



Technote

cerfo

FORMATION
ACCOMPAGNEMENT
RECHERCHE
EN FORESTERIE

NOTE TECHNIQUE NO 2023-01

MAI 2023



Détection de refuges thermiques en rivière par drone

Objectifs du projet	3
Méthodologie	3
01. Acquisition de données	3
02. Prétraitements des images thermiques	4
03. Détection des refuges thermiques	5
04. Limites et recommandations	7
05. Références principales	8

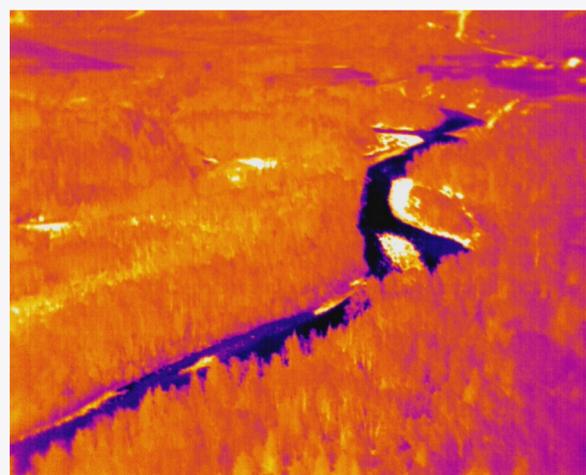
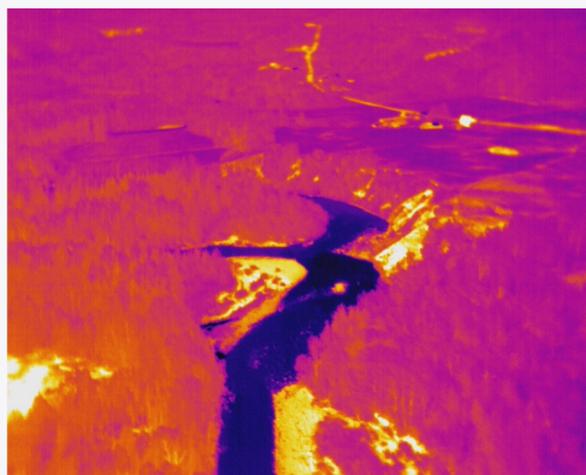
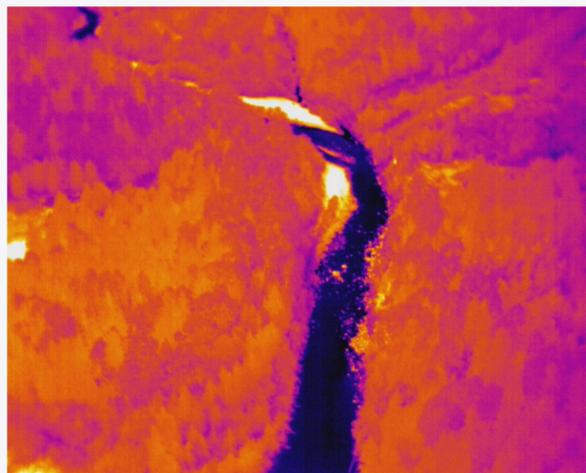
ÉQUIPE DE RÉALISATION
Batistin Bour, M. Sc.
Xavier Gallagher-Duval, B. Sc.,
Jean Marchal, Ph. D.,
Marc-Antoine Genest, M. Sc.
Mathieu Varin, M. Sc.



Les refuges thermiques sont des zones d'eau froide dans les rivières ou lacs où les poissons peuvent se réfugier lorsque la température de l'eau augmente (Dugdale, 2014), ce qui est particulièrement important pour le saumon atlantique (*Salmo salar*) dont le comportement change dès lors que la température dépasse 20 °C (Dugdale, 2014). Avec les changements globaux, les étés tendent à devenir plus chaud ce qui nécessite de documenter la présence de refuges thermiques dans les rivières à saumon (Dugdale *et al.*, 2013) afin de mettre en place des mesures de conservation permettant d'assurer la survie du saumon atlantique.

