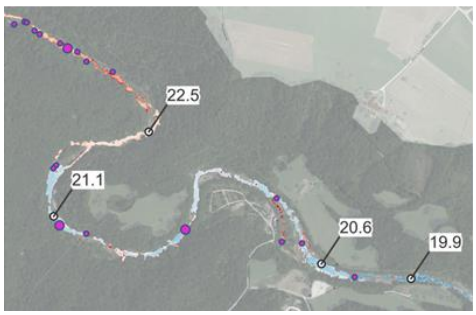
www.scimabio-interface.fr
5B, rue des Quatre Vents
74200 Thonon-les-Bains
Tel : +33 663 71 34 93

Le rôle de la trame turquoise dans la sauvegarde et la restauration des refuges thermiques pour les salmonidés
Programme conjoint sur le Guiers et le Chéran

AAP Eau & Biodiversité AERMC 2020









Novembre 2024

Crédits Photos page de garde : ULM en vol : S. Blanchon – Jura ULM© et images thermiques SCIMABIO Interface*©.*

Citation : Caudron A. & Marteau B., 2024.Le rôle de la trame turquoise dans la sauvegarde et la restauration des refuges thermiques pour les salmonidés – programme conjoint sur le Guiers et le Chéran. *Rapport final AAP Eau et Biodiversité AERMC 2020.* 176p.

TABLE DES MATIERES

1. Contexte général de l'étude 4
2. Méthodologie 5
2.1 Description de la méthode d'acquisition par IRT-a 5
2.2 Description des campagnes d'acquisition 5
2.3 Conditions climatique et hydrologique 7
2.3.1 Sur le Guiers 7
2.3.2 sur le Chéran 9
2.4 Notion de refuges thermiques et de refuges climatiques 10
3. Résultats sur le Guiers 14
3.1 Diversité thermique de la rivière en période estivale 15
3.2 Profil longitudinal de température 15
3.3 Détection des anomalies thermiques chaudes 17
3.3.1 Caractéristiques et distribution sur le linéaire 17
3.3.2 Cartographies thermiques détaillées 21
3.4 Détection des poches froides 33
3.4.1 Caractéristique et distribution sur le linéaire 33
3.4.2 Les principaux refroidissements 36
3.4.3 Cartographies thermiques détaillées 39
3.5 Variations spatio-temporelles des habitats thermiques vis à vis des salmonidés 45
3.6 Refuges thermiques et refuges climatiques potentiels pour les salmonidés 50
4. Adaptation du Guiers aux changements climatiques : recommandations et propositions d'action 65
5. Résultats sur le Chéran 104
5.1 Diversité thermique de la rivière en période estivale 105
5.2 Profil longitudinal de température 105
5.3 Détection des anomalies thermiques chaudes 107
5.3.1 Caractéristiques et distribution sur le linéaire 107
5.3.2 Cartographies thermiques détaillées 111
5.4 Détection des poches froides 117
5.4.1 Caractéristique et distribution sur le linéaire 117
5.4.2 Les principaux refroidissements 120
5.4.3 Cartographies thermiques détaillées 123
5.5 Variations spatio-temporelles des habitats thermiques vis à vis des salmonidés 134
5.6 Refuges thermiques et refuges climatiques potentiels pour les salmonidés 140
6. Adaptation du Chéran aux Changements climatiques : recommandations et propositions d'action 155
7. Références bibliographiques 176

1. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

Les bassins versants du Chéran et du Guiers, montrent beaucoup de similarités tant du point de vue de leur fonctionnement écologique que de leur contexte socio-économique. Les deux rivières sont issues de deux massifs karstiques préalpins appartenant au même domaine bioclimatique. Elles présentent toutes les deux un fonctionnement hydrodynamique karstique et alluvial. Elles ont également subi un historique d'aménagement, centré soit sur les extractions de matériaux alluvionnaires pour le Chéran, soit sur les aménagements industriels et de sécurisation pour le Guiers.

Elles connaissent aujourd'hui des pressions liées à une urbanisation croissante des bassins versants entrainant des risques de prélèvements d'eau et de pollutions domestiques accrus.

A ces pressions, viennent s'ajouter les changements climatiques qui impactent de manière de plus en plus visible la biodiversité liée aux cours d'eau. Dans ce contexte, il est apparu nécessaire d'identifier les facteurs de résilience des milieux naturels dans des situations passagères de stress occasionnées par des épisodes caniculaires de plus en plus fréquents et longs.

Le projet présenté a été retenue dans le cadre de l'appel à projets Eau & Biodiversité 2020 de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse. Il est porté par un collectif d'acteurs de l'eau du territoire recouvrant les deux rivières concernées :

- Pour le Chéran : le PNR du massif des Bauges, le SMIAC, les AAPPMA du Haut-Chéran et de l'Albanais ;
- Pour le Guiers : le PNR de Chartreuse, le SIAGA, l'association Réciprocité Guiers (regroupant les 7 AAPPMA du bassin).

Ce travail visait d'une part à inventorier et qualifier les refuges thermiques sur les deux bassins versants et d'autre part à produire sur chacun d'entre eux des propositions d'actions opérationnels visant à :

- Introduire la question de la préservation des refuges thermiques dans les choix d'aménagement du territoire ;
- Motiver et prioriser des programmes de restauration des continuités écologiques des cours d'eau en améliorant la possibilité d'accès aux refuges thermiques ;
- Restaurer ou créer des refuges thermiques afin d'assurer la pérennité des populations animales (piscicoles mais aussi amphibiennes, invertébrées…) lorsqu'ils sont déficitaires sur certains tronçons de cours d'eau.

Ce travail a produit plusieurs livrables :

- Une note technique de synthèse faisant le bilan des suivis thermiques dits « classiques », c'est-à-dire réalisés à l'aide de thermographes, sur la base des données existantes et disponibles sur chacun des réseaux hydrographiques ;
- Une cartographie de la température de l'eau par télédétection infra-rouge aéroporté, qui est à la base des connaissances fournies dans le présent rapport ;
- Une proposition de divers programmes d'actions ambitieux destinés à atténuer les effets à venir du changement climatique ;
- Un guide technique et méthodologique sur l'utilisation de la technologie IRT-a pour caractériser les conditions thermiques vis-à-vis des salmonidés.

2. METHODOLOGIE

2.1 DESCRIPTION DE LA METHODE D'ACQUISITION PAR IRT-A

La cartographie thermique des rivières par télédétection aéroportée repose sur l'utilisation de capteurs dits « infrarouges thermiques » capables de mesurer les radiations émises dans le spectre de longueur d'ondes 7,5-14 µm. Ce spectre représente le rayonnement émis par tout objet dont la température est supérieure à 0°K (Vollmer and Möllmann, 2018). En utilisant certaines lois de physique thermodynamique, la quantité de rayonnement reçue par les micro-capteurs de la caméra thermique peut être convertie en des valeurs de température « radiante », c'est-à-dire émise par l'objet étudié. En installant la caméra thermique sur un hélicoptère ou un ULM, il est alors possible d'imager le linéaire du cours d'eau en rafale (une image toutes les 1 à 2 s), puis de « mosaïquer » ces images pour obtenir une carte des températures de surface de la rivière.

Les propriétés physiques de l'eau, ainsi que les propriétés de la masse d'air qui sépare l'objet d'étude (la rivière) du capteur, peuvent générer des écarts entre la température radiante imagée et la température réelle de la masse d'eau. Afin de valider et/ou corriger d'éventuels écarts, une série de thermographes est installée en rivière le temps du vol afin de comparer la température radiante à des mesures de température réelle. Ces sondes sont attachées à des bouées, afin de mesurer la température à la surface, et amarrées au fond de l'eau pour éviter leur dérive. La relation entre ces deux mesures permet alors (1) d'évaluer la fiabilité des cartes de température, et (2) de corriger, le cas échéant, la mosaïque thermique.

En plus d'une caméra thermique, un appareil photo « classique », c'est-à-dire photographiant dans le domaine du visible, est également embarqué afin de réaliser une orthophoto haute-résolution de la zone d'étude. L'orthophoto permet de valider les observations faites sur la mosaïque thermique, évitant ainsi les mauvaises interprétations de zones froides ou chaudes pouvant s'apparenter à des structures alluviales particulières, mais qui peuvent s'avérer être des artefacts ponctuels (ex. banc de galet à l'ombre, kayaks, embâcles).

L'orthophoto ainsi réalisée permet également de définir le chenal en eau de la rivière afin d'en extraire uniquement les pixels « en eau » de la mosaïque thermique correspondante. L'orthophoto a également servi à définir une « ligne centrale » le long de laquelle l'ensemble des observations ont été projetées, afin d'utiliser un seul et unique référentiel linéaire commun à toutes les analyses.

La température médiane, extraite tous les 100 m au sein d'une zone tampon de 2,4 m autour de cette ligne centrale, a été utilisée pour construire le profil longitudinal de température. A partir de ce profil, une carte de température médiane locale a été générée par interpolation spatiale (outil d'interpolation *B-spline*). La comparaison de la mosaïque thermique avec cette carte nouvellement établie de la température médiane locale permet de faire ressortir des poches d'eau plus froide que la masse d'eau générale. Le seuil de température en-deçà duquel une poche d'eau est considérée comme significativement plus froide que l'eau de la rivière a été calculé à 0,50°C. Ce seuil est construit sur une approche de seuil de détection limite qui intègre l'ensemble des incertitudes liées à la méthode (erreurs intrinsèques de la caméra, calibration empirique, variabilité spatiale, etc., Marteau et al., 2022). Enfin, un seuil de taille a été choisi pour éliminer les structures pouvant être générées lors de la création de la mosaïque thermique : pour être comptabilisée, une tache froide doit donc être constituée d'au moins 4 pixels adjacents.

2.2 DESCRIPTION DES CAMPAGNES D'ACQUISITION

Les campagnes d'acquisition IRT-a sur le Guiers et le Chéran ont été réalisées en ULM pendulaire (figure 1) le 19 juillet 2022, entre 17h05 et 17h55 pour le Chéran et le 20 juillet 2022 entre 17h32 et 18h37 pour le Guiers. Les images thermiques ont été acquises à l'aide d'une caméra

VarioCAM HR Research 600 (résolution 480 x 640 pix, focale = 30 mm), et les photographies ont été prises à l'aide d'un Nikon D7000(résolution 4928 x 3264 pix, objectif = 35 mm). Les vols ont été réalisés à une altitude de 550 m et à une vitesse moyenne de 25 $m \cdot s^{-1}$.



Figure 1 : Stabilisateur embarquant les capteurs optique et thermique installés sur le côté de l'ULM. (Crédit : S. Blanchon – Jura ULM©).

Le matin du vol, plusieurs thermographes (HOBO® Water Temp Pro v2, précision de ±0,21°C, résolution de 0,02°C) ont été déployés le long du linéaire d'étude sur les deux cours d'eau, avant d'être récupérés une fois le vol terminé. Leur positionnement a été choisi afin de maximiser la diversité des conditions de température observées. En effet, plus la gamme de température utilisée pour la validation/calibration est grande, plus la certitude de la mesure augmente. Ainsi, les droites de régression obtenues sur le Guiers et le Chéran représentant la relation entre température « radiante » et la température réelle montrent une représentation satisfaisante ($R^2 = 0.95$) sur une gamme de température d'environ 18 à 27°C pour le Guiers et 11 à 26°C pour le Chéran (Figure 2).

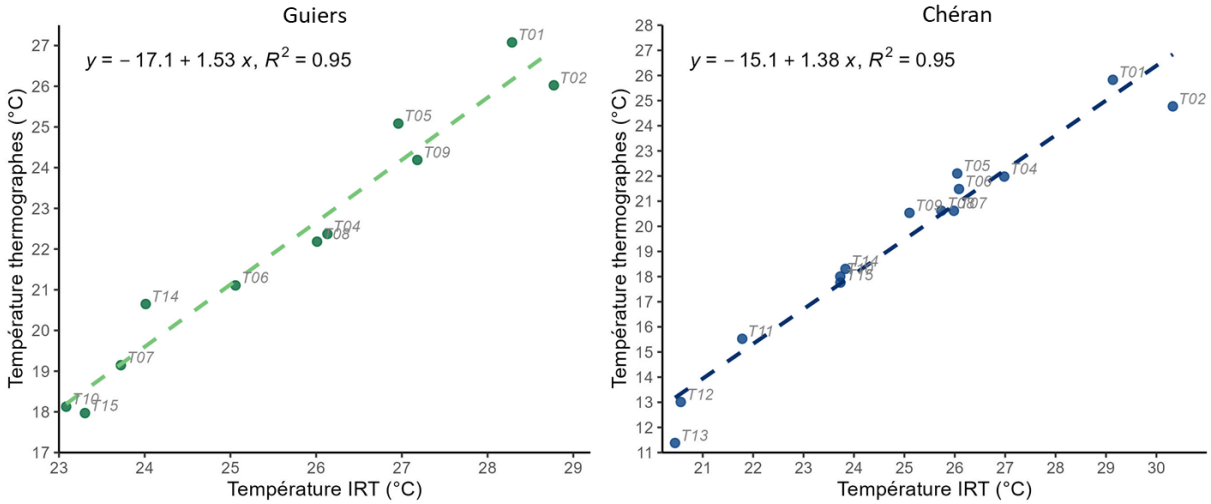


Figure 21 : Relations entre la température radiante (issue des images thermiques) et la température réelle de la rivière (issue des thermographes), enregistrées pendant le survol.

2.3 CONDITIONS CLIMATIQUE ET HYDROLOGIQUE

Afin de caractériser les conditions climatique et hydrologique sur le Guiers et le Chéran au cours de l'été 2022 et le jour du survol, les températures de l'air et les débits ont été étudiés entre le 15 juin et le 31 août 2022. Pour les données de températures d'air, la station météorologique des Echelles a été utilisée pour le Guiers et celle d'Aillon le Vieux pour le Chéran (source www.infoclimat.fr). Pour les débits, les données hydrométriques des stations de La Charniaz sur le Chéran, de St-Laurent du Pont sur le Guiers Mort et de St Christophe pour le Guiers Vif ont été exploitées (source HydroPortail : www.hydro.eaufrance.fr/).

2.3.1 SUR LE GUIERS

Le jour du survol, soit le 20 juillet 2022, le débit du Guiers Mort était de 0,32 m^3/s à St-Laurent et celui du Guiers Vif était de 0,04m^3/s à St-Christophe. Les températures de l'air minimale et maximale observées ce jour-là sous abri Aux Echelles ont été respectivement de 22°C et 35 C (figure 3).

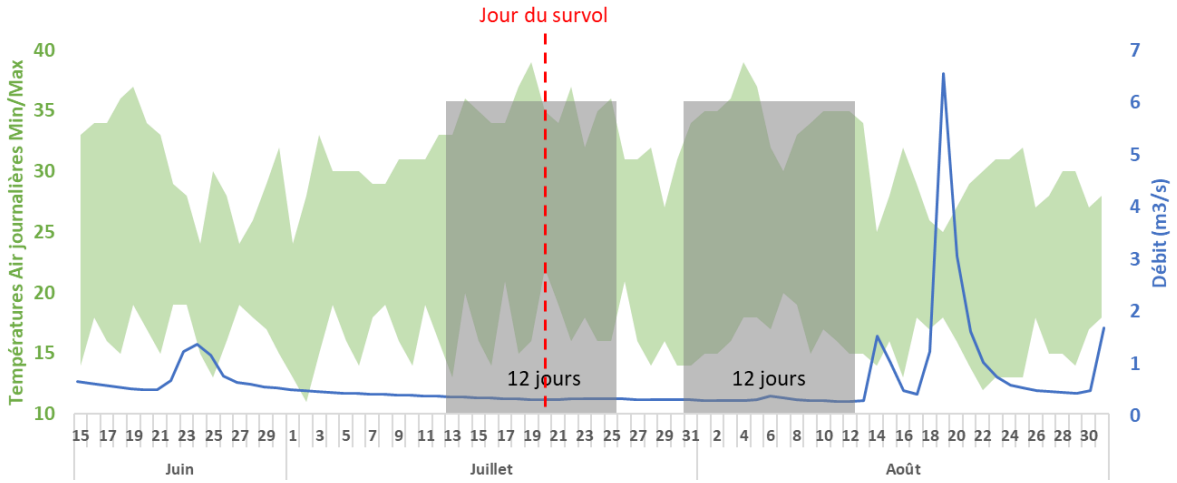


Figure 3 : Evolution des amplitudes des températures journalières de l'air Aux Echelles et des débits du Guiers Mort à St Laurent du Pont du 15 juin au 31 août 2022 (source météo France et HydroPortail). Les zones grisées représentent les périodes similaires aux conditions hydro-météorologiques observées le jour du vol.

L'évolution des conditions de températures de l'air et de débit du Guiers au cours de l'été 2022 est présentée sur la figure 3. Des conditions climatique et hydrologique similaires à celles du jour du survol ont été observées sur un total de 24 jours entre le 15 juin et le 31 août 2022 soit environ 31% du temps (Figure 3).

Les températures moyennes journalières de l'eau observées le jours du survol sont comprises parmi les valeurs les plus élevées observées au cours de l'été 2022. Les températures d'eau ont été légèrement plus élevées au cours des 4 jours suivant le survol. La localisation des stations de suivi thermique long terme est présentée sur la figure 5.

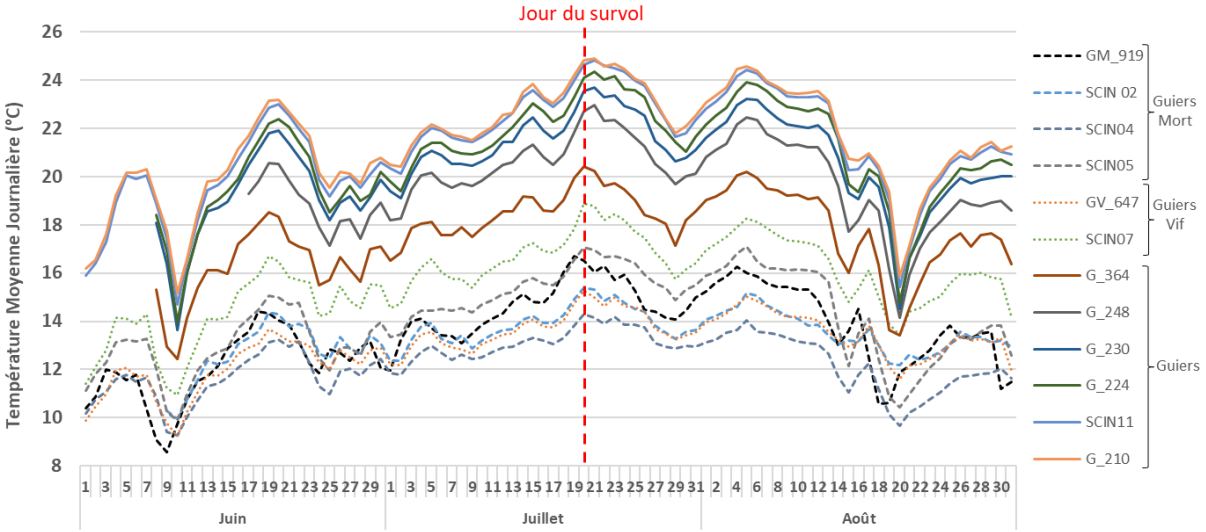


Figure 4 : Températures moyennes journalières du 1 juin au 30 septembre 2022 pour les 14 stations suivies sur le Guiers (source FDPPMA 38, SIAGA, SCIMABIO).

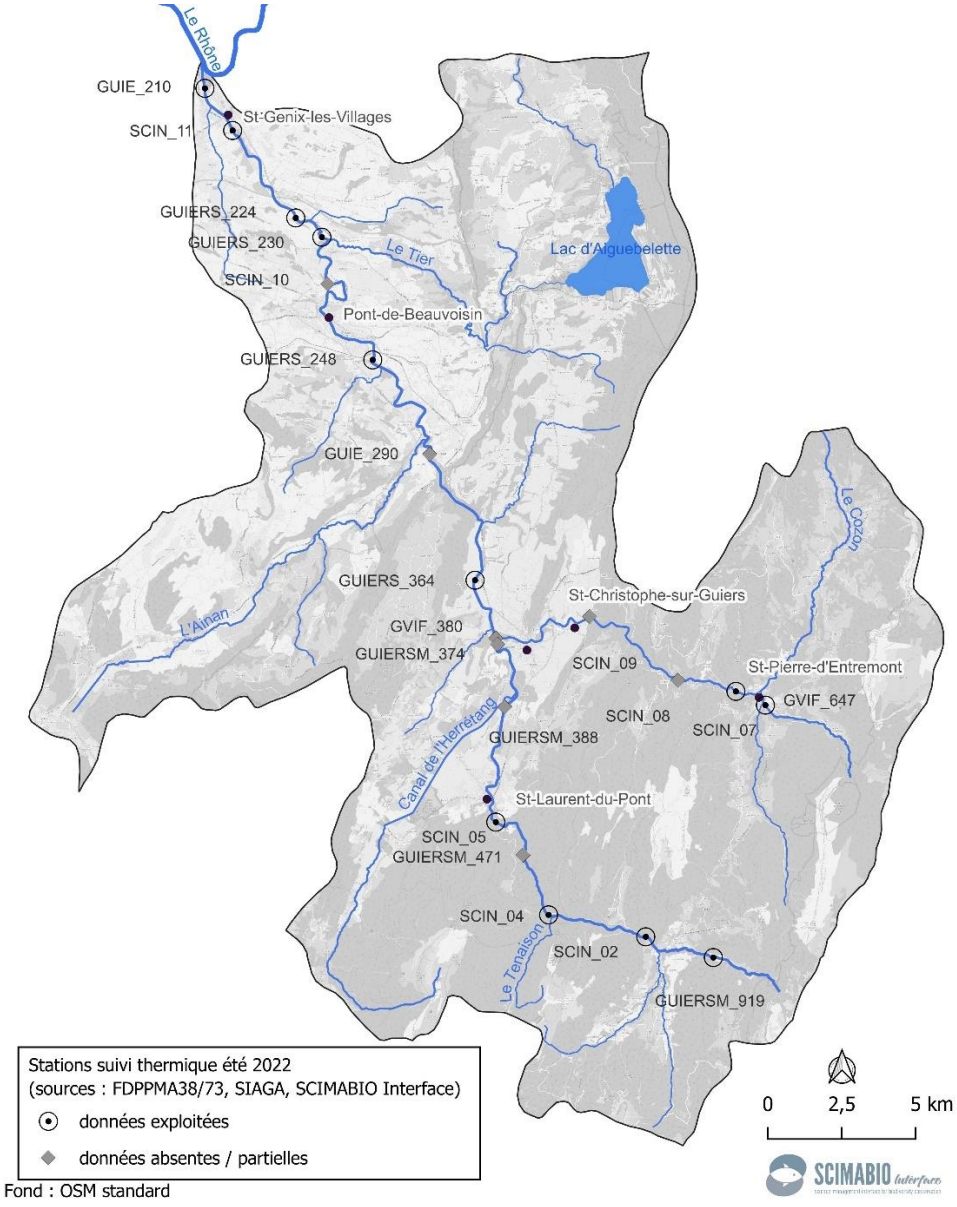


Figure 5 : Localisation des 12 stations de suivi thermique disponibles en été 2022 sur le Guiers.

2.3.2 SUR LE CHÉRAN

Le jour du survol, soit le 19 juillet 2022, le débit était de 0,6 m^3/s à La Charniaz. Les températures de l'air minimale et maximale observées ce jour-là à Aillon le Vieux ont été respectivement de 16,6°C et 32,9 C (figure 6).

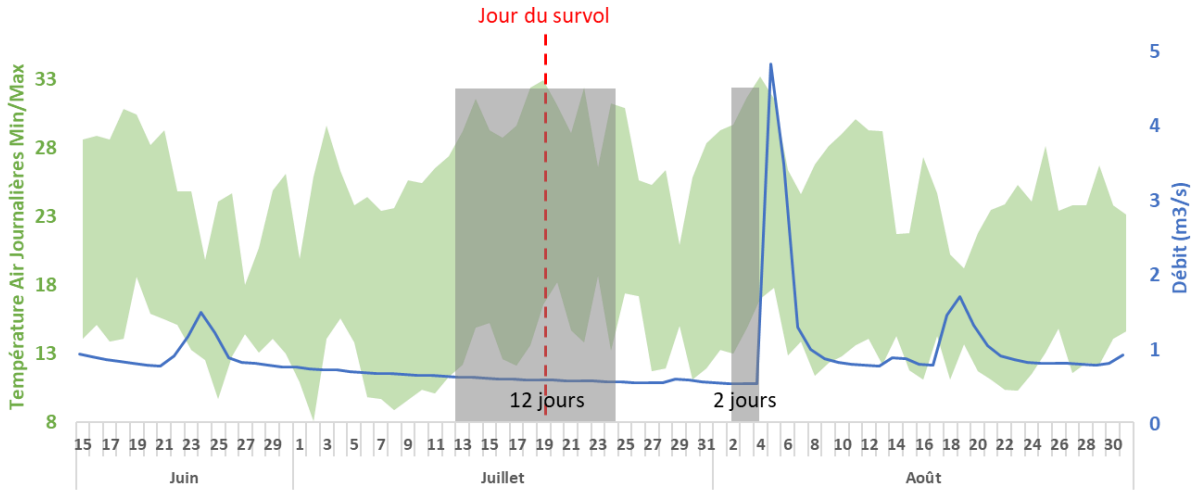


Figure 6 : Evolution des amplitudes des températures journalières de l'air à Aillon le Vieux et des débits du Chéran à la Charniaz du 15 juin au 31 août 2022 (source météo France et HydroPortail). Les zones grisées représentent les périodes similaires aux conditions hydro-météorologiques observées le jour du vol.

L'évolution des conditions de températures de l'air et de débit du Guiers au cours de l'été 2022 est présentée sur la figure 6. Des conditions climatique et hydrologique similaires à celles du jour du survol ont été observées sur un total de 14 jours entre le 15 juin et le 31 août 2022 soit environ 18% du temps (figure 6).

Les températures moyennes journalières de l'eau observées le jours du survol sont comprises parmi les valeurs les plus élevées observées au cours de l'été 2022. Les températures d'eau ont encore été plus élevées au cours des 5 jours suivant le survol (Figure 7). Globalement les températures de l'eau sont comparables à celles observées le jour du survol entre le 15 et le 27 juillet ainsi que le 6 août (figure 7). La localisation des stations de suivi thermique est présentée sur la figure 8.

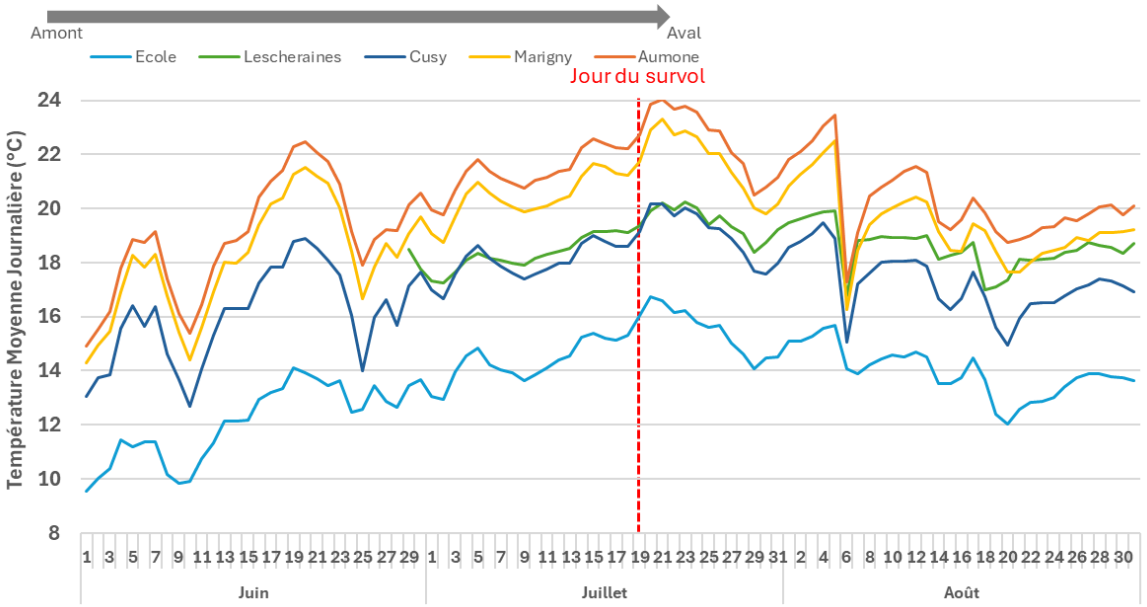


Figure 7 : Températures moyennes journalières du 1 juin au 31 août 2022 pour les 4 stations disponibles sur le Chéran (source FDPPMA 74 et SMIAC).

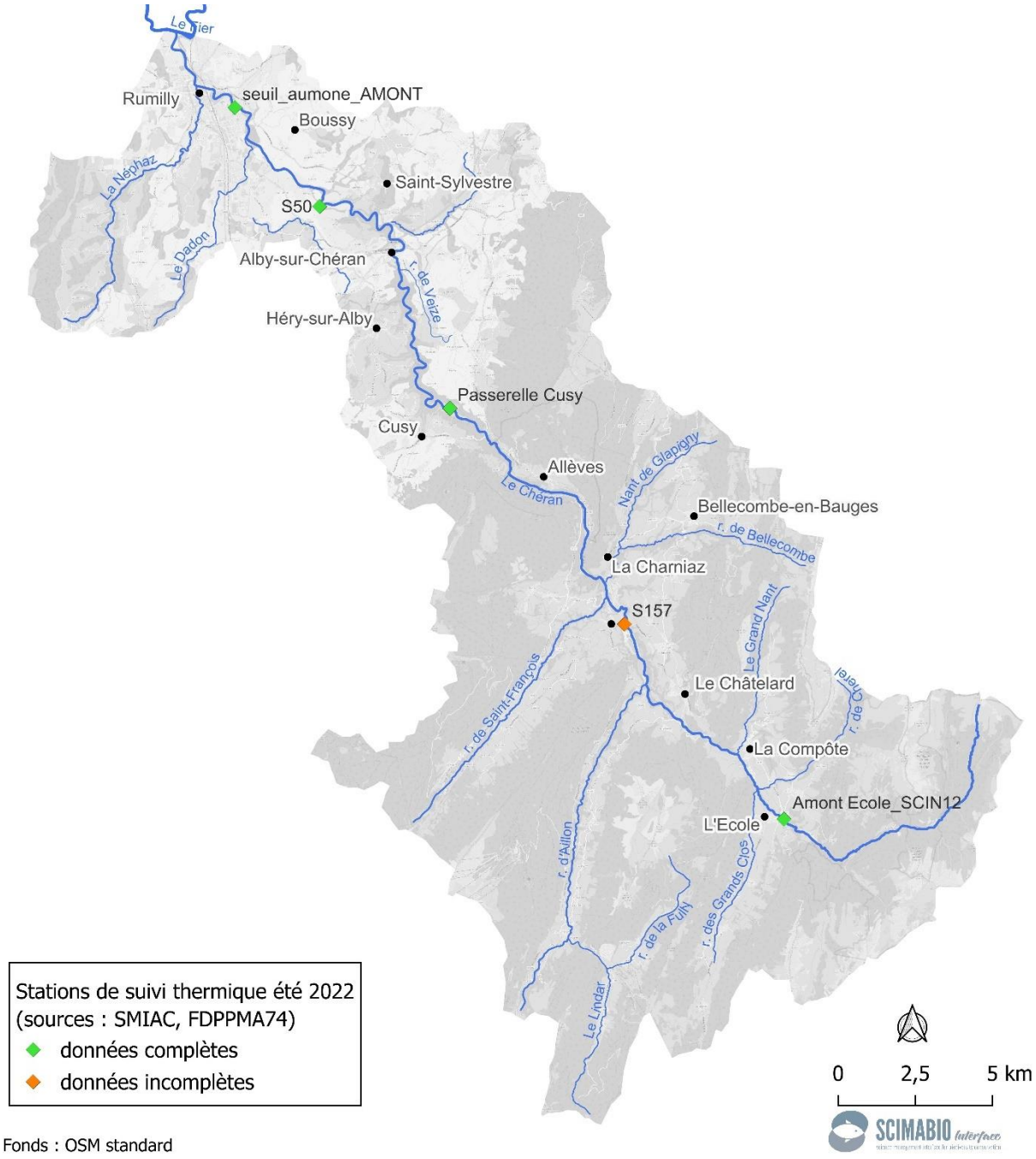


Figure 8 : Localisation des 5 stations de suivi thermique disponibles en été 2022 sur le Chéran.

2.4 NOTION DE REFUGES THERMIQUES ET DE REFUGES CLIMATIQUES

Un refuge thermique constitue une zone où un nombre limité d'individus peut se concentrer pour échapper ponctuellement au stress physiologique provoqué par une élévation de température. Il intervient donc pour une utilisation à court terme et à une échelle spatiale limitée (Sullivan et al. 2021).

Un refuge climatique est considéré comme une zone où une population va être capable de se maintenir pendant une période durant laquelle les conditions de vie ne sont plus favorables ailleurs. Il intervient sur une échelle de temps de plusieurs générations et nécessite de disposer de l'ensemble des habitats nécessaires au maintien de populations entières (Isaak et Young, 2023). Ainsi pour les salmonidés, les refuges climatiques peuvent être définis comme des linéaires de rivière qui seront moins impactés par les élévations de température liées au changement climatique et qui permettront à des populations de truites et/ou d'ombres de se maintenir sur le long terme.

Toutes les poches d'eau froide recensées par IRT-a ne peuvent être considérées comme des refuges thermiques pour les espèces de poissons thermosensibles comme les salmonidés. En effet, pour être qualifié de refuge thermique, une poche froide nécessite de pouvoir exercer une fonction biologique de refuge pour les espèces considérées. Par exemple, certaines exfiltrations de banc présentent une hauteur d'eau trop faible pour être accueillantes (figure 9). Également, plusieurs poches froides consécutives peuvent ne créer qu'une seule zone de refuge thermique. Enfin, la notion de refuge s'entend lorsque la température ambiante d'un tronçon de vie dépasse les exigences de l'espèce considérée à telle point qu'elle oblige les individus à rechercher des zones moins chaudes pour s'y réfugier sur une durée limitée.

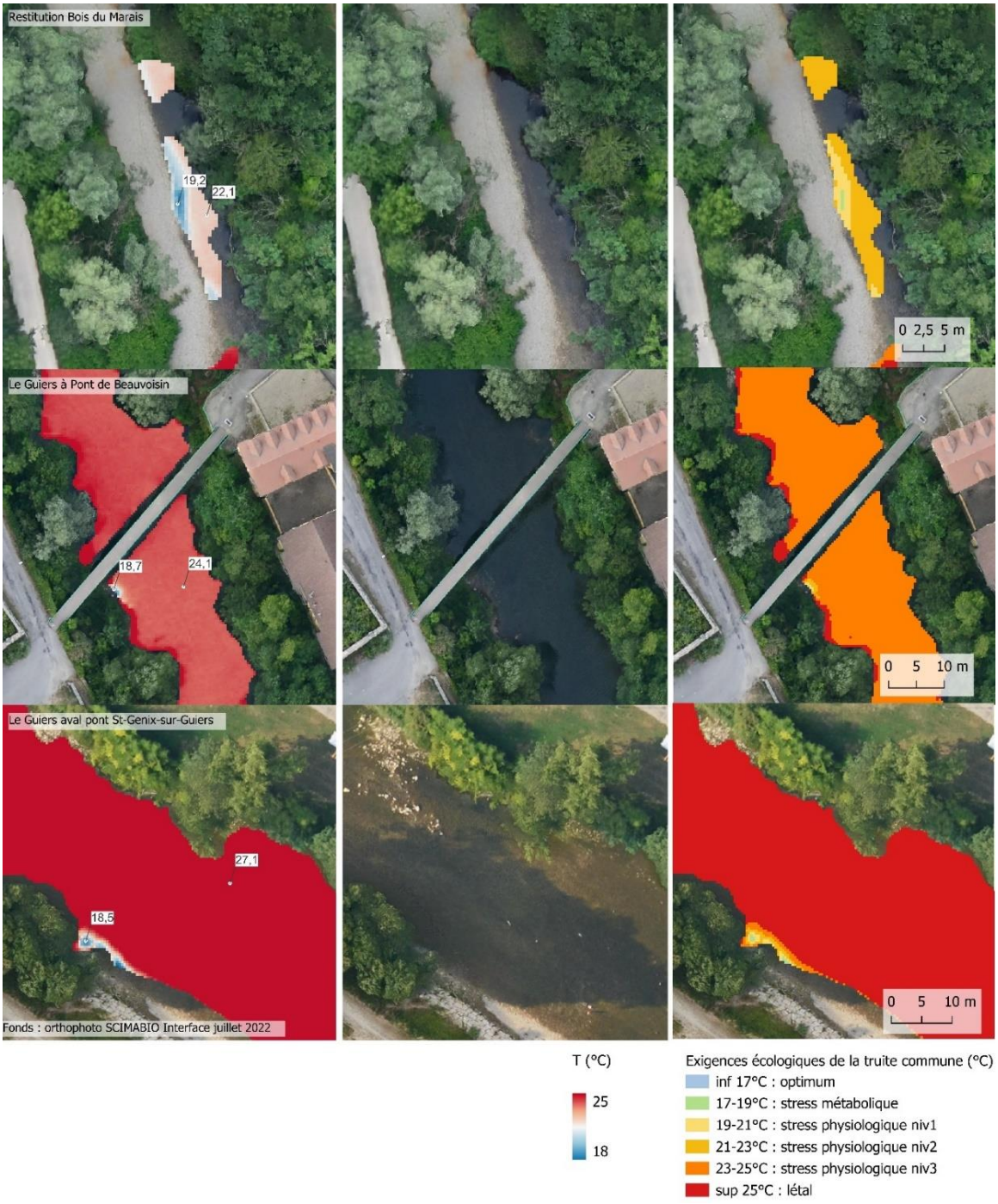


Figure 9 : Exemples de poches froides qui ne sont pas considérées comme des refuges thermiques potentiels en raison de leur faible qualité d'habitat (faciès-surface). A gauche : mosaïque thermique identifiant la poche froide. A droite : mosaïque thermique par rapport aux exigences de la truite montrant un potentiel intérêt écologique. Au centre : orthophoto montrant la faible qualité d'habitat pour les poissons.

Dans notre cas, les refuges thermiques pour les salmonidés peuvent donc être définis comme des **zones accessibles et suffisamment accueillantes** (hauteur d'eau, surface) qui présentent **des températures moins élevées que celle de la rivière** dans lesquelles les individus peuvent se réfugier et trouver des conditions thermiques plus favorables afin de réduire leur niveau de stress physiologique.

Ces zones refuges peuvent présenter soit un différentiel de température important avec la rivière dans le cas de résurgences d'eau souterraine (figure 10), soit juste quelques degrés de moins que la température ambiante de la rivière dans une gamme suffisante pour réduire le niveau de stress des individus pendant quelques temps (figure 11).

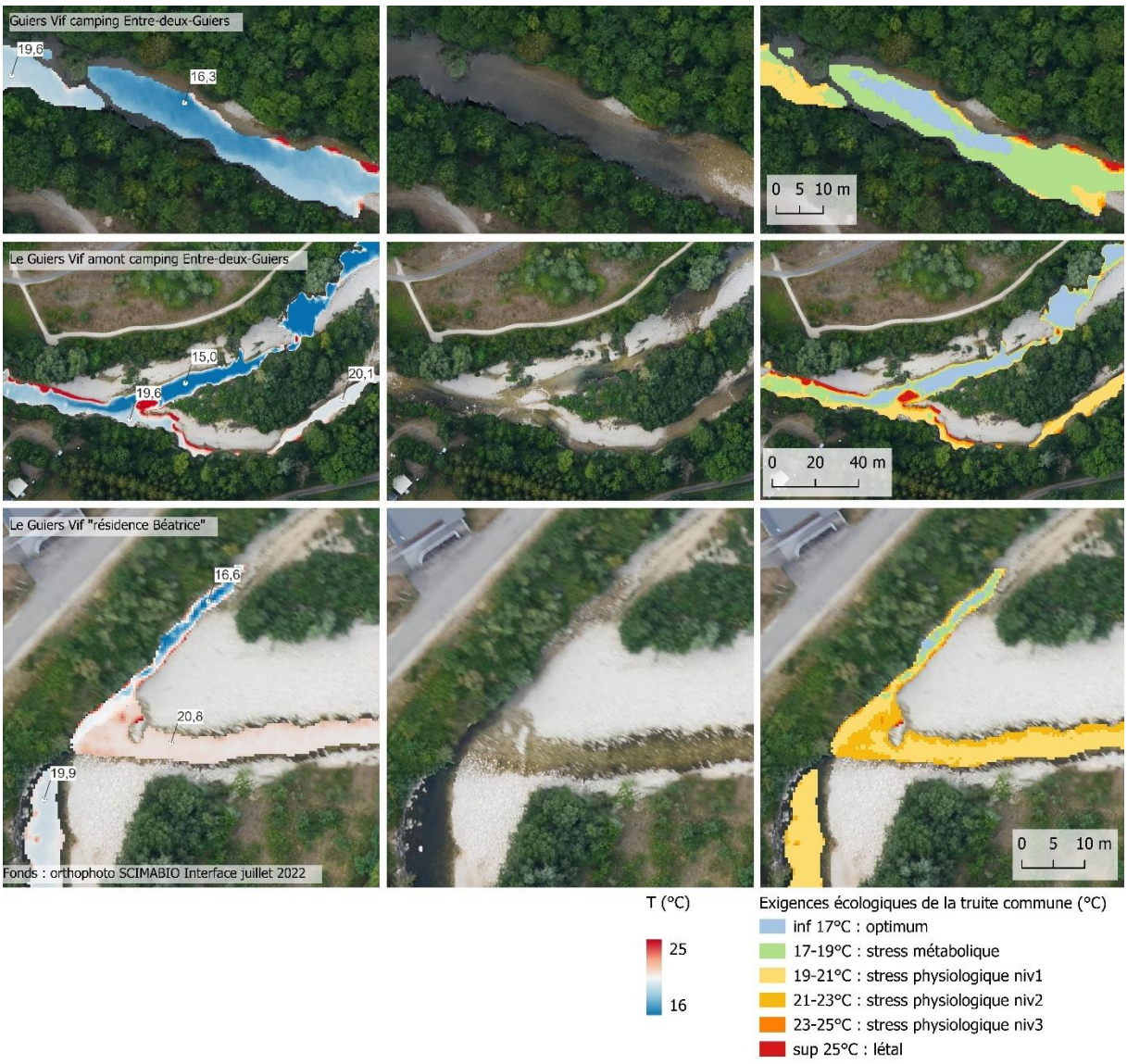


Figure 10 : Exemples de poches froides considérées comme des refuges thermiques potentiels. A gauche : mosaïque thermique identifiant la poche froide. A droite : mosaïque thermique par rapport aux exigences de la truite montrant un potentiel intérêt écologique. Au centre : orthophoto montrant l'intérêt en termes d'habitat pour la truite.

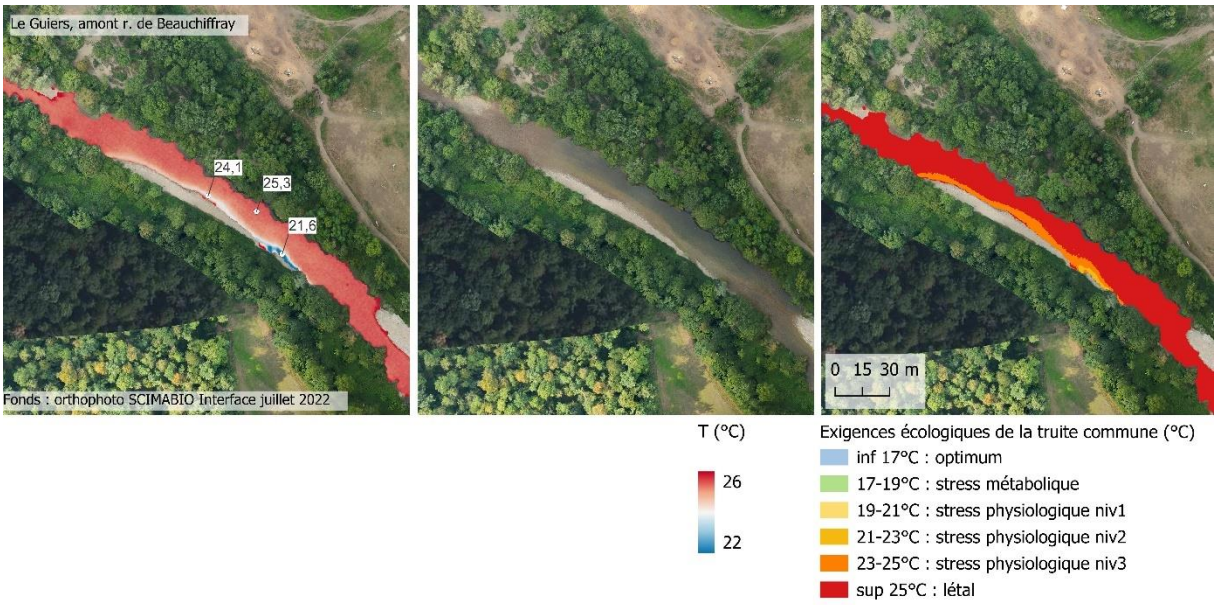


Figure 11 : Exemple d'un secteur pouvant servir de refuge thermique temporaire avec des apports d'eau légèrement plus froids que la température de la rivière qui présente des températures létales pour la truite. A gauche : mosaïque thermique identifiant le différentiel de température. A droite : mosaïque thermique par rapport aux exigences de la truite. Au centre : orthophoto.

Le travail réalisé sur le Guiers et le Chéran a pour objectif de cartographier les refuges thermiques disponibles pour caractériser leur répartition spatiale sur le linéaire et ainsi identifier les secteurs présentant, soit des capacités en termes de refuges thermiques qu'il convient de préserver, soit au contraire des lacunes en refuges qui nécessiteront des actions de restauration.

3. RÉSULTATS SUR LE GUIERS

Au total, 1100 photographies ont été acquises et alignées pour générer une orthophoto recouvrant environ 21 km² pour une résolution au sol de 10 cm·pix^{-1}. De la même manière, 1974 images thermiques ont été prises pour créer une mosaïque thermique d'environ 21.6 km², pour une résolution d'image au sol de 40 cm·pix^{-1}. Il est important de garder en mémoire pour l'interprétation des résultats que la technologie IRT-a fournit une information de température de surface, et ne cartographie que ce qui est visible depuis les airs.

Le linéaire étudié concerne la totalité du Guiers de la confluence avec le Rhône jusqu'à la jonction du Guiers Mort et du Guiers Vif, le Guiers Vif jusqu'à St-Pierre d'Entremont et le Guiers Mort jusqu'à l'entrée des gorges (en amont de St-Laurent du Pont) (Figure 12). Le linéaire prospecté sur le Guiers Mort a été réduit de quelques kilomètres par rapport au projet sur décision du pilote en cours de survol pour des raisons de sécurité, du fait de conditions climatiques dangereuses sur le massif de la Chartreuse (risques orageux et vents violents). Ainsi, les linéaires étudiés correspondent à 28,6 km sur le Guiers, 8,8 km sur le Guiers Mort et 11,6 km sur le Guiers Vif.

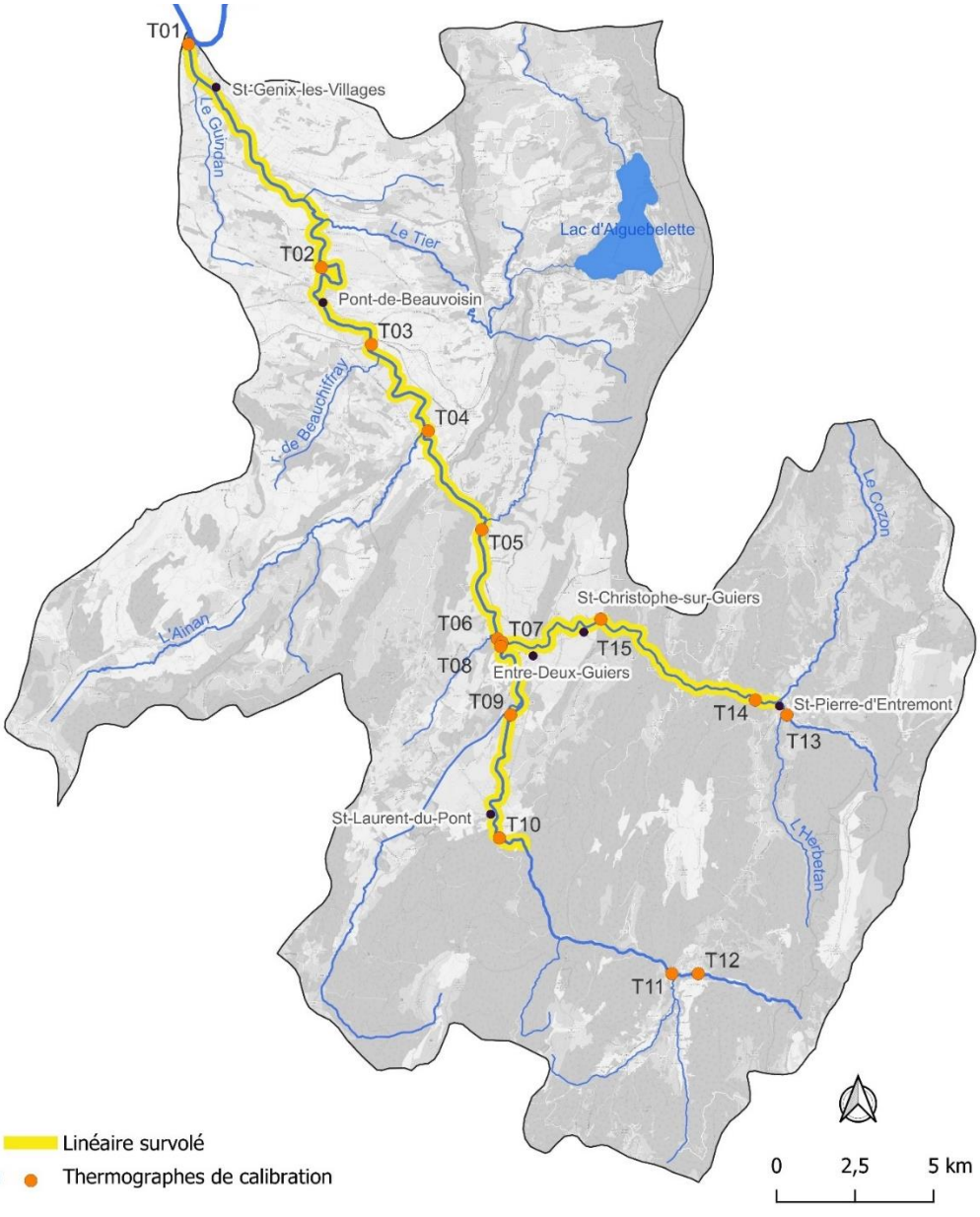


Figure 12 : Représentation du linéaire survolé sur le Guiers et localisation des thermographes de calibration.

3.1 DIVERSITÉ THERMIQUE DE LA RIVIÈRE EN PÉRIODE ESTIVALE

L'histogramme des valeurs de température de l'ensemble des pixels en eau obtenu le jour du survol constitue une première approche dans l'analyse des résultats issus de la cartographie thermique (Figure 13). L'histogramme montre :

- 4 modes, tous à des températures élevées, 22,2°C ; 24°C ; 25,5°C et 26,8°C.
- Une température médiane élevée autour de 25°C, ce qui signifie que 50% des pixels ont une température supérieure à 25°C, qui est le seuil létal pour la truite commune.
- La grande majorité des pixels se situe à des températures supérieures au seuil de stress physiologique pour les salmonidés, fixé à 19°C.
- Une très faible quantité de pixels avec des températures plus fraîches (<18°C), représentant majoritairement les poches froides constituées par des apports karstiques ou phréatiques.

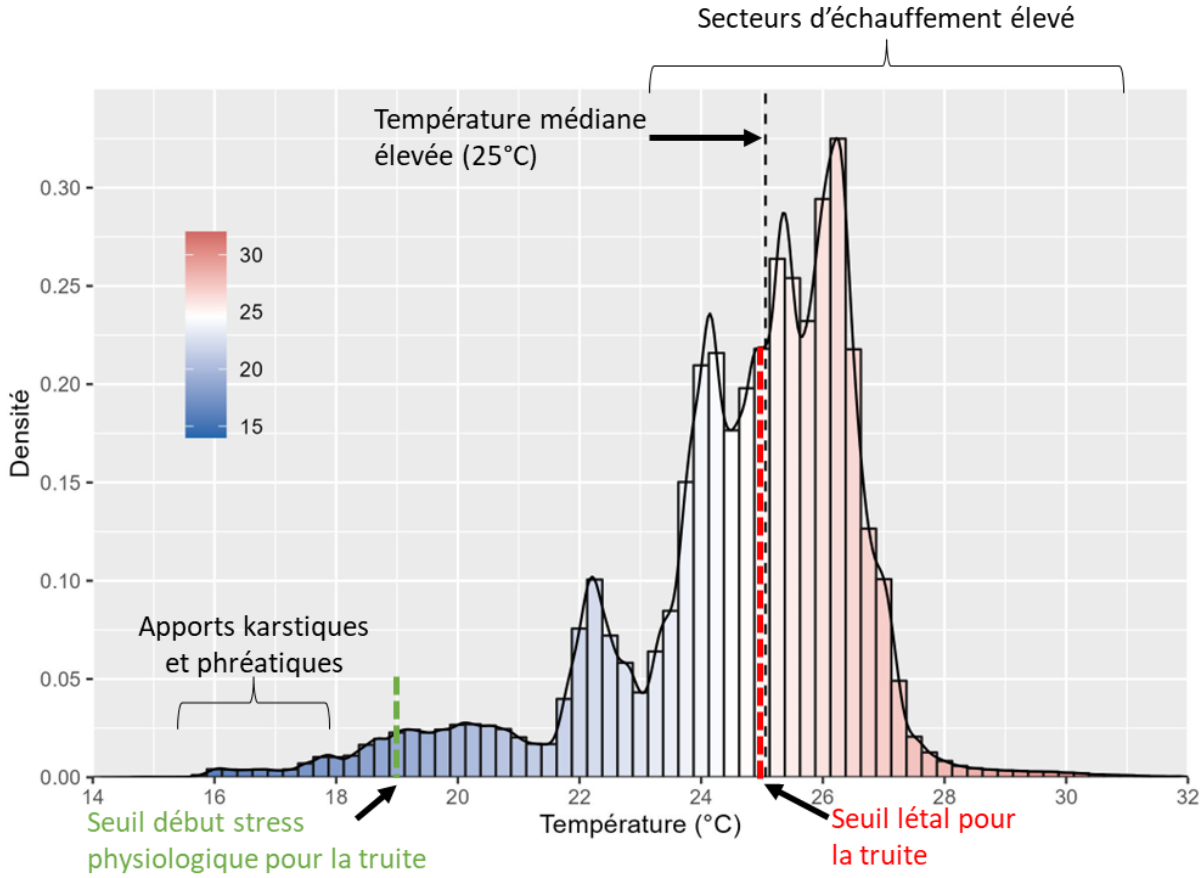


Figure 23 : Histogramme de distribution des pixels de température sur les 3 Guiers réunis issu de la campagne IRT-a de juillet 2022. Données sur les exigences de la truite issues de Crisp (1996), Elliott et Hurley (2001).

3.2 PROFIL LONGITUDINAL DE TEMPÉRATURE

Les profils longitudinaux, obtenus à partir des températures médianes tous les 100 mètres, illustrent la forte variabilité existante sur le linéaire des rivières avec une gamme de température allant de 16°C à 27°C. Les profils thermiques du Guiers ainsi que des Guiers Vif et Mort sont loin d'être linéaires, au contraire, ils se caractérisent par des successions de nombreux réchauffements et refroidissements sur des linéaires plus ou moins importants (figures 14 et 15).

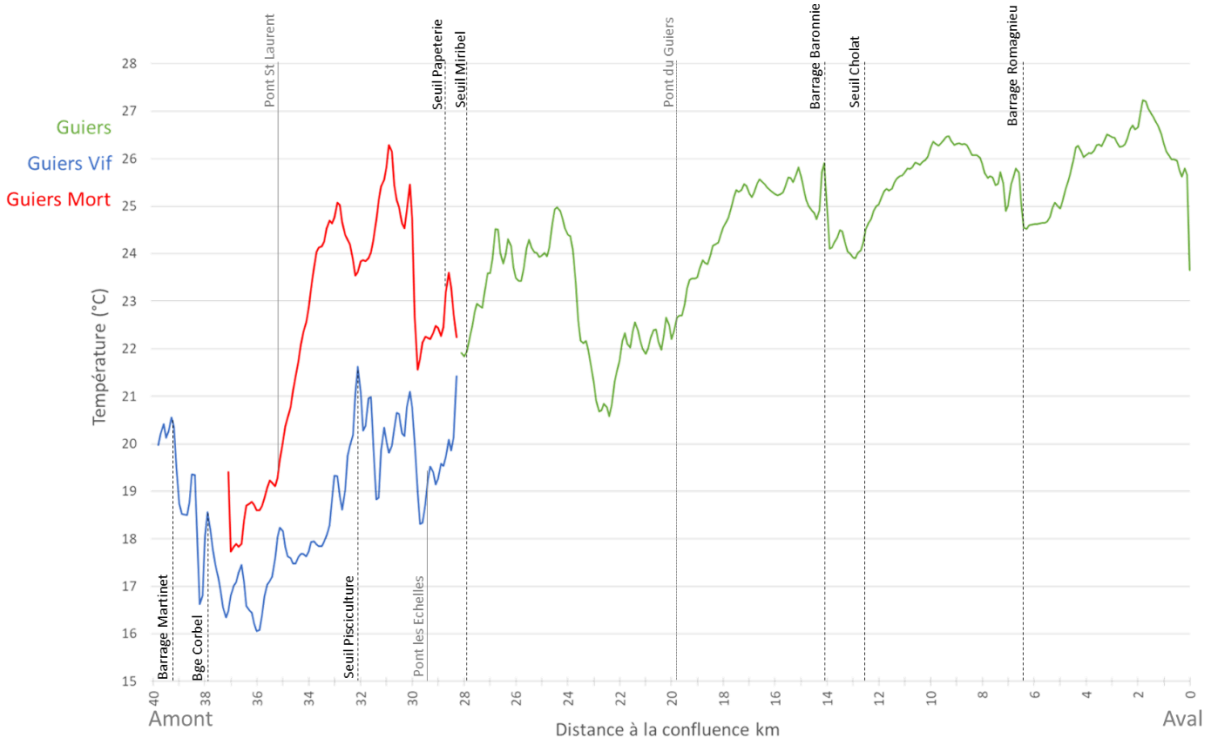


Figure 14 : Profil longitudinal de température issu de la campagne IRT-a de juillet 2022 sur le Guiers.

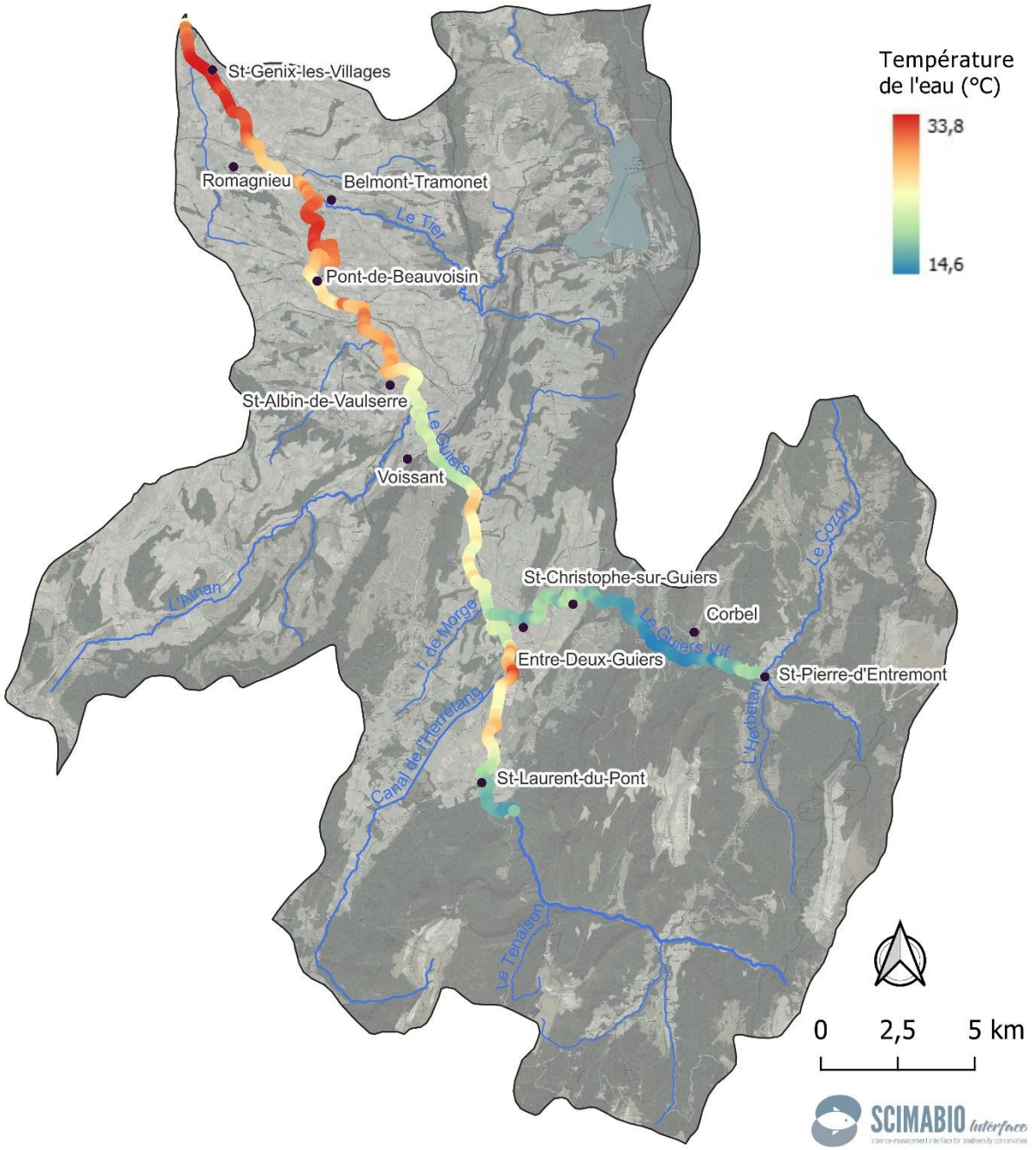


Figure 15 : Carte des températures médianes par tronçon de 100 mètres de rivière obtenues sur le Guiers à partir des données IRT-a.

3.3 DÉTECTION DES ANOMALIES THERMIQUES CHAUDES

3.3.1 CARACTÉRISTIQUES ET DISTRIBUTION SUR LE LINÉAIRE

Onze zones d'échauffement important, ayant chacune un effet significatif sur le linéaire, ont été recensées. Elles influencent le profil thermique du Guiers en provoquant des augmentations de températures sur des linéaires de rivières non négligeables (Figure 16 et 17, tableau 1). A ces zones, s'ajoutent 5 échauffements ayant des impacts plus locaux mais non négligeables car ils provoquent une augmentation significative de la température médiane de l'eau (autour d'1°C) sur des linéaires courts (200 à 300 mètres). Certains barrages provoquent des anomalies thermiques avec des

augmentations brutales et importantes de la température qui peuvent se prolonger sur des linéaires variables selon l'importance des remous thermiques formés par les retenues (Figure 16, tableau 1).

Grâce à la combinaison de la cartographie des températures de surface et de l'orthophoto à haute résolution, une interprétation sur les causes hydrologiques, géomorphologiques et/ou géologiques de ces échauffements est proposée dans le tableau 1.

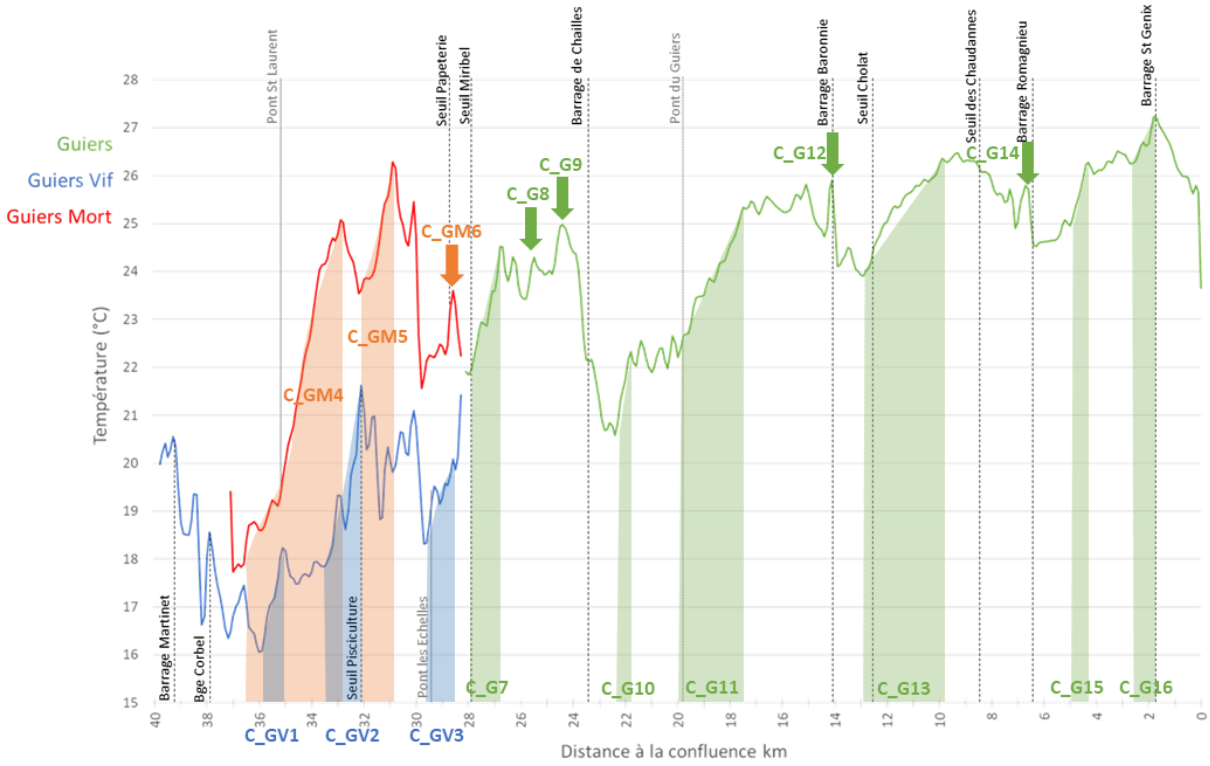


Figure 16 : Localisation sur le profil thermique des zones d'échauffement de la température de l'eau du Guiers. La dénomination des secteurs est reprise sur la figure 17 et le tableau 1.

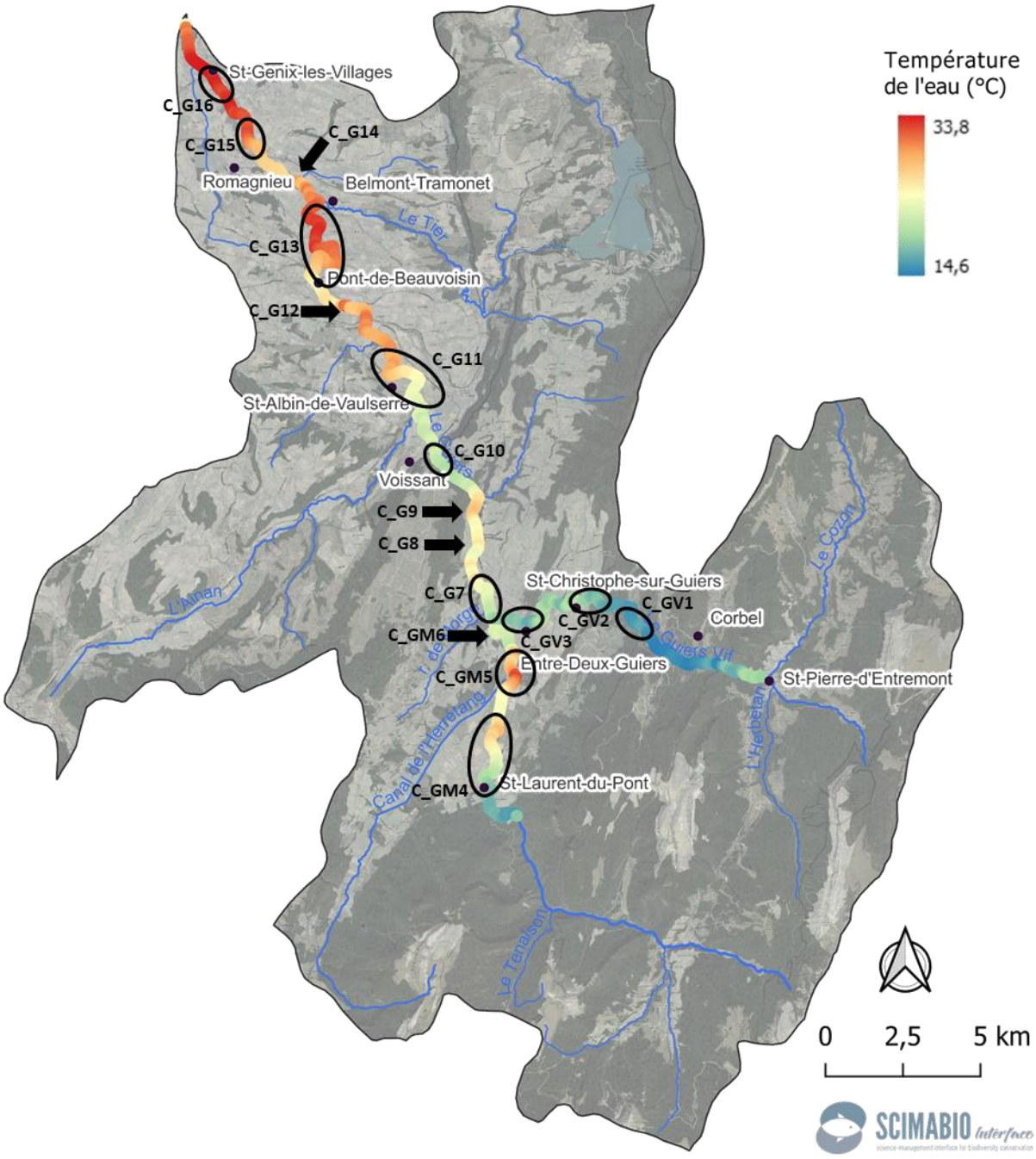


Figure 17 : Localisation sur le profil thermique des zones d'échauffement majeures recensées sur le Guiers.

Cours d'eau	Code Pt chaud	T° Médiane Amt (°C)	T° Médiane avl (°C)	ΔT°C (Médiane)	PK Amt (km)	PK Avl (km)	Linéaire (km)	Gradient (T°C.km^{-1})	Interprétations
Guiers vif	C_GV1	16,06	18,24	**2,2**	35,95	35,05	**0,9**	**2,4**	Secteur en gorges mais absence d'échanges nappe/rivière et écoulement sur chaos rocheux et roche mère en partie chauffés par le rayonnement solaire. L'augmentation de la température de l'eau est engendrée par un échange thermique important entre l'eau et l'air car le différentiel de températures entre l'air et l'eau est important.
Guiers vif	C_GV2	17,85	21,63	**3,8**	33,45	32,05	**1,4**	**2,7**	Peu d'échanges nappe-rivière, sortie des gorges au PK 32,65, entrée sur St-Christophe avec étalement des écoulements puis réduction des vitesses d'écoulement (effet retenue du seuil de la pisciculture).
Guiers vif	C_GV3	18,31	20,14	**1,8**	29,65	28,35	**1,3**	**1,4**	Etalement des écoulements, absence de ripisylve, urbanisation dans la traversée des échelles et d'Entre-deux Guiers et absence d'échanges nappe/rivière au niveau du secteur recalibré (ancien méandre).
Guiers mort	C_GM4	19,11	25,07	**6,0**	35,25	32,85	**2,4**	**2,5**	Au niveau de St-Laurent du Pont, absence totale d'échanges nappe-rivière et étalement important des écoulements. Secteurs qui a subi des endiguements dans le passé et qui présente une absence de ripisylve.
Guiers mort	C_GM5	23,54	26,14	**2,6**	32,15	30,75	**1,4**	**1,9**	Déficit d'échanges nappe/rivière : réduction du lit majeur, suppression du fonctionnement de l'espace alluvial, recalibrage important du lit vers l'exutoire de l'Herrétang, et urbanisation au niveau de la zone d'activité en rive droite.
Guiers mort	C_GM6	22,27	23,61	**1,3**	28,85	28,45	**0,4**	**3,3**	Aval de la prise d'eau de l'ancienne papeterie, seuil dit du Moulin neuf.
Guiers	C_G7	21,84	24,51	**2,7**	28,05	26,75	**1,3**	**2,1**	Le remous hydraulique du seuil Miribel accélère le mélange entre les eaux plus froide du Guiers Vifs et celle du Guiers Mort, puis fort réchauffement le long de la ZA Le Maillet puis rejet STEP en rive droite. Faible apport hyporhéique sur le secteur où le lit a subi un recalibrage. L'absence de banc alluvionnaire et l'étalement de la lame d'eau participe au réchauffement de l'eau.
Guiers	C_G8	23,4	24,3	**0,9**	25,85	25,55	**0,3**	**3,0**	Echauffement localisé sur un linéaire présentant un fort étalement des écoulements et des bras secondaires sans échanges nappe/rivière.
Guiers	C_G9	24,1	25	**0,9**	24,75	24,45	**0,3**	**3,0**	Echauffement localisé sur un linéaire présentant un fort étalement des écoulements sans échanges nappe/rivière avec un matelas alluvial fin et des zones d'eau stagnante.
Guiers	C_G10	20,58	22,56	**2,0**	22,45	21,45	**1**	**2,0**	Débit réservé (TCC de Chailles) et écoulements très étalés sur chaos rocheux et roche mère chauffés par le rayonnement solaire.
Guiers	C_G11	22,2	25,5	**3,3**	19,95	17,05	**2,9**	**1,1**	Faible apports hyporhéiques, étalement de la lame d'eau, écoulement Sud-Nord exposé à l'ensoleillement, (fonctionnement hydromorphologique potentiellement altéré par un déficit sédimentaire lié au barrage de Chailles ?).
Guiers	C_G12	24,9	25,9	**1,0**	14,35	14,15	**0,2**	**5,0**	Remous thermique du barrage de Baronnie.
Guiers	C_G13	23,9	26,4	**2,5**	12,95	9,95	**3**	**0,8**	Remous thermique du seuil Cholat au début du secteur, faible apports hyporhéiques (fonctionnement hydromorphologique potentiellement altéré), étalement de la lame d'eau, écoulement Sud-Nord exposé à l'ensoleillement avec des faciès très lentiques.
Guiers	C_G14	24,9	25,8	**0,9**	7,15	6,65	**0,5**	**1,8**	Remous thermique du barrage de Romagnieu.
Guiers	C_G15	25	26,3	**1,3**	5,05	4,35	**0,7**	**1,9**	Déficit d'échanges nappe/rivière, étalement des écoulements dans un axe Sud-Nord exposé, déficit sédimentaire lié au barrage de Romagnieu d'où perte du fonctionnement hydromorphologique ?
Guiers	C_G16	26,3	27,2	**0,9**	2,55	1,85	**0,7**	**1,3**	Remous thermique du barrage St Genix.

Tableau 1 : Caractéristique et description des zones d'échauffements majeures recensées sur le Guiers. ΔT°C = différence de température entre l'amont et l'aval du secteur d'échauffement.

