingjing, Mme Li Sa, M. Li Zhenggou, Mme Liang Hong, M. Liang Yong, M. Lin Xuxin, M. Liu Deyou, M. Liu Heng, M. Louis Philippe Jacques Tavernier, Li Zhenggou, Mme Liang Hong, M. Liang Yong, M. Lin Xuxin, M. Liu Deyou, M. Liu Heng, M. Louis Philippe Jacques Tavernier, Mme Lu Xiaoyan, M. Lv Jianping, M. Manuel Mattiat, M. Martin Lugmayr, M. Mohamedain SeifElnasr, M. Mundia Simainga, M. Mukayi Musarurwa, M. Olumide TaiwoAlade, M. Ou Chuanqi, Mme. Pan Weiping, M. Ralf Steffen Kaeser, M. Rudolf Hupfl, M. Rui Jun, M. Rao Dayi, M. Sandeep Kher, M. Sergio Armando Trelles Jasso, M. Sindiso Ngwenga, M. Sidney Kilmete, Mme Sitraka Zaraso Rakotomahefa, M. Shang Zhihong, M. Shen Cunke, M. Shi Rongqing, Mme Sanja Komadina, M. Tareqemtairah, M. Tokihiko Fujimoto, M. Tovoniaina Ramanantsoa Andriampaniry, M. Tan Xiangqing, M. Tong Leyi, M. Wang Xinliang, M. Wang Fuyun, M. Wang Baoluo, M. Wei Jianghui, M. Wu Cong, Mme Xie Lihua, M. Xiong Jie, Mme Xu Jie, Mme Xu Xiaoyan, M. Xu Wei, M. Yohane Mukabe, M. Yan Wenjiao, M. Yang Weijun, Mme Yan Li, M. Yao Shenghong, M. Zeng Jingnian, M. Zhao Guojun, M. Zhang Min, M. Zhang Min, M. Wang Baoluo, M. Wei Jianghui, M. Wu Cong, Mme. Zhang Min, M. Zhang Liansheng, M. Zhang Zhenzhong, M. Zhang Xiaowen, Mme Zhang Yingnan, M. Zheng Liang, M. Zheng Yu, M. Zhou Shuhua, Mme Zhu Mingjuan.

Les suggestions et les recommandations concernant d'éventuelles mises à jour des directives sont les bienvenues.

Table des matières

Avant-propos	II
Introduction	III
1 Portée	1
2 Références normatives	1
3 Termes et définitions	1
4 Évaluation des impacts environnementaux	1
4.1 Dispositions générales	1
4.2 Analyse d'ingénierie	3
4.3 Étude et évaluation de l'état environnemental actuel	5
4.4 Prédiction et évaluation	6
4.5 Mesures de protection	8
4.6 Gestion et suivi.....	9
4.7 Investissement et analyse des gains et des pertes économiques	9
5 Acquisition de terrains et réinstallation	9
5.1 Étude physique de l'acquisition de terrains pour la construction	9
5.2 Planification de la réinstallation	10
5.3 Investissement en compensation	12
6 Conservation des sols et de l'eau	12
6.1 Objectifs et exigences de la lutte contre l'érosion des sols	12
6.2 Système de mesures pour le contrôle de l'érosion des sols.....	13
6.3 Investissements dans la conservation des sols et de l'eau	13
7 Évaluation de l'impact social	13
8 Conclusion de l'évaluation et conseils	13
Annexe A (Normative) Méthode de calcul du débit écologique pour une petite centrale hydroélectrique	15

Avant-propos

L'ONUUDI est un organisme spécialisé de l'Organisation des Nations Unies qui vise à promouvoir un développement industriel inclusif et durable à l'échelle mondiale. La pertinence du développement industriel inclusif et durable en tant qu'approche intégrée des trois piliers du développement durable (social, environnemental et économique) est reconnue par le Programme de développement durable à l'horizon 2030 et les objectifs de développement durable (ODD) correspondants, qui encadreront les efforts déployés par les Nations Unies et les pays en faveur d'un développement durable au cours des quinze prochaines années. Le mandat de l'ONUUDI en ce qui concerne le développement industriel inclusif et durable répond à la nécessité d'appuyer la création de systèmes énergétiques durables, essentiels au développement économique et social et à l'amélioration de la qualité de vie. Les préoccupations internationales en matière d'énergie et les débats qu'elles suscitent ont pris de l'ampleur au cours des deux dernières décennies, les questions de la réduction de la pauvreté, des risques environnementaux et des changements climatiques occupant désormais le devant de la scène.

Le Centre International sur la Petite Hydraulique est une organisation internationale de coordination et de promotion du développement mondial de la petite hydroélectricité, qui s'appuie sur la participation volontaire de divers acteurs, notamment des points focaux régionaux, sous-régionaux et nationaux, ainsi que des institutions, des services publics et des entreprises, et dont l'objectif principal est le bénéfice social. Le Centre International sur la Petite Hydraulique s'emploie à promouvoir le développement mondial des petites centrales hydroélectriques en favorisant la coopération triangulaire, technique et économique, entre les pays en développement, les pays développés et les organisations internationales, en vue d'apporter aux zones rurales des pays en développement des solutions énergétiques adéquates, abordables et respectueuses de l'environnement ; ce qui leur permettra d'accroître les possibilités d'emploi, d'améliorer les conditions environnementales, de réduire la pauvreté, d'élever le niveau de vie des populations et les normes culturelles locales, et d'assurer le développement économique.

L'ONUUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique collaborent à l'élaboration du Rapport mondial sur le développement des petites centrales hydroélectriques depuis 2010. D'après ce rapport, en l'état actuel, le développement de la petite hydroélectricité ne permet pas de répondre à la demande dans le monde. L'un des obstacles au développement, dans la plupart des pays, est le manque de technologies. L'ONUUDI, en collaboration avec le Centre International sur la Petite Hydraulique et des experts issus de différents pays et organisations internationales, et sur la base d'expériences de développement réussies, a décidé d'établir les Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité afin de répondre à la demande des États Membres.

Ces directives techniques ont été rédigées conformément aux règles éditoriales énoncées dans la deuxième partie des Directives ISO/IEC (voir www.iso.org/directives).

Nous appelons votre attention sur la possibilité que certains éléments de ces directives techniques soient soumis à des droits de brevet. L'ONUUDI et le Centre International sur la Petite Hydraulique ne pourront être tenus responsables de l'identification de ces droits de brevet.

Introduction

La petite hydroélectricité est de plus en plus considérée comme une solution énergétique renouvelable essentielle pour répondre de manière adéquate au défi de l'électrification des zones rurales reculées. Toutefois, si la plupart des pays d'Europe, d'Amérique du Nord et du Sud, ainsi que la Chine, disposent d'une importante capacité installée, le potentiel de la petite hydroélectricité dans de nombreux pays en développement reste inexploité et son développement est souvent entravé par divers facteurs, notamment l'absence de bonnes pratiques et de normes de développement de petites centrales hydroélectriques acceptées à l'échelle mondiale.

Fondées sur l'expertise et les meilleures pratiques en usage dans le monde entier, ces Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité permettront de remédier aux limites actuelles des réglementations régissant le développement des petites centrales hydroélectriques. L'objectif est que les pays utilisent ces directives convenues pour améliorer leurs politiques actuelles, ainsi que les technologies dont ils disposent et leurs écosystèmes. Les pays disposant de capacités institutionnelles et techniques limitées pourront améliorer leurs connaissances dans le domaine du développement de la petite hydroélectricité, attirant ainsi davantage d'investissements, tout en encourageant la mise en place de politiques favorables qui, à terme, contribueront à accélérer le développement économique au niveau national. Ces Directives techniques seront utiles à tous les pays, mais surtout elles faciliteront l'échange de données d'expérience et de meilleures pratiques entre les pays aux capacités techniques limitées.