Les inventaires de refuges thermiques sont traditionnellement réalisés par des mesures terrain de la température des tributaires des rivières. Cette méthode, bien que précise, est très couteuse en temps et ne permet pas d'identifier des refuges thermiques provenant de résurgences. Par ailleurs, la baisse récente des coûts des caméras thermiques a permis de démocratiser leur utilisation. Plusieurs méthodologies ont été développées pour tirer profit d'images thermiques afin d'identifier des zones d'eau froide en rivière et ont montré des résultats convaincants (Bergeron et Carbonneau, 2012; Dugdale, 2014; Frechette *et al.*, 2018). Généralement, les caméras thermiques sont embarquées sur des hélicoptères, ce qui permet de couvrir un grand territoire. Les caméras thermiques peuvent maintenant être embarquées sur des drones, ce qui permet une plus grande flexibilité à moindre coût dans l'acquisition des données, tout en ayant une meilleure résolution spatiale.

Ce projet visait l'accompagnement du bureau territorial de la Nation Huronne-Wendat, le Bureau du Nionwentsïo, dans l'acquisition et le traitement de données thermiques par drone dans l'objectif d'inventorier les refuges thermiques.



Objectifs du projet

L'objectif principal du projet est d'accompagner le bureau du Nionwentsïo afin de les rendre autonomes dans l'acquisition de données thermiques par drone et d'accélérer l'analyse des données récoltées. Plus spécifiquement, il s'agit de :

- Mettre en place une infrastructure d'acquisition de données thermiques par drone;
- Développer des outils pour accélérer l'identification des refuges thermiques;
- Former le personnel.

Méthodologie

La méthodologie est décrite en 4 étapes. En premier, une description des préparations effectuées et des acquisitions réalisées. En second, une description des méthodes utilisées pour prétraiter les images de drone acquises. Ensuite, une description de l'outil développé pour accélérer l'identification des refuges thermiques. Finalement, les limitations rencontrées sont discutées, ainsi que les potentiels développements futurs.

01

Acquisition de données

Le bureau environnement du Nionwentsïo s'est équipé d'un drone DJI M300 ainsi que de la caméra Zenmuse H20T, qui inclut notamment une caméra thermique (Figure 1). Avec ce matériel, la première étape a été de mettre en place de bonnes pratiques d'acquisition permettant d'obtenir des données de qualité. Ce développement de compétence a été effectué par des formations théoriques sur l'acquisition de données thermiques par drone, ainsi que des tests de caméra sur le terrain. Ces tests ont permis d'identifier les paramètres optimaux pour un compromis entre rapidité d'acquisition et qualité de données.

Deux rivières à saumon ont été ciblées dans la région de Charlevoix par le bureau du Nionwentsïo, soit les rivières du Gouffre et Malbaie, totalisant près de 140 km de tronçons de rivières (Figure 2). Les acquisitions de données ont été réalisées pendant le mois d'août 2022 par l'équipe terrain, accompagnée par le CERFO afin de leur offrir une assistance technique en conditions réelles.



FIGURE 1 Utilisation du drone DJI M300 muni de la caméra H20T lors des acquisitions sur la rivière du Gouffre.

02

Prétraitements des images thermiques

Conversion des données thermiques :

Les données thermiques brutes acquises avec la caméra H20T sont cryptées (les valeurs des pixels ne sont pas en degrés Celsius). Des outils sont proposés par DJI pour visualiser ces images en degrés Celsius, mais n'offrent pas la possibilité de convertir les données pour faire un mosaïquage des images individuelles. Pour pallier cette lacune, un script *Python* a été développé pour extraire les métadonnées cachées des images thermiques, dont l'humidité relative et l'émissivité, et appliquer les équations nécessaires à la récupération d'une donnée en degrés Celsius. L'outil développé minimise les manipulations nécessaires par l'utilisateur.

