

## Variabilité des écarts de température induits par les éclusées et impacts écologiques associés : Revue bibliographique et typologie des altérations potentielles selon les schémas d'aménagements

### Variability of temperature variations induced by hydropeaking and associated ecological impacts: bibliographical review and typology of potential alterations according to development schemes

**Gouraud V.<sup>1</sup>, Barillier A.<sup>2</sup>, Baran P.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> EDF R&D LNHE - Laboratoire National d'Hydraulique et Environnement, Chatou, France

<sup>2</sup> EDF CIH – Centre d'Ingénierie Hydraulique, Savoie Technolac, La Motte Servolex, France

<sup>3</sup> ECOGEA, Muret, France

#### RÉSUMÉ

Les variations rapides de débit induites à l'aval des centrales hydroélectriques par les lâchers d'eau turbinées peuvent être accompagnées de variations de température. Etant donné la multiplicité de configurations d'aménagements et la diversité de caractéristiques des ouvrages, ces écarts de température liées aux éclusées sont potentiellement très variables d'un site à un autre. Aussi, l'objectif de nos travaux a été d'une part de faire un état de l'art des altérations thermiques liées aux éclusées et de leurs impacts sur les communautés biologiques. D'autre part, à l'aide de la connaissance des caractéristiques du parc hydroélectrique français et de cas d'étude représentatifs, nous avons cherché à définir les différents types d'altérations possibles en fonction des caractéristiques des aménagements. Pour la plupart des aménagements, un réchauffement en hiver et un refroidissement en été sont généralement observés, avec des amplitudes très variées. Les incidences les plus probables sur les organismes sont celles liées aux gradients de baisse ou de hausse de température et la fréquence des événements. Les écarts de température induits par les éclusées dépendent fortement de la configuration du site. Néanmoins, quel que soit, le type de configuration, les écarts de température induits ne sont pas systématiques et concernent un nombre restreint d'éclusées. Ces résultats mettent en avant le besoin d'acquérir des connaissances sur les effets de gradients de température élevés sur la physiologie et le comportement des individus et leurs impacts indirects à l'échelle des populations ou des communautés.

#### ABSTRACT

The rapid flow variations induced downstream of hydropower plants by the release of turbinated water can be associated with temperature variations. Given the multiplicity of plant configurations and the diversity of structure characteristics, these temperature variations linked to hydropeaking are potentially highly variable from one site to another. The aim of our work was therefore firstly to review the state of the art of thermal alterations linked to hydropeaking and their impact on biological communities. Secondly, using our knowledge of the characteristics of the French hydropower fleet and representative case studies, we sought to define the different types of alteration possible, depending on the characteristics of the facilities. For most facilities, warming in winter and cooling in summer are generally observed, with widely varying amplitudes. The most likely impacts on organisms are those linked to temperature gradients and the frequency of events. Changes in temperature regimes induced by hydropeaking are highly dependent on site configuration. Nevertheless, whatever the type of configuration, the temperature deviations induced are not systematic and concern a limited number of hydropeaking events. These results highlight the need to acquire knowledge about the effects of high temperature gradients on the physiology and behavior of individuals, and their indirect impacts at population or community level.

#### MOTS CLÉS

Eclusées, revue bibliographique, variations de température, impact écologique, hydroélectricité

Hydropeaking, literature review, thermopeaking, ecological impact, hydropower

## 1 INTRODUCTION

Des variations rapides de débit sont induites à l'aval des centrales hydroélectriques par les lâchers d'eau turbinées. Ce mode de gestion des aménagements permet d'adapter les pics de production d'électricité aux pics de consommation. Ces lâchers d'eau peuvent être aussi accompagnés de variations de température. Si les variations de débit induits par les éclusées et leurs impacts sont bien décrits dans la littérature, les écarts de température et leur incidence ont été nettement moins étudiés. Etant donné la multiplicité de configurations d'aménagements et la diversité de caractéristiques des ouvrages, ces écarts de température liées aux éclusées sont potentiellement très variables d'un site à un autre. Aussi, l'objectif de nos travaux a été d'une part de faire un état de l'art des altérations thermiques liées aux éclusées et de leurs impacts sur les communautés biologiques pour établir si des disparités ou des points de convergence apparaissaient dans la littérature sur ces altérations thermiques. D'autre part, à l'aide de la connaissance des caractéristiques du parc hydroélectrique français et de cas d'étude représentatifs, nous avons cherché à définir les différents types d'altérations possibles en fonction des caractéristiques des aménagements.

