

## Accord Cadre ZABR - Agence de l'Eau

### Fiche projet

#### 2020-n°72-UMR5600-IRSTEA-IRT :

### L'IRT-a comme outil d'aide au diagnostic thermique local : approche confirmatoire in situ et recommandations opérationnelles

**TITRE DU PROJET :** IRT – L'IRT-a comme outil d'aide au diagnostic thermique local

**RESPONSABLE SCIENTIFIQUE DU PROJET :**

Hervé Piégay (UMR5600 – EVS)

Florentina Moatar (IRSTEA – RiverLy)

**EQUIPES DE RECHERCHES ZABR CONCERNEES et CONTACT SCIENTIFIQUE DE L'EQUIPE**

EVS – UMR5600 (Hervé Piégay, Baptiste Marteau)

IRSTEA – LHQ (André Chandesris, Florentina Moatar, Jérémy Piffady)

**AUTRES PARTENAIRES**

+ équipes à choisir pour le groupe de travail (cf. résumé)

**THEME DE RATTACHEMENT ZABR**

Flux - Formes - Habitats - Biocénoses (FFHB)

Changements climatiques et ressources

**THEME DE RATTACHEMENT AGENCE DE L'EAU -QUESTIONS AGENCE DE L'EAU**

**Thème de rattachement Agence de l'Eau (accord cadre)**

1.1. Comprendre le fonctionnement des milieux aquatiques

1.1.2 - Prendre en compte les changements globaux sur le temps long

- Facteurs-clefs pour permettre/accroître la résilience des milieux aquatiques aux effets du changement climatique, à favoriser dans le cadre de solutions basées sur la nature. En particulier : gestion des crues morphogènes, accroissement de l'intermittence des écoulements, connectivité et zones refuges, fonctionnement sédimentaire

2.1. Compléter et optimiser la surveillance de l'état et la qualité des masses d'eau

- Développer des outils métrologiques pour caractériser le fonctionnement et les processus (ex : mesures de charriage par hydrophones, couvertures thermiques aéroportées...)

3.1. Développer l'offre d'outils de remédiation

3.1.2 – Soutenir un déploiement efficace et optimisé des mesures

- Développer des aides au choix des techniques de remédiation et au ciblage spatial et temporel de la mise en œuvre des mesures en appui aux plans de restauration des bassins versants (Objectif : ciblage des PdM et des PAOT sur des contenus et des conditions de mises en œuvre plus efficaces)

**Inventaire des besoins en matière de connaissance opérationnelle pour la gestion des milieux aquatiques :**

Q1 - Quelles incidences du changement climatique sur l'évolution du bassin ?

Q15 - Quelles pressions sur le fonctionnement physique des milieux aquatiques et quels risques d'altération ?

Q35 - Quels échanges aux interfaces eaux souterraines-eaux superficielles ?

### **SITE OU OBSERVATOIRE DE RATTACHEMENT ZABR**

SARAM, Rivières cévenoles, OHM, Drôme et rivières en tresse

#### **RESUME DU PROJET GLOBAL (15 lignes max)**

- Résumé 15 lignes :

Au cours des dernières années, de nombreuses études conduites par le laboratoire EVS ont permis de collecter des données de température grâce à l'InfraRouge Thermique aéroporté (IRT-a), sur les rivières du bassin du Rhône. Bien que les secteurs étudiés soient étendus, certaines zones géographiques, et surtout certains types de fonctionnement hydromorphologique, demeurent faiblement couverts et donc moins bien caractérisés.

Avec ce projet, nous proposons de compléter la palette des situations observées par IRT-a afin de pouvoir réaliser une **méta-analyse typologique des profils thermiques** longitudinaux et des conditions hydromorphologiques associées. Ces campagnes d'acquisition seront complétées par des relevés de terrain permettant de **confirmer l'interprétation qui est faite de ces profils**, à partir de canes thermométriques, d'enregistreurs plus 'traditionnels', ou via des campagnes ponctuelles de mesures des paramètres clés capables d'identifier les échanges nappe-rivière (température, oxygène, conductivité). Ces données permettront d'alimenter ainsi des simulations à l'échelle locale permettant de tester des hypothèses de fonctionnement ou des scénarios de changement.

L'objectif de ce projet est également de fournir un **guide technique opérationnel** sur la caractérisation des régimes et habitats thermiques en rivière, les facteurs qui les contrôlent, les impacts thermiques potentiels selon les différents contextes fonctionnels étudiés et les actions de remédiation envisageables. Ce guide sera construit en s'entourant d'un groupe de travail comprenant des hydrogéologues, des écologues et des hydrologues, avec l'appui des équipes de l'IRSTEA et d'EVS qui connaissent plus spécifiquement le fonctionnement thermique des rivières.