Mosaïquage :

Les images acquises avec la caméra H20T, comme toutes caméras, présentent des distorsions liées à la géométrie de la lentille (p. ex., les éléments dans les coins de l'image apparaissent comme étant de profil). Afin de corriger ces distorsions et assembler les images, la création d'orthomosaïques a été nécessaire, ce qui permet d'obtenir une image globale par vol (Figure 3). Plusieurs logiciels permettent de réaliser cette tâche, dont pix4D et Correlator3D, mais une solution libre existe à présent : *Open Drone Map* (ODM). Plusieurs tests ont été effectués afin d'identifier les paramètres optimaux d'assemblage. Le personnel du bureau du Nionwentsiö a été formé à l'utilisation d'ODM, en répondant spécifiquement aux besoins d'assemblage de leurs données thermiques. Avec ces compétences acquises, l'assemblage de chaque vol a pu être réalisé. Bien qu'une orthomosaïque globale de la rivière aurait pu être réalisée, une mosaïque par vol a été réalisée afin de simplifier l'assemblage d'images en évitant des superpositions trop faibles entre les vols, ou des différences d'altitude trop importantes. De plus, considérant la dérive thermique inhérente aux caméras thermiques légères (accumulation d'erreurs de mesures au cours d'un vol), il était plus fiable de créer une image globale par vol pour les analyses lors de l'étape suivante.



FIGURE 2 Tracés des rivières d'intérêt dans lesquelles les données ont été acquises

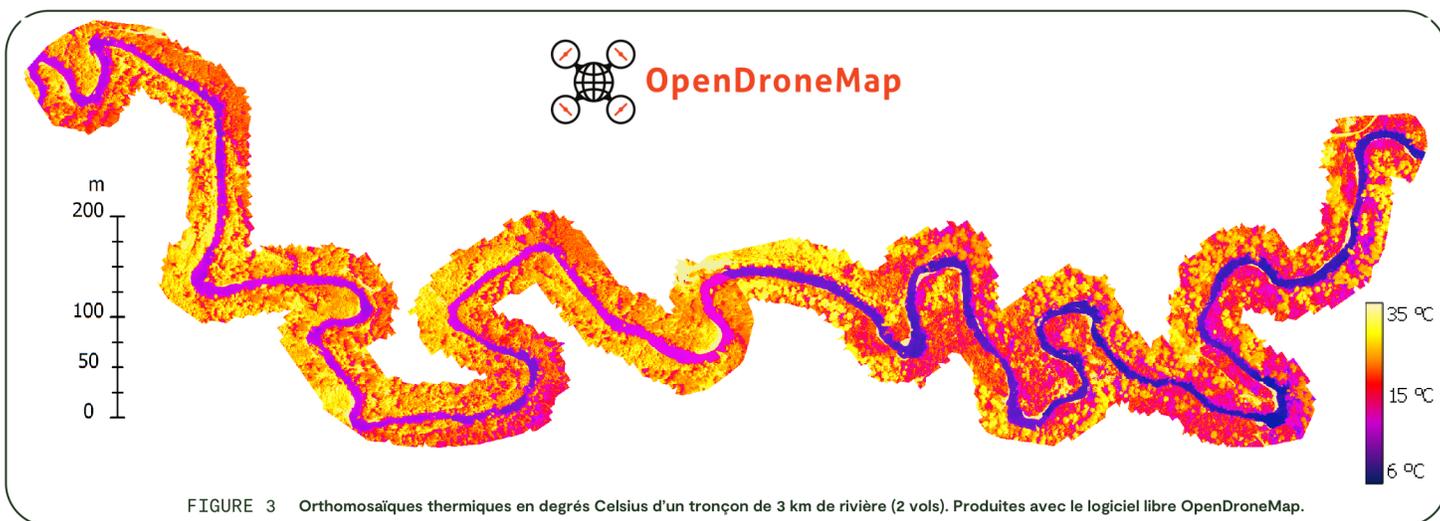


FIGURE 3 Orthomosaïques thermiques en degrés Celsius d'un tronçon de 3 km de rivière (2 vols). Produites avec le logiciel libre OpenDroneMap.