3.3.2 CARTOGRAPHIES THERMIQUES DÉTAILLÉES

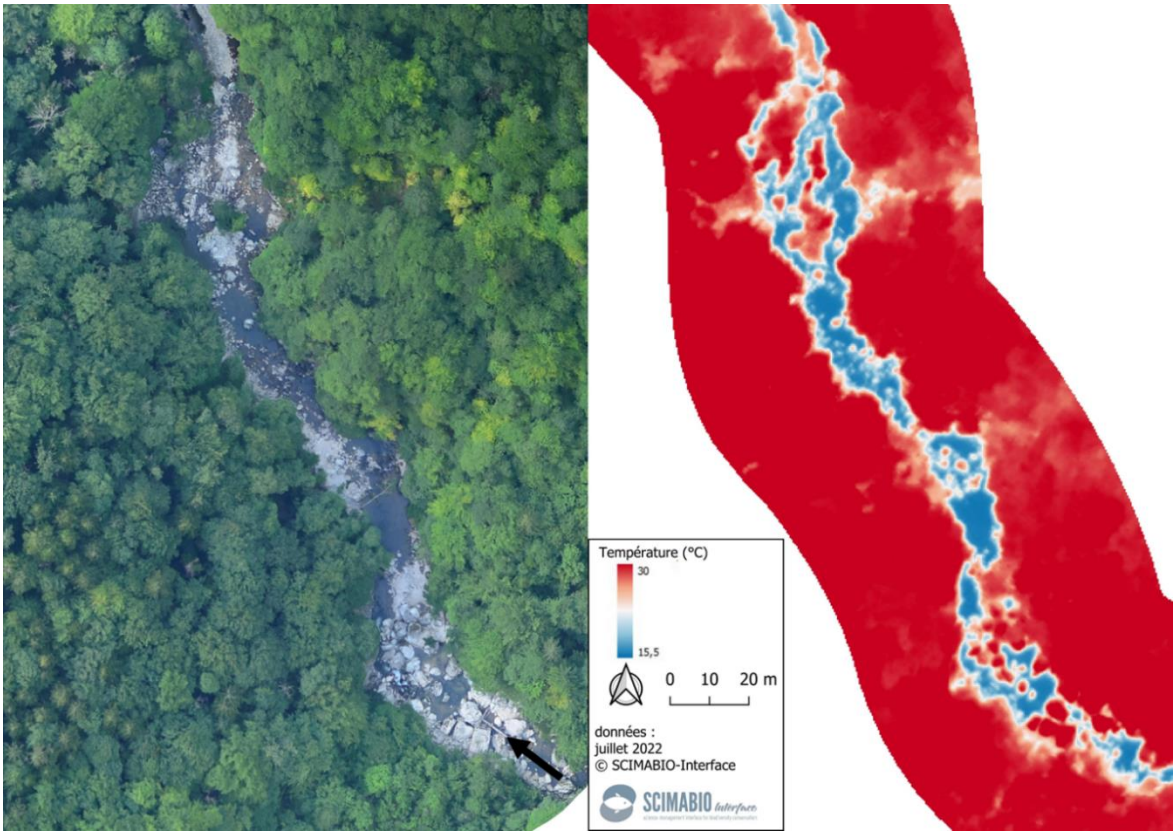


Figure 18 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les écoulements sur chaos rocheux et roche mère chauffés par le rayonnement solaire dans les gorges du Guiers Vif (C_GV1).



Figure 19 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers Vif à l'entrée de St-Christophe (C_GV2).

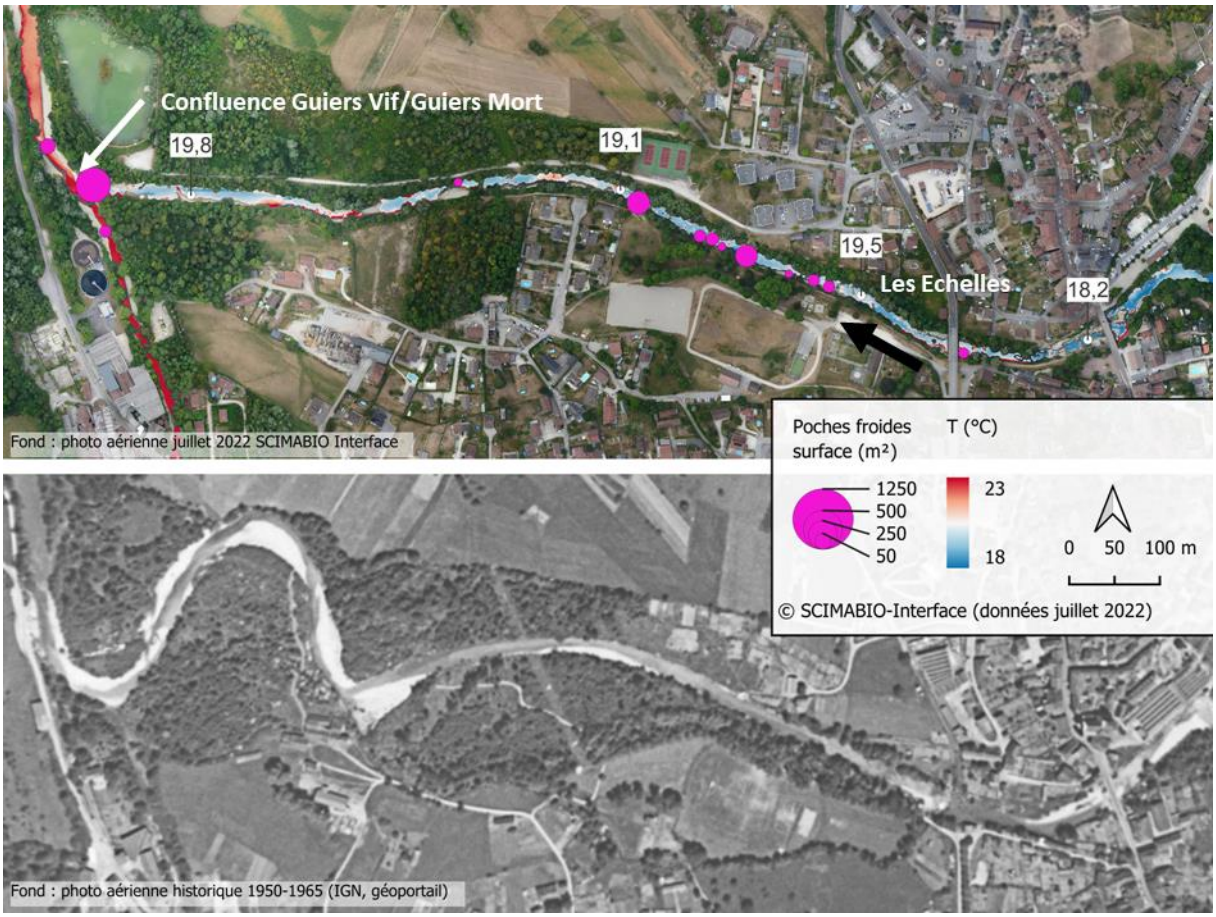


Figure 20 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers Vif dans la traversée d'Entre Deux Guiers (C_GV3) [en haut], et photo aérienne historique du secteur, montrant les modifications géomorphologiques [en bas].

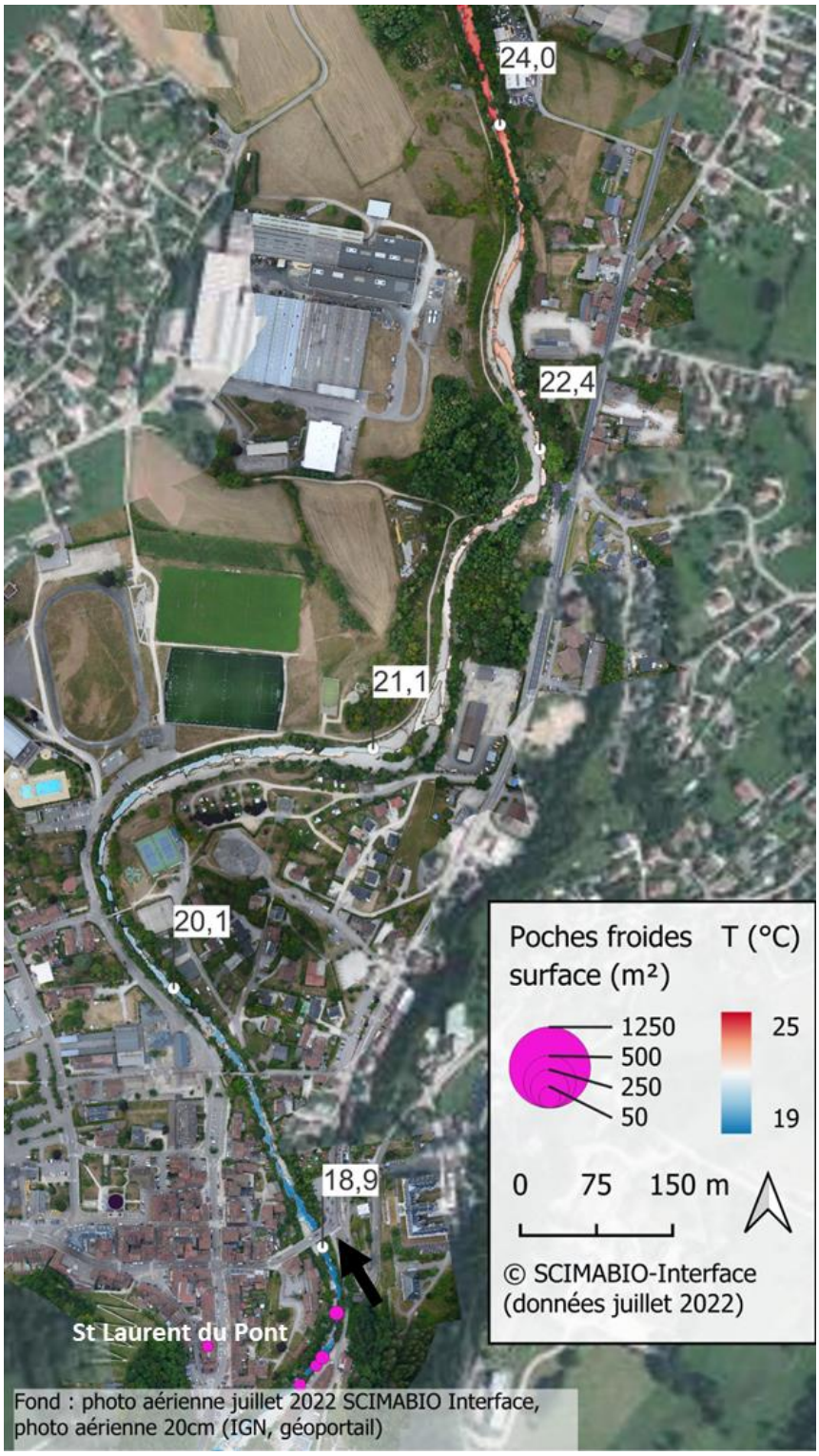


Figure 21 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers Mort au niveau de St-Laurent du Pont et notamment l'absence de poches froides représentatives des échanges nappe-rivière (C_GM4).

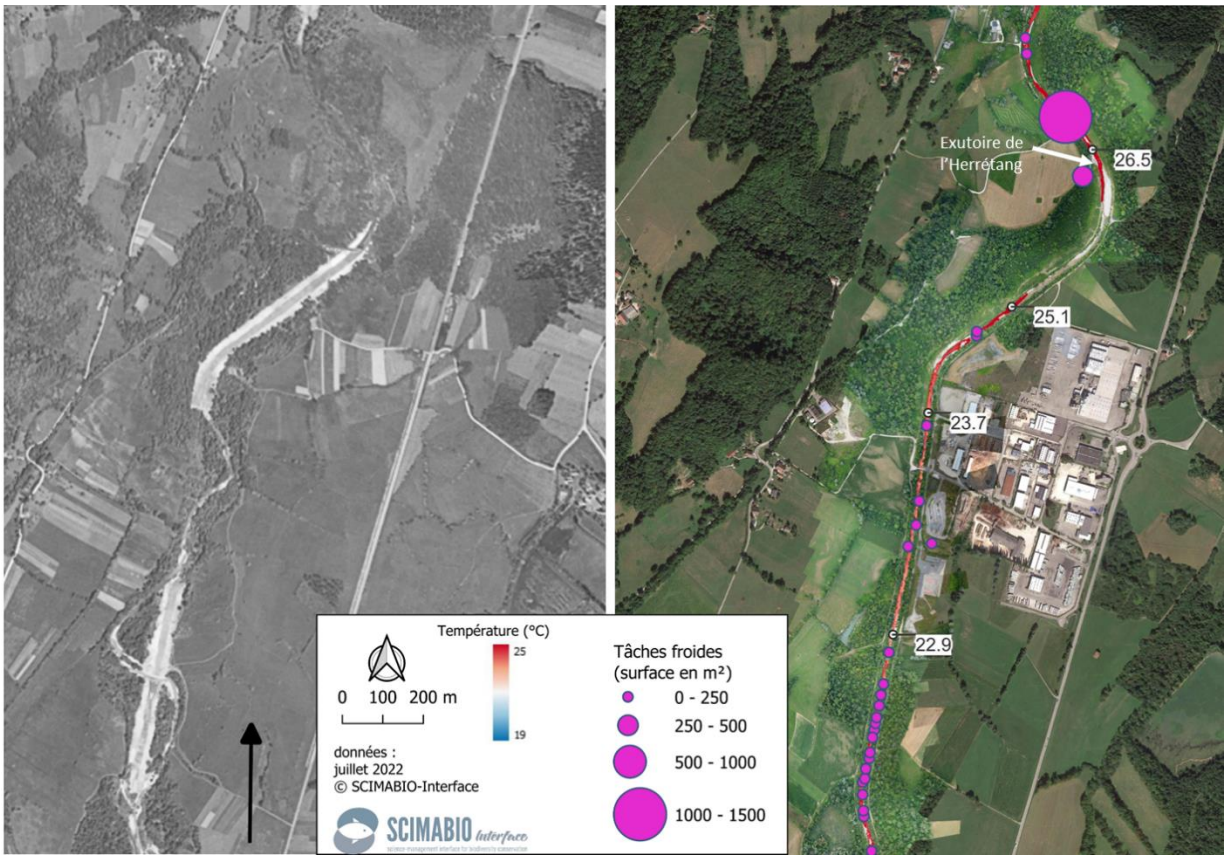


Figure 22 : Mosaïque thermique et orthophoto actuel (à droite) et historique (1950-1965, à gauche) illustrant le recalibrage du lit entre St-Laurent du Pont et Entre Deux Guiers et l'échauffement observé avec un déficit d'échanges nappe/rivière (C_GM5).



Figure 23 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers Mort en aval de la prise d'eau de l'ancienne papeterie (lieu-dit du Moulin neuf – Entre deux Guiers) (C_GM6).

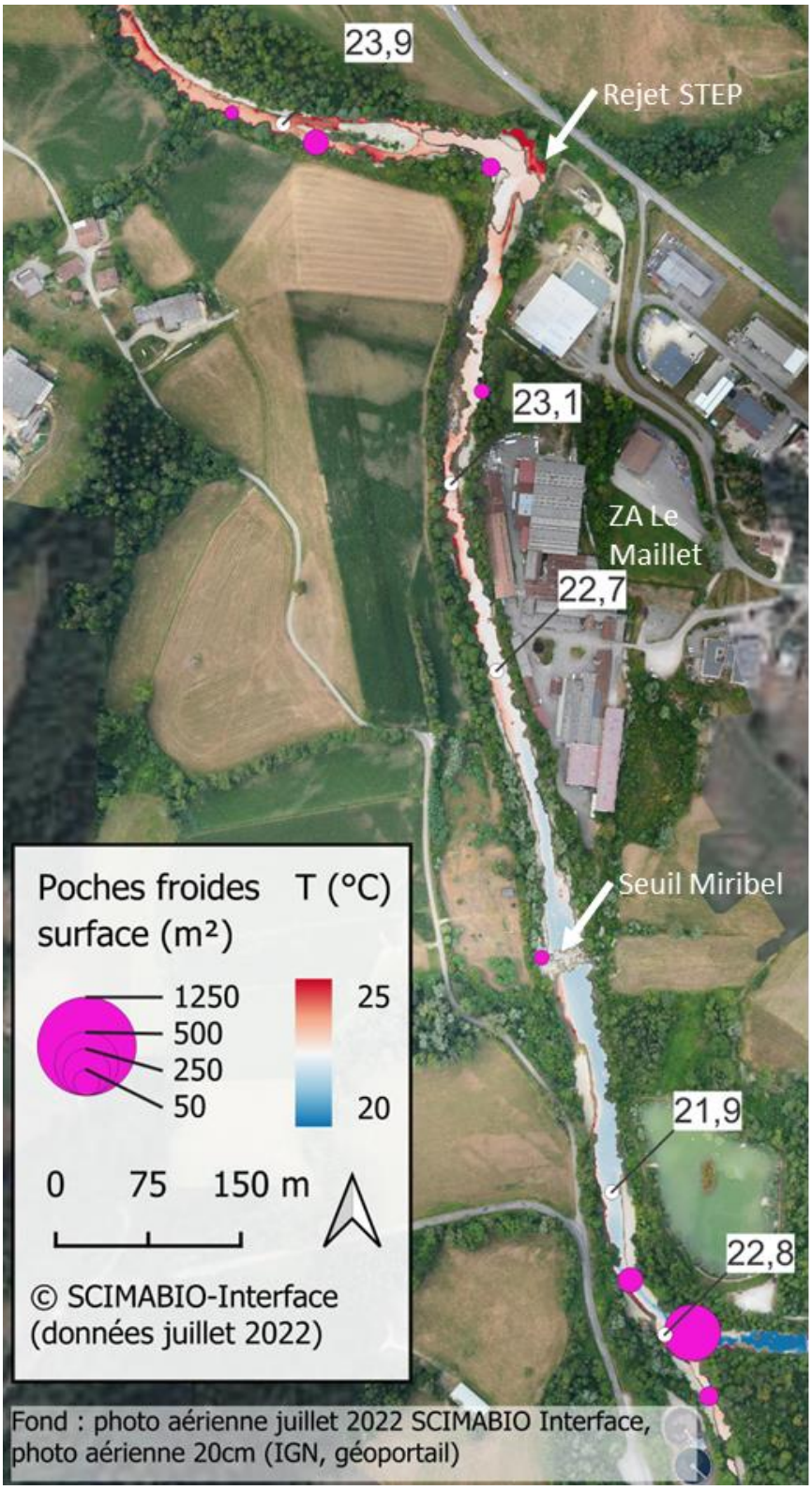


Figure 24 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers en aval de la confluence des Guiers Vif et Mort (C_G7).

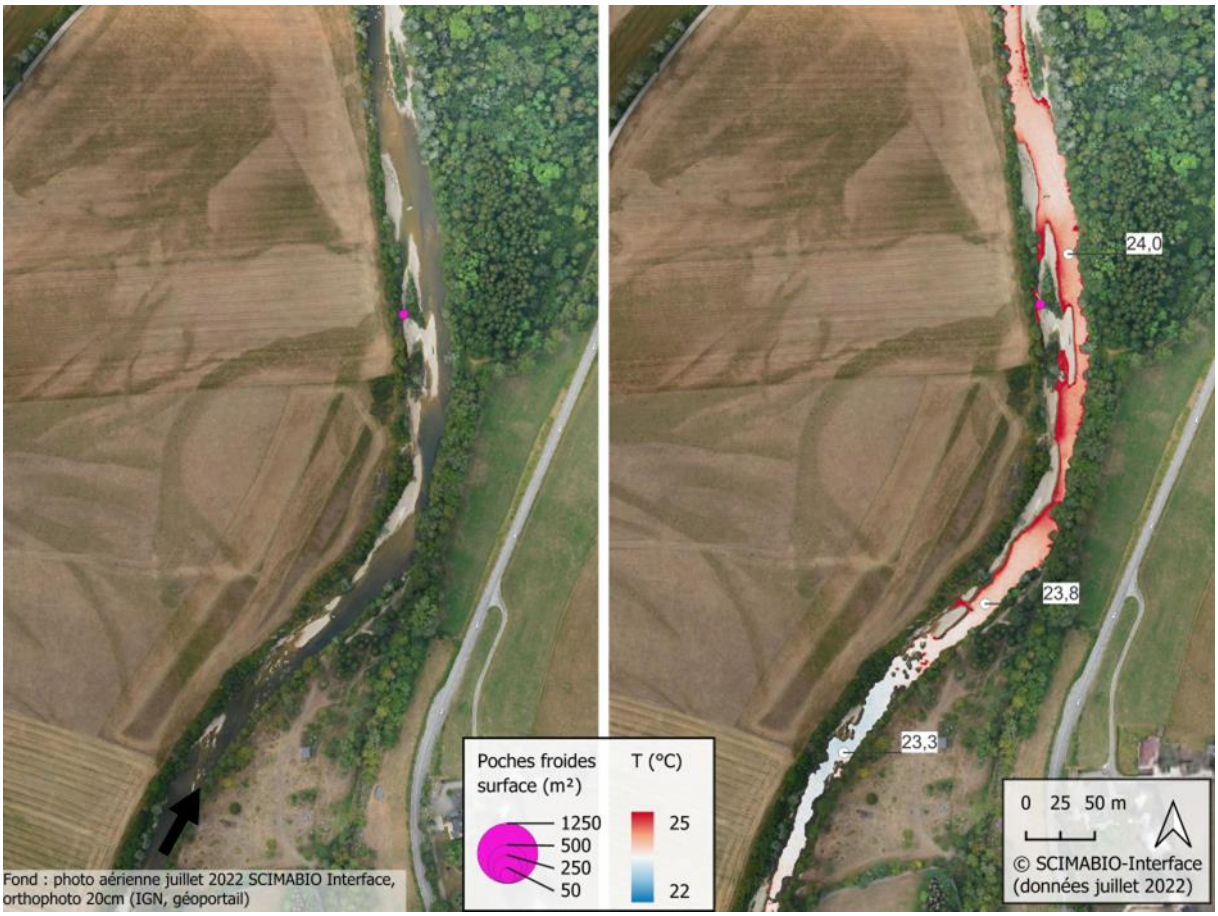


Figure 25 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement localisé (sur 300m linéaire) du Guiers au niveau du chemin de Crimée (aval pont du curé - Les Echelles) (C_G8).



Figure 26 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement localisé (sur 300m linéaire) du Guiers au niveau de Chailles (Les Echelles) (C_G9).

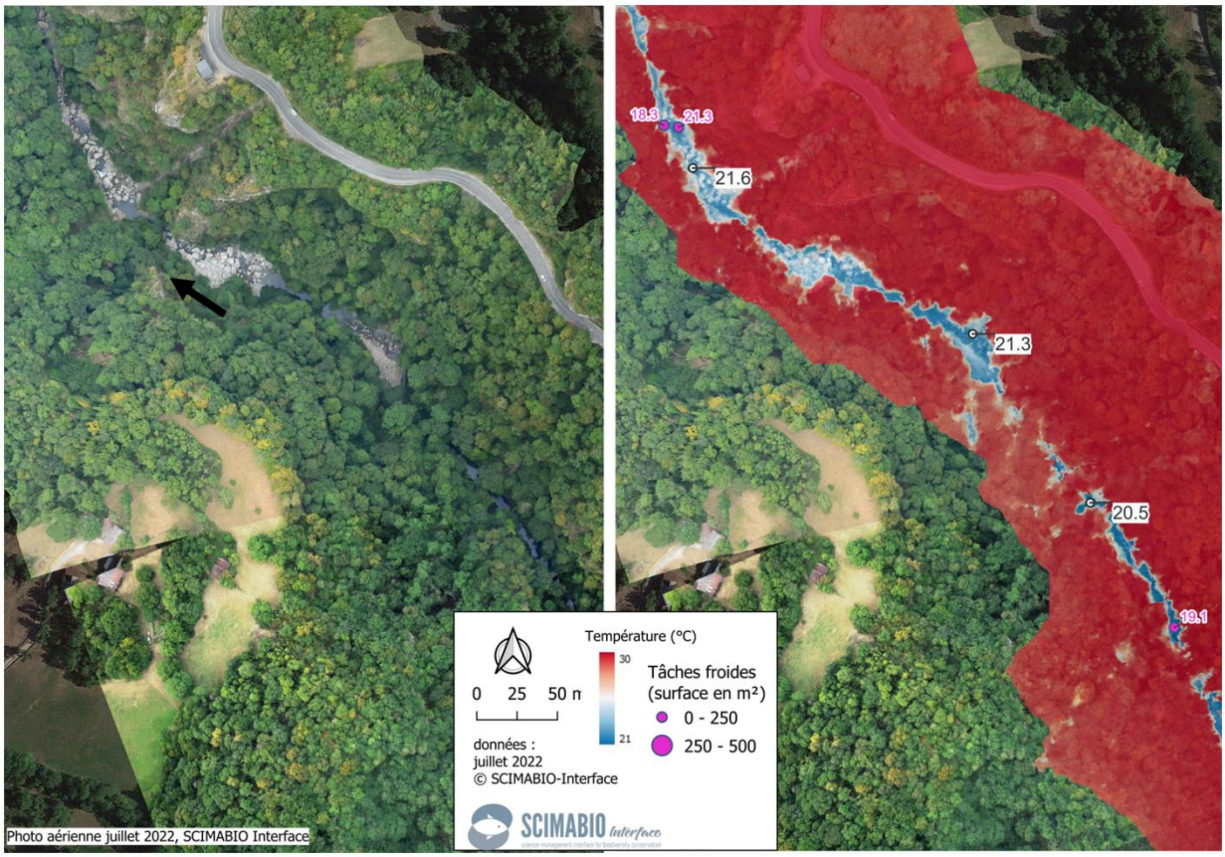


Figure 27 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers dans le TCC des gorges de Chailles (C_G10).

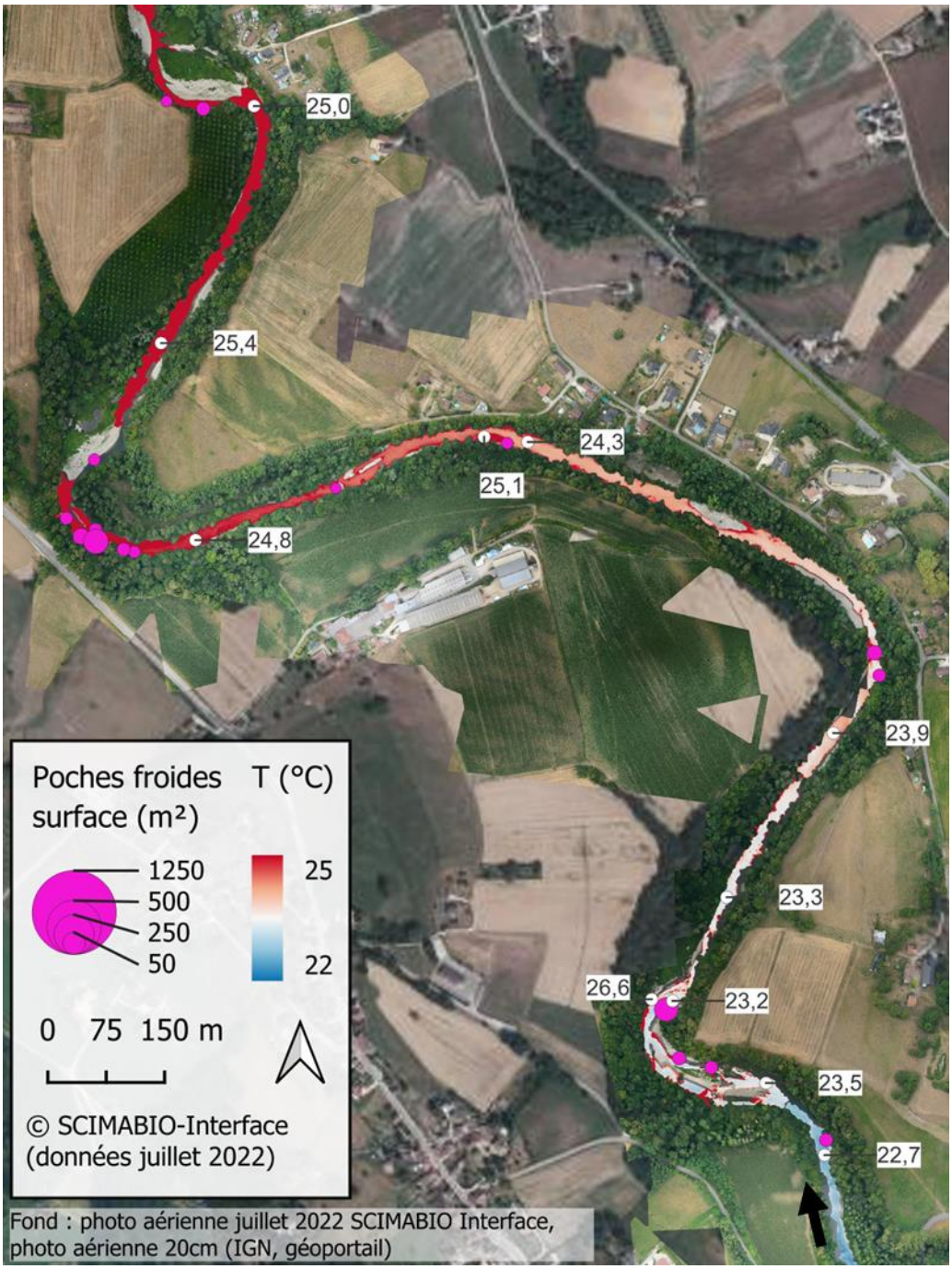


Figure 28 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement du Guiers au niveau de St-Béron St Albin (C_G11).



Figure 29 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant le remous thermique provoqué par le barrage Baronnie à Pont de Beauvoisin (C_G12).

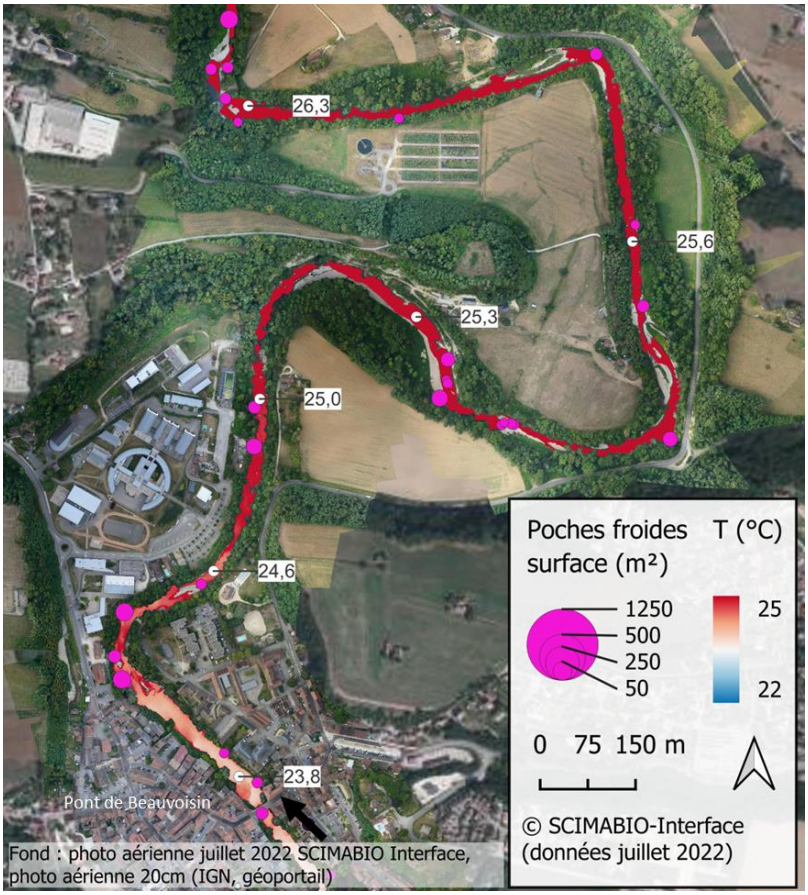


Figure 30 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement observé à l'aval de Pont de Beauvoisin (C_G13).

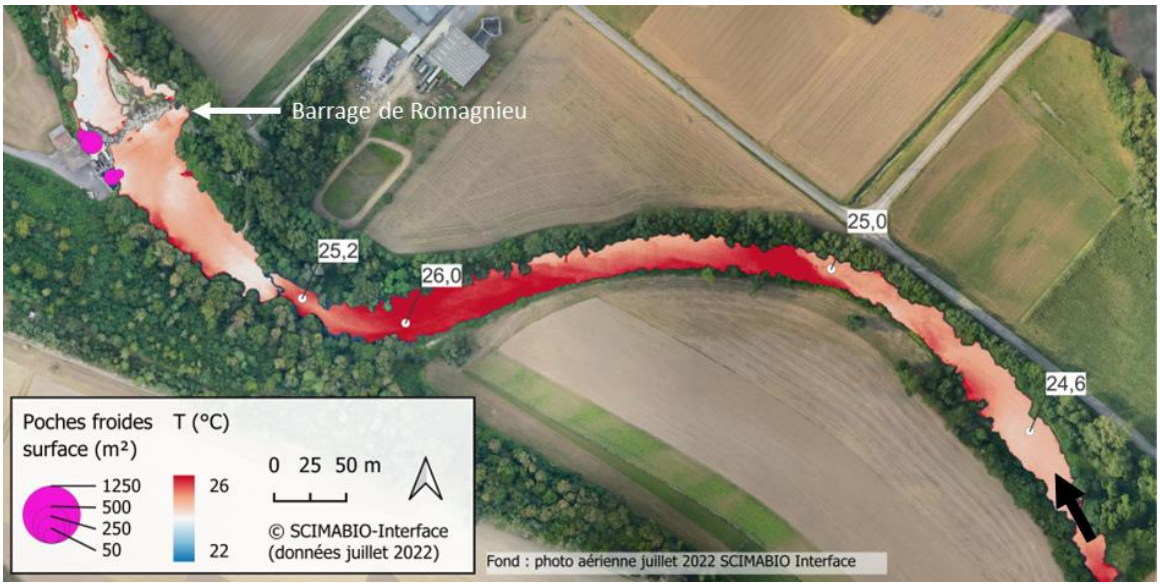


Figure 31 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement observé dans la retenue du barrage de Romagnieu (C_G14).



Figure 32 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement observé sur le Guiers vers les plans d'eau de Romagnieu à l'aval du pont de l'A43 (C_G15).

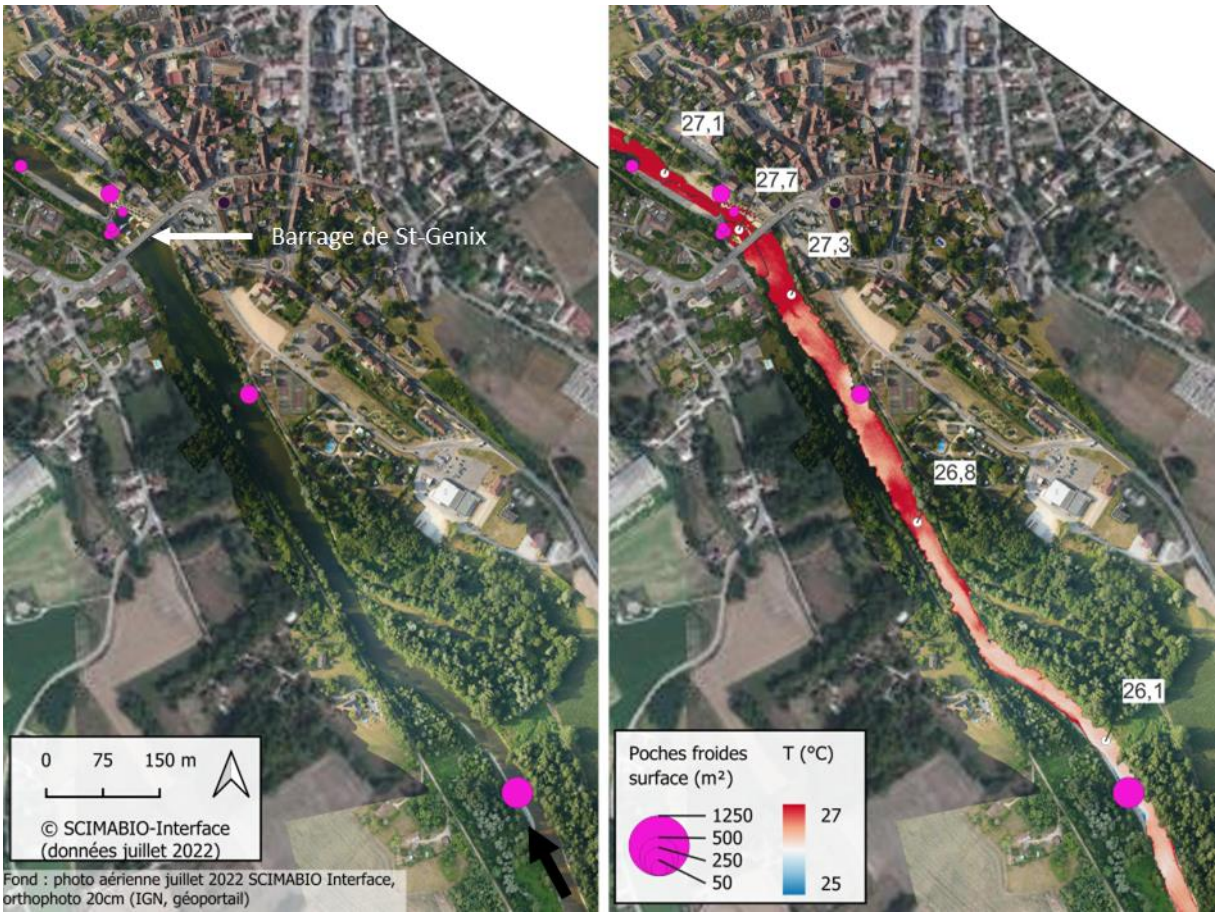


Figure 33 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant l'échauffement observé dans la retenue du barrage de St-Genix (C_G16).

3.4 Détection des poches froides

3.4.1 Caractéristique et distribution sur le linéaire

Pour rappel, une arrivée d'eau est considérée comme une poche froide lorsque sa surface est au moins égale à 4 pixels adjacents (≈0,5m²) et que sa température est inférieure d'au moins 0,5°C à la température médiane du tronçon de la rivière.

Sur un linéaire total de 49 km de rivière étudié, 303 poches froides ont été recensées. Ce nombre qui représente une densité de 6,2 km^{-1} peut être considéré comme faible pour un cours d'eau préalpin comme le Guiers qui présente un fonctionnement hydrodynamique karstique et alluvial. Par comparaison, le Chéran et la Bienne (Caudron et al. 2024), étudiés également en 2022, montrent des densités de poches froides respectivement de 15,6 km^{-1} et 11,4 km^{-1}.

Leur surface varie de 0,48[1] à 1107 m², pour des écarts de température médiane avec la rivière pouvant atteindre -7,2°C (Figure 34).

[1] Note : ceci correspond au seuil minimal de taille défini dans la méthode.

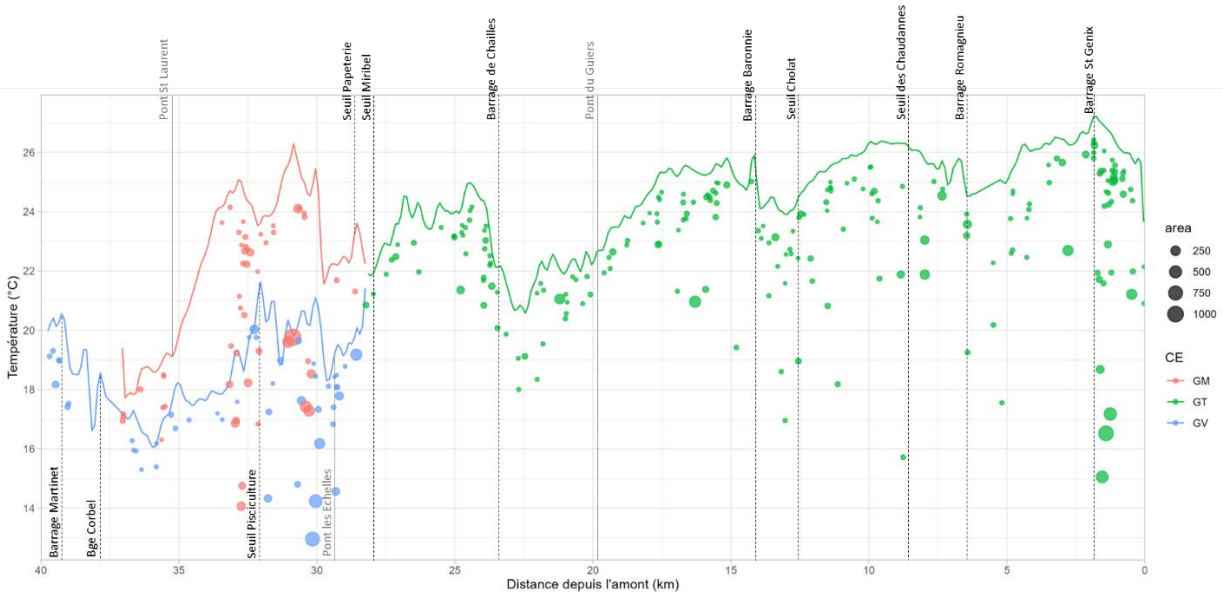


Figure 34 : Distribution des poches froides recensées sur le Guiers. La taille des cercles reflète la superficie visible sur les images des poches froides, et leur positionnement sur l'axe-y représente leur température minimale.

Le nombre de poches froides et les écarts de température avec la rivière montrent des variations le long du linéaire (figures 34 et 35). De manière générale, les poches dont les écarts de température sont importants illustrent des arrivées phréatiques ou karstiques, voire des affluents froids (eux-mêmes alimentés par des apports phréatiques). A l'inverse, les poches dont l'écart de température avec la masse d'eau est moins important sont caractéristiques d'échanges hyporhéiques, d'un « recyclage local » des eaux de surface ou d'apports surfaciques (zones humides, bras secondaires, voire rejets plus ou moins naturels).

Sur le Guiers Mort, le nombre de poches froides recensées est plus faible que sur le Guiers Vif et le Guiers. En sortie des gorges, on observe uniquement quelques arrivées d'eau de surfaces limitées et présentant peu de différence thermique avec la rivière. Ces apports hyporhéiques trop faibles ne permettent pas d'éviter le réchauffement de l'eau de la rivière. Ensuite, aucune poche froide n'est observée sur environ deux kilomètres au niveau de St-Laurent du Pont ; sur ce linéaire, la température médiane de la rivière augmente brutalement de 6°C pour atteindre 25°C. A la sortie de St-Laurent du Pont, plusieurs arrivées d'eau ont été recensées avec des différentiels thermiques allant de 0,5°C à plusieurs degrés avec la rivière. Elles témoignent de la présence à la fois d'apports hyporhéiques et d'échanges phréatiques plus profonds qui se concentrent sur les secteurs où le lit actuel recalibré recoupe des anciens méandres naturels. Malheureusement l'ensemble de ces apports ne permettent de réduire la température médiane de la rivière que de 1,5°C. Plus en aval, plusieurs poches froides importantes ont été recensées montrant des apports phréatiques au niveau de l'exutoire de l'Herrétang et le long de l'écoulement de l'Aigue Noire ainsi qu'à sa confluence. Elles permettent de baisser la température médiane de la rivière de 3°C. Enfin, de la confluence de l'Aigue Noire à la jonction avec le Guiers, aucune poche froide n'a été recensée et la température médiane de la rivière augmente de nouveau pour atteindre plus de 23°C.

Sur le Guiers Vif, plusieurs poches froides ont été observées à la sortie de St-Pierre d'Entremont et dans les gorges correspondant à des résurgences karstiques dont certaines sont déjà identifiées par traçages (résurgences de Noirfond, des Sermes, du Jallier, du Frou). L'ensemble de ces apports permet de faire baisser la température médiane du Guiers Vif de 4°C passant de 20°C à St-Pierre d'Entremont à 16°C au milieu des gorges. Sur les 4km suivants, comprenant la seconde partie des gorges ainsi que la plaine alluviale de St-Christophe, les poches froides sont plus rares et présentent des températures moins froides ce qui se traduit par une augmentation de la température médiane de la rivière qui passe de 16°C à 21,5°C. Ensuite une arrivée d'eau froide importante est notée au niveau de la restitution de

la pisciculture de St-Christophe qui est alimentée par un captage. Cet apport permet de faire baisser la température médiane de la rivière de 2,5°C. Plus à l'aval, on constate un déficit de poches froides sur les 1,5 km suivants ce qui entraine une augmentation de la température de la rivière de 2°C pour atteindre 21°C. Plusieurs poches froides importantes sous la forme de résurgences latérales en rive droite ont été recensées en amont des Echelles au niveau de la zone humide de l'Argenette. Elles permettent de faire baisser de près de 3°C la température médiane de la rivière. Sur le reste du linéaire jusqu'à la jonction avec le Guiers, seules quelques petites poches froides très éparses et présentant un faible différentiel thermique avec la rivière ont été recensées ; témoignant d'apports hyporhéiques limités.

Sur le Guiers, les poches froides sont plus nombreuses et réparties plus régulièrement le long du linéaire mais présentent majoritairement des différentiels de températures faibles avec la rivière. Ces résultats indiquent que le Guiers présente de nombreux échanges hyporhéiques mais bénéficie peu d'apports d'eau plus profonds d'origine phréatique ou karstique. D'ailleurs, rares sont les apports qui permettent une baisse significative de la température médiane de la rivière. On observe une concentration d'apports au niveau des gorges de Chailles provoqué par le drainage de la nappe par le Guiers au niveau du verrou géologique de Chailles. L'ensemble de ces apports permettent de faire baisser de 4,5°C la température médiane de la rivière. Au niveau de Pont de Beauvoisin, en aval du barrage Baronnie, des apports latéraux plus nombreux et plus froids sont observés permettant de réduire de 2°C la température médiane du Guiers. Enfin, une concentration de résurgences latérales rive gauche correspondant à des apports hyporhéiques et phréatiques est notée sur l'aval du Guiers au niveau de St-Genix.

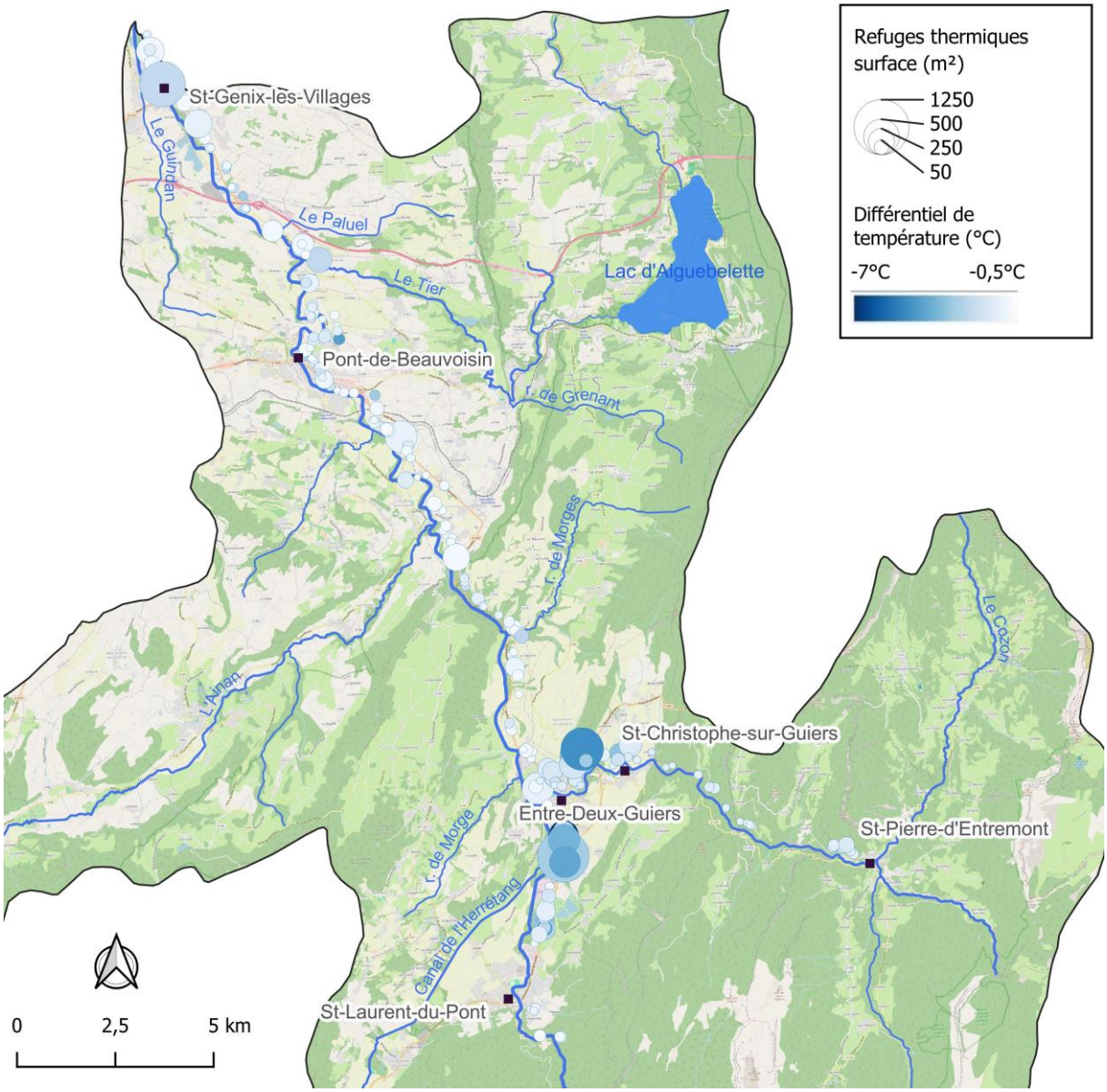


Figure 35 : Répartition des poches froides sur le Guiers en fonction de leur taille (superficie en m²) et de la différence de température médiane entre la poche froide et le tronçon de la rivière.

3.4.2 Les principaux refroidissements

Neuf principales zones de refroidissement de la température médiane de la rivière avec un effet significatif sur le linéaire ont été identifiées sur le profil thermique longitudinal (figure 36), trois sur le Guiers Vif, deux sur le Guiers Mort et quatre sur le Guiers (figure 36 et 77, tableau 2).

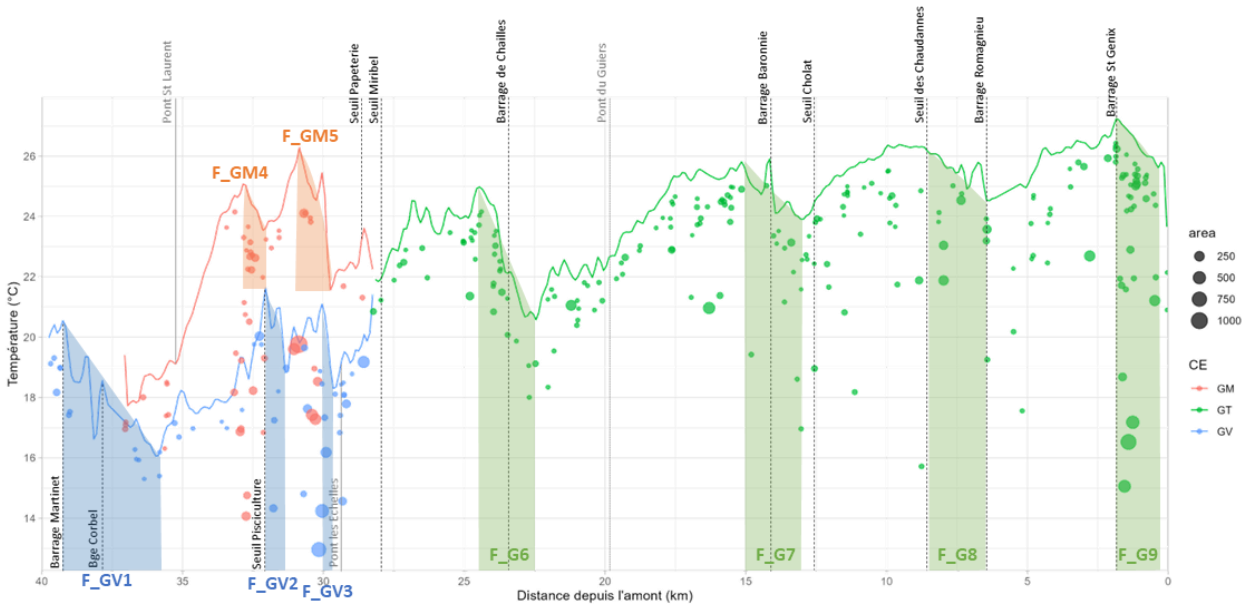


Figure 36 : Localisation sur le profil thermique des principaux refroidissements recensés sur le Guiers.

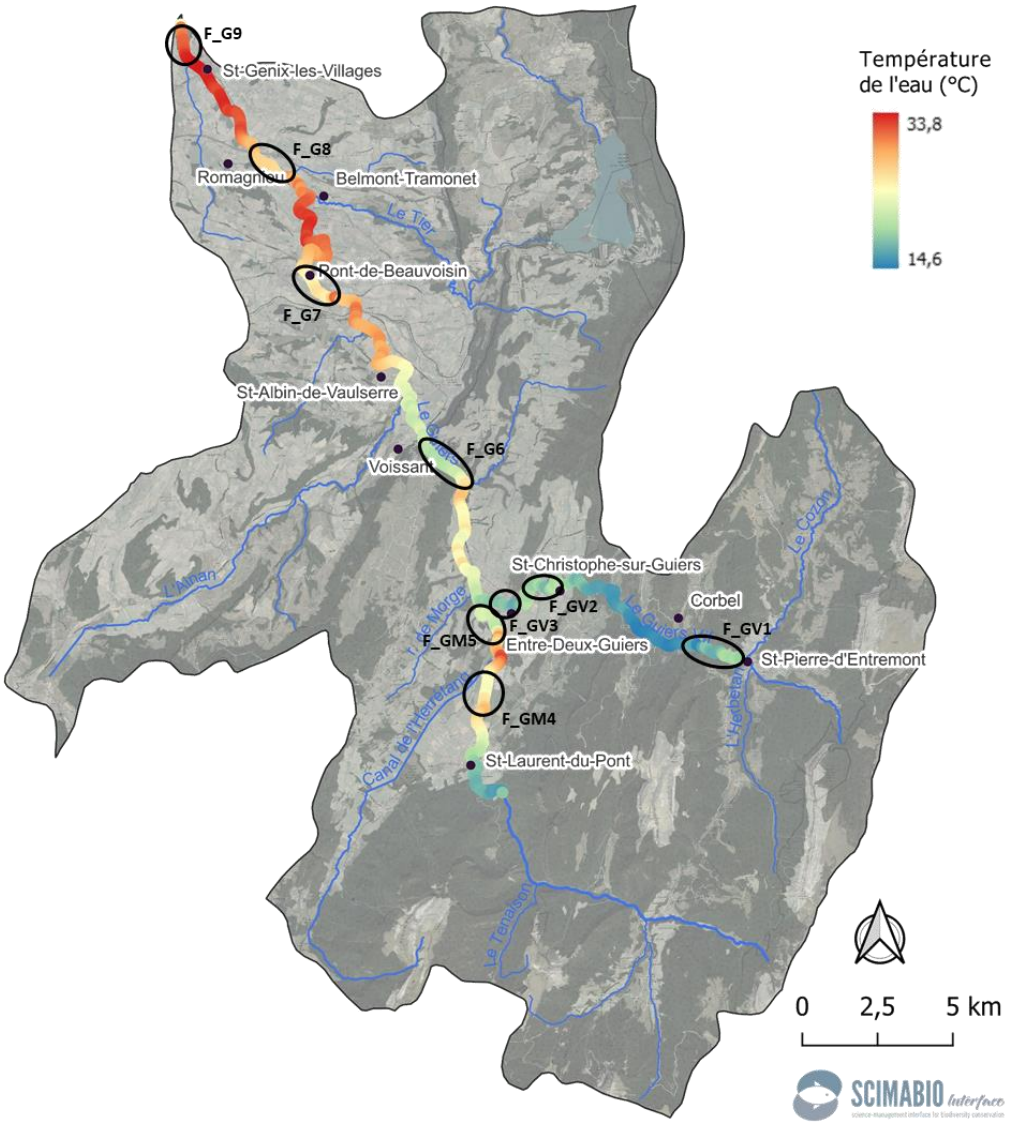


Figure 37 : Localisation des principaux refroidissements de la température médiane recensés sur le Guiers.

Cours d'eau	Code Pt chaud	T° Médiane Amt (°C)	T° Médiane avl (C°)	ΔT°C (Médiane)	T°Min tâche froide	PK Amt (km)	PK Avl (km)	Linéaire (km)	Gradient ($T°C.km^{-1}$)	Interprétations
Guiers vif	F_GV1	20,6	16,1	**-4,5**	**15,3°C**	39,25	35,85	**3,4**	**-1,3**	Quelques résurgences karstiques, zone de gorge, très ombragé, écoulement Est-Ouest.
Guiers vif	F_GV2	21	18,9	**-2,1**	**14,3°C**	31,55	31,25	**0,3**	**-7,0**	Restitution de la pisciculture de St Christophe.
Guiers vif	F_GV3	21	18,3	**-2,7**	**12,9°C**	30,05	29,55	**0,5**	**-5,4**	Résurgences latérales rive droite secteur de l'Argenette en amont Des Echelles.
Guiers mort	F_GM4	25,1	23,5	**-1,6**	**14,1°C**	32,85	32,15	**0,7**	**-2,3**	Résurgences latérales rives droite et gauche dans la zone humide à la sortie de St-Laurent du Pont.
Guiers mort	F_GM5	26,3	22,1	**-4,2**	**17,2°C**	30,85	29,55	**1,3**	**-3,2**	Exutoire de l'Herrétang en rive gauche et confluence de l'Aigue Noire en rive droite.
Guiers	F_G6	24,4	20,6	**-3,8**	**18,0°C**	23,95	22,45	**1,5**	**-2,5**	Divers apports hyporhéiques résurgeant au niveau des gorges de Chailles et du Ruisseau de Morges en rive droite.
Guiers	F_G7	25,8	23,9	**-1,9**	**16,9°C**	15,15	12,95	**2,2**	**-0,9**	Plusieurs résurgences latérales en rive gauche à l'entrée de Pont de Beauvoisin.
Guiers	F_G8	26,3	24,5	**-1,8**	**21,9°C**	8,65	6,45	**2,2**	**-0,8**	Confluence du Thiers et quelques résurgences latérales en rive gauche en aval.
Guiers	F_G9	27,2	25,6	**-1,6**	**15,0°C**	1,65	0,35	**1,3**	**-1,2**	Nombreuses résurgences latérales rive gauche au niveau de St-Genix. A noter qu'au niveau de sa confluence a température du Guiers est environ 2,3°C plus élevée que celle du Rhône.

Tableau 2 : Caractéristique et description des principaux refroidissements recensés sur le Guiers.

3.4.3 CARTOGRAPHIES THERMIQUES DÉTAILLÉES



Figure 38 : carte des températures médianes tous les 100 mètres et des poches froides illustrant le refroidissement observé dans les gorges du Guiers Vif à l'aval de St-Pierre d'Entremont (F_GV1).

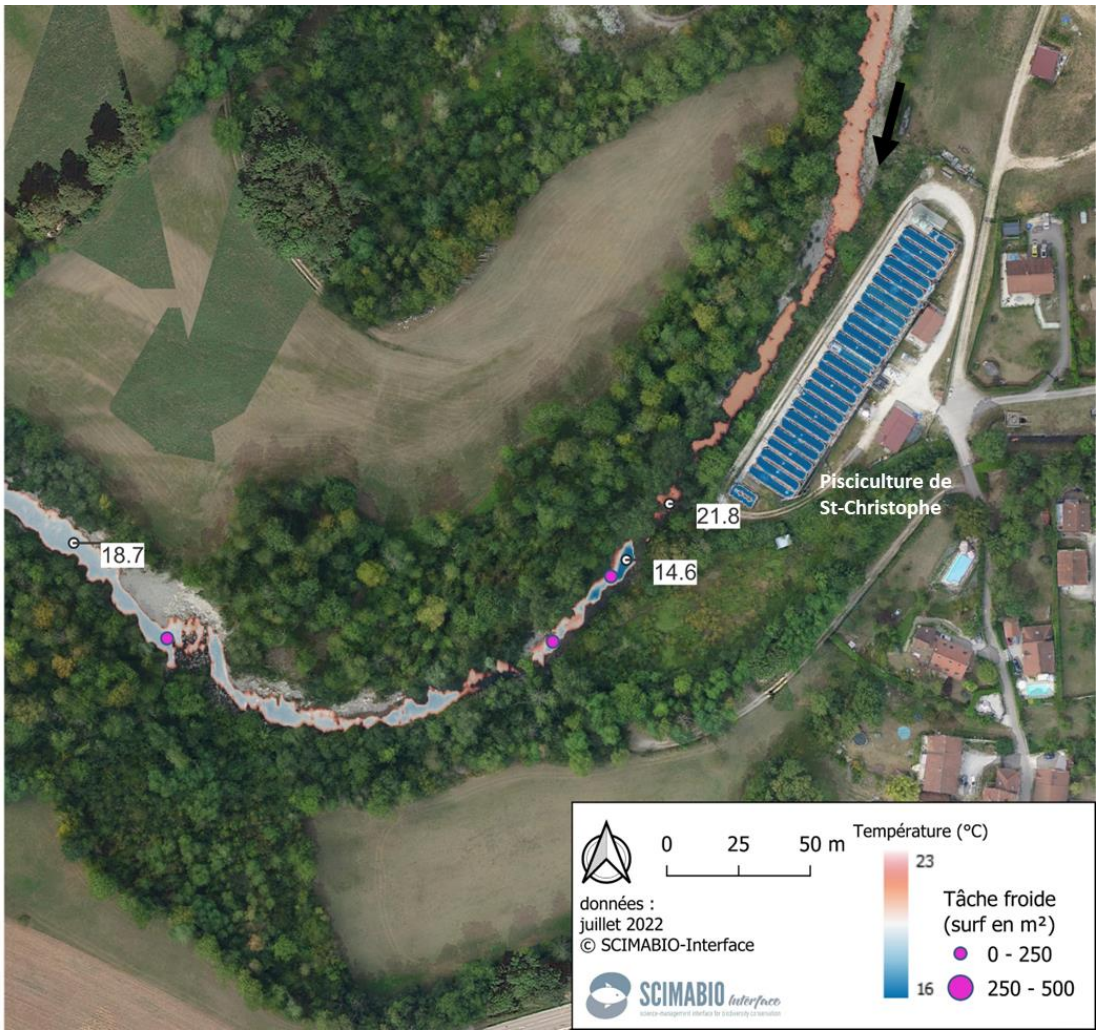


Figure 39 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant le refroidissement observé au niveau de la restitution de la pisciculture de St-Christophe sur le Guiers Vif (F_GV2).



Figure 40 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les résurgences latérales en rive droite observées au niveau de l'Argenette en amont Des Echelles sur le Guiers Vif (F_GV3).

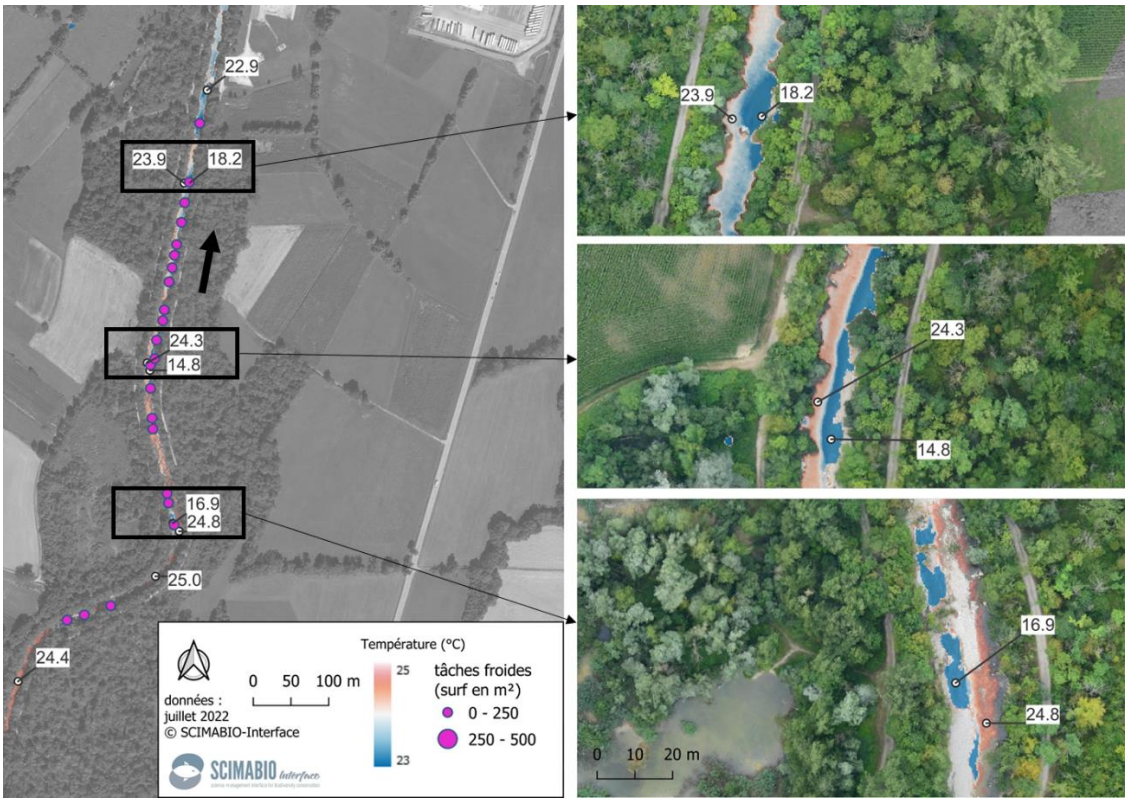


Figure 41 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les résurgences latérales rive gauche et droite observées à la sortie de St-Laurent du Pont sur le Guiers Mort (F_GM4).

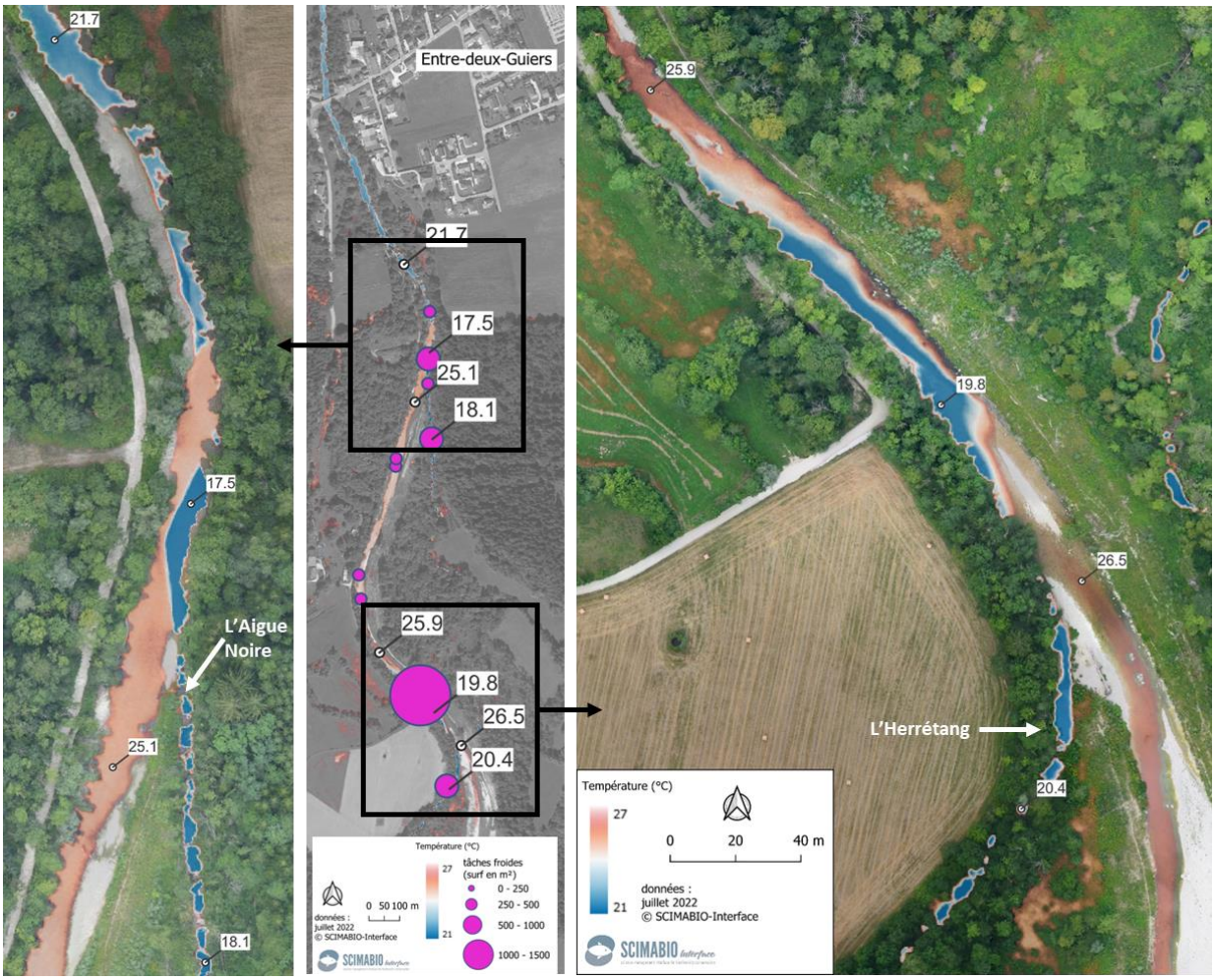


Figure 42 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les apports de l'Herrétang (rive gauche) et de l'Aigue Noire (rive droite) sur le Guiers Mort (F_GM5).

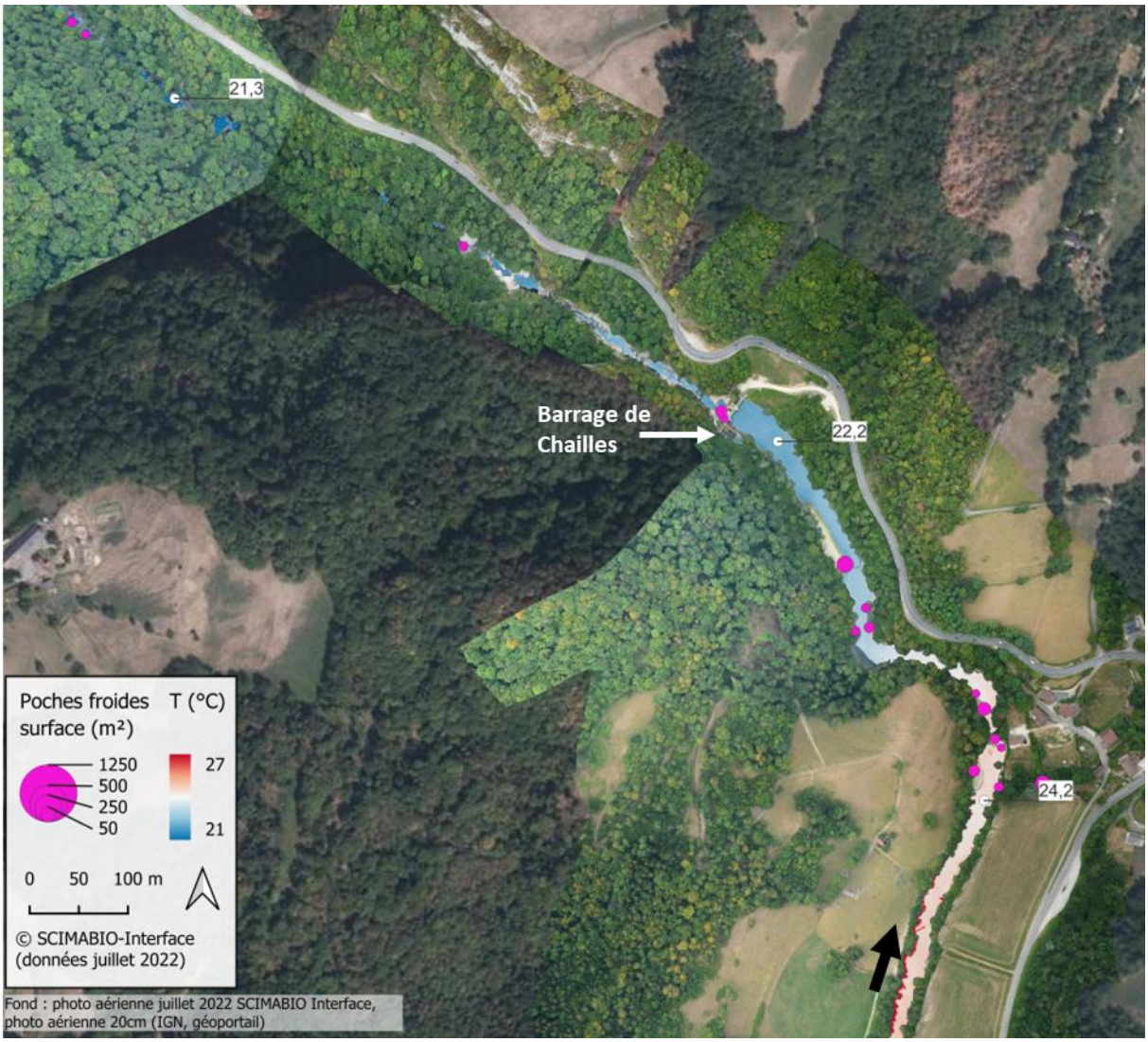


Figure 43 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les poches froides et le refroidissement observés au niveau des gorges de Chailles sur le Guiers (F_G6).

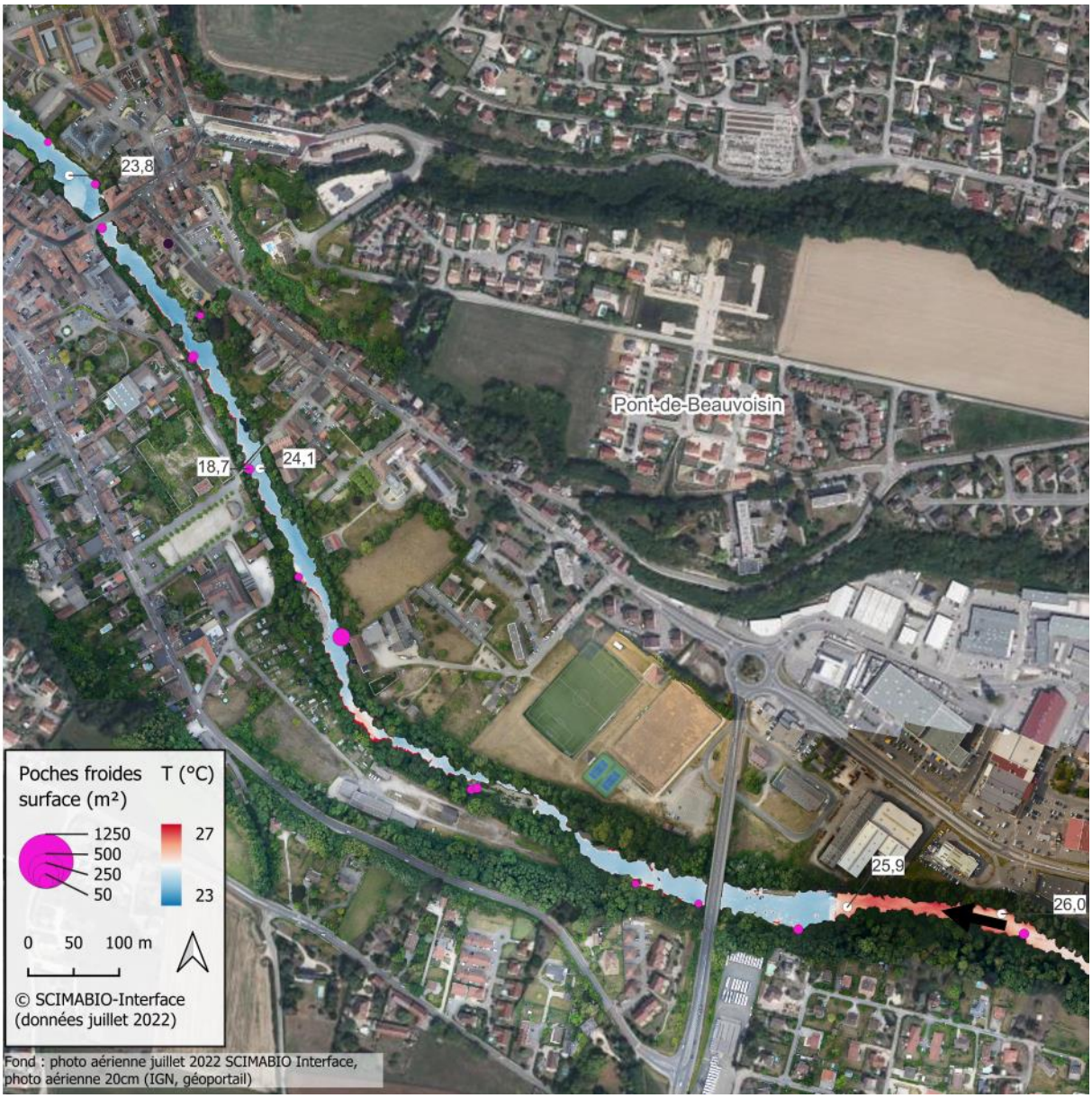


Figure 44 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les résurgences observées à l'entrée de Pont de Beauvoisin sur le Guiers (F_G7).