## 2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

### 2.1 Méthode

Nous avons réalisé une analyse de la littérature scientifique pour décrire i) les altérations thermiques liées aux éclusées ii) les impacts de ces altérations sur les communautés biologiques. La recherche documentaire pour cette synthèse bibliographique s'est appuyée sur la base de données Scopus avec la chaîne de recherche "TITLE-ABS-KEY" et sur la base de données Google Scholar. La Figure 1 décrit les différentes étapes de sélection des publications scientifiques retenues. La recherche bibliographique complète a abouti à la sélection de 27 articles sur la caractérisation physique des thermopeakings et de 30 articles sur effets des thermopeakings sur les organismes aquatiques.

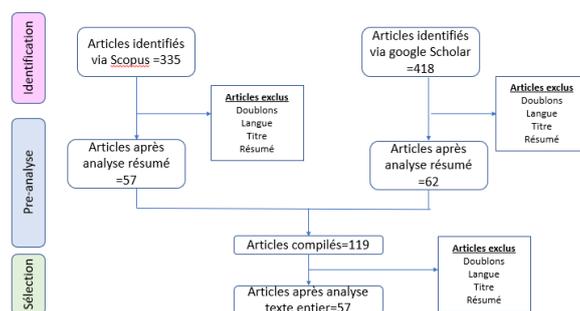


Figure 1 : Processus de sélection bibliographique

### 2.2 Résultats

Les modifications de température induites par les éclusées sont liées à la stratification thermique verticale naturelle des plans d'eau, à la complexité de la chaîne d'ouvrages de captage, aux modalités de dérivation des eaux turbinées (profondeur de la prise d'eau) et de restitution. Elles se caractérisent par des variations non naturelles de la température dans le cours d'eau récepteur au cours d'un cycle nyctéméral (Figure 2), variations nommées «thermopeaking» avec des modifications de gradient, d'amplitude, de fréquence, voire de saisonnalité. Les thermopeaking se distinguent des variations naturelles de température par des variations marquées et soudaines (Toffolon et al., 2010 ; Bruno et Siviglia, 2012) ou rapides et fréquentes, avec des valeurs de métriques plus élevées qu'en régime hydrologique naturel (Vanzo, 2015). Les modifications de gradient, d'amplitude, de fréquence, voire de saisonnalité de la température peuvent s'avérer importantes (Zolezzi et al., 2011). Les éclusées peuvent ainsi s'accompagner de hausse ou de baisse prononcée de température.

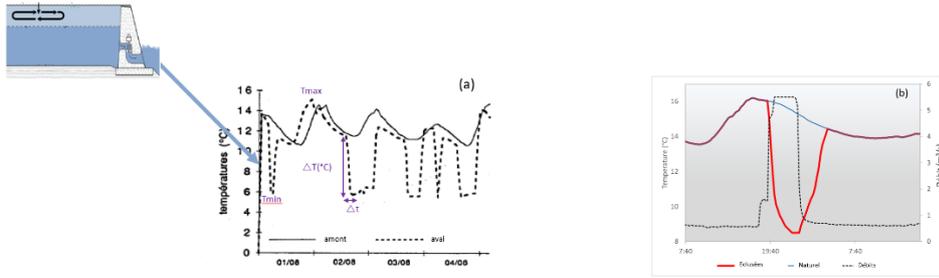


Figure 2 : Représentation schématique de thermopeaking : (a) Principales variables descriptives (b) Thermopeaking par rapport au cycle nycthéral

Pour les aménagements dérivant les eaux à partir de retenues situées en haute altitude ou à partir de prises d'eau située en profondeur, les thermopeaking induisent un réchauffement en hiver et un refroidissement en été (Figure 3). Des baisses de température (entre 3°C et 6°C) ont été observées en été et des augmentations (entre 2°C à 5°C) en hiver sur des rivières alpines, norvégiennes, pyrénéennes et coréennes. Toutes les éclusées ne génèrent pas d'écart de température. Certains aménagements n'en génèrent pas tandis que d'autres n'en génèrent que de manière saisonnière.