03

Détection des refuges thermiques

Par le passé, une identification manuelle des refuges thermiques était réalisée en photo-interprétant les images acquises une par une. Ce processus, bien que fiable, est très demandant en temps et devient une limitation dans le cas d'une grande acquisition de données. Une solution à cette limitation a été de développer une application *R Shiny* pour accélérer le travail de détection de refuges thermiques (Figure 4) : l'outil *RefugeFindR* (Figure 5).

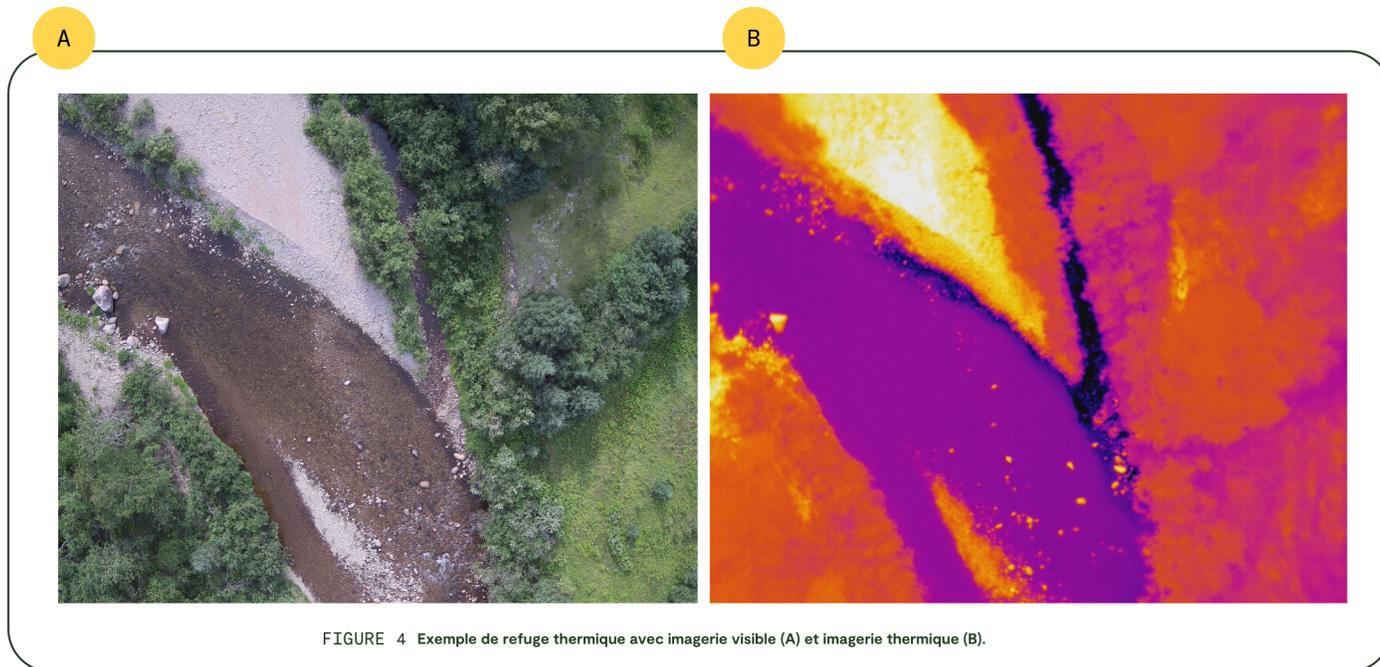


FIGURE 4 Exemple de refuge thermique avec imagerie visible (A) et imagerie thermique (B).