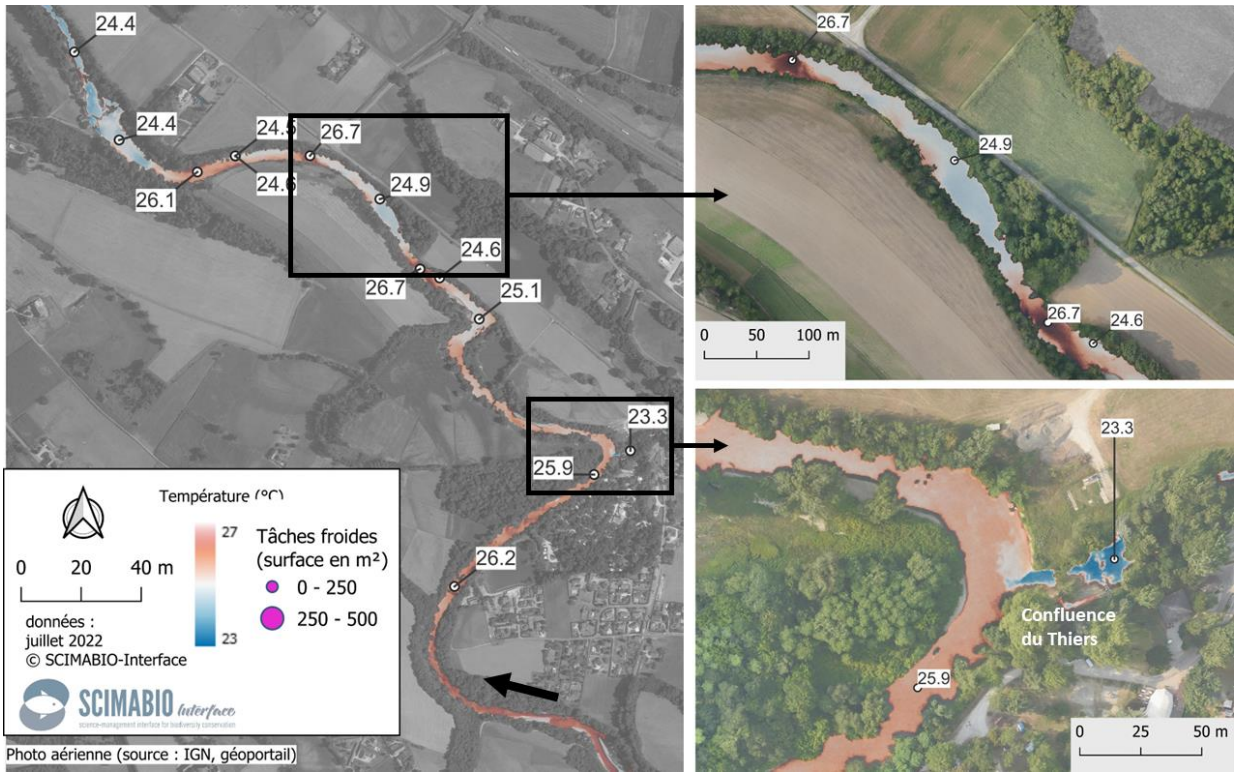


Figure 45 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les refroidissements observés au niveau de la confluence du Thiers et de résurgences latérales en rive droite sur le Guiers (F_G8).

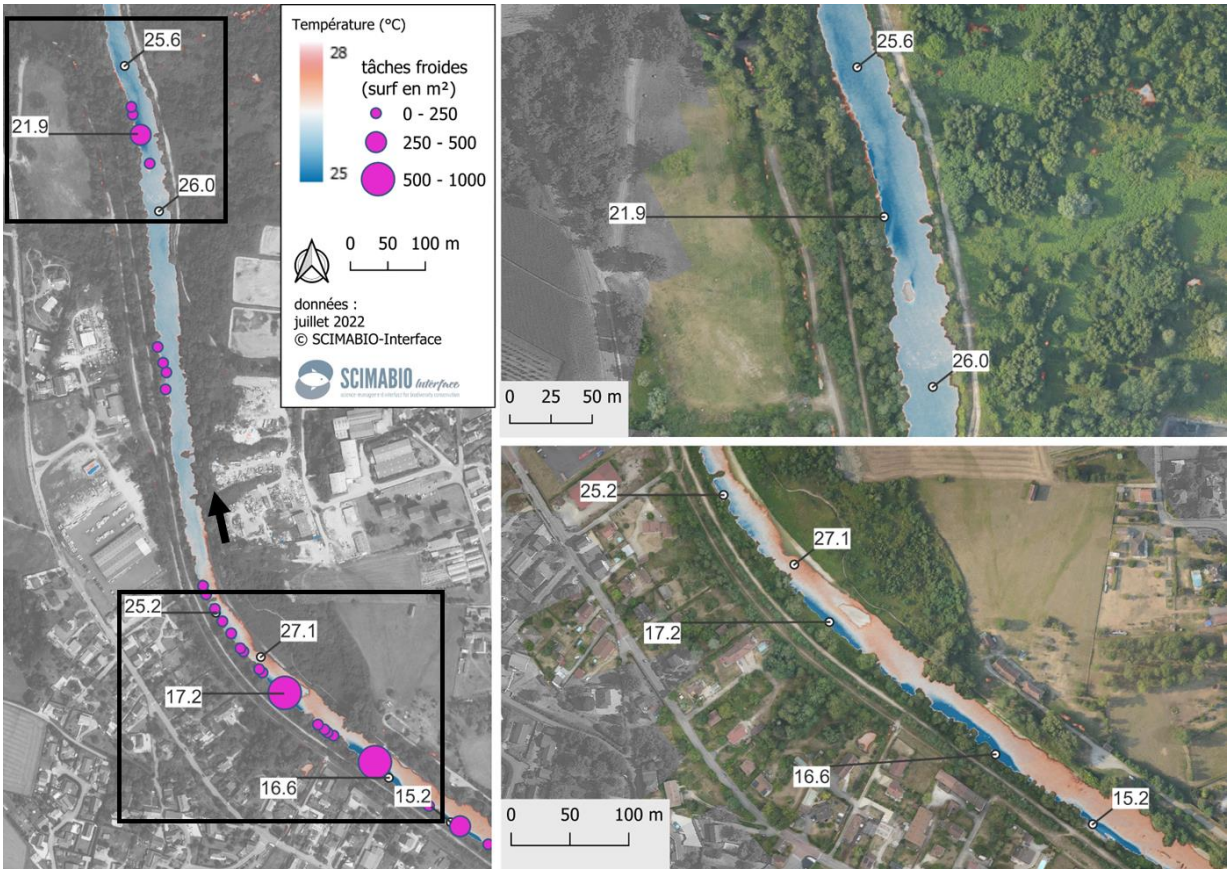


Figure 46 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant les résurgences latérales phréatiques observées sur l'aval du Guiers à St-Genix (F_G9).

3.5 VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES HABITATS THERMIQUES VIS À VIS DES SALMONIDÉS

Pour interpréter les conditions d'habitat thermique sur le Guiers vis-à-vis des salmonidés, les données spatiales obtenues par IRT-a ainsi que les données temporelles collectées par 12 enregistreurs thermiques au cours de l'été 2022 (données FDPPMA 38/PNR Chartreuse/SCIMABIO Interface) ont été confrontées aux exigences écologiques de la truite commune.

Au niveau spatial, le profil thermique obtenu par IRT-a le 20 juillet 2022 montre qu'aux heures les plus chaudes de la journée, plus de 80% du linéaire des trois Guiers se situe au-dessus de 19°C, c'est-à-dire dans des conditions de stress physiologique pour la truite (figure 47, tableau 3). Moins de 3% du linéaire montre des conditions thermiques dans l'optimum écologique des salmonidés en dessous de 17°C et 30% montre des températures médianes supérieures à 25°C, valeur considérée comme l'étal pour l'espèce.

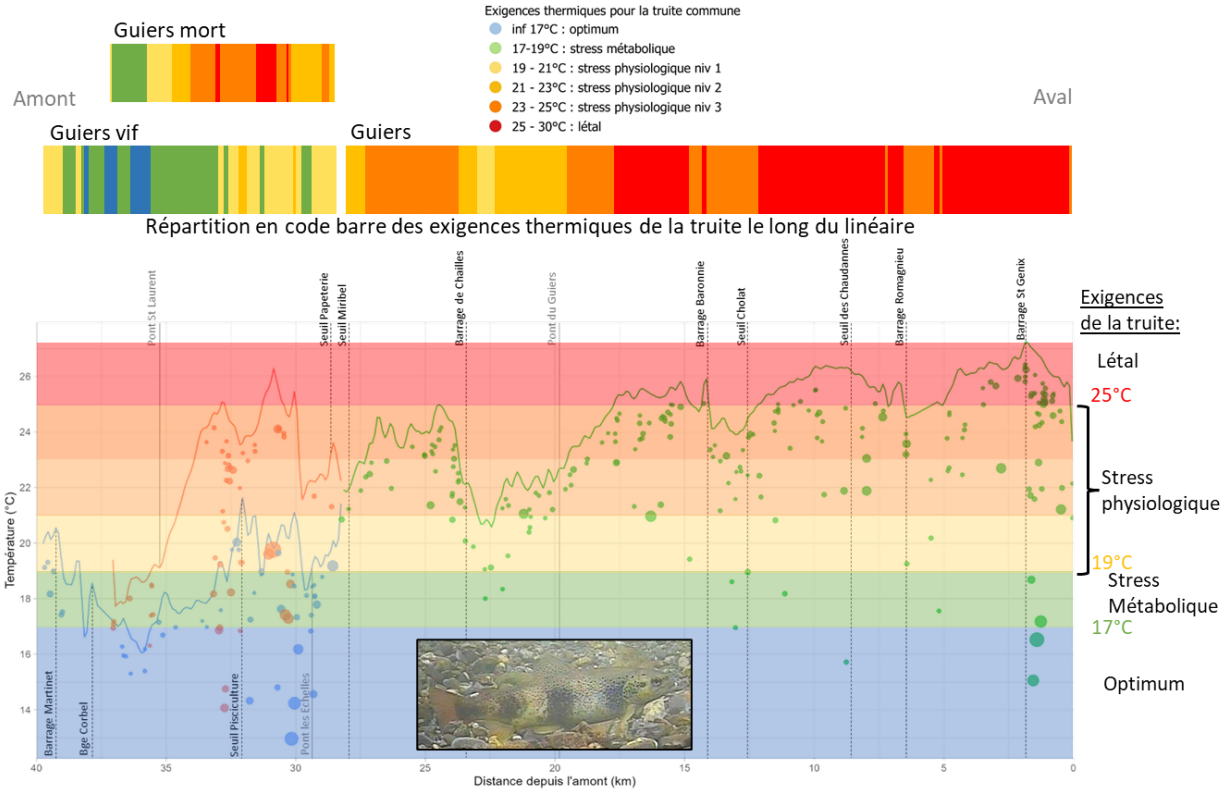


Figure 47 : Confrontation du profil thermique obtenu par IRT-a aux exigences thermiques de la truite commune et retranscription en code barre des exigences le long du linéaire du Guiers.

≤17°C	Optimum		2,8%
17-19°C	Stress métabolique		13,3%
19-21°C	Stress physiologique	12,9%	53,2%
21-23°C		14,4%	
23-25°C		25,9%	
>25°C	Létal		30,7%

Tableau 3 : Pourcentages du linéaire des 3 Guiers correspondant aux différentes exigences thermiques de la truite commune calculés à partir des températures médianes par tronçon de 100m. Le code couleur des différentes gammes de température est identique à celui utilisé dans la figure 47.

Sur le Guiers Mort, les conditions thermiques sont acceptables pour les salmonidés sur la partie amont jusqu'à St-Laurent du Pont. La sortie de St-Laurent du Pont représente un point de basculement thermique puisque les conditions deviennent nettement défavorables pour les salmonidés avec des températures médianes majoritairement au-dessus de 23°C et même des linéaires conséquents au-dessus de 25°C.

Sur le Guiers Vif, nos relevés IRT-a indiquent que les conditions thermiques dépassent les 19°C dès l'amont au niveau de St-Pierre d'Entremont. En aval, les conditions deviennent favorables avec des températures inférieures à 17°C ou 19°C grâce au passage dans les gorges et à plusieurs apports karstiques. Un basculement thermique s'opère à partir de la sortie des gorges, soit à l'entrée de St-Christophe sur Guiers, avec des conditions qui deviennent moins favorables et des températures médianes au-dessus de 19°C mais qui restent cependant en dessous de 21°C. Plus en aval, deux zones retrouvent des conditions optimales pour les salmonidés sur de faibles linéaires grâce à des apports d'eau froide, en aval de la restitution de la pisciculture de St-Christophe et en amont des Echelles au niveau des résurgences de l'Argenette.

Sur le Guiers, les conditions sont nettement défavorables aux salmonidés dès la jonction des deux Guiers avec des températures médianes supérieures à 21°C. Ensuite, les conditions thermiques se dégradent avec des valeurs au-dessus de 23°C et même 25°C sur une majorité du linéaire.

Ces données spatialisées représentent les conditions thermiques obtenues le jour du survol aux heures les plus chaudes, elles renseignent donc sur les conditions les plus défavorables rencontrées par les salmonidés. Cependant, elles ne représentent pas les conditions thermiques obtenues tout au long de l'été. Pour mieux apprécier les conditions thermiques auxquelles sont soumis les poissons pendant l'été, les variations des habitats thermiques au cours du temps ont été analysées à partir des données horaires des 12 enregistreurs thermiques répartis sur les Guiers (figure 48).

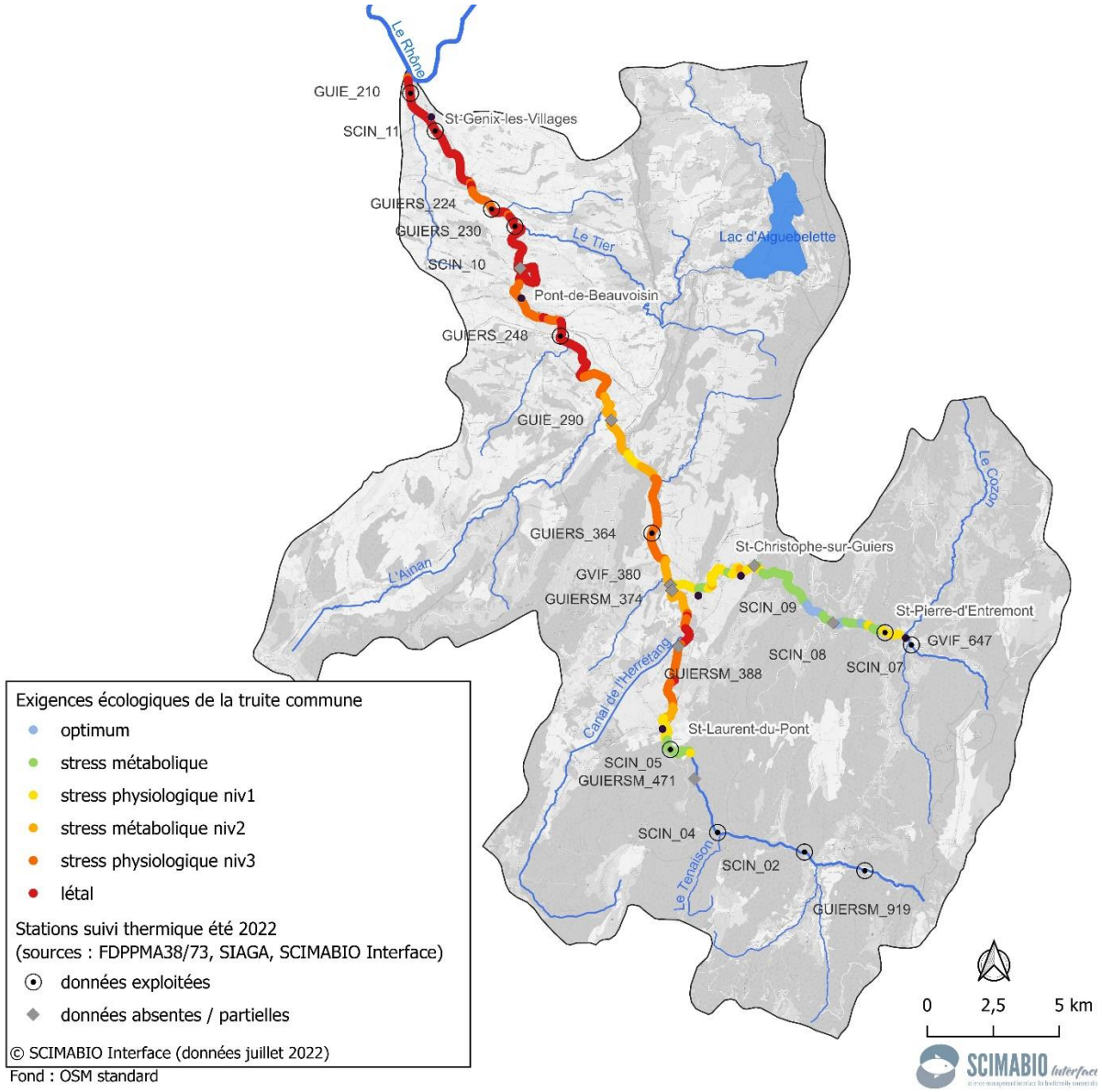


Figure 48 : Linéaire des conditions de température observées par IRT-a vis-à-vis des tolérances thermiques de la truite commune, et localisation des 12 enregistreurs thermiques utilisés pour l'analyse temporelle des conditions thermiques.

Dans un premier temps, la représentativité temporelle des données spatiale obtenues par IRT a été appréciée sur une petite échelle de temps en étudiant les variations thermiques journalières sur 3 jours autour de la date du survol. Les résultats indiquent que le survol pour l'acquisition des données IRT a été réalisé autour des heures les plus chaudes de la journée. Le long du cours d'eau, les pics de températures d'eau ne tombent pas exactement dans la même tranche horaire mais se répartissent entre 15h et 18h. Par contre, sur toutes les stations, les températures d'eau les plus faibles sont observées entre 8h et 9h du matin (figure 49).

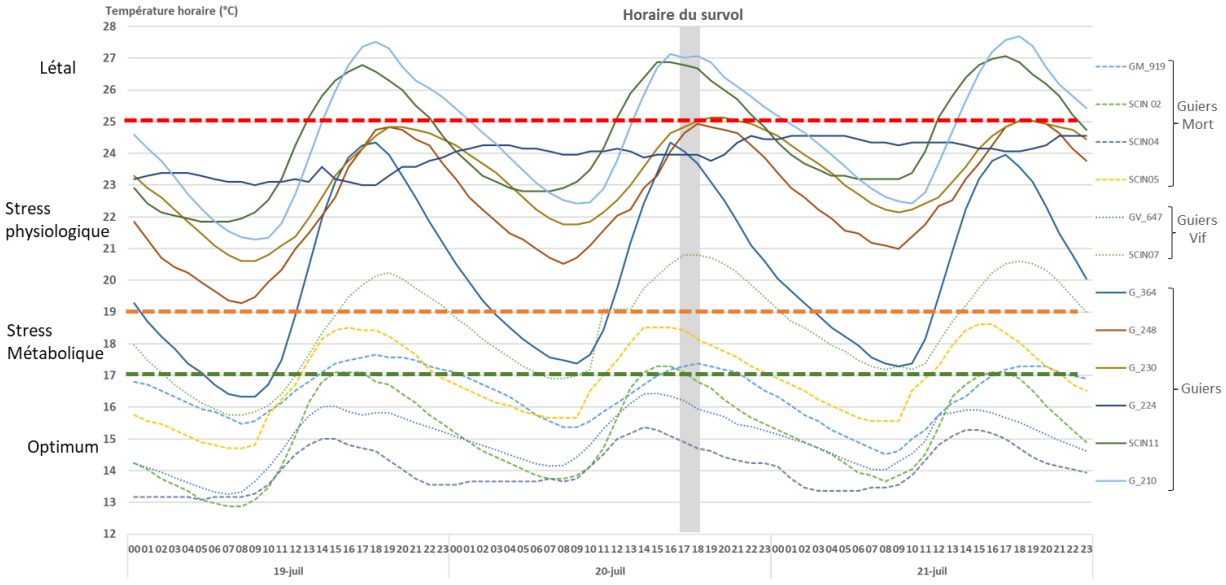


Figure 49 : Données de températures horaires sur les 14 stations suivies au cours de l'été 2022 autour de la date du survol réalisé pour l'IRT (données FDPPMA73, FDPPMA38, SIAGA, SCIMABIO).

Dans un deuxième temps, les conditions thermiques pour la truite ont été évaluées sur l'ensemble de la période estivale, à savoir du 01 juin au 30 septembre 2022 (figures 50a et 50b), il ressort :

Sur le Guiers Vif, les conditions thermiques restent favorables tout l'été sur sa moitié amont jusqu'à St-Christophe avec des températures qui restent majoritairement dans l'optimum pour les salmonidés et avec des conditions de stress supérieures à 19°C qui ne représentent que 10% du temps. Sur le linéaire aval à partir de St-Christophe, les conditions sont nettement moins favorables avec des niveaux de stress qui sont plus élevés mais l'habitat thermique reste acceptable grâce probablement à des durées de stress relativement faibles et à des variations journalières qui permettent aux salmonidés de retrouver des conditions favorables certaines heures de la journée.

Sur le Guiers, après la jonction du Guiers Vif et du Guiers Mort, la situation se dégrade rapidement. Dès l'aval de Miribel, le pourcentage de temps dans l'optimum des salmonidés (<17°) devient minoritaire au cours de l'été (40% du temps). Les conditions de stress sont donc majoritaires avec même des conditions supérieures à 19°C qui représentent 36% du temps entre le 15/06 et le 15/08. Les salmonidés sont donc confrontés la majorité du temps au cours de l'été à un habitat thermique défavorable. Heureusement, les conditions thermiques varient fortement au cours de la journée et les habitats thermiques redeviennent acceptables plusieurs heures consécutives par jour. Les variations nycthémérales de températures et la présence de poches froides locales sont donc essentielles au maintien des salmonidés sur cette partie du Guiers.

Un basculement des conditions thermiques est observé à partir de St-Albin-de-Vaulserre à partir duquel les habitats thermiques restent défavorables à des niveaux de stress élevés la majorité de l'été et sans retrouver des conditions accpetables au cours de la journée. Les conditions de stress supérieures à 19°C à l'amont de Pont de Beauvoisin représentent près de 70% du temps entre le 15/06 et le 15/08 puis atteint plus de 90% à partir de Romagnieu. Dans cette situation, où des habitats thermiques favorables deviennent minoritaires, la capacité d'accueil pour les salmonidés se trouve fortement réduite. Seule la présence des refuges thermiques créés par des apports d'eau plus froide va permettre d'abriter des individus pendant la période critique.

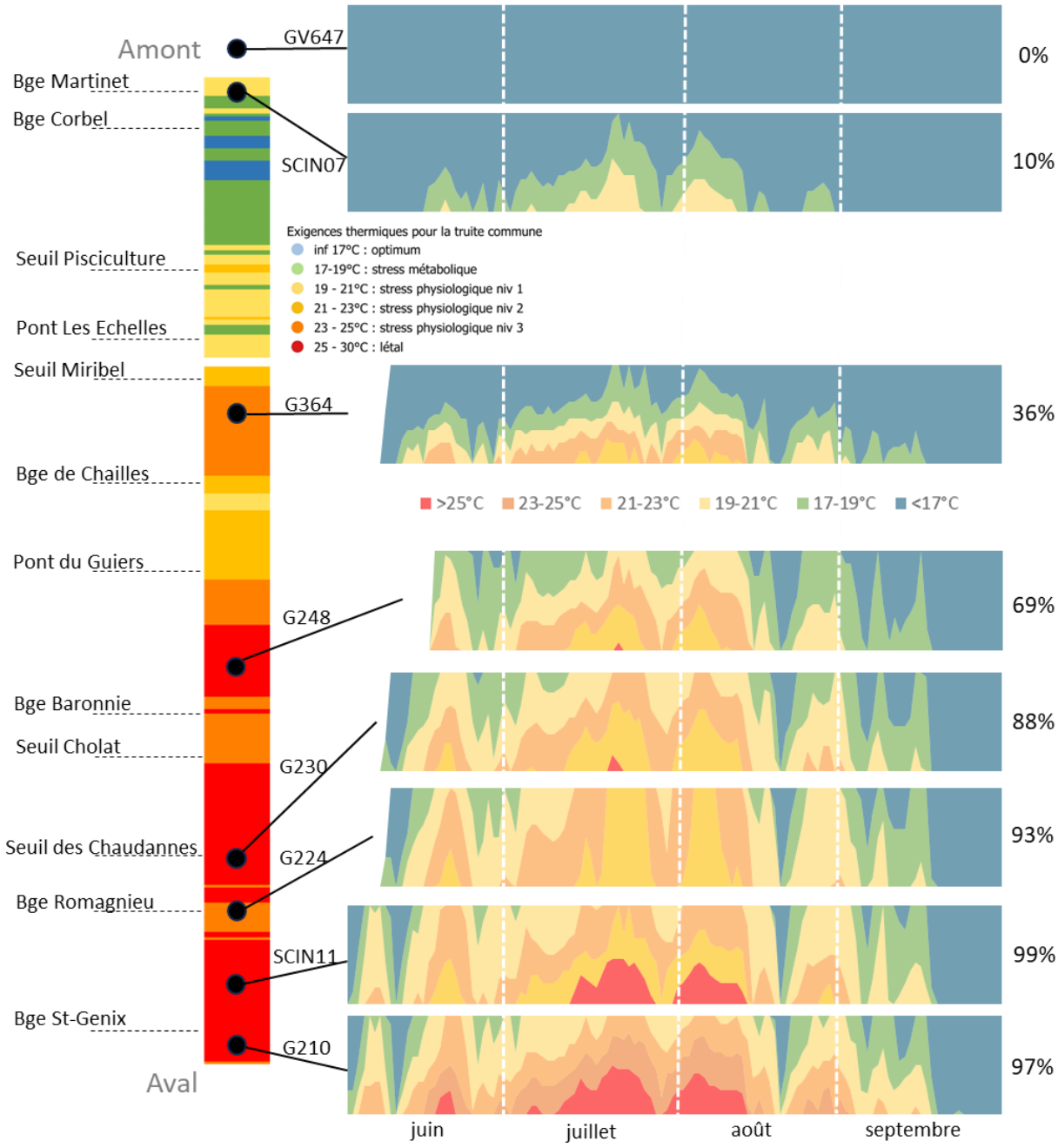


Figure 50a : Répartition spatio-temporelle des conditions d'habitats thermiques pour la truite sur le Guiers Vif et le Guiers. Le code barre retranscrit les linéaires des différentes exigences écologiques obtenus par IRT. Les graphiques à droite indiquent pour chacun des enregistreurs thermiques le pourcentage de temps par jour des différentes exigences écologiques pour les 4 mois de la période estivale. Les chiffres à droite indiquent le pourcentage de temps où la température est >19°C pendant les deux mois les plus critiques du 15 juin au 15 août.

Sur le Guiers Mort, les conditions thermiques restent favorables tout l'été à l'amont de st-Laurent-du-Pont avec des températures qui restent essentiellement dans l'optimum pour les salmonidés. Sur le secteur aval, l'absence de données fiables disponibles sur les stations de suivi ne permettent de préciser les variations des habitats thermiques au cours de l'été (figure 50b).

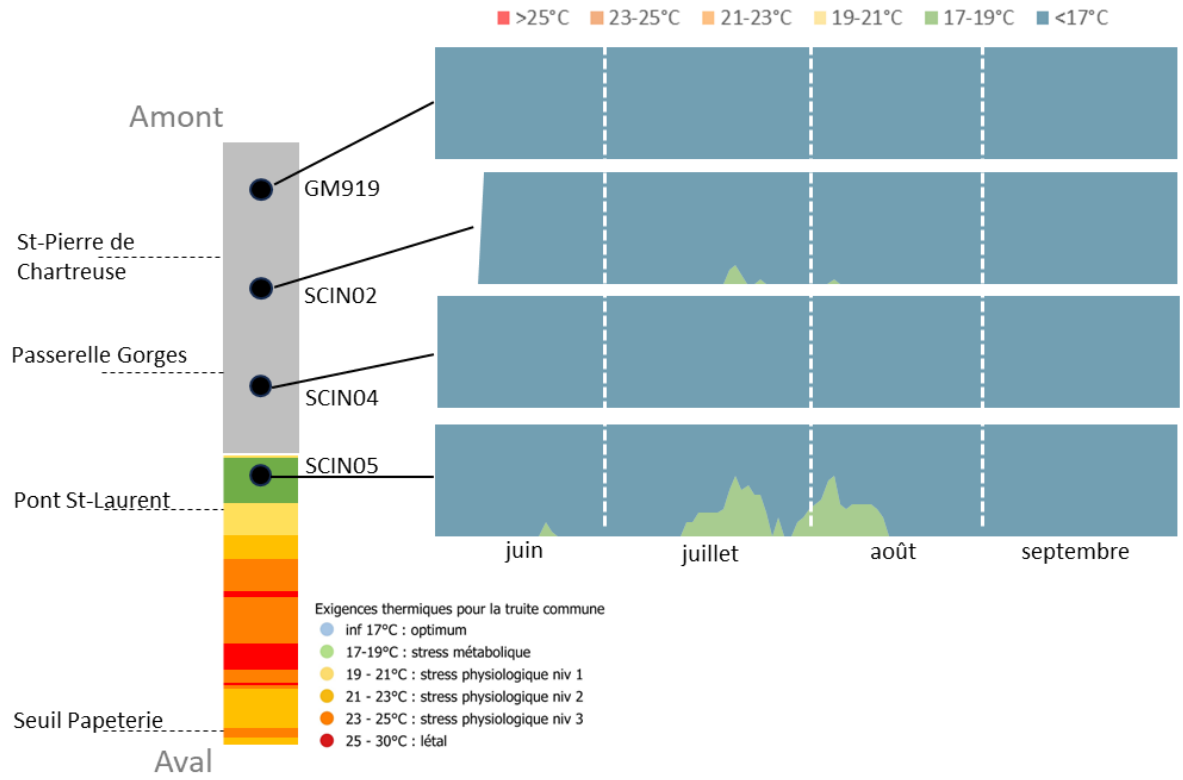


Figure 50b : Répartition spatio-temporelle des conditions d'habitats thermiques pour la truite sur le Guiers Mort. Le code barre retranscrit les linéaires des différentes exigences écologiques obtenus par IRT. Les graphiques à droite indiquent pour chacun des enregistreurs thermiques le pourcentage de temps par jour des différentes exigences écologiques pour les 4 mois de la période estivale.

3.6 REFUGES THERMIQUES ET REFUGES CLIMATIQUES POTENTIELS POUR LES SALMONIDÉS

Les poches froides cartographiées à l'échelle du bassin versant constituent des apports d'eau présentant un intérêt particulier pour maintenir les conditions thermiques de la rivière ou fournir de potentiels refuges thermiques pour les salmonidés (figure 51).

Au vu des conditions à l'échelle du bassin, seuls le Guiers Vif et le Guiers Mort à l'amont de St-Laurent du Pont représentent des refuges thermiques importants mais également des refuges climatiques à moyen et long terme. Il est donc important de s'assurer que les ouvrages présents en aval et sur ces linéaires soit facilement franchissables pour les poissons en particulier en période estivale (notamment le barrage de Chailles sur le Guiers, les barrages de la Papeterie, de Botta à la Fourvoirie et Vicat à la Perelle sur le Guiers Mort, des seuils au niveau Des Echelles, du seuil de la pisciculture à St-Christophe et des barrages de Corbel et du Martinet sur le Guiers Vif).

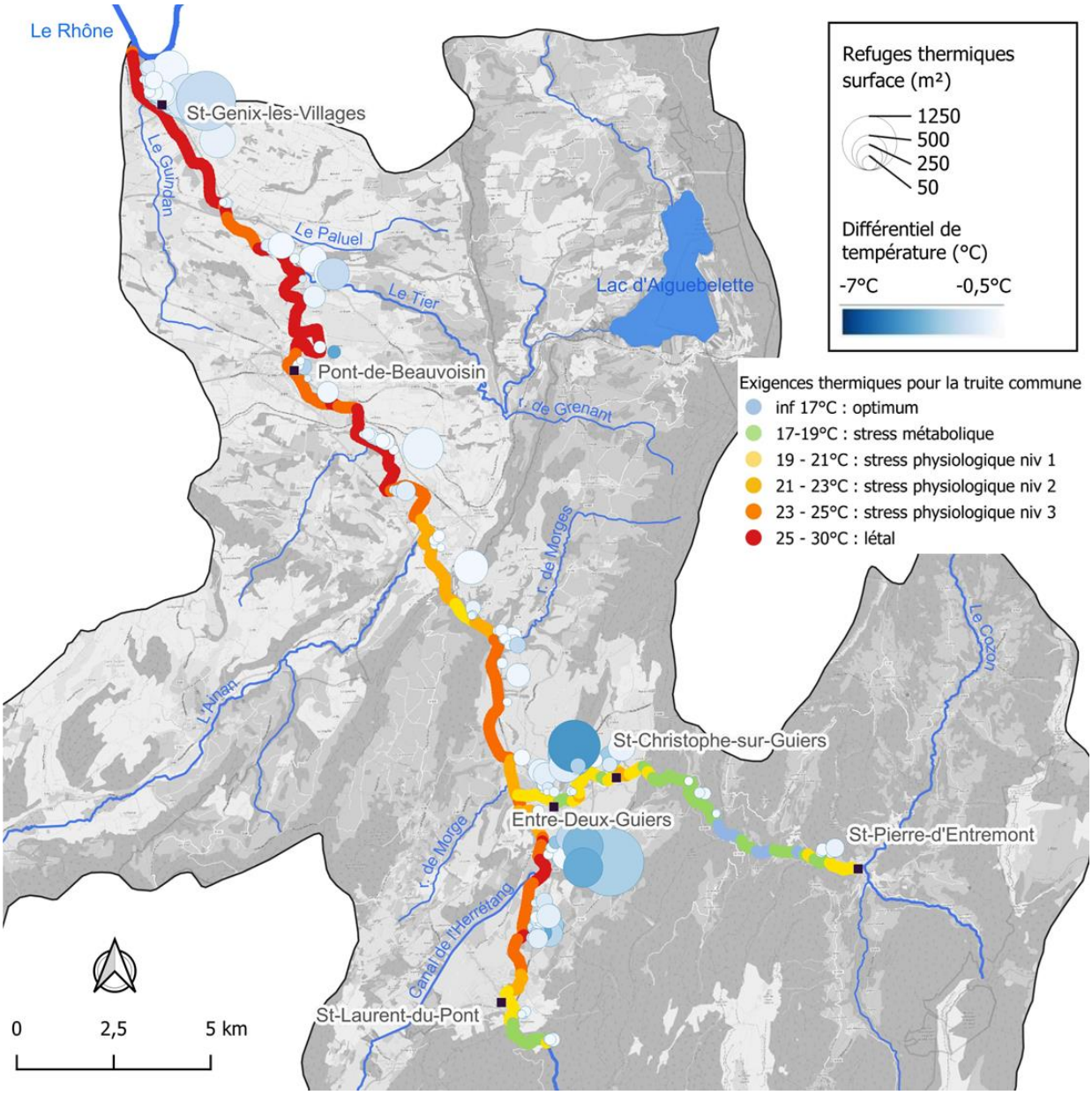


Figure 51 : Répartition et caractéristiques des poches froides présentant un intérêt potentiel comme refuges thermiques pour les salmonidés

Sur le Guiers Vif, plusieurs poches froides présentant un intérêt majeur pour le maintien de conditions thermiques favorables aux salmonidés ont été répertoriées :

- Dans les gorges, les différents apports provenant des résurgences karstiques ne constituent pas réellement des refuges thermiques mais elles jouent un rôle primordial en permettant de maintenir des températures médianes favorables à la vie salmonicole.
- La restitution de la pisciculture de St-Christophe alimentée par un captage représente un refuge thermique 'artificiel' très important pour les salmonidés sur ce secteur. Au niveau du rejet d'eau, la température de l'eau, qui était défavorable en amont avec des valeurs supérieures à 21°C, redevient dans le préférendum des salmonidés avec des valeurs en dessous de 17°C. L'effet bénéfique de cet apport se poursuit sur plus de 300 mètres en aval avec des températures restant inférieures à 19°C (figure 52).

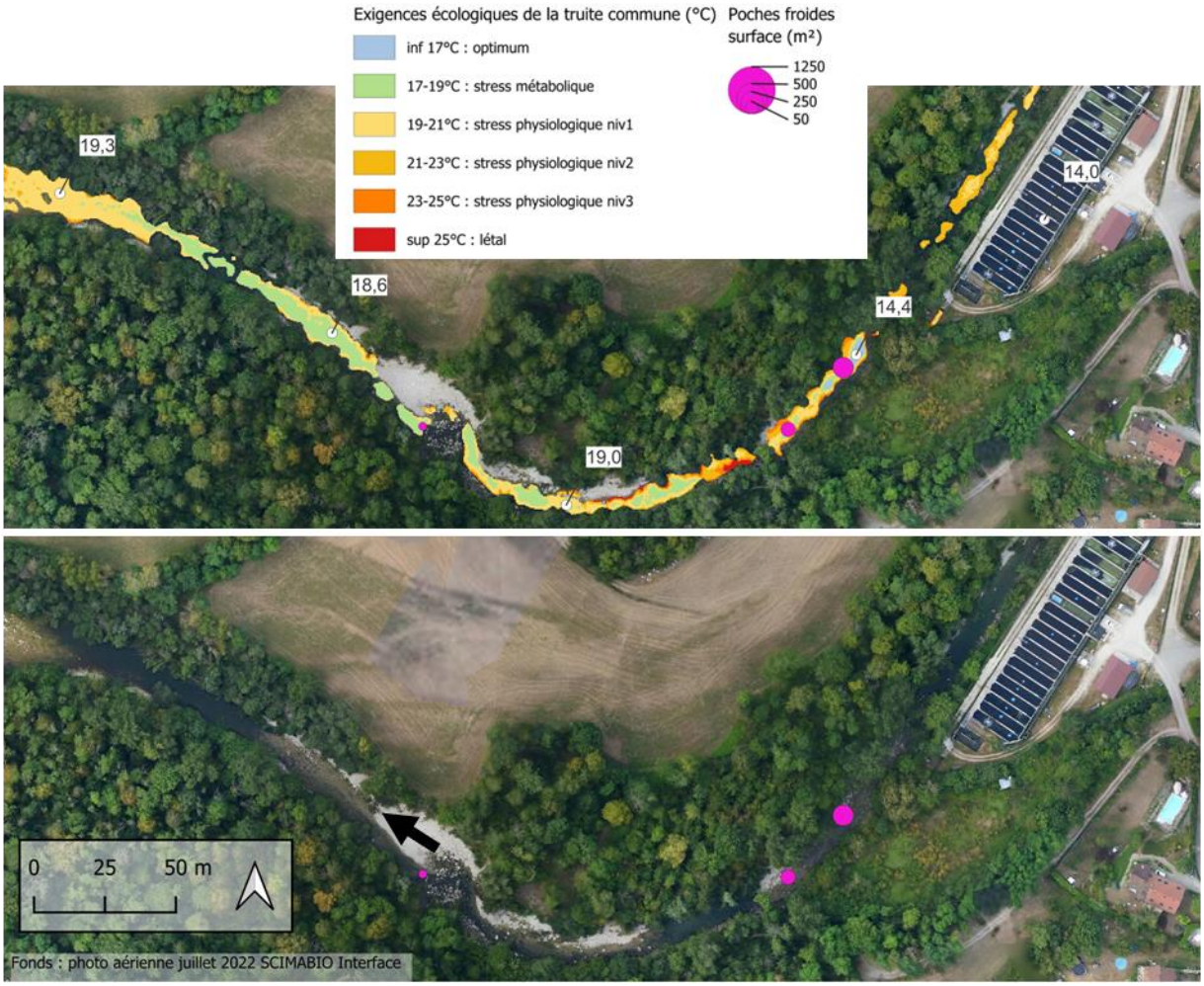


Figure 52 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'amélioration des conditions thermiques de la rivière au niveau de la restitution du captage de la pisciculture à St-Christophe.

- Les résurgences latérales présentent au niveau de la confluence du Merderet provoque un effet refuge thermique localisé en refroidissant la température de l'eau en rive droite sur un secteur qui s'échauffe fortement avec des températures supérieures à 25°C en rive gauche (figure 53).

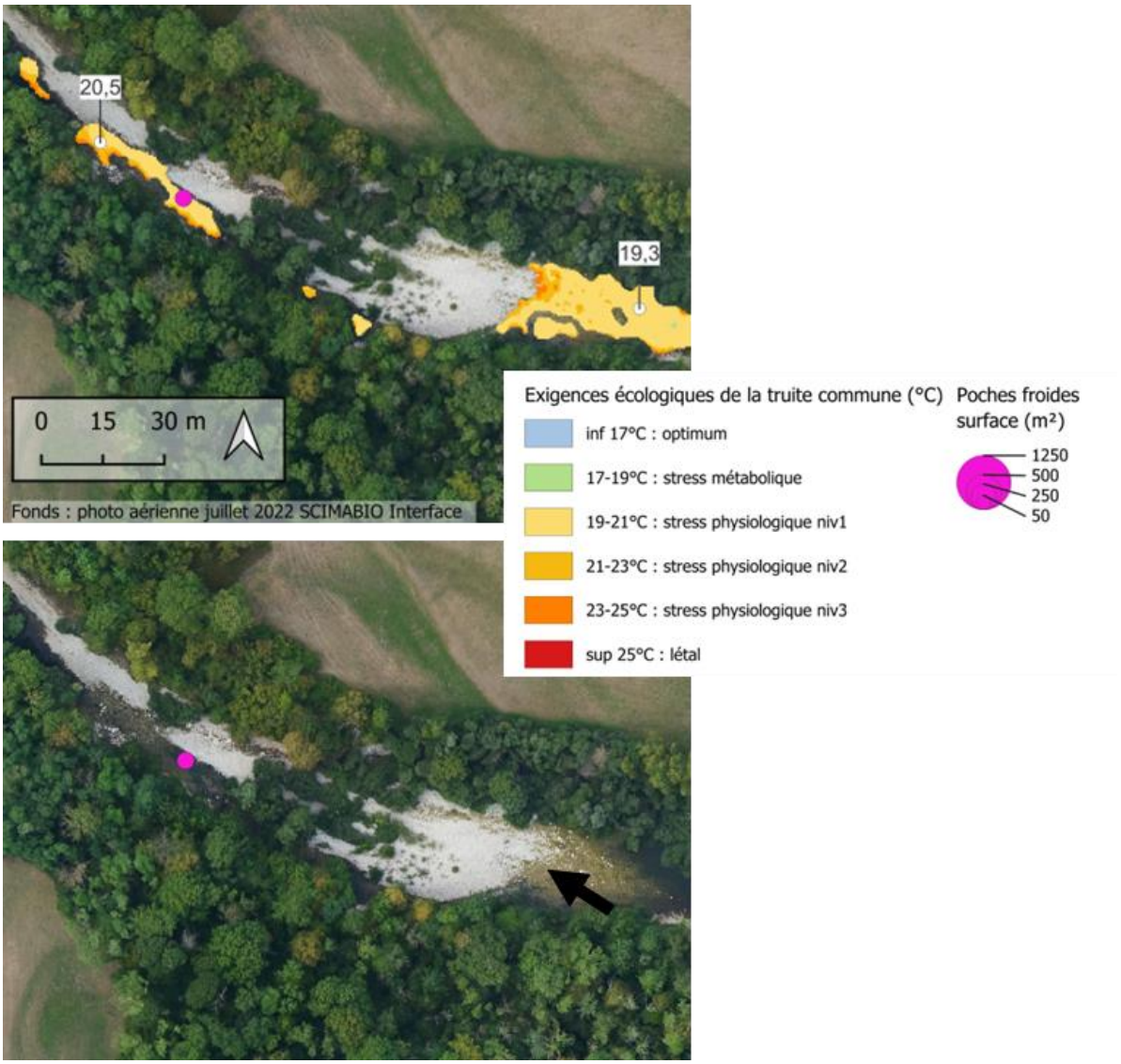


Figure 53 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'effet refuge thermique obtenu grâce aux résurgences latérales au niveau du Merderet.

- Les résurgences provenant du bras latéral en rive droite situé au niveau de la résidence Béatrice entre les communes de St-Christophe et des Echelles représentent à la fois un apport d'eau froide conséquent qui agit sur la température médiane du cours d'eau et un refuge thermique pour les salmonidés (figure 54). La température minimale de cet apport mesurée autour de 14°C suggère une origine phréatique.

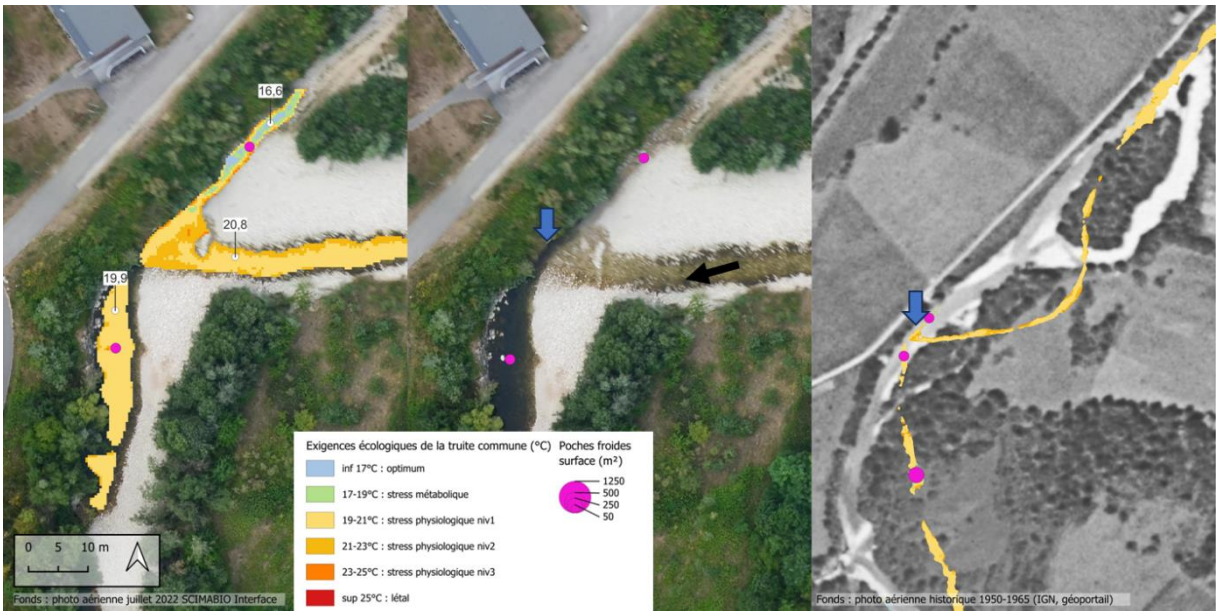


Figure 54 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto de 2022 et historique (1950-1965) illustrant l'effet refuge thermique obtenu grâce aux apports phréatiques qui arrivent au niveau de l'ancien chenal principal.

- Les différentes résurgences provenant du bras latéral en rive droite au niveau de l'Argenette représentent également un apport d'eau froide primordial qui influence la température médiane de la rivière en aval et constitue un refuge thermique (figure 55).

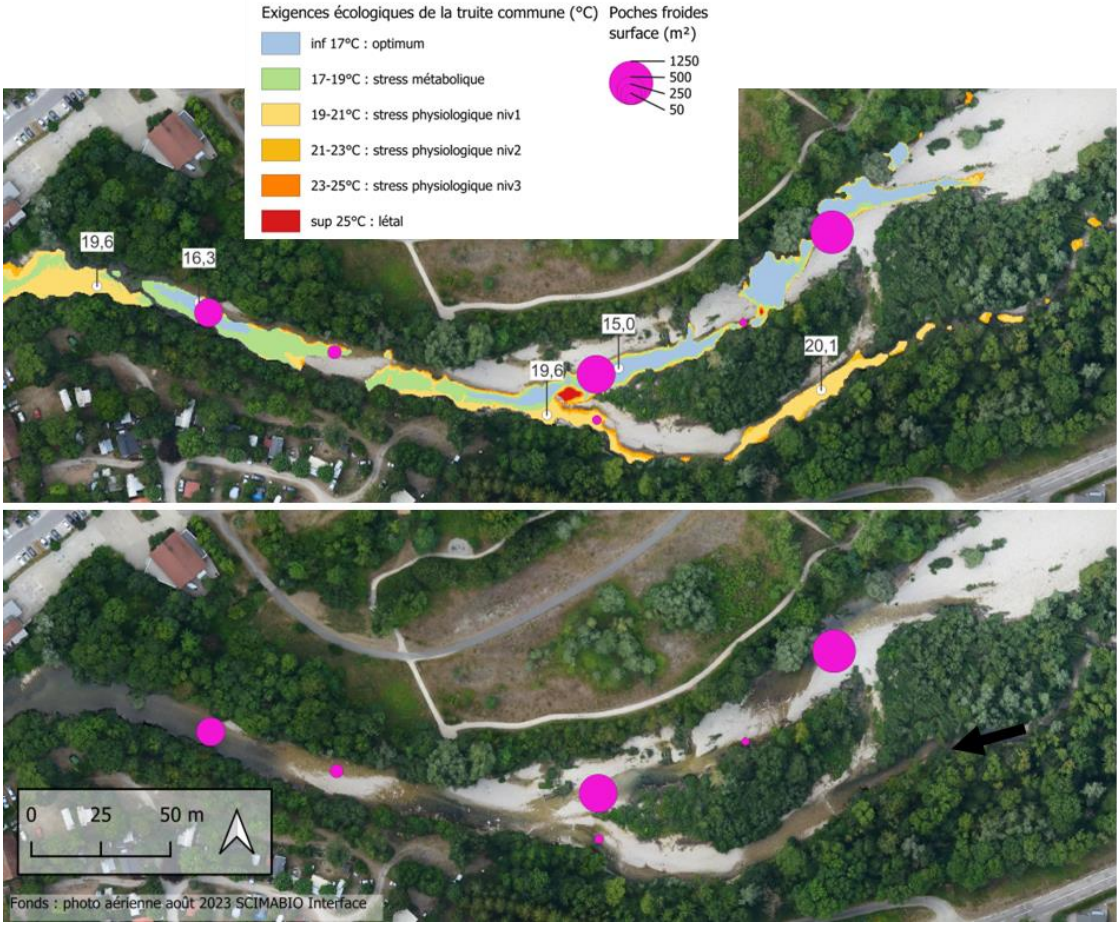


Figure 55 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'amélioration des conditions thermiques obtenue grâce aux résurgences de l'Argenette.

- Plusieurs résurgences latérales en rive gauche au niveau du stade d'Entre deux Guiers permettent d'améliorer localement les conditions thermiques pour les salmonidés sur un linéaire d'environ 250 mètres (Figure 56).

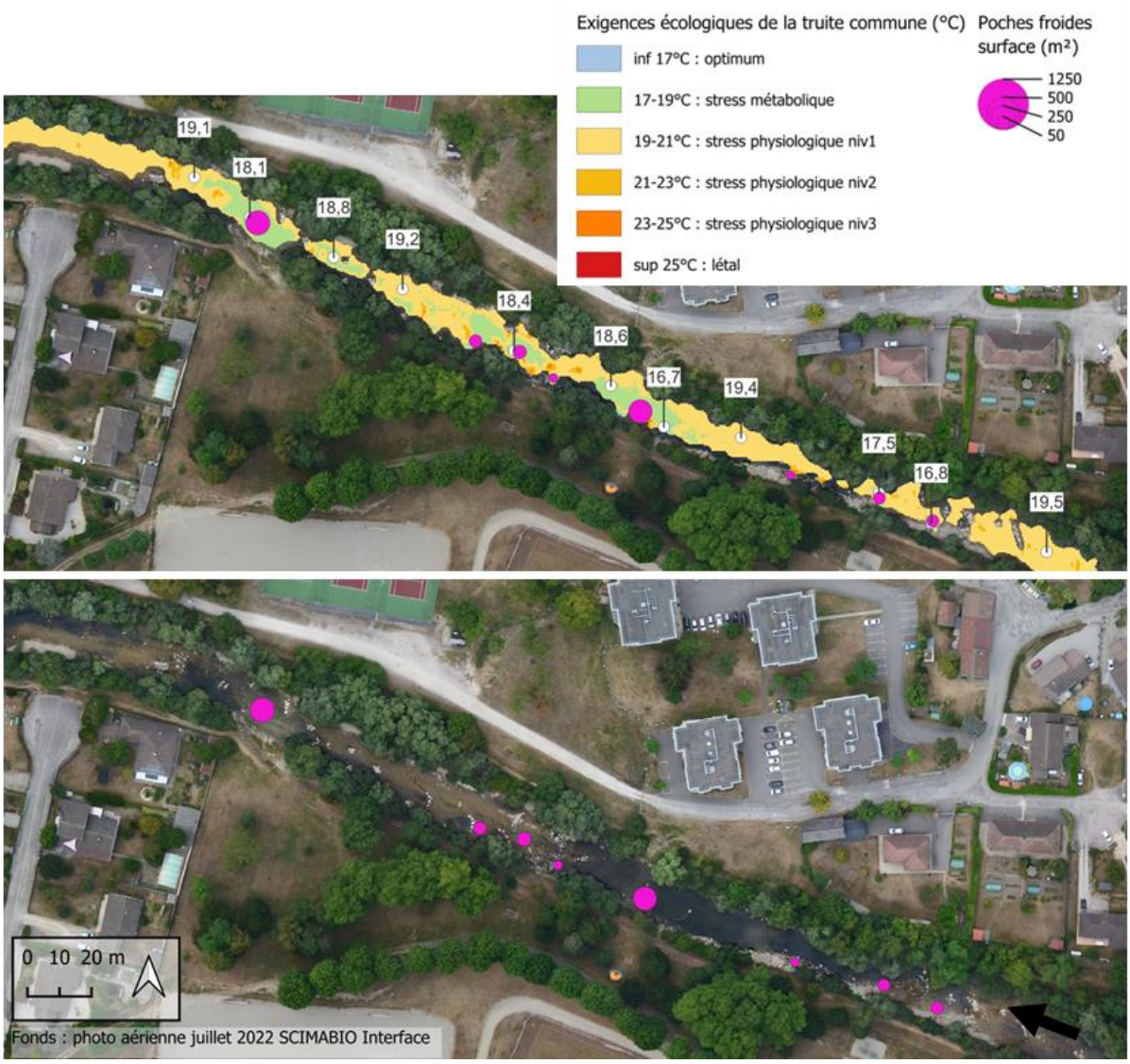


Figure 56 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les poches de refuges thermiques obtenues par les résurgences latérales et prolongés par les courants créés par les petits seuils au niveau d'Entre-deux-Guiers.

Sur le Guiers Mort, les poches froides répertoriées, présentant un intérêt majeur pour le maintien de conditions thermiques favorables aux salmonidés, sont :

- Dans les gorges au niveau de Fourvoirie, quelques apports participent à maintenir des températures médianes favorables aux salmonidés en dessous de 19°C.
- A l'entrée de St-Laurent, quelques apports en rive droite permettent d'améliorer localement sur une centaine de mètres les températures d'eau en maintenant des valeurs en dessous de 19°C (figure 57).

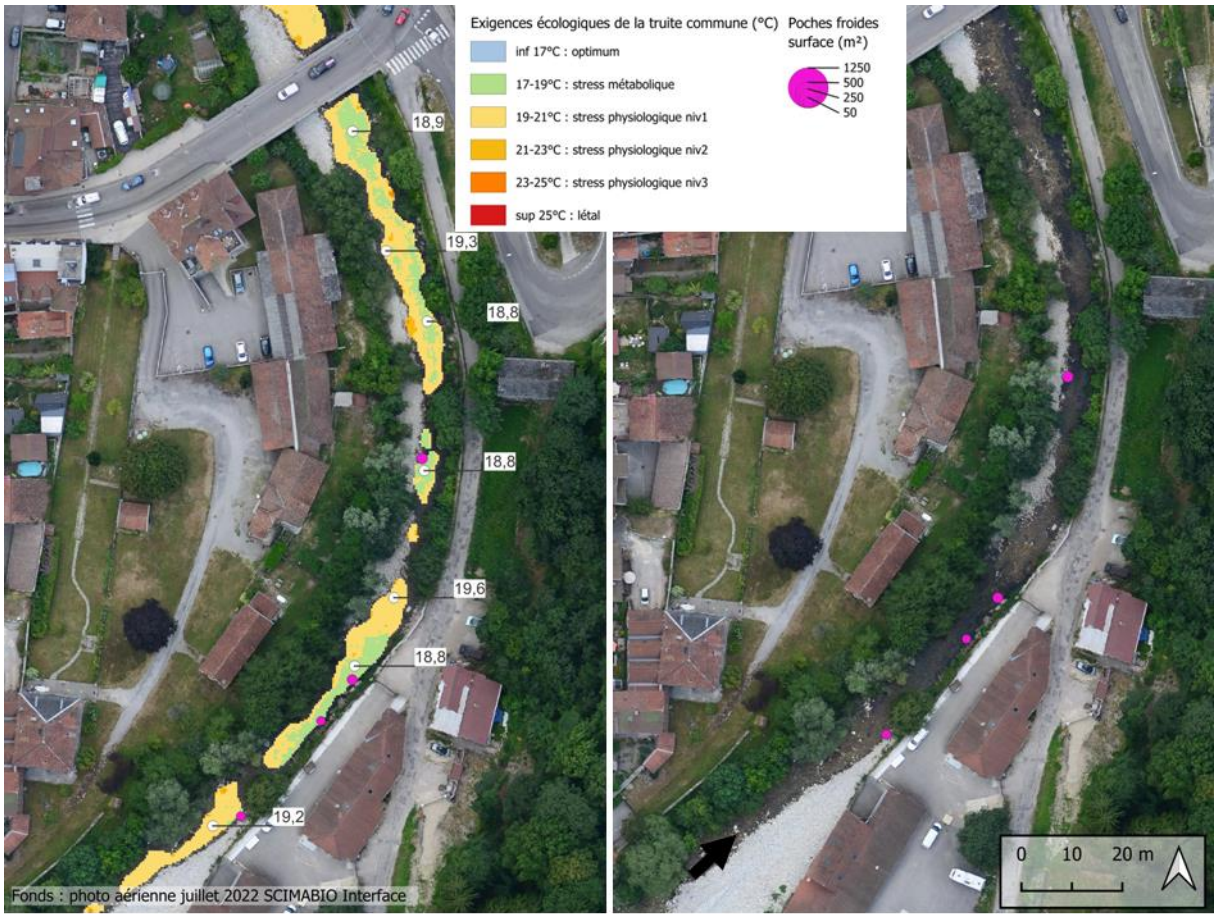


Figure 57 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les apports d'eau plus froide qui améliorent localement les conditions à l'entrée de St-Laurent-du-Pont.

- A l'aval de St-Laurent du Pont sur le linéaire recalibré, plusieurs poches froides témoignent d'échanges nappe/rivière encore présents au niveau d'anciens méandres. Ces apports bien qu'insuffisants pour faire baisser la température médiane de la rivière sont essentiels pour créer des refuges thermiques car ils permettent de limiter l'échauffement de l'eau à des valeurs autour de 21°C voire 19°C très localement sur un secteur où les températures dépassent 25°C (figures 58 et 59).

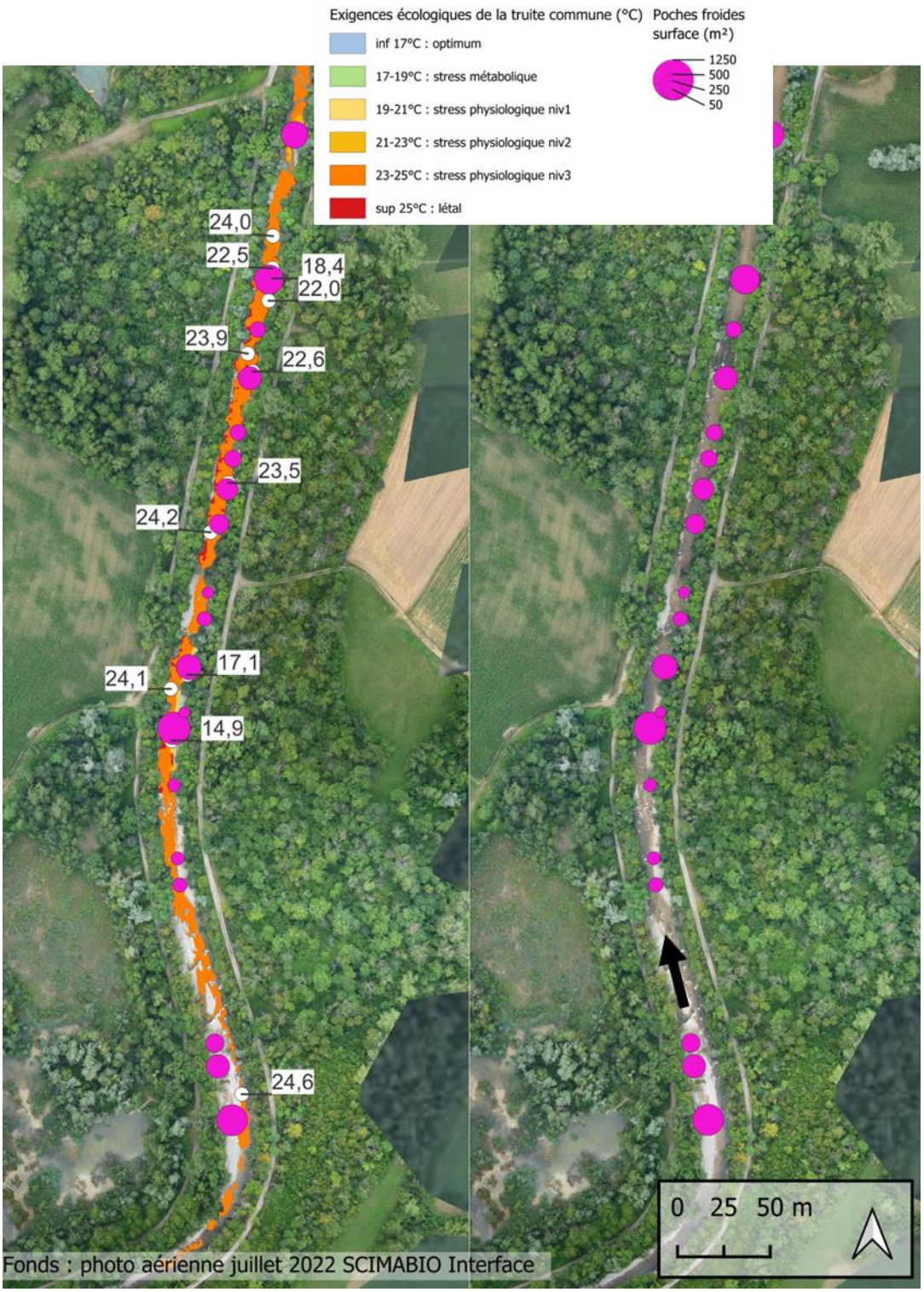


Figure 58 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les refuges thermiques latéraux créés par les résurgences latérales à l'aval de St-Laurent-du-Pont.



Figure 59 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto, zoom sur une résurgences latérales à l'aval de St-Laurent-du-Pont qui créé un refuge thermique.

- Des apports latéraux majeurs en rive gauche puis rive droite majeurs au niveau de l'Herrétang et de l'Aigue Noire permettent de limiter l'échauffement de l'eau et de créer localement des refuges thermiques (figure 60).

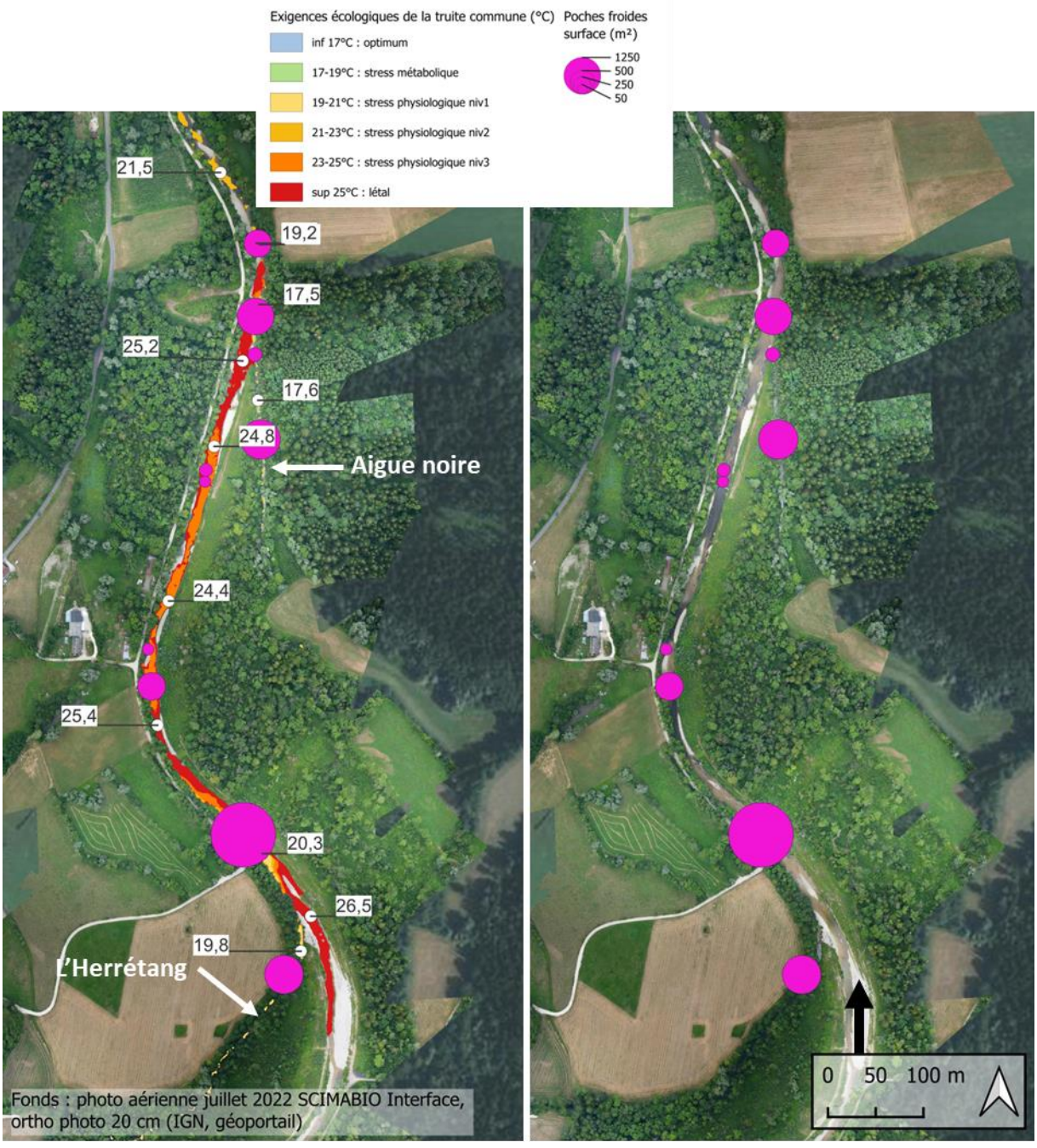


Figure 60 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les refuges thermiques observés au niveau de l'arrivée de l'Herrérang et de l'Aigue noire.

Sur le Guiers, la température médiane reste très élevée et entraine des conditions majoritairement défavorables pour les salmonidés avec des valeurs au-delà de 23°C et même 25°C à partir de St-Aubin. Dans leur majorité, les poches froides recensées présentent des différentiels de températures faibles avec la rivière, ce qui entraine des effets souvent négligeables vis-à-vis des conditions thermiques pour les salmonidés. Cependant quelques apports ont été identifiés comme refuges thermiques pour les salmonidés :

- Les apports de nappe qui se concentrent au niveau du verrou géologique de Chailles permettent d'améliorer les conditions thermiques pour les salmonidés en faisant passer les températures de plus de 23°C à moins de 21°C (figure 61).

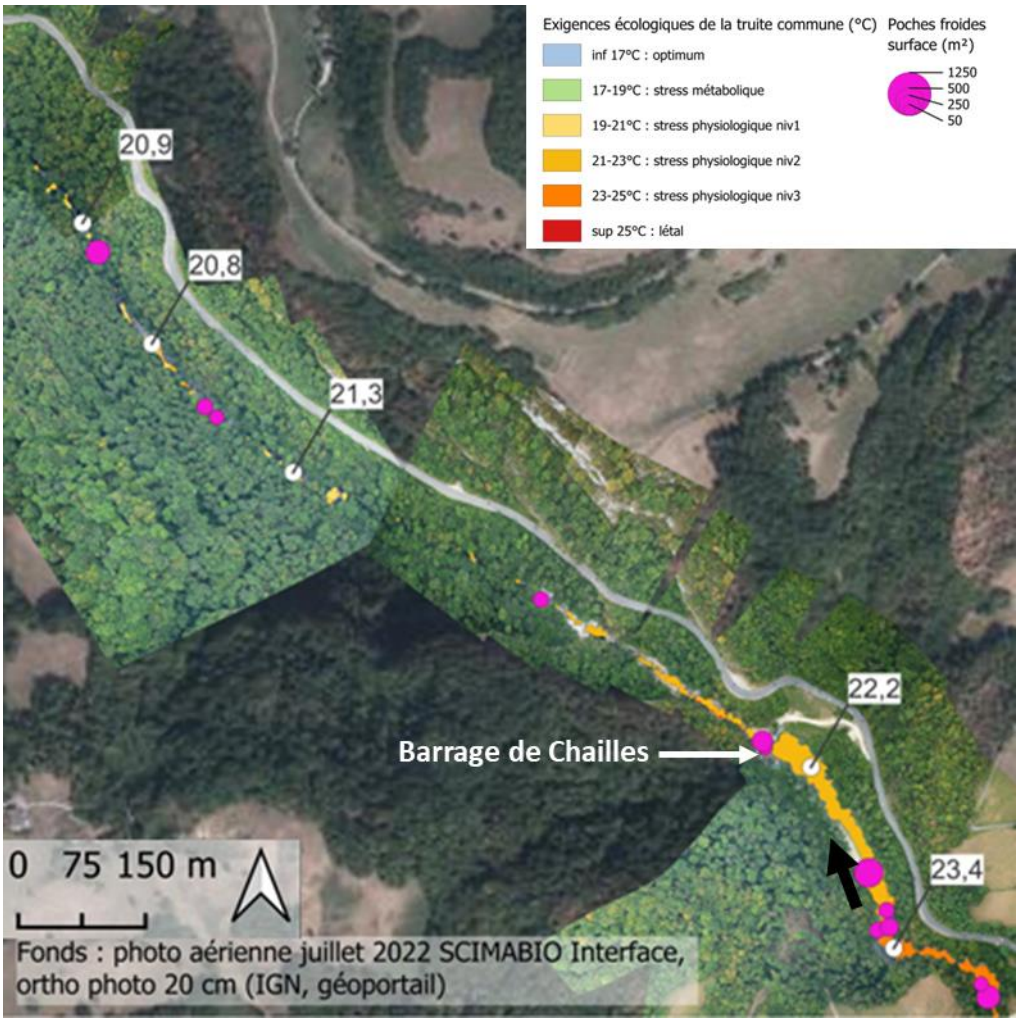


Figure 61 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'amélioration des conditions thermiques observée au niveau des gorges de Chailles.

- Les affluents comme le ruisseau de Morge et le Thiers présentent des températures de plusieurs degrés inférieures à celles du Guiers. Même si ces températures ne représentent pas des conditions optimales pour les salmonidés, elles permettent à ces affluents d'offrir des conditions thermiques plus acceptables pour les salmonidés et de jouer un rôle de refuges temporaires (figure 62, 63 et 64). De plus, il est possible que les conditions d'écoulement au niveau des confluences génèrent une structuration verticale de ces refuges thermiques potentiels que la cartographie des températures seule n'est pas en mesure d'évaluer (ex. ruisseau de Pissevieille, figure 64).

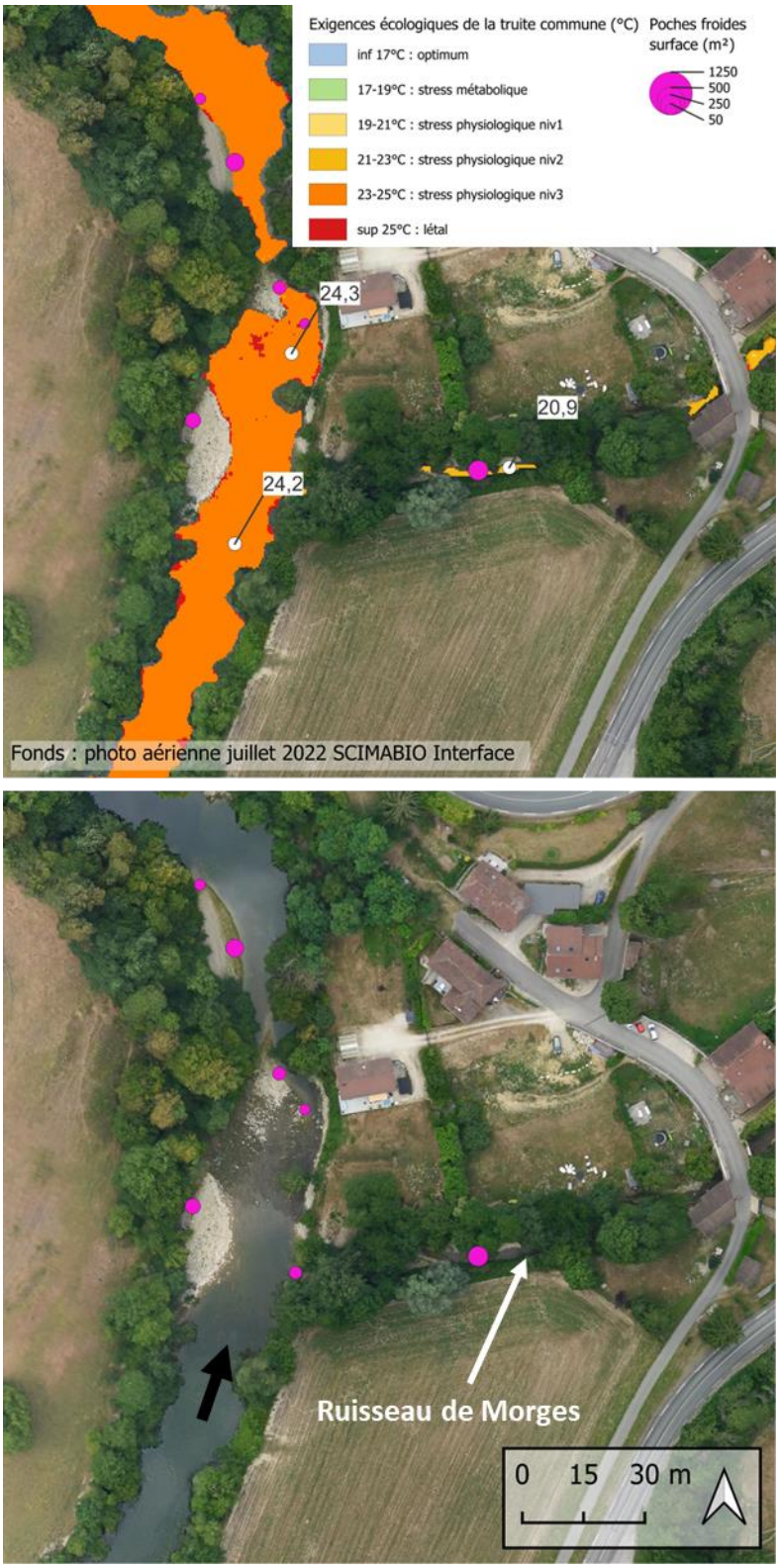


Figure 62 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le refuge thermique observée au niveau du ruisseau de Morges.