- Livrables proposés :
  - Un **rapport de synthèse** présentant les résultats de la méta-analyse des données IRT-a à l'échelle du réseau de sites caractérisés dans le bassin du Rhône. Ce rapport inclura les résultats obtenus sur les rivières imagées lors de l'été 2020 et une synthèse typologique des comportements thermiques identifiés par IRT-a et confirmés par des relevés in-situ ;
  - Un **guide méthodologique opérationnel** sera rédigé, présentant les enjeux socio-environnementaux associés aux acquisitions thermiques, les avantages et les inconvénients de l'utilisation des différentes méthodes de caractérisation de la température des rivières (IRT-a notamment mais également les autres démarches – modélisation, données anciennes, campagnes programmées, fibre optique...), afin d'identifier les solutions à préconiser en fonction des objectifs et des caractéristiques hydro-géomorphologiques des rivières concernées.
  - Ces rendus seront également valorisés par des publications dans des revues scientifiques à comité de lecture, le plus possible avec une portée internationale.

#### **ENCART 2020-72-UMR5600-IRT-PIEGAY-HERVE** (Responsable Nom prénom) (10 lignes max)

- Tâche de l'équipe dans le projet : coordination du projet, collecte des données IRT-a complémentaires, analyse des résultats, coordination de la rédaction/production des livrables et de la restitution des résultats scientifiques.
- Coût total du projet pour l'équipe : 100 696.96€ dont 59 821.05€ de demande de subvention. Cette demande est une composante du « projet 2020-n°72-IRT » dont le coût total est de 142642.65 € ».

#### **ENCART 2020-72-IRT-MOATAR-FLORENTINA** (Responsable Nom prénom) (10 lignes max)

- Tâche de l'équipe dans le projet : appui à la modélisation, installation et collecte des données de terrain par mesure directe (thermomètres, sondes multi-paramètres, canes thermométriques, etc.), analyse des résultats, participation à la rédaction et la production des livrables.
- Coût total du projet pour l'équipe : 41 945.69 € dont 5 172.40€ de demande de subvention. Cette demande est une composante du « projet 2020-n°72-IRT » dont le coût total est de 142642.65 € ».

#### **FINALITES ET ATTENDUS OPERATIONNELS** (1 p. maxi) :

L'objectif principal du présent projet est d'approfondir les connaissances sur le fonctionnement thermique des rivières du bassin du Rhône. C'est un bassin qui présente l'avantage de présenter une grande diversité de contextes hydro-géomorphologiques, avec des pressions anthropiques marquées et de nombreux enjeux (effet potentiel du changement climatique, importants échanges nappe-rivière dans les systèmes à graviers). Mais c'est également un terrain relativement bien connu des équipes EVS et IRSTEA, qui travaillent sur la thermie des rivières du bassin depuis plusieurs années. Afin de mettre à profit les expériences déjà acquises et d'approfondir les connaissances, nous proposons notamment une analyse des données de température de surface acquises par IRT-a, afin de renforcer les capacités de diagnostic à l'échelle locale (tronçons de quelques dizaines de km), de déterminer la sensibilité des tronçons à l'échauffement thermique estival, leur résilience ainsi que les solutions optimales d'atténuation des pressions. Afin de renforcer ces connaissances sur le fonctionnement thermiques des hydrosystèmes, il est maintenant indispensable que les bons outils soient utilisés au bon endroit, et souvent de manière complémentaire.

Dans ce cadre, la finalité opérationnelle du projet est double :

- Proposer un protocole de **diagnostic du comportement thermique** des tronçons fluviaux fondé sur l'identification des anomalies locales, et du patron thermique longitudinal (identification des tronçons homogènes en fonction des gradients thermiques), des approches confirmatoires in situ et des simulations afin d'évaluer la contribution potentielle d'apports de nappe, le rôle de l'ombrage ou l'effet de structures anthropiques ;
- Coordonner la rédaction d'un **guide technique opérationnel** sur les outils et les méthodes qui existent pour caractériser la température des rivières. 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 sur lesquels ils travaillent, et des moyens à disposition. Ce guide technique se veut être assez généraliste afin d'être accessibles à un grand nombre d'acteurs. Pour cela, nous proposons de nous entourer de spécialistes des domaines qui touchent directement à celui de la température, tels que des hydrologues, des hydrogéologues, des écologues, des gestionnaires, etc.