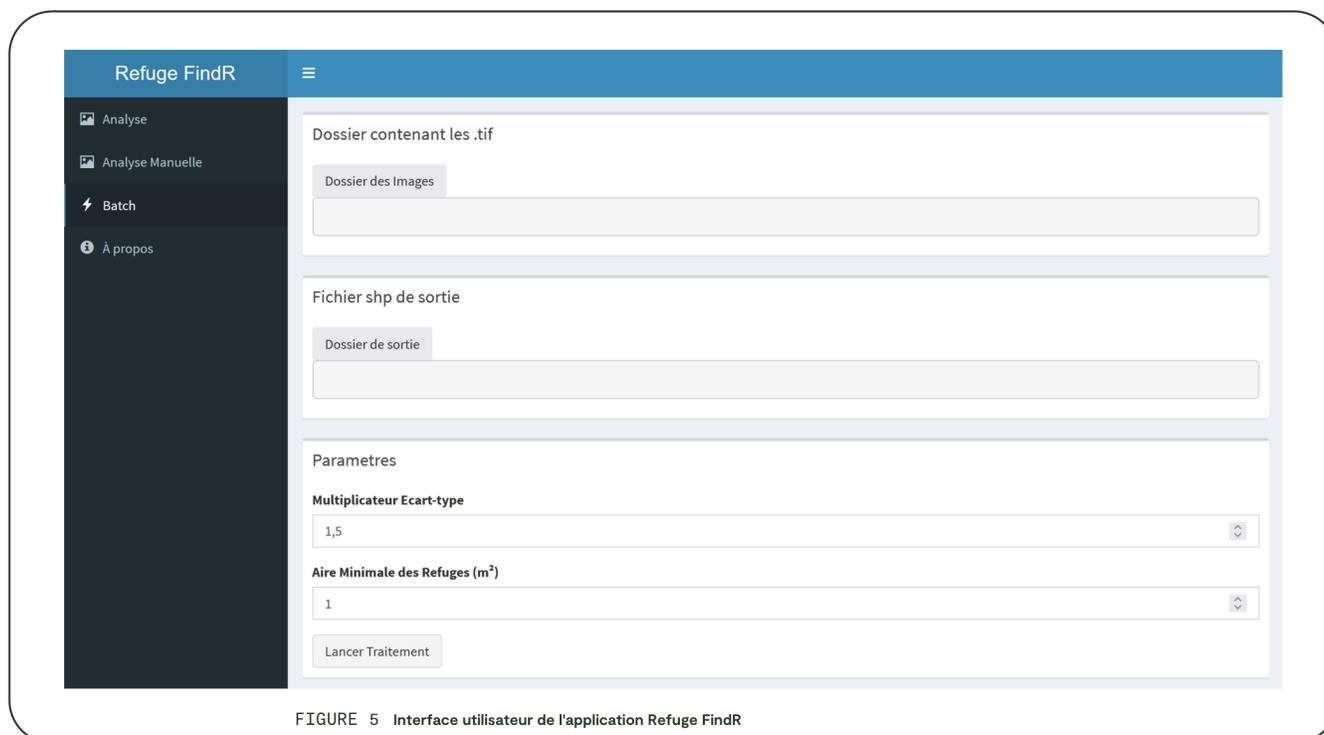
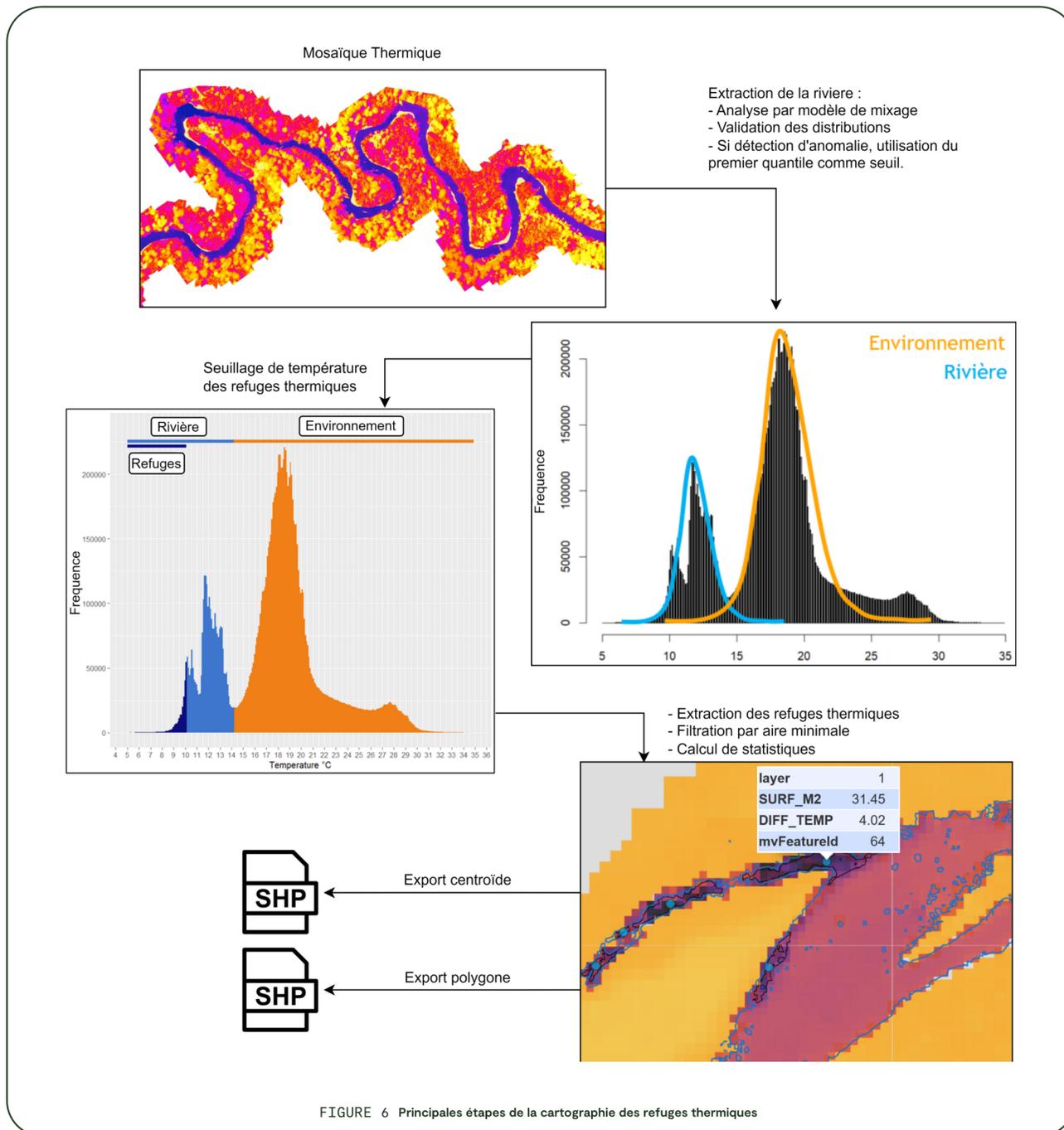