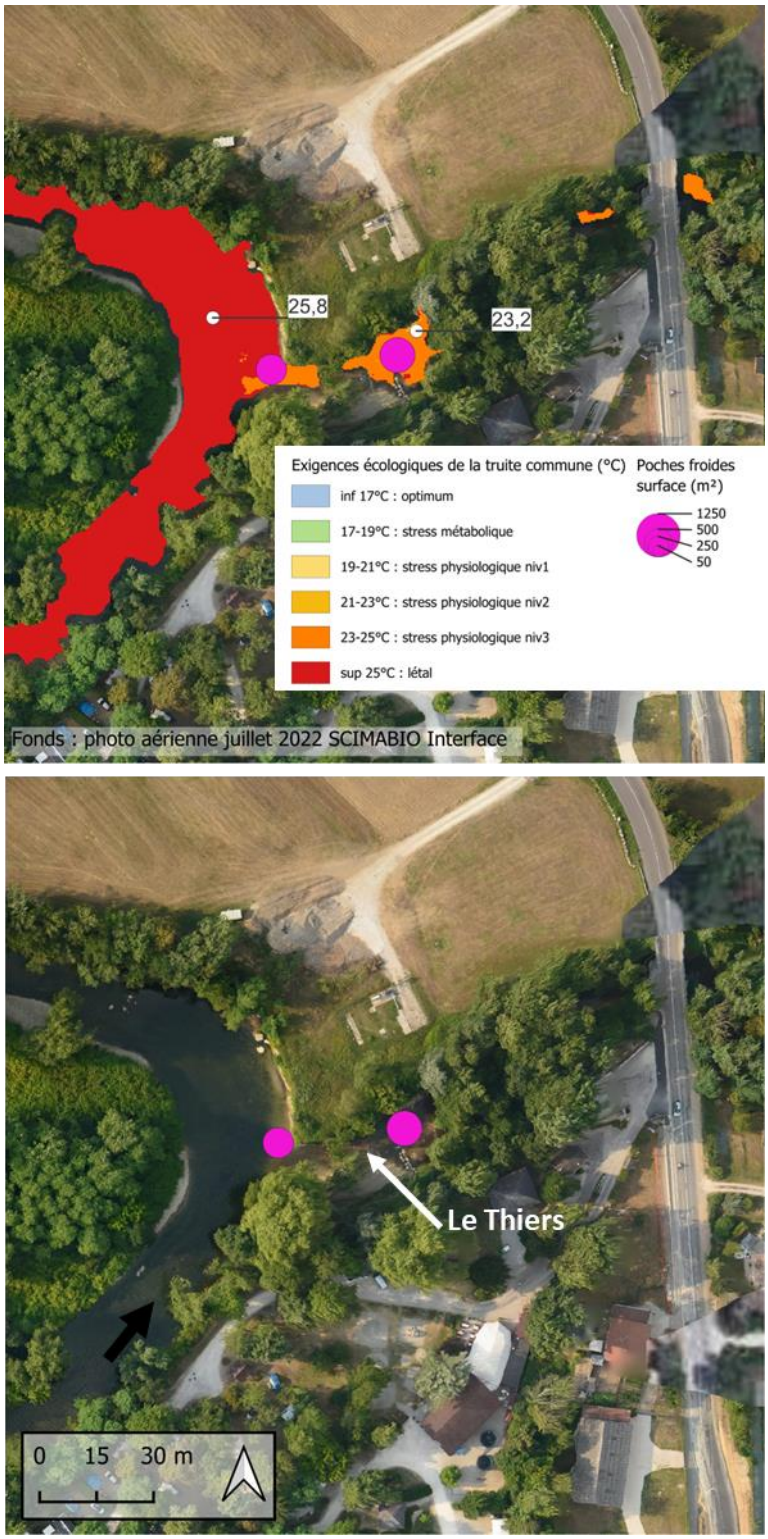


Figure 63 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le refuge thermique observée au niveau du Thiers.



Figure 64 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant le refuge thermique observée à la confluence du ruisseau de Pissevieille.

- Enfin, localement, quelques exfiltrations de banc et résurgences latérales forment des poches d'eau en bordure avec des conditions plus favorables pour les salmonidés pouvant servir de refuges thermiques aux heures les plus chaudes de la journée (figure 65).

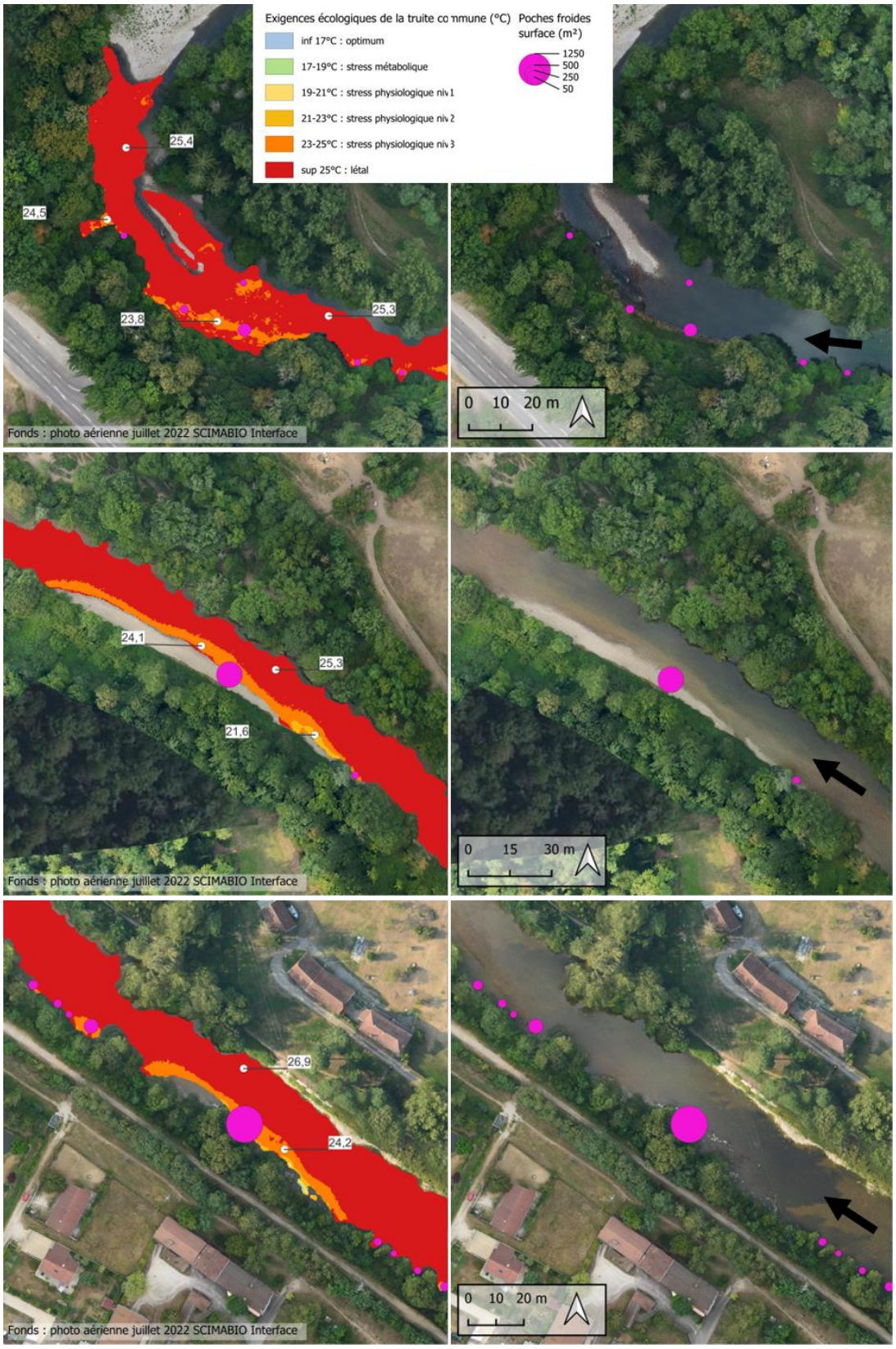


Figure 65 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les poches refuges formées par quelques exfiltrations de bancs et résurgences latérales.

4. ADAPTATION DU GUIERS AUX CHANGEMENTS CLIMATIQUES : RECOMMANDATIONS ET PROPOSITIONS D'ACTION

Les recommandations sont présentées sous forme de fiches actions.

Cinq actions proposées concernent l'ensemble du linéaire du Guiers et des Guiers Vif et Mort, dont :

Trois actions d'acquisition de connaissances :

- Etablir le profil longitudinal du niveau de la nappe alluviale ;
- Mettre en œuvre un réseau de suivi thermique servant d'observatoire du profil thermique et des refuges thermiques ;
- Réaliser une étude de définition des débits minimums écologiques permettant de garantir des habitats thermiques estivaux favorables aux salmonidés.

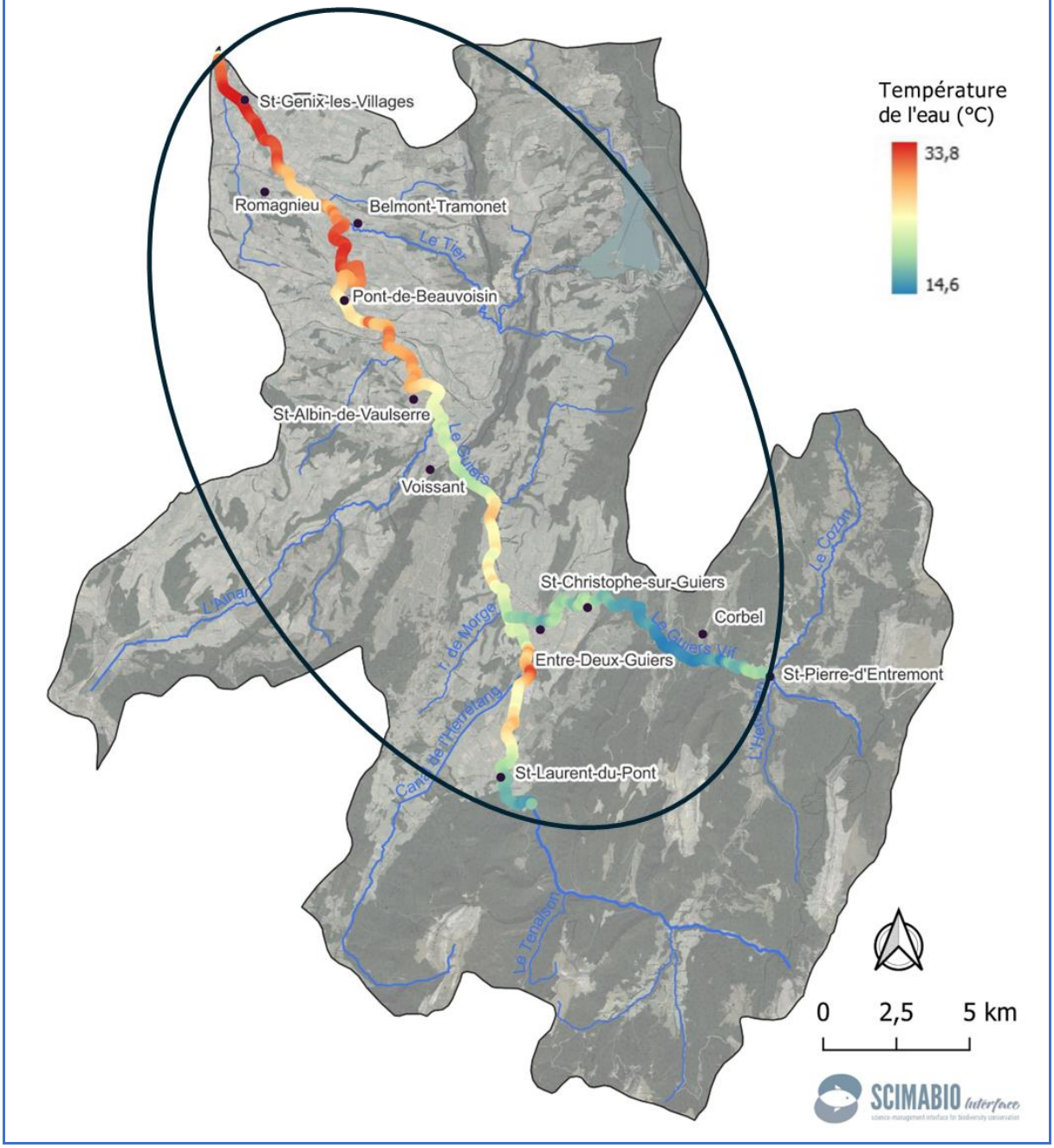
Et deux actions de conservation et restauration :

- Mettre en place une protection réglementaire des apports de nappe encore existants et des refuges thermiques identifiés ;
- Mettre en œuvre un plan de reboisement pour recréer ou densifier la ripisylve.

Ensuite, des recommandations sont proposées sur chacune des trois rivières : le Guiers Vif, le Guiers Mort et le Guiers sous forme de projets composés de diverses actions cohérentes.

Type d'action	Amélioration des connaissances
Nom de l'action	Etablir le profil longitudinal de la nappe sur l'ensemble du linéaire.

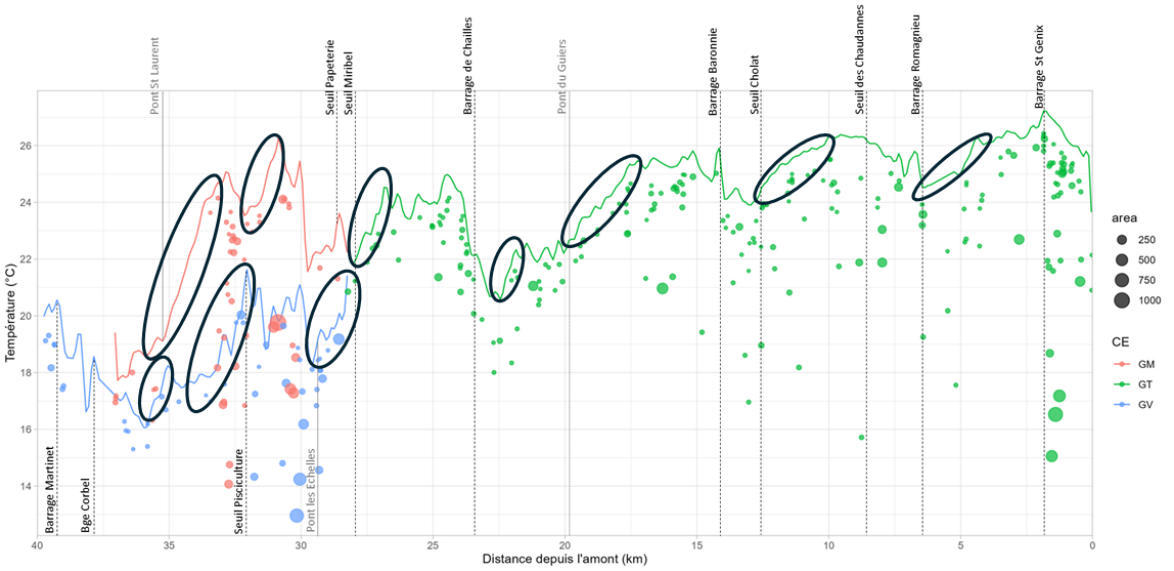
Localisation : l'ensemble du linéaire du Guiers, du Guiers Vifs et du Guiers Mort



Rappel du diagnostic/lacune à combler

La campagne IRT-a, en repérant les poches froides, a permis de cartographier précisément les échanges entre la nappe alluviale et la rivière. Les secteurs qui présentent des lacunes en terme de relation nappe/rivière et ceux qui présentent encore des échanges phréatiques ont pu être repérés.

Il y a une relation directe entre l'absence d'échanges nappe/rivière et l'élévation des températures médianes de la rivière (cf figure ci-dessous montrant sur le profil thermique les linéaires concernés par des échauffements importants qui présentent pas ou peu d'échanges nappe/rivière).



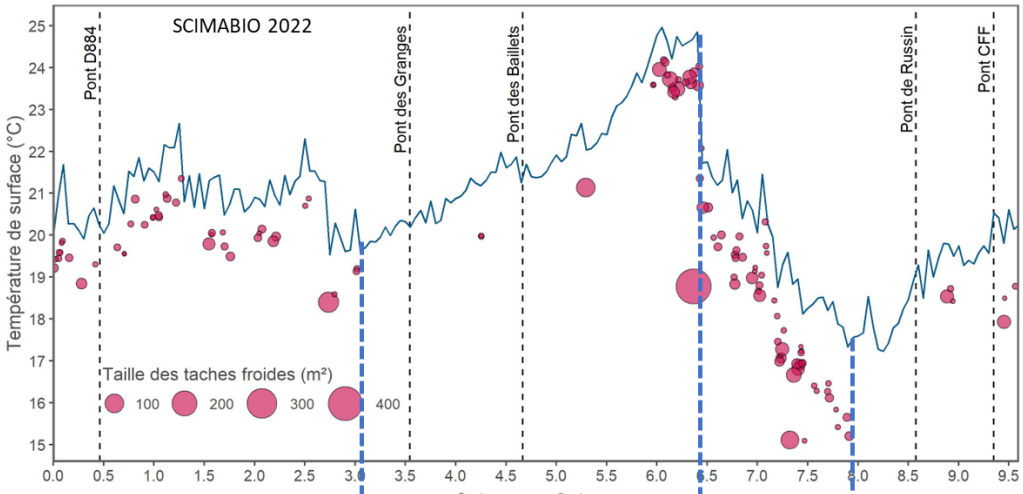
Ainsi la solution la plus efficace pour limiter les échauffements de l'eau de la rivière est de favoriser les échanges nappe/rivière. Deux leviers sont possibles : d'une part maintenir les échanges existants par des mesures de protection (notamment des nappes) et d'autre part retrouver des échanges grâce à des travaux de restauration du fonctionnement hydromorphologique. Pour entreprendre de telles actions, il est nécessaire d'établir un profil longitudinal de la nappe alluviale afin de connaitre précisément le niveau de la nappe par rapport à celui de la rivière et ses caractéristiques (écoulements, débits, température, dynamique saisonnière).

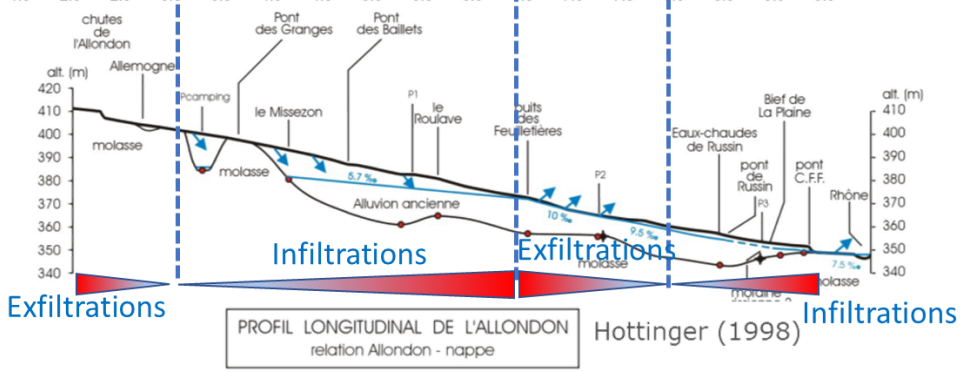
Objectifs et recommandations

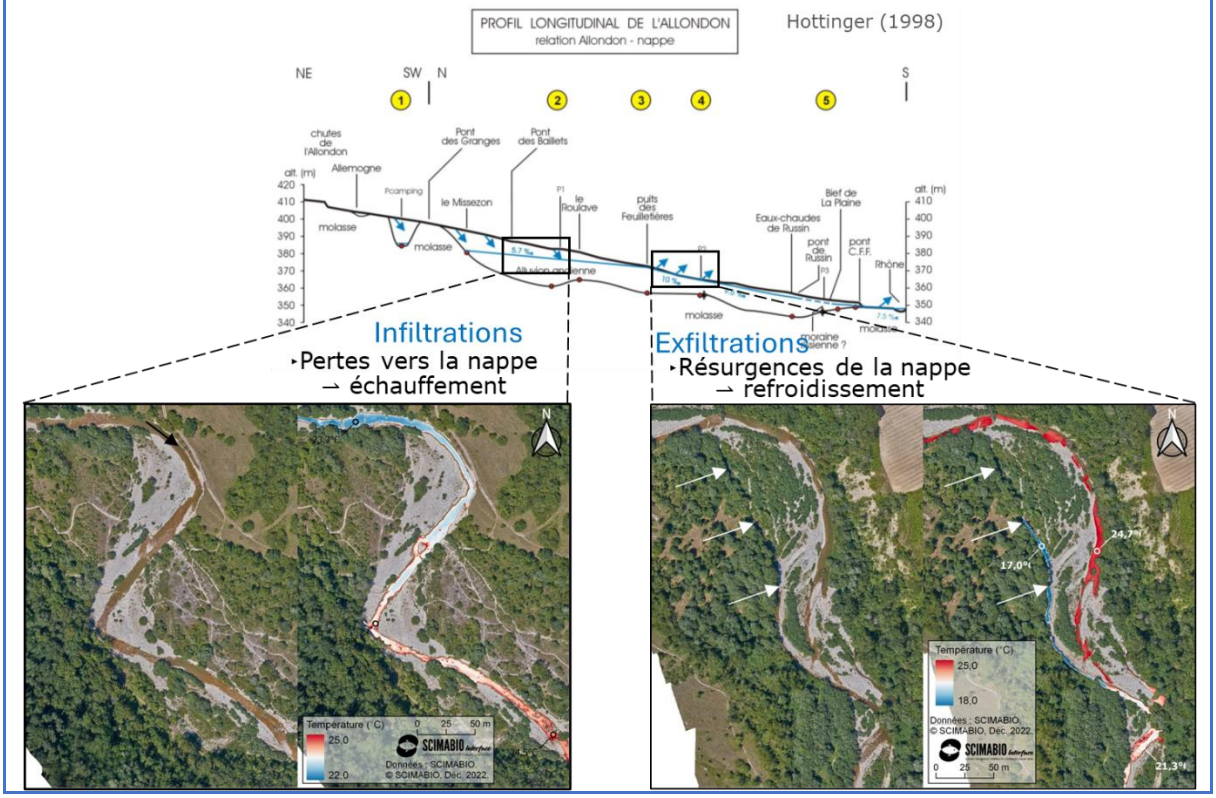
La proposition consiste à réaliser une étude hydro-géologique détaillée pour établir le profil longitudinal de la nappe alluviale sur l'ensemble du linéaire du Guiers, du Guiers Vif et du Guiers Mort. L'objectif est de connaitre pendant la période estivale les différences de profondeur entre la nappe et la rivière et d'identifier précisément les zones d'infiltrations et d'exfiltrations. Ces données seront complémentaires des données de répartition des poches froides obtenues dans la présente étude. Le couplage de ces deux sources de données permettrait d'établir des actions de restauration plus efficaces en intégrant mieux le fonctionnement hydro-géologique et hydro-morphologique de la rivière. Ensuite, comme recommandé par Smith et al. (2023), un monitoring piézométrique à long terme du niveau et de la température de la nappe alluviale pourra être réalisé à certains points clés.

Cette proposition est cohérente avec l'action B2.1.2 du contrat de bassin Guiers 2022-2024 (mise en œuvre de dispositifs de suivis des débits d'étiage et de la piézométrie de la nappe) tout en allant plus loin dans les relevés piézométriques de la nappe alluviale pour pouvoir établir son profil longitudinal et le comparer à celui de la rivière.

Exemple d'informations obtenues sur l'Allondon (Suisse) en couplant les résultats obtenus par IRT-a (profil thermique et localisation des poches froides) et le profil longitudinal de la nappe alluviale (Marteau et Richard 2022, Hottinger 1998) :

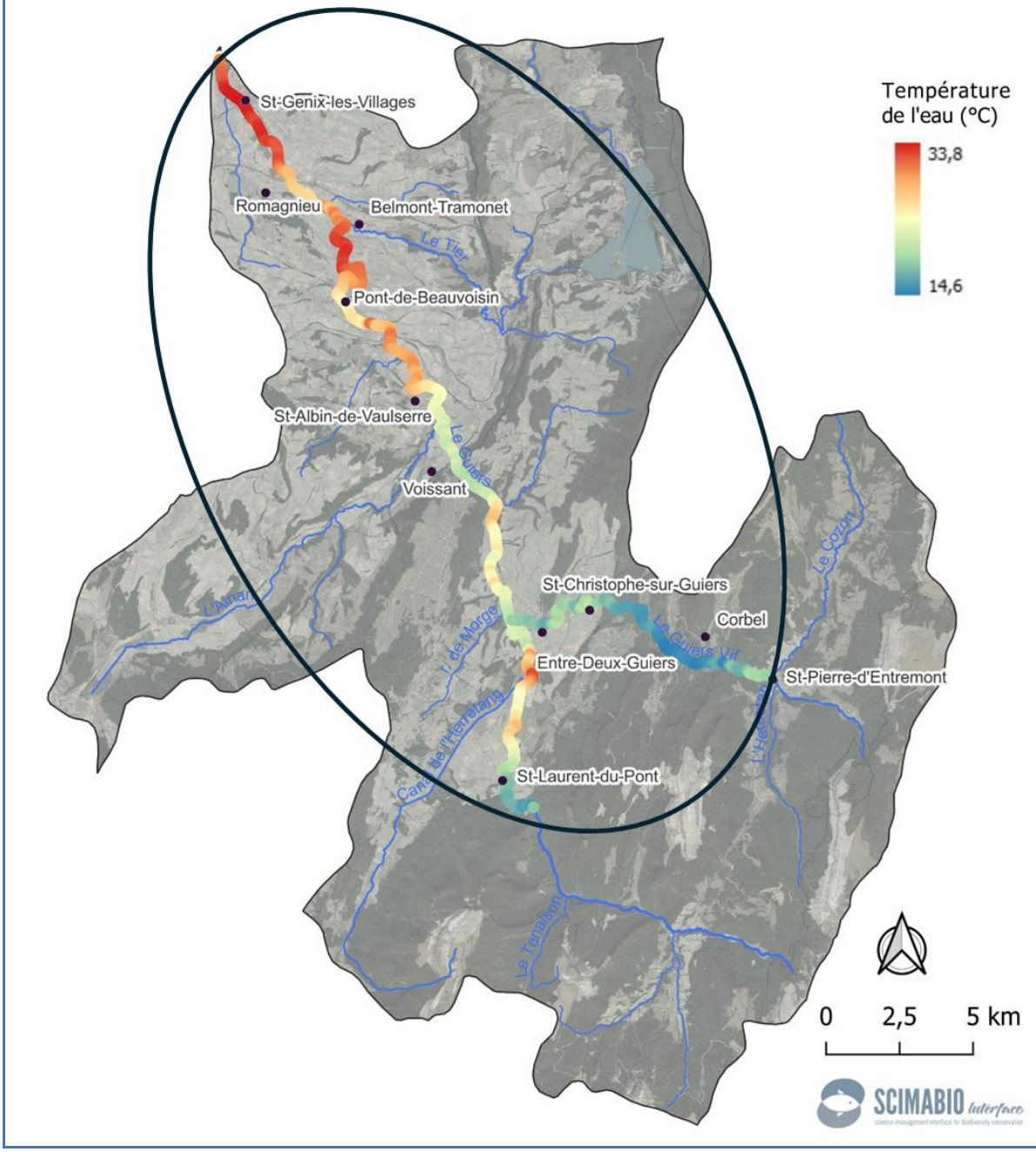

SCIMABIO 2022
Température de surface (°C)
Pont D884
Pont des Granges
Pont des Baillets
Pont de Russin
Pont CFF
Taille des taches froides (m²)
100
200
300
400


chutes de l'Allondon
Allemogne
Pont des Granges
Pont des Baillets
le Missezon
le Roulave
puits des Feuilletières
Eaux-chaudes de Russin
Bief de La Plaine
pont de Russin
pont C.F.F.
Rhône
molasse
Alluvion ancienne
Infiltrations
Exfiltrations
Exfiltrations
Infiltrations
PROFIL LONGITUDINAL DE L'ALLONDON
relation Allondon - nappe
Hottinger (1998)


PROFIL LONGITUDINAL DE L'ALLONDON
relation Allondon - nappe
Hottinger (1998)
NE
SW
N
S
Infiltrations
Pertes vers la nappe
→ échauffement
Exfiltrations
Résurgences de la nappe
→ refroidissement
Température (°C)
25,0
22,0
18,0
Données : SCIMABIO, © SCIMABIO, Déc. 2022
24,7°C
17,0°C
21,3°C

Type d'action	Amélioration des connaissances
Nom de l'action	**Mise en œuvre d'un réseau pérenne de suivi du profil thermique de la rivière et des refuges thermiques (observatoire des conditions thermiques).**

Localisation : l'ensemble du linéaire du Guiers, du Guiers Vifs et du Guiers Mort



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Le couplage entre les données issues de la campagne IRT-a, qui a fourni une information spatiale précise et fine, et les données stationnelles issues des enregistreurs thermiques, qui ont fourni une information temporelle au cours de l'été, a montré l'existence de fortes variations spatio-

temporelles des conditions thermiques. Les températures n'évoluent pas de manière linéaire le long du cours d'eau et durant l'été mais montrent des échauffements et refroidissements brutaux et plus ou moins localisés. Ces variations jouent un rôle essentiel et direct dans la distribution des habitats thermiques des salmonidés.

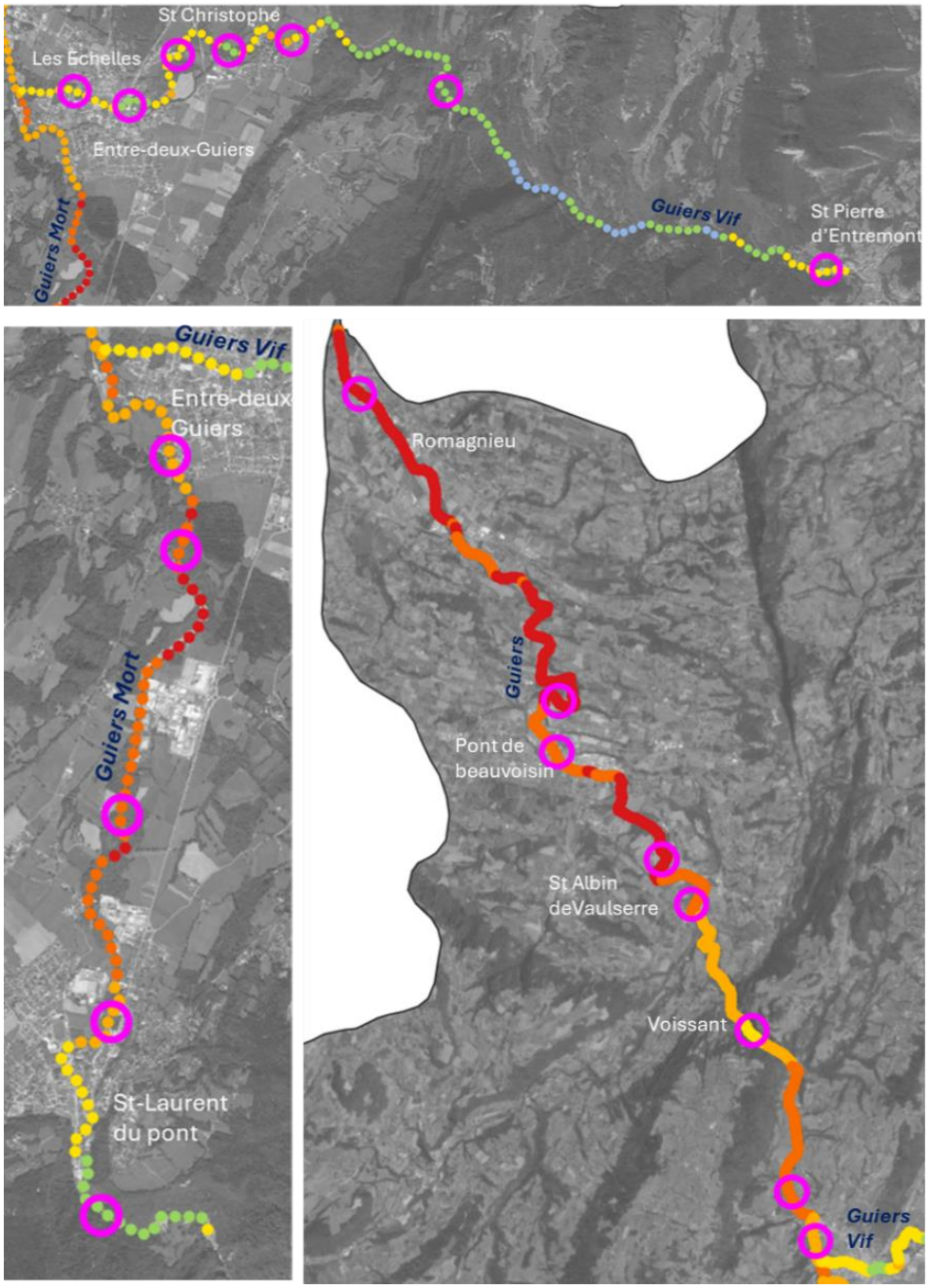
Les résultats ont permis d'identifier sur le linéaire des secteurs à forts enjeux vis-à-vis des exigences thermiques des salmonidé. Il s'agit soit de linéaires présentant des basculements thermiques rendant les conditions défavorables aux salmonidés, soit de zones de refroidissement pouvant jouer le rôle de refuges thermiques pendant les quelques heures ou jours les plus chauds de l'été.

Un suivi pérenne des températures estivales sur un réseau représentatif de ces secteurs clés permettrait de vérifier l'évolution sur le long terme des variations ainsi que leurs conséquences sur les conditions vis-à-vis des salmonidés.

Objectifs et recommandations

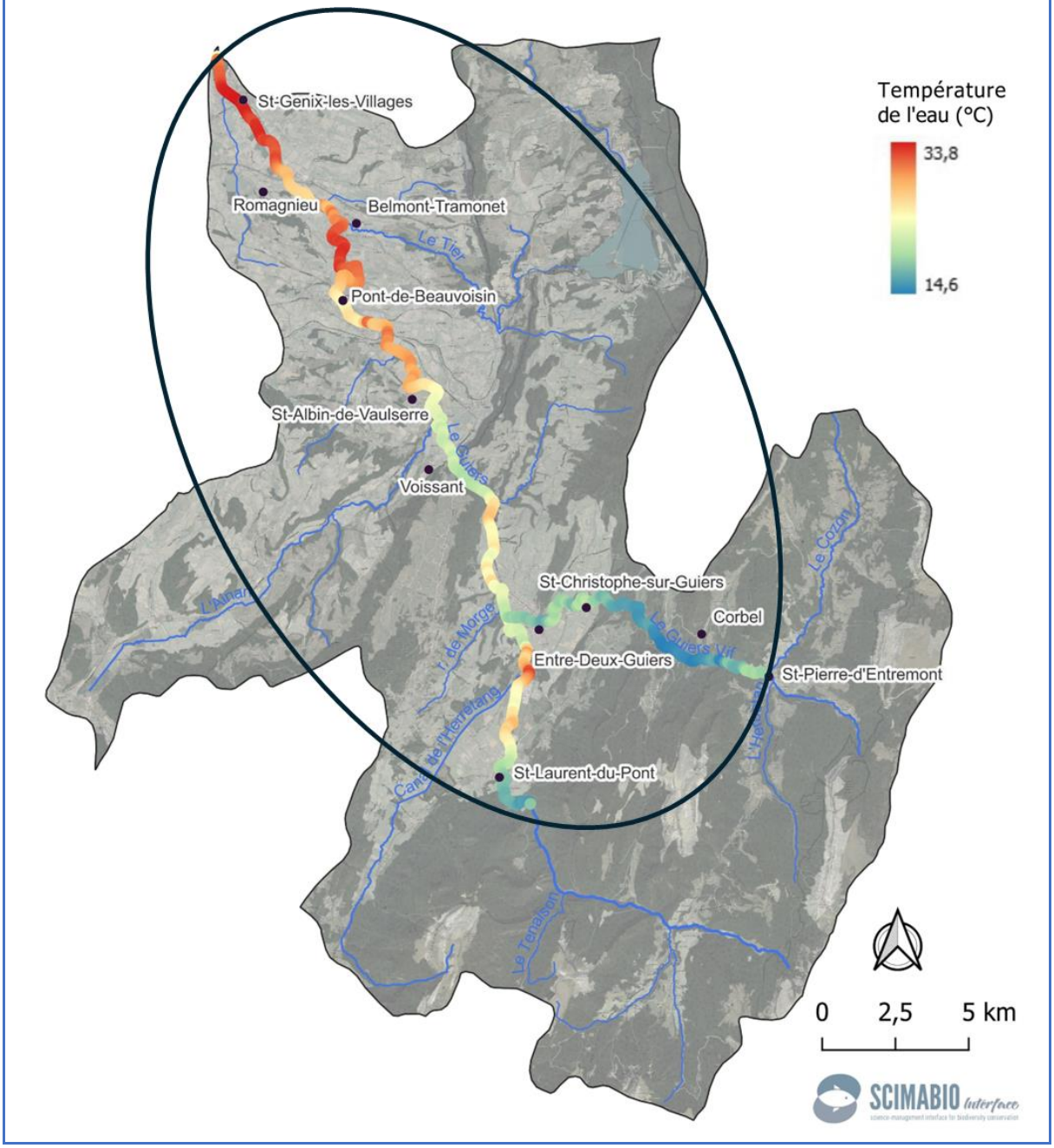
La proposition consiste à mettre un œuvre un réseau pérenne d'enregistreurs thermiques sur plusieurs secteurs clés représentant les principales variations spatio-temporelles observées et les principaux enjeux vis-à-vis des conditions thermiques pour les salmonidés. Vingt secteurs ont été pré-identifiés (cf cartes ci-dessous), dont 7 sur le Guiers Vif, 5 sur le Guiers et 8 sur le Guiers dont chacun pourrait être suivi par une sonde thermique.

Il s'agit d'un observatoire long terme sans limitation de durée qui fournira des indicateurs pertinents dans le cadre du changement climatique en suivant l'évolution des conditions thermiques du Guiers sur les secteurs à forts enjeux écologiques. Ce réseau permettra également de fournir des indicateurs de suivi long terme des incidences des autres actions mises en œuvre sur les conditions thermiques de la rivière (amélioration ou dégradations).


St Christophe
Les Echelles
Entre-deux-Guiers
Guiers Mort
Guiers Vif
St Pierre
d'Entremont
Guiers Vif
Entre-deux
Guiers
Guiers Mort
St-Laurent
du pont
Romagnieu
Guiers
Pont de
beauvoisin
St Albin
deVaulserre
Voissant
Guiers
Vif

Type d'action	**Amélioration des connaissances**
Nom de l'action	**Définir des débits minimums écologiques qui permettent de garantir des habitats thermiques estivaux répondant aux exigences des salmonidés.**

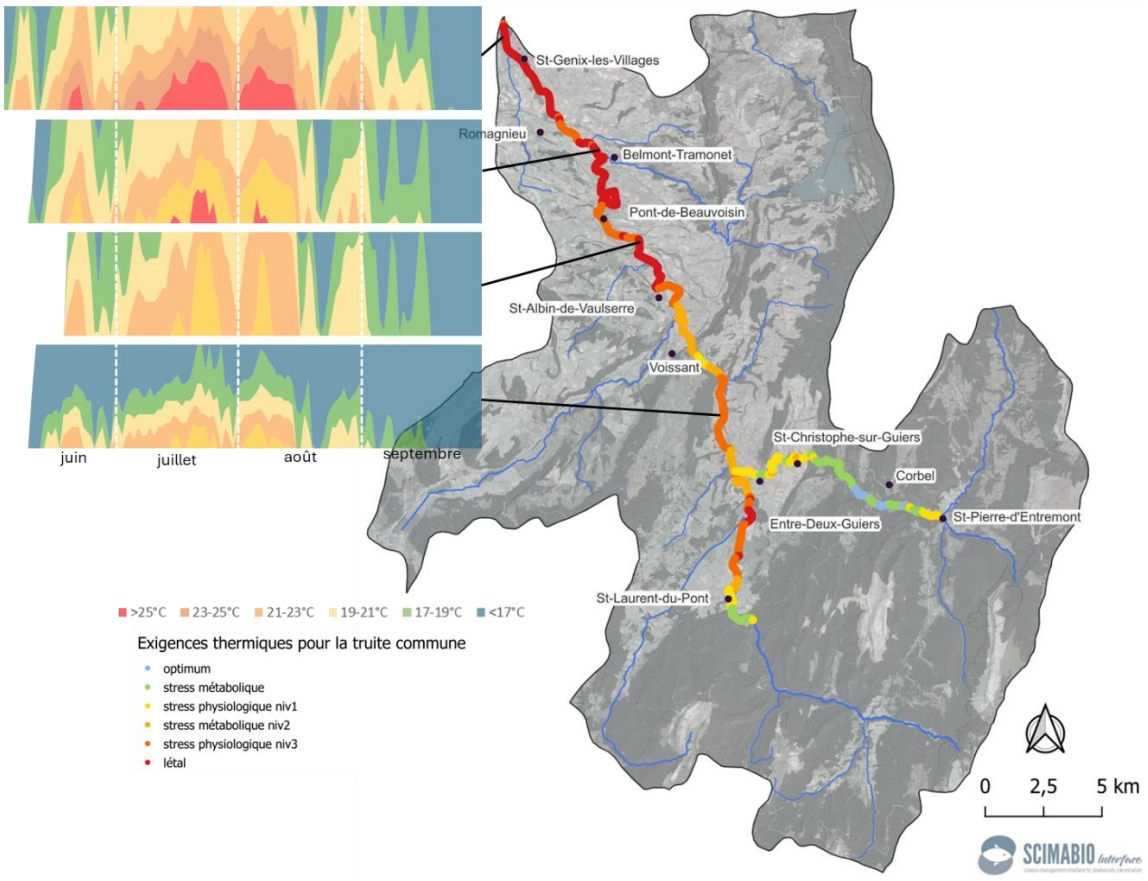
Localisation : l'ensemble du linéaire du Guiers, du Guiers Vifs et du Guiers Mort



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats indiquent que les températures d'eau estivales dépassent largement les exigences thermiques des salmonidés sur une grande majorité du linéaire des trois Guiers et pendant des périodes parfois importantes (plusieurs jours consécutifs, cf figure ci-dessous). Ainsi lors des périodes les plus chaudes de l'été les surfaces d'habitats thermiques compatibles avec le maintien

d'une vie salmonicole deviennent très faibles. Seulement 3% du linéaire étudié présente des conditions thermiques optimales (≤ à 17°C) et 13% du linéaire des conditions acceptables (entre 17°C et 19°C). 53% du linéaire présente des conditions de stress physiologique et 30% du linéaire atteigne le seuil létal pour les salmonidés (soit 25°C).



La répartition de ces habitats thermiques estivaux est directement dépendante des débits d'étiages estivaux et de la gestion des prélèvements en eau. Le maintien de débits d'étiage permettant d'assurer des surfaces d'habitats thermiques suffisants et favorables pour certaines espèces repères rentre dans le cadre du partage de la ressource en eau. Cependant, cette notion de surface en habitats thermiques favorables n'est aujourd'hui pas prise en compte dans la détermination des débits minimums biologiques et dans les études de détermination des volumes prélevables.

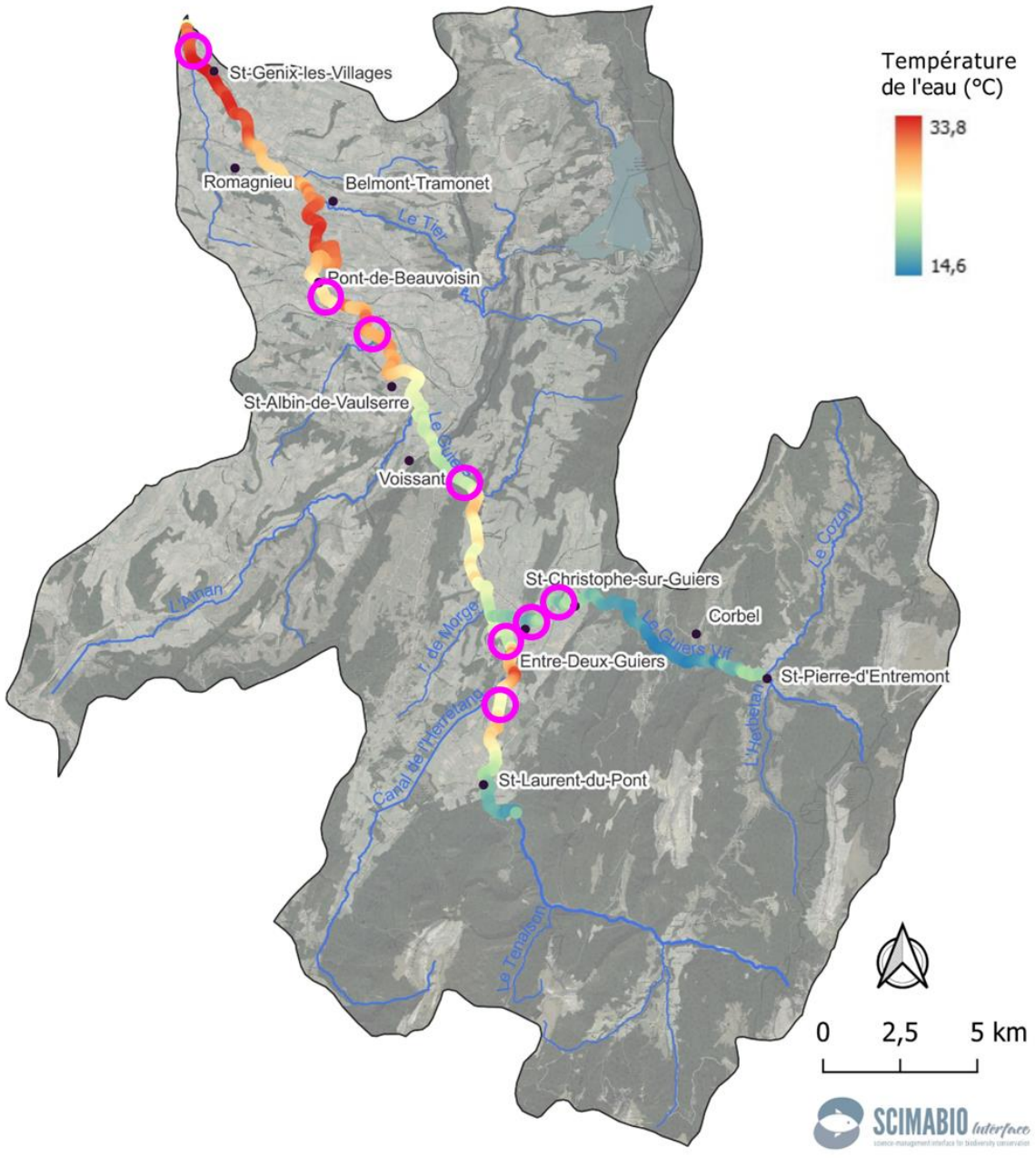
Objectifs et recommandations

Il est recommandé d'initier une étude scientifique de définition des débits minimums écologiques à respecter en période estivale sur les trois Guiers en couplant des approches d'IRT-a et de modélisation hydraulique et thermique.

Cette proposition est cohérente avec le cadre des études prévues dans le sous-volet B2.1 du contrat de bassin Guiers 2022-2024 (instauration des modalités d'une gestion durable des ressources en eau) et en particulier avec l'étude volume prélevable (action B2.1.1).

Type d'action	**Protection réglementaire**
Nom de l'action	**Protéger les linéaires de rivière présentant des apports de nappe majeurs et les refuges thermiques identifiés au titre de l'article L432-3 du code de l'environnement.**

Localisation : Plusieurs secteurs de rivière répartis sur le linéaire du Guiers, du Guiers Vif et du Guiers Mort



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Un total de 303 poches froides ont été identifiées sur l'ensemble du linéaire étudié soit une densité considérée comme faible de 6,2 poches froides/km linéaire. La répartition spatiale de ces poches froides a permis d'identifier 9 zones de refroidissement majeures dont 8 proviennent

d'apports phréatiques, karstiques ou hyporhéiques. Ces échanges, peu nombreux, entre les eaux souterraines et la rivière témoignent d'un fonctionnement hydromorphologique encore présent sur ces linéaires. Ce fonctionnement de type alluvial est devenu très rare sur le Guiers et nécessite d'être préservé. En outre, ces zones constituent localement des refuges thermiques pour les salmonidés grâce à ces apports d'eau plus froide.

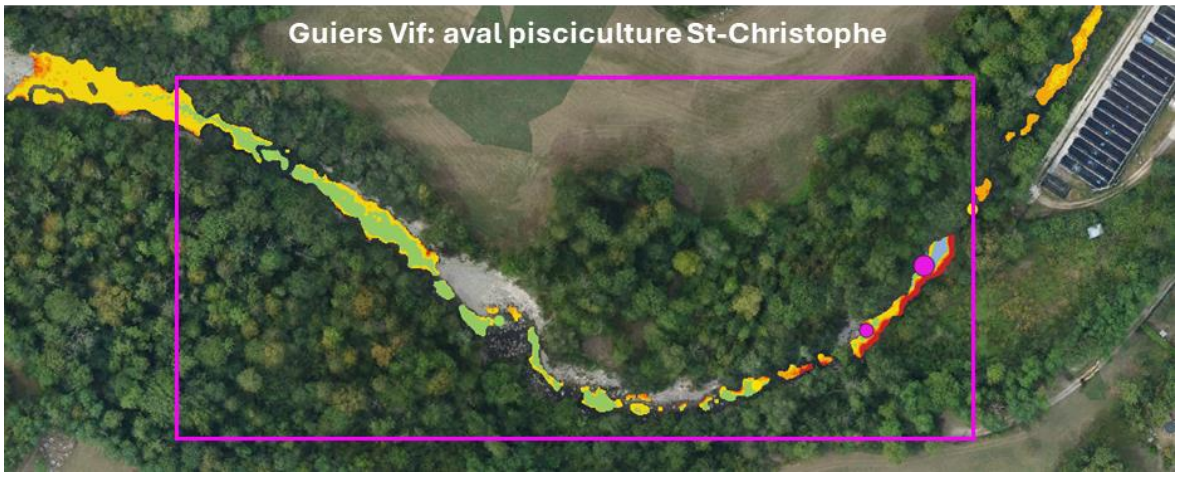
Objectifs et recommandations

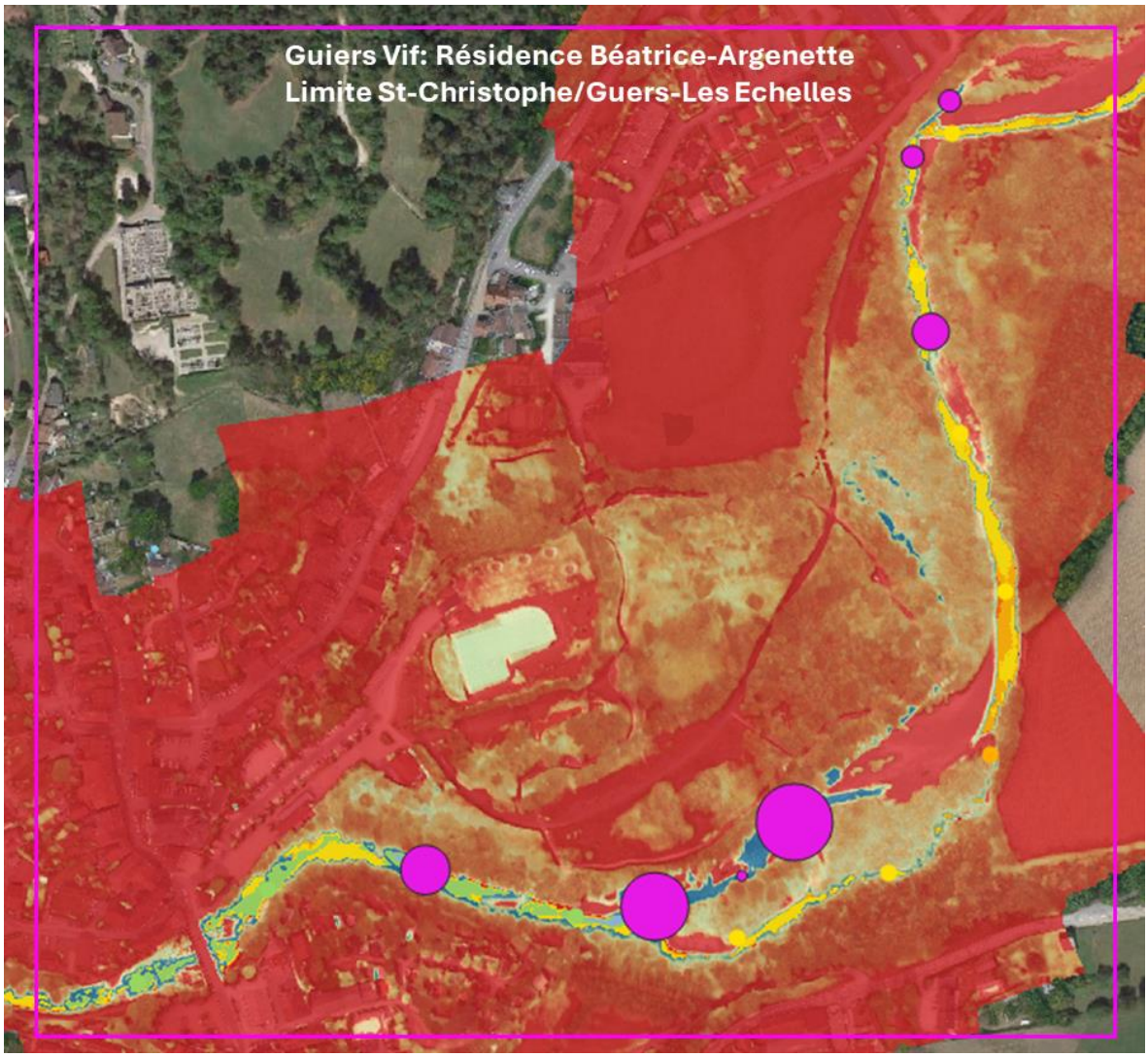
La proposition consiste à prendre des mesures réglementaires à titre conservatoire pour protéger ces dernières zones présentant encore des échanges nappe/rivière remarquables.

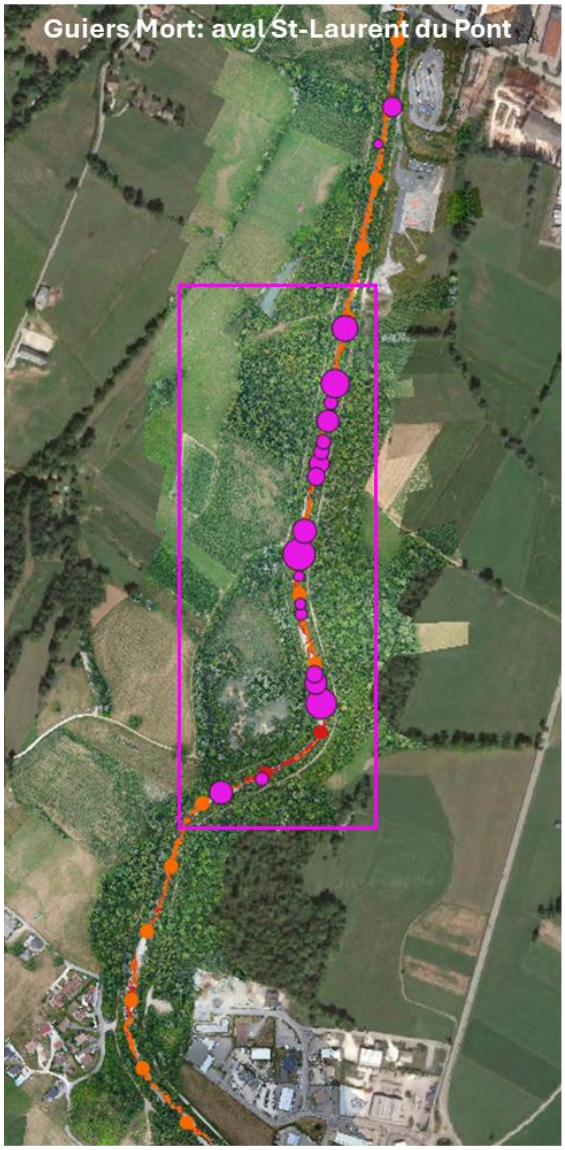
Les mesures de conservation peuvent intervenir à deux niveaux :

D'une part, il s'agit de préserver les ressources en eaux à l'origine de ces apports de tout prélèvement (agriculture ou AEP) afin de garantir une restitution maximale dans le milieu naturel.

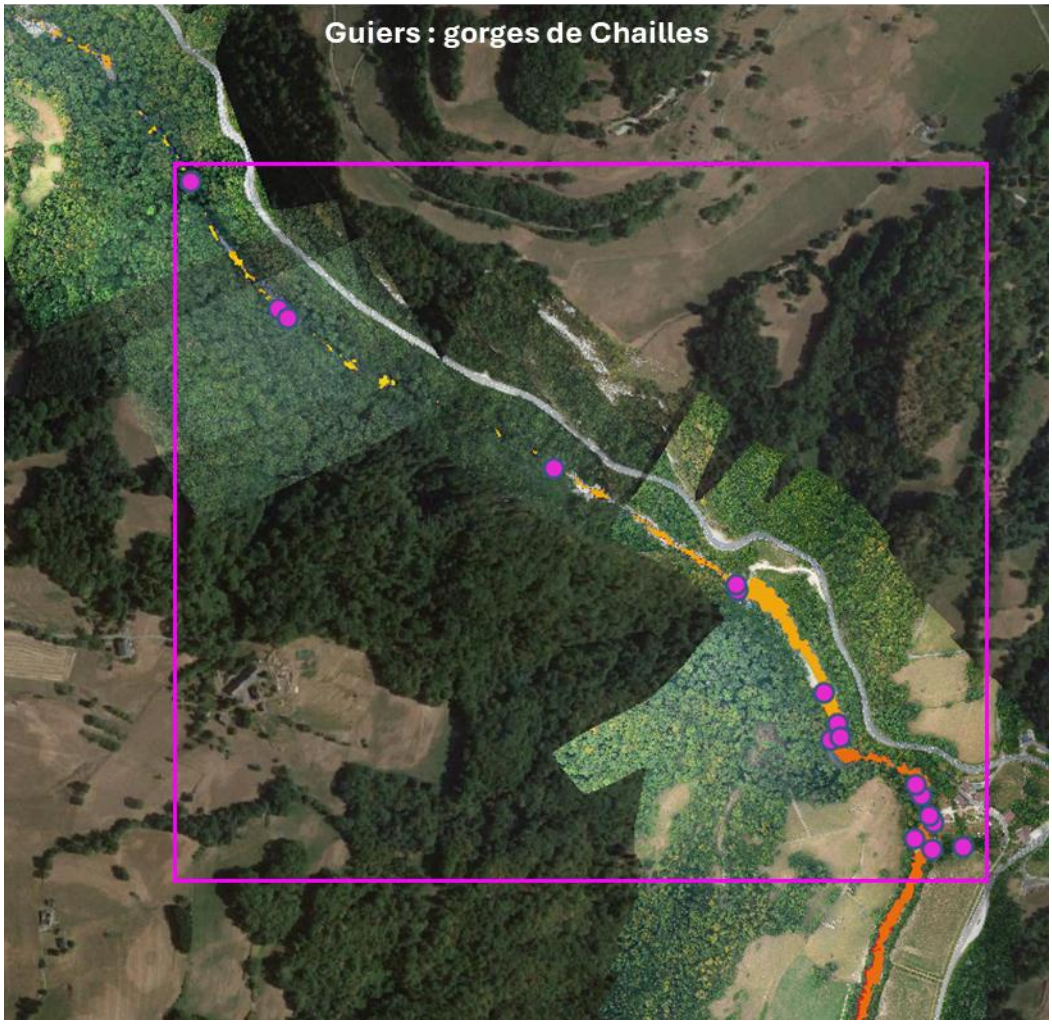
D'autre part, les zones de résurgences et d'exfiltration de ces eaux au niveau de la rivière doivent faire l'objet d'une protection en tant que structures hydromorphologiques particulières pour éviter tout aménagement ou destruction. Ainsi, les huit tronçons de cours d'eau identifiés comme apports de nappe majeurs peuvent faire l'objet d'une protection réglementaire en application de l'article L.432-3 du code de l'environnement (encadrement violet dans les figures suivantes).

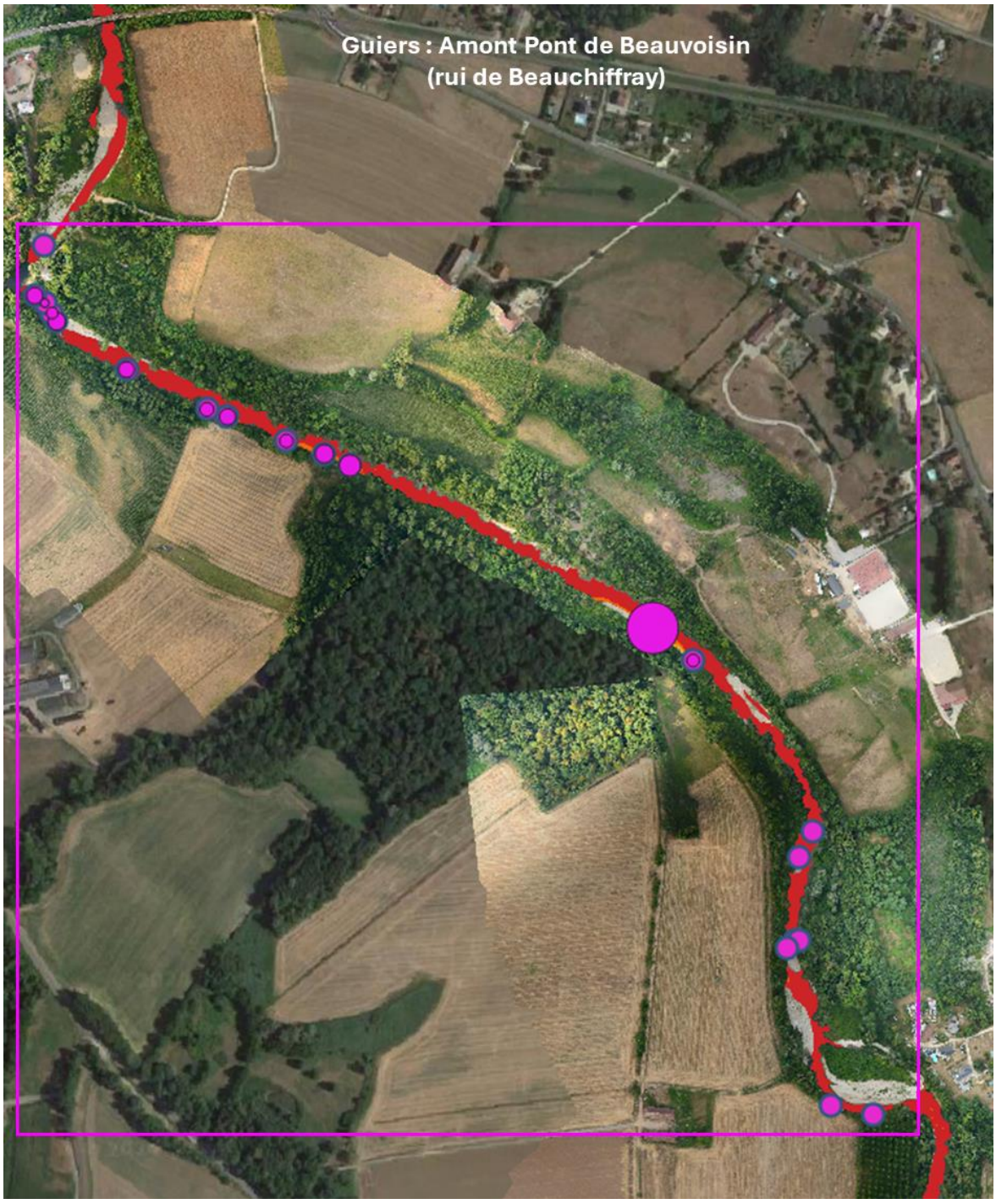


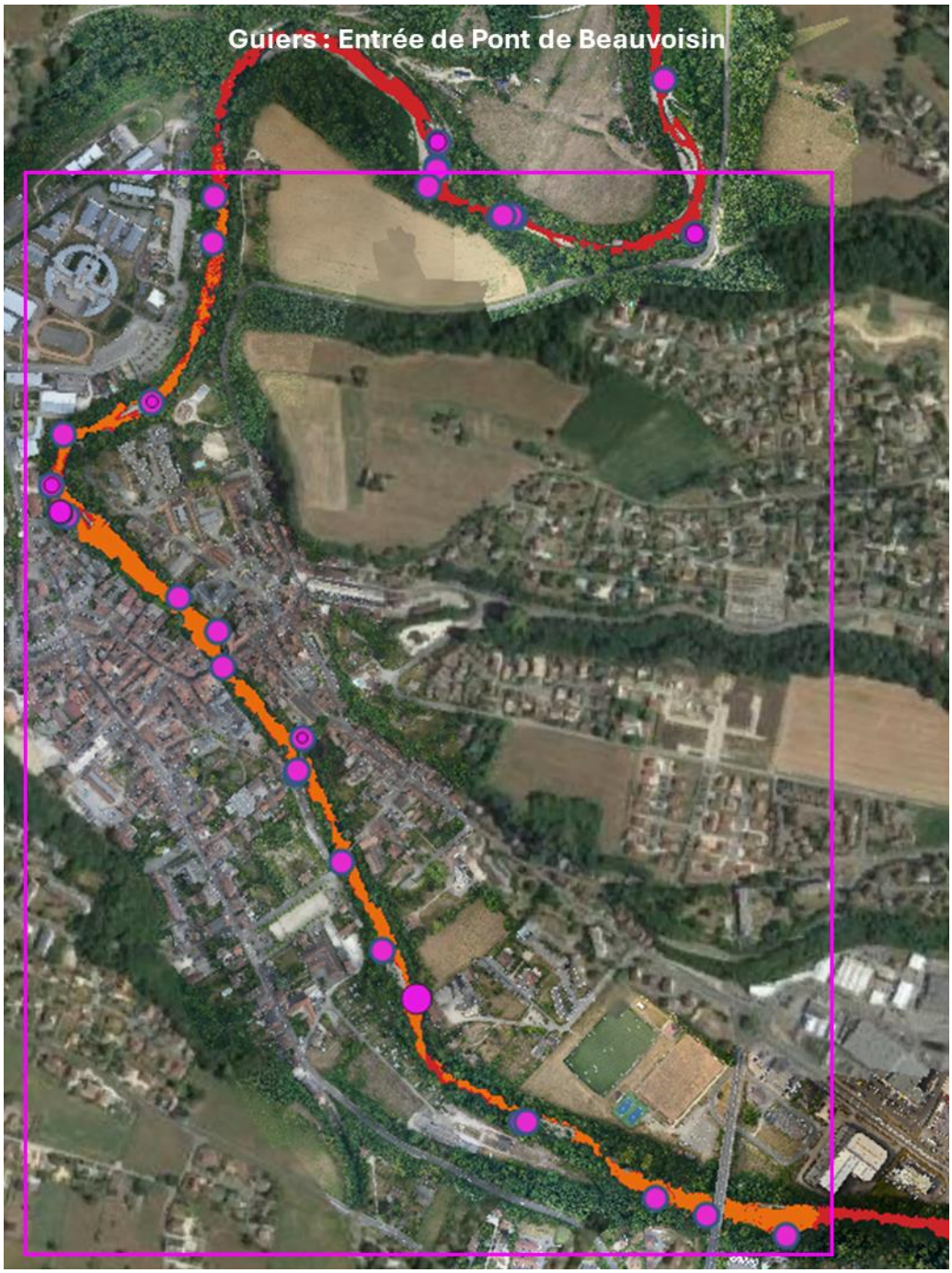

Guiers Vif: Résidence Béatrice-Argenette
Limite St-Christophe/Guers-Les Echelles

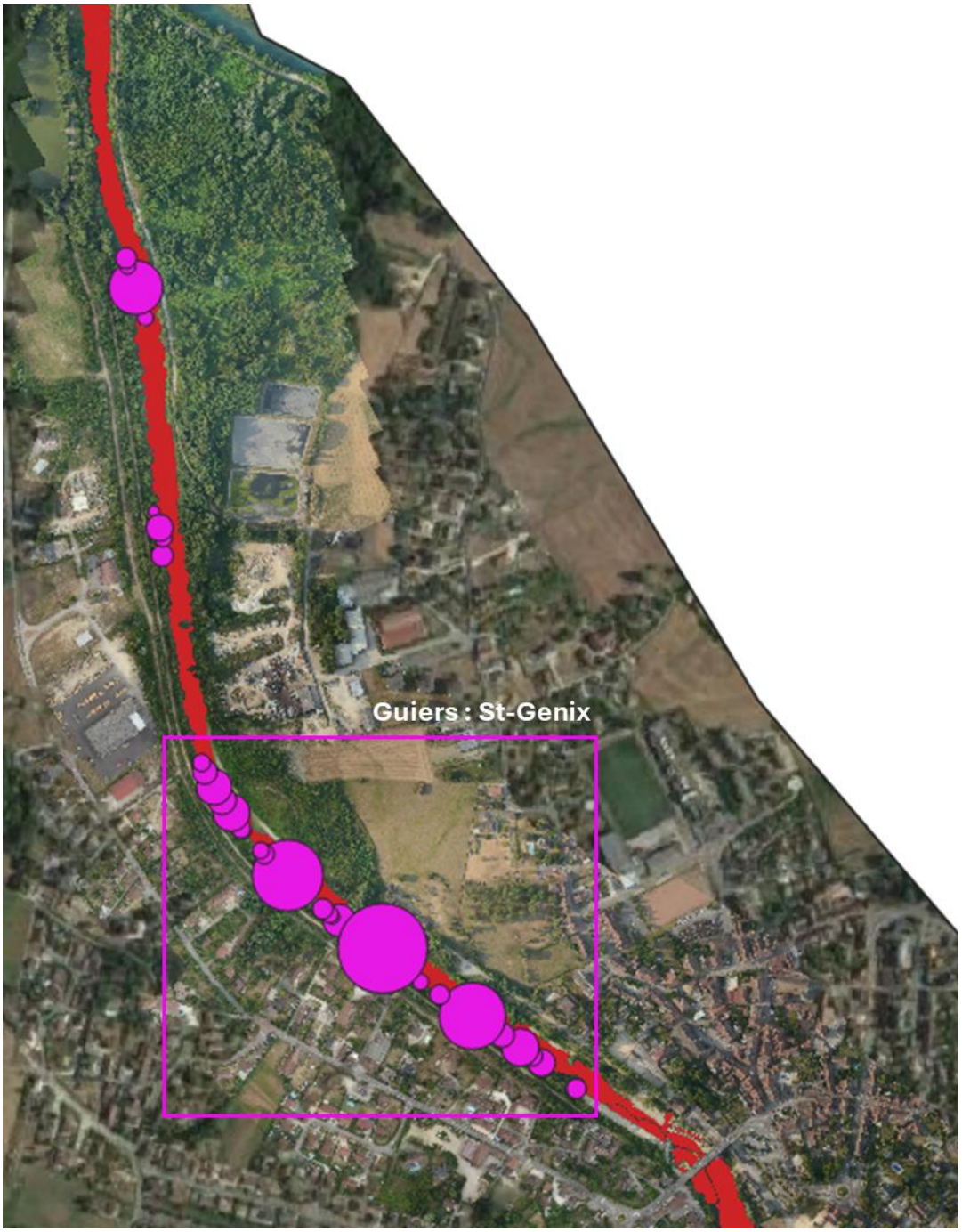

Guiers Mort: aval St-Laurent du Pont


Guiers Mort: Herrétang-Aigue noire


Guiers : gorges de Chailles

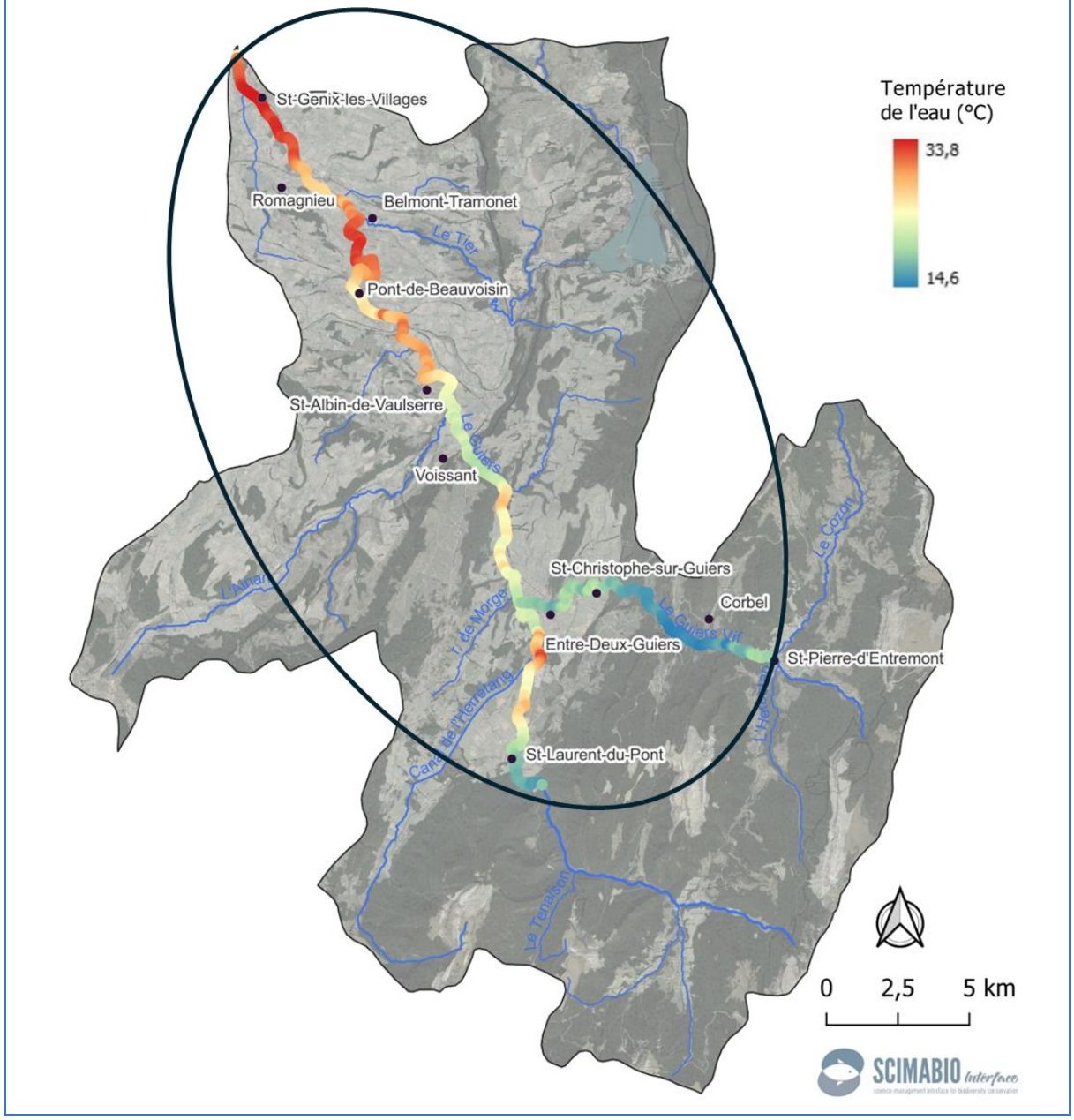

Guiers : Amont Pont de Beauvoisin
(rui de Beauchiffray)


Guiers : Entrée de Pont de Beauvoisin


Guiers : St-Genix

Type d'action	**Etude et travaux**
Nom de l'action	**Etablir et mettre en œuvre un plan de reboisement et de densification de la ripisylve pour limiter les rayonnements solaires directs.**

Localisation : l'ensemble du linéaire du Guiers, du Guiers Vifs et du Guiers Mort



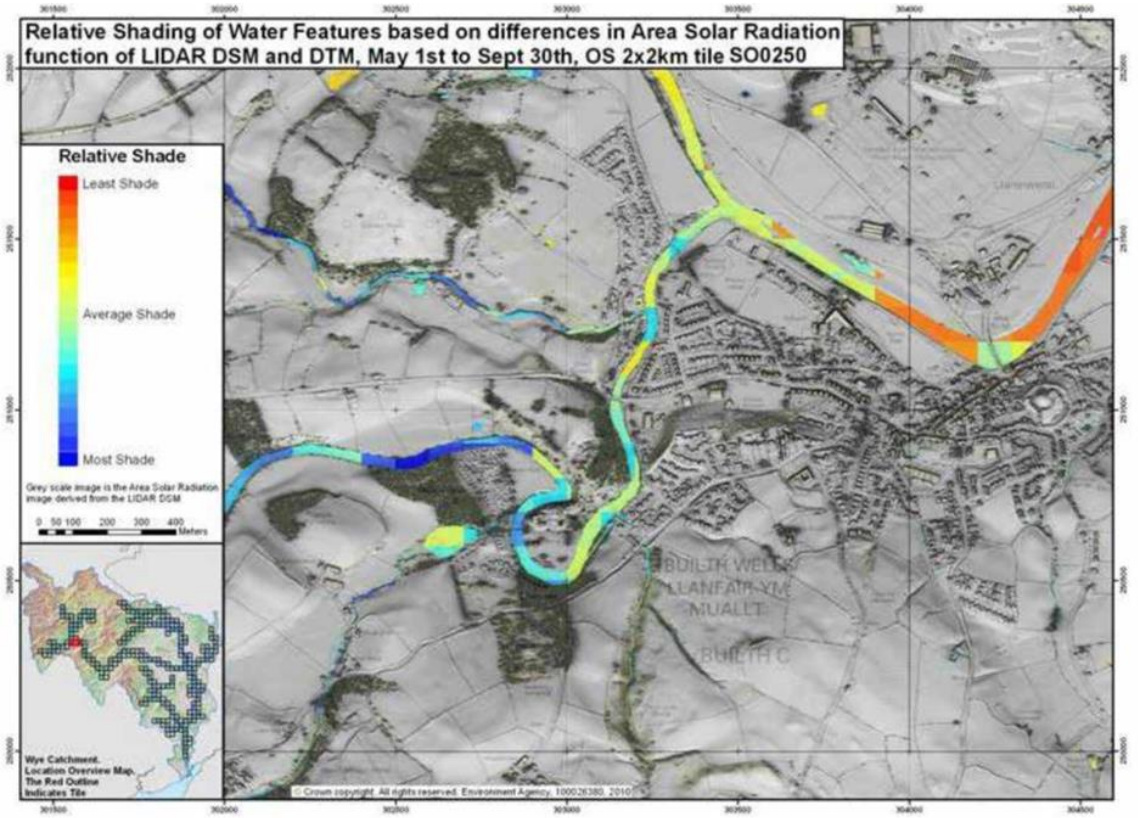
Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats IRT-a montrent que sur certaines zones caractérisées par une absence de ripisylve ou par une ripisylve peu dense, les échauffements peuvent être accentués par le rayonnement solaire qui agit directement à la surface de l'eau.