## **OBJECTIFS ET METHODOLOGIE (2 p. maxi) :**

### **Méta-analyse des profils et gradients thermiques longitudinaux**

Le laboratoire EVS étudie la température de surface des rivières depuis plusieurs années par thermographie aéroportée (voir notamment les travaux de Wawrzyniak et al., 2013, 2016, 2017; Dole-Olivier et al., 2019). Des données de température ont ainsi été déjà acquises grâce à l'InfraRouge Thermique aéroporté (IRT-a), sur plusieurs rivières du bassin du Rhône (Rhône, Ain, Ardèche, Cèze, Drac Noir, Vénéon, Bans, Bléone, Bez, Drôme, Eygues, Asse de Blieux, Drac, Buëch). Les rivières en tresses sont assez bien connues à ce jour ainsi que les rivières cévenoles des plateaux calcaires. Récemment, le projet « Action 62 : Thermie » financé dans le cadre de l'accord cadre Agence de l'Eau – ZABR, a permis de démontrer plusieurs éléments appuyant l'intérêt de l'IRT-a pour l'étude de la température des cours d'eau de plaine : (i) la technique est exploitable sur des cours d'eau de taille assez variable, permettant ainsi de caractériser les habitats thermiques même, dans une certaine mesure, lorsque la ripisylve est assez dense ; (ii) elle permet d'acquérir rapidement, et sur des linéaires importants (jusqu'à 50km par vol) des données de température de surface à une résolution inférieure à 50cm et une précision de quelques dixièmes de degrés ; et (iii) c'est un outil très intéressant pour réaliser un diagnostic thermique local lors des périodes estivales (mais également applicable en période hivernale, voir Eschbach et al., 2017), permettant l'identification préalable de phénomènes plus ponctuels ou locaux, observables à l'échelle d'un tronçon de quelques kilomètres à quelques dizaines de kilomètres, et dont les mécanismes doivent être confirmés en utilisant des techniques complémentaires (ex. thermomètres, canes thermométriques, sondes multi-paramètres, simulations) afin notamment de confirmer les facteurs qui les contrôlent. Les apports de nappe diffus ont, par exemple, des effets qui sont observables sur le profil thermique longitudinal mais sans « tâches froides » visibles depuis les airs. Ces mesures permettent également de confirmer et mieux caractériser les phénomènes de stratifications thermiques en amont de seuils. Elle offre également la possibilité de quantifier les effets de la présence/absence de ripisylve sur le profil longitudinal des rivières. L'équipe RiverLy d'IRSTEA travaille depuis plusieurs années sur la compréhension de ces phénomènes locaux, notamment les effets de la ripisylve sur les dynamiques thermiques des rivières (ex. bassin de la Loire, Loicq et al., 2018), ou encore l'impact des seuils sur les écarts de température amont-aval, et comment ces écarts évoluent au cours des saisons et en fonction des épisodes hydrologiques (Chandesris et al., 2019). La complémentarité des deux équipes s'ajoute à la complémentarité des approches aéroportées, in situ et liées à la modélisation.