FIGURE 5 Interface utilisateur de l'application Refuge FindR

Détection des refuges thermiques :

L'approche générale de l'application vise à définir des valeurs seuils de températures entre trois classes, soit : 1) l'environnement (berges, végétation au-dessus de la rivière, etc.), 2) la rivière et 3) les refuges thermiques par image globale. La figure 6 contient les principales étapes implémentées dans *RefugeFindR*.



Trois modes d'utilisation de l'application sont utilisables soit l'**Analyse**, **Analyse Manuelle** et **Batch**.

Le premier mode d'utilisation, **Analyse**, permet de traiter une image en définissant les paramètres de sélection des refuges thermiques et la superficie minimale prise en compte.

Pour débiter, l'utilisateur doit importer une mosaïque thermique dans l'outil. Une fois l'image importée, une analyse par mixage de modèle est réalisée (Benaglia *et al.*, 2009). Cette analyse permet d'identifier deux distributions dans un histogramme. La distribution présentant la température moyenne la plus faible est conservée et considérée comme la rivière. Une validation de cette distribution est ensuite réalisée, si la moyenne de cette distribution est trop proche de la moyenne globale, le premier quantile de la distribution globale est utilisé comme valeur seuil pour extraire la rivière. Ensuite, les refuges thermiques sont identifiés par un seuil de température, les zones de la rivière en dessous de ce seuil sont considérées comme des refuges thermiques. Le seuil est calculé à partir de la température moyenne et de l'écart type de la rivière selon la formule suivante:

$$\text{Moyenne Température Rivière} + (1,5 \times \text{Écart type})$$

Le multiplicateur d'écart type est par défaut à 1,5, mais peut être ajusté par l'utilisateur pour être plus ou moins strict sur l'extraction des refuges thermiques. Lorsque les classes sont conformes, les pixels correspondant aux refuges thermiques sont transformés en polygones vectoriels, puis filtrés selon l'aire minimale définie par l'utilisateur. Pour chaque refuge thermique, des statistiques de superficie et de différence avec la température moyenne de la rivière sont calculées. Une cartographie interactive permet à l'utilisateur d'évaluer les résultats apportés par les paramètres définis, et de les ajuster au besoin. Finalement, les résultats peuvent être exportés sous la forme des polygones de refuges thermiques avec leur centroïde, contenant les statistiques.

Bien que l'outil ait été développé pour être capable de traiter une vaste diversité de mosaïques thermiques, certaines images peuvent avoir des valeurs inhabituelles provenant par exemple d'une acquisition tardive dans la saison, où la température de la rivière serait plus chaude que son environnement. Pour pallier cette limitation, le mode **Analyse Manuelle** a été implémenté pour fournir à l'utilisateur un contrôle plus précis des seuillages. Une fois la mosaïque thermique importée, l'utilisateur choisit la température maximale et minimale de la rivière, ainsi que la valeur seuil de refuge thermique. La suite des traitements est semblable au mode **Analyse**.

Le troisième mode d'utilisation, **Batch**, permet d'automatiser le traitement de plusieurs images, basé sur les paramètres similaires au mode **Analyse**. Pour chacune des images localisées dans le dossier, le seuillage automatique est appliqué et un histogramme est généré et sauvegardé par image. Finalement, les polygones des refuges sont filtrés selon l'aire minimale, puis sont sauvegardés avec leurs centroïdes.

04

Limites et recommandations

Acquisition de données :

La limitation principale dans l'acquisition de données concerne la précision de la température dans les images. Les caméras thermiques légères sont performantes pour obtenir une mesure de température relative (c.-à-d. Distinguer les zones froides des zones chaudes dans une image). Cependant, ces caméras ne sont pas refroidies et sont sujettes à une dérive thermique au cours des vols : une erreur s'accumule donc au long du vol ce qui cause, par exemple, des différences de température mesurée au début et à la fin d'un vol dans une zone de même température. Concernant les mesures de température absolue, il a été fréquent d'observer dans les données des valeurs aberrantes comme une température de rivière à 2 °C (voire négative), ou des éléments de l'environnement relevés à 80 °C.

Afin d'obtenir une donnée de température absolue plus proche de la réalité, ainsi que pour compenser l'effet de la dérive thermique lors des vols, l'utilisation à chaque vol de cibles de calibration radiométrique sur le terrain peut permettre de développer un modèle correctif, à appliquer aux images en post-traitement (Mesas-Carrascosa *et al.*, 2018). La dérive thermique peut être limitée de trois façons. Premièrement, en appliquant un revêtement réfléchissant sur la caméra, ce qui diminue son réchauffement par l'absorption de rayonnement solaire (O'Sullivan et Kurylyk, 2022). Deuxièmement, en allumant la caméra au moins 10 minutes avant le vol, ce qui permet de la préchauffer et donc diminuer sa variation de température dans le temps (Kelly *et al.*, 2019). Troisièmement, en réalisant des lignes de vol (pendant 3 à 5 minutes) avant le début de la mission d'acquisition, afin que la caméra étalonne sa sensibilité en fonction du territoire d'intérêt (Kelly *et al.*, 2019). Bien que l'application de ces recommandations augmenterait le temps nécessaire à l'acquisition des données, leur qualité augmenterait significativement.

Lors de la réalisation de la campagne d'acquisition de ce projet, les logiciels de plan de vol ne proposaient pas, en mission linéaire, la fonction de suivi de terrain qui permet au drone de s'adapter aux variations de la topographie, et ainsi fournir une résolution d'image plus homogène. Cette fonction a été ajoutée dans les récentes mises à jour fournies par DJI. Ainsi, il est recommandé de mettre à jour le matériel pour utiliser cette fonction afin d'augmenter la qualité spatiale des données acquises.