Objectifs et recommandations

L'action consiste à réaliser un plan de reboisement et de densification de la végétation rivulaire afin de bénéficier des effets protecteurs de l'ombrage. En effet, la plantation d'arbres en berge est une solution préconisée pour limiter l'échauffement estival des secteurs ouverts (Seavy et al., 2009; Withrow-Robinson et al., 2011). La présence de ripisylve joue un rôle essentiel sur la température de surface des rivières en permettant de limiter l'élévation de température voire de diminuer la température de la rivière (Dugdale et al. 2019, Marteau et al. 2020). Les actions de reboisement pourraient être priorisées sur les zones les plus pertinentes grâce à une étude préalable de modélisation cartographique des ombrages. De nouvelles méthodes de cartographie des effets d'ombrage de la végétation rivulaire sur la température de l'eau couplant les données IRT-a et Lidar permettent aujourd'hui de mieux prioriser les actions de gestion et de reboisement de la ripisylve (Jackson et al. 2020, Hyatt 2022, Rusnak et al. 2022). La réalisation d'un tel diagnostic sur le linéaire des Guiers permettrait de définir un plan de gestion de la ripisylve efficace afin de réduire sur certain secteur actuellement exposé les élévations de température.

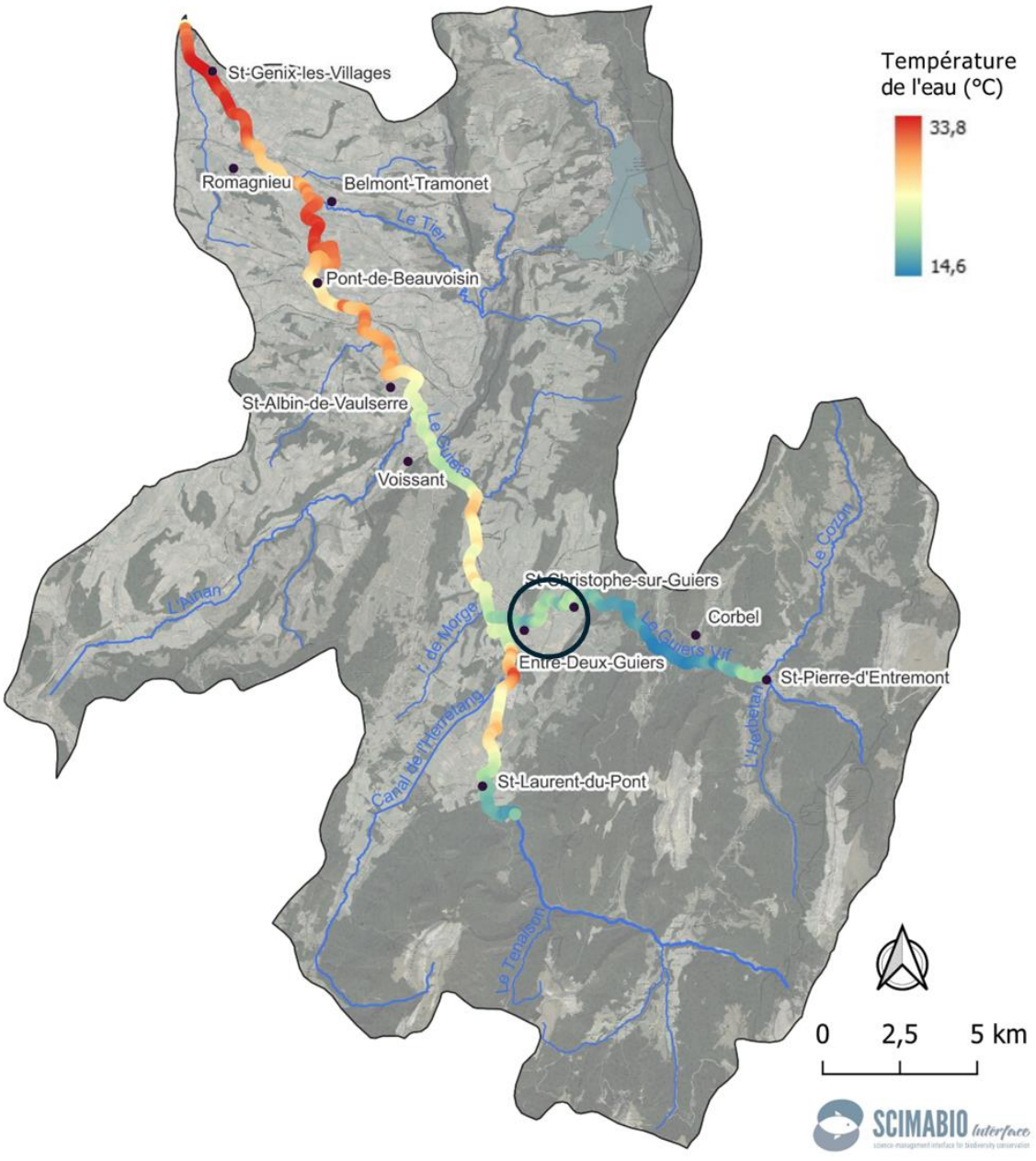
La figure suivante montre un exemple d'une carte d'ombrage sur un bassin permettant d'identifier les secteurs de rivière les plus d'ombragés (bleu) et ceux les moins ombragés (jaune à rouge) sur lesquels des plantations seraient pertinentes (Environment Agency Open Data, UK).



Cette proposition pourrait rentrer dans le cadre de l'action B1.4.1 du contrat de bassin Guiers 2022-2024 sur la gestion, restauration et l'entretien de la végétation de berge.

Type d'action	**Travaux de restauration**
Nom de l'action	**Programme d'actions cohérentes sur le Guiers Vif pour réduire ou limiter la hausse des températures estivales de l'eau (adaptation aux effets du réchauffement climatique).**

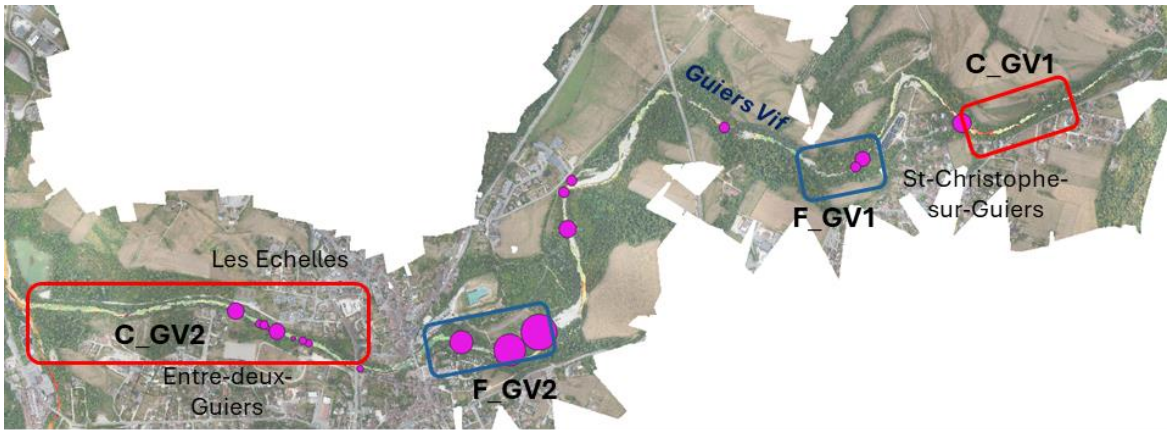
Localisation : aval du Guiers Vif (St-Christophe sur Guiers, Les Echelles, Entre-deux-Guiers)



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats IRT-a indiquent que le linéaire du Guiers Vif le plus vulnérable à l'échauffement de température se situe sur le cours aval, de la sortie des Gorges au niveau de St-Christophe à la jonction des deux Guiers, soit environ 4km. Sur ce linéaire, deux zones d'échauffement principales identifiées (C_GV2 et C_GV3) peuvent faible l'objet d'actions pour réduire leurs effets (figure ci-

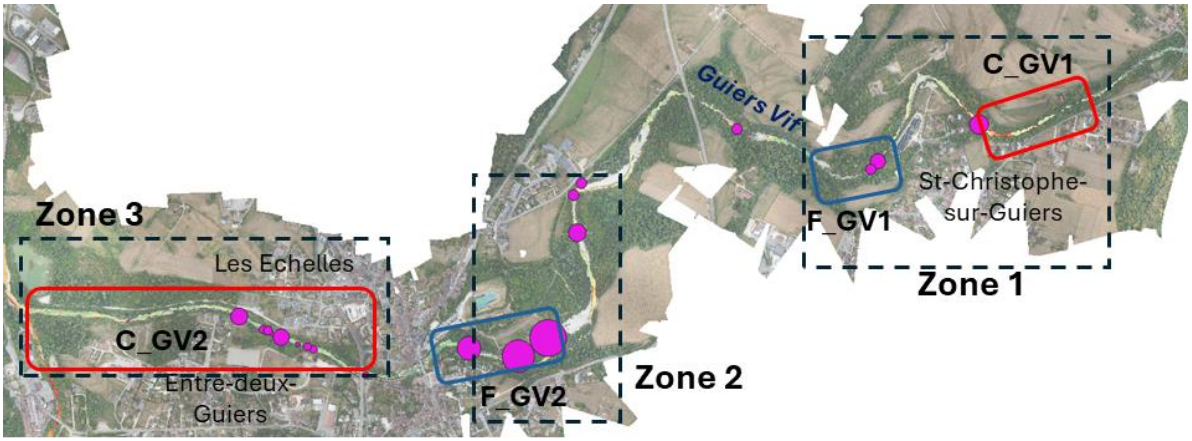
dessous). L'existence également de deux zones de refroidissement important (F_GV2 et F_GV3) sur lesquels des actions complémentaires peuvent être entreprises renforce l'intérêt d'intervenir sur ce linéaire clé.



Objectifs et recommandations

L'objectif est de mettre en œuvre un programme de plusieurs actions cohérentes qui toutes ensemble permettront d'avoir un effet cumulé destiné à contenir l'élévation des températures d'eau estivales et même à les réduire. L'objectif est de limiter les effets du changement climatique pour aider la biodiversité aquatique à s'adapter et à se maintenir.

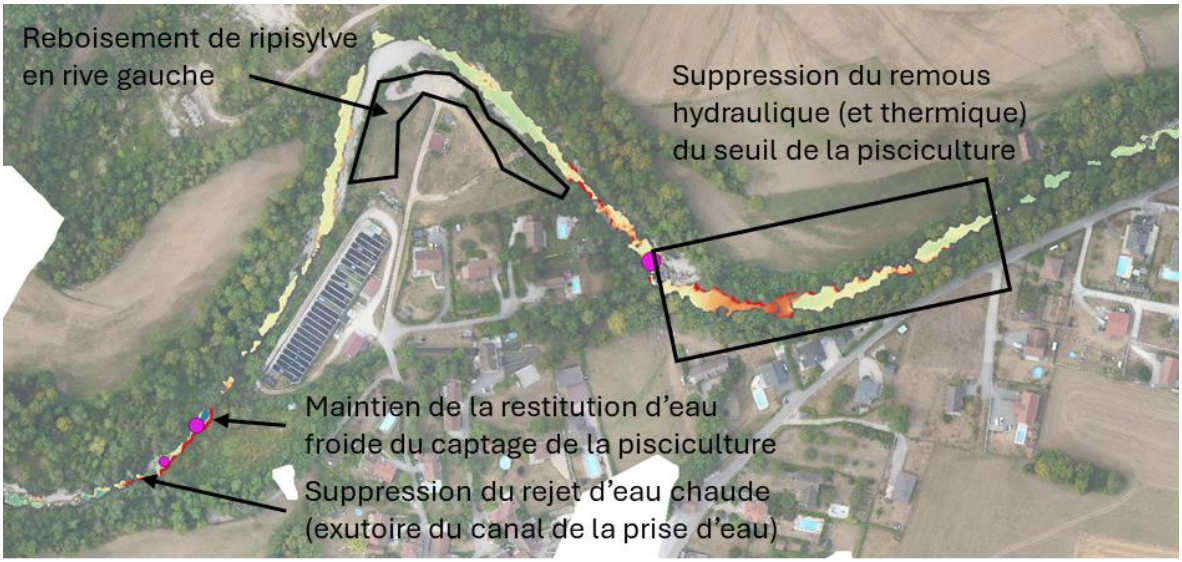
Les actions sont réparties en trois zones :



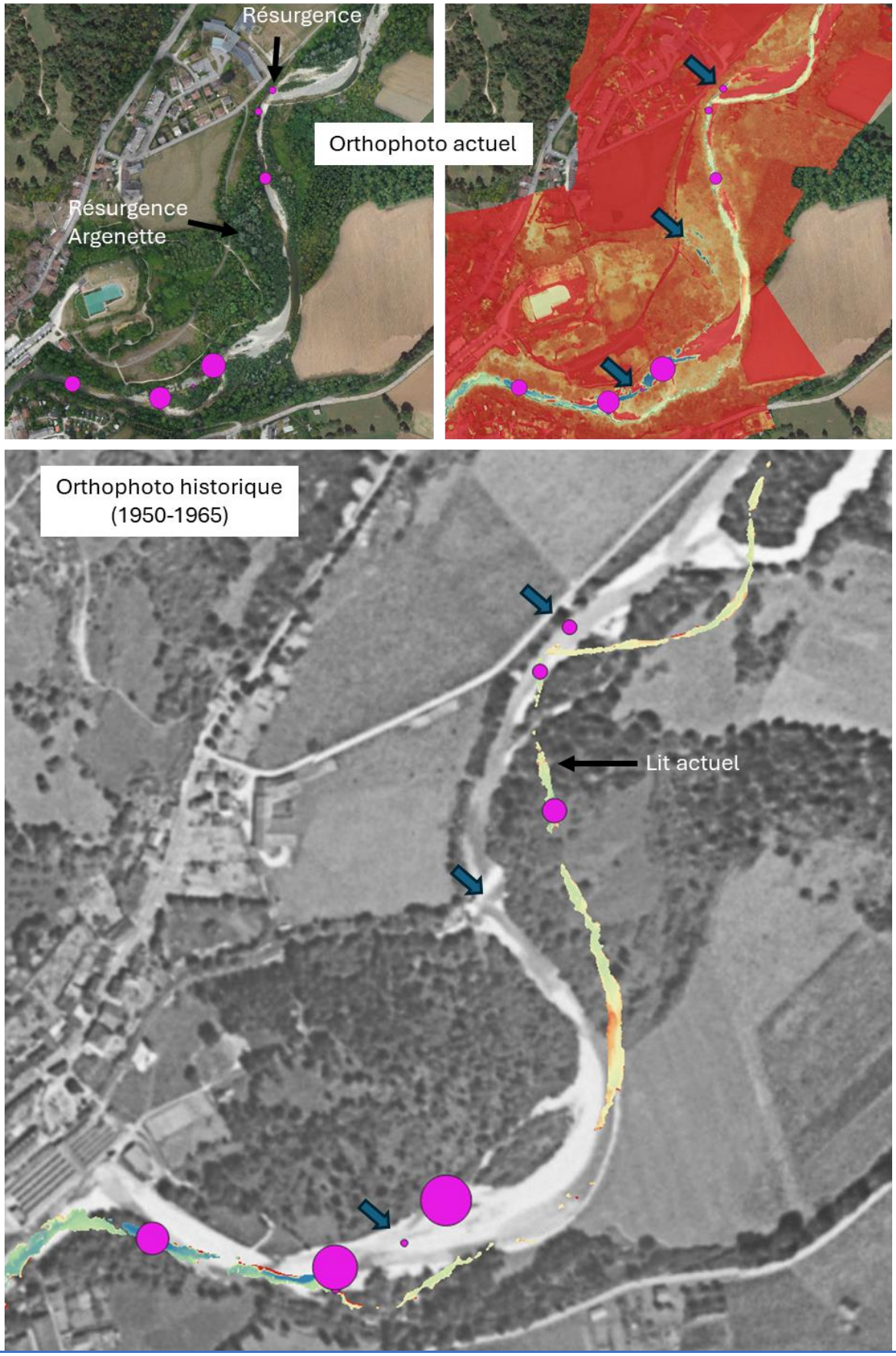
Sur la zone 1, au niveau de la pisciculture à St-Christophe-sur-Guiers, les actions consistent :

- A supprimer la retenue hydraulique du seuil de la pisciculture représentant un linéaire d'environ 300m qui provoque actuellement une augmentation importante de la température de l'eau. Cette opération peut être obtenue soit par démantèlement du seuil si la prise d'eau n'est plus justifiée soit par l'installation d'une vanne de décharge permettant la mise en transparence du seuil pendant la période estivale critique pour éviter l'effet « retenue hydraulique » pendant les périodes les plus chaudes. Cette action aura pour effet de supprimer le rejet d'eau plus chaude provenant du canal de la prise d'eau qui rejoint le Guiers Vif en aval.

- A reboiser la rive gauche, au niveau du méandre amont de la pisciculture, pour créer une ripisylve suffisamment dense et haute pour assurer un ombrage sur la rivière sur son côté sud. Ce secteur d'environ 200m linéaire est particulièrement vulnérable aux réchauffements par rayonnement solaire en raison d'un étalement important de la lame d'eau.
- A conserver la restitution du captage de la pisciculture qui constitue un apport d'eau froide important sur le Guiers Vif.

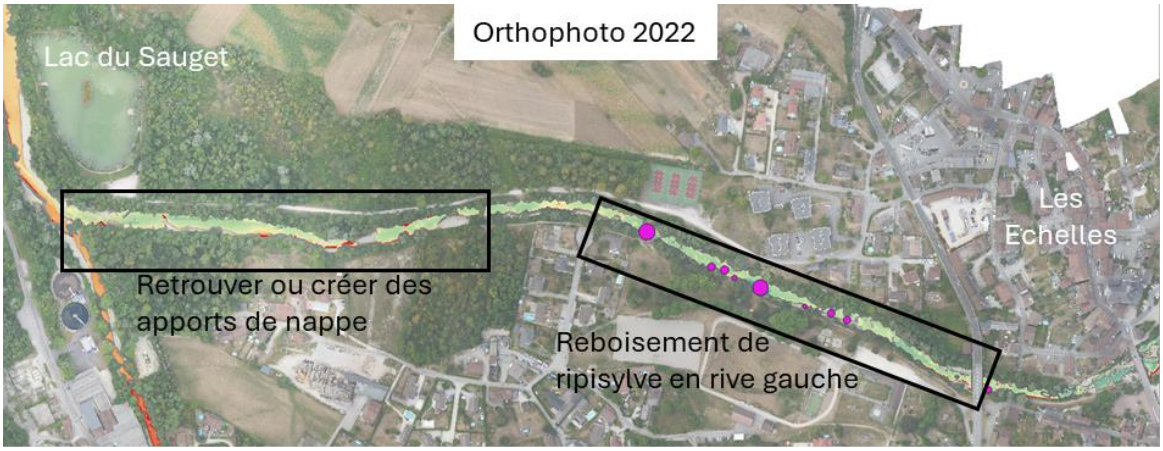


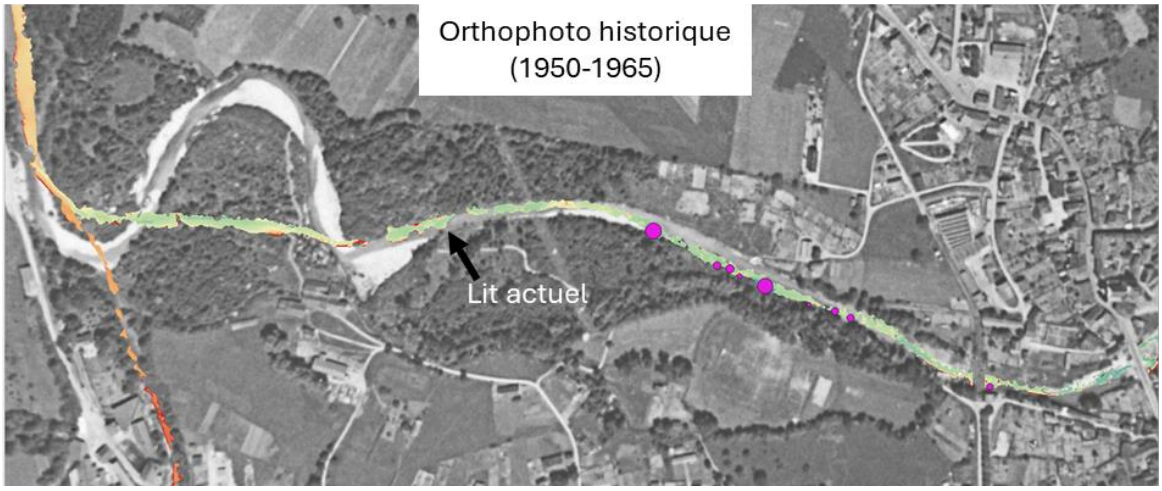
Sur la zone 2, les résurgences phréatiques identifiées qui arrivent aujourd'hui latéralement dans le lit actuel du Guiers Vif correspondent en fait à des anciens bras de rivière (voir figure ci-dessous). Il est proposé d'étudier la possibilité de recréer un espace de liberté autour du Guiers sur une emprise correspondant à l'ancien espace alluvial sur ce secteur. L'idée est que ces apports de nappe puissent échanger plus directement et régulièrement avec le chenal principal de la rivière plutôt que de se concentrer en un point sous forme de résurgence latérale.


Résurgence
Orthophoto actuel
Résurgence
Argenette
Orthophoto historique
(1950-1965)
Lit actuel

Sur la zone 3, comprenant le dernier kilomètre aval du Guiers vif, les actions proposées consistent :

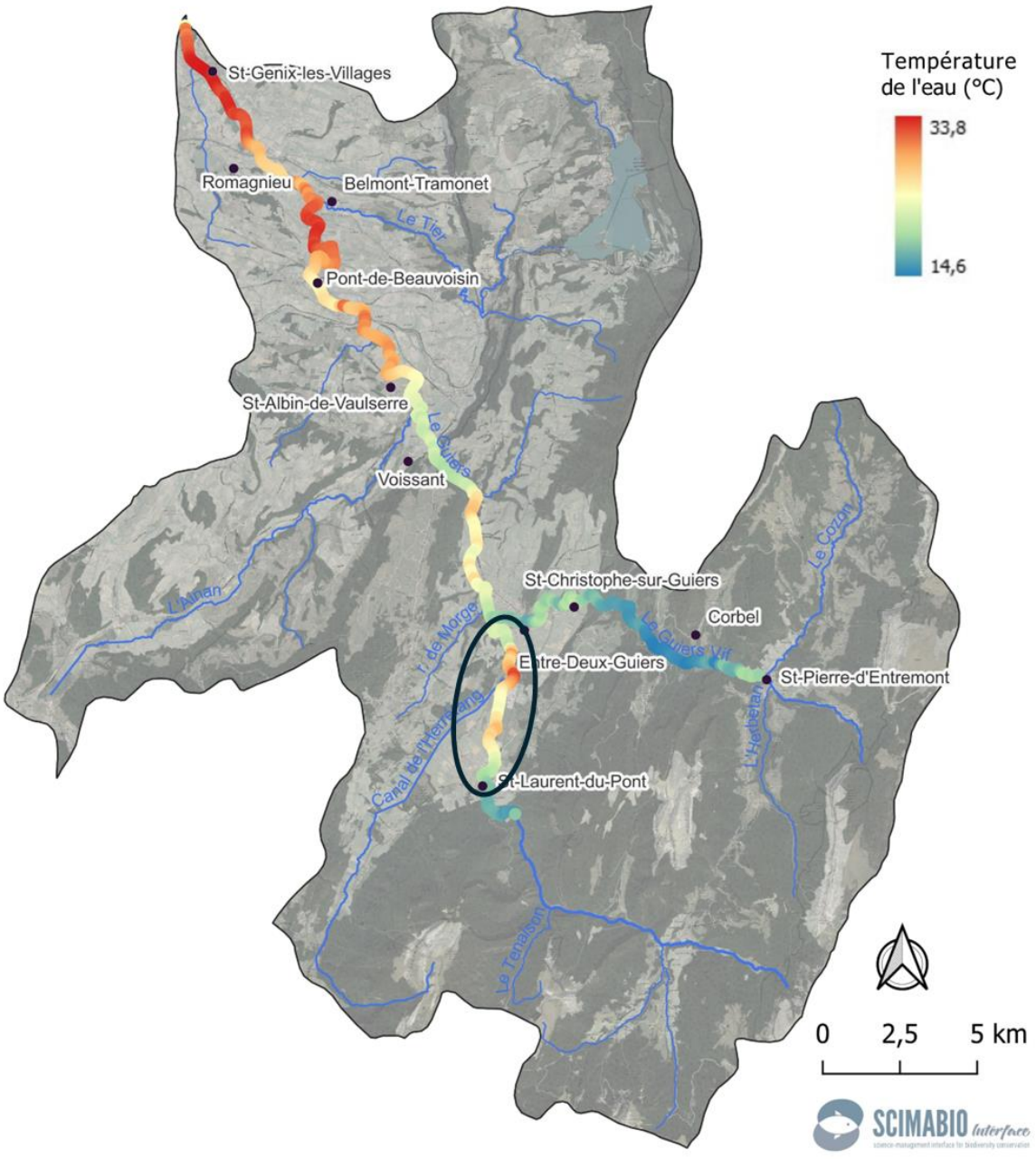
- A reboiser la rive gauche, à Entre-deux-Guiers, à l'aval du pont de la route départementale sur environ 400m linéaire, pour créer une ripisylve plus dense et plus haute afin de maximiser l'ombrage sur la rivière sur son côté sud. Ce tronçon, toujours situé sur le lit historique de la rivière, bénéficie déjà de quelques poches froides latérales limitant ainsi le réchauffement de l'eau. Maximiser l'ombrage pour réduire le rayonnement solaire direct à la surface de l'eau contribuera à lutter contre l'échauffement de l'eau sur ce tronçon vulnérable.
- A étudier, sur les 400 mètres aval, la possibilité de retrouver des apports phréatiques dans l'espace alluvial historique. Dans un premier temps, il s'agit de définir précisément les caractéristiques de la nappe sur ce secteur (écoulement, profondeur, débit, température) et l'influence du lac du Sauget sur le drainage de la nappe. Ensuite, deux options pourraient être envisagées, soit retrouver des apports naturels en recréant un espace de mobilité du lit correspondant à l'espace alluvial historique, soit créer un apport d'eau froide 'artificiel' et temporaire (limité aux périodes estivales les plus critiques) par captage dans la nappe.





Type d'action	**Travaux de restauration**
Nom de l'action	**Programme d'actions cohérentes sur le Guiers Mort pour réduire ou limiter la hausse des températures estivales de l'eau (adaptation aux effets du réchauffement climatique).**

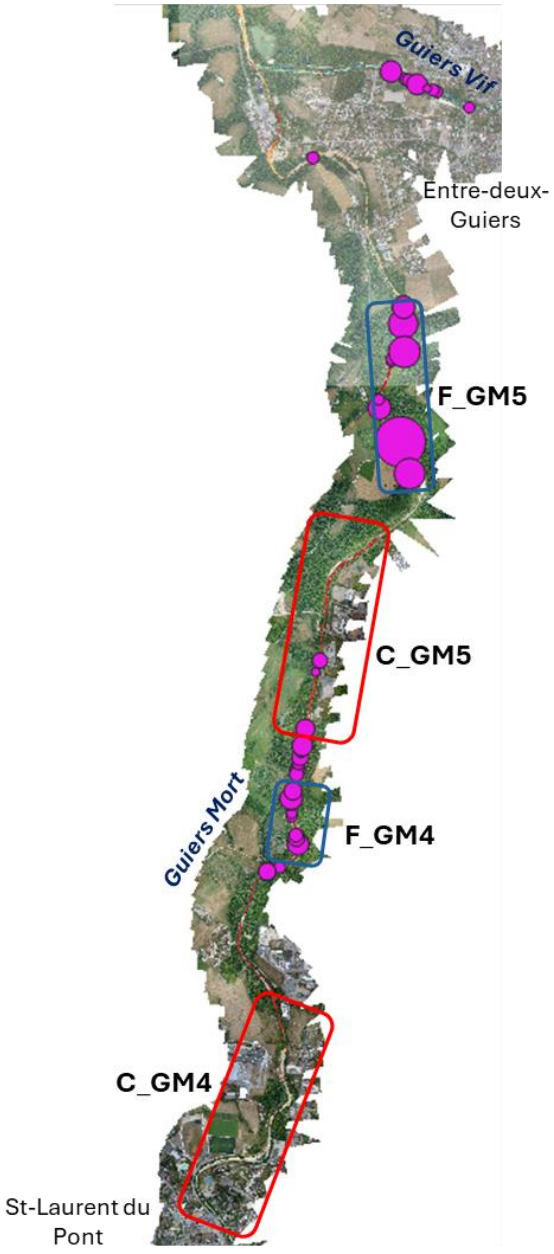
Localisation : aval du Guiers Mort (St-Laurent-du-Pont, Entre-deux-Guiers)



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats IRT-a indiquent que la température du Guiers Mort augmente fortement sur son cours aval à partir de St-Laurent-du-Pont. Sur l'ensemble de ce linéaire, long d'environ 7 km, les températures médianes le jour du relevé montraient des valeurs élevées comprises entre 21°C et

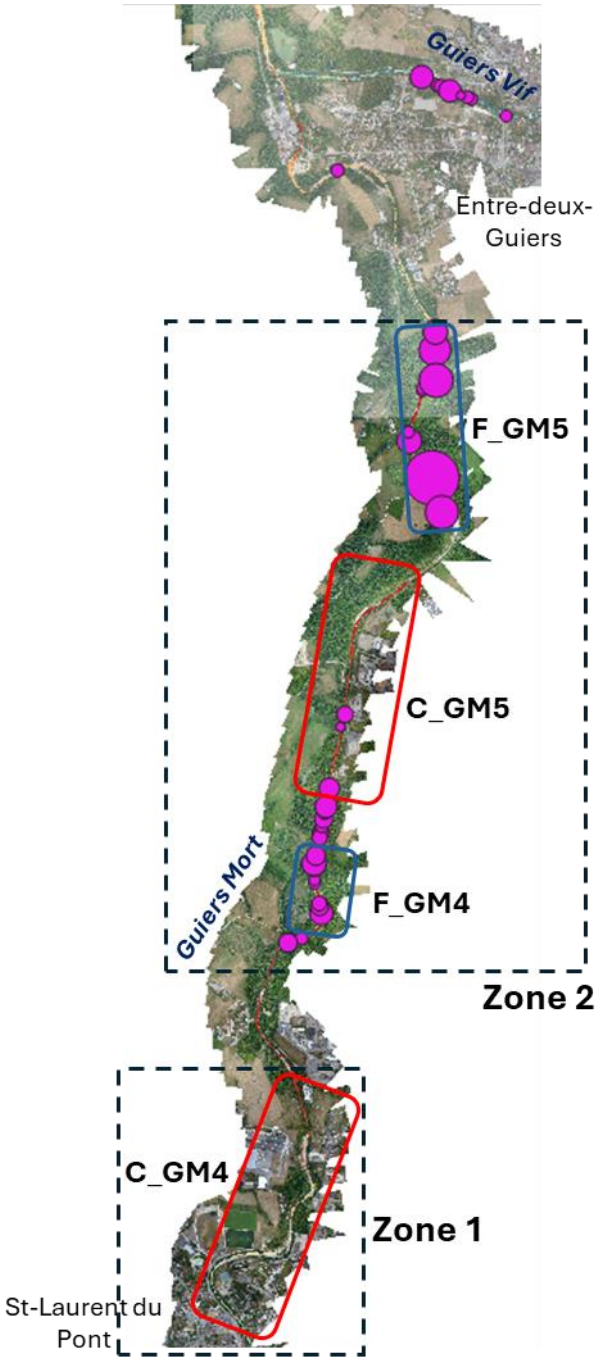
26°C. Les conditions thermiques estivales deviennent majoritairement défavorables pour les salmonidés avec notamment un point de basculement en aval de St-Laurent-du-Pont où les températures restent à un niveau de stress physiologique important au dessus de 23°C ou au dessus du seuil létal de 25°C. Sur ce linéaire, deux zones d'échauffement principales identifiées (C_GM4, C_GM5) peuvent être ciblées pour proposer des actions visant à réduire leurs effets négatifs (figure ci-dessous). Deux zones de refroidissement (F_GM4 et F_GM5) ont été également identifiées sur ce linéaire constituées par des apports phréatiques et des exutoires de zones humides. La rivière ayant trop chauffée sur ce secteur, ces apports, bien que conséquents, ne sont pas suffisants pour faire baisser la température médiane de l'eau dans des valeurs acceptables pour les salmonidés. Cependant, ils représentent localement des refuges thermiques temporaires importants. En outre, ces apports phréatiques locaux témoignent de l'existence de relations nappe/rivière résiduelles malgré les importantes modifications qu'à subit le lit du Guiers Mort sur ce secteur (extractions de substrat, endiguement, recalibrage). En ce basant sur les secteurs propices repérés par IRT-a, des actions de restauration de l'espace alluvial pourraient permettre d'accentuer les relations nappe/rivière, et ainsi tamponner l'échauffement observé en été.



Objectifs et recommandations

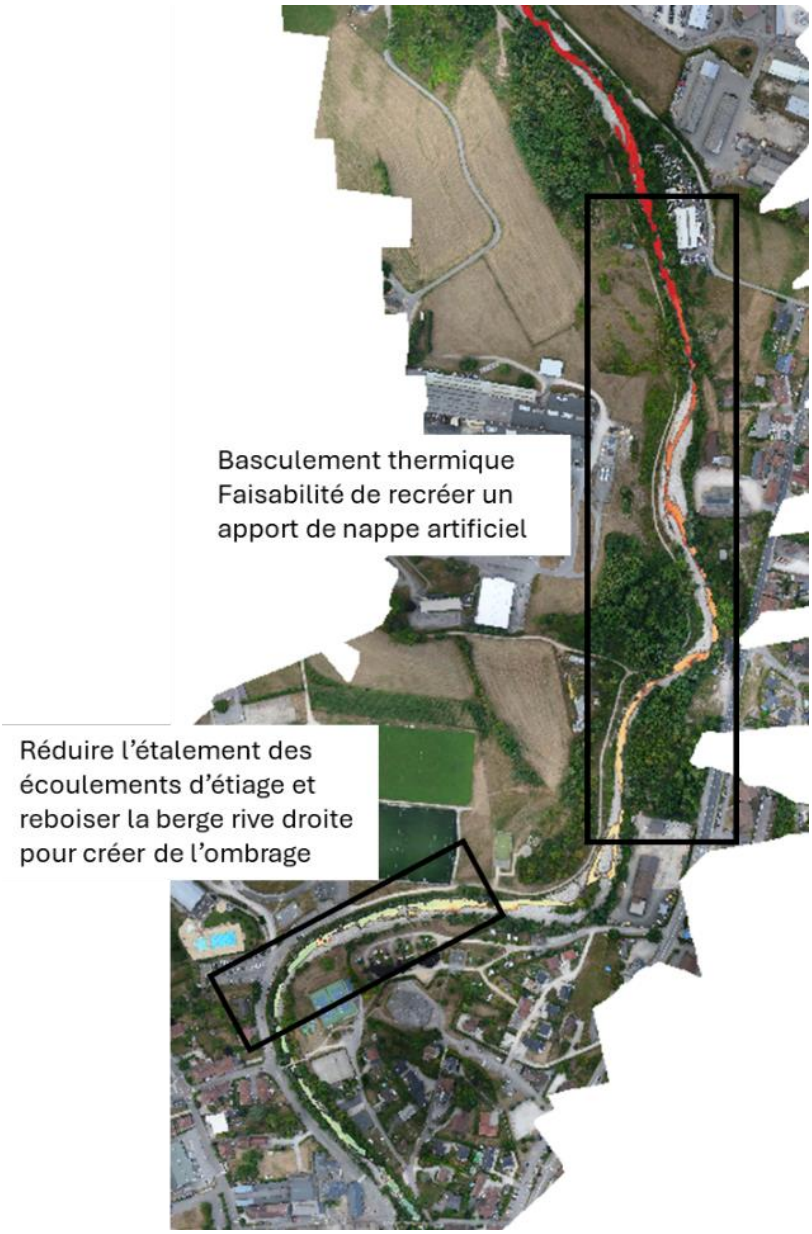
Au vu de la situation critique observée sur ce linéaire du Guiers Mort, un programme important et ambitieux apparait nécessaire pour réussir à limiter l'augmentation estivale des températures de l'eau et ainsi améliorer les conditions thermiques pour les salmonidés. Il est proposé d'initier un programme de plusieurs projets répartis sur le linéaire du Guiers Mort dont les actions auront pour but de compenser les dégradations importantes qu'à subi le Guiers Mort au cours des 70 dernières années (endiguement, extraction de substrat, pertes des apports phréatiques alluviaux, réduction des zones humides, exploitation des ressources en eau,…). L'idée est de développer sur ce linéaire des actions de restauration et de transformation du territoire avec une vision long terme (à 100 ans) afin de limiter les effets du réchauffement climatique sur la température d'eau de la rivière.

Trois zones géographiques peuvent être distinguées :



Sur la zone 1, les actions peuvent se focaliser sur deux secteurs clés :

- l'intérieur du méandre situé au niveau du camping de St-Laurent-du-Pont dont l'échauffement est facilité par l'absence de relation avec la nappe, l'étalement de la lame d'eau à l'étiage et l'absence de ripisylve qui ne permet pas de protéger ce linéaire vulnérable des radiations solaires directes.
- la ligne droite à la sortie du méandre le long de l'avenue de la gare sur laquelle se prolonge les effets de l'absence d'apports de nappe et qui connait un basculement thermique important.



Les propositions consistent :

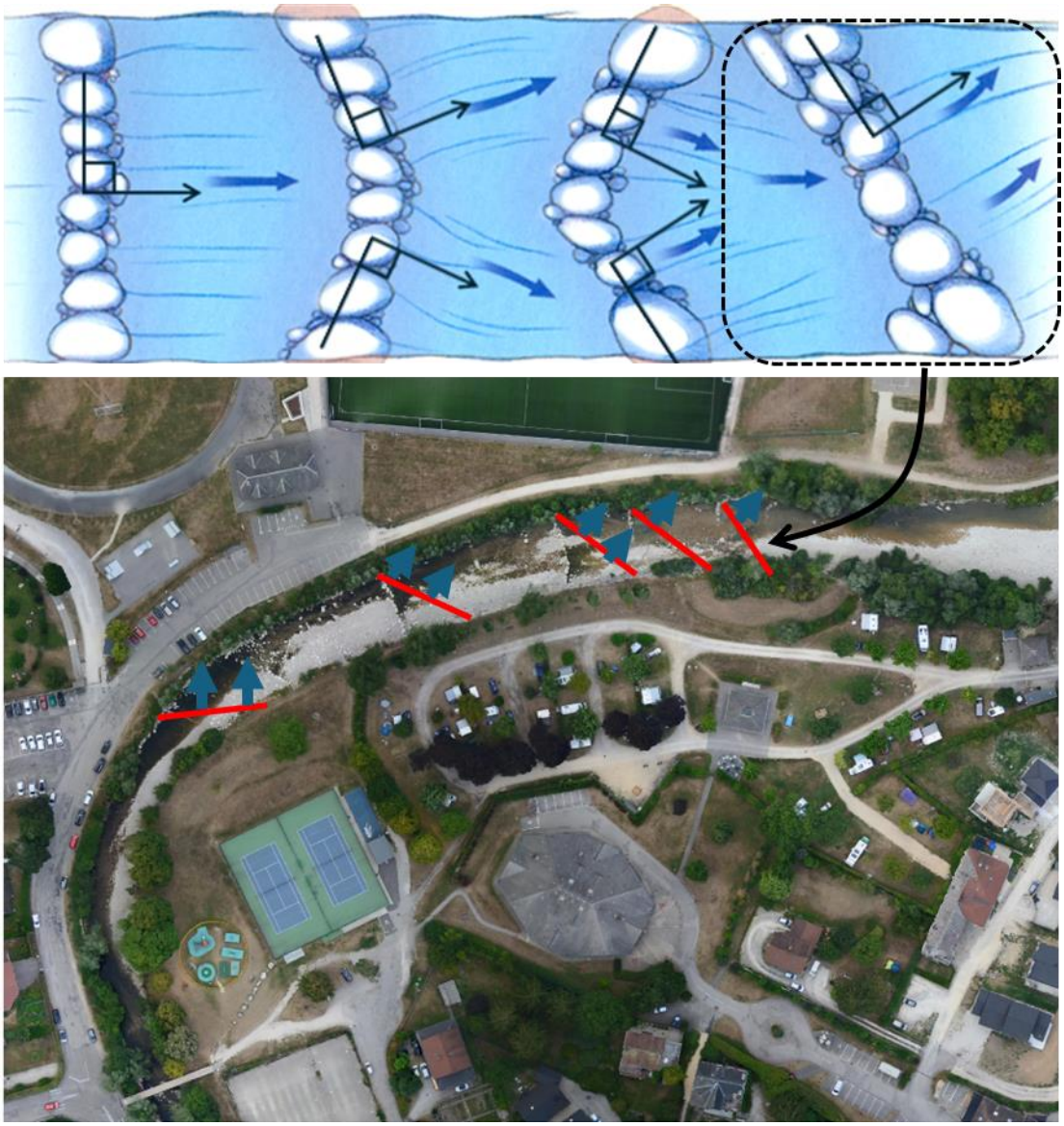
- A reboiser la rive droite pour recréer une ripisylve dense qui permette d'ombrager la surface de l'eau et ainsi de réduire l'échauffement provoqué par les radiations solaires directes. La figure ci-dessous illustre le déficit d'ombrage actuel observé sur ce linéaire et le principe de reboisement proposé. D'une manière générale, il est préconisé de reboiser toutes les berges

déficitaires en ripisylve dont leur orientation provoque un ensoleillement important de la surface en eau.





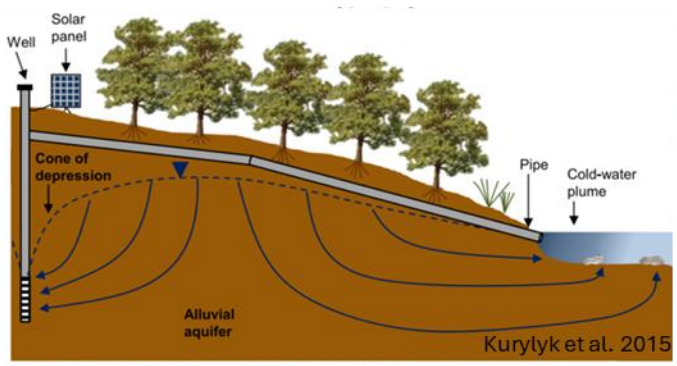
- A favoriser la **concentration des écoulements en période d'étiage contre la berge en rive gauche pour augmenter les hauteurs d'eau et les vitesses de courant** et ainsi éviter un étalement de la lame d'eau sur toute la largeur du lit avec de faibles hauteurs d'eau. Au contact d'un seuil, les écoulements hydrauliques vont toujours 'ressortir' perpendiculairement par rapport à l'orientation du seuil (voir figure ci-dessous). Ainsi, l'implantation de seuils obliques va orienter les écoulements vers la berge contrairement à des seuils droits, (c'est-à-dire perpendiculaire à la berge), qui vont provoquer une dispersion des écoulements.

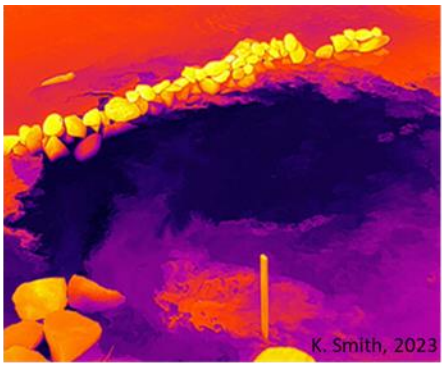


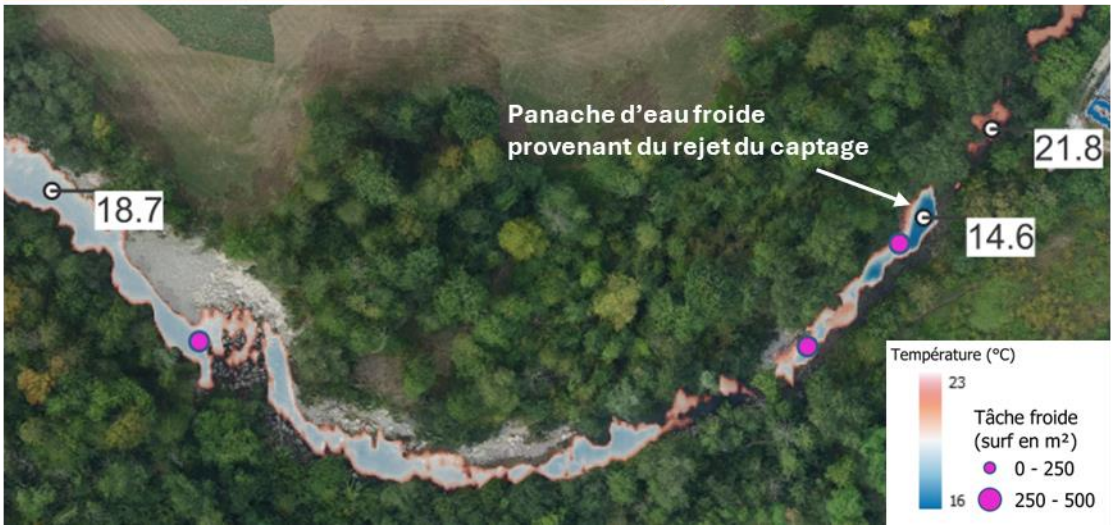
- La création d'apports d'eau froide temporaires sur des secteurs bien ciblés est une nouvelle solution permettant de compenser les échanges nappe/rivière naturels qui ont été perdus ou réduits suite à la modification morphologique des rivières et à l'exploitation des nappes (Kurylyk et al. 2015, K. Smith 2023). **L'idée est de créer artificiellement un apport d'eau froide en pompant de l'eau dans l'aquifère phréatique, comme c'est actuellement le cas pour divers usages (AEP, agriculture, pisciculture), et en la restituant en surface directement à la rivière.** Un tel apport d'eau à une température froide autour de 12-14°C aurait un effet immédiat qui se prolonge sur un linéaire important. Il s'agit d'un outil palliatif temporaire dont la fréquence et le débit du pompage sont uniquement limités aux périodes estivales les plus critiques. Pour optimiser l'effet de ces apports, le choix des secteurs les plus appropriés nécessite des informations préalables afin de bien intégrer les relations nappe/rivière déjà existantes, les caractéristiques de l'aquifère phréatique (profondeur, débit, température) et de privilégier des linéaires sur lesquelles les bénéfices thermiques seront les plus importants.

  La figure ci-dessous présente le principe de création d'un apport d'eau froide en rivière par pompage proposé par kurylyk et al (2015), l'image thermique d'une expérience pilote

de mise en place de ce principe dans une rivière Canadienne (Smith, 2023) et l'exemple du panache du rejet du captage de la pisciculture à St-Christophe sur le Guiers Vif qui constitue un apport d'eau froide artificiel basé sur ce même principe.

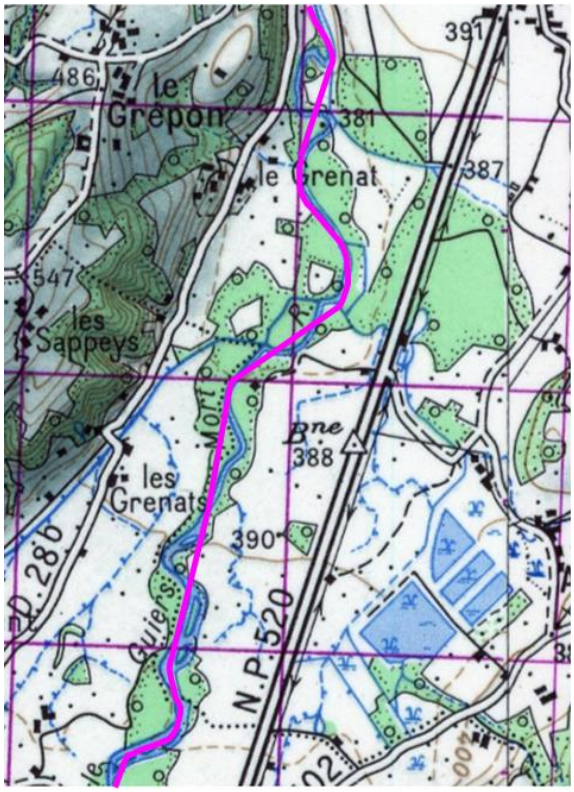




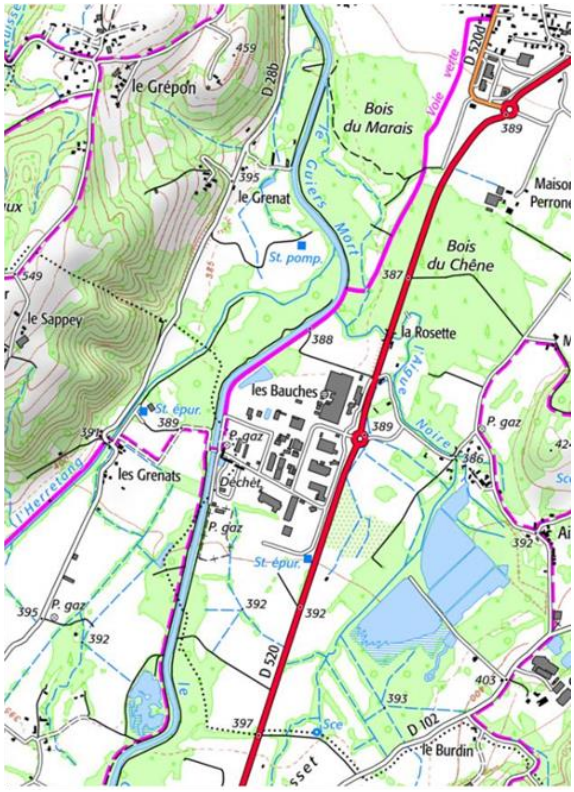


La zone 2, localisée entre St-Laurent-du-Pont et Entre-deux-Guiers, constitue un secteur clé du Guiers Mort présentant encore un fort potentiel de restauration. Sur ce linéaire d'environ 3,2km, le lit, naturellement alluvial de la rivière, a subi d'importants travaux d'aménagements anthropiques (recalibrage, chenalisation, endiguement) qui ont profondément modifié son fonctionnement hydromorphologique, avec pour conséquence une réduction des échanges nappe/rivière (voir figure ci-dessous).

D'ailleurs ce secteur a été reconnu comme un espace de bon fonctionnement (EBF) en 2010 et des travaux d'arasement de digue ont été réalisés en 2019. En amont, d'autres travaux de restauration initiés en 2016 ont permis de démanteler des seuils et de réduire le linéaire endigué.



IGN 1950



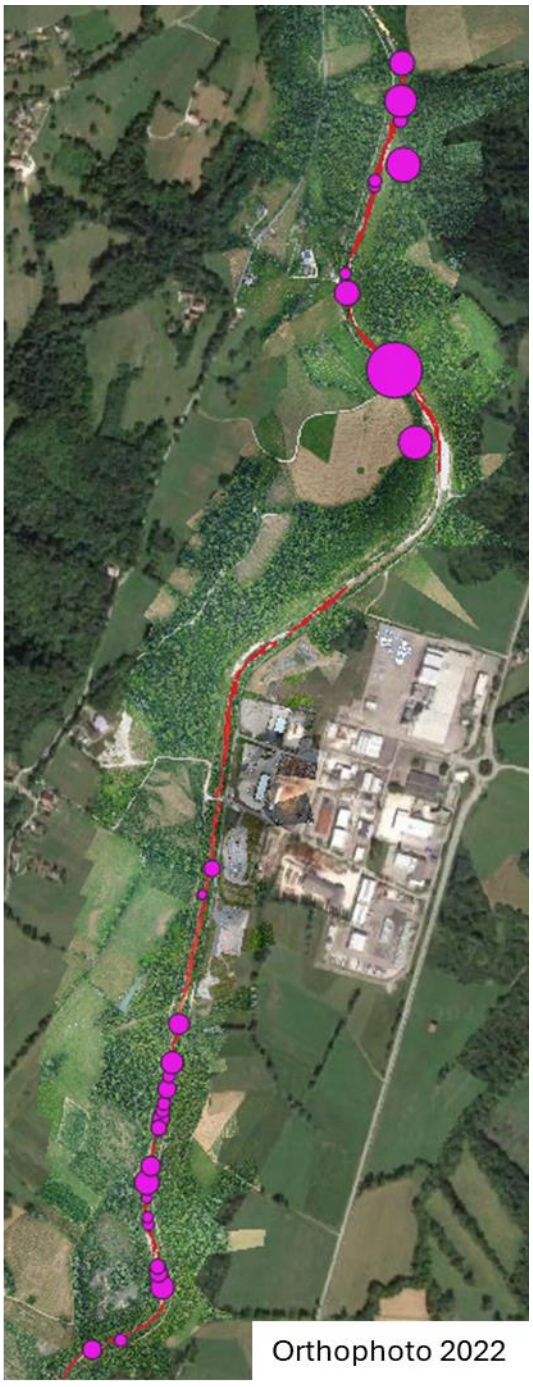
IGN 2021

En violet=tracé actuel du Guiers Mort

Les atouts de ce secteur sont d'une part que les emprises anthropiques restent très faibles sur les abords du cours d'eau mais également sur la totalité de l'ancien espace alluvial et d'autre part que de nombreuses poches froides ont été identifiées, indiquant que des apports de nappe sont encore existants en particulier lorsque le lit actuel recoupe ou rejoint le lit historique (voir figure ci-dessous).



Orthophoto historique
(1950-1965)



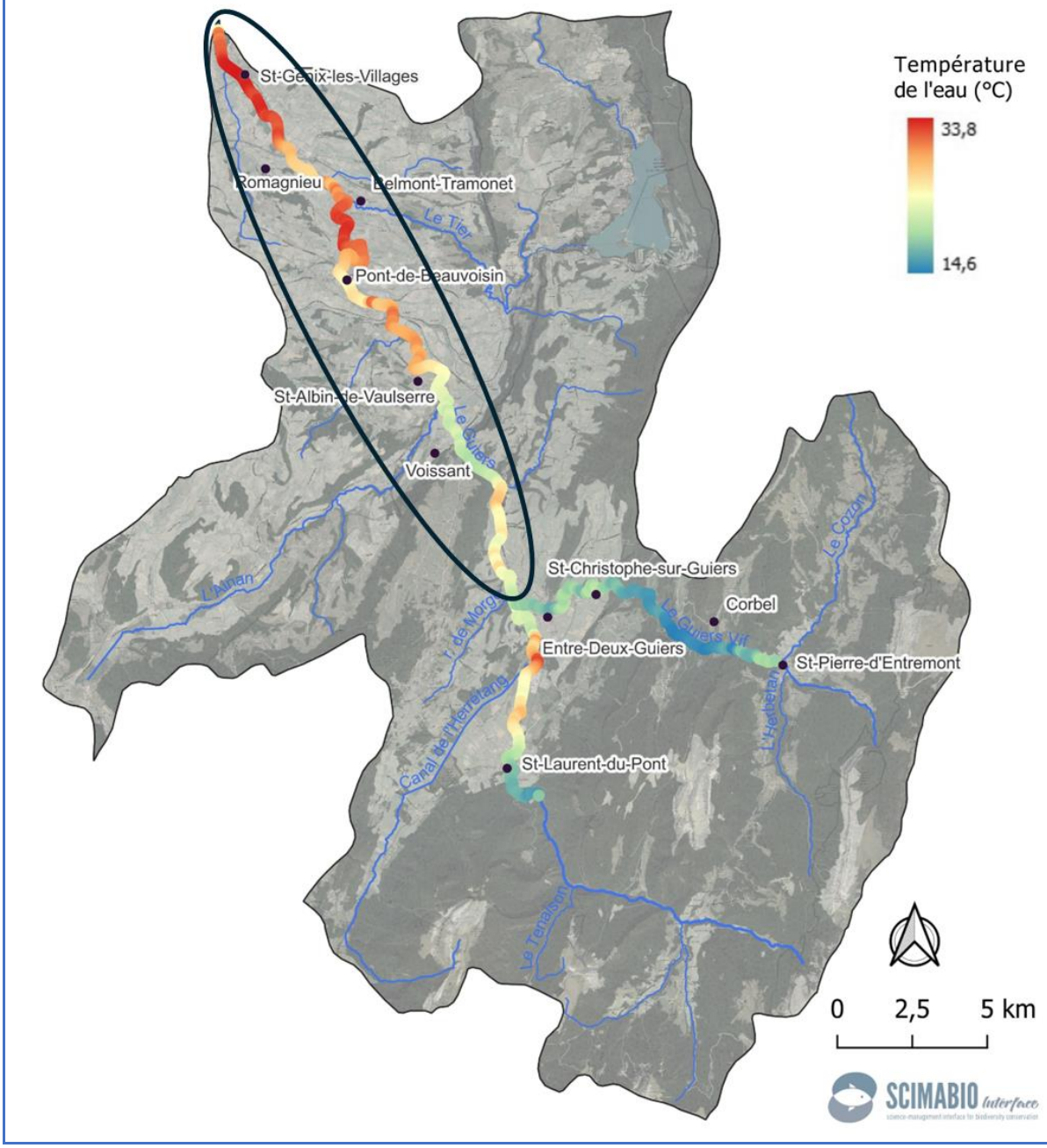
Orthophoto 2022

Aujourd'hui, au-delà de la restauration physique du lit, il s'agit de retrouver un fonctionnement hydromorphologique naturel afin de recréer les échanges nappe/rivière perdus.

Seul un projet ambitieux de restauration hydromorphologique destiné à remettre en contact le lit de la rivière avec sa nappe d'accompagnement va permettre de favoriser les processus qui sont à l'origine des échanges nappe/rivière.

Type d'action	**Travaux de restauration**
Nom de l'action	**Programme d'actions cohérentes sur le Guiers pour réduire ou limiter la hausse des températures estivales de l'eau (adaptation aux effets du réchauffement climatique).**

Localisation : l'ensemble du Guiers depuis la jonction du Guiers Mort et du Guiers Vif jusqu'à la confluence avec le Rhône.



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats obtenus sur le Guiers mettent en évidence des températures estivales élevées dès la jonction des deux Guiers qui ensuite augmentent fortement et rapidement vers l'aval. Ainsi, le

profil thermique établi montre des températures médianes comprises entre 21°C et 27°C. La densité de poches froides recensées est faible pour un cours d'eau ayant une hydrodynamique majoritairement alluviale, ce qui signifie que les relations nappe/rivière ont été réduites ou perdues. Les apports d'eau plus froides sont inégalement répartis sur le linéaire et apparaissent souvent concentrés sur des faibles distances. Enfin, la majorité des apports sont d'origine hyporhéique et non phréatique, ce qui se traduit par des différentiels thermiques faibles (1 à 2°C) entre les poches plus froides et l'eau de la rivière.

La seule baisse réellement notable des températures est observée au niveau des gorges de Chailles où un verrou géologique entraine un drainage vers le Guiers des apports de la nappe.

Les conditions thermiques estivales sont donc fortement défavorables pour les salmonidés sur la quasi-totalité du linéaire et sur des périodes assez longues. Les gammes de températures auxquelles sont soumis les salmonidés induisent des niveaux de stress physiologique élevés et dépassent même le seuil létal de 25°C sur plus de 50% du linéaire. Un point de basculement thermique est observé à St-Albin-de-Vaulserre, à partir duquel les valeurs de températures restent dans des gammes défavorables 24h par jour et pendant plusieurs semaines consécutives. A l'amont de ce point de basculement, les variations thermiques journalières permettent aux salmonidés de retrouver des conditions acceptables autour de 50% du temps chaque jour.

Enfin, sur l'ensemble du linéaire, les possibilités de refuges thermiques sont minimes et en terme de refuge climatique à long terme, la seule échapatoire pour les individus, si les conditions se dégradent encore, sera de migrer vers le Guiers Vif et l'amont du Guiers Mort.

Seul un programme d'envergure composé d'actions cohérentes et ambitieuses peut permettre de répondre aux enjeux de l'atténuation des effets du changements climatiques sur le Guiers. Ces actions viendront s'additionner à celles déjà proposées à l'échelle de toute la rivière et sur le Guiers Vif et le Guiers Mort dont les effets se prolongeront sur le Guiers.

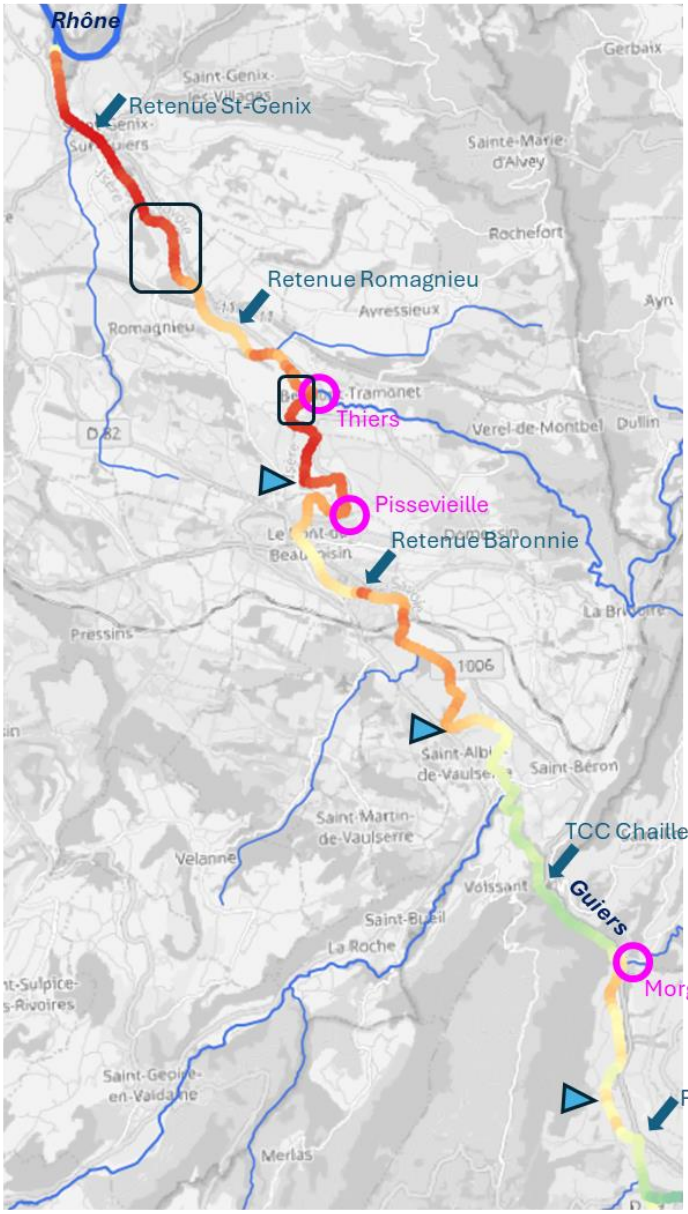
Objectifs et recommandations

La première action consiste en un choix politique, qui revient aux acteurs-gestionnaires, sur le devenir du statut salmonicole sur la moitié aval du Guiers ce qui déterminera les objectifs à atteindre et le niveau d'exigence souhaité dans les actions de lutte contre le réchauffement de l'eau. Ainsi la question posée est la suivante : est ce que les acteurs souhaitent restaurer des conditions thermiques compatibles avec la vie salmonicole en aval de St-Albin-de-Vaulserre ou doit-on considérer la moitié aval du Guiers comme définitivement perdue pour les salmonidés et concentrer les actions sur le reste du linéaire ?

Les actions proposées peuvent s'organiser autour de 4 axes :

- Suppression des sources locales de réchauffements d'origine anthropique (retenues, rejets, réductions des débits) ;
- Optimisation du rôle des affluents qui constituent de potentiels refuges thermiques ;
- Restauration des processus hydromorphologiques afin de retrouver des échanges nappe/rivière fonctionnels ;

- Création de refuges thermiques ou d'apports d'eau phréatique artificiels pour compenser les échanges nappe/rivière perdus.



Suppression des sources locales de réchauffements d'origine anthropique
Optimisation du rôle des affluents en tant que refuge thermique
Restauration d'échanges nappe/rivière fonctionnels
Apports d'eau phréatique artificiels

Cinq sources de réchauffements d'origine anthropique peuvent être ciblées : il s'agit des retenues hydrauliques des barrages de St-Genix, Romagnieu, et Baronnie, du tronçon court-circuité de la prise d'eau hydroélectrique de Chailles et d'un rejet de STEP à l'aval de la commune de Miribel-Les Echelles.

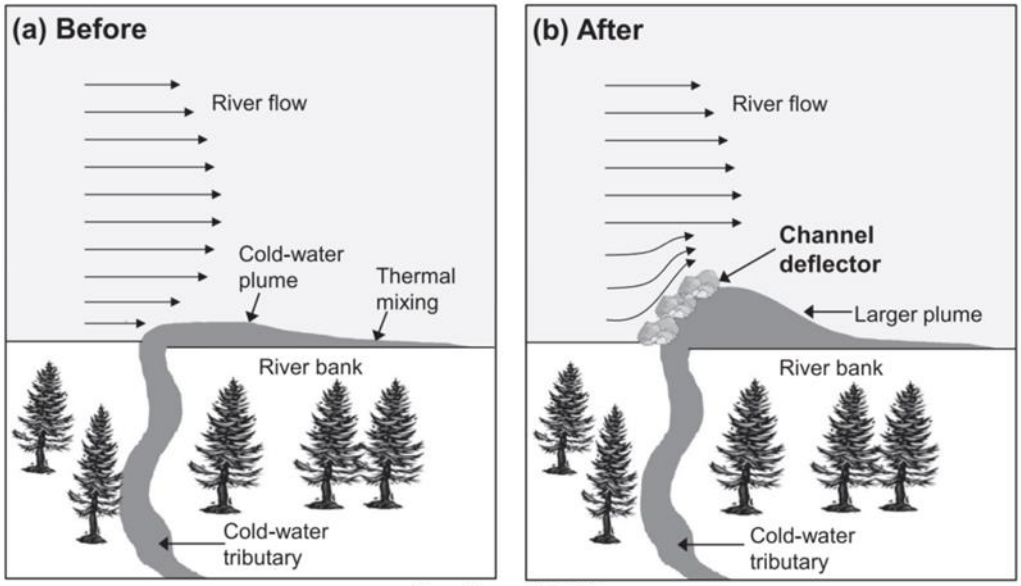
Pour éviter les effets « retenues hydrauliques » qui accélèrent le réchauffement de l'eau de la rivière, il est préconisé sur le court-terme des actions de mise en transparence ou « débarrage » des barrages pendant la période estivale critique.

Idem pour le réchauffement observé sur le TCC de Chailles, une mise en transparence de la prise d'eau en période de canicule est proposée pour permettre à la rivière de bénéficier de la totalité de son débit d'étiage et ainsi être moins vulnérable à l'échauffement de l'eau

Les rejets d'eau chaude comme celui identifié au niveau de la STEP doivent être supprimés ou l'eau chaude doit faire l'objet d'un refroidissement avant d'être rejetée dans la rivière.

Sur l'ensemble du Guiers, seules trois zones de confluence provenant d'affluents peuvent jouer un rôle local de refuge thermique : le ruisseau de Morges, le ruisseau de Pissevieille et le Thiers. Pour conserver voire accentuer les effets des ruisseau de Morges et de Pissevieille, il convient d'éviter tout prélèvement d'eau sur leur bassin versant (captage de sources, plan d'eau,..) pour maximiser leur apport en étiage, de garder un boisement de berge important pour éviter les radiations solaires et de s'assurer de leur accessibilité pour les poissons en débit d'étiage.

La surface d'un refuge thermique créé par un panache d'eau plus froide dans la rivière peut être augmentée par le biais de déflecteurs qui vont retarder le mélange entre le panache et la rivière et ainsi permettre de prolonger le flux d'eau plus froide du panache tout en augmentant le gradient de températures disponibles pour différentes espèces ou différents stades de vie. Ce principe proposé par Kurylyk et al. (2015) est présenté dans la figure suivante. Bien qu'il n'existe que peu d'exemples en France de mise en place de ce type de structure, leur mise en œuvre peut être relativement simple (suivant les contextes et les accès) pour des gains potentiellement importants.



Kurylyk et al. 2015

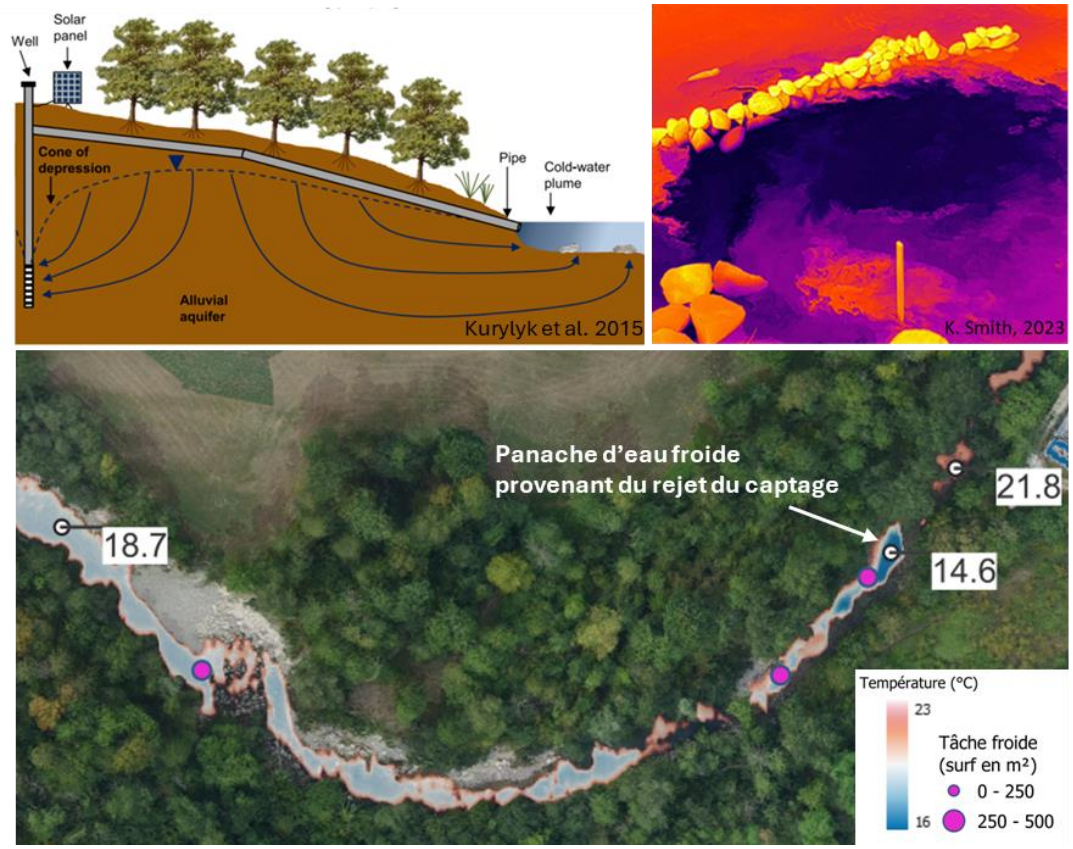
Comme déjà évoqué, l'ensemble du linéaire du Guiers souffre d'un déficit d'apports d'eau phréatiques indiquant que les échanges nappe/rivière ont été réduits ou perdus au niveau de l'espace alluvial. La caractérisation du profil longitudinal du niveau de la nappe sur le linéaire, proposée en première action, est ici primordiale pour identifier les réelles possibilités de restauration de ces échanges. En fonction des caractéristiques de la nappe alluviale, des tronçons montrant un fort potentiel pourront être précisément choisis pour proposer des actions ambitieuses de restauration des processus hydro-morphologiques qui sont à l'origine des échanges nappe/rivière fonctionnels.

Les données IRT-a permettent déjà de faire remonter un point de vigilance sur deux secteurs sur lesquels des échanges ont été identifiés et où des actions de « restauration des caractéristiques

morpho-écologiques » sont à l'étude dans le cadre du contrat de bassin Guiers 2022-2024 (action B1.1.5 au niveau du camping des trois lacs et de la confluence du Thiers et action B1.1.6 entre l'A43 et le pont de St-Genix). Il apparait essentiel d'intégrer dans ces deux projets les nouvelles connaissances acquises concernant les apports d'eau hyporhéiques et phréatiques ainsi que celles attendues dans l'étude du profil longitudinal de la nappe alluviale. L'objectif doit être de mieux intégrer le fonctionnement hydro-morphologique et hydro-géologique de la rivière pour proposer des actions de rétablissement des processus qui permettent de retrouver des échanges nappe/rivière.

Comme pour le Guiers Mort, lorsque les échanges sont perdus et que les possibilités de restauration sont réduites à court ou moyen terme, la création d'apports d'eau froide temporaires sur des secteurs bien ciblés peut-être une solution de compensation. Il s'agit **de créer artificiellement un apport d'eau froide en pompant de l'eau dans l'aquifère phréatique, comme c'est actuellement le cas pour divers usages (AEP, agriculture, pisciculture), et en la restituant en surface directement à la rivière.** Un tel apport d'eau à une température froide autour de 12-14°C a un effet immédiat qui se prolonge sur un linéaire important. Il s'agit d'un outil palliatif temporaire dont la fréquence et le débit du pompage sont uniquement limités aux périodes estivales les plus critiques. Pour optimiser l'effet de ces apports, le choix des secteurs les plus appropriés nécessite des informations préalables afin de bien intégrer les relations nappe/rivière déjà existantes, les caractéristiques de l'aquifère phréatique (profondeur, débit, température) et de privilégier des linéaires sur lesquelles les bénéfices thermiques seront les plus importants.

La figure ci-dessous présente le principe de création d'un apport d'eau froide en rivière par pompage proposé par Kurylyk et al (2015), l'image thermique d'une expérience pilote de mise en place de ce principe dans une rivière Canadienne (Smith, 2023) et l'exemple du panache du rejet du captage de la pisciculture à St-Christophe sur le Guiers Vif qui constitue un apport d'eau froide artificiel basé sur ce même principe.


Well
Solar panel
Cone of depression
Pipe
Cold-water plume
Alluvial aquifer
Kurylyk et al. 2015
K. Smith, 2023
Panache d'eau froide
provenant du rejet du captage
18.7
21.8
14.6
Température (°C)
23
16
Tâche froide
(surf en m²)
0 - 250
250 - 500

5. RÉSULTATS SUR LE CHÉRAN

Au total, 740 photographies ont été acquises et alignées pour générer une orthophoto recouvrant environ 14,7 km² pour une résolution au sol de 10 cm·pix^{-1}. De la même manière, 1431 images thermiques ont été prises pour créer une mosaïque thermique d'environ 14,6 km², pour une résolution d'image au sol de 40 cm·pix^{-1}. Il est important de garder en mémoire pour l'interprétation des résultats que la technologie IRT-a fournit une information de température de surface, et ne cartographie que ce qui est visible depuis les airs.

Le linéaire étudié concerne la totalité du Chéran depuis Ecole jusqu'à la confluence avec le Fier soit 43 km (figure 66).

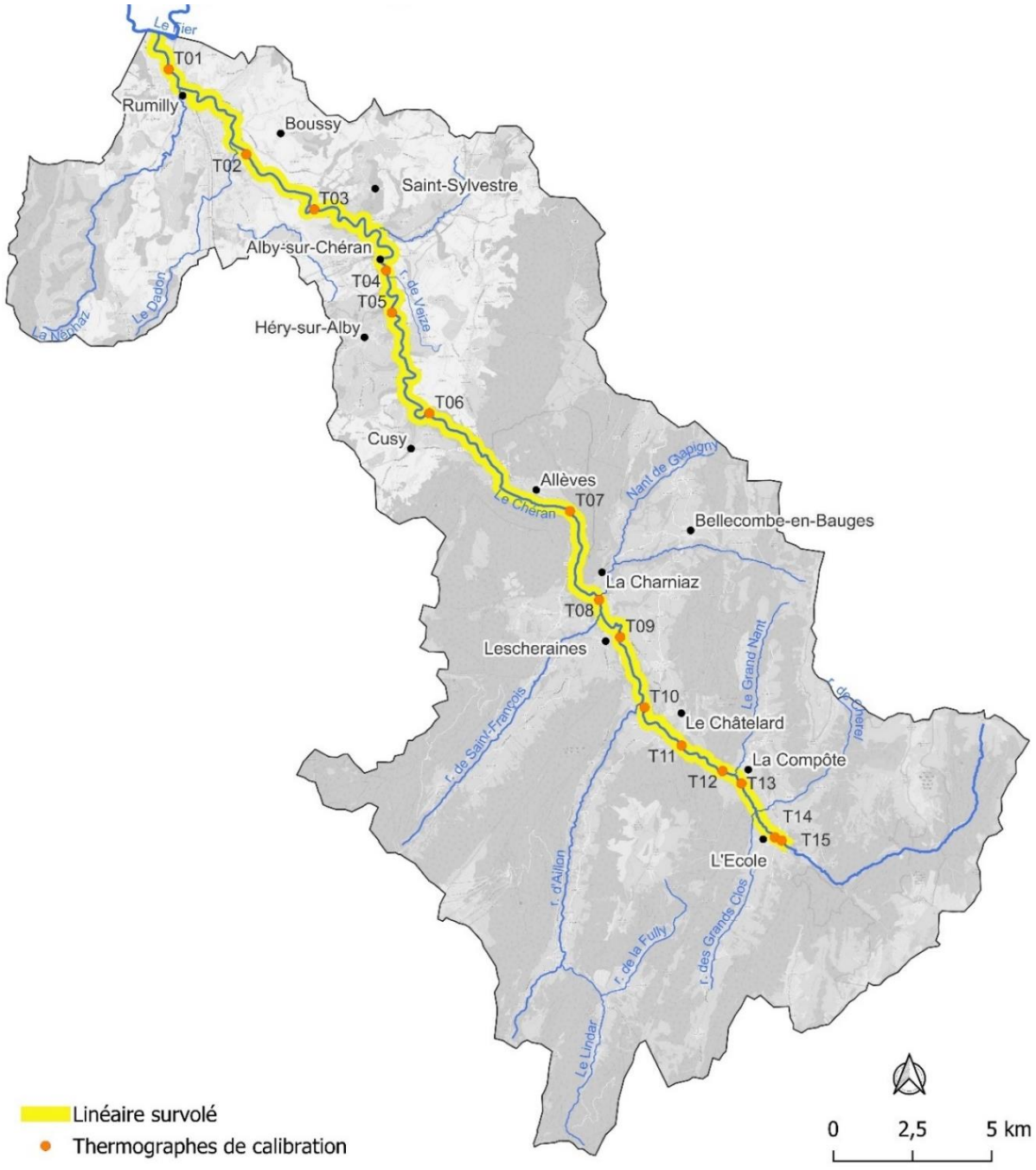


Figure 66 : Représentation du linéaire survolé sur le Chéran et localisation des thermographes de calibration.

5.1 DIVERSITÉ THERMIQUE DE LA RIVIÈRE EN PÉRIODE ESTIVALE

L'histogramme des valeurs de température de l'ensemble des pixels en eau obtenu le jour du survol constitue une première approche dans l'analyse des résultats issus de la cartographie thermique (figure 67). L'histogramme montre :

- Une augmentation brutale du nombre de pixels à partir de 19°C ;
- 3 modes principaux, à 20,5°C, 22,5°C qui est également la température médiane et 26°C ;
- Une majorité des pixels située à des températures supérieures au seuil de stress physiologique pour les salmonidés, fixé à 19°C ;
- Une quantité non négligeable de pixels avec des températures plus fraîches (<18°C), représentant les linéaires de rivières caractérisées par des températures plus froides ainsi que les apports karstiques ou phréatiques.

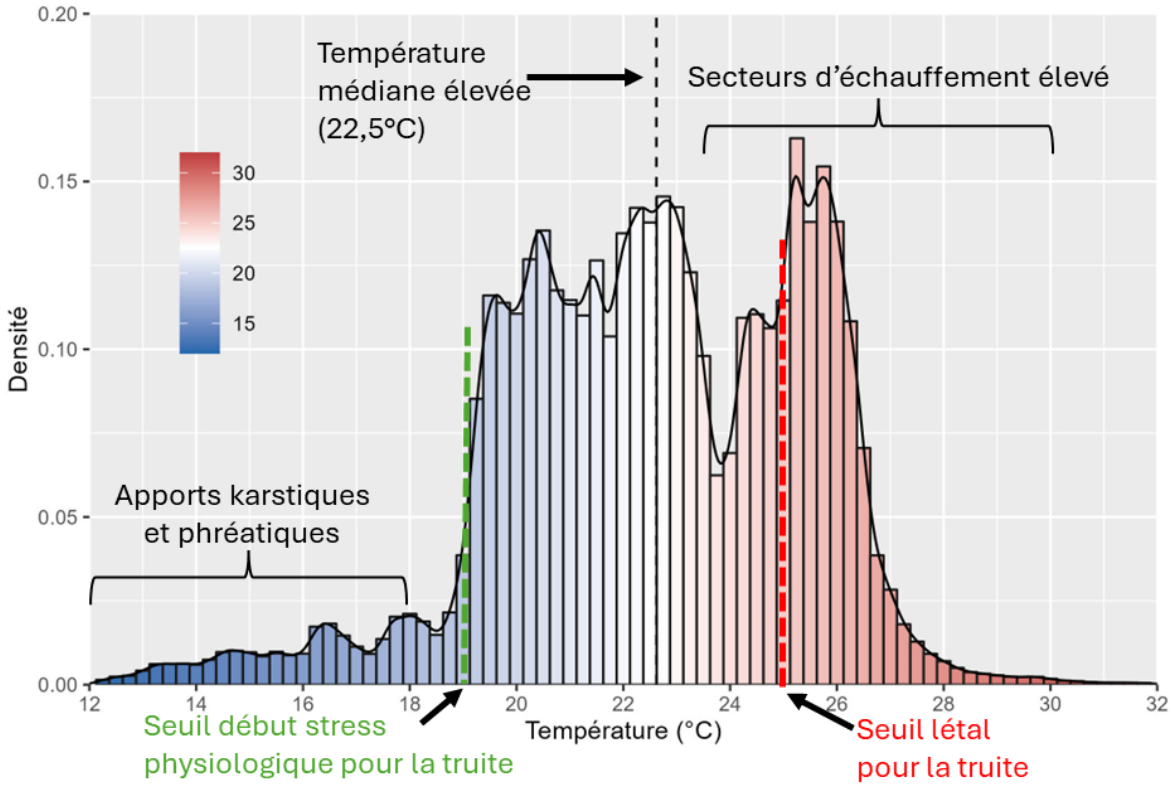


Figure 67 : Histogramme de distribution des pixels de température sur le Chéran issus de la campagne IRT-a de juillet 2022. Données sur les exigences de la truite issues de Crisp (1996), Elliott et Hurley (2001).

5.2 PROFIL LONGITUDINAL DE TEMPÉRATURE

Le profil longitudinal, obtenu à partir des températures médianes tous les 100 mètres, montre que la rivière oscille dans une gamme de température allant de 13°C à 27°C (figures 68 et 69).

A l'amont, sur les premiers linéaires d'acquisition, les températures sont élevées autour de 21-22°C puis un assec total du lit est provoqué par des pertes. L'eau souterraine résurge environ 1,2 km plus en aval, au niveau de la Compote, à des températures autour de 13-14°C. Ensuite, sur un linéaire d'environ 6 km, la température médiane augmente progressivement pour atteindre 20°C. Le profil thermique du Chéran reste ensuite globalement stable entre 19°C et 21°C sur un linéaire de plus de 11

km jusqu'à la passerelle de Cusy. Sur les 4 km suivants, la température médiane augmente régulièrement pour atteindre 23,5°C, puis on observe une réduction importante avec une baisse de 2,5°C sur 1 km. Enfin, sur les 16 km aval, la température augmente régulièrement avec quelques fluctuations pour atteindre des valeurs autour de 26-27°C à Rumilly.

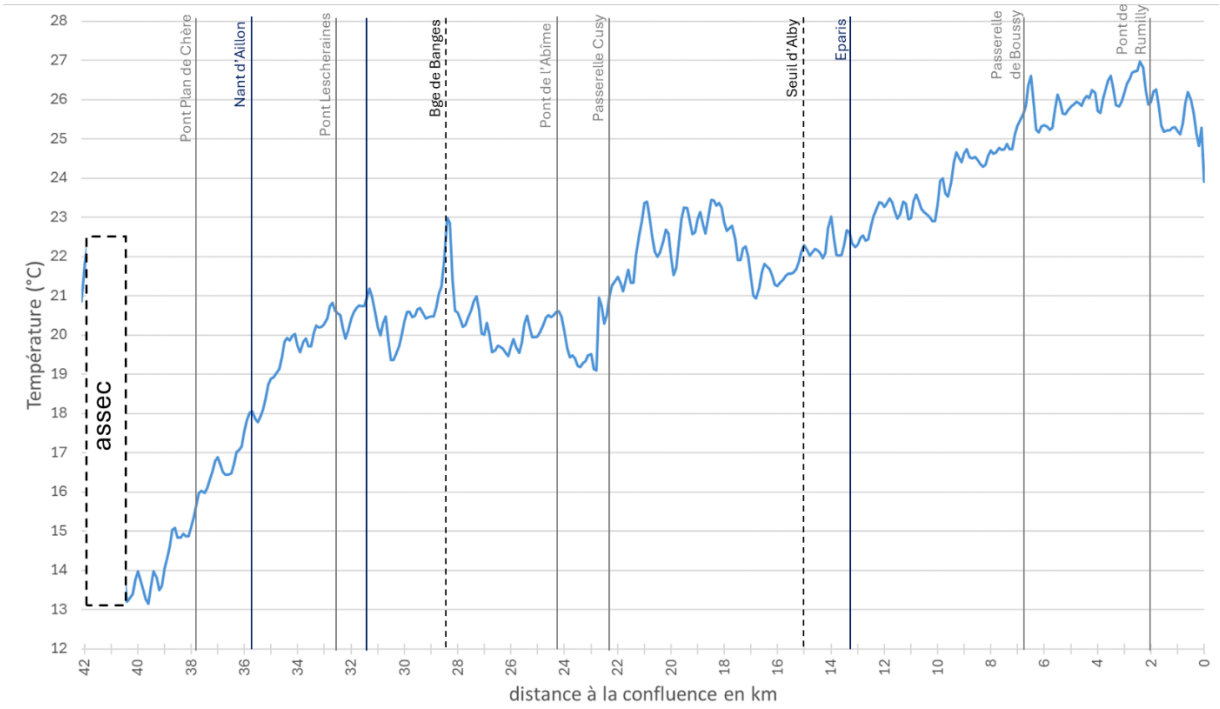


Figure 68 : Profil longitudinal de température du Chéran issu de la campagne IRT-a de juillet 2022.

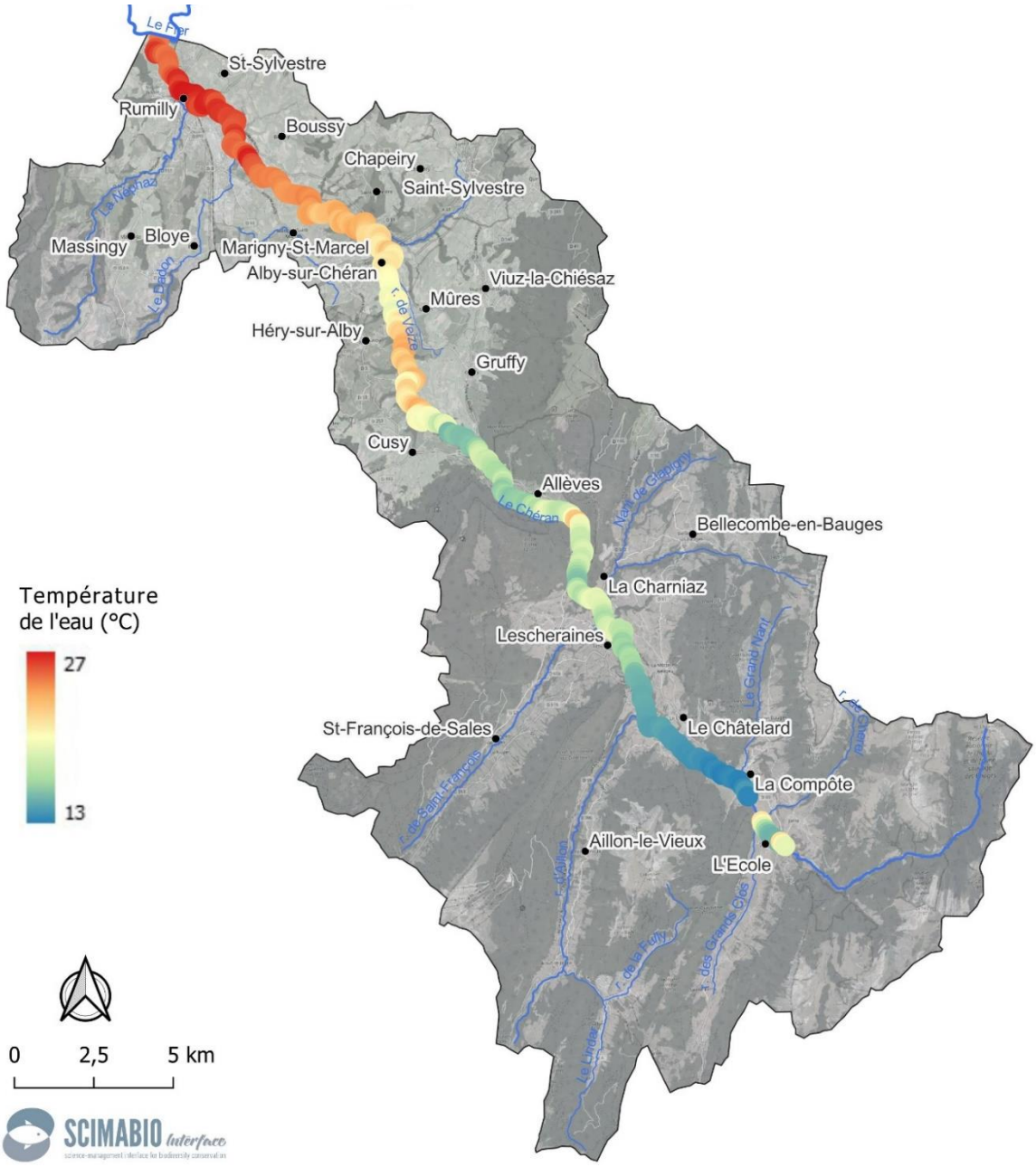


Figure 69 : Carte des températures médianes par tronçon de 100 mètres de rivière obtenues sur le Chéran à partir des données IRT-a.

5.3 Détection des anomalies thermiques chaudes

5.3.1 Caractéristiques et distribution sur le linéaire

Le profil des températures médianes permet de déceler quatre principales zones d'échauffement, ayant chacune un effet significatif sur un linéaire de rivière plus ou moins long. Trois d'entre elles concernent des élévations importantes mais progressives de température sur des linéaires de plusieurs kilomètres. On note également un échauffement ponctuel et important au niveau du remous hydraulique du seuil de Banges (figures 70 et 71, tableau 4).

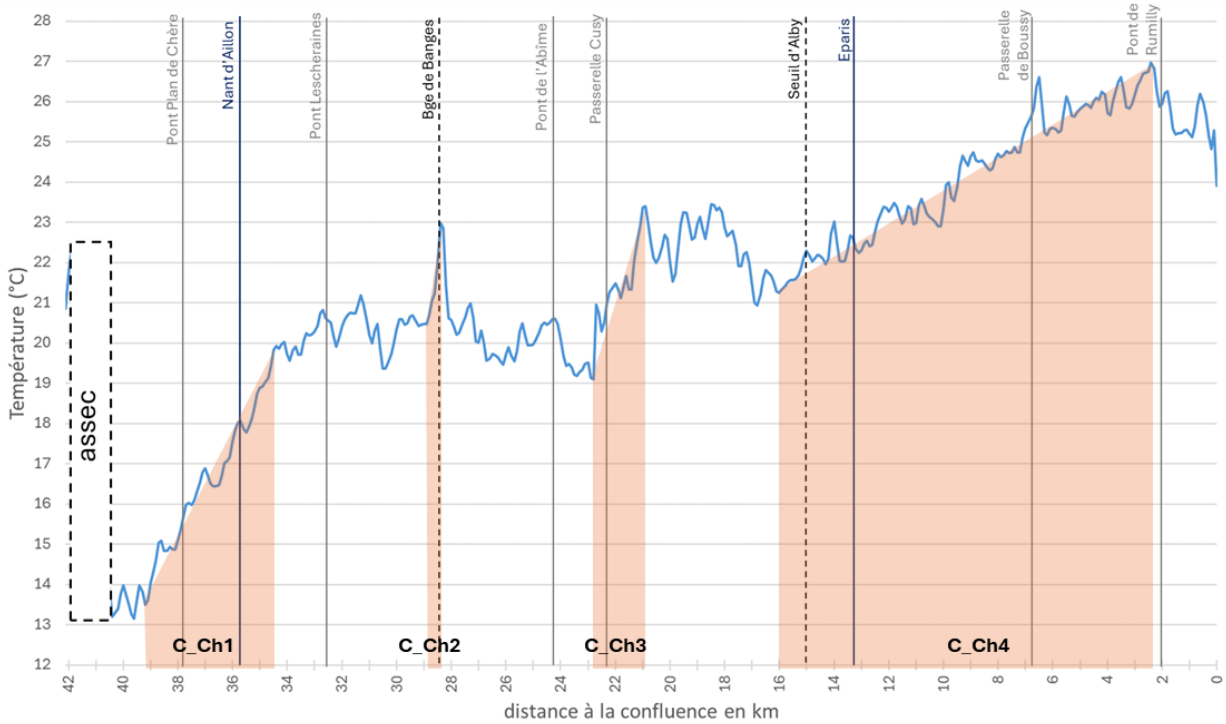


Figure 70 : Localisation sur le profil thermique des 4 principales zones d'échauffement de la température de l'eau du Chéran.

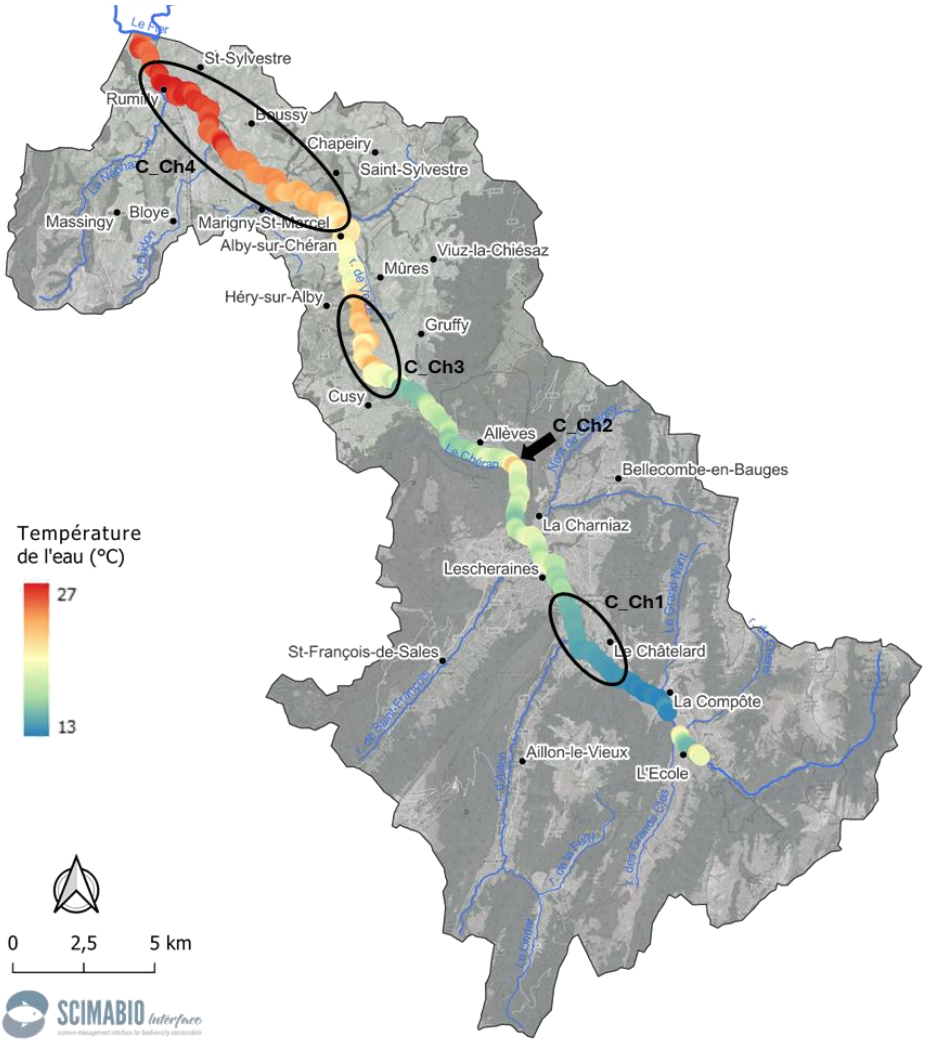


Figure 71 : Localisation sur le profil thermique cartographique des 4 principales zones d'échauffement recensées sur le Chéran.

Cours d'eau	Code Pt chaud	T° Médiane Amt (°C)	T° Médiane avl (C°)	ΔT°C (Médiane)	PK Amt (km)	PK Avl (km)	Linéaire (km)	Gradient (T°C.km^{-1})	Interprétations
Chéran	C_Ch1	13,5	19,9	**6,4**	39,35	34,55	**4,8**	**1,3**	Modification des échanges nappe-rivière sur la plaine alluviale de Châtelard-Lescheraines, effet des extractions de substrat passées, des modifications du lit (recalibrage, endiguement) et des créations de plans d'eau
Chéran	C-Ch2	21,2	22,8	**1,6**	28,75	28,45	**0,3**	**5,3**	Remous thermique du barrage de Banges
Chéran	C-Ch3	19,1	23,3	**4,2**	22,95	20,95	**2**	**2,1**	Augmentation de 1,8°C en 200 mètres sur le plat de Cusy en sortie des gorges, écoulement laminaire, exposition au rayonnement solaire et peu d'échanges nappe-rivière puis échauffement qui se poursuit progressivement dans les gorges
Chéran	C-Ch4	21,6	26,3	**4,7**	15,45	1,85	**13,6**	**0,3**	Augmentation régulière de température sur l'aval du Chéran, le lit majeur sur le tronçon à l'aval des plans d'eau de Rumilly, a subi d'importants aménagements dans le passé (extractions, pompage Nestlé, drainage, zone d'activité) qui ont modifié les échanges nappe-rivière. Quelques apports hyporhéiques résiduels sont identifiés en aval de la passerelle de Boussy et la source de la rizière au niveau de la confluence du Dadon représente le seul apport phréatique recensé.

Tableau 4 : Caractéristique et description des principales zones d'échauffements recensées sur le Chéran.

5.3.2 CARTOGRAPHIES THERMIQUES DÉTAILLÉES

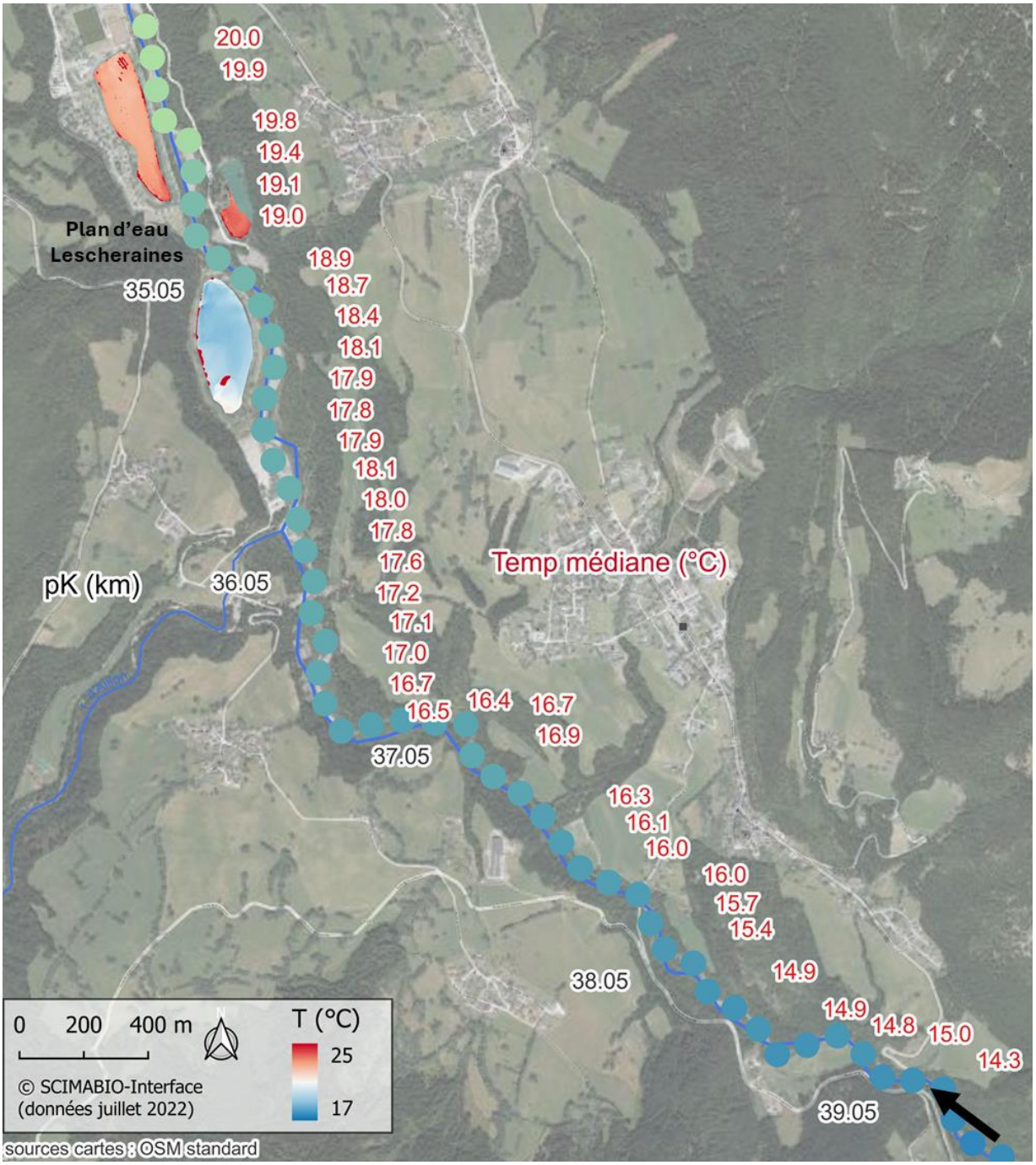


Figure 72 : Carte des températures médianes et mosaïque thermique illustrant l'échauffement observé entre les Pk39 et 34 au niveau de la plaine alluviale Châtelard-Lescheraines, passage d'une température médiane de 14,3°C à 20°C (C_Ch1).

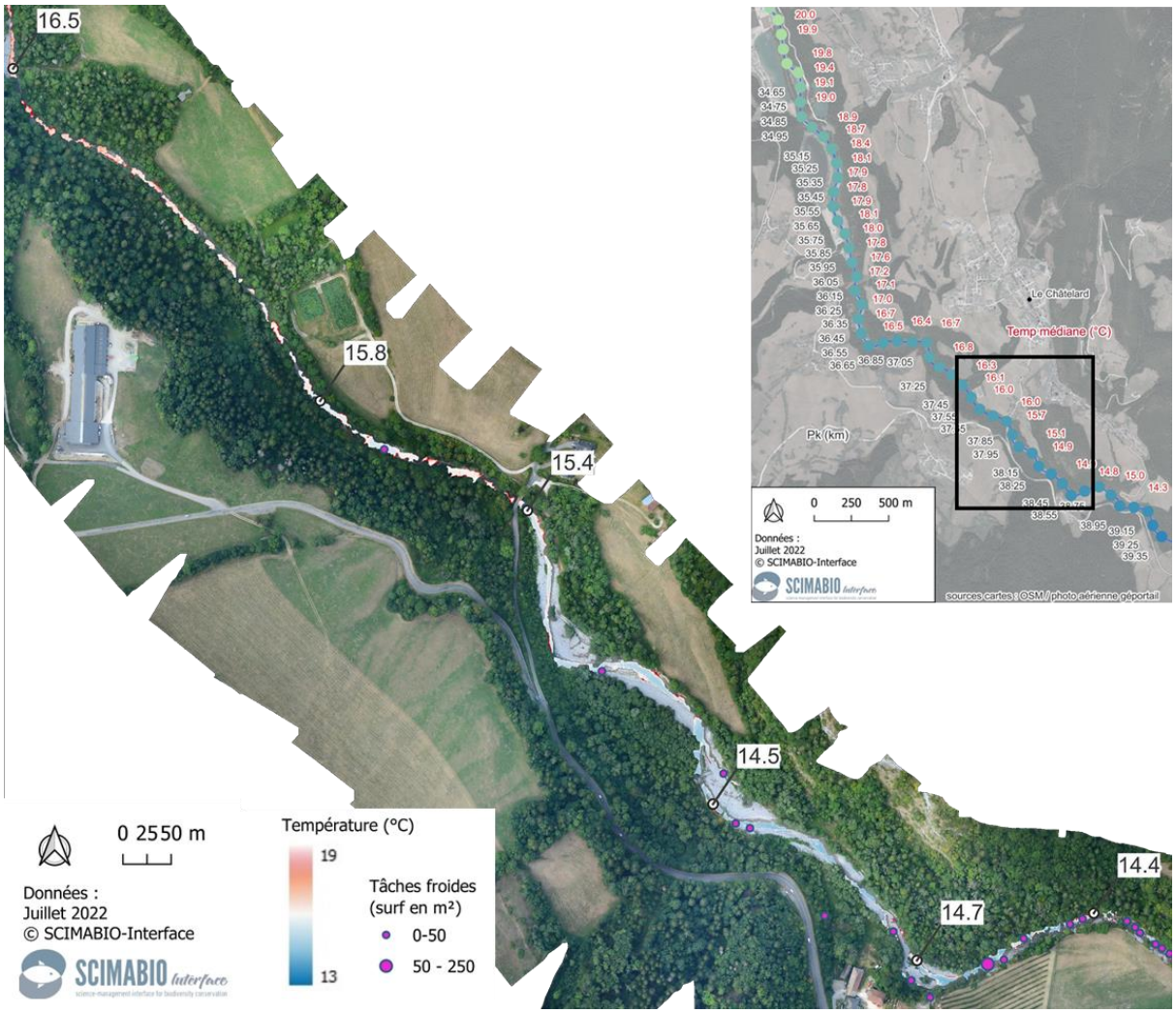


Figure 73 : Zoom sur un linéaire de la plaine alluviale amont du Chéran, mosaïque thermique et orthophoto illustrant le déficit d'échange nappe/rivière et l'échauffement au niveau de la plaine alluviale Châtelard-Lescheraines (C_Ch1).

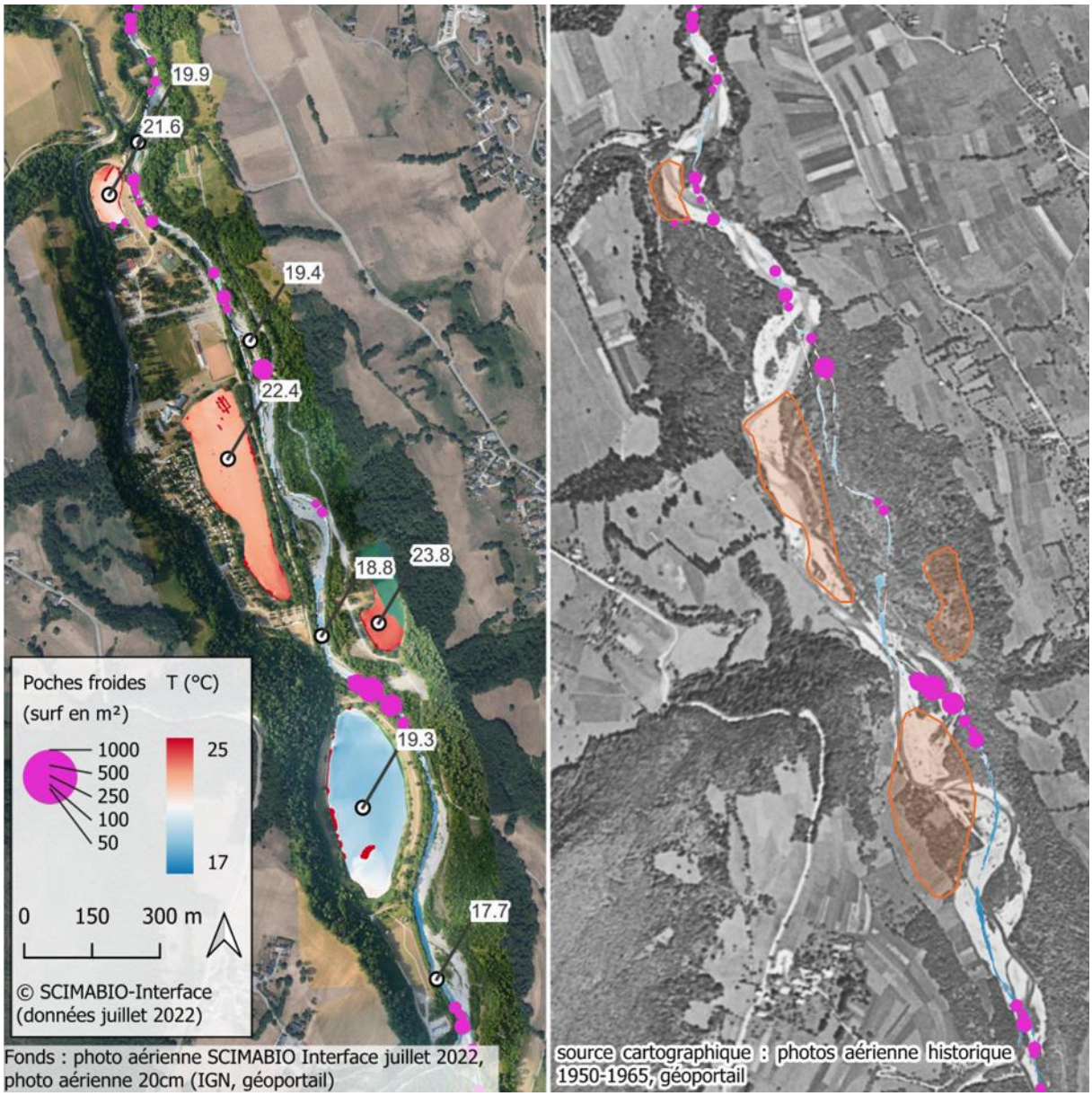


Figure 74 : Zoom sur le secteur des plans d'eau de Lescheraines, mosaïque thermique et orthophoto illustrant le déficit d'échange nappe/rivière et l'échauffement observé ainsi que la localisation des plans d'eau sur des anciens méandres (C_Ch1).

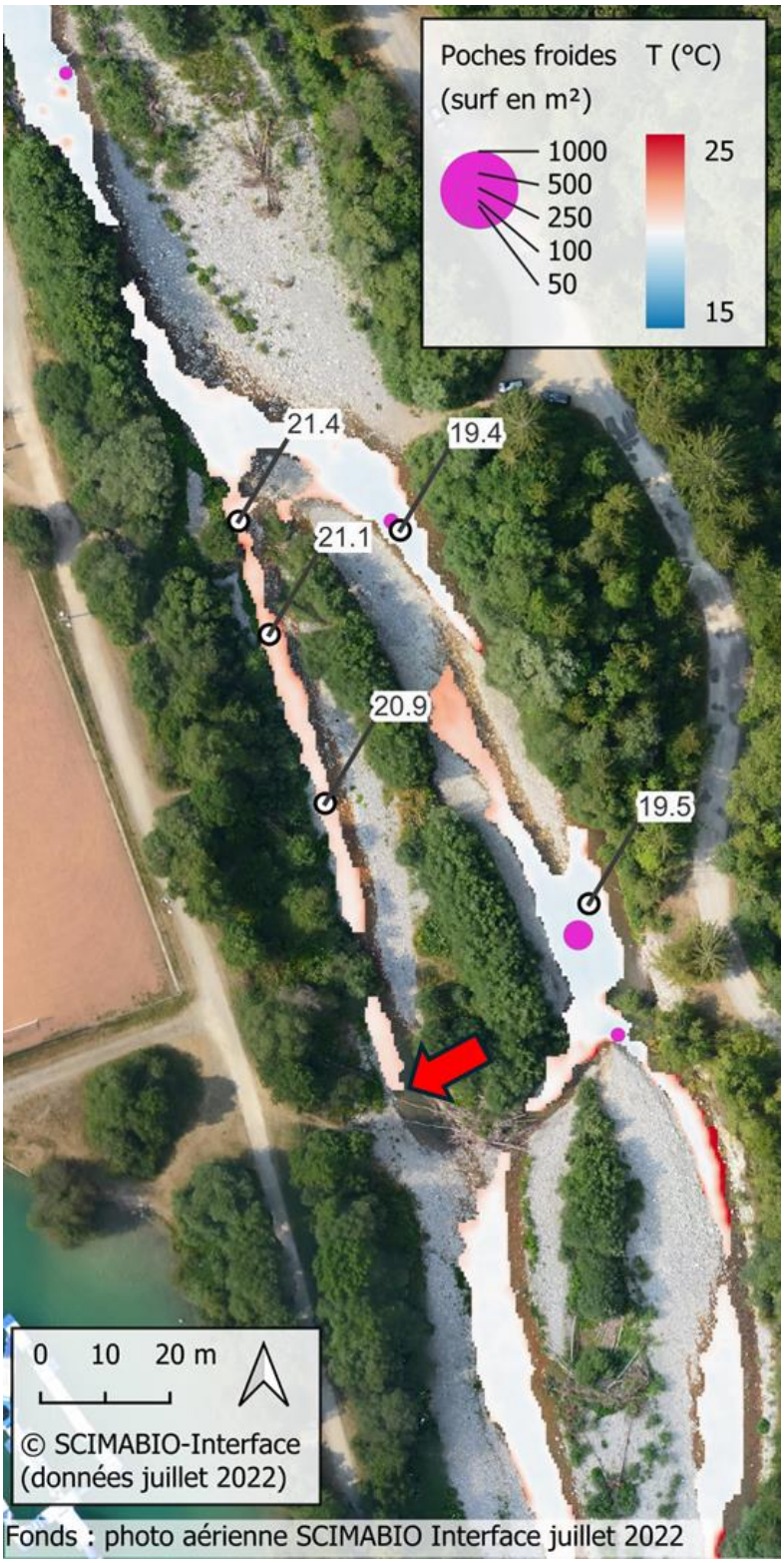


Figure 75 : Zoom sur le secteur au niveau du plan d'eau du camping de Lescheraines, mosaïque thermique et orthophoto illustrant le réchauffement provoqué par l'exutoire du plan d'eau (flèche rouge) (C_Ch1).



Figure 76 : Mosaïque thermique et orthophoto illustrant le remous thermique provoqué par le barrage de Banges (C_Ch2).

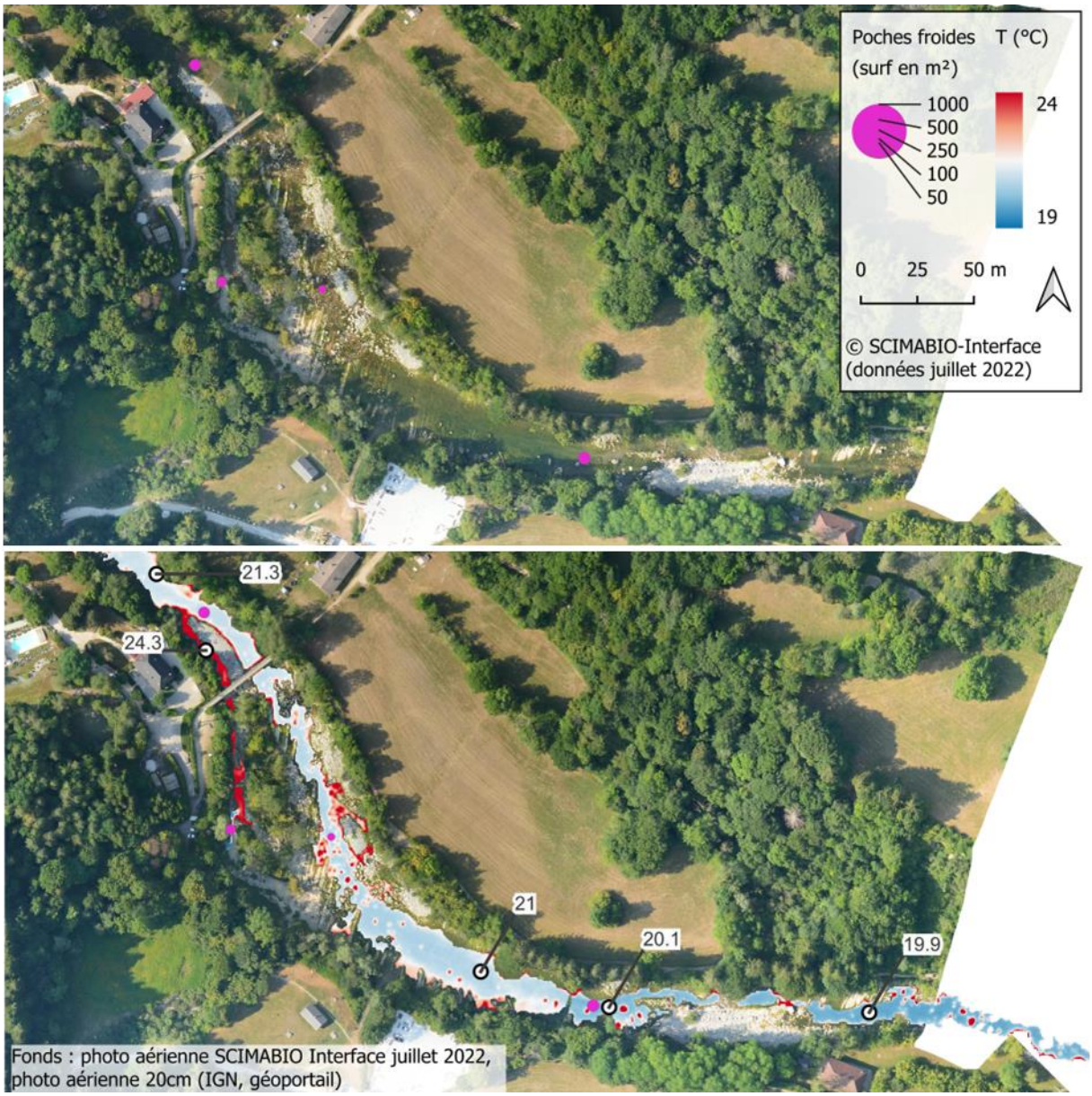


Figure 77 : Mosaïque thermique et orthophoto, zoom illustrant l'échauffement observé à la sortie des gorges au niveau du plat de Cusy (C_Ch3).

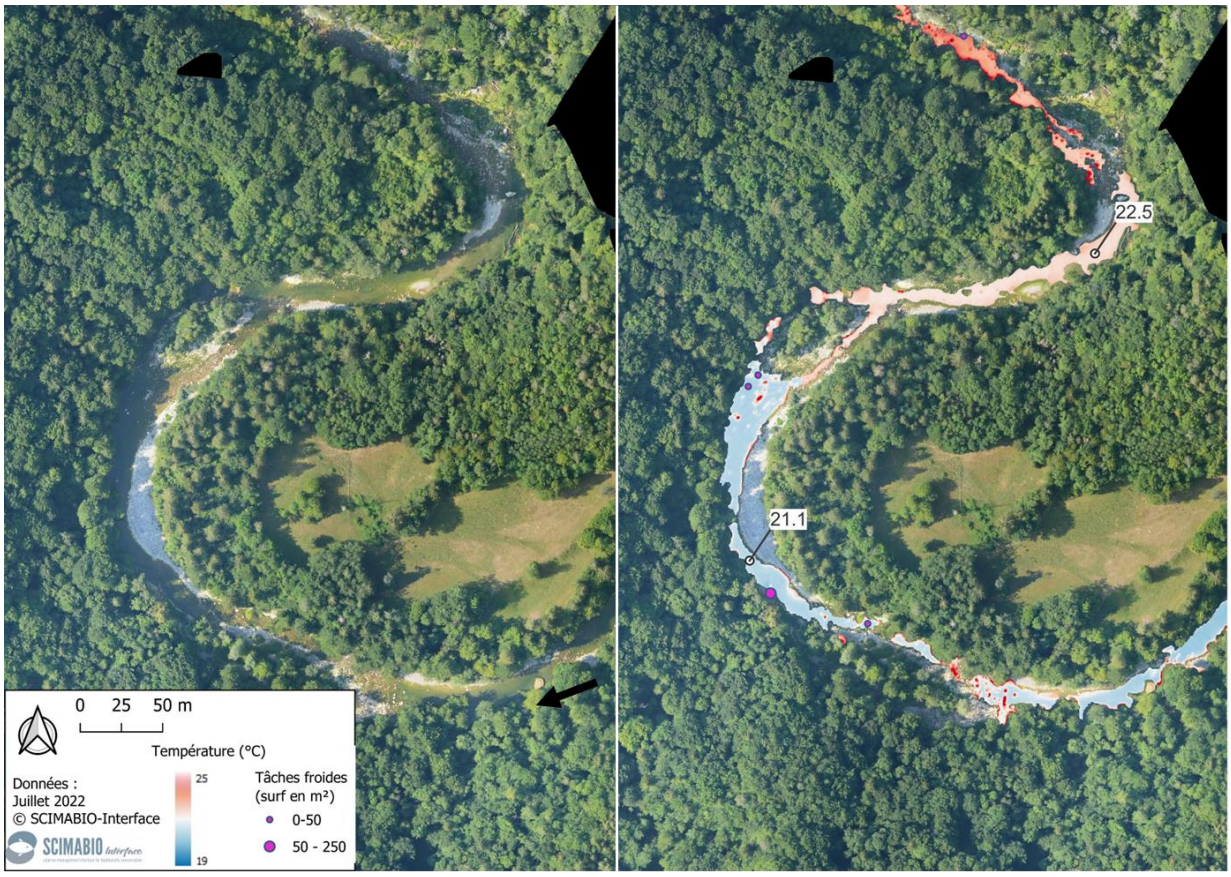


Figure 78 : Mosaïque thermique et orthophoto, zoom illustrant l'échauffement observé dans le méandre de Cusy à l'aval de la passerelle (C_Ch3).

5.4 DÉTECTION DES POCHES FROIDES

5.4.1 CARACTÉRISTIQUE ET DISTRIBUTION SUR LE LINÉAIRE

Pour rappel, une arrivée d'eau est considérée comme une poche froide lorsque sa surface est au moins égale à 4 pixels adjacents (0,48m²) et que sa température est inférieure d'au moins 0,5°C à la température médiane du tronçon de la rivière.

Sur un linéaire de 43 km, un total de 670 poches froides a été recensé soit une densité de poches froides de 15,6 km^{-1}. Leur surface varie de 0,48[2] à 980 m², pour des écarts de température médiane avec la rivière pouvant atteindre -7,6°C (figures 80 et 81).

La majorité des poches froides montre un différentiel thermique faible (≈-1°C) par rapport à la température ambiante de la rivière ce qui correspond à des apports hyporhéiques. Les résurgences qui alimentent le Chéran au niveau de la Compote après le linéaire d'assec montrent des températures comprises entre 11°C et 14°C ce qui correspond à des apports karstiques ou phréatiques plus profonds (Figure 79).

[2] Note : ceci correspond au seuil minimal de taille défini dans la méthode.



Figure 79 : Mosaïque thermique et orthophoto, illustrant les résurgences qui alimentent le Chéran après son linéaire à sec au niveau de la Compote.

En aval, sur la plaine alluviale jusqu'à la base de loisir de Lescheraines, les apports sont peu nombreux et inégalement répartis ce qui se traduit par une augmentation progressive de la température médiane. Ensuite, l'élévation de température est stoppée par des apports d'eau froides qui deviennent plus nombreux et réguliers sur les 10 km suivant jusqu'au pont de l'Abîme ce qui permet de stabiliser les températures médianes autour de 20°C avec de petites fluctuations. A la sortie des gorges au niveau de Cusy, l'absence de poches froides sur un peu plus d'1 km se traduit de nouveau par une augmentation de la température médiane de la rivière. Ensuite sur le reste du linéaire jusqu'à Rumilly, on observe beaucoup d'apports hyporhéiques montrant un faible différentiel thermique avec la température de la rivière. A noter qu'à partir de l'entrée des gorges de Banges, aucune poche froide ne présente des températures inférieures à 19°C.

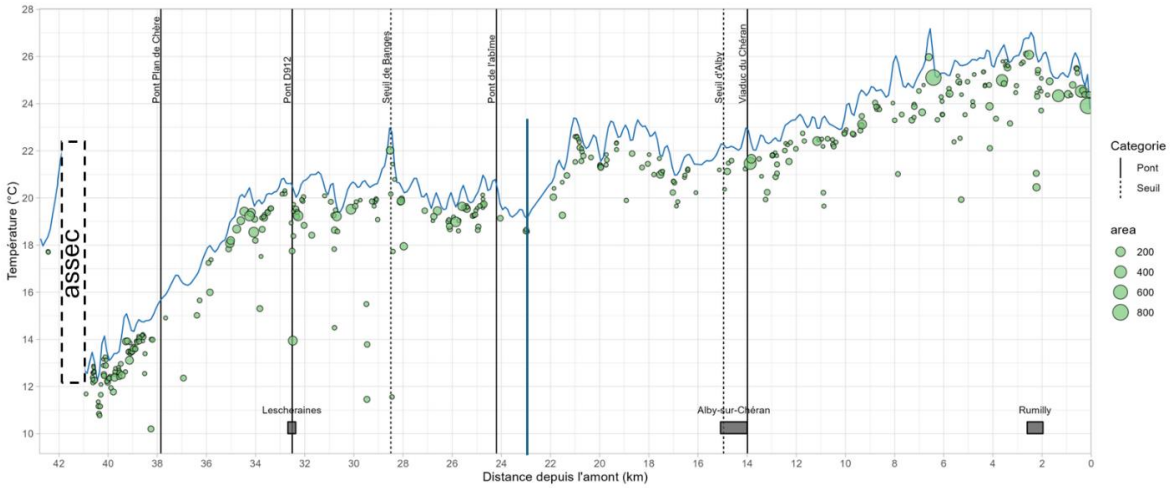


Figure 80 : Distribution des poches froides recensées sur le Chéran. La taille des cercles reflète la superficie visible sur les images des poches froides, et leur positionnement sur l'axe-y représente leur température minimale.

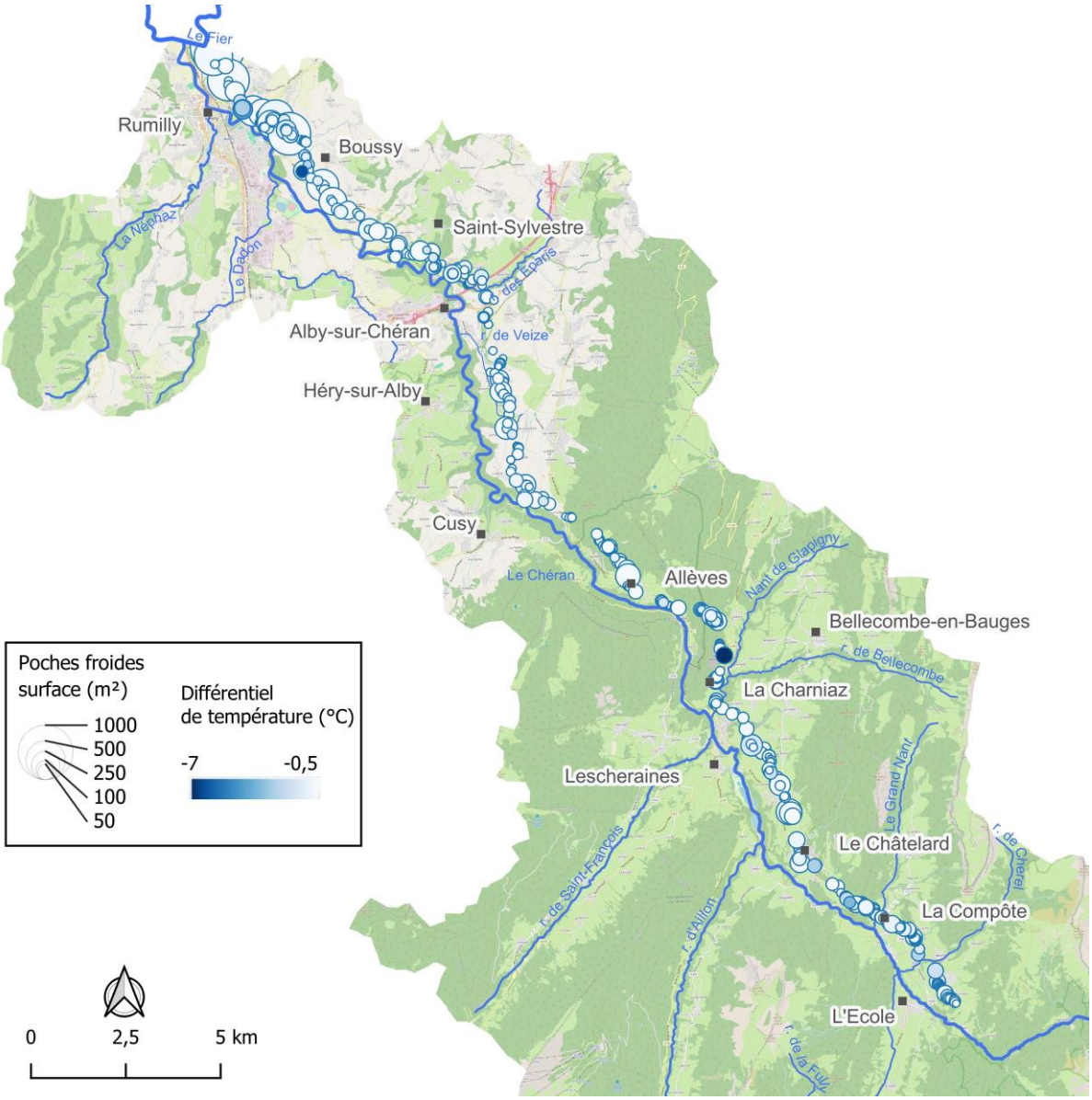


Figure 81 : Répartition cartographique des poches froides sur le Chéran en fonction de leur taille et de la différence de température médiane entre la poche froide et le tronçon de la rivière.

5.4.2 LES PRINCIPAUX REFROIDISSEMENTS

Cinq principales zones de refroidissement ou de stabilisation de la température médiane de la rivière ont été identifiées sur le profil thermique longitudinal. Au sein de ces zones, six tronçons plus courts présentent des baisses de températures significatives (figure 82 et 83, tableau 5).

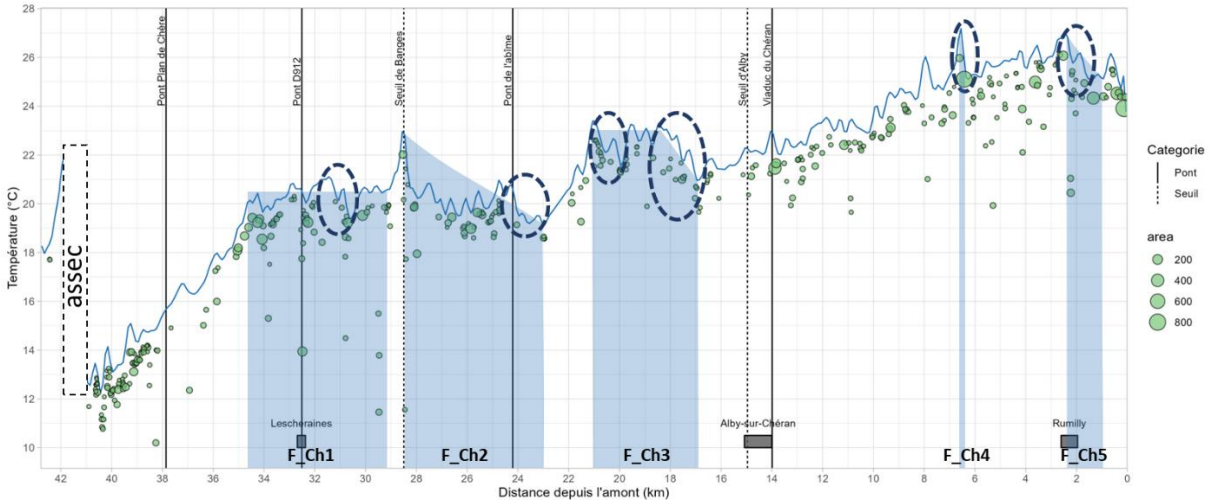


Figure 82 : Localisation sur le profil thermique des principales zones de refroidissement ou de stabilisation de la température recensées sur le Chéran.

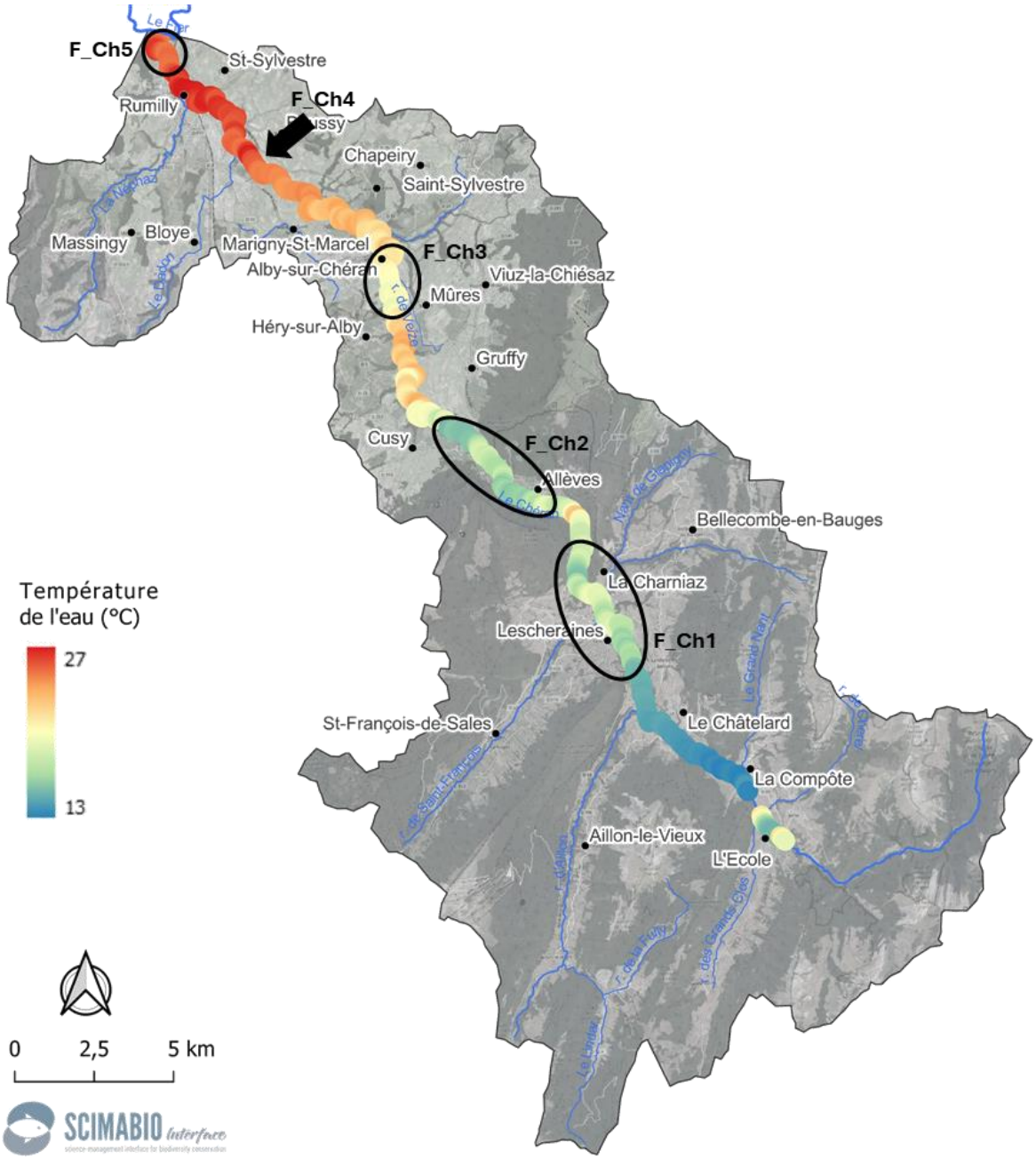


Figure 83 : Localisation cartographique des principales zones de refroidissement ou de stabilisation de la température médiane recensées sur le Chéran.

Cours d'eau	Code Pt chaud	T° Médiane Amt (°C)	T° Médiane avl (C°)	ΔT°C (Médiane)	T°Min tâche froide	PK Amt (km)	PK Avl (km)	Linéaire (km)	Gradient ($T°C.km^{-1}$)	Interprétations
Chéran	F_Ch1	20,1	20,5	**0,4**	**13,9°C**	33,35	29,15	**4,2**	**0,1**	Présence d'apports hyporhéiques réguliers et de résurgences plus froides permettant de limiter le réchauffement de l'eau de surface sur ce tronçon
Chéran	F_Ch2	22,9	19,1	**-3,8**	**17°C**	28,45	22,85	**5,6**	**-0,7**	Résurgences à l'aval immédiat du seuil de Banges puis parcours en gorges limitant l'exposition aux rayonnements solaires avec quelques apports hyporhéiques
Chéran	F_Ch3	23,4	20,9	**-2,5**	**19,5°C**	21,05	16,85	**4,2**	**-0,6**	Parcours en gorges limitant l'exposition aux rayonnements solaires avec quelques apports hyporhéiques. Zone de stabilité thermique entre Cusy et Héry puis zone de refroidissement avec apports hyporhéiques plus nombreux autour de 20°C
Chéran	F_Ch4	26,6	25,3	**-1,3**	**17,8°C**	6,55	5,75	**0,8**	**-1,6**	Un apport hyporhéique important en aval de la passerelle des îles puis confluence du Dadon
Chéran	F_Ch5	27	25,1	**-1,9**	**20,6°C**	2,45	0,95	**1,5**	**-1,3**	Plusieurs apports hyporhéiques à 23-24°C et confluence de la Néphaz

Tableau 5 : Caractéristique et description des principaux refroidissements recensés sur le Chéran.

5.4.3 CARTOGRAPHIES THERMIQUES DÉTAILLÉES

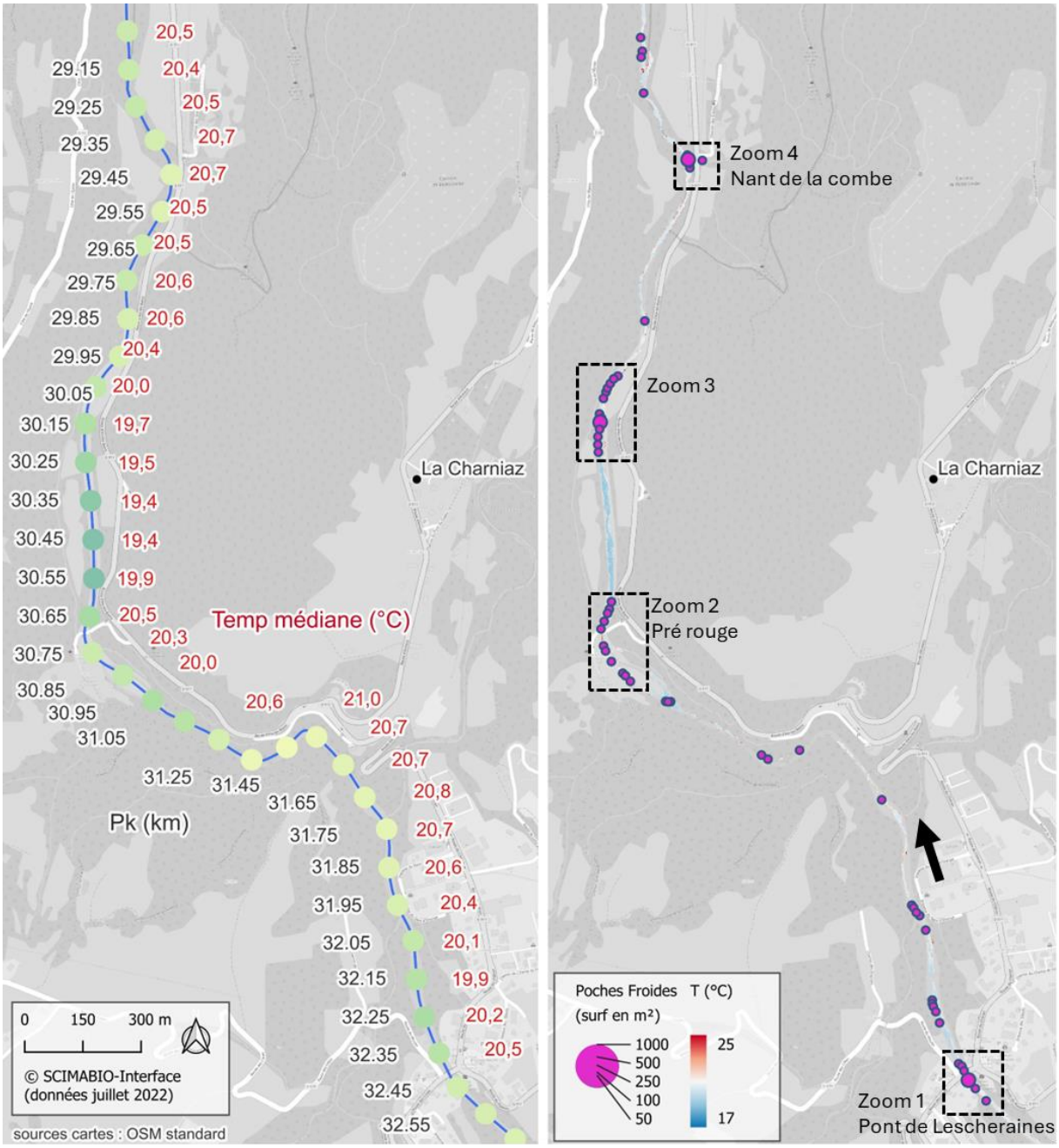


Figure 84 : Carte des températures médianes et mosaïque thermique montrant les arrivées d'eau plus froides recensées au niveau de La Charniaz sur le Chéran (F_Ch1).



Figure 85 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides recensées au niveau du Pont de Lescheraines sur le Chéran (Zoom 1 F_Ch1).

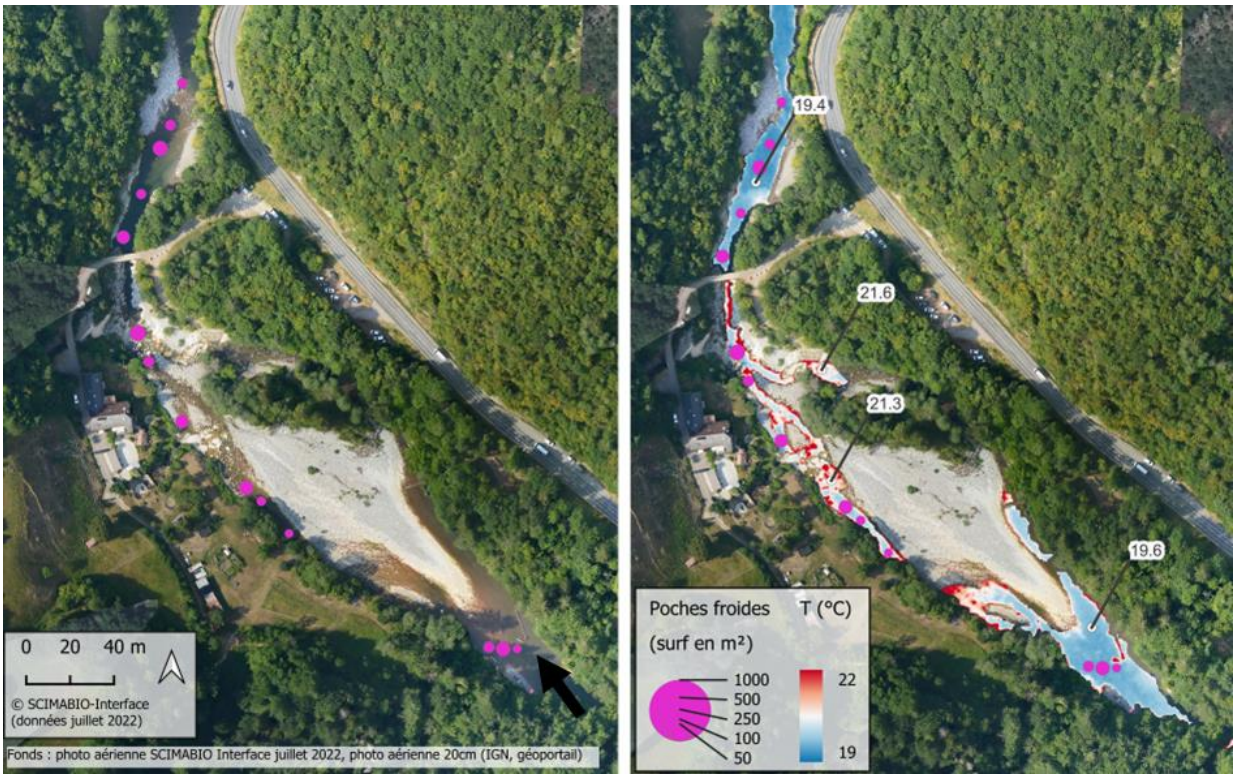


Figure 86 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides recensées au niveau de Pré rouge sur le Chéran (Zoom 2 F_Ch1).

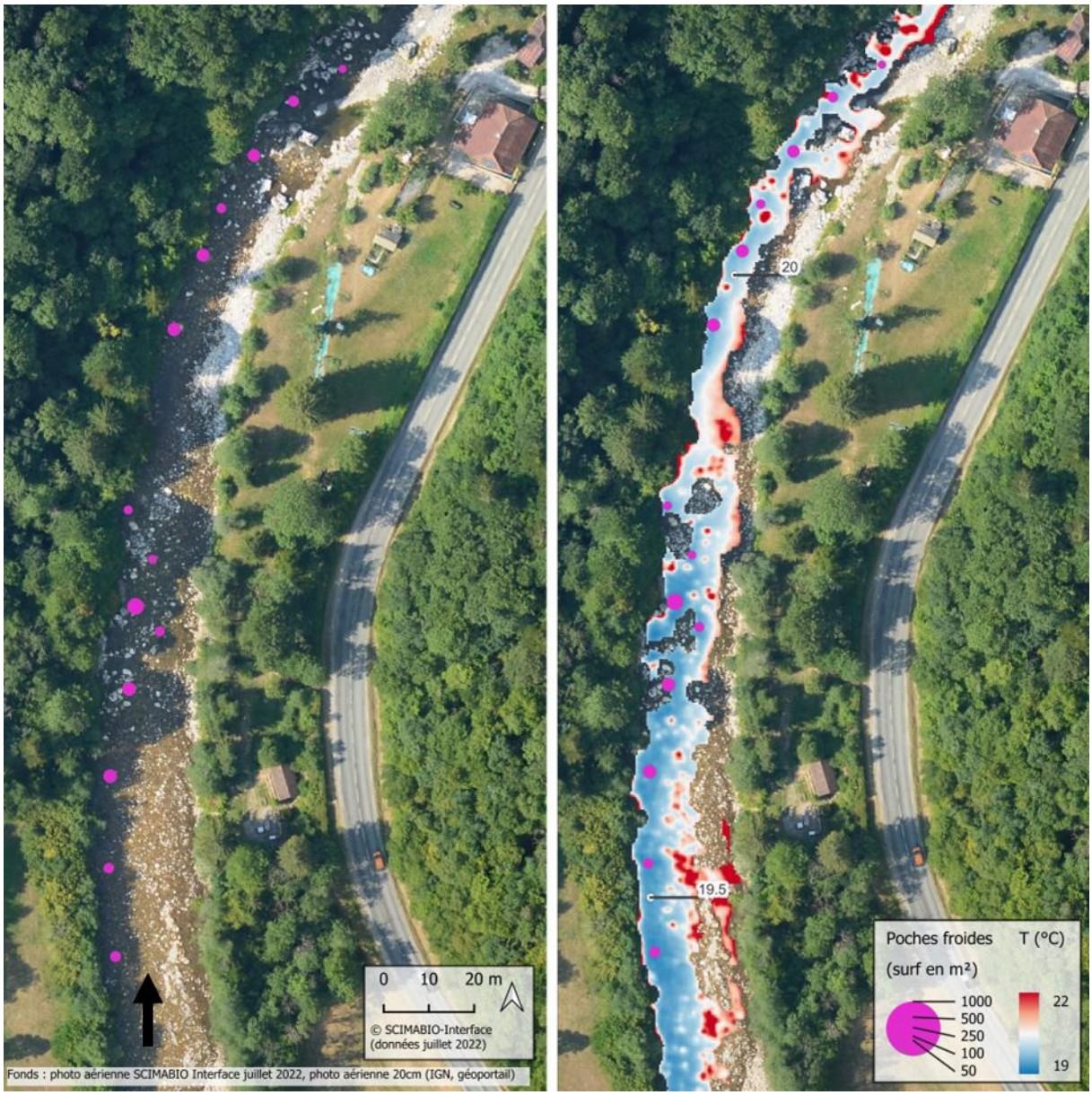


Figure 87 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides recensées en aval de Pré rouge sur le Chéran (Zoom 3 F_Ch1).

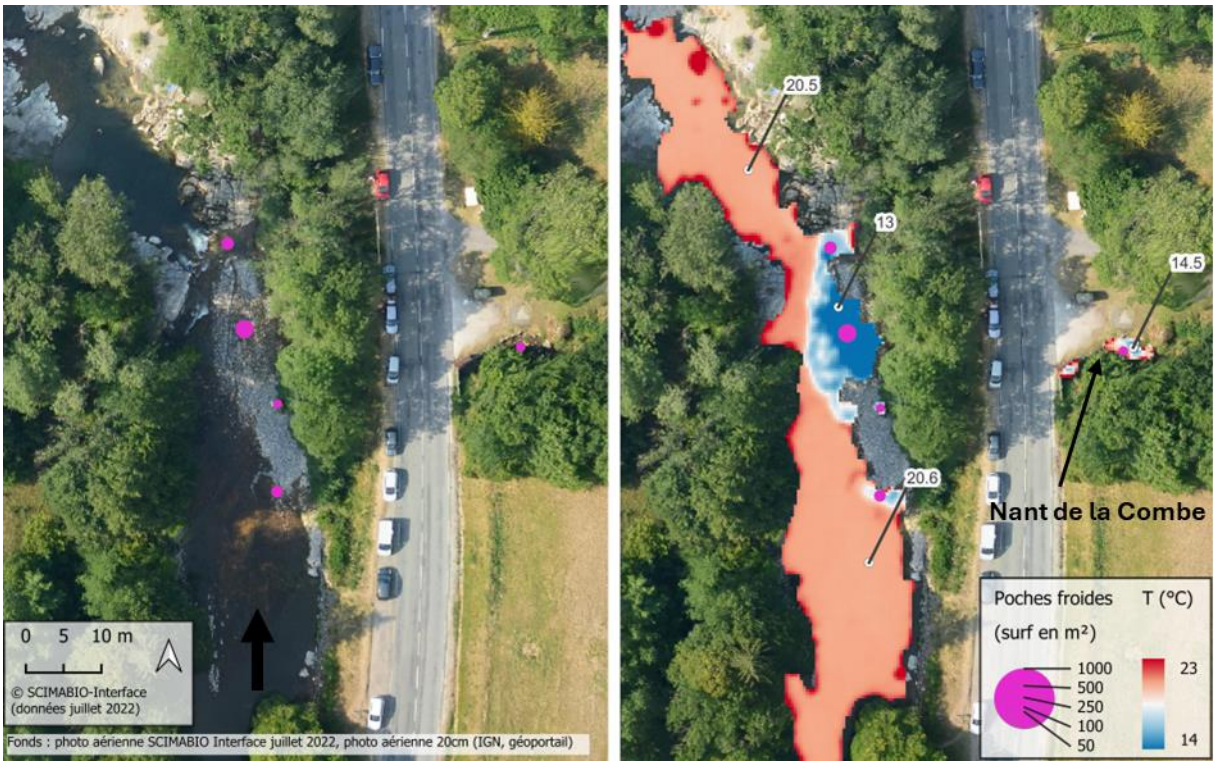


Figure 88 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant l'arrivée d'eau froide observée à la confluence du Nant de la Combe sur le Chéran (Zoom 4 F_Ch1).

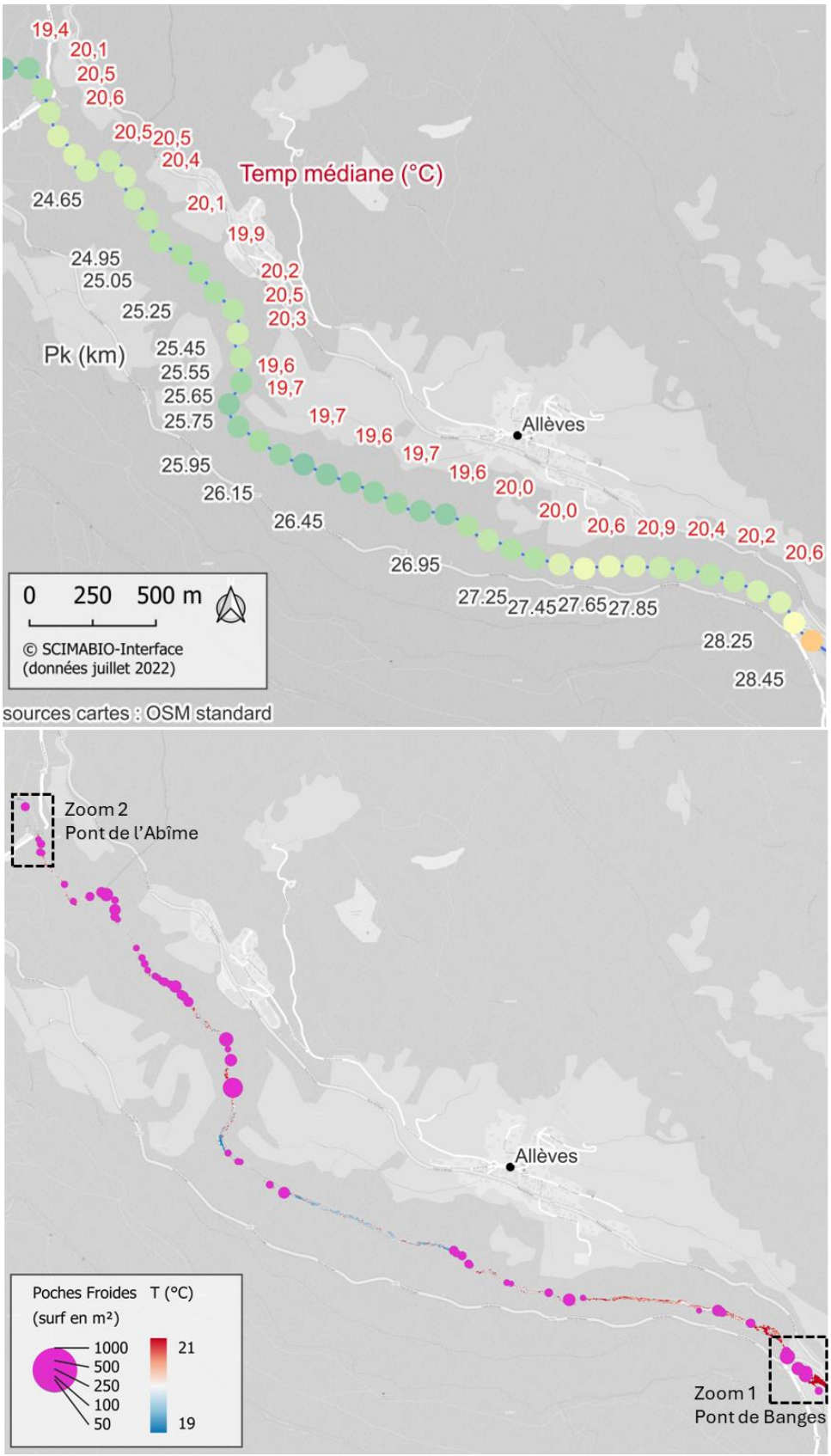


Figure 89 : Carte des températures médianes et mosaïque thermique montrant les arrivées d'eau plus froides recensées entre le Pont de Banges et le Pont de l'Abîme sur le Chéran (F_Ch2).

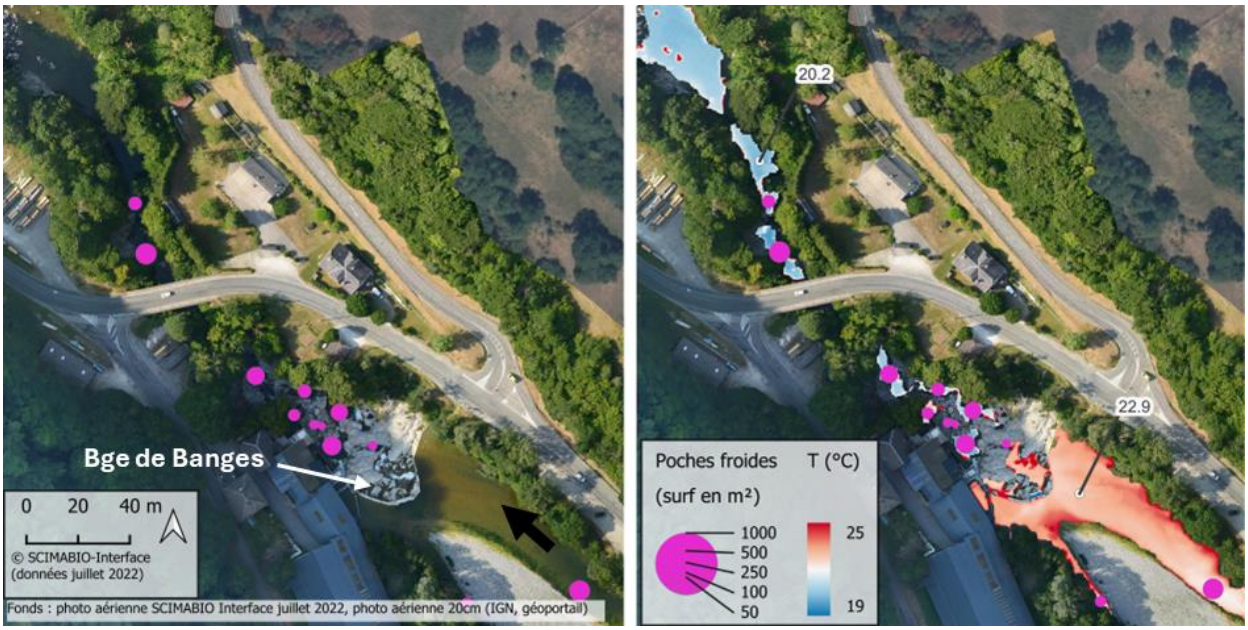


Figure 90 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant l'arrivée d'eau froide observée à l'aval du barrage de Banges sur le Chéran (Zoom 1 F_Ch2).

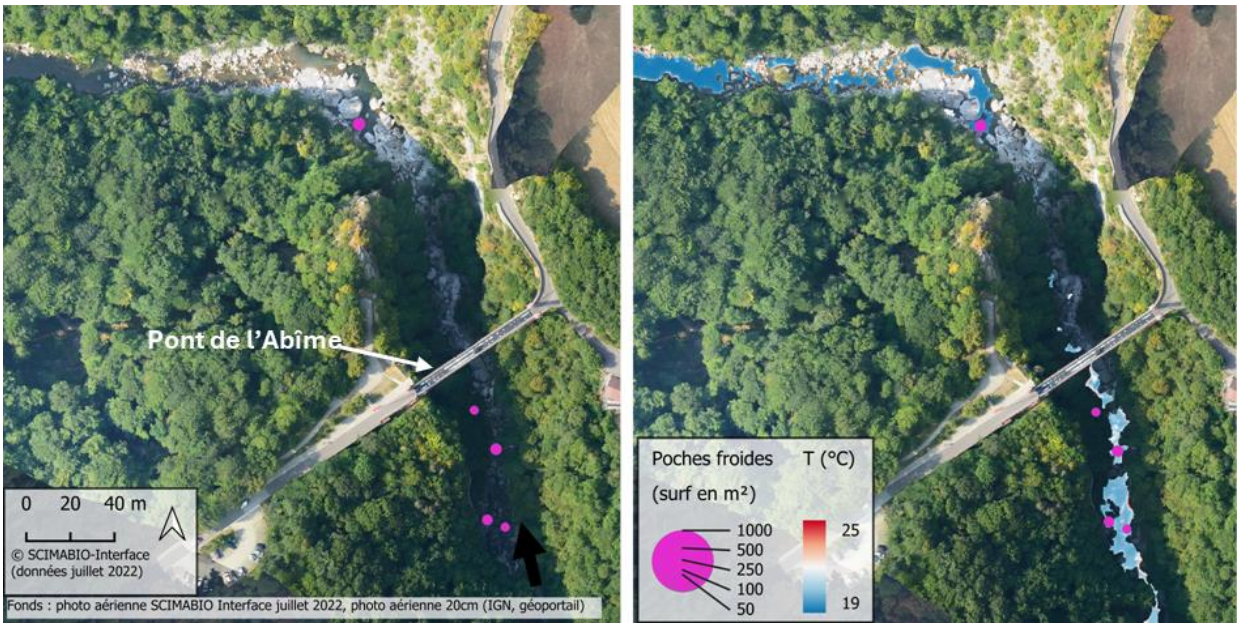


Figure 91 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant l'arrivée d'eau froide observée au niveau du Pont de l'Abîme sur le Chéran (Zoom 2 F_Ch2).

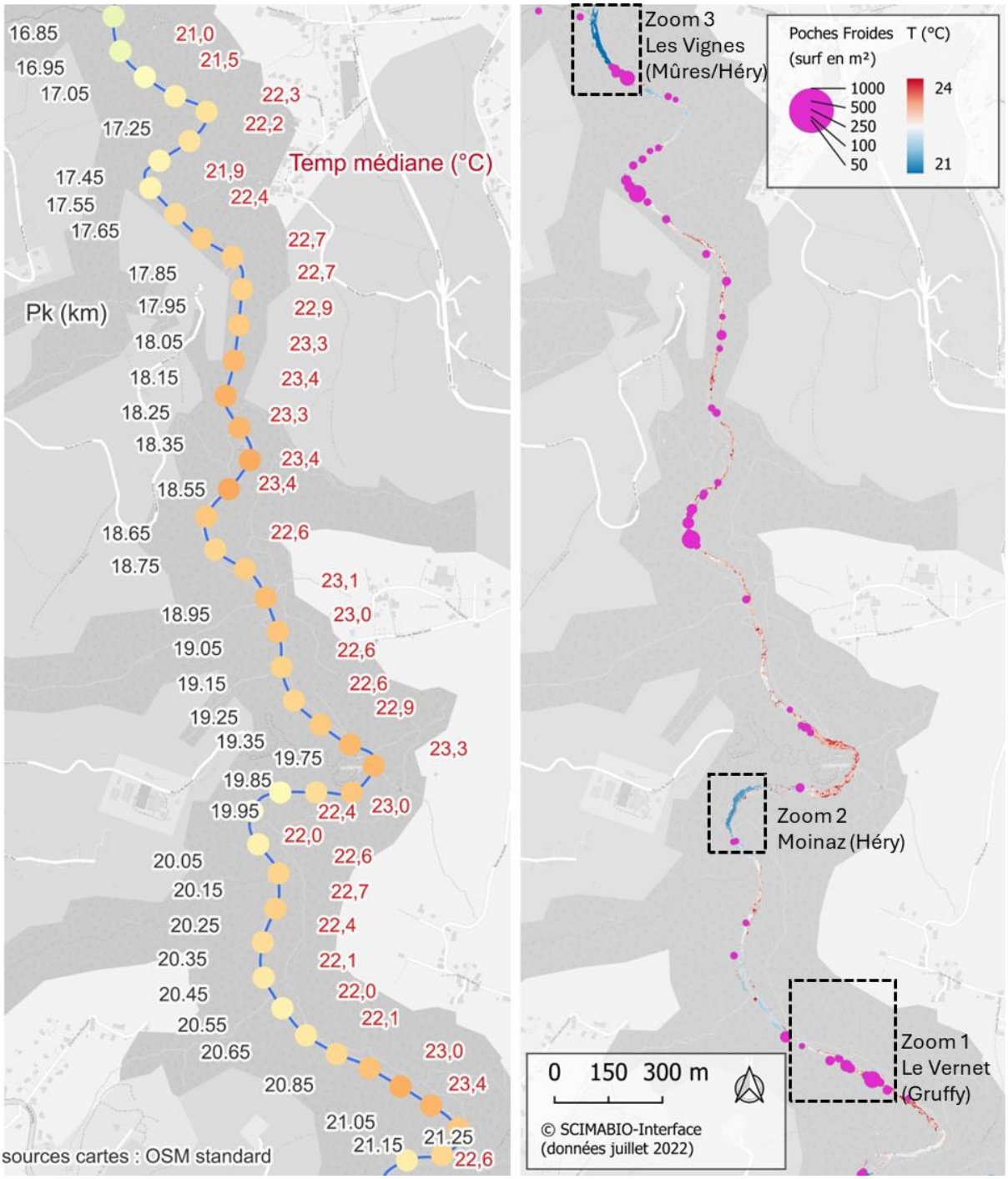


Figure 92 : Carte des températures médianes et mosaïque thermique montrant les arrivées d'eau plus froides recensées au niveau de Gruffy et d'Héry/Alby sur le Chéran (F_Ch3).

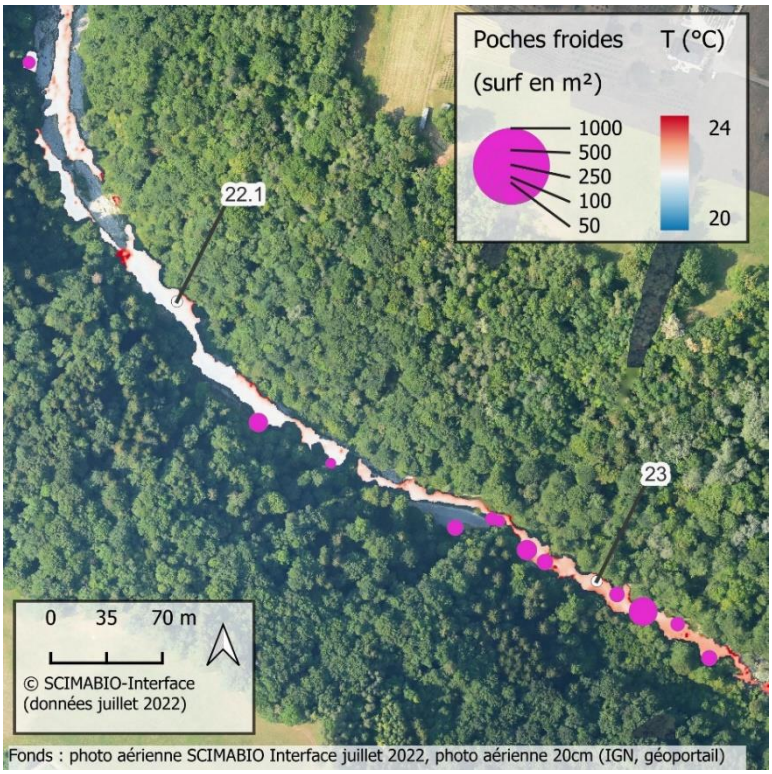


Figure 93 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides observées au niveau du Vernet (Gruffy) sur le Chéran (Zoom 1 F_Ch3).

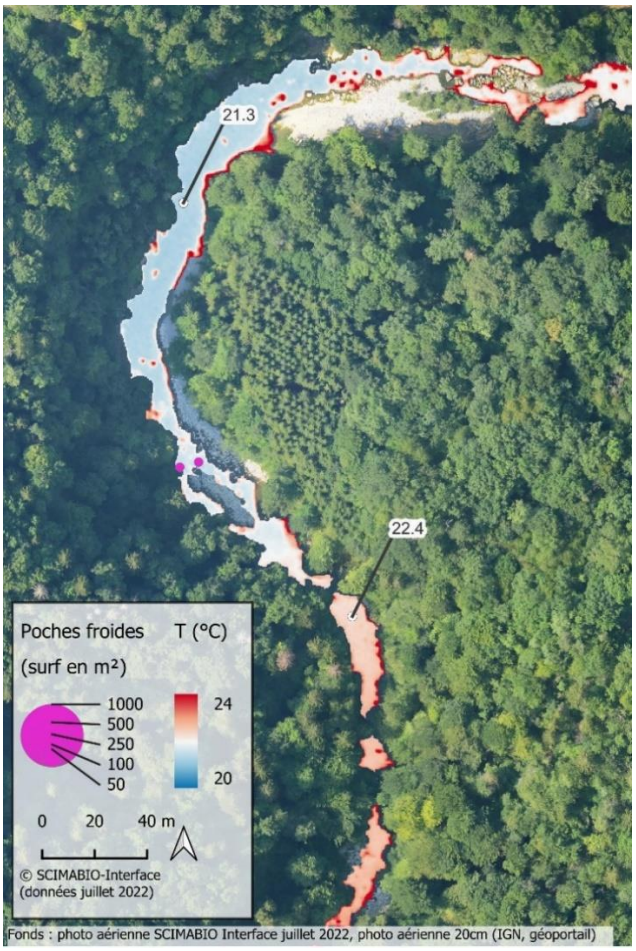


Figure 94 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides observées au niveau de Moinaz (Héry/Alby) sur le Chéran (Zoom 2 F_Ch3).

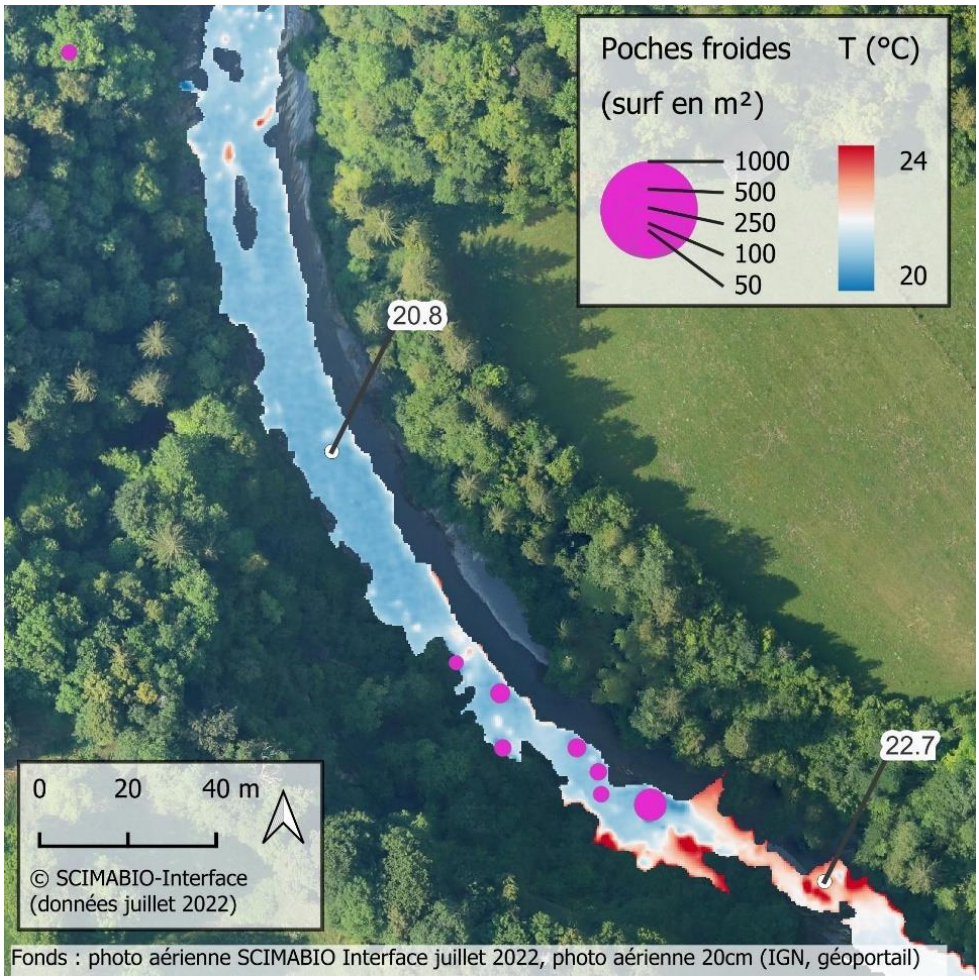


Figure 95 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides observées au niveau des Vignes (Gruffy, Héry/Alby) sur le Chéran (Zoom 3 F_Ch3).

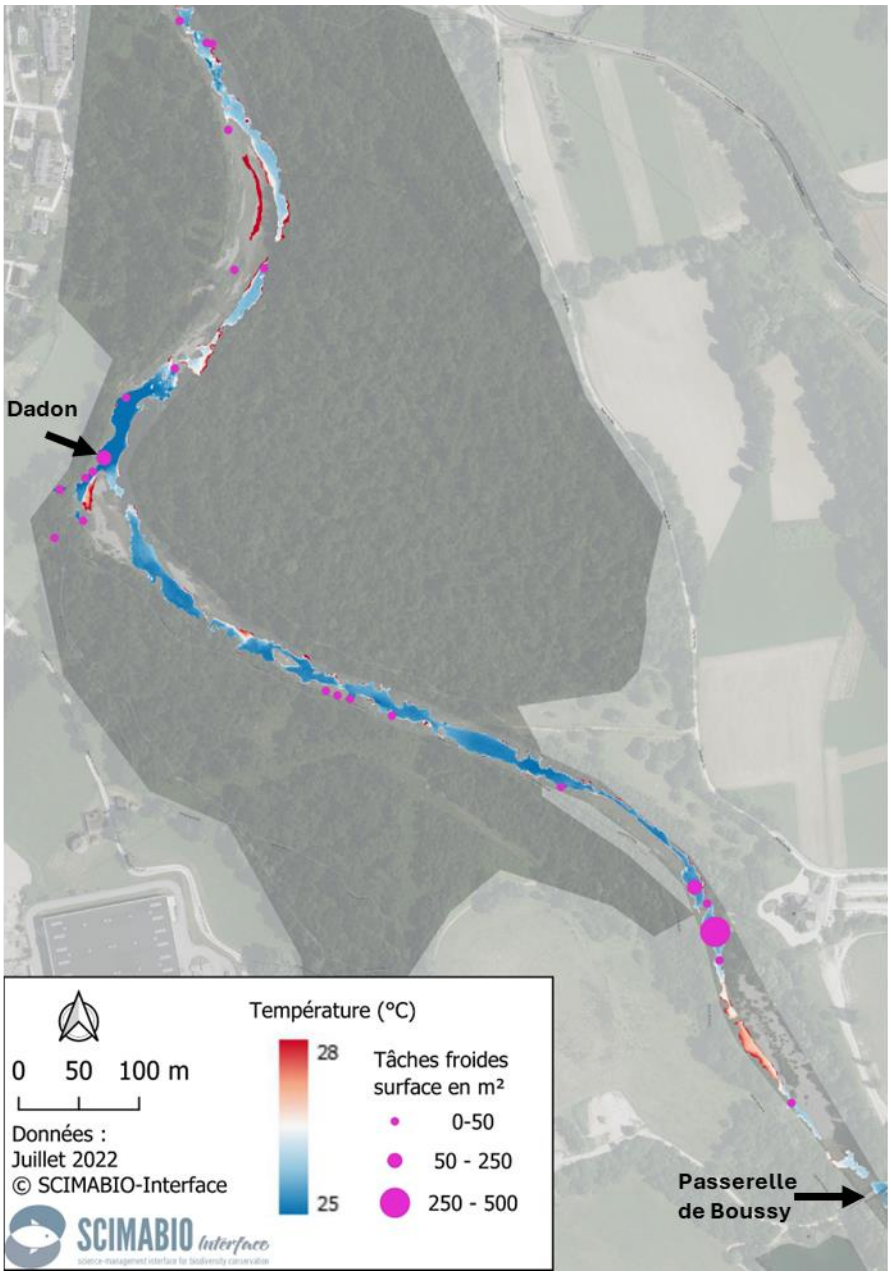


Figure 96 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides recensées au niveau de la passerelle des îles et de la confluence du Dadon sur le Chéran (F_Ch4).

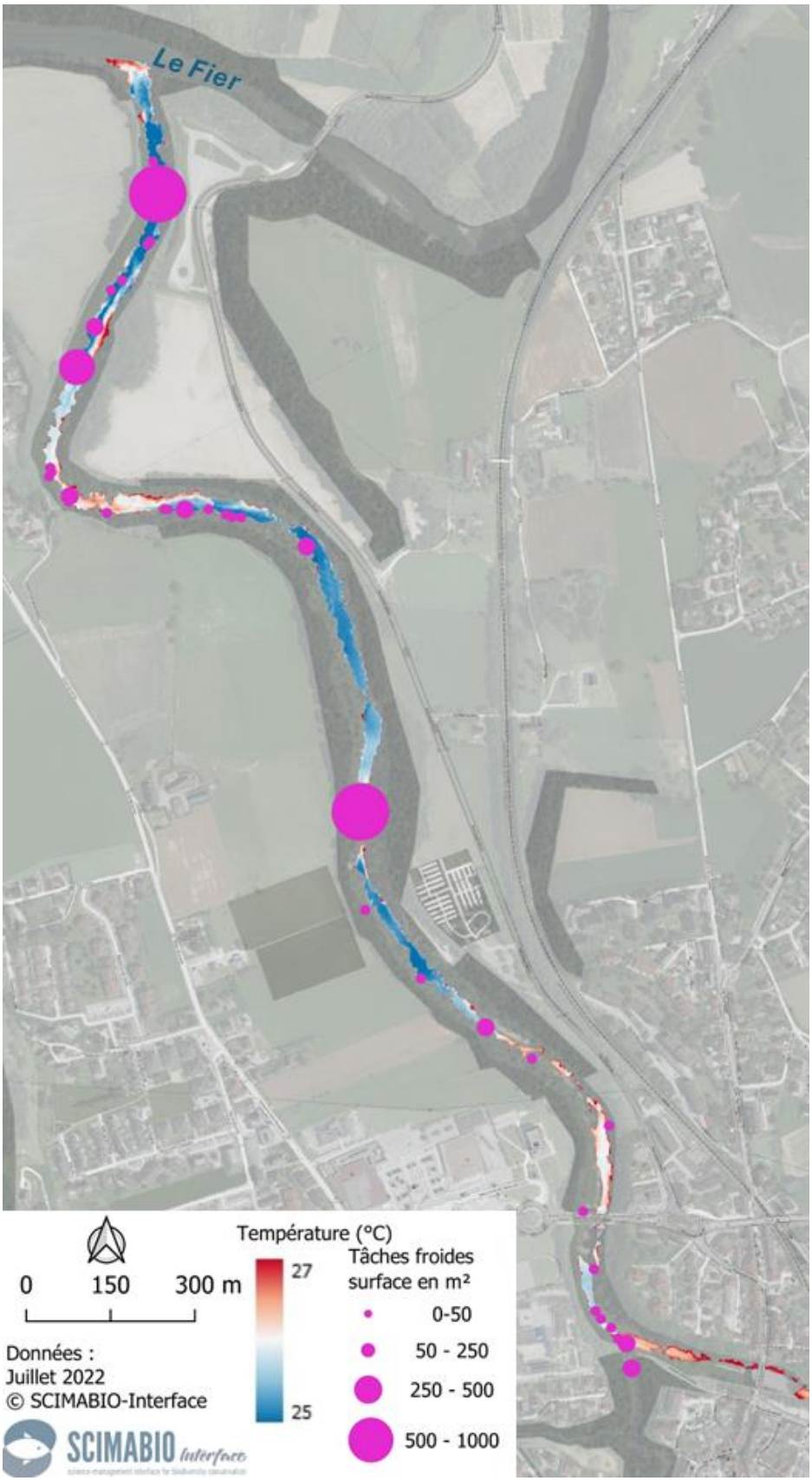


Figure 97 : Mosaïque thermique et orthophoto montrant les arrivées d'eau plus froides recensées à l'aval de Rumilly sur le Chéran (F_Ch5).

5.5 VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES HABITATS THERMIQUES VIS À VIS DES SALMONIDÉS

Pour interpréter les conditions d'habitat thermique sur le Chéran vis-à-vis des salmonidés, les données spatiales obtenues par IRT-a ainsi que les données temporelles collectées par 5 enregistreurs thermiques au cours de l'été 2022 (données FDPPMA 74, SMIAC et SCIMABIO Interface) ont été confrontées aux exigences écologiques de la truite commune.

Au niveau spatial, le profil thermique obtenu par IRT-a le 19 juillet 2022 montre qu'aux heures les plus chaudes de la journée, 85% du linéaire se situe au-dessus de 19°C, c'est-à-dire dans des conditions soit de stress physiologique ou soit létales pour la truite (figure 98, tableau 6). Seulement 10% du linéaire montre des conditions thermiques dans l'optimum écologique des salmonidés en dessous de 17°C.

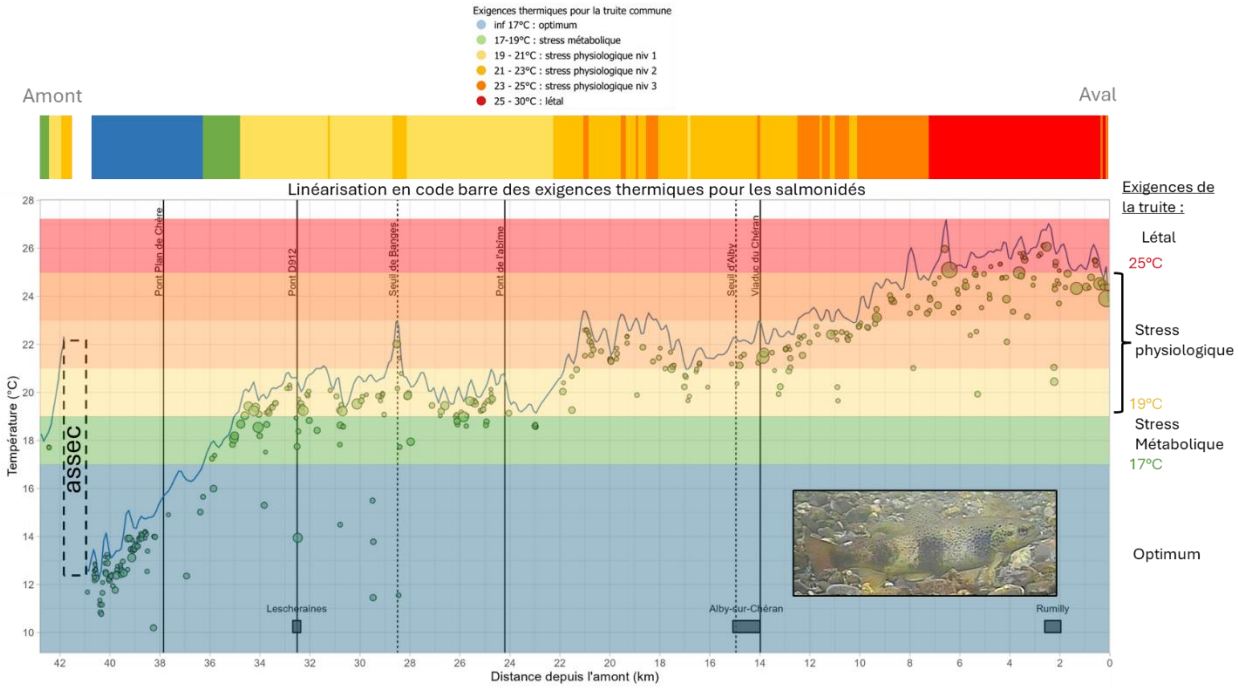


Figure 98 : Confrontation du profil thermique obtenu par IRT-a aux exigences thermiques de la truite commune et retranscription en code barre des exigences le long du linéaire du Chéran.

≤17°C	Optimum		10,6%
17-19°C	Stress métabolique		4,5%
19-21°C	Stress physiologique	29,6%	68,2%
21-23°C		24,4%	
23-25°C		14,2%	
>25°C	Létal		16,7%

Tableau 6 : Pourcentages du linéaire correspondant aux différentes exigences thermiques de la truite commune calculés à partir des températures médianes par tronçon de 100m. Le code couleur des différentes gammes de température est identique à celui utilisé dans la figure 96.

A partir des résurgences qui alimentent le Chéran à la Compote, les conditions thermiques restent inférieures à 17°C, dans l'optimum pour les salmonidés, sur un peu plus de 4 km jusqu'au pont Picot au Châtelard. Ensuite les conditions encore acceptables entre 17 et 19°C ne sont présentes que sur un linéaire très court soit environ 1,2 km. En effet, la zone des plans d'eau du Châtelard et de Lescheraines,

en raison de l'absence d'apports phréatiques, représente un point de basculement avec des températures qui entrainent des conditions de stress physiologiques pour les salmonidés.

Ensuite, les salmonidés restent confrontés à des conditions des stress physiologique dans une gamme 19-21°C sur un linéaire d'environ 12 km jusqu'à la sortie des gorges à Cusy. Sur le plat de Cusy, un nouveau point de basculement est observé avec des températures qui passent le seuil de 21°C et restent dans une gamme 21-23°C jusqu'à la STEP du Pissieux en aval d'Alby-sur-Chéran. Ensuite, les conditions de stress physiologique passent dans la gamme 23-25°C sur environ 4,2 km jusqu'à la zone des Ilettes à Rumilly. Sur les 7km aval jusqu'à la confluence avec le Fier, des conditions thermiques dépassent le seuil létal de 25°C.

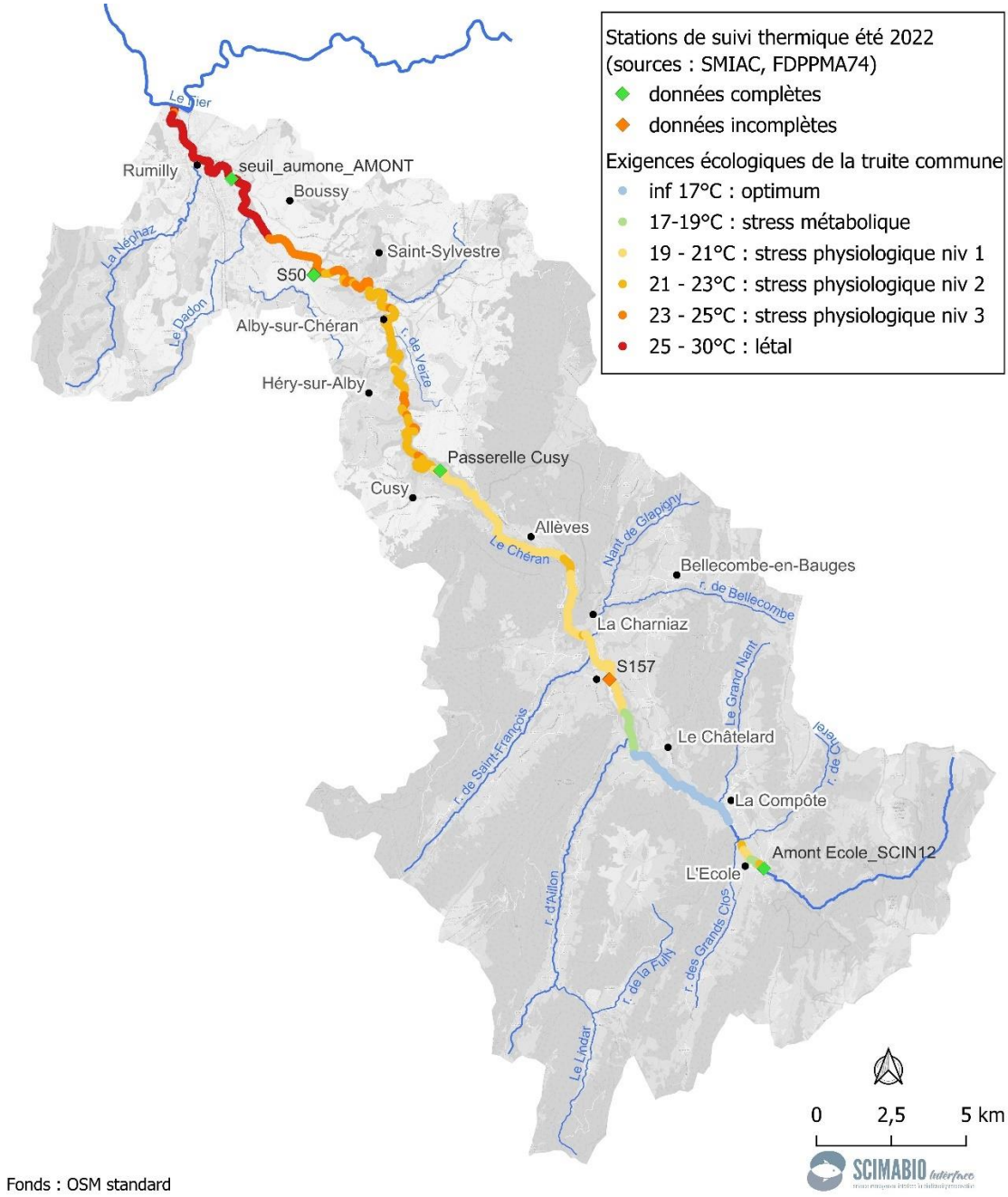


Figure 99 : Linéaire des exigences thermique de la truite commune et localisation des 5 enregistreurs thermiques utilisés pour l'analyse temporelle des conditions thermiques.



Figure 100 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le basculement des conditions thermiques en aval du Pont Picot (passage de l'optimum à des conditions de stress métabolique).



Figure 101 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le basculement des conditions thermiques au niveau des plans d'eau du Châtelard et de Lescheraines (passage à des conditions de stress physiologique).

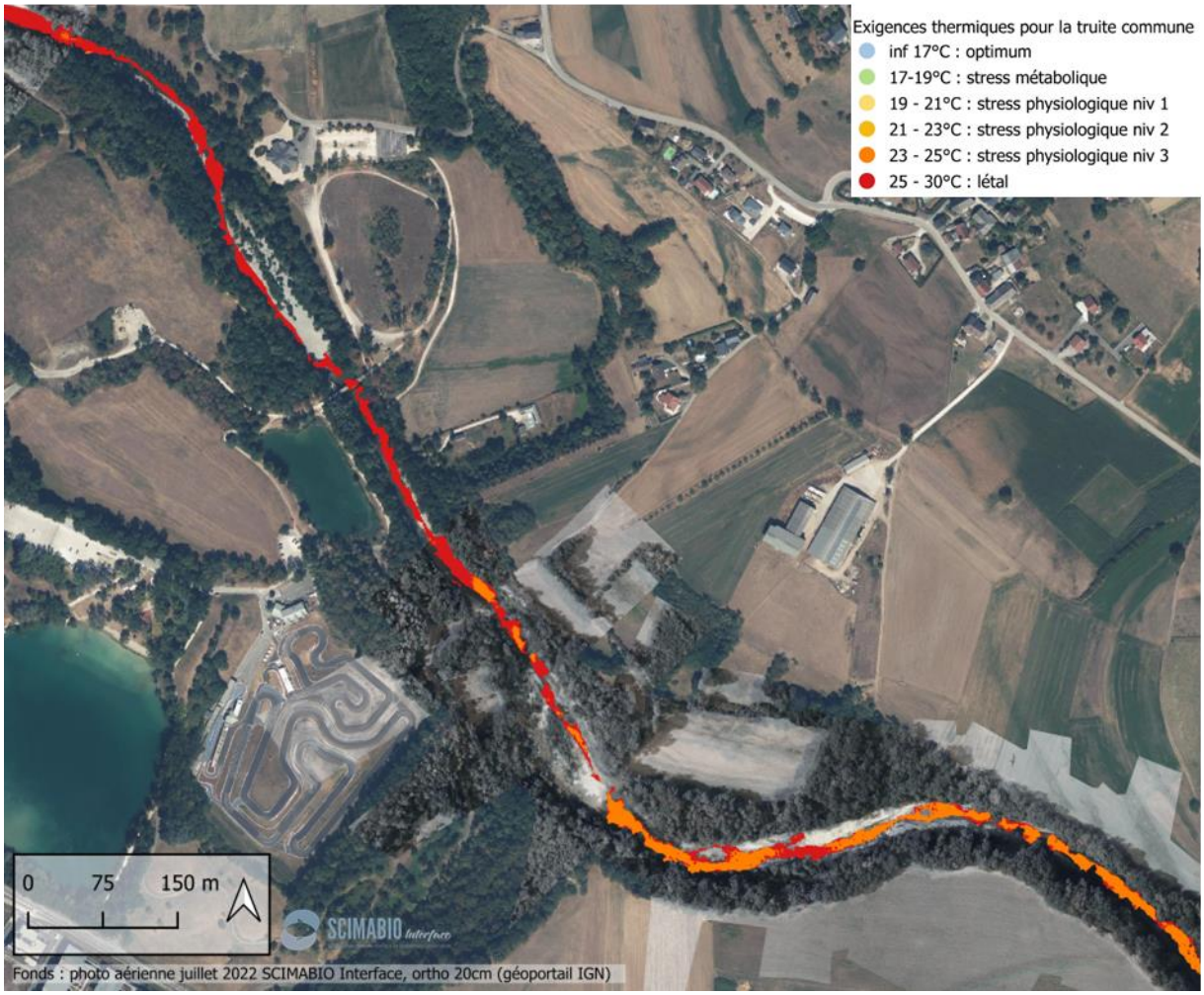


Figure 102 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le basculement des conditions thermiques au niveau des plans d'eau de Rumilly (passage à des conditions létales).

Dans un premier temps, la représentativité temporelle des données spatiale obtenues par IRT-a a été appréciée sur une petite échelle de temps en étudiant les variations thermiques journalières sur 3 jours autour de la date du survol. Les résultats indiquent que le survol pour l'acquisition des données IRT a été réalisé au cours des heures les plus chaudes de la journée. Les pics de températures d'eau sont légèrement décalés entre l'amont et l'aval du Chéran. Sur les stations de Lescheraines et de Cusy, les températures les plus chaudes sont enregistrées entre 13h et 14h alors que sur la station de l'Aumone à Rumilly, le pic est observé à 18h. Par contre, sur toutes les stations, les températures d'eau les plus faibles sont observées autour de 8h du matin. A noter que les températures d'eau sont comparables sur les stations de Lescheraines et de Cusy pourtant séparées de plus de 10 km (figure 103).

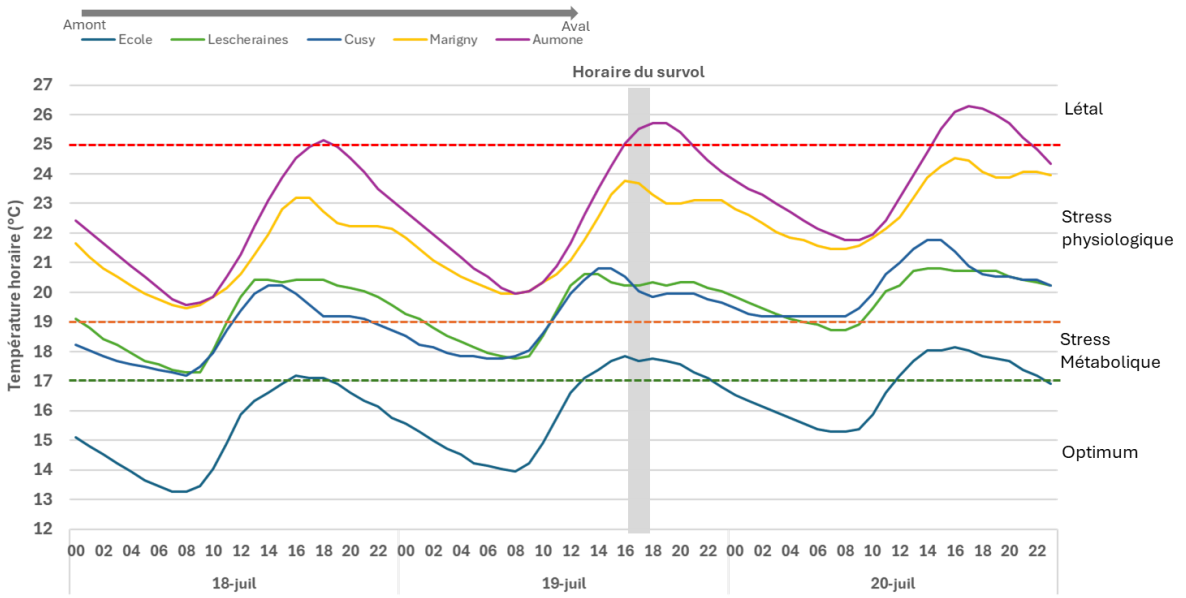


Figure 103 : Données de températures horaires sur les 5 stations suivies au cours de l'été 2022 autour de la date du survol réalisé pour l'IRT (données FDPPMA74 et SMIAC).

Dans un deuxième temps, les conditions thermiques pour la truite ont été évaluées sur l'ensemble de la période estivale, à savoir du 01 juin au 30 septembre 2022 (figure 104).

Il ressort que sur la moitié amont du Chéran, c'est-à-dire de la Compote jusqu'à Cusy, les conditions de stress restent acceptables au cours des journées des mois de juin et septembre. Les valeurs dépassent rarement 19°C et lorsque cela se produit, les durées restent courtes, seulement quelques heures consécutives puis les températures redescendent au cours de la nuit. Les conditions sont plus difficiles particulièrement entre le 15 juillet et le 10 août où les pourcentages de temps chaque jour en stress physiologique ou métabolique augmentent.

Au niveau de Lescheraines, les conditions sont critiques du 19 au 24 juillet et du 01 au 05 août avec des températures qui ne redescendent pas en dessous de 19°C au cours de la journée, soit des durées de 6 et 5 jours consécutifs dans des conditions de stress physiologique. A Cusy des conditions de stress similaires ont été observées pendant 5 jours consécutifs du 20 au 25 juillet.

En aval, sur le linéaire au niveau de Marigny et de Rumilly, la situation est problématique dès mi-juin et se prolonge jusqu'à la première semaine de septembre.

On note plusieurs périodes critiques au cours desquels les températures ne redescendent jamais en dessous de 19°C au cours de la journée, à savoir du 17 au 23 juin soit 7 jours consécutifs, du 04 au 06 juillet (3 jours) puis une longue période du 14 juillet au 05 août, soit 23 jours consécutifs. A noter que pendant cette période, la température est restée même supérieure à 21°C pendant 7 jours consécutifs du 20 au 26 juillet.

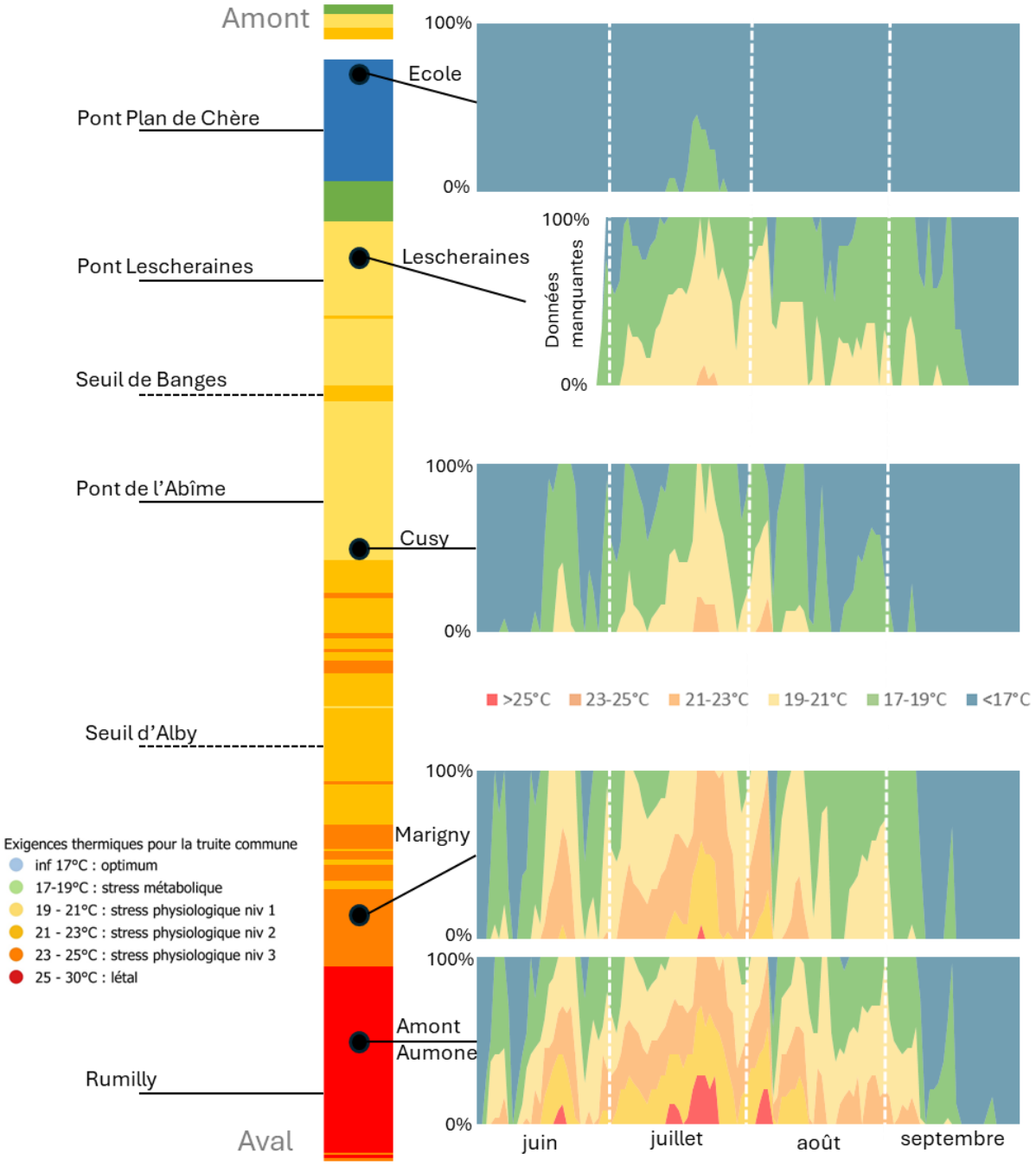


Figure 104 : Répartition spatio-temporelle des conditions d'habitats thermiques pour la truite sur le Chéran. Le code barre retranscrit les linéaires des différentes exigences écologiques obtenus par IRT-a. Les graphiques à droite indiquent pour chacun des 4 enregistreurs thermiques le pourcentage de temps par jour des différentes exigences écologiques pour les 4 mois de la période estivale.

5.6 Refuges thermiques et refuges climatiques potentiels pour les salmonidés

Bien que toutes les poches d'eau froide recensées par IRT-a ne peuvent être utilisés comme refuges thermiques, il ressort sur le Chéran que l'ensemble des apports répertoriés joue un rôle prépondérant pour réduire les risques d'échauffement de l'eau en été (figures 105 et 106).

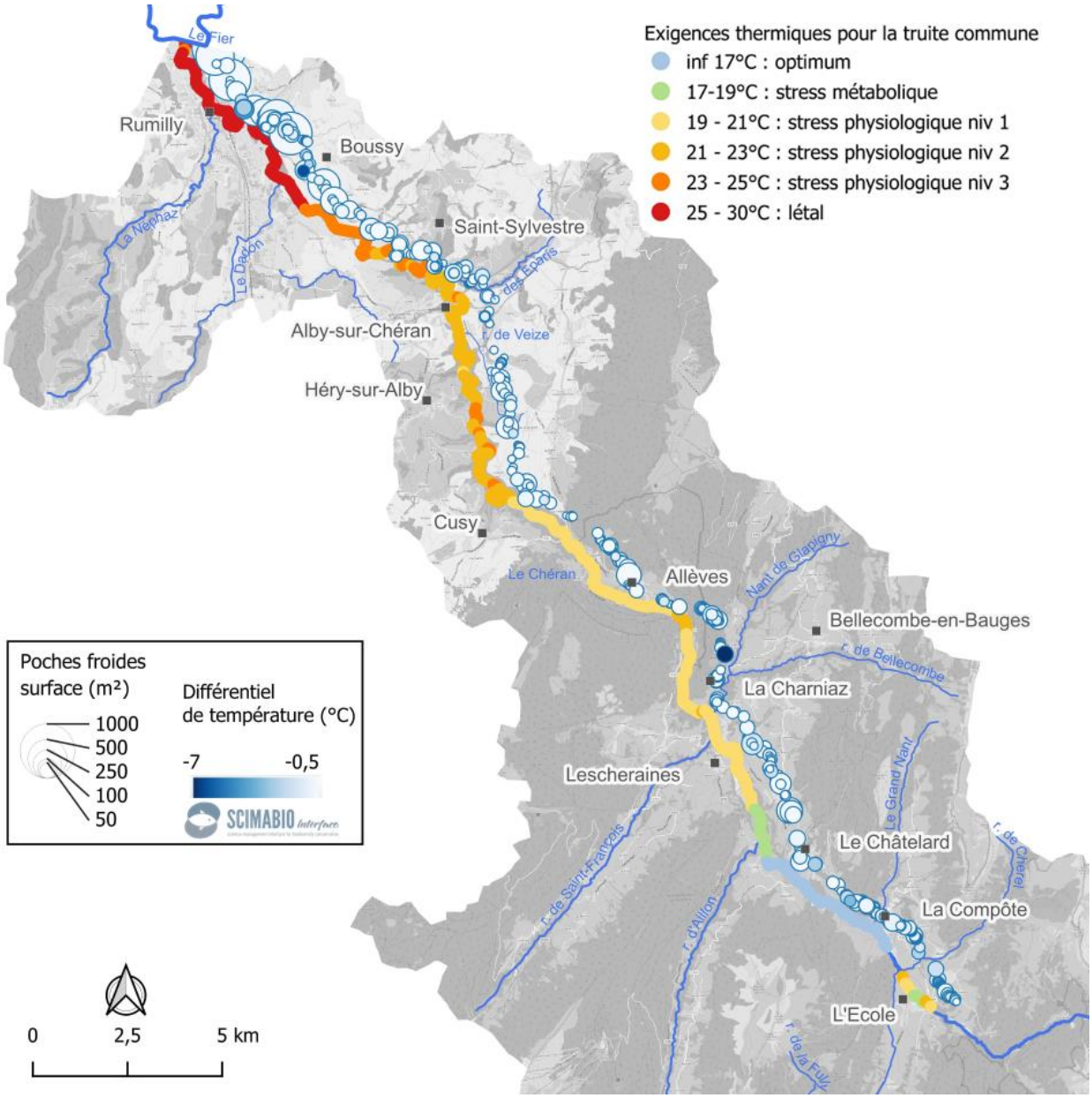


Figure 105 : Répartition et caractéristiques des poches froides recensées sur le Chéran en lien avec la répartition des exigences thermiques pour les salmonidés.

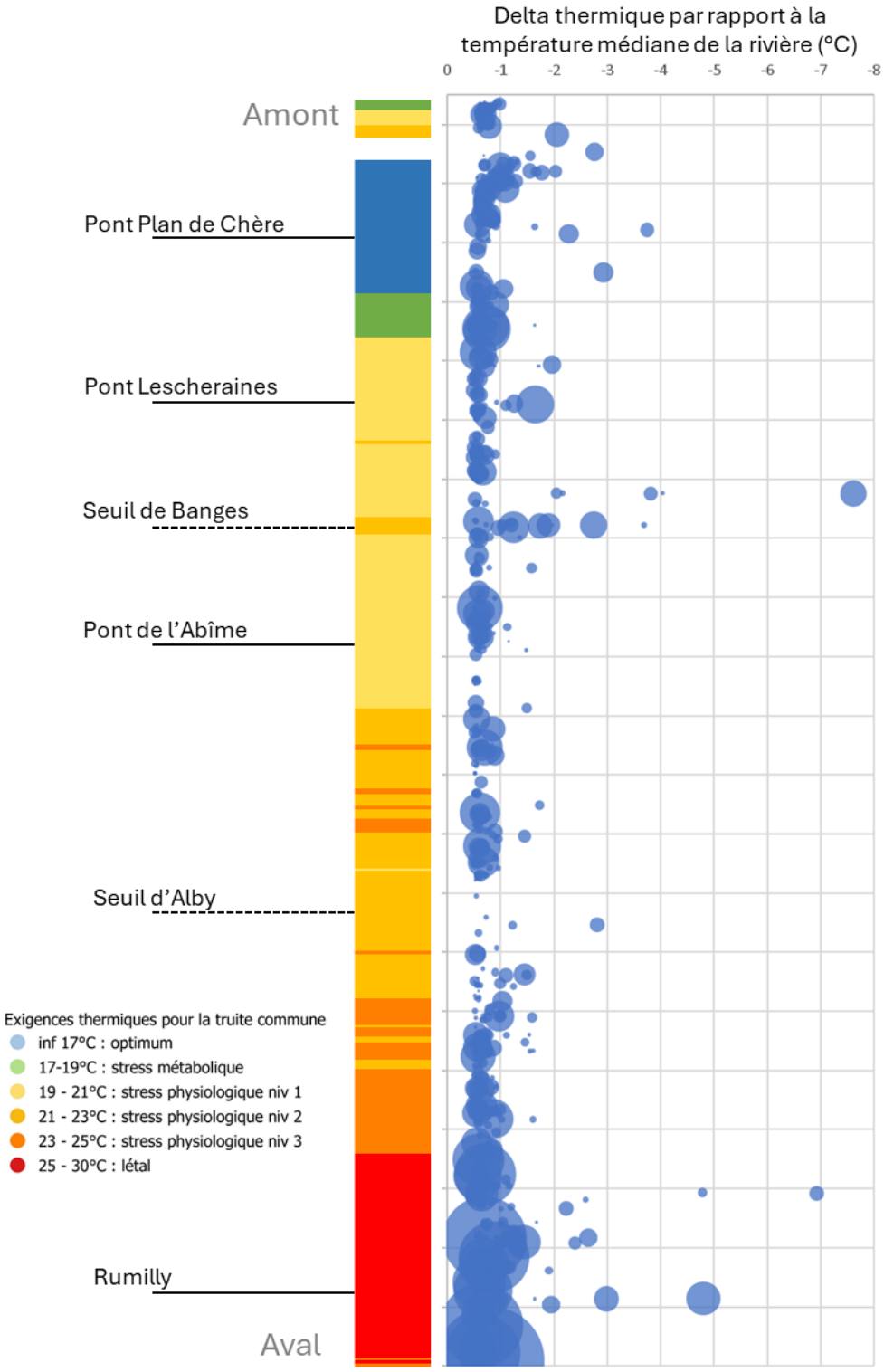


Figure 106 : Répartition des poches froides et des conditions thermiques vis-à-vis des exigences de la truite sur le linéaire du Chéran.

Quelques situations particulières ou révélatrices du rôle que joue les apports d'eau plus froides sont illustrées ci-dessous à l'aide d'exemples.

Sur la plaine alluviale entre Ecole et Pont Picot, la distribution régulière des apports d'eau froides permet de maintenir des conditions thermiques optimales pour les salmonidés malgré un lit en tresse présentant des écoulements laminaires fortement vulnérables à l'échauffement (figure 107).

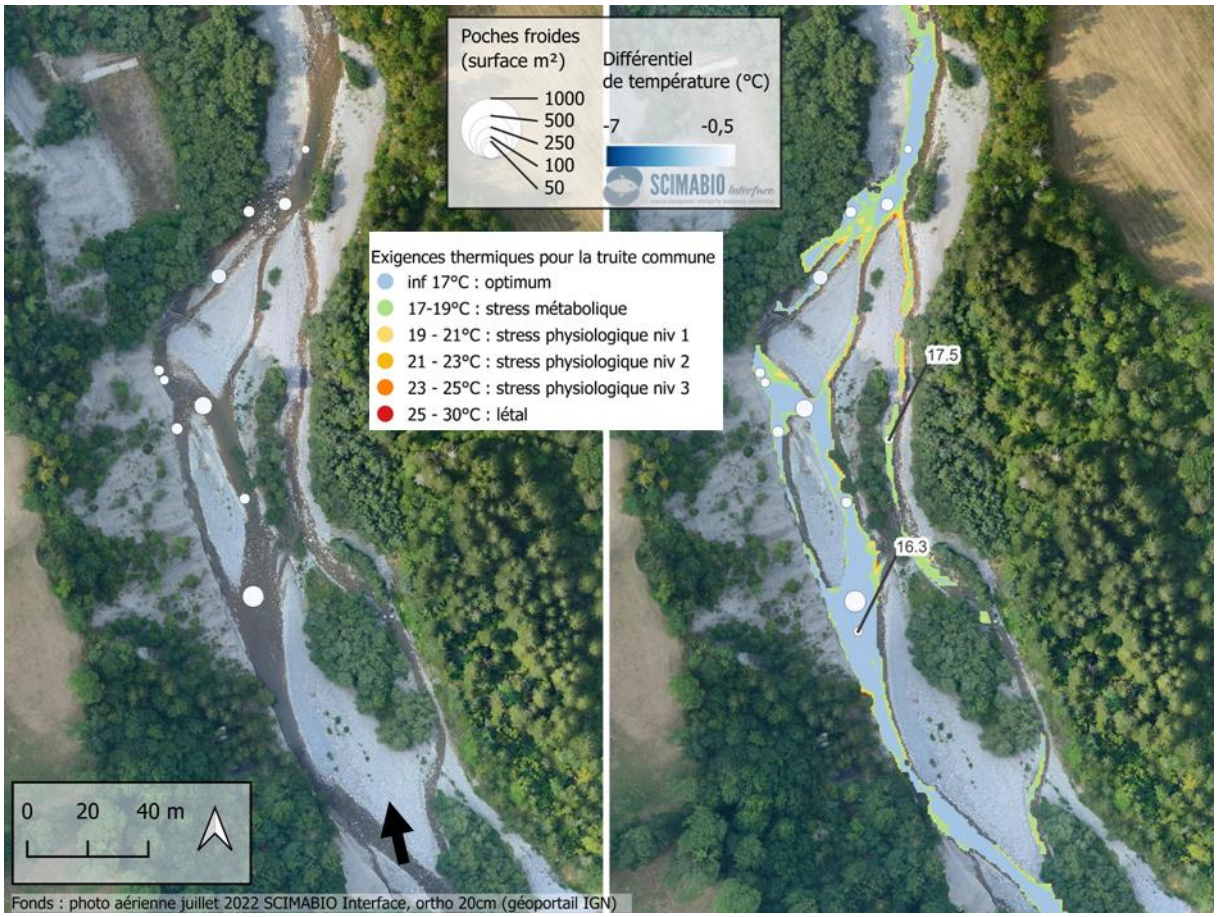


Figure 107 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'importance des apports d'eau froide sur un secteur en tresse dans la plaine alluviale de la Compôte.

Au niveau du plan d'eau du Châtelard, plusieurs poches froides ont été recensées majoritairement localisées sur la partie aval du plan d'eau suggérant des suintements latéraux provenance de celui-ci (figure 108).

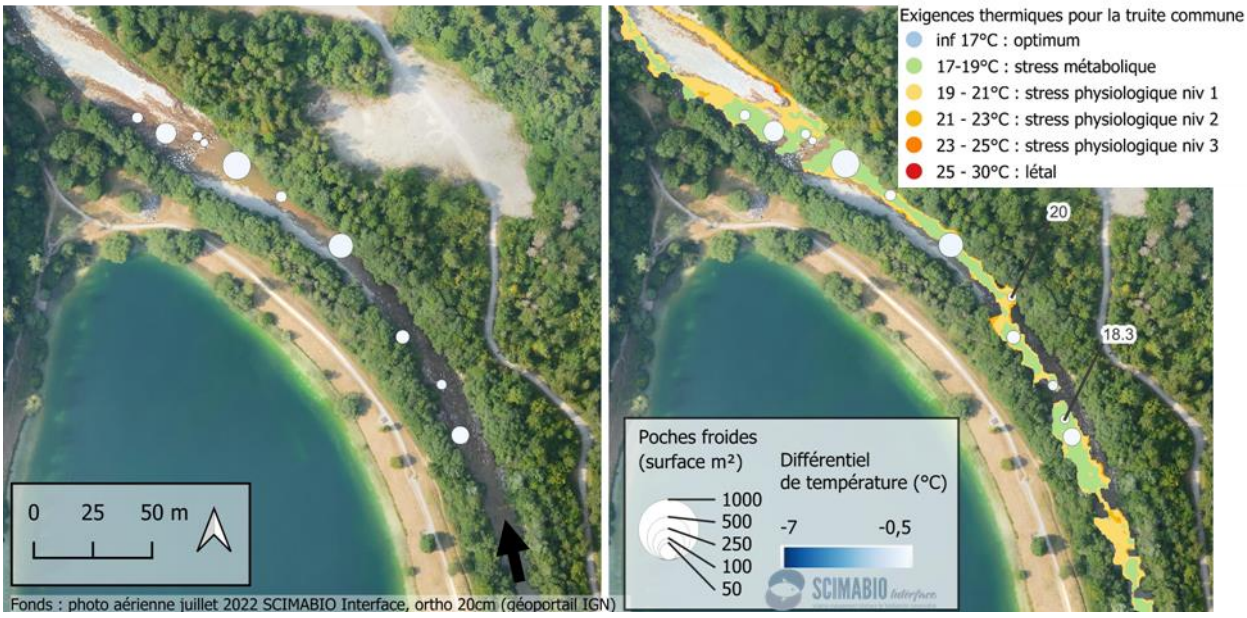


Figure 108 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les apports d'eau froide localisées le long de la digue du plan d'eau du Châtelard.

Au niveau de la base de loisirs de Lescheraines, où la faible densité de poches froides reflète un déficit d'échanges nappe/rivière, certains apports latéraux modifient de manière insuffisante et très localisée les conditions thermiques pour les salmonidés (figures 109, 110 et 111).

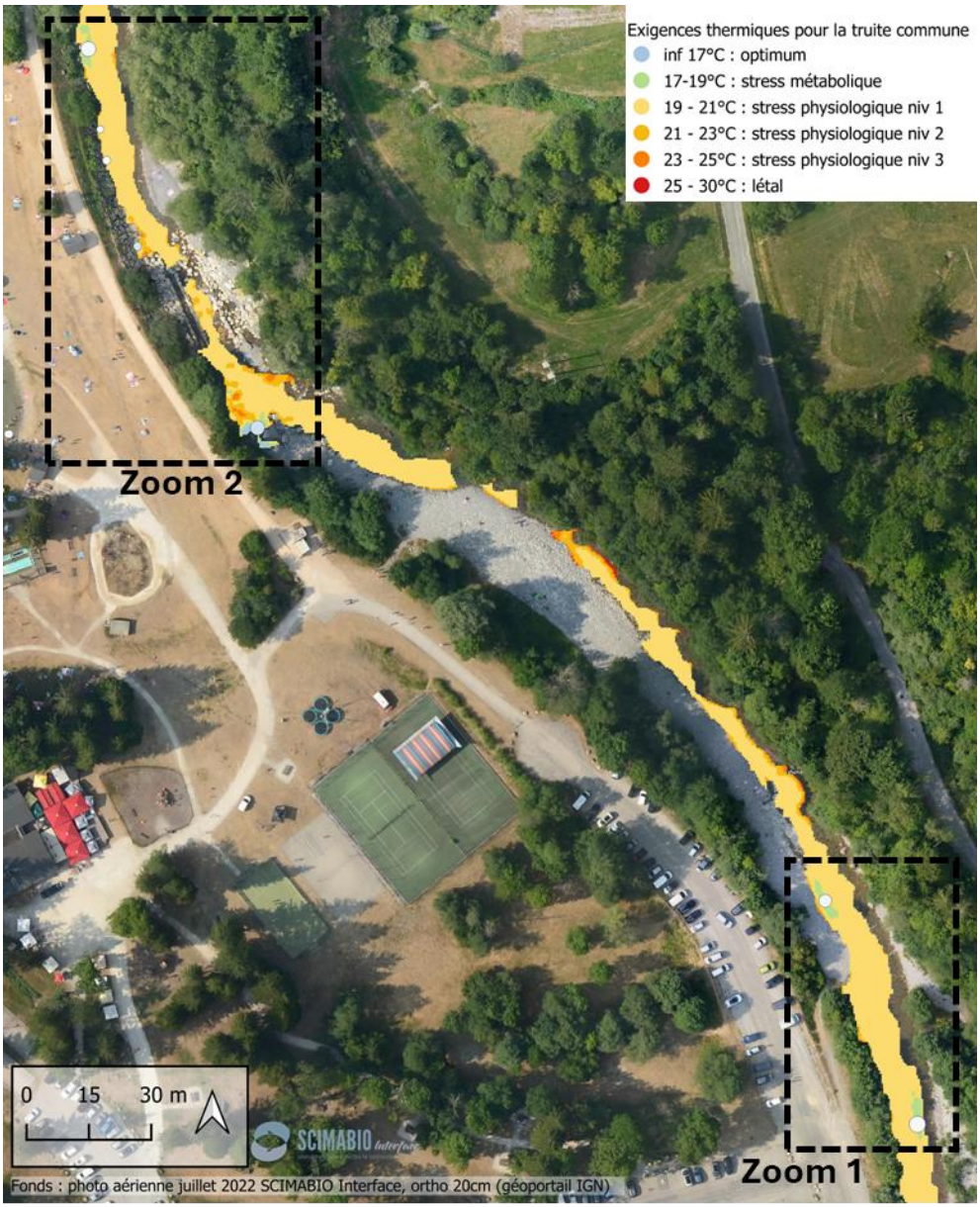


Figure 109 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les quelques apports d'eau froide très localisés observés le long de la base de loisirs de Lescheraines.

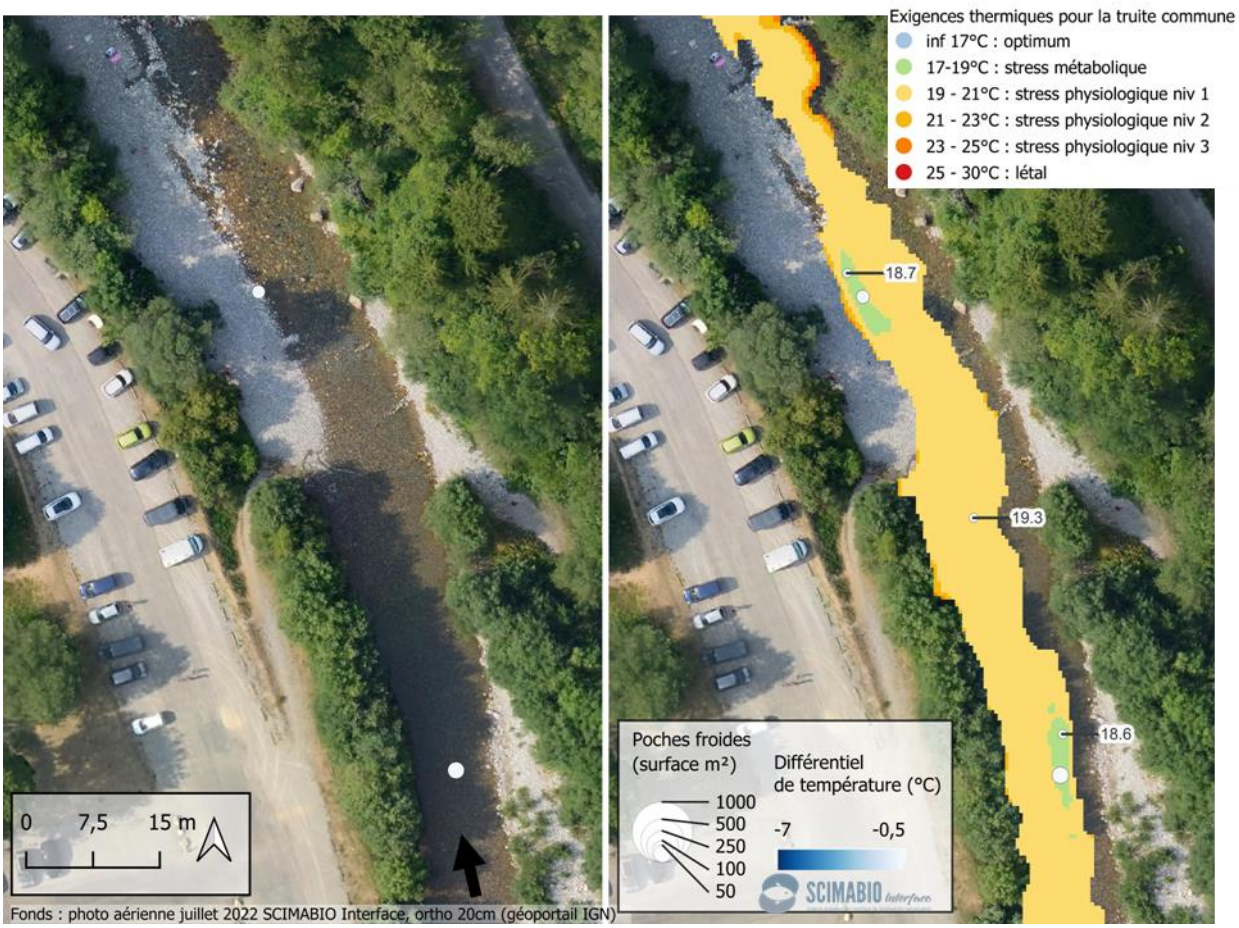


Figure 110 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les petits apports d'eau plus froide très localisés observés le long de la base de loisirs de Lescheraines (zoom 1 figure 109).

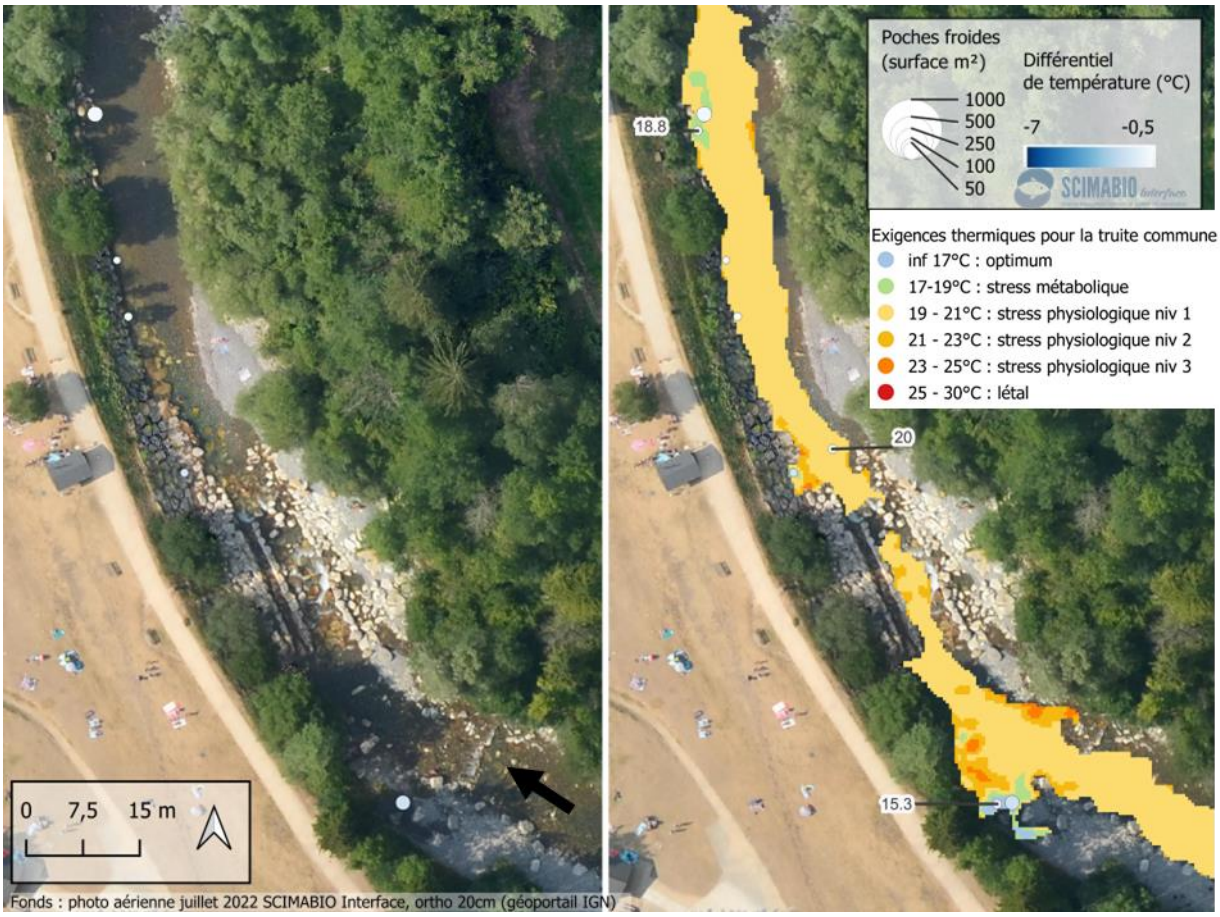


Figure 111 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les petits apports d'eau plus froide très localisés observés le long de la base de loisirs de Lescheraines (zoom 2 figure 109).

Tout le long du linéaire, les apports phréatiques plus froids ou la concentration d'apports hyporhéiques permet d'améliorer localement les conditions d'habitats thermiques créant ainsi de potentiels refuges thermiques.

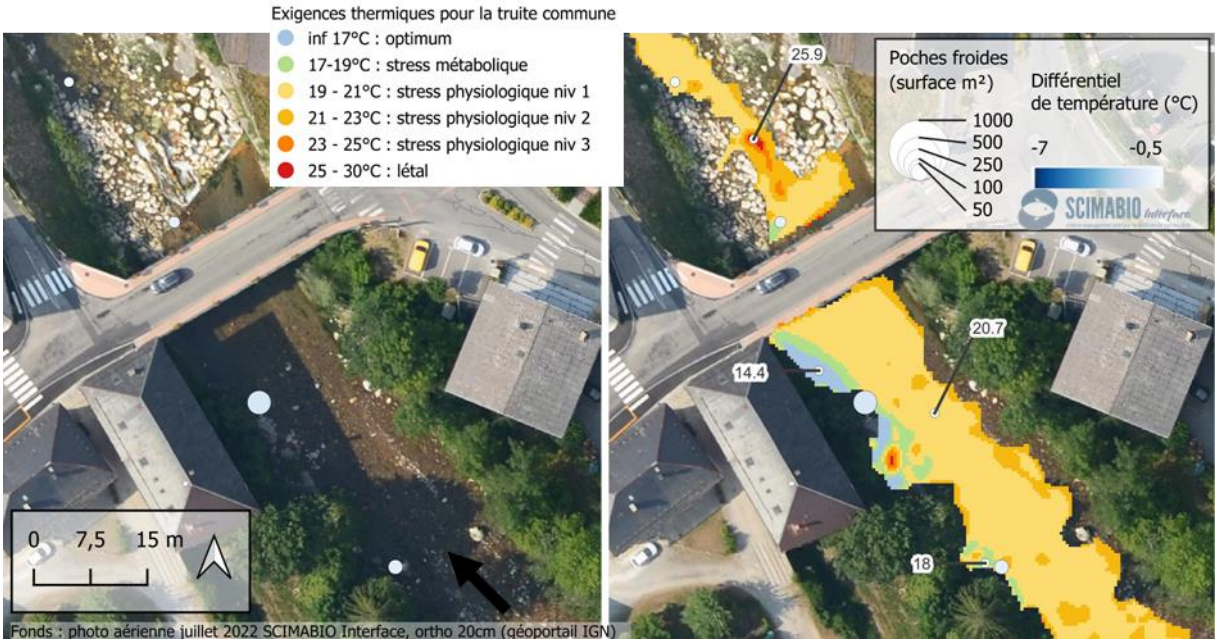


Figure 112 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant la variation des conditions thermiques apportées par les apports phréatiques observés à l'amont du pont de Lescheraines.

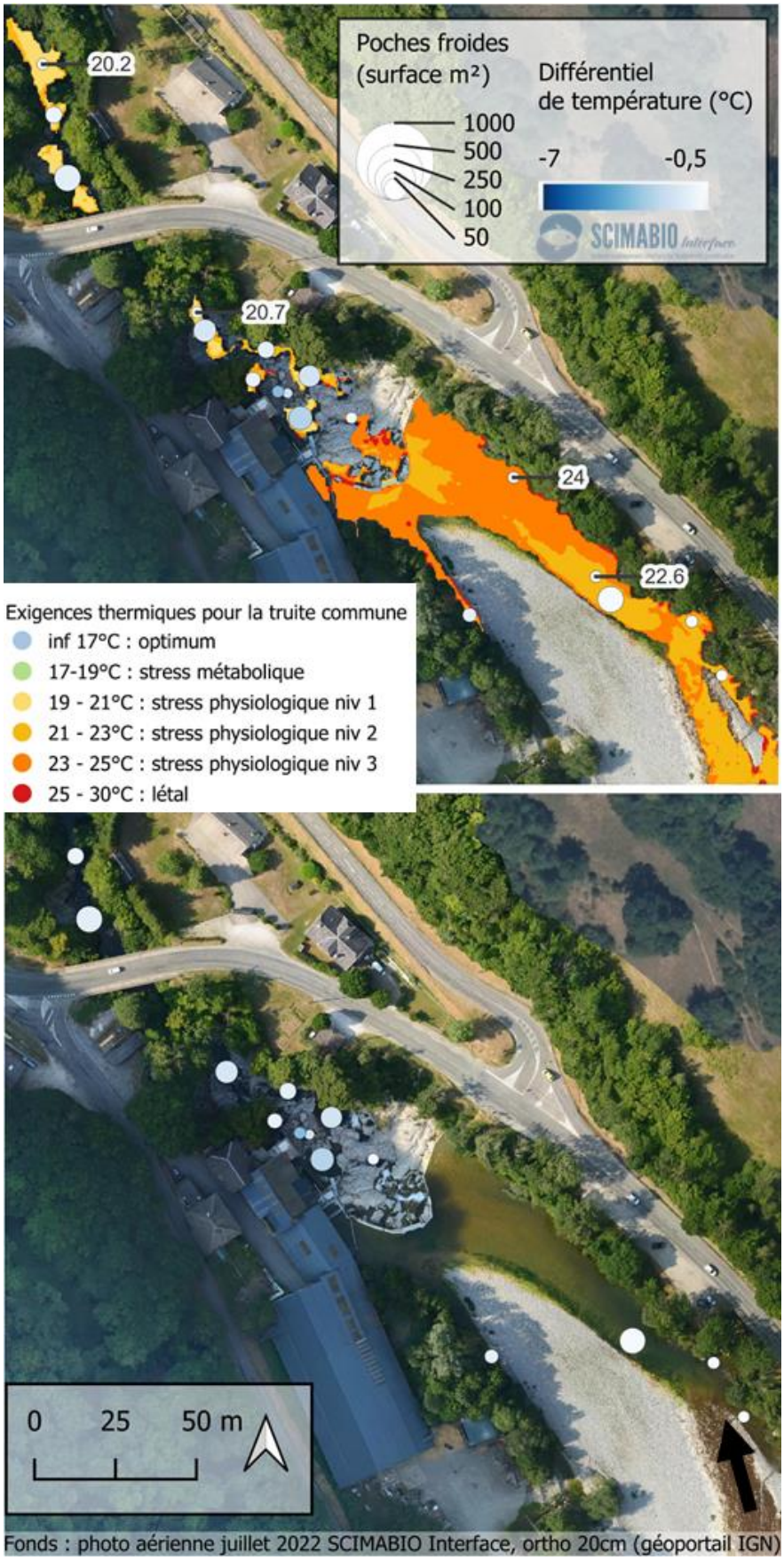


Figure 113 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'effet des poches froides au niveau du barrage de Banges.

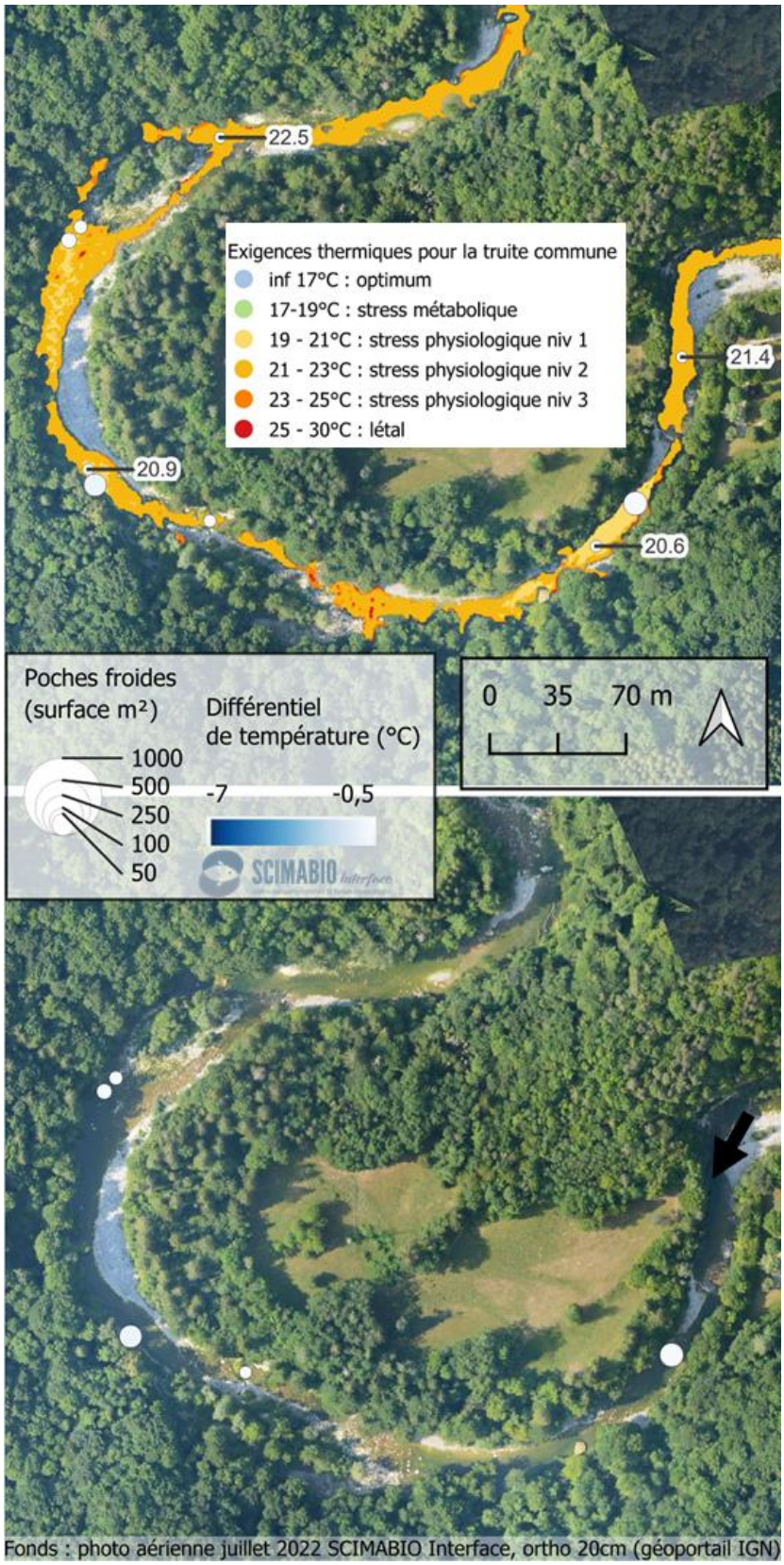


Figure 114 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'effet des poches froides au niveau du méandre de Cusy.

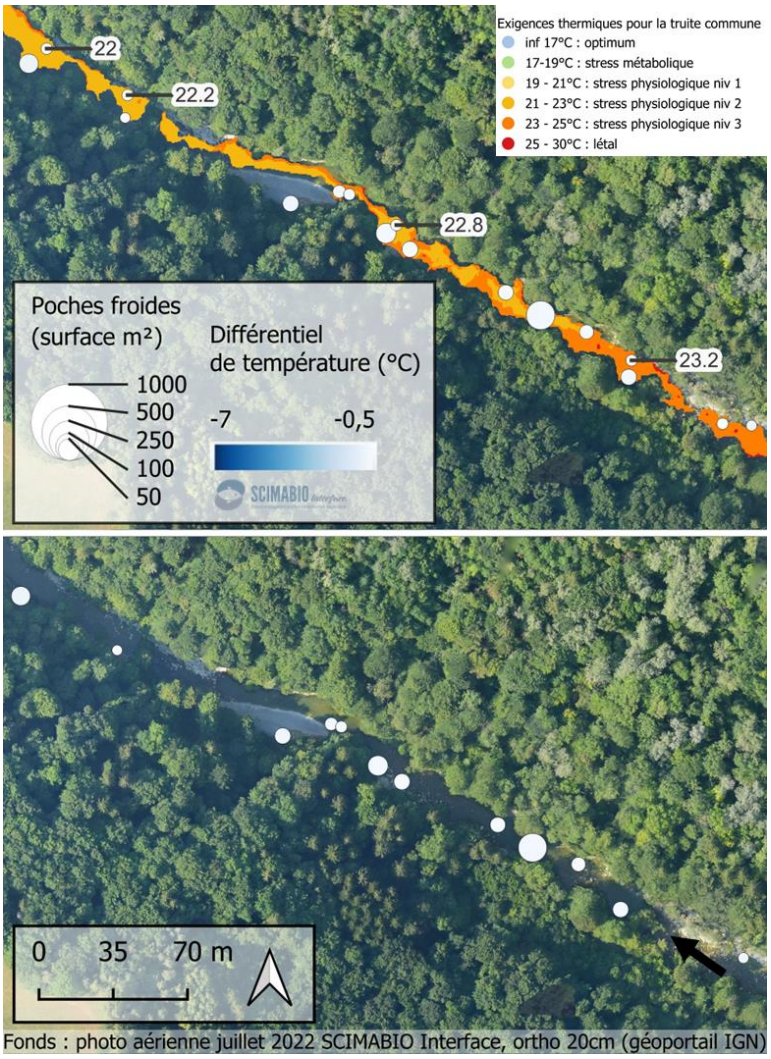


Figure 115 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les zones de refuges thermiques (légèrement plus froides) engendrées par des apports hyporhéiques.



Figure 116 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les zones de refuges thermiques (légèrement plus froides) engendrées par des apports hyporhéiques.

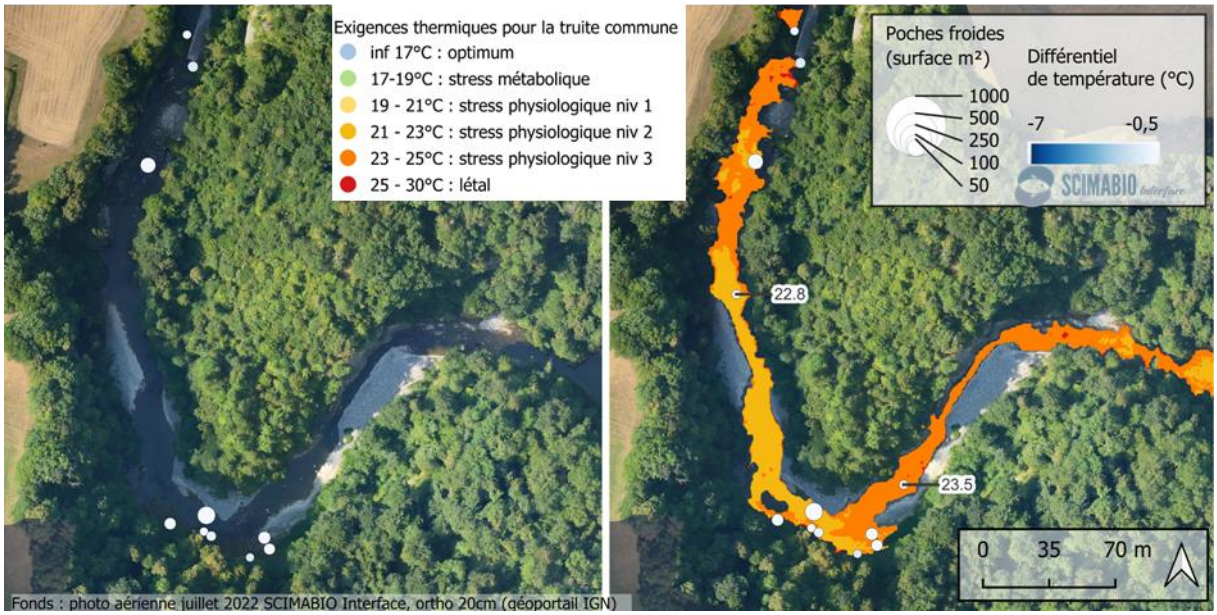


Figure 117 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les zones de refuges thermiques (légèrement plus froides) engendrées par des apports hyporhéiques.



Figure 118 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les zones de refuges thermiques (légèrement plus froides) engendrée par des apports hyporhéiques.

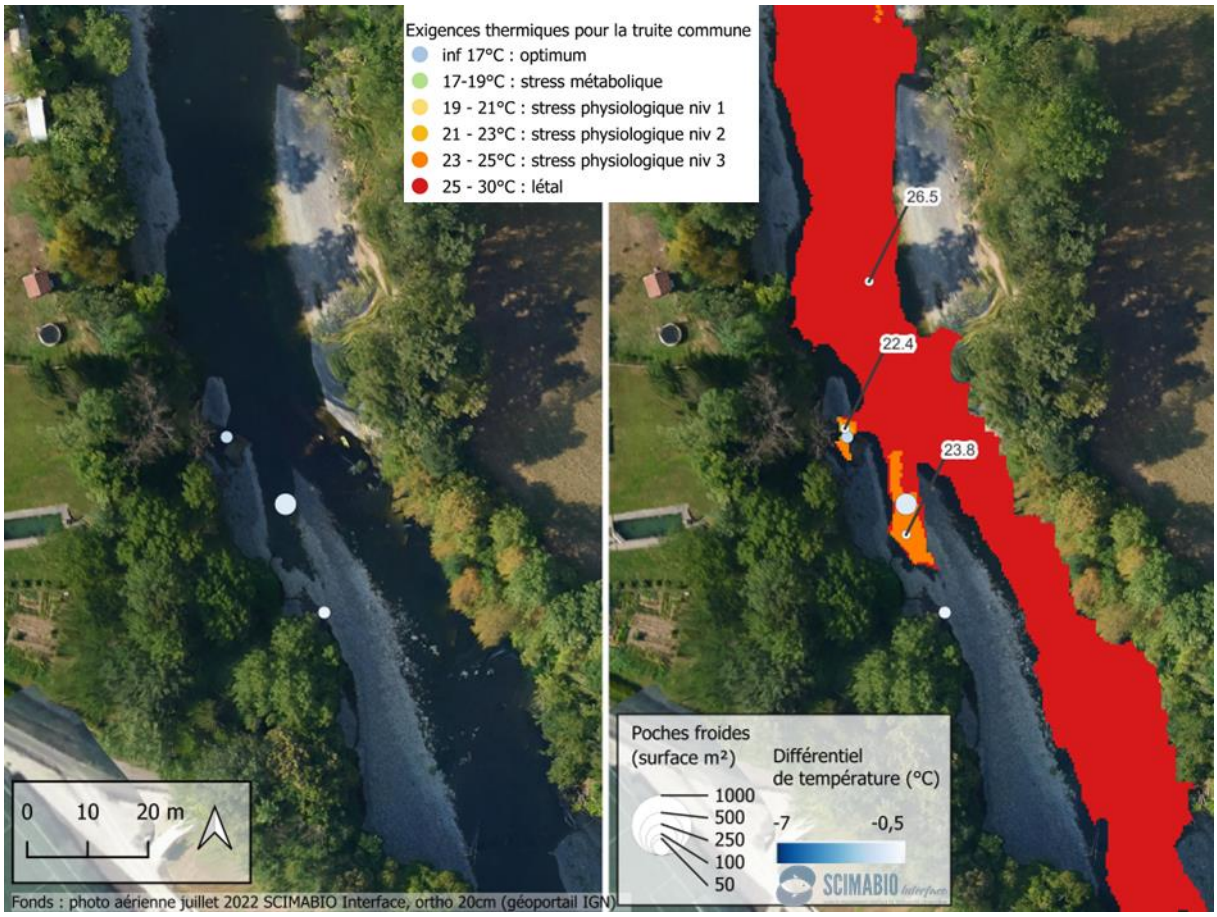


Figure 119 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les petits refuges thermiques que peuvent constituer les résurgences au niveau de la source de l'Aumone à Rumilly.

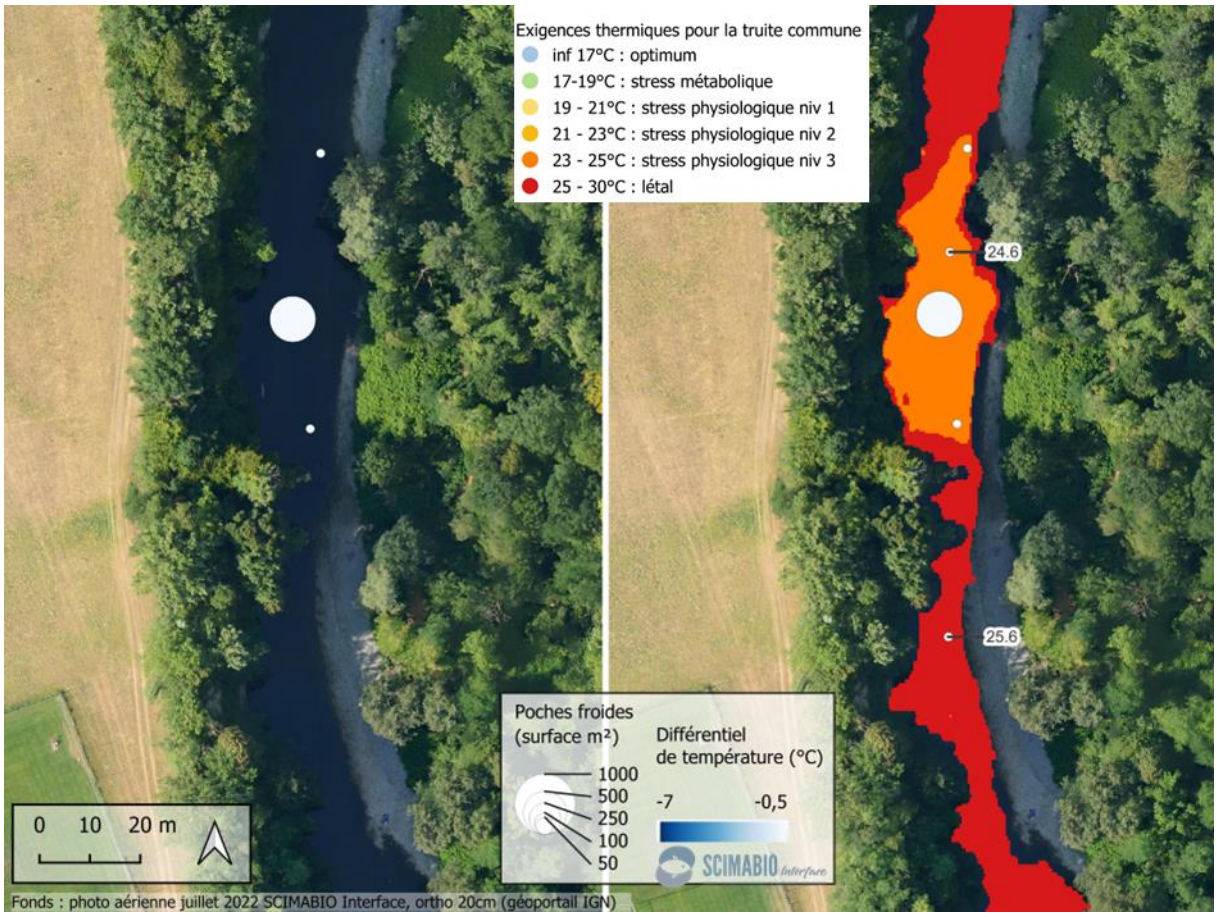


Figure 120 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant les zones de refuges thermiques (légèrement plus froides) provoquée par des apports hyporhéiques.

Autres exemples, les modifications d'habitats thermiques observées au niveau de certains affluents qui apportent des eaux plus froides que celles du Chéran.

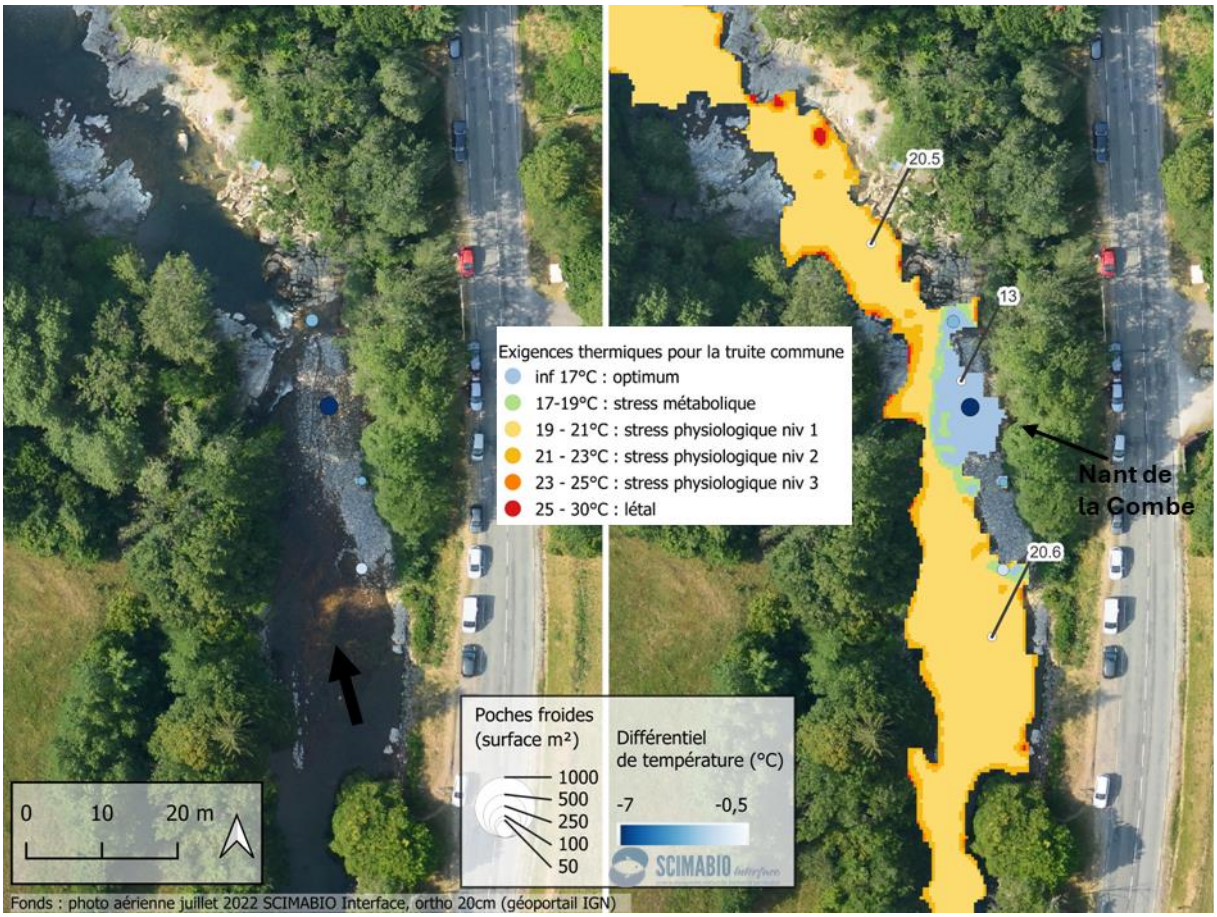


Figure 121 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant l'apport d'eau froide que représente le Nant de la Combe au niveau de sa confluence avec le Chéran.

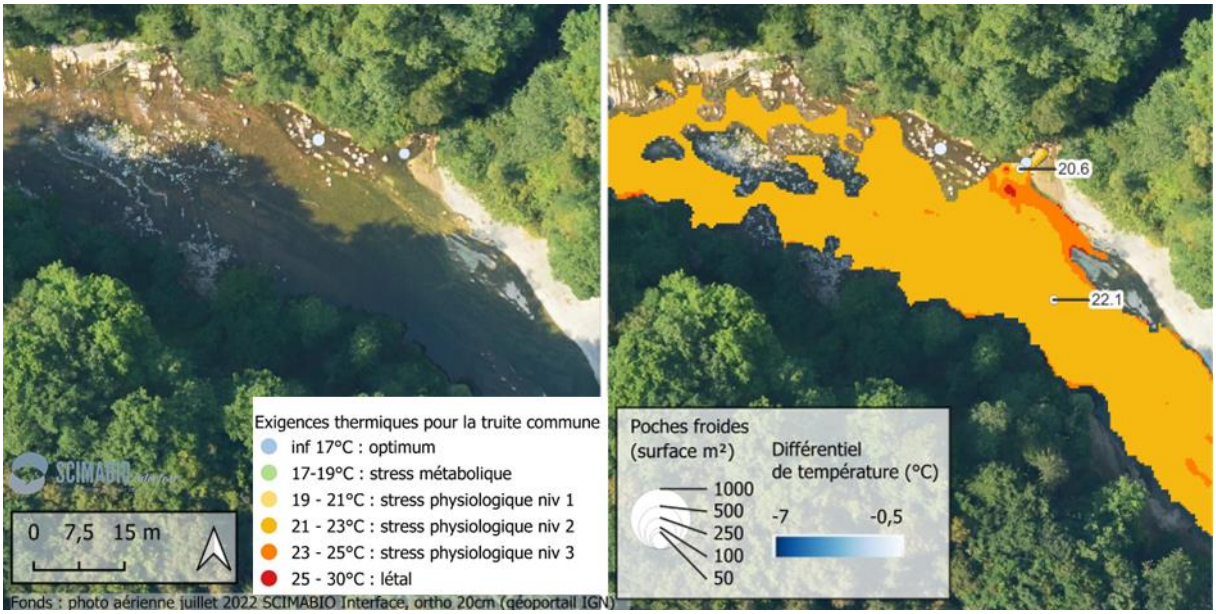


Figure 122 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le petit refuge thermique que peut constituer la confluence du ruisseau de la Perraille.

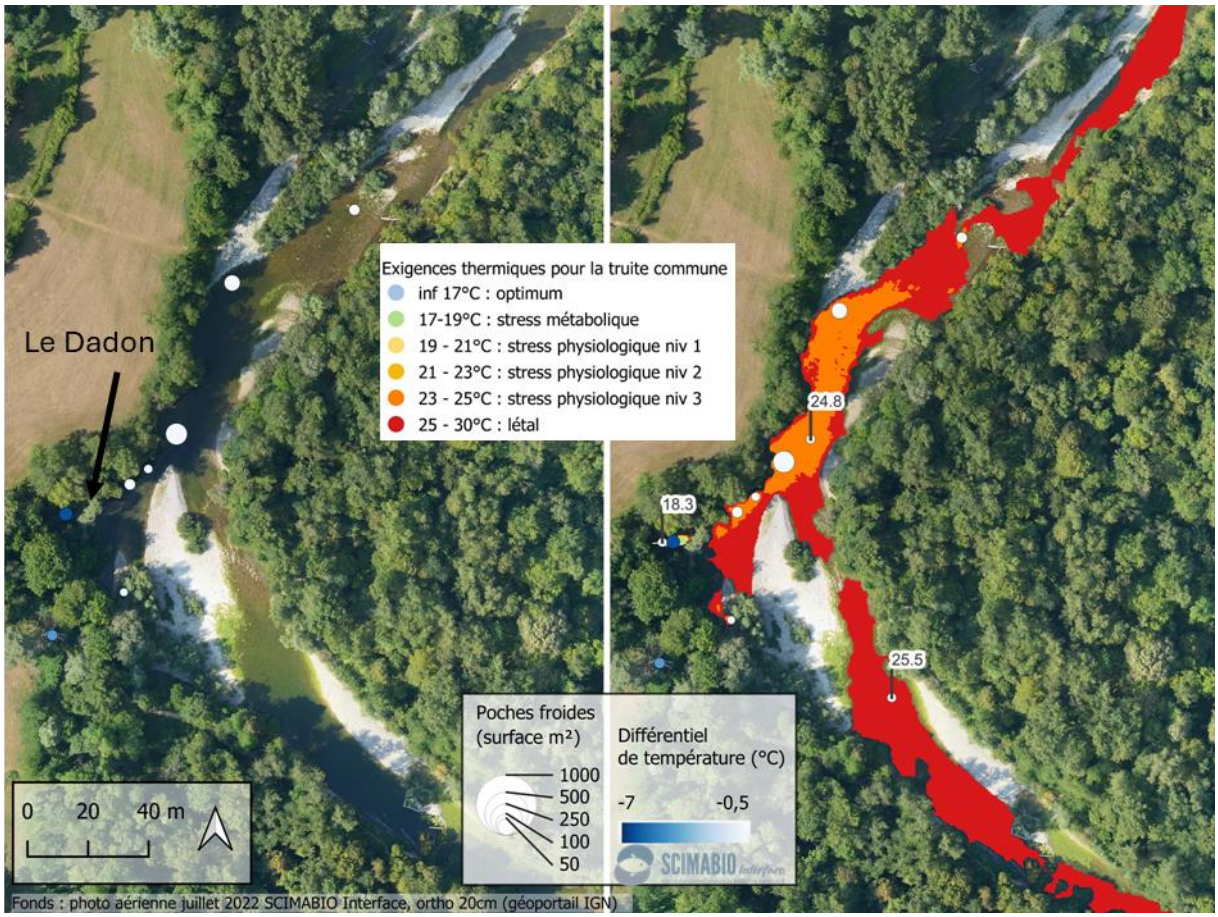


Figure 123 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le refuge thermique que peut constituer le Dadon et le panache à sa confluence.

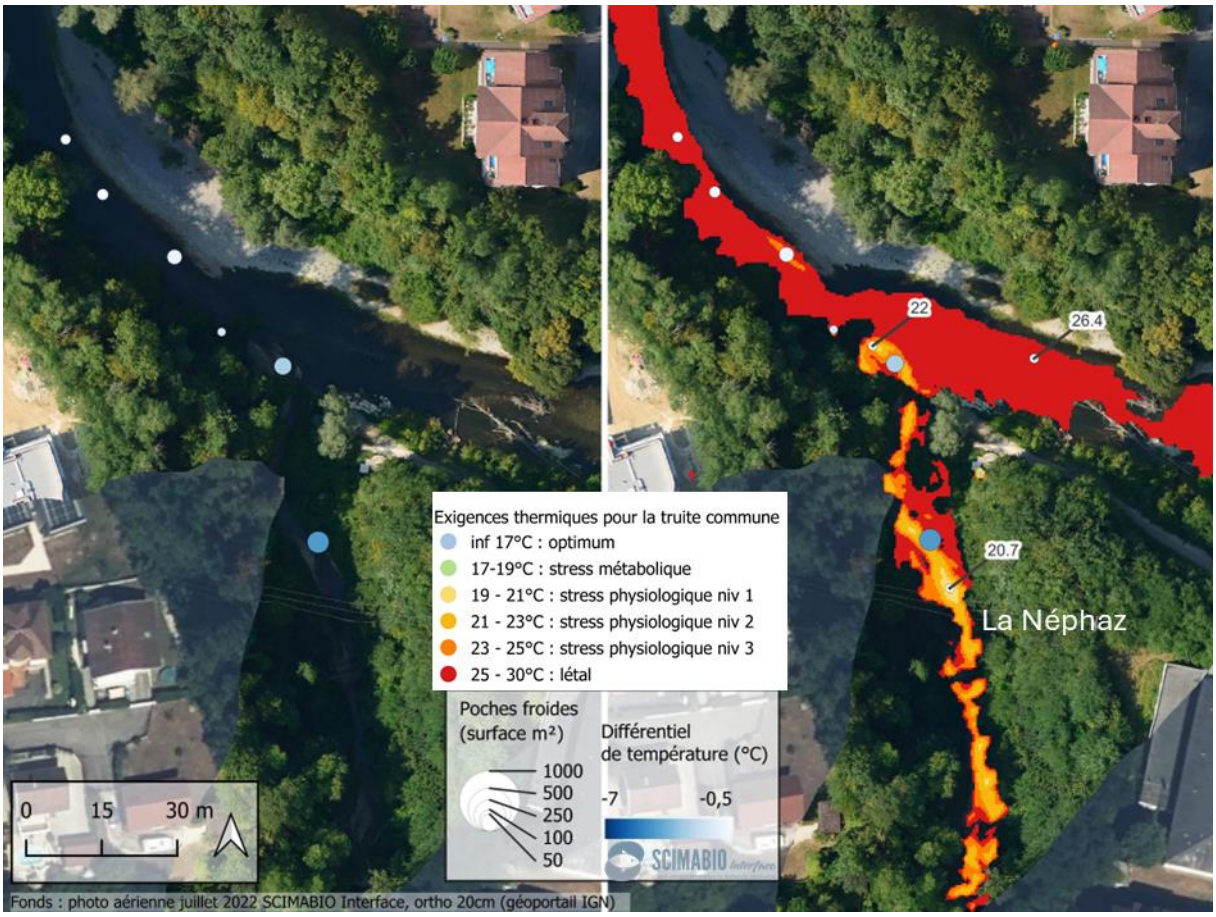


Figure 124 : Mosaïque thermique par rapport aux exigences des salmonidés et orthophoto illustrant le refuge thermique que peut constituer la Néphaz et le panache à sa confluence.

6. Adaptation du Chéran aux Changements climatiques : recommandations et propositions d'action

Les recommandations sont présentées sous forme de fiches actions.

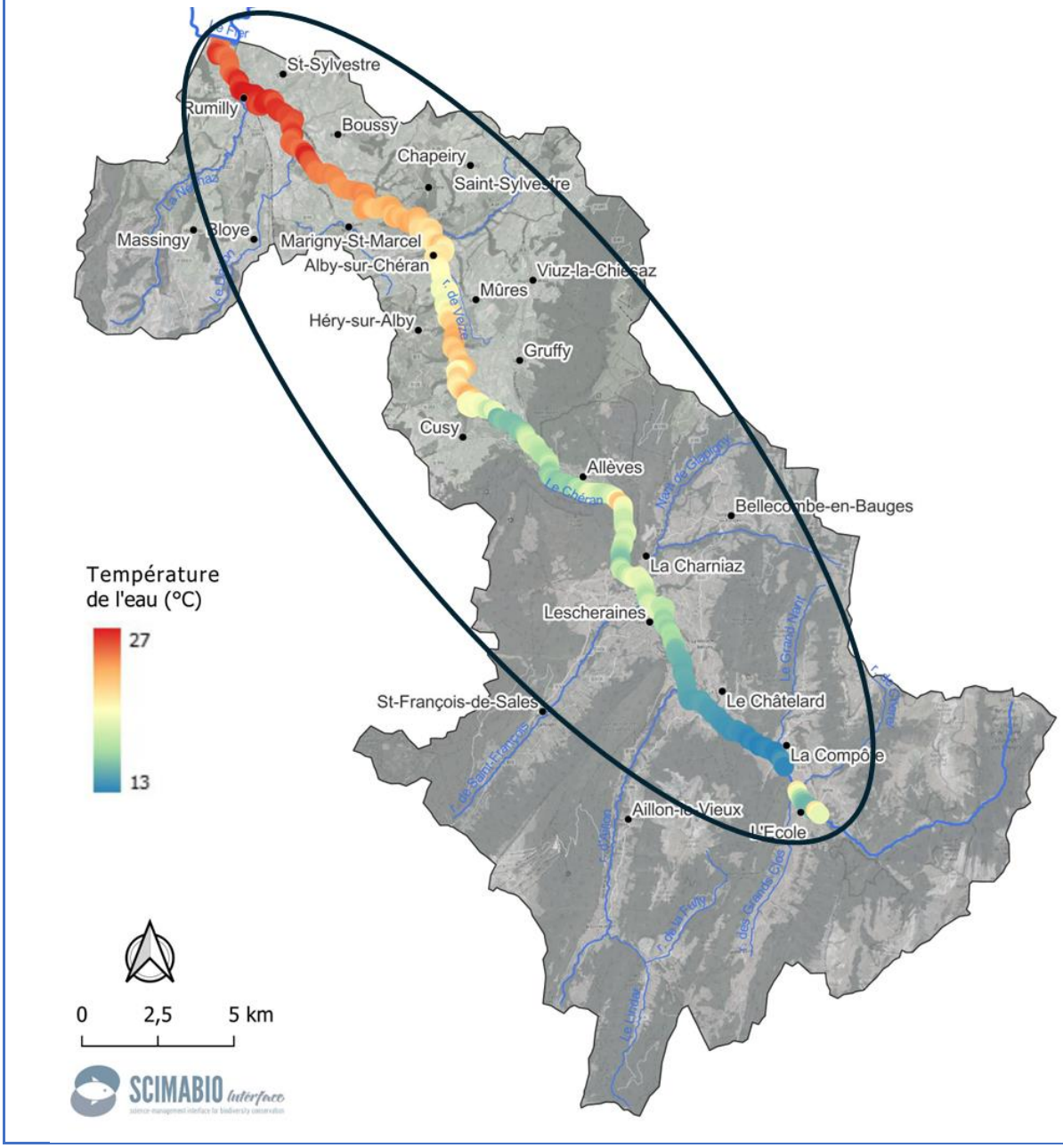
Trois actions proposées concernent l'ensemble du linéaire du Chéran :

- Etablir le profil longitudinal de la nappe alluviale ;
- Mettre en œuvre un réseau de suivi thermique servant d'observatoire du profil thermique et des refuges thermiques ;
- Réaliser une étude de définition des débits minimums écologiques permettant de garantir des habitats thermiques estivaux favorables aux salmonidés.

Ensuite des recommandations sont proposées sur les 3 principaux secteurs à enjeux à savoir l'espace alluvial entre Ecole et Pont Picot, l'espace alluvial des « îles du Chéran » et la moitié aval entre Cusy et la confluence avec le Fier.

Type d'action	Amélioration des connaissances
Nom de l'action	Etablir le profil longitudinal du niveau de la nappe sur l'ensemble du linéaire.

Localisation : l'ensemble du linéaire du Chéran

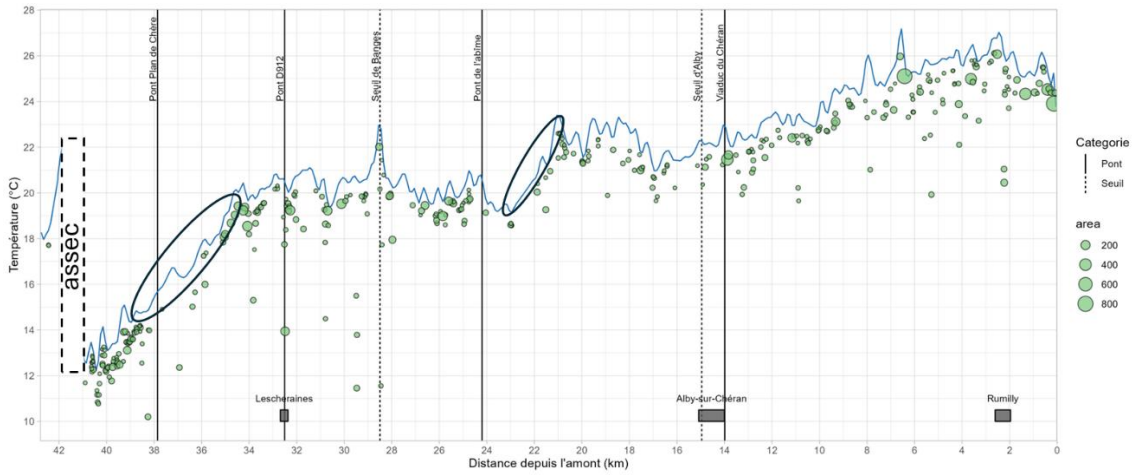


Rappel du diagnostic/lacune à combler

La campagne IRT-a, en repérant les poches froides, a permis de cartographier précisément les échanges entre la nappe alluviale et la rivière. Les secteurs qui présentent des lacunes en terme de relation nappe/rivière et ceux qui présentent encore des échanges phréatiques ont pu être repérés.

Les deux tronçons qui présentent des échauffements les plus importants sont aussi ceux qui présentent les densités de poches les plus faibles traduisant une réduction des échanges nappe/rivière (figure ci-dessous) qui est préjudiciable à la température d'eau. Il s'agit des linéaires

situés sur la plaine alluviale de Châtelard-Lescheraines et à la sortie des gorges au niveau de la passerelle de Cusy.



La solution la plus efficace pour limiter les échauffements de l'eau de la rivière est de favoriser les échanges nappes/rivière. Deux leviers sont possibles : d'une part maintenir les échanges existants par des mesures de protection, et d'autre part retrouver des échanges grâce à des travaux de restauration du fonctionnement hydromorphologique. Pour savoir dans quel sens agir, il est nécessaire d'établir un profil longitudinal de la nappe alluviale afin de connaitre précisément le niveau de la nappe par rapport à celui de la rivière et ses caractéristiques (écoulements, débits, température).

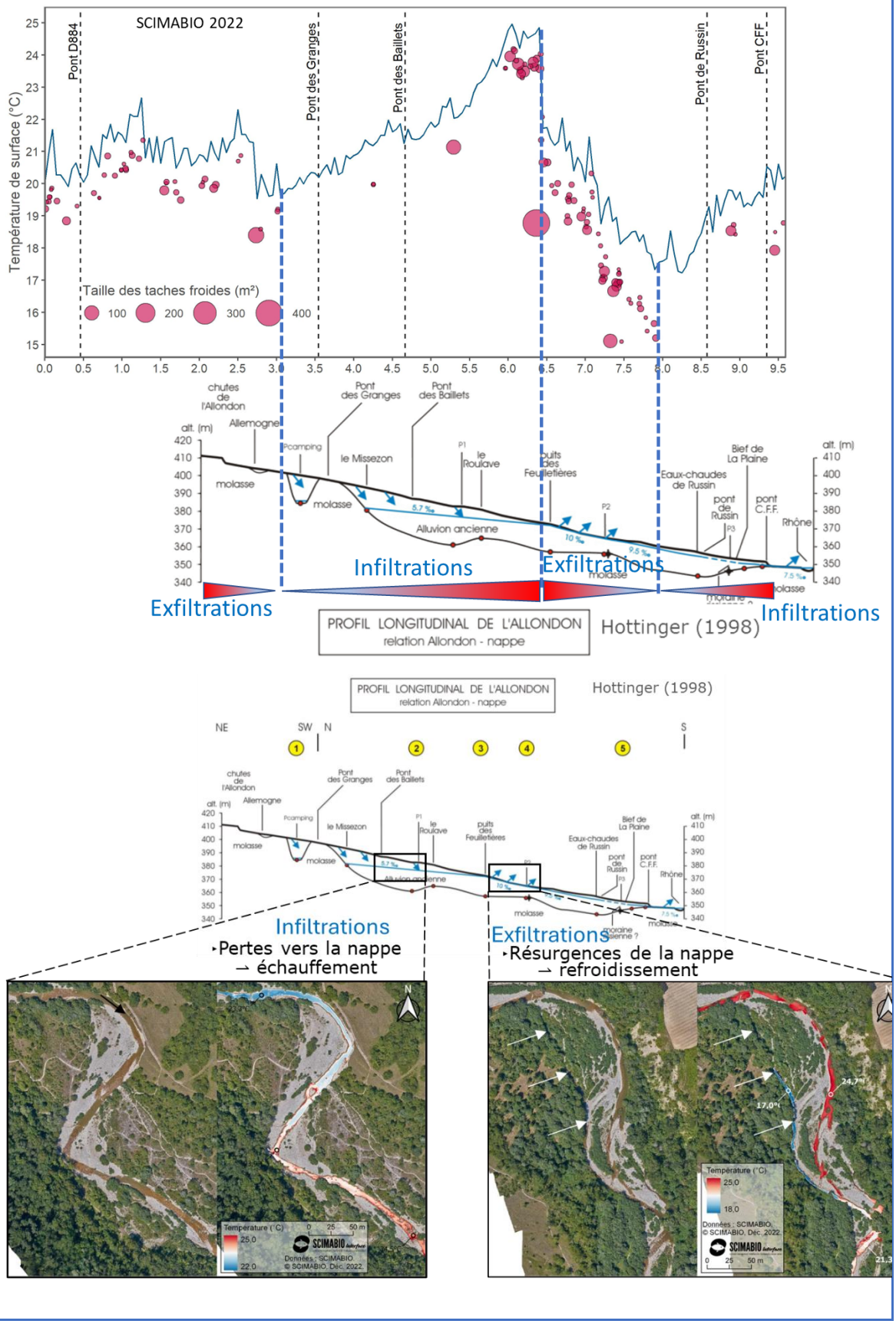
Objectifs et recommandations

La proposition consiste à réaliser une étude hydro-géologique détaillée pour établir le profil longitudinal de la nappe alluviale en période estivale critique sur l'ensemble du linéaire du Chéran. L'objectif est de connaitre pendant la période estivale les différences de profondeur entre la nappe et la rivière et d'identifier précisément les zones d'infiltrations et d'exfiltrations. Ces données seront complémentaires des données de répartition des poches froides obtenues dans la présente étude. Le couplage de ces deux sources de données serait une précieuse aide à la décision pour mieux définir les possibilités en termes d'actions de restauration des échanges nappe/rivière.

Les informations recueillies au niveau de la plaine alluviale de la Compote permettraient aussi de comprendre les raisons de la mise à sec du linéaire sur 1,2 km et d'étudier les possibilités de restauration sur ce secteur.

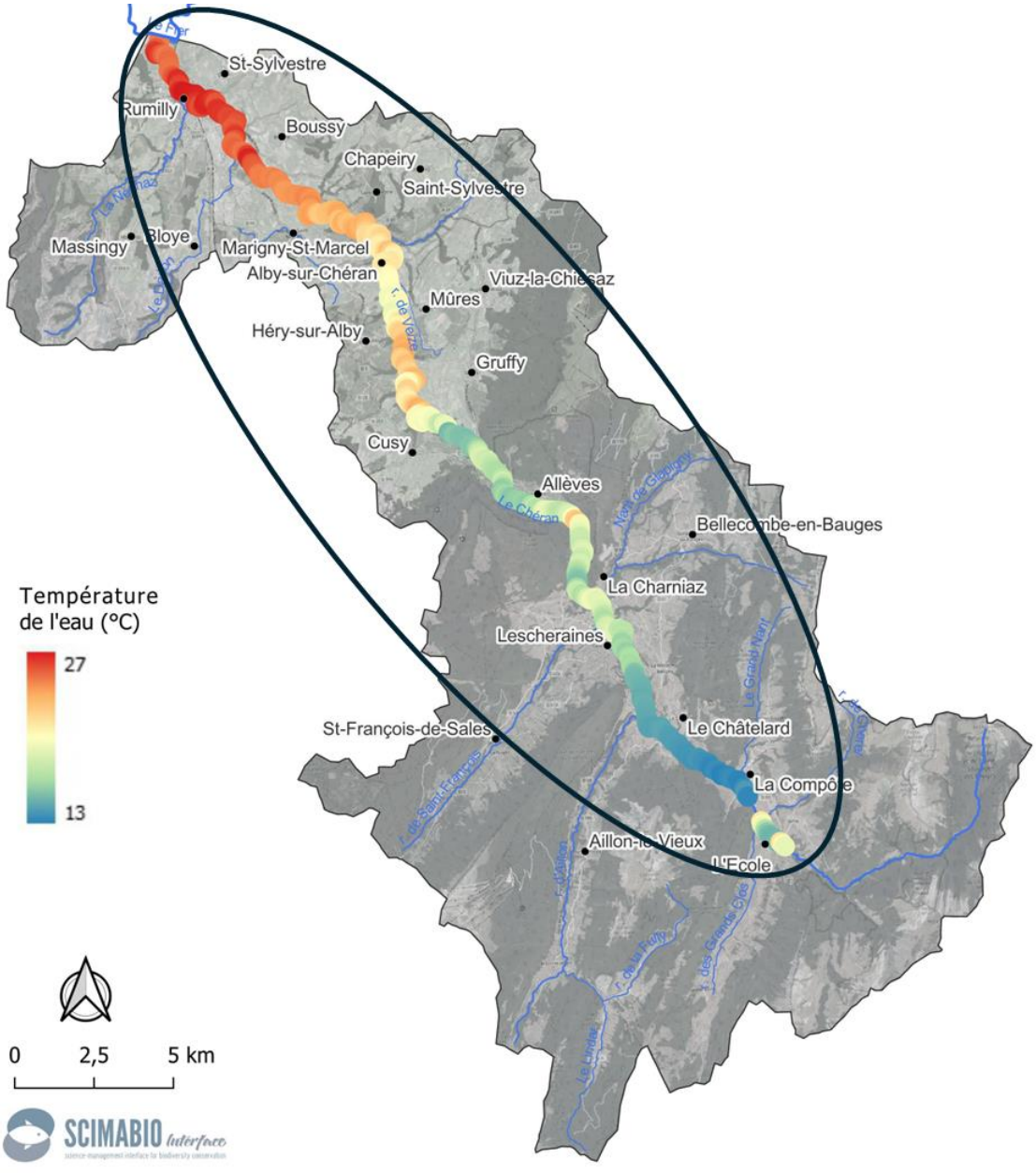
Ensuite, comme recommandé par Smith et al. (2023), un monitoring piézométrique à long terme du niveau et de la température de la nappe alluviale pourra être réalisé à certains points clés.

Exemple d'informations obtenues sur l'Allondon (Suisse) en couplant les résultats obtenus par IRT-a (profil thermique et localisation des poches froides) et le profil longitudinal de la nappe alluviale (Marteau et Richard 2022, Hottinger 1998) :


SCIMABIO 2022
Température de surface (°C)
Pont D884
Pont des Granges
Pont des Baillets
Pont de Russin
Pont CFF
Taille des taches froides (m²)
100
200
300
400
chutes de l'Allondon
Allemogne
Pont des Granges
Pont des Baillets
le Missezon
le Roulave
puits des Feuilletières
Eaux-chaudes de Russin
Bief de La Plaine
pont de Russin
pont C.F.F.
Rhône
molasse
Alluvion ancienne
Infiltrations
Exfiltrations
Exfiltrations
Infiltrations
PROFIL LONGITUDINAL DE L'ALLONDON
relation Allondon - nappe
Hottinger (1998)
NE
SW
N
S
Infiltrations
Pertes vers la nappe
→ échauffement
Exfiltrations
Résurgences de la nappe
→ refroidissement
Température (°C)
25,0
22,0
18,0
Données : SCIMABIO
© SCIMABIO, Déc. 2022.

Type d'action	**Amélioration des connaissances**
Nom de l'action	**Mise en œuvre d'un réseau pérenne de suivi du profil thermique de la rivière et des refuges thermiques (observatoire des conditions thermiques).**

Localisation : l'ensemble du linéaire du Chéran



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Le couplage entre les données issues de la campagne IRT-a, qui a fourni une information spatiale précise et fine, et les données stationnelles issues des enregistreurs thermiques, qui ont fourni une information temporelle au cours de l'été, a permis de décrire au niveau spatio-temporel les habitats thermiques pour les salmonidés.

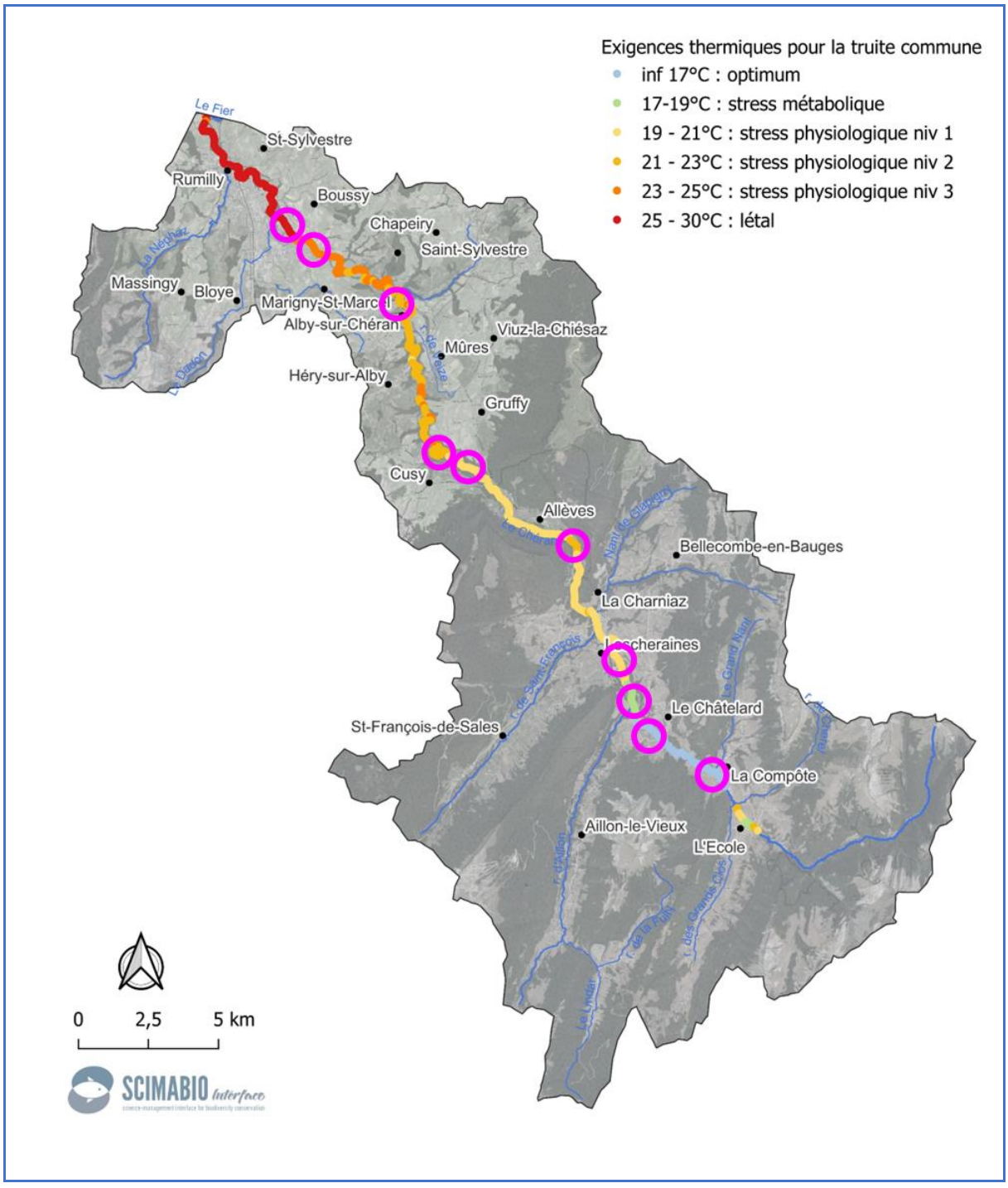
Les résultats ont permis d'identifier sur le linéaire des secteurs à forts enjeux vis-à-vis des exigences thermiques des salmonidé. Il s'agit soit de linéaires présentant des basculements thermiques rendant les conditions défavorables aux salmonidés soit de zones de refroidissement pouvant jouer le rôle de refuges thermiques pendant les quelques heures ou jours les plus chauds de l'été.

Un suivi pérenne des températures estivales sur un réseau représentatif de ces secteurs clés permettrait de vérifier l'évolution sur le long terme des variations ainsi que leurs conséquences sur les conditions vis-à-vis des salmonidés.

Objectifs et recommandations

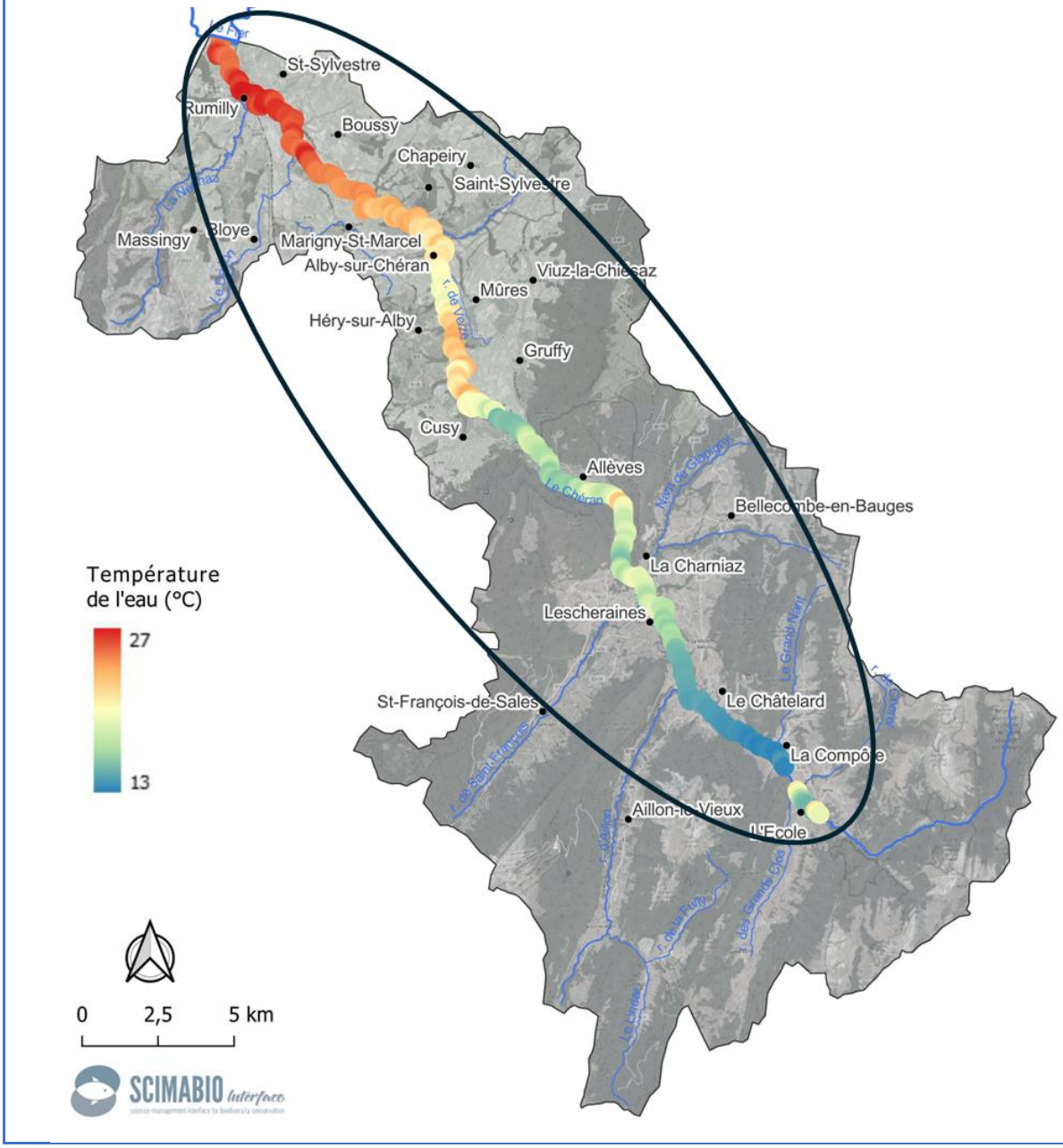
La proposition consiste à mettre un œuvre un réseau pérenne d'enregistreurs thermiques sur plusieurs secteurs clés représentant les principales variations spatio-temporelles observées et les principaux enjeux vis-à-vis des conditions thermiques pour les salmonidés. Dix secteurs ont été pré-identifiés (cf cartes ci-dessous).

Il s'agit d'un observatoire long terme sans limitation de durée qui fournira des indicateurs pertinents dans le cadre du changement climatique en suivant l'évolution des conditions thermiques du Chéran sur les secteurs à forts enjeux écologiques. Ce réseau permettra également de fournir des indicateurs de suivi long terme des incidences des autres actions mises en œuvre sur les conditions thermiques de la rivière (améliorations ou dégradations).


Exigences thermiques pour la truite commune
inf 17°C : optimum
17-19°C : stress métabolique
19 - 21°C : stress physiologique niv 1
21 - 23°C : stress physiologique niv 2
23 - 25°C : stress physiologique niv 3
25 - 30°C : létal
Le Fier
St-Sylvestre
Rumilly
Boussy
Chapeiry
Saint-Sylvestre
Le Nephaz
Massingy
Bloye
Marigny-St-Marcel
Alby-sur-Chéran
Viuz-la-Chiésaz
Mûres
Le Dandon
Héry-sur-Alby
Gruffy
Cusy
Allèves
Bellecombe-en-Bauges
La Charniaz
Le Châtelard
St-François-de-Sales
La Compôte
Aillon-le-Vieux
L'Ecole
0
2,5
5 km
SCIMABIO Interface

Type d'action	Amélioration des connaissances
Nom de l'action	**Définir un débit minimum écologique qui permettent de garantir des habitats thermiques estivaux répondant aux exigences des salmonidés afin de dimensionner les prélèvements sur la ressource en eaux.**

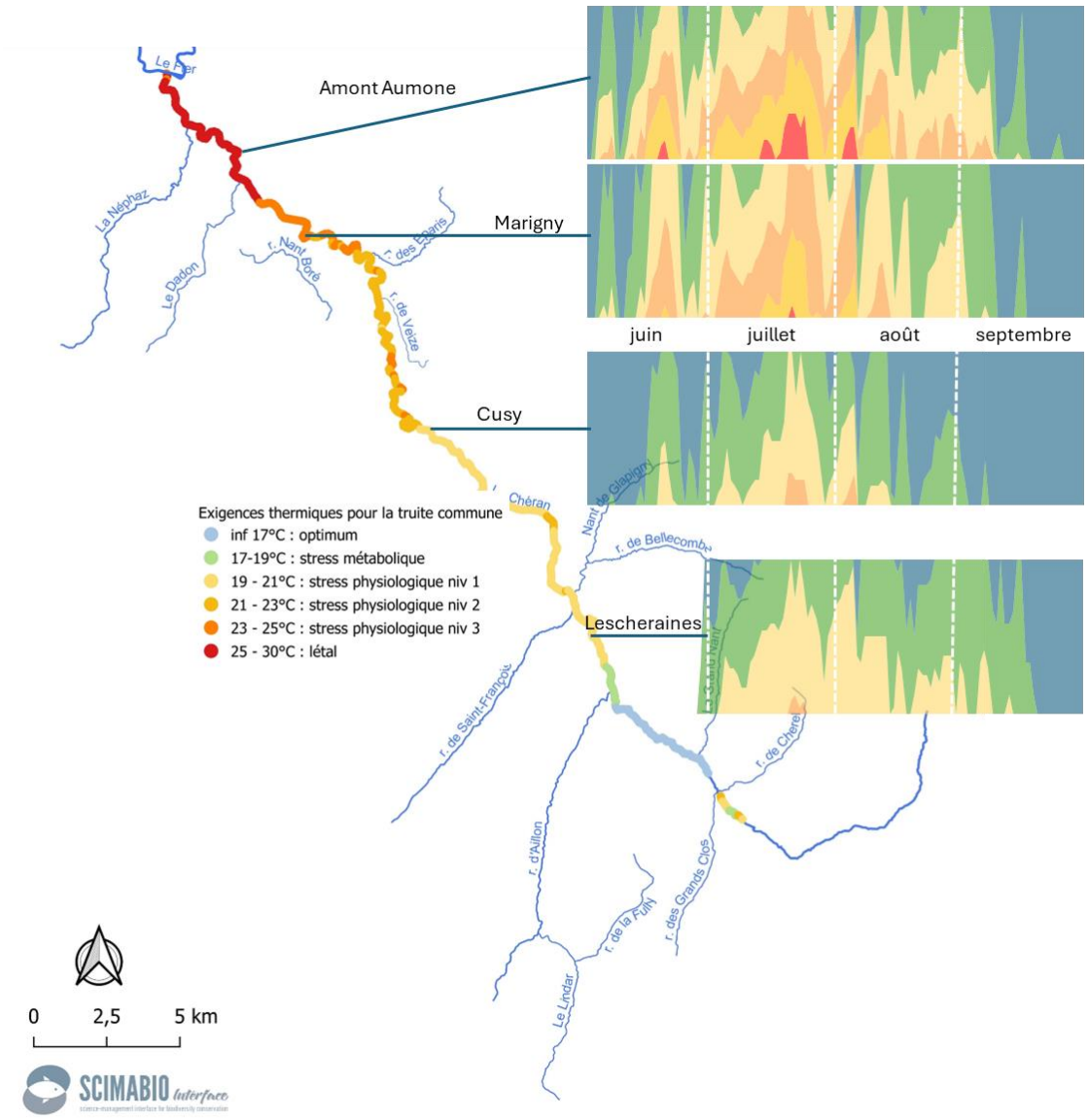
Localisation : l'ensemble du linéaire du Chéran



Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats indiquent que les températures d'eau estivales dépassent les exigences thermiques des salmonidés sur un linéaire important du Chéran. Des conditions de stress métabolique ou physiologique sont observées pendant plusieurs jours consécutifs. Des températures dépassant le seuil létal de 25°C sont également observées pendant plusieurs heures consécutives chaque jour en aval à partir de Rumilly (cf figure ci-dessous). Ainsi lors des périodes les plus chaudes de l'été, les

surfaces d'habitats thermiques compatibles avec le maintien d'une vie salmonicole se réduisent fortement, ce qui affecte la capacité d'accueil de la rivière.