Les Directives techniques peuvent servir de principes et de base pour la planification, la conception, la construction et la gestion des petites centrales hydroélectriques dont la capacité n'excède pas 30 MW.

- La section « Termes et définitions » des Directives techniques définit les termes techniques professionnels couramment employés dans le domaine des petites centrales hydroélectriques.
- La section « Conception » fournit des lignes directrices sur les exigences fondamentales, la méthodologie et les modalités des différentes étapes du projet : sélection du site, hydrologie, géologie, disposition du projet, configurations, calculs énergétiques, hydraulique, sélection des équipements électromécaniques, construction, estimation des coûts des projets, évaluation économique, financement, évaluations sociales et environnementales ; l'objectif étant de déployer les meilleures solutions de conception compte tenu de l'ensemble de ces aspects.
- La section « Unités » des Directives techniques précise les exigences techniques relatives aux turbines, aux générateurs, aux systèmes de régulation des turbines hydroélectriques, aux systèmes d'excitation, aux vannes principales et aux systèmes de surveillance, de contrôle, de protection et d'alimentation électrique en courant continu des petites centrales hydroélectriques.
- La section « Construction » des Directives techniques peut servir de document d'orientation technique pour la construction de petites centrales hydroélectriques.
- La section « Gestion » des Directives techniques fournit des orientations techniques pour la gestion, l'exploitation et l'entretien, la rénovation technique et l'acceptation des projets de petites centrales hydroélectriques.

Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité- Conception

Partie 8 : Évaluation des impacts sociaux et environnementaux

1 Portée

Cette partie des directives relatives à la conception présente les principes généraux de l'évaluation des répercussions environnementales d'un projet de construction de petite centrale hydroélectrique. Étant donné que les pays disposent généralement de politiques solides en matière d'évaluation de l'impact social, de réinstallation et d'évaluation de l'impact sur la conservation des sols et de l'eau, les études spécifiques sont généralement réalisées par les départements désignés dans chaque pays. Le présent document ne fournit donc que des directives techniques générales.

2 Références normatives

Les documents suivants sont mentionnés dans le texte de telle sorte que tout ou partie de leur contenu constitue des exigences du présent document. Dans le cas des références datées, seule l'édition citée est valable. Dans le cas des références non datées, c'est la dernière édition du document visé (modifications comprises) qui est valable.

SHP/TG 001. *Directives techniques pour le développement de la petite hydroélectricité — Termes et définitions.*

3 Termes et définitions

Aux fins du présent document, les termes et définitions figurant dans le document SHP/TG 001 s'appliquent.

4 Évaluation de l'impact sur l'environnement

4.1 Dispositions générales

4.1.1 L'évaluation de l'impact sur l'environnement doit être réalisée en se conformant aux réglementations, aux normes techniques et aux spécifications en vigueur, ainsi qu'aux documents de planification et d'ingénierie relatifs à la région ou au bassin concerné.

4.1.2 Les facteurs d'évaluation des différents aspects de l'environnement (eau, air, son et sol) doivent être choisis en fonction des normes techniques et des exigences de gestion ; les critères d'évaluation étant déterminés sur cette base. Les facteurs d'évaluation à respecter doivent être sélectionnés sont les principes suivants :

- a) Les facteurs d'évaluation de l'impact sur les eaux de surface peuvent inclure divers indicateurs de qualité de l'eau, tels que l'oxygène dissous (DO), le pH, la demande chimique en oxygène mesurée par le permanganate de potassium (COD_{MN}), la demande biochimique en oxygène sur cinq jours (BOD₅), la concentration d'azote

ammoniacal (NH₃-N), l'azote total (TN), le phosphore total (TP), le pétrole et le groupe coliforme, ainsi que des indicateurs hydrologiques, tels que la superficie de l'eau, la capacité de rétention de l'eau, la température de l'eau, le processus d'écoulement, la profondeur de l'eau, le débit et l'évolution des conditions d'affouillement et d'envasement, en fonction des usages de l'eau dans la zone.

- b) Pour les eaux souterraines, les facteurs d'évaluation comprennent le niveau d'eau souterraine, le pH, l'azote ammoniacal, l'arsenic, l'indice de permanganate, les nitrates, etc.
- c) Le niveau de pression acoustique continu équivalent (LEQ) est utilisé pour évaluer l'impact acoustique.
- d) Les facteurs d'évaluation de l'environnement aérien comprennent des indicateurs comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO₂), les particules en suspension dont le diamètre est inférieur à 10 micromètres (PM₁₀), les particules en suspension totales (TSP), etc.
- e) Pour le sol, les facteurs d'évaluation incluent le pH, le phosphore total (TP), l'azote total (TN), les matières organiques, etc.

4.1.3 Les normes d'évaluation de l'impact environnemental peuvent être classées en deux catégories : les normes d'évaluation de la qualité de l'environnement et les normes d'émission de pollution. Ces normes doivent être conformes aux normes de contrôle de la qualité établies au niveau national et local.

4.1.4 Le grade (niveau) et la portée de l'évaluation environnementale doivent être établis en fonction de critères de classification spécifiques mentionnés dans les spécifications techniques pertinentes. Ces critères prennent en compte l'impact direct et l'impact indirect potentiel d'un projet. La portée de l'évaluation dépend du niveau d'impact de chaque élément environnemental concerné.

4.1.5 Les aspects à évaluer dans l'impact social et environnemental dépendent des caractéristiques de l'ingénierie, des caractéristiques des rejets polluants, ainsi que du mode d'exploitation et de la sensibilité des objectifs de protection de l'environnement. L'évaluation se concentre généralement sur les effets du projet sur le système écologique des rivières, sur l'influence de la construction sur le régime des eaux et l'environnement écologique, ainsi que sur l'impact potentiel de ces facteurs sur l'environnement en général.

4.1.6 Les objectifs de protection de l'environnement doivent être définis comme suit :

- a) Les objectifs de protection de l'environnement écologique doivent être définis en se basant sur l'état actuel de l'écologie terrestre et aquatique dans la zone de construction. Ils doivent viser la protection des espèces, des communautés écologiques et de la diversité biologique, en tenant compte des exigences spécifiques des régions écologiquement sensibles.
- b) Les objectifs en matière de qualité de l'eau doivent être établis en fonction de la qualité actuelle de l'eau et des besoins en volume d'eau dans la zone de construction, ainsi que dans les régions en amont et en aval qui sont sensibles sur le plan environnemental.

- c) Les objectifs de protection de l'environnement atmosphérique doivent être définis sur la base de l'état actuel de l'air dans la zone de construction et en tenant compte des exigences relatives aux régions sensibles sur le plan atmosphérique.
- d) L'objectif de protection de l'environnement acoustique doit être défini en fonction de l'état actuel de l'environnement sonore dans la zone de construction, ainsi que des besoins de protection des zones sensibles sur le plan acoustique.

4.2 Analyse d'ingénierie

4.2.1 L'analyse d'ingénierie doit évaluer si le projet est conforme aux réglementations et à la planification en vigueur. Elle doit examiner la rationalité de l'environnement d'ingénierie et analyser l'organisation de la construction, l'utilisation des terres par le projet, les questions de réinstallation, l'exploitation du projet, ainsi que l'identification et la sélection des impacts environnementaux.

4.2.2 L'analyse de la rationalité environnementale doit se faire à partir de plusieurs perspectives, notamment l'aménagement général, le mode de développement, l'emplacement et le modèle du barrage, le parc de stockage, la zone de déblais, le mode de répartition opérationnel et la satisfaction des besoins en débit écologique. Il est aussi recommandé de proposer un schéma optimal ou alternatif en fonction de cette analyse. Dans le cas de projets dans un bassin en développement en cascade, il est important d'évaluer la faisabilité et la nécessité de relier le projet aux projets hydroélectriques en filière (SHF) existants. Cela suppose d'examiner le mode de fonctionnement, la programmation écologique, les exigences et les mesures de restauration écologique des sections de rivière dégradées, en tenant compte de l'état actuel des centrales hydroélectriques dans le bassin.

