

# L'imagerie infrarouge thermique aéroportée (IRT-a) comme outil de diagnostic thermique des cours d'eau

Mots-clés : rivières, température, thermographie infrarouge, IRT, seuils, réhabilitation

<b>Type d'outil</b> Méthode de mesure	<b>Milieux étudiés</b> Cours d'eau	<b>Disciplines mobilisées</b> - Hydrologie - Télédétection	<b>Destinataires</b> - Bureaux d'études - Gestionnaires de milieu
--	---------------------------------------	--	---

## OBJECTIFS

Réaliser le diagnostic thermique des cours d'eau :

- caractériser le fonctionnement thermique des hydrosystèmes fluviaux
- repérer les zones refuges
- identifier les facteurs de contrôle potentiels
- évaluer la pertinence d'actions de remédiation réalisées ou envisageables

## L'ESSENTIEL

L'IRT-a est une méthode de mesure de température de surface, par télédétection. Elle consiste à survoler un cours d'eau afin de mesurer la température par caméra thermique. Elle permet de caractériser le fonctionnement thermique d'une rivière.

## CONTENU DE L'OUTIL

Déterminer correctement la température de l'eau d'une rivière nécessite d'utiliser les outils appropriés. Parmi eux, l'Imagerie infrarouge thermique aéroportée (IRT-a) offre la possibilité de pallier aux besoins de caractérisation spatiale des phénomènes thermiques à l'échelle de la rivière. Elle peut à ce titre servir un diagnostic préalable à la mise en place de mesures de terrain plus ponctuelles et/ou locales en déterminant à l'échelle d'un tronçon différents types de fonctionnement.

L'IRT-a est utilisée depuis de nombreuses années pour l'étude des océans et des lacs. Son application à l'étude des cours d'eau n'a réellement pris son essor qu'au début des années 2000, grâce notamment aux développements technologiques. Elle fait l'objet d'un nombre croissant d'études et est utilisée au laboratoire EVS depuis le début des années 2010.

Cette méthode de mesure consiste :

- à survoler des sections de rivières de quelques kilomètres à plusieurs dizaines de kilomètres afin de collecter des images dans le spectre infrarouge thermique combinées à des photographies numériques classiques ;
- à traiter informatiquement les images récoltées, afin d'obtenir des orthophotos et une cartographie des températures de surface de la rivière, dont les données sont corrigées ou validées via des mesures *in situ* ciblées.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ Permet de caractériser rapidement la température de surface de zones étendues</li> <li>+ Combine une haute résolution spatiale et une haute précision des mesures</li> <li>+ Technique exploitable pour des cours d'eau de taille variable (plan d'eau visible depuis les airs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'interprétation des profils de température doit être confirmée par des mesures de terrain</li> <li>- Mesures ponctuelles dans le temps</li> <li>- Mesures limitées à la température de surface (uniquement en deux dimensions)</li> <li>- Contraintes d'application : période, conditions météo, couvert végétal</li> </ul>

## MISE EN ŒUVRE

Moyens humains	Compétences	Matériel	Coût
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 personnes pendant 1 jour sur le terrain</li> <li>- 1 pilote (ULM/hélicoptère)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Maîtrise des outils de mesure et des outils de traitement</li> <li>- Compréhension du fonctionnement d'une rivière</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ULM/hélicoptère</li> <li>- Caméra thermique</li> <li>- Logiciels SIG et de traitements d'images</li> </ul>	Prestation entre 12 et 18 K€ selon la longueur à couvrir et la résolution spatiale

## CONTEXTE

La température des rivières dépend avant tout des conditions atmosphériques (notamment les radiations solaires), mais aussi des phénomènes de convection (échanges de chaleur avec l'air) et de conduction (échanges avec le lit de la rivière), eux-mêmes dépendant des conditions du milieu ambiant (température de l'air, des sédiments et de l'eau de la nappe). Les apports en eau souterraine ou provenant d'affluents jouent également un rôle important, tout comme l'occupation du sol, la topographie du fond de vallée et la présence de végétation en berge.

La température de l'eau est un paramètre critique pour de nombreuses espèces aquatiques, d'autant plus qu'elle conditionne d'autres paramètres d'importance tels que la concentration en oxygène dissous. Or, si la température d'une rivière varie « naturellement » dans le temps (au cours des saisons et de la journée) et dans l'espace, elle est également fortement perturbée par l'Homme, via l'installation d'obstacles à l'écoulement, les prélèvements dans la nappe, la déforestation et le réchauffement climatique. Ainsi, la replantation d'arbres en berge et des actions de réhabilitation comme l'arasement de seuils ou la reconstitution d'un matelas alluvial font partie des actions mises en œuvre par les gestionnaires pour limiter ces effets. Dans ce contexte, améliorer les connaissances sur le fonctionnement thermique des cours d'eau et sur l'impact d'actions de réhabilitation est indispensable pour prioriser les sites d'intérêt et optimiser l'efficacité de ces actions.

