

## **Caractérisation des refuges thermiques dans la basse vallée de l'Ain par imagerie infrarouge thermique : éléments de conservation et de restauration**

Characterization of thermal refuges along the lower Ain River using thermal infrared remote sensing: implications for conservation and restoration

Vincent Wawrzyniak<sup>1</sup>, Hervé Piégay<sup>1</sup>, Pascal Allemand<sup>2</sup>, Philippe Grandjean<sup>2</sup>, Régis Goma<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université de Lyon, CNRS-UMR 5600. ENS de Lyon, Plateforme ISIG. 15, Parvis René Descartes, BP 7000, F69342 Lyon Cedex 07, France.

<sup>2</sup>Université de Lyon, CNRS-UMR 5276. Université Lyon 1, ENS de Lyon. 2 rue Raphaël Dubois, F69622 Villeurbanne Cedex, France.

Adresse e-mail de l'auteur : vincent.wawrzyniak@gmail.com

### **RÉSUMÉ**

L'imagerie infrarouge thermique permet de mettre en évidence la variabilité spatiale de la température des cours d'eau et ainsi de localiser les zones froides qui peuvent servir de refuges thermiques pour certaines espèces durant l'été. Trois campagnes aéroportées ont été réalisées sur la basse vallée de l'Ain (France) durant les étés 2010, 2011 et 2014. Ces images ont permis de détecter un nombre important de refuges thermiques. Quatre types de refuges sont observés : des panaches d'affluents, des bras latéraux froids, des résurgences et des remontées hyporhéiques. Ces refuges thermiques, plus particulièrement les deux derniers types, montrent une variabilité interannuelle liée aux conditions de nappe. La présence de refuges sur le continuum fluvial est liée au contexte géologique local, à la morphologie du fond de vallée et aux formes fluviales. Les secteurs présentant des refuges thermiques persistants pourraient avoir un intérêt écologique dans un contexte d'étiages prononcés et de réchauffement des eaux pouvant justifier des actions de conservation.

### **ABSTRACT**

Thermal infrared remote sensing can be worthwhile to highlight a spatial distribution of water temperature and to locate cold spots that can serve as thermal refuges for some species during summer. Three airborne campaigns were conducted on the lower Ain River (France) during the summers of 2010, 2011 and 2014. Based on these images, a large number of thermal refuges was identified. Refuges were classified in four types: tributary plumes, cold side channels, lateral seeps and hyporheic upwellings. These thermal refuges, especially the last two types, show a temporal variability amongst years related to groundwater level. The longitudinal distribution of refuges was especially related to local geology, valley morphology and fluvial landforms. Areas with persistent refuges could have an ecological interest in a context of pronounced low flow and water temperature rise. These results could have consequences in terms of management especially concerning conservation.

### **MOTS CLES**

Apports souterrains, formes fluviales, bras morts, température des cours d'eau, variabilité spatio-temporelle.

## 1 INTRODUCTION

La température de l'eau est un paramètre important pour les écosystèmes aquatiques. Le changement climatique a des conséquences sur les espèces piscicoles. Par exemple, les poissons d'eau froide, tels que les salmonidés, sont particulièrement sensibles aux augmentations de température. En été, lorsque les températures sont particulièrement élevées, ces poissons d'eau froide peuvent se réfugier dans des poches d'eau froide. Localiser ces refuges thermiques à partir de mesures *in situ* n'est pas aisé. L'imagerie infrarouge thermique (Wawrzyniak et al., 2013) peut être utilisée pour mettre en évidence la variabilité spatiale de la température de surface et ainsi localiser les refuges thermiques (Dugdale et al., 2013). Toutefois, la variabilité temporelle de ces refuges reste peu connue tout comme leur distribution le long d'un continuum fluvial. Les objectifs de cette présentation sont ainsi : i) d'identifier les refuges thermiques estivaux dans la basse vallée de l'Ain, ii) de caractériser leur variabilité interannuelle, et iii) de comprendre leur localisation sur le continuum.