4.2.3 L'analyse de la construction doit porter sur les éléments suivants :

- a) Le volume des déblais doit être estimé, et son impact sur l'environnement, notamment lors du transport et de l'empilement, doit être analysé en tenant compte de l'aménagement de la zone de déblais.
- b) L'analyse doit évaluer l'intensité et la portée de l'impact du bruit généré par les machines de construction et par les véhicules de transport. Il faut également évaluer les effets des opérations de transport effectuées par les véhicules de construction sur la vie quotidienne et sur la circulation des résidents locaux.
- c) Le volume des eaux usées domestiques, des déchets ménagers et des eaux usées de production doit être estimé en fonction du nombre de travailleurs et de leur consommation d'eau, et il faut analyser les méthodes de production possibles de ces polluants et leur impact sur l'environnement.
- d) L'impact de la construction sur l'irrigation, sur l'approvisionnement en eau, sur l'écologie aquatique et sur le transport doit être évalué en se basant sur les déviations de construction et l'aménagement général.
- e) Il faut analyser les effets de la construction sur les zones sensibles d'un point de vue environnemental, notamment l'impact sur la végétation de surface, sur les ressources en terre végétale et sur la perte d'eau, en considérant l'occupation des terres et la perturbation de la surface.

- f) Il faut examiner l'impact des activités de construction sur les habitats des zones écologiquement sensibles et sur la flore et la faune principales de la région.

4.2.4 Les impacts potentiels sur la société et l'environnement, dus à l'inondation, à l'occupation des terres, au mode de réinstallation et au personne de construction migrant, doivent être analysés. Si le projet concerne des zones sensibles sur le plan environnemental, ou s'il touche à des aspects tels que les relations religieuses, interétatiques, internationales, ethniques, la culture populaire, les reliques culturelles et les paysages, il est nécessaire d'analyser en profondeur les contraintes sociales et environnementales associées.

4.2.5 Il faut analyser les effets de la construction sur la consommation d'eau dans les secteurs écologique, industriel et agricole, ainsi que son impact sur l'environnement aquatique, le fonctionnement et la programmation des centrales hydroélectriques existantes, ainsi que l'environnement écologique en aval. Cette analyse doit prendre en compte les modifications de la distribution des ressources en eau, des conditions hydrologiques et sédimentaires, ainsi que les obstacles créés par la construction.

4.2.6 Il est nécessaire de lister tous les éléments et facteurs environnementaux susceptibles d'être touchés par la construction, y compris ceux déjà restreints ou affectés par les projets existants ou l'état environnemental actuel. La nature et l'étendue de ces impacts doivent être clairement identifiées. Les principaux éléments et facteurs environnementaux identifiés doivent être sélectionnés comme données clés pour la prédiction et l'évaluation des impacts environnementaux. Pour identifier et classer les impacts environnementaux, on peut utiliser des méthodes telles que l'analyse par analogie, l'utilisation de matrices et le jugement d'experts.

4.2.7 L'évaluation de l'impact environnemental d'un projet peut être catégorisée en trois niveaux distincts. Cette classification dépend de plusieurs facteurs : le type de projet, son emplacement géographique, sa sensibilité environnementale, son ampleur, ainsi que la nature et l'étendue de son impact environnemental.

- a) Premier niveau : les projets ayant des impacts environnementaux négatifs significatifs, pouvant s'étendre au-delà du site du projet. L'évaluation doit inclure l'analyse des impacts environnementaux positifs et négatifs potentiels, la comparaison avec d'autres options (y compris celle de ne pas réaliser le projet), et la proposition de mesures pour prévenir, réduire, atténuer ou compenser les impacts négatifs tout en améliorant la performance environnementale. Des rapports d'évaluation de l'impact environnemental doivent être établis.
- b) Deuxième niveau : les projets ayant un impact environnemental négatif moins significatif que ceux du premier niveau, se limitant principalement au site du projet. L'évaluation doit examiner les impacts environnementaux potentiels (positifs et négatifs) et proposer des mesures pour gérer les impacts négatifs et améliorer la performance environnementale.
- c) Troisième niveau : les projets ayant peu ou pas d'impact négatif sur l'environnement, déterminés après un examen environnemental initial. Ces projets peuvent ne pas nécessiter d'évaluation environnementale approfondie.

4.3 Étude et évaluation de l'état environnemental actuel

4.3.1 Il est important d'étudier et d'évaluer l'état actuel de l'environnement dans la région concernée par un projet, y compris la qualité environnementale et les sources de pollution régionales.

4.3.2 L'étude et l'évaluation de l'état actuel de l'environnement régional doivent couvrir les éléments suivants :

- a) Analyse des caractéristiques topographiques et géologiques, notamment les structures géologiques et les phénomènes géologiques défavorables comme les effondrements et les glissements de terrain.
- b) Évaluation des précipitations annuelles, de l'évaporation, de l'intensité du vent, des direction du vent, des températures extrêmes et des conditions météorologiques désastreuses.
- c) Analyse du ruissellement, du débit moyen mensuel, de la teneur en sédiments, et des caractéristiques des étiages et des crues.
- d) Étude du système fluvial : analyse des caractéristiques hydrologiques des eaux de surface, y compris la répartition et la classification des différents systèmes d'eau ; étude du rôle écologique et fonctionnel de ces milieux aquatiques, de la qualité de l'eau et de la manière dont l'eau est utilisée dans la région ; évaluation de la manière dont le projet interagit avec ces systèmes aquatiques. Une carte détaillant ces systèmes d'eau doit être jointe. De plus, si le projet engendre des zones asséchées en amont ou en aval, il est nécessaire d'étudier leur étendue, leurs causes et les méthodes de restauration envisagées.
- e) Étude du type de sol, de ses propriétés physico-chimiques et de sa fertilité.
- f) Enquête sur les organismes terrestres, notamment les catégories, la répartition géographique, l'abondance et les espèces prédominantes de la flore ; étude de la répartition et des caractéristiques physiologiques et écologiques des espèces animales et végétales rares ou menacées ; enquête sur les organismes aquatiques, notamment identification des espèces de poissons principales, étude des comportements des poissons migrateurs, identification des zones de frai, ainsi que des types, de la population, de la répartition des habitats et des niveaux de protection des espèces aquatiques rares touchées par le projet de construction.
- g) Enquête sur les zones environnementalement sensibles : analyse de leur nature, de leur importance écologique, de leur emplacement, de leur étendue, de leur rôle écologique spécifique, des éléments à protéger, des mesures de protection requises et de la manière dont ces zones interagissent spatialement avec les principales structures du projet.
- h) Enquête sur l'érosion de l'eau et du sol : identification des différents types d'érosion, et de leurs causes, mesure de l'intensité de l'érosion du sol et évaluation des stratégies de gestion ou de traitement appropriées.

4.3.3 L'étude et l'évaluation de l'état actuel de la qualité environnementale doivent couvrir les éléments suivants :

- a) L'étude doit couvrir la qualité de fond de différents environnement, notamment les eaux de surface, les eaux souterraines, l'environnement écologique, l'environnement acoustique et la qualité de l'air. L'évaluation de la qualité environnementale régionale se base sur ces données, et doit inclure une analyse des tendances de changement de la qualité environnementale.
- b) L'évaluation de l'état actuel de la qualité environnementale peut être réalisée en mettant en place une surveillance de la qualité environnementale actuelle ou en utilisant des données récentes de surveillance environnementale routinière. La surveillance doit être menée en se conformant aux normes de surveillance de la qualité environnementale, aux normes de protection environnementale et aux directives techniques relatives à l'évaluation de l'impact social et environnemental.
- c) L'étude des principaux problèmes environnementaux régionaux doit identifier et analyser des problématiques telles que la perte d'eau et de sol, le traitement des sections de déshydratation des rivières créés par le développement hydroélectrique, la gestion de la décharge des sources de pollution, la conformité de la qualité de l'eau, la protection écologique des rivières et l'assurance du débit écologique. Il est également important d'analyser les causes de ces problèmes environnementaux majeurs et les contraintes environnementales associées.