Ainsi, l'IRT-a offre la possibilité d'acquiescer des données précises de température de l'eau à une échelle particulièrement intéressante. En effet, elle permet d'étudier l'évolution du profil thermique longitudinal des cours d'eau, mais aussi de mettre en relation cette évolution avec l'environnement local direct (de par la prise de photographies aériennes en simultané) tels que la densité et la hauteur de la ripisylve (via la photogrammétrie SfM<sup>1</sup>), la présence de seuils ou de rejets d'eau, la densité et la répartition des éléments du paysage fluvial, etc. La longueur du linéaire qu'il est possible de caractériser offre également la possibilité d'étudier l'évolution de ce profil longitudinal de température en fonction de facteurs de contrôle à plus large échelle, tels que la nature du substratum géologique, le positionnement du cours d'eau en fond de vallée, les caractéristiques morphologiques du chenal ou la présence d'affluents importants. La multiplicité et la diversité des rivières imagées offre l'opportunité de caractériser le comportement thermique des cours d'eau à l'échelle du bassin du Rhône, incluant alors des facteurs de contrôle à un niveau supérieur, tel que le climat, l'hydrologie régionale, l'histoire des usages de l'eau, etc. En effet, le bassin du Rhône présente la particularité d'avoir une très grande diversité de styles géomorphologiques, et dispose de certains styles qui lui sont propres. C'est le cas notamment des rivières alpines présentant des bancs de galets importants et des plaines alluviales bien connectées et des cours d'eau méditerranéens présentant des étiages marquées en période estivale. Or, ce sont les deux catégories qui sont les moins représentées dans le jeu de données actuellement à disposition. Le projet s'inscrit donc dans une logique de compréhension fonctionnelle des différents styles fluviaux du bassin plus que dans une logique de transférabilité des connaissances propres d'un bassin à un autre. L'ajout de quelques rivières dont le style hydro-géomorphologique n'a pas encore été caractérisé par IRT-a permettra de compléter le nombre de situations connues et de renforcer la capacité d'expertise et de diagnostic local. Parmi les types hydro-géomorphologiques qui demeurent moins connus se trouvent notamment : les cours d'eau Méditerranéens (de plaines, tels que le Gard, le Lergue et l'Orb; et plus montagnards, tels que la Tinée ou le Var), les rivières à bancs alternes à fort transport solide (ex. l'Oignon, le Giffre, l'Arve amont) ou marqués par des processus de colmatage (ex. les Usses, la Drôme, l'Isère, la Durance), ou encore les rivières de plaine avec de forts apports de nappe (ex. la Vallière, la Loue, l'Ouvèze). Ainsi, la caractérisation de 6 à 7 tronçons fluviaux devrait permettre de compléter l'éventail de cas déjà caractérisés.

La complémentarité de ce projet par rapport aux actions soutenues précédemment se joue sur plusieurs niveaux :

- les objectifs des missions précédentes étaient généralement ciblés sur la compréhension de problématiques locales (ex. recharge sédimentaire sur le Drac et le Buëch, identification des facteurs influençant l'échauffement thermique de secteurs soumis à de fortes pressions agricoles, etc.) ou se concentraient sur une catégorie de cours d'eau en particulier (ex. rivières en tresse, Wawrzyniak et al.; rivières de plaine avec et sans ripisylves, Marteau et al.). Le projet actuel est donc complémentaire de par la distribution géographique (et surtout typologique) des cours d'eau que l'on souhaite imager ;
- le deuxième niveau de complémentarité se situe dans le niveau d'analyse qu'il sera possible de produire lorsque ces cours d'eau supplémentaires seront intégrés au jeu de données existant. Il sera alors possible d'approfondir les analyses qui ont pu être faites par le passé (ex. re-valorisation des résultats des campagnes précédentes) et d'y ajouter les enseignements obtenus, sur le fonctionnement des rivières alpines et méditerranéennes notamment, pour affiner notre compréhension du fonctionnement thermique des rivières du bassin du Rhône, le tout à une échelle spatiale qui dépasse ce qui est possible de faire avec les outils de mesure traditionnels ;
- enfin, le dernier niveau de complémentarité est représenté par la continuité technique qui existe entre ce projet et les actions précédentes. D'abord utilisé comme "simple" outil de mesure afin de comparer des rivières entre elles, l'IRT-a est petit à petit apparu comme un outil de diagnostic rapide et étendu (spatialement) du fonctionnement (et donc plus particulièrement du dysfonctionnement) des cours d'eau au niveau thermique. L'expérience accumulée par le laboratoire a également permis de montrer que l'IRT-a permet de détecter des mécanismes, des ' patrons ' de température et que le diagnostic doit alors être confirmé par des techniques complémentaires permettant d'affiner la compréhension de certains éléments (ex. stratification thermique, gradient thermique négatif sans "tâches froides" apparentes, etc.). Le dernier objectif du projet est donc de mettre à profit cette expérience, en s'entourant de spécialistes de domaines liés plus ou moins directement à la thermie des cours d'eau, pour rédiger un guide technique opérationnel qui informe sur la complémentarité de ces méthodes de mesure et propose des protocoles de diagnostic et test des scénarios d'action.

Parmi les livrables du projet « Action 62 : Thermie » figure la création d'un module simplifié permettant de tester les effets de certaines actions de remédiation (ex. arasement de seuil, amélioration de la couverture rivulaire) sur le profil thermique longitudinal d'une rivière. L'incorporation de nouvelles situations, grâce aux acquisitions IRT-a complémentaires proposées dans ce projet, permettront d'améliorer le modèle précédent et

---

<sup>1</sup> SfM : Structure-from-Motion : technique d'imagerie par intervalle permettant la reconstruction en 3D d'objets à partir d'images en 2D.

d'ajouter des configurations qui n'avaient été intégrées à l'étape précédente, tels que l'analyse des niveaux de nappe, l'influence du degré de colmatage, etc. Ainsi, la combinaison des deux outils (IRT-a et module numérique) pourra fournir un *package* proposant un **diagnostic**, répertoriant les problèmes locaux sur lesquels il est possible d'intervenir, et un **pronostic** des évolutions futures en fonction de scénarios de renaturation ou de différents niveaux d'intervention.