## PRINCIPES DE L'IRT-A

L'IRT-a permet de cartographier les températures de surface des cours d'eau, mais aussi de les interpréter en relation avec l'environnement local direct, en s'appuyant notamment sur la prise de photographies aériennes en simultané.

### Etape 1 - L'acquisition des images

Il s'agit de **survoler** une zone d'étude préalablement définie à l'aide d'un vecteur (hélicoptère, ULM, voire drone) et de collecter des clichés sur tout le linéaire du cours d'eau. Le choix de la localisation du tronçon d'étude est primordial, tout comme celui de la période de survol.

Chaque cliché correspond à un couple de deux images :

- **une image dans le spectre infrarouge thermique** (longueur d'onde entre 7,5 et 14  $\mu\text{m}$ ), prise via à une caméra thermique ;
- **une image visible** (composée de trois bandes : Rouge, Vert et Bleu), prise avec un appareil photo numérique classique.



Figure 1 (a) Exemple de vecteur (ULM) et (b) zoom sur les capteurs (appareil photo et caméra thermique). Source : Jura ULM, Baptiste Marteau

Ce couple d'images permet de mettre en relation des objets géographiques (faciès d'écoulement au sein d'un cours d'eau, ponts, arbres, bâtiments, etc.) avec leurs signatures thermiques. Simultanément, des thermomètres (par exemple attachés à des bouées) disposées le long du tronçon d'étude permettent d'enregistrer la température de surface *in situ* afin de pouvoir corriger les différences éventuelles entre la température imagée et la température mesurée.

### Etape 2 - Le traitement des images

Une fois collectées, les images sont « mosaïquées » (fusionnées) à l'aide d'un logiciel de photogrammétrie digitale qui utilise des algorithmes spécifiques pour aligner les images via une reconnaissance d'objets en commun entre chacune d'elles. Des outils de classification d'image peuvent être également utilisés pour identifier les pixels « en eau ». Enfin, l'intégration de points de calage permet de géoréférencer les modèles.

*In fine*, on obtient :

- une **orthothermographie** : cartographie des températures de surface du cours d'eau. Celle-ci permet de représenter et de visualiser les contrastes de température qui existent au sein du cours d'eau, et de détecter par exemple des zones d'exsurgence ;
- et une **orthomosaïque** : image du domaine visible.

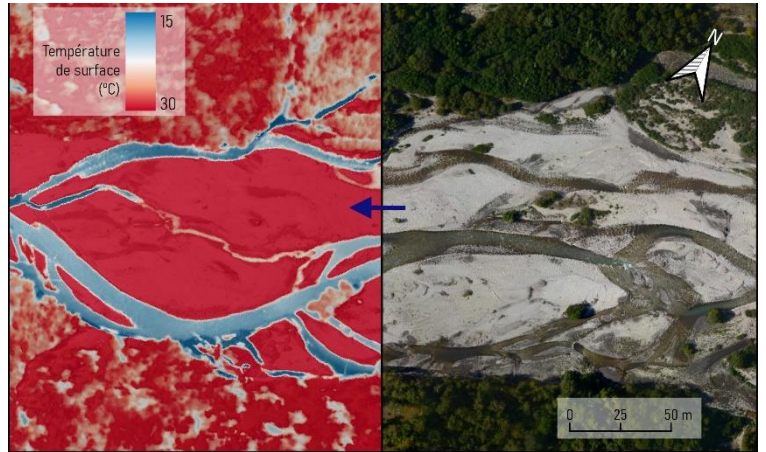


Figure 2 Orthothermographie (à gauche) et orthomosaïque (à droite) d'une section en tresses non restaurée de la rivière Drac

En complément, un **profil thermique longitudinal** (amont/aval) peut être extrait afin d'apprécier l'influence d'ouvrages (ex : seuils), d'apport d'eau souterraine (eau froide) ou de la ripisylve sur l'évolution de la température moyenne de surface.

### De nombreuses applications possibles

D'abord utilisé comme "simple" outil de mesure afin de comparer des rivières entre elles, l'IRT-a est progressivement apparu comme un outil de diagnostic rapide du fonctionnement (mais aussi du dysfonctionnement) des cours d'eau au niveau thermique à l'échelle de plusieurs dizaines de km de cours d'eau. Au-delà des intérêts scientifiques de comprendre le fonctionnement thermique des cours d'eau, l'outil s'est avéré être particulièrement utile pour repérer des refuges thermiques et identifier les facteurs potentiels qui contrôlent la mosaïque de température. Il permet aussi de proposer des pistes afin (1) d'affiner la compréhension des problèmes relevés, et (2) d'apporter des éléments de réponse en terme de gestion ou de réhabilitation.

Ainsi, l'IRT-a a permis aux équipes scientifiques de hiérarchiser les pressions qui s'exercent sur le patron thermique des cours d'eau de la plaine de la Bresse, d'appréhender les écarts existants entre l'apparente restauration morphologique du Drac et les réels effets sur les fonctions thermiques de la tresse restaurée, de détecter de nouvelles résurgences karstiques sur la Cèze ou l'Ardèche ou encore d'appréhender les différents degrés de connectivité latérale et longitudinale sur l'Ouvèze de Privas.