4.3.4 L'étude et l'évaluation des sources de pollution régionales doivent porter sur les éléments suivants :

- a) Les principaux facteurs de pollution, ainsi que les facteurs caractéristiques qui ont une incidence sur la qualité de l'environnement aquatique dans la région étudiée, doivent être identifiés comme les principaux sujets d'étude.
- b) L'enquête sur les sources de pollution doit couvrir les différents types de sources de pollution, notamment les points de rejet des eaux usées et des eaux résiduaires, la pollution agricole non ponctuelle ou diffuse qui inclut les écoulements résultant de l'utilisation de pesticides et d'engrais, ainsi que les principales sources de pollution sonore et atmosphérique.

4.4 Prédiction et évaluation

4.4.1 L'impact environnemental d'un projet doit être évalué et prédit comme suit :

- a) Le champ d'application de la prédiction et de l'évaluation doit être défini en fonction des caractéristiques spécifiques du projet, des caractéristiques environnementales de la zone et des exigences locales en matière de protection de l'environnement.
- b) L'évaluation doit prendre en compte à la fois la période de construction et la période d'exploitation du projet.
- c) L'évaluation doit se baser sur les normes environnementales et les exigences fonctionnelles environnementales pertinentes. Pour les éléments et facteurs environnementaux qui ne sont pas couverts par les normes existantes, l'évaluation doit utiliser la valeur de fond environnementale et des seuils spécifiques.

- d) La prédiction et l'évaluation doivent se concentrer principalement sur l'impact du projet sur le régime hydrologique, la température et la qualité de l'eau, et les écosystèmes des rivières et des lacs. Il est également important de proposer un processus pour la décharge du débit écologique.
- e) Différentes méthodes peuvent être utilisées pour prédire l'impact environnemental, telles que des modèles mathématiques, des modèles physiques, des enquêtes par analogie, des études d'écologie du paysage, des superpositions graphiques et des jugements professionnels.

4.4.2 La prédiction et l'évaluation de l'impact environnemental doivent être réalisées en se conformant aux exigences suivantes :

- a) Si l'exploitation du projet est susceptible de modifier le régime hydrologique en aval, il est nécessaire de prédire l'incidence que cela aura sur la consommation d'eau pour la vie, la production et l'environnement écologique en aval. Pour les projets hydroélectriques par dérivation ou les petites centrales hydroélectriques équipées d'un réservoir régulateur, l'analyse doit se concentrer sur la satisfaction du débit écologique en aval, dont les détails sont fournis dans l'annexe A.
- b) Il faut prédire l'effet de la construction de réservoirs stratifiés sur la température de l'eau et analyser la manière dont le rejet d'eau froide pourrait affecter l'écologie et l'agriculture en aval.
- c) Pour les projets de petites centrales hydroélectriques jugés « sensibles à » l'environnement des eaux souterraines, une évaluation spécifique de l'impact sur cet environnement doit être réalisée.
- d) Il faut prédire l'impact de l'inondation du réservoir et de l'utilisation des terres par le projet sur les ressources foncières, les sites culturels et historiques, la culture populaire et les ressources paysagères.
- e) Lorsque la réinstallation de résidents est nécessaire, l'impact de cette réinstallation sur divers aspects tels que la qualité de vie, l'emploi, les soins de santé, l'éducation, les infrastructures, les pratiques religieuses et ethniques, la reconstruction communautaire, la qualité de l'environnement de réinstallation et la perte d'eau et de sol doit être soigneusement évalué.
- f) Il est nécessaire de prédire la manière dont l'inondation, l'occupation des terres, la réinstallation des résidents et les activités de construction affecteront les habitats des plantes sauvages, des animaux sauvages rares et des animaux sauvages en danger d'extinction.
- g) Si la rivière concernée par le projet abrite des espèces de poissons rares, en danger, uniques ou migrateurs, l'impact de la construction du projet sur ces espèces doit être analysé.
- h) Lorsque le projet touche des réserves naturelles et d'autres zones sensibles sur le plan environnemental, il faut prédire son impact sur les éléments protégés, la portée de la protection, la structure et la fonction de ces zones, ainsi que son impact sur le système écologique de la rivière.
- i) Si une étude géologique préliminaire indique que le projet peut affecter la géologie environnementale, il est important de prédire son impact sur des phénomènes tels que les glissements de terrain et les effondrements de berges.

- j) Il faut également prédire l'impact de la construction sur divers aspects environnementaux, notamment les eaux usées, l'érosion des sols, l'air ambiant, l'environnement acoustique, les déchets solides et la santé humaine.
- k) Il convient d'analyser l'impact du projet sur l'emploi local, le développement économique, l'utilisation des ressources et les conditions de vie des populations.
- l) Pour les projets présentant des risques environnementaux, il est nécessaire d'analyser les sources de ces risques, de calculer les conséquences potentielles et de réaliser une évaluation complète des risques environnementaux.

4.5 Mesures de protection

4.5.1 Les mesures de protection doivent être techniquement réalisables, économiquement viables, opérationnellement fiables, et mesurables quant à leur contribution aux objectifs de protection de l'environnement.

4.5.2 Les mesures de protection mises en place doivent répondre aux exigences suivantes :

- a) Si le projet a une incidence sur l'utilisation de l'eau en aval, des mesures d'amélioration et de compensation doivent être mises en œuvre, et des dispositifs de décharge écologique doivent être installés.
- b) Si la stratification de la température de l'eau a une incidence sur l'irrigation agricole ou l'écologie aquatique en aval, des mesures telles que des prises d'eau stratifiées ou d'autres méthodes de restauration de la température de l'eau doivent être mises en place.
- c) Si le projet touche des zones sensibles aux eaux souterraines, des mesures de protection de l'environnement des eaux souterraines doivent être proposées.
- d) Si le projet touche des espèces animales ou végétales rares, des actions telles que la transplantation et la protection ou la réhabilitation de leur habitat doivent être envisagées.
- e) Pour les projets touchant des réserves naturelles ou d'autres zones sensibles, des mesures de protection ou d'évitement doivent être prises.
- f) Pour ne pas entraver le passage des poissons migrateurs, il convient de construire des passages pour poissons ou de recourir à la propagation et à la libération artificielles de poissons.
- g) Des mesures efficaces de traitement des eaux usées doivent être mises en place pendant la construction.
- h) Des mesures de réduction de la poussière et du bruit doivent être prises pendant la construction.
- i) Des mesures doivent être prises pour protéger la santé des travailleurs pendant la période de construction.

- j) Des mesures de prévention des risques environnementaux doivent être proposées pour prévenir les risques liés au projet.
- k) Enfin, il faut mettre en place des mesures pour protéger la culture locale, les reliques culturelles, les sites historiques et le paysage.

4.6 Gestion et surveillance environnementales

4.6.1 La gestion et la surveillance de l'environnement doivent être adaptées aux différentes phases de construction et d'exploitation du projet. Il est nécessaire de proposer des mesures spécifiques de gestion environnementale, des plans de surveillance détaillés et des objectifs clairs en matière d'acceptation des mesures de protection de l'environnement.