Enfin, et dans la perspective de scénarios de changements climatiques, la bancarisation de ces profils longitudinaux de température fournira des éléments importants de validation, à la fois aux modélisateurs et aux gestionnaires, pour étudier l'évolution du comportement thermique faces aux changements globaux (exemple du modèle T-NET, Beaufort et al., 2016). Ils pourront également servir à l'évaluation d'éventuelles mesures de remédiations qui pourront être envisagées dans certains cas de figure (ex. restauration écologique du Drac et du Buëch, Marteau and Piégay, 2018; restauration du tapis alluvial de l'Ouvèze). Le modèle T-NET, développé par les équipes de Florentina Moatar, a été créé afin de modéliser la température des cours d'eau à l'échelle du bassin Loire-Bretagne. Les récentes publications montrent que l'outil est efficace et performant pour l'ensemble des cours d'eau du bassin. Ce modèle pourrait être appliqué aux rivières du bassin du Rhône, bien que (1) des points de validation soient nécessaires, et que (2) la diversité des styles fluviaux du bassin du Rhône est plus variée, et donc certains sont pour le moment méconnus du modèle. L'un des avantages principaux de l'IRT est sa capacité à produire des profils longitudinaux de température sur des sections de taille de l'ordre de dizaines de kilomètres. Ces profils pourront apporter des solutions de comparaison au modèle T-NET lorsque celui-ci sera réalisé, à plus large échelle que les mesures ponctuelles, et ce en particulier pour les cours d'eau qui sont propres au bassin du Rhône, notamment les cours d'eau alpins et méditerranéens.

## **Un guide méthodologique opérationnel pour établir des diagnostics thermiques locaux**

Il existe de nombreux outils disponibles pour caractériser la température des rivières, et le choix de leur utilisation dépend notamment des objectifs de l'étude et du type de rivière. Les recherches menées dans la plaine de la Bresse lors de l'année 2018-2019 ont démontré l'utilité de l'IRT-a comme outil de diagnostic rapide, capable de couvrir des sections de plusieurs dizaines de kilomètres. L'IRT-a peut donc servir comme outil préalable à la mise en place d'actions de terrain plus ponctuelles et/ou locales. En revanche, son utilisation reste limitée à des mesures ponctuelles dans le temps si elles ne sont pas répétées. D'autres outils permettent de déterminer le régime thermique sur de plus longues durées (ex. thermomètres), avec parfois une dimension verticale (ex. canes thermométriques) mais ils peuvent difficilement être déployés sur de grands linéaires. Certains outils peuvent servir à caractériser de manière ponctuelle et/ou locale les habitats thermiques d'un cours d'eau à une résolution plus fine (ex. fibre optique), mais ils nécessitent des moyens humains et des informatiques plus importants. Enfin, il est possible d'appréhender le fonctionnement thermique des rivières par une approche modélisatrice, le plus souvent basée sur des principes thermodynamiques, qui peuvent être implémentés à des échelles de temps et d'espace variables. En revanche, l'utilisation de ces modèles requiert une certaine expérience en la matière et l'accès à des données géomorphologiques et météorologiques qui ne sont pas toujours disponibles ou facilement accessibles à des gestionnaires locaux. Les apports des nappes et l'effet de la ripisylve sont également difficile à intégrer faute de données ou de connaissances locales. Le choix de l'un ou l'autre de ces outils pour réaliser le diagnostic thermique d'une rivière peut alors sembler difficile et, en l'absence d'outils d'aide à la décision et de cadre méthodologique, pourra mener à une utilisation non-optimale des outils et des ressources. Or, les besoins en termes de connaissance sur le fonctionnement thermique des hydrosystèmes sont croissants, et les attentes des gestionnaires et des décideurs se font plus pressantes.