Certes, l'outil peut paraître difficile d'appropriation, puisqu'il nécessite l'accès à des équipements onéreux et une certaine maîtrise des logiciels de traitement d'images. Il n'en reste pas moins accessible puisqu'il arrive en fin de développement et peut être rapidement mobilisable par des gestionnaires, comme cela a été le cas de la Communauté d'Agglomération de Privas Centre Ardèche en 2019 et du Département des Hautes-Alpes en 2018.

### PERSPECTIVES ET PRECONISATIONS

Le projet en cours dans le cadre de l'action 72 de l'accord cadre ZABR-Agence de l'Eau permettra aux équipes d'EVS et de l'INRAE de caractériser quelques cours d'eau supplémentaires du bassin du Rhône dont le style hydro-géomorphologique n'a pas encore été étudié, ceci afin de compléter le nombre de situations connues et de renforcer la capacité d'expertise et de diagnostic local.

Ce projet aboutira également à la publication d'un guide technique opérationnel réunissant les connaissances et les expériences de terrain sur l'IRT-a, en soulignant ses atouts et ses limites. L'objectif de ce guide sera de fournir aux acteurs de l'eau qui sont amenés à établir un diagnostic thermique, une nomenclature des méthodes et techniques à mettre en place, en fonction des objectifs, du type de cours d'eau et des moyens à disposition.

## PERSONNES RESSOURCES

### Baptiste MARTEAU

Université de Lyon  
 CNRS - UMR5600 – Environnement, Ville, Société  
 ENS de Lyon  
[baptiste.marteau@ens-lyon.fr](mailto:baptiste.marteau@ens-lyon.fr)  
 Tél : 04 37 37 66 65

### Hervé PIÉGAY

Université de Lyon  
 CNRS - UMR5600 – Environnement, Ville, Société  
 ENS de Lyon  
[hervé.piegay@ens-lyon.fr](mailto:hervé.piegay@ens-lyon.fr)  
 Tél : 04 37 37 63 51

## DOCUMENT(S) SOURCE

Baptiste Marteau, Hervé Piégay, André Chandèsris, Flavie Cernesson, Kristell Michel, Jérémy Piffady, Lise Vaudor (2020) – [Effets de la ripisylve sur l'échauffement thermique des cours d'eau : de l'évaluation par télédétection à l'extrapolation à l'échelle régionale \(plaine de la Bresse\)](#) – 75p.

Baptiste Marteau et Hervé Piégay (2018) – Relevés thermiques aéroportés sur les rivières Buëch et Drac : rapport de synthèse pour le département des Hautes-Alpes – 35p.

[Fiche projet 2020-n°72-UMR5600-IRSTEA-IRT](#) de l'accord Cadre ZABR-Agence de l'Eau – L'IRT-a comme outil d'aide au diagnostic thermique local : approche confirmatoire in situ et recommandations opérationnelles

## AUTEUR(S)

Baptiste Marteau, Hervé Piégay

## STRUCTURE(S) PORTEUSE(S) DU PROJET

ENS de Lyon – UMR5600 – Environnement, Ville, Société / INRAE – RiverLy

## SITES ET OBSERVATOIRES DE LA ZABR MOBILISES

Le site Rivières cévenoles, l'Observatoire Hommes-Milieux vallée du Rhône (OHM), le site Drôme et rivières en tresses.

## THEMATIQUES ZABR ABORDEES

Flux, Formes, Habitats, Biocénoses (FFHB) / Changements climatiques et ressources

## PROJET

L'outil a été développé dans le cadre de plusieurs projets successifs intégrés dans l'accord cadre ZABR-Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse : notamment l'action n°62 et l'action n°72 (en cours).

## BIBLIOGRAPHIE

Dole-Olivier MJ, Wawrzyniak V, Creuzé des Châtelliers M, Marmonier P. 2019. Do thermal infrared (TIR) remote sensing and direct hyporheic measurements (DHM) similarly detect river-groundwater exchanges? Study along a 40 km-section of the Ain River (France). *Science of the Total Environment* 646 : 1097–1110. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.07.294

Dugdale SJ. 2016. A practitioner's guide to thermal infrared remote sensing of rivers and streams: recent advances, precautions and considerations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 3 : 251–268. DOI: 10.1002/wat2.1135

Handcock RN, Torgersen CE, Cherkauer KA, Gillespie AR, Tockner K, Faux RN, Tan J. 2012. Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes. *Fluvial Remote Sensing for Science and Management* : 85–113. DOI: 10.1002/9781119940791.ch5

Marteau B, Michel K, Piégay H. 2021. Can gravel augmentation restore thermal functions in gravel-bed rivers? A need for trajectory-based assessment. *Journal of Environmental Management* (en cours de revision)

Wawrzyniak V, Allemand P, Bailly S, Lejot J, Piégay H. 2017. Coupling LiDAR and thermal imagery to model the effects of riparian vegetation shade and groundwater inputs on summer river temperature. *Science of the Total Environment* 592 : 616–626. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.03.019