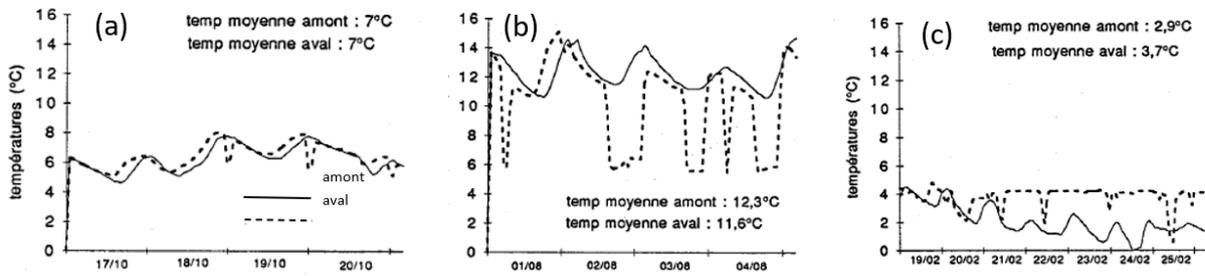


Figure 3 : Exemple de variabilité des thermopeaking selon les saisons : (a) absence de thermopeaking automne b) Refroidissement en été (c) Réchauffement en hiver

Les impacts écologiques des thermopeaking portent sur des perturbations de la dérive, l'échouage, l'émergence, la survie, la croissance et la reproduction des individus (Figure 4). Les mécanismes décrits ne convergent pas toujours selon les articles. Les valeurs seuil des métriques (gradient, amplitude, fréquence, timing) générant les perturbations ne sont pas estimées. Les effets à l'échelle des communautés ne sont pas décrits. Les limites de tolérance des espèces étant rarement atteintes, les chocs thermiques s'avèrent peu probables. En revanche, les gradients de baisse ou de hausse de température et la fréquence des évènements étant plus élevés qu'en milieu naturel, ils peuvent potentiellement avoir une incidence sur les organismes.

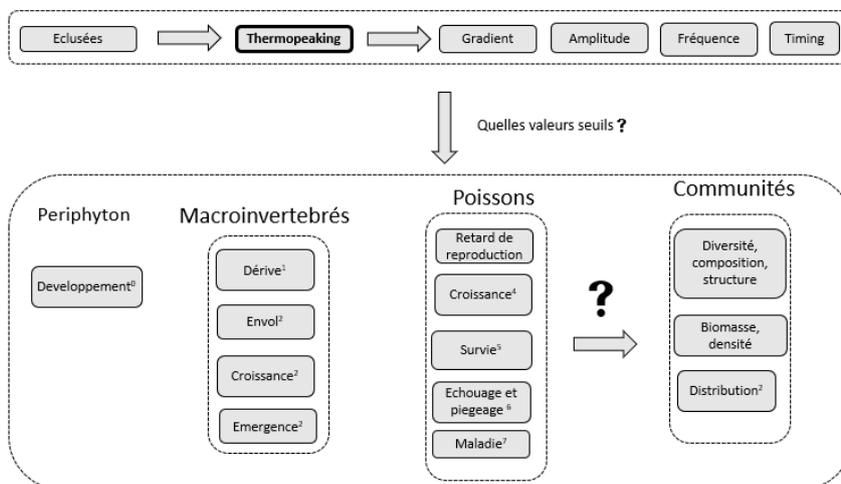


Figure 4 : Ensemble des impacts écologiques potentiels des thermopeaking

### 3 TYPOLOGIE DES ALTERATIONS

Sur la base de la connaissance du parc hydroélectrique français et l'analyse d'études de cas, 3 grands types de configuration d'ouvrages entraînant des écarts de température liés aux éclusées distincts ont été définis (Figure 5). Des comparaisons de régime thermique ont été effectuées à l'aide d'enregistrements de température sur des stations de référence, des stations de contrôle et des stations impactées par les éclusées. A l'échelle infra journalière, une forte diminution de la température lors des éclusées (2 à 4,5 °C) a été observée en été pour les 3 types de configurations. Cette diminution est accompagnée d'une augmentation des gradients de baisse (de 0,5 à 5°C/h en éclusées contre 0,12 à 0,5 °C/h en conditions naturelles). En hiver, les réponses diffèrent entre les 3 configurations avec un refroidissement des eaux pour le cas A, un réchauffement pour le cas B et peu d'écart de température induit pour le cas C. Les amplitudes journalières des températures sont plus élevées dans les tronçons à éclusées avec des valeurs variant de 4,5°C à 7°C/jour, mais cela ne concerne qu'un faible pourcentage d'éclusées (<8%). A l'échelle annuelle et mensuelle, pour le cas A, peu d'écart de température sont générés (léger refroidissement en juillet et décembre (-0,8°C) et réchauffement en janvier (+1°C)). Pour le cas B, les températures du tronçon à éclusées sont plus froides (-2,2°C) au printemps et en été et plus chaudes en hiver (+0,6°C). Pour le cas C, des différences très significatives sont observées au printemps et en été avec des refroidissements de -5,5°C à l'aval immédiat du barrage.