4.6.2 En fonction des impacts spécifiques du projet de construction, des plans de surveillance doivent être établis pour contrôler la qualité de l'environnement, les sources de pollution, ainsi que les impacts écologiques et sociaux sur l'environnement.

4.6.3 Des plans doivent être mis en place pour prévenir et répondre aux rejets anormaux et accidentels, en particulier pour gérer les risques environnementaux qui pourraient survenir en cas de rejet accidentel. Pour les projets de construction de longue durée et ayant une large portée d'impact, des exigences spécifiques doivent être définies pour une supervision environnementale rigoureuse pendant la phase de construction.

4.7 Investissement et analyse des gains et des pertes économiques

4.7.1 L'estimation de l'investissement nécessaire pour la protection sociale et environnementale doit clairement définir les bases, les dépenses et les normes utilisées pour le calcul. L'investissement total et les modalités d'investissement annuel doivent être calculés en se basant sur le volume des mesures de protection proposées et les normes de dépenses associées.

4.7.2 Il est nécessaire d'estimer la valeur économique des impacts, tant positifs que négatifs, générés par le projet de construction sur l'environnement et la société. Cette évaluation, tant qualitative que quantitative, doit être intégrée dans l'analyse coût-bénéfice du projet pour aider à déterminer la faisabilité du projet de construction.

4.7.3 L'impact anticipé du projet après sa mise en œuvre doit être comparé à la situation sociale et environnementale actuelle. Les facteurs d'impact qui doivent être pris en compte dans l'évaluation économique incluent les éléments environnementaux, les types de ressources et les aspects culturels sociaux. L'impact social et environnemental quantifié doit être converti en termes monétaires et être inclus dans l'analyse économique globale du projet.

5 Acquisition de terrains et réinstallation des résidents

5.1 Étude physique de l'acquisition de terrains pour la construction

5.1.1 Les terrains devant être acquis pour la réalisation du projet incluent la zone de construction du projet et la zone submergée par le réservoir.

- a) La zone de construction du projet comprend les structures permanentes comme le barrage et la centrale électrique, les terrains nécessaires pour la circulation externe, la zone de gestion, les zones d'acquisition permanente, ainsi que les terrains pour les chantiers de matériaux, les décharges, les zones d'opération, les routes temporaires, les camps de construction, les stations de transport et de transfert de matériaux, et les zones touchées par les explosions de construction.
- b) La zone touchée par la submersion du réservoir comprend la zone submergée par le réservoir et la zone affectée par la mise en eau du réservoir.
 - 1) La zone submergée par le réservoir inclut la zone régulièrement submergée en dessous du niveau de stockage normal du réservoir et la zone temporairement submergée au-dessus de ce niveau en raison de divers facteurs comme la remontée des eaux en période de crue, le vent, les vagues des bateaux, les embâcles de glace, etc.
 - 2) La zone touchée par la mise en eau du réservoir comprend les zones de catastrophes géologiques telles que l'immersion, l'effondrement des berges, les glissements de terrain, l'engorgement, les fuites de réservoir causées par la mise en eau, et d'autres zones touchées par la mise en eau du réservoir, telles que les îles isolées, etc.

5.1.2 Les normes de crue conçues pour les objets qui seront submergés par le réservoir sont exprimées en termes de période de récurrence (en années), comme indiqué dans le tableau 1.

Tableau 1 Normes de crue conçues pour différents types de terrains submergés

Objet submergé	Période de récurrence (années)
Terres cultivées, jardins	2-5
Bois, prairies, terrains inutilisés	Niveau d'eau normal
Zones résidentielles rurales et villes, zones industrielles et minières générales	10-20
Villes moyennes, zones industrielles et minières moyennes	20-50

5.1.3 Les éléments physiques concernés par l'acquisition de terrains et la réinstallation due au projet incluent la population touchée, les terrains concernés, les bâtiments (structures) existants dans la zone, les ressources minérales potentiellement touchées, les reliques cultures et les sites historiques dans la zone.

5.2 Planification de la réinstallation des résidents

5.2.1 La planification de la réinstallation comprend la définition des tâches et des méthodes de réinstallation, la sélection et la conception des sites de réinstallation, ainsi que l'infrastructure et les installations de soutien pour les services publics municipaux. Elle englobe également la protection de la zone du réservoir.

5.2.2 Il faut choisir une approche de réinstallation qui soit adaptée aux conditions naturelles, sociales et économiques locales, tout en tenant compte de la volonté des personnes déplacées. Cette approche vise à définir des objectifs de réinstallation conformes à la réglementation en vigueur.

5.2.3 Les tâches liées à la réinstallation des personnes déplacées par le projet doivent être définies en fonction du nombre total de personnes concernées. Cette population se divise en deux groupes principaux : la population de réinstallation de production et la population de réinstallation de relocalisation.

- a) La population de réinstallation de production fait référence aux personnes qui doivent réorganiser leur mode de production en raison de la perte de terres et d'autres moyens de production causée par le projet.
- b) La population de réinstallation de relocalisation fait référence aux personnes qui doivent déménager et être relogées à cause du projet.
- c) La population de réinstallation de l'année de base doit être déterminée par des enquêtes sur place et en s'appuyant sur les réglementations locales pertinentes.

5.2.4 Lors de la planification de la réinstallation des résidents, il est important de considérer le taux de croissance naturelle de la population depuis l'année de base de l'enquête jusqu'à l'année de conception du projet, lequel peut être calculé en utilisant la formule (1).

$$B = B_0 (1 + R)^{(n_1 - n_2)} \dots\dots\dots (1)$$

où

B représente la population de l'année de conception du projet, en personnes ;

B₀ est la population à l'année de base de l'enquête, en personnes ;

n₁ est l'année de conception du projet, en année ;

n₂ est l'année de base de l'enquête, en année.

5.2.5 L'objectif de réinstallation se réfère au niveau de développement qui peut être atteint après la réinstallation l'année de conception du projet. Cela inclut des objectifs de développement économique et social. Ces objectifs doivent être fixés selon le principe que les normes de production et de vie après la réinstallation doivent atteindre ou dépasser celles d'avant la relocalisation. Plus spécifiquement, ces objectifs comprennent :

- a) Les objectifs de développement économique comprennent le revenu net par habitant, la disponibilité alimentaire par habitant, etc.

- b) Les objectifs de développement social concernent le développement des services publics et des infrastructures dans les zones de réinstallation.

5.3 Investissement en compensation

5.3.1 L'investissement en compensation doit être calculé en se basant sur les lois et réglementations nationales et locales pertinentes, ainsi que sur les résultats des études physiques réalisées pour l'acquisition des terrains et la planification de la réinstallation. Cela inclut principalement les subventions de compensation, les frais de construction du projet et d'autres dépenses.

5.3.2 Les subventions de compensation englobent diverses allocations, telles que la compensation pour l'acquisition de terrains et les frais de réinstallation, la compensation pour l'acquisition temporaire de terrains, la compensation pour la construction de logements et de bâtiments annexes, la compensation pour la décoration des maisons, la compensation pour les plantations et les forêts, les frais de compensation pour les installations agricoles et annexes, ainsi que pour les entreprises industrielles, les allocations de déménagement, les subventions de logement pour les migrants pauvres, les subventions pour la culture, l'éducation et la santé, et les allocations de transition pour la réinstallation.

5.3.3 Les frais de construction comprennent les coûts liés aux projets d'infrastructure et professionnels, aux projets de protection, ainsi qu'au nettoyage du fond du réservoir dans la zone de réinstallation.

5.3.4 Les autres dépenses peuvent inclure les frais de préparation des travaux, les honoraires pour les enquêtes et la conception globale, les services de conseil, la formation technique, les taxes, etc.

6 Conservation des sols et de l'eau

6.1 Objectifs et exigences du contrôle de l'érosion des sols

6.1.1 Les zones touchées par le projet comprennent les terrains acquis de manière temporaire ou permanente, ainsi que tous les autres terrains gérés et utilisés dans le cadre du projet.