## 2 SITE D'ETUDE

La basse vallée de l'Ain, section aval de 50 km de l'Ain entre le barrage d'Allement et la confluence avec le Rhône, présente une section fluviale à lit de graviers qui se déplace activement créant des bras morts par recoupement de méandres. Le régime hydrologique océanique est influencé par les aménagements hydroélectriques situés en amont, notamment le barrage de Vouglans. En été lors de l'étiage, le débit minimum sortant d'Allement est de  $12,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . La température de l'Ain est mesurée depuis les années 70 par EDF. Ces mesures ont permis de comprendre les variations longitudinales et temporelles de la température de l'eau (Poirel et al., 2010). Cependant, la variabilité latérale est beaucoup moins connue. En été, les refuges thermiques pourraient être importants pour les poissons d'eau froide, tels que l'ombre commun ou la truite présents sur cette zone.

## 3 METHODE

Trois campagnes d'acquisitions ont été réalisées (30/07/10, 28/06/11 et 03/07/14) en fin d'après-midi durant l'étiage. Un ULM et un hélicoptère ont permis de réaliser les vols. Les caméras utilisées sont sensibles à l'infrarouge thermique lointain ( $7,5\text{-}14 \mu\text{m}$ ) et peuvent détecter des variations de température de  $0,1^\circ\text{C}$ . Les images thermiques ont été géoréférencées à partir de photographies aériennes. Les résolutions spatiales moyennes varient entre 0,6 et 1,50 m. Pour détecter automatiquement les refuges thermiques, une méthode a été développée. Pour chaque image, la température médiane d'une zone tampon de 5 m autour de l'axe médian du cours d'eau a été calculée. Les zones présentant une température au moins  $0,5^\circ\text{C}$  inférieure à cette valeur ont été considérées comme des refuges thermiques. Ce seuil qui est plus élevé que les résolutions thermiques des caméras, a également été utilisé par Dugdale et al. (2013).

## 4 RESULTATS ET DISCUSSION

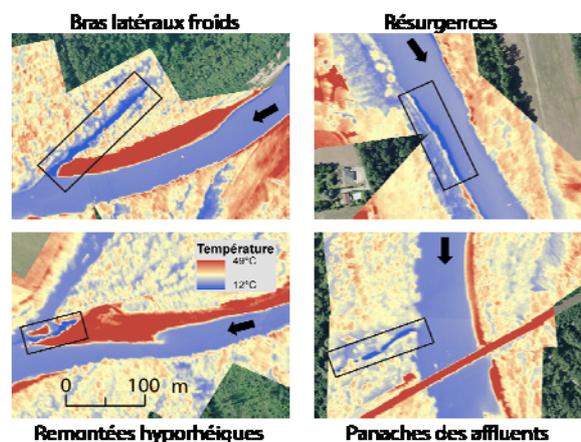


Figure 1. Les 4 types de refuges thermiques observés. Les flèches indiquent le sens d'écoulement.

Quatre types de refuges thermiques sont observés sur la basse vallée de l'Ain (figure 1). Dans la plupart des cas, les refuges sont froids car ils sont alimentés par des eaux souterraines. Les bras latéraux froids sont des anciens chenaux courants abandonnés ou des basses de convexités. Les résurgences sont situées sur les bords du cours d'eau. Elles sont générées par des apports

souterrains résultant de l’affleurement de la nappe. Les remontées hyporhéiques se produisent en aval de bancs de graviers. Elles résultent du flux superficiel d’eau traversant les alluvions. Enfin, les panaches des affluents sont simplement générés par des affluents froids confluant dans l’Ain.