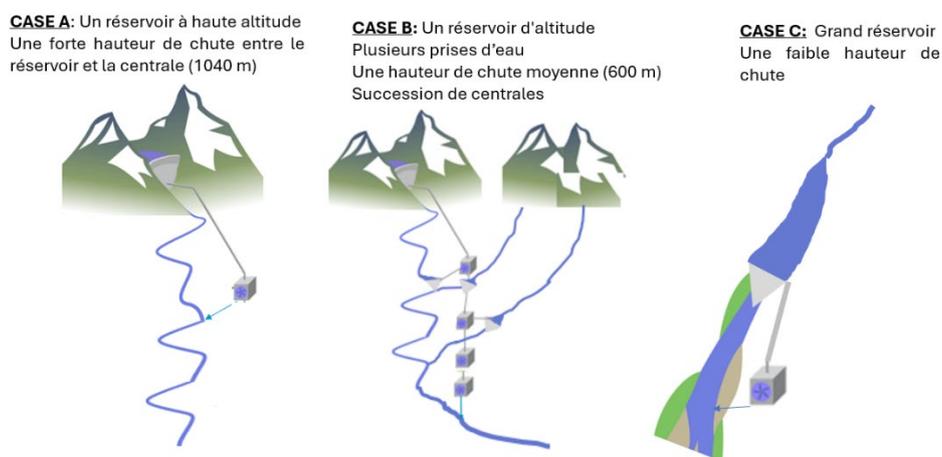


Figure 5 : Types de configuration d'ouvrages entraînant des écarts de température liés aux éclusées

### 4 CONCLUSION-PERSPECTIVES

Les changements dans les régimes de température induits par les éclusées dépendent fortement de la configuration du site. Néanmoins, quel que soit, le type de configuration, les écarts de température induits ne sont pas systématiques et concernent un nombre restreint d'éclusées. Les écarts de température les plus importants se produisent en été, avec une augmentation des amplitudes. Cela concerne, cependant, généralement moins de 10% du régime annuel d'éclusées. En revanche, des différences plus significatives sont observées entre régime d'éclusées et régime hydrologique naturel sur les gradients de débit. Ces résultats mettent en avant le besoin d'acquérir des connaissances sur les effets de gradients de température élevés sur la physiologie et le comportement des individus et comment cela peut se répercuter à l'échelle des populations ou des communautés. Une caractérisation plus exhaustive des différents types de configurations et des altérations thermiques associées permettrait également d'améliorer notre connaissance des impacts générés.

#### BIBLIOGRAPHIE

- Toffolon, Marco, Siviglia, Annunziato et Zolezzi, Guido. (2010). Thermal wave dynamics in rivers affected by hydropeaking. *Water Resources Research*, 46(8). <https://doi.org/10.1029/2009WR008234>
- Bruno, M. C. et Siviglia, A. (2012). Assessing impacts of dam operations—interdisciplinary approaches for sustainable regulated river management. *River Research and Applications*, 28(6), 675-677.
- Vanzo, Davide, Siviglia, Annunziato, Carolli, Mauro et Zolezzi, Guido. (2016). Characterization of sub-daily thermal regime in alpine rivers: quantification of alterations induced by hydropeaking. *Hydrological Processes*, 30(7), 1052-1070. <https://doi.org/10.1002/hyp.10682>.
- Zolezzi, Guido, Siviglia, Annunziato, Toffolon, Marco et Maiolini, Bruno. (2011). Thermopeaking in Alpine streams: event characterization and time scales. *Ecology*, 4(4), 564-576. <https://doi.org/10.1002/eco.132>