6.1.2 Les objectifs de contrôle de l'érosion des sols sont les suivants :

- a) Les interventions humaines modifiant la forme originale du terrain doivent être réduites au minimum.
- b) L'érosion des sols résultant de la construction du projet doit être contrôlée efficacement.
- c) Les déblais issus de la construction doivent être stockés dans des zones prévues à cette effet, assorties de mesures de protection adéquates.
- d) Après la construction, toutes les terres, à l'exception de celles occupées par des structures permanentes et des surfaces d'eau, doivent être restaurées, soit en rétablissant la végétation, soit en restaurant les fonctions d'usage des sols d'origine.
- e) La végétation le long du cours d'eau doit être rétablie partout où cela est possible.

6.2 Système de mesures pour le contrôle de l'érosion des sols

Les mesures de prévention et de contrôle de l'érosion des sols comprennent une variété de projets, tels que des projets de retenue des déblais, des projets de protection des pentes, des projets d'amélioration des terres, des projets de contrôle des inondations et de drainage, des projets de stockage des précipitations et des infiltrations, des projets de prévention du vent et de contrôle des sables, des projets de restauration de la végétation et de construction, et des projets temporaires de contrôle de l'érosion. Ces mesures doivent être adaptées aux conditions spécifiques du projet.

6.3 Investissement dans la conservation des sols et de l'eau

L'investissement dans la conservation des sols et de l'eau couvre les coûts des mesures d'ingénierie, les coûts associés à la plantation et à l'entretien de la végétation, les coûts des mesures temporaires, les coûts additionnels et les autres dépenses stipulées par l'État.

7 Évaluation de l'impact social

7.1 L'évaluation de l'impact social d'un projet nécessite la participation du public. Cela inclut les résidents et les groupes concernés (parties prenantes), les autorités compétentes, les experts et les organisations sociales. Cette évaluation doit être menée comme suit :

- a) Il est nécessaire de fixer des méthodes et des procédures claires pour recueillir les commentaires de toutes les parties prenantes.
- b) Les retours reçus doivent être soigneusement analysés. Les principales conclusions doivent être tirées, et il doit être clairement indiqué si les opinions exprimées ont été prises en compte ou non, en fournissant les raisons de ces décisions.

7.2 L'enquête sur l'état actuel de l'environnement social doit couvrir la population, les terres, l'emploi, les revenus, les installations publiques, les services de santé publique, la religion et la nationalité, la structure communautaire, les reliques culturelles et les sites historiques, ainsi que les ressources paysagères de la zone concernée.

7.3 Après avoir mené une enquête sur l'état actuel de l'environnement social dans la zone touchée par le projet, il est nécessaire de définir des objectifs spécifiques pour la protection de cet environnement. Ces objectifs doivent être élaborés en tenant compte des normes de vie locales, des coutumes religieuses et ethniques, et de la protection des droits des résidents touchés par le projet proposé.

8 Conclusion de l'évaluation et conseils

Les conclusions de l'évaluation de l'impact social et environnemental ainsi que les recommandations formulées à sa suite doivent être conformes aux exigences suivantes :

- a) Tous les travaux d'évaluation doivent être récapitulés.
- b) Il est important de décrire clairement la manière dont les activités de production et de vie liées au projet interagissent avec la communauté locale et l'environnement durant les différentes phases de mise en œuvre, en veillant à être précis, concis et objectif.

- c) L'impact social et environnemental du projet de construction dans des conditions normales et spécifiques doit être clarifié. Des mesures de protection adaptées en réponse à ces impacts doivent également être proposées.
- d) Les avis et les conclusions du public doivent être intégrés dans l'évaluation globale.
- e) Une conclusion doit être tirée sur la faisabilité du projet de construction, spécifiquement du point de vue de la protection sociale et environnementale.

Annexe A
(Normative)

Méthode de calcul du débit écologique pour une petite centrale hydroélectrique

A. 1 Quantité d'eau nécessaire pour préserver l'équilibre de l'écosystème aquatique

La quantité d'eau nécessaire pour préserver l'équilibre et la santé de l'écosystème aquatique peut être calculée en utilisant la méthode hydrologique, la méthode hydraulique, la méthode combinée, la méthode globale et la méthode hydraulique écologique.

A.1.1 Méthode hydrologique

La méthode hydrologique se base sur les données historiques de débit de la rivière. Elle utilise des indicateurs hydrographiques simples pour déterminer le besoin en eau écologique du cours d'eau. Parmi les méthodes hydrologiques, les plus couramment utilisées sont la méthode de Tennant et la méthode de l'écoulement moyen mensuel minimum.

A.1.1.1 Méthode de Tennant

- a) Méthode de calcul : cette méthode utilise les données hydrologiques pour exprimer les conditions de débit d'une rivière en pourcentage de l'écoulement moyen annuel.
- b) Objectifs de protection : la méthode vise à protéger diverses formes de vie aquatique, notamment les poissons, les oiseaux, les mammifères, les reptiles, les amphibiens, les mollusques, les invertébrés aquatiques, ainsi que toutes les formes de vie qui concurrencent les humains pour l'eau.
- c) Norme de calcul :

Tableau A.1 Débits recommandés pour les rivières hébergeant des espèces de poissons protégées, des animaux sauvages, ainsi que pour les usages récréatifs et la préservation des ressources environnementales

Description des conditions de débit	Débit de base recommandé (période de faible débit) (% du débit moyen)	Débit de base recommandé (période de fort débit) (% du débit moyen)
Inondation ou maximum		
Meilleure portée	60~100	60~100
Très bon	40	60
Bon	30	50
Modéré	20	40
Général ou pauvre	10	30
Mauvais ou minimum	10	10
Extrêmement mauvais	0~10	0~10

- d) Exigences de base :
- 1) Il faut analyser soigneusement une série de données hydrologiques en fonction des zones géographiques, des besoins en eau et des objets de protection. Les normes de débit doivent être ajustées pour correspondre aux conditions locales de la rivière.
 - 2) Les organismes aquatiques ont des besoins en débit différents selon les saisons. Une courbe de durée du débit de décharge annuelle doit être élaborée pour répondre aux besoins saisonniers des écosystèmes aquatiques et assurer la préservation de leurs habitats.
- e) Champ d'application : la méthode hydrologique peut être utilisée pour la gestion initiale des objectifs et la gestion stratégique de la rivière.

A.1.1.2 Méthode de l'écoulement moyen mensuel minimum

- a) Méthode de calcul : cette méthode consiste à prendre la valeur moyenne sur plusieurs années de l'écoulement moyen mensuel mesuré le plus bas comme indicateur de la demande de base en eau pour l'environnement écologique d'une rivière :

$$W_b = \frac{T}{n} \sum_{i=1}^n \min(Q_{ij}) \times 10^{-8} \dots\dots\dots (A.1)$$

où

W_b représente la demande de base en eau pour l'environnement écologique de la rivière, mesurée en milliers de mètres cubes (10^6 m^3) ;

Q_{ij} est le débit mensuel moyen du mois j de l'année i , en mètres cubes par seconde (m^3/s) ;

n correspond au nombre d'années prises en compte pour les statistiques ;

T est le coefficient de conversion, avec une valeur de $31,536 \times 10^6 \text{ s}$.

- b) Conditions présumées : cette méthode suppose que le débit calculé suffit pour satisfaire les besoins en eau en aval et garantir que le flux de la rivière ne sera pas interrompu.
- c) Champ d'application : cette méthode est particulièrement adaptée aux régions arides et semi-arides, ainsi qu'aux rivières ayant des objectifs écologiques environnementaux complexes. Elle peut cependant donner des résultats relativement élevés dans les régions où les objectifs écologiques sont plus simples.