Face à ce constat, la deuxième partie du projet propose de réunir les connaissances et les expériences de terrain au sein d'un guide méthodologique opérationnel. Ce document, qui reprendra les avantages et les inconvénients des différentes méthodes existantes, se veut être un outil d'aide à la décision. L'objectif est de proposer un document reprenant les différents outils, expliquant leur utilisation et leur complémentarité, et détaillant leur utilité pour explorer le comportement thermique et la distribution des habitats thermiques des cours d'eau. Les équipes d'IRSTEA et d'EVS auront pour rôle de coordonner la rédaction de ce guide. Un travail de synthèse sera également fourni afin de présenter les enjeux à la fois techniques et socio-environnementaux de la connaissance du fonctionnement thermique des hydrosystèmes. Afin de couvrir un éventail de situations le plus large possible, il est proposé de former un groupe de travail, regroupant des hydrologues, des géologues, des écologues, etc. qui pourront participer de manière active à la réflexion et la rédaction de ce guide.

Ce projet propose avant tout de s'appuyer sur des données (en partie) existantes et des matériels déjà acquis par les laboratoires EVS (caméra thermique, logiciels de traitement) et IRSTEA (capteurs de température, outil de modélisation). L'essentiel du budget demandé est ainsi destiné aux campagnes d'acquisition IRT-a

complémentaires (6 vols anticipés), aux campagnes de terrain visant à valider les mesures IRT-a, et au temps nécessaire à l'analyse et la rédaction des livrables. Un investissement de temps est également prévu pour la communication des résultats obtenus lors de réunions ou de colloques, ainsi que leur valorisation dans des revues scientifiques à portée internationale. Enfin, la réflexion autour de l'élaboration du guide méthodologique nécessitera de mobiliser du temps et des moyens pour des réunions régulières.

**DUREE DU PROJET** : 18 mois

### **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :**

Beaufort A, Curie F, Moatar F, Ducharne A, Melin E, Thiery D. 2016. T-NET, a dynamic model for simulating daily stream temperature at the regional scale based on a network topology. *Hydrological Processes* **30** : 2196–2210. DOI: 10.1002/hyp.10787

Chandesris A, Van Looy K, Souchon Y. 2019. Determinants of thermal regime influence of small dams. *Hydrology and Earth System Sciences* **136** : 1–23.

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 [online] Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.294>

Eschbach D, Piasny G, Schmitt L, Pfister L, Grussenmeyer P, Koehl M, Skupinski G, Serradj A. 2017. Thermal-infrared remote sensing of surface water-groundwater exchanges in a restored anastomosing channel (Upper Rhine River, France). *Hydrological Processes* **31** : 1113–1124. DOI: 10.1002/hyp.11100

Loicq P, Moatar F, Jullian Y, Dugdale SJ, Hannah DM. 2018. Improving representation of riparian vegetation shading in a regional stream temperature model using LiDAR data. *Science of the Total Environment* **624** : 480–490. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.12.129 [online] Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.129>

Marteau B, Piégay H. 2018. Relevés thermiques aéroportés sur les rivières Buëch et Drac - Rapport de synthèse pour le département des Hautes-Alpes, 33p.

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

Wawrzyniak V, Piégay H, Allemand P, Vaudor L, Goma R, Grandjean P. 2016. Effects of geomorphology and groundwater level on the spatio-temporal variability of riverine cold water patches assessed using thermal infrared (TIR) remote sensing. *Remote Sensing of Environment* **175** : 337–348. DOI: 10.1016/j.rse.2015.12.050

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** : 4812–4831. DOI: 10.1080/01431161.2013.782113

#### **- RAPPELS -**

**Tout projet ZABR doit répondre à 5 critères** : être pluridisciplinaire, entrer dans les problématiques scientifiques de la ZABR, impliquer au moins 2 équipes du GIS ZABR, s'appliquer sur un site ou un observatoire de la ZABR, provenir d'équipes ayant une production scientifique internationale garantissant la valorisation future du travail de recherche. Tous les renseignements sont disponibles sur le site internet de la ZABR. [www.zabr.org](http://www.zabr.org)

Remarque : le critère de site ou d'observatoire peut être levé s'il est démontré : soit que l'action est en lien avec des travaux en cours sur un site ou un observatoire de la ZABR (ex : test d'un outil sur un autre secteur), soit si l'action permet une analyse comparative avec les travaux réalisés sur les sites et observatoires et nécessite de passer à l'échelle du bassin versant du Rhône.

#### **Modalités d'intervention de l'Agence de l'Eau :**

Règle générale : une subvention de 50% d'un budget prévisionnel HT

**Montant global alloué par l'Agence de l'Eau sur l'accord cadre AE ZABR** : 250 k€ à 300 k€/an