Traitement des données :

L'outil a été développé dans l'objectif d'accélérer la photo-interprétation des refuges thermiques, il était ainsi préférable de surestimer le nombre de refuges thermiques plutôt que d'en omettre. La donnée finale comprend donc un grand nombre de refuges thermiques, où parfois une source d'eau froide est identifiée par plusieurs polygones. Des développements supplémentaires pourraient être réalisés pour automatiser le regroupement de refuges thermiques, en se basant sur le contexte les entourant.

Le mode **Batch** pourrait bénéficier d'étapes de validation automatique supplémentaires pour identifier les images potentiellement problématiques. Une liste d'images pourrait ainsi être créée pour que l'utilisateur utilise l'**Analyse Manuelle** afin d'affiner les seuillages. Par ailleurs, une analyse de voisinage permettrait de retirer les pixels classés comme environnement, qui sont entourés de la classe rivière ou refuge.

Finalement, bien que la détection de refuges thermiques avec l'outil RefugeFindR soit performante, l'identification du type de refuge thermique (affluent, résurgence, ombrage...) n'a pas encore été développée. L'utilisation d'un classificateur par intelligence artificielle (apprentissage automatique ou apprentissage profond) pourrait permettre d'obtenir cette information

Références

Benaglia, T., Chauveau, D., Hunter, D. R. et Young, D. (2009) mixtools : An R Package for Analyzing Finite Mixture Models. *Journal of Statistical Software*, vol. 32, n° 6.

Bergeron, N. et Carbonneau, P. E. (2012) Geosalar: Innovative Remote Sensing Methods for Spatially Continuous Mapping of Fluvial Habitat at Riverscape Scale. In P. E. Carbonneau et H. Piégay (dir.), *Fluvial Remote Sensing for Science and Management* (1re éd., p. 193-213). Wiley.

Dugdale, S. J. (2014) Analyse de la variabilité spatio-temporelle des refuges thermiques à l'échelle du paysage lotique : Importance pour les populations de saumon atlantique (*Salmo salar*) (Thèse de doctorat). Thèse de doctorat, Institut National de la Recherche Scientifique, Québec, 260 p.

Dugdale, S. J., Bergeron, N. E. et St-Hilaire, A. (2013) Temporal variability of thermal refuges and water temperature patterns in an Atlantic salmon river. *Remote Sensing of Environment*, vol. 136, p. 358-373.

Frechette, D. M., Dugdale, S. J., Dodson, J. J. et Bergeron, N. E. (2018) Understanding summertime thermal refuge use by adult Atlantic salmon using remote sensing, river temperature monitoring, and acoustic telemetry. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 75, n°11, p. 1999-2010.

Kelly, J., Kijun, N., Olsson, P.-O., Mihai, L., Liljeblad, B., Weslien, P., Klemedtsson, L. et Eklundh, L. (2019) Challenges and Best Practices for Deriving Temperature Data from an Uncalibrated UAV Thermal Infrared Camera. *Remote Sensing*, vol. 11, n°5, p. 567.

Mesas-Carrascosa, F.-J., Pérez-Porras, F., Meroño de Larriva, J., Mena Frau, C., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P. et García-Ferrer, A. (2018) Drift Correction of Lightweight Microbolometer Thermal Sensors On-Board Unmanned Aerial Vehicles. *Remote Sensing*, vol. 10, n°4, p. 615.

O'Sullivan, A. M. et Kurylyk, B. L. (2022) Limiting External Absorptivity of UAV-Based Uncooled Thermal Infrared Sensors Increases Water Temperature Measurement Accuracy. *Remote Sensing*, vol. 14, n°24, p. 6356.

cerfo

FORMATION
ACCOMPAGNEMENT
RECHERCHE
EN FORESTERIE

Tél. : (418) 659-4225
Courriel : info@cerfo.qc.ca

Communiquez avec notre équipe :

Batistin Bour, M. Sc.
Xavier Gallagher-Duval, B. Sc.,
Jean Marchal, Ph. D.,
Marc-Antoine Genest, M. Sc.
Mathieu Varin, M. Sc.