A.1.2 Méthode hydraulique

La méthode hydraulique est basée sur des modèles hydrauliques conçus pour la protection des habitats, incluant la méthode du périmètre mouillé et la méthode R2-CROSS qui se base sur les paramètres hydrauliques.

A.1.2.1 Méthode du périmètre mouillé

- a) Méthode de calcul : cette méthode utilise le périmètre mouillé (voir figure A.1) comme indicateur de la qualité de l'habitat. Une courbe périmètre mouillé-débit est tracée pour la zone critique de l'habitat, généralement le haut-fond. Le débit recommandé pour la rivière est déterminé au point où la courbe change de direction (voir figure A.2).

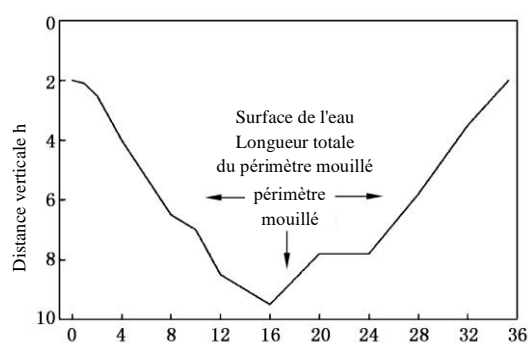
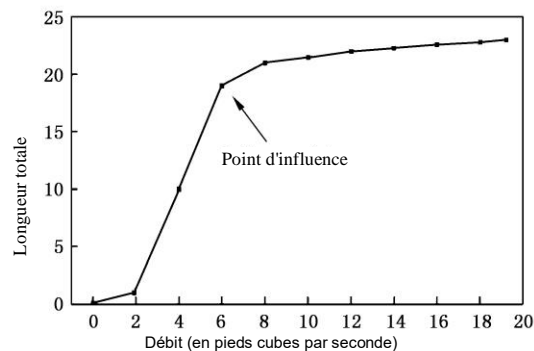


Figure A.1 - Définition du périmètre mouillé



NOTE

1 pied cube = 0,028 316 8 m³

Figure A.2 - Relation périmètre mouillé-débit

- b) Contraintes : La méthode du périmètre mouillé est significativement influencée par la forme de la rivière. Par exemple, dans les rivières de forme triangulaire, la courbe ne montre pas de changements significatifs de croissance. Pour les rivières dont la forme du lit varie en distance et dans le temps, une courbe stable périmètre mouillé-débit ne peut pas toujours être établie.
- c) Champ d'application : cette méthode est particulièrement adaptée aux rivières larges, peu profondes et de forme rectangulaire ou parabolique avec une forme de lit stable.

A.1.2.2 Méthode R2-cross

- a) Méthode de calcul : cette méthode utilise la largeur de la rivière, la profondeur moyenne de l'eau, le débit moyen et le taux de périmètre mouillé pour évaluer le niveau de protection de l'habitat de la rivière et ainsi déterminer le débit cible de la rivière. Le taux de périmètre mouillé est défini comme le pourcentage du périmètre mouillé d'une section transversale à un débit donné par rapport au périmètre mouillé total au débit moyen pluriannuel.
- b) Norme de calcul :

Tableau A.2 Normes pour déterminer le débit minimal avec la méthode R2-cross

Largeur supérieure de la rivière (m)	Profondeur moyenne de l'eau (m)	Longueur totale Taux de périmètre mouillé (%)	Vitesse moyenne (m/s)
0,3 ~ 6,3	0,06	50	0,3
6,3 ~ 12,3	0,06 ~ 0,12	50	0,3
12,3 ~ 18,3	0,12 ~ 0,18	50~ 60	0,3
18,3 ~ 30,5	0,18 ~ 0,3	≥ 70	0,3

- c) Contraintes :
- 1) Les rivières saisonnières peuvent présenter des difficultés pour déterminer un débit constant.
 - 2) La précision est limitée car les paramètres mesurés d'une section de rivière sont utilisés pour représenter l'ensemble du cours d'eau, ce qui peut entraîner des erreurs. De plus, les résultats des calculs dépendent dans une large mesure de la section transversale sélectionnée.
 - 3) La méthode utilise une norme unique pour différents types de rivières, ce qui peut ne pas être adapté pour toutes les configurations.
 - 4) La portée de la norme est limitée puisqu'elle est principalement applicable à des largeurs de rivière entre 18 et 30 mètres.
- d) Champ d'application : la méthode R2-cross est particulièrement adaptée aux petites rivières pérennes et peut servir de base hydraulique pour d'autres méthodes d'évaluation.

A.1.3 Méthode combinée (méthode d'analyse hydrologique et biologique)

- a) Méthode de calcul : cette méthode utilise la régression multivariée statistique pour créer une relation entre les données biométriques initiales (comme la biomasse ou la diversité des espèces) et les conditions environnementales (débit, vitesse du courant, profondeur de l'eau, composition chimique et température). L'objectif est de déterminer les besoins des organismes en termes de débit de la rivière et d'évaluer l'impact des variations de débit sur les populations biotiques.

- b) Objets d'étude : poissons, invertébrés (insectes, crustacés et mollusques compris) et grandes plantes aquatiques (plantes évoluées).
- c) Champ d'application : cette méthode est particulièrement adaptée aux rivières moins influencées par les activités humaines.

A.1.4 Méthode hydraulique écologique

A. 1.4.1 Méthode de calcul :

- a) Cette méthode est une simulation d'habitat qui vise à déterminer le débit approprié pour un habitat hydraulique adapté aux organismes aquatiques. Elle repose sur l'hypothèse que plusieurs paramètres hydrauliques (comme la profondeur de l'eau, la vitesse du courant, le périmètre mouillé, la largeur de la surface de l'eau, la surface transversale, la surface de l'eau et la température de l'eau) influencent la quantité et la distribution des espèces en fonction des variations de débit. Les torrents, les écoulements lents, les hauts-fonds et les bassins profonds sont considérés comme des éléments clés de cet impact.
- b) Le modèle est divisé en trois parties (voir figure A.3). La première partie est une description de l'habitat aquatique de la rivière. Elle analyse les besoins essentiels de survie des organismes aquatiques en fonction de paramètres hydrauliques comme la profondeur et la vitesse de l'eau, ainsi que l'impact des variations de la température de l'eau sur ces organismes. La deuxième partie est une simulation hydraulique de la rivière. Elle utilise des modèles hydrauliques 1D, 2D ou 3D pour simuler les conditions de la section étudiée et calculer les variations des paramètres de l'habitat hydraulique en fonction des différents débits. Les deux premières parties sont ensuite analysées afin d'établir un système d'indicateurs d'habitat hydraulique. La troisième partie correspond à la prise de décision en ce qui concerne le débit écologique aquatique de la rivière. Les professionnels déterminent le débit écologique de la rivière en se basant sur le système d'indicateurs d'habitat hydraulique, en considérant également les conditions locales et les politiques socio-économiques.

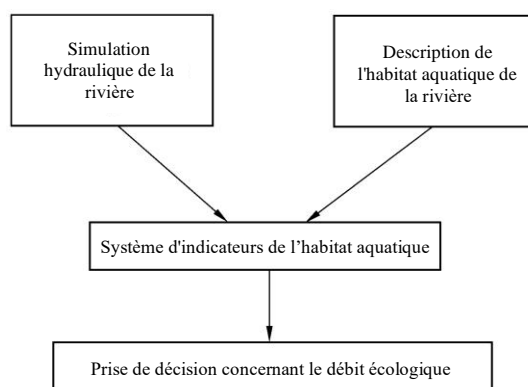


Figure A.3 - Schéma de la méthode hydraulique écologique

A.1.4.2 Système d'indicateurs pour les périodes de faible débit :

- a) Paramètres de l'habitat hydrauliques en plein courant : il s'agit de calculer les paramètres hydrauliques pour différentes sections de la rivière et de déterminer le pourcentage de la longueur de chaque section par rapport à la longueur totale de la rivière. Cette approche vise à éviter les erreurs erronées de jugement basées uniquement sur une petite section qui ne représente qu'une faible partie de la rivière.
- b) Surface de l'eau : il s'agit de calculer la surface de l'eau sous différents débits et le pourcentage de cette surface par rapport au débit moyen pluriannuel durant la période de faible débit.
- c) Forme hydraulique : il s'agit de calculer le nombre de sections avec différents types d'écoulement (lent, torrentiel, etc.) sous divers débits, ainsi que de déterminer leur longueur totale en pourcentage par rapport à la longueur totale de la section. Il faut également calculer le nombre de hauts-fonds et de bassins profonds sous différents débits.
- d) Température de l'eau : il s'agit d'établir une courbe montrant les variations mensuelles de la température de l'eau pour toute la rivière et de dresser la liste des températures de l'eau pour chaque mois sous différents débits, en particulier aux endroits où l'on observe des températures extrêmes.
- e) Changements annuels des paramètres de l'habitat hydraulique : il s'agit de comparer les variations annuelles des paramètres de l'habitat hydraulique, comme la profondeur de l'eau, aux sections transversales importantes, notamment là où des affluents majeurs rejoignent le cours principal.

A. 1.4.3 Normes pour les indicateurs :

Tableau A.3 Normes pour déterminer les paramètres de l'habitat hydraulique des grandes rivières sous le débit minimal avec la méthode hydraulique écologique

Indicateur de paramètre d'habitat	Norme minimale	Pourcentage de la longueur cumulée de la section de la rivière, en pourcentage
Profondeur maximale de l'eau	2 à 3 fois la longueur du corps du poisson	95
Profondeur moyenne de l'eau	≥ 0,3 m	95
Vitesse moyenne	≥ 0,3 m/s	95
Largeur de la surface de l'eau	≥ 30 m	95
Taux de périmètre mouillé	≥ 50 %	95
Aire de la section transversale de l'écoulement	≥ 30 m ²	95
Surface de l'eau	≥ 70 %	
Température de l'eau	Adaptée à la survie et à la reproduction des poissons	
Indicateur de forme d'habitat	Définition du concept	

Tableau A.3 (suite)

Indicateur de paramètre d'habitat	Norme minimale	Pourcentage de la longueur cumulée de la section de la rivière, en pourcentage
Écoulement torrentiel	Débit moyen ≥ 1 m/s	Peu de changements dans le nombre de sections et une réduction de moins de 20 % de la longueur cumulée de la rivière avec un écoulement torrentiel et relativement torrentiel.
Écoulement relativement torrentiel	Débit moyen 0,5 m/s~1 m/s	
Écoulement relativement lent	Débit moyen 0,3 m/s~0,5 m/s	
Écoulement lent	Débit moyen $\leq 0,3$ m/s	
Bassin profond	Profondeur d'eau maximale ≥ 10 m	Peu de changements dans le nombre
Haut-fond	Pente de la rive $\leq 10^\circ$ et profondeur de l'eau dans une protée de 5 m $\leq 0,5$ m	

A.1.4.4 Champ d'application : cette méthode est adaptée pour le calcul des débits écologiques des grandes et moyennes rivières. Pour les rivières de taille moyenne, il est possible d'ajuster à la baisse les normes susmentionnées de manière appropriée.

A.2 Volume minimum d'eau diluée et purifiée nécessaire pour maintenir la qualité de l'environnement aquatique des rivières

A.2.1 Méthode 7Q10

Cette méthode utilise le volume moyen d'eau qui a 90 % de chances d'être le plus bas pendant sept jours consécutifs comme débit de conception minimal de la rivière.

A.2.2 Modèle de qualité de l'eau stable

La rivière est divisée en plusieurs sections, en prenant chaque sortie d'eaux usées comme ligne de démarcation. Pour les sections générales des rivières intérieures, la formule utilisée pour calculer la quantité admissible de rejet de polluants est la suivante :

$$W_i = C_s(Q_0 + q_i) - C_0 Q_0 \exp\left(-\frac{Kx_i}{u}\right) \dots\dots\dots (A.2)$$

Pour les sections de rivières à marées et en réseau, la formule à utiliser est la suivante :

$$W_i = C_s(Q_0 + q_i) - C_0 Q_0 \left[\exp\left(-\frac{u}{2E_x} (1 - \sqrt{1 + 4KE_x l u^2}) x_i \right) \right] \dots\dots\dots (A.3)$$

La calcul de la quantité totale admissible de polluants pour la rivière entière, W , est basé sur la somme des quantités admissibles pour chaque section, tronçon fluvial, W_i

Où

W_i est la quantité admissible de rejet de polluants pour une section de rivière i , en g/s ;

C_s est la norme de qualité de l'environnement aquatique pour la concentration de polluants d'une section transversale, en mg/L ;

Q_0 est le débit entrant en amont, en m³/s ;

q_i est le débit des eaux usées de la section de rivière i , en m³/s ;

C_0 est la concentration de polluants dans l'eau provenant de l'amont, en mg/L ;

K est le coefficient d'atténuation des polluants, en j⁻¹ ;

x_i est la longueur combinée de la section de rivière i , en m ;

u est le débit moyen du cours d'eau, en m/s ;

E_x est le coefficient de dispersion longitudinale, en cm²/s.

A.2.3 Méthode de fonctionnement environnemental

Cette méthode calcule la demande en eau nécessaire pour assurer les fonctions de dilution et d'auto-épuration de l'eau de la rivière. Elle est basée sur les normes de qualité de l'eau et la concentration des polluants rejetés.

La rivière est divisée en plusieurs petites sections, chacune considérée comme un bassin versant fermé. La méthode utilise un bilan hydrique et un modèle de qualité de l'eau pour calculer la demande en eau pour chaque section de la rivière, Q_{vi} ($i = 1, 2, \dots, n$), puis additionne ces demandes pour obtenir la demande totale pour l'ensemble de la rivière. Q_{vi} doit être conforme aux équations suivantes :

$$\begin{aligned} Q_{vi} &\geq \lambda \times Q_{wi} \\ Q_{vi} &\geq Q_{ni}(p) \end{aligned} \dots\dots\dots (A.4)$$

où

λ est le coefficient de dilution de la rivière ;

Q_{wi} est la quantité totale raisonnable de rejet d'eaux usées des i petites sections, c'est-à-dire le volume d'eaux usées conforme aux normes de rejet ;

$Q_{ni}(p)$ est le débit de i petites sections sous des taux garantis (taux mensuel garanti mensuel, par exemple $p_0 = 90\%$ ou $p_0 = 80\%$) conçus pour différentes années hydrologiques (telles que la moyenne pluriannuelle, l'année de faible débit et l'année de débit normal).

A.3 Demande en eau pour le transport des sédiments de la rivière

$$W_i = S_i / \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \max(C_{ij}) \dots\dots\dots (A.5)$$

où

W_i est la demande en eau pour le transport des sédiments, en m³;

S_i est le volume moyen de sédiments sur plusieurs années, en m³;

c_{ij} est la teneur moyenne en sédiments du mois j de l'année i , en m³;

N est le nombre d'années statistiques.

A.4 Demande en eau pour l'évaporation de la rivière

$$V = H_0 (A - P) \dots\dots\dots (A.6)$$

Où

V est la perte nette d'eau par évaporation pendant la période d'observation, en m³;

H_0 est la profondeur d'évaporation de la surface de l'eau pendant la période d'observation, en m ;

A est la superficie moyenne de l'eau pendant la période d'observation, en m²;

P représente les précipitations pendant la période d'observation, en m.