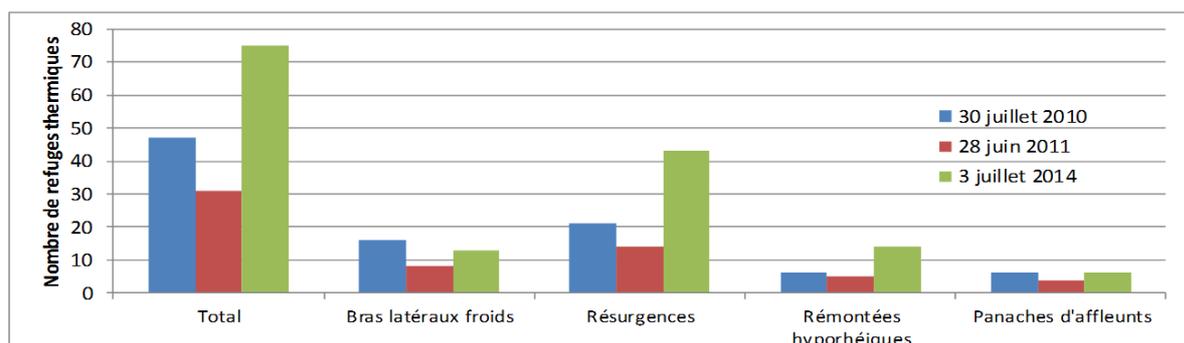


Figure 2. Variabilité interannuelle des refuges thermiques.

Les refuges thermiques présentent une variabilité entre les trois campagnes (figure 2). Considérant tous les types de refuges, le plus grand nombre de refuges est observé en 2014, puis en 2010 et enfin en 2011. Cette tendance se retrouve pour les remontées hyporhéiques et les résurgences. Nous l’expliquons par le niveau de nappe contrôlé par les débits de l’Ain et les précipitations locales. En effet, sur les 6 mois précédents les acquisitions thermiques, les précipitations et les débits moyens ont été plus élevés en 2014, puis en 2010 et en 2011. Parmi les refuges, certains sont persistants et ainsi observés durant les 3 campagnes tandis que d’autres sont temporaires et observés une seule fois. La tendance est légèrement différente pour les bras latéraux froids pour lesquels le même nombre de refuges a été observé en 2010 et 2014. De plus, ce type de refuge montre une plus grande stabilité temporelle. Enfin, les panaches des affluents présentent très peu de variabilité temporelle.



Figure 3. Localisation des refuges thermiques (en bleu) le long de l’Ain pour l’ensemble des campagnes.

La figure 3 représente la distribution longitudinale de l’ensemble des refuges thermiques observés. Les bras latéraux froids et les remontées hyporhéiques sont localisés dans les secteurs mobiles où le fond de vallée est large et où de nombreux bancs de galets sont présents. La position des résurgences semblent plutôt être liée au contexte géologique. En effet, de nombreuses résurgences sont observées dans la partie aval au niveau d’un complexe morainien fii-würmien.

## 5 CONCLUSION

L’imagerie thermique a permis de localiser un nombre important de refuges thermiques le long de l’Ain. Quatre types de refuges thermiques sont observés : des panaches d’affluents, des bras latéraux froids, des résurgences et des remontées hyporhéiques. Ces refuges, plus particulièrement les deux derniers types, montrent une variabilité interannuelle liée aux conditions de nappe. La présence de refuges sur le continuum fluvial est liée au contexte géologique local, à la morphologie du fond de vallée et aux formes fluviales. Les secteurs présentant des refuges thermiques persistants pourraient avoir un intérêt écologique dans un contexte d’étéages prononcés et de réchauffement des eaux pouvant justifier des actions de conservation.

## BIBLIOGRAPHIE

- Dugdale, S.J., Bergeron, N.E., & St-Hilaire, A. (2013). Temporal variability of thermal refuges and water temperature patterns in an Atlantic salmon river. *Remote Sensing of Environment*, 136, 358-373.
- Poirel, A., Gailhard, J., & Capra, H. (2010). Influence des barrages-réservoirs sur la température de l’eau: exemple d’application au bassin versant de l’Ain. *La Houille Blanche*, (4), 72-79.
- Wawrzyniak, V., Piégay, H., Allemand, P., Vaudor, L., & Grandjean, P. (2013). Prediction of water temperature heterogeneity of braided rivers using very high resolution thermal infrared (TIR) images. *International Journal of Remote Sensing*, 34(13), 4812-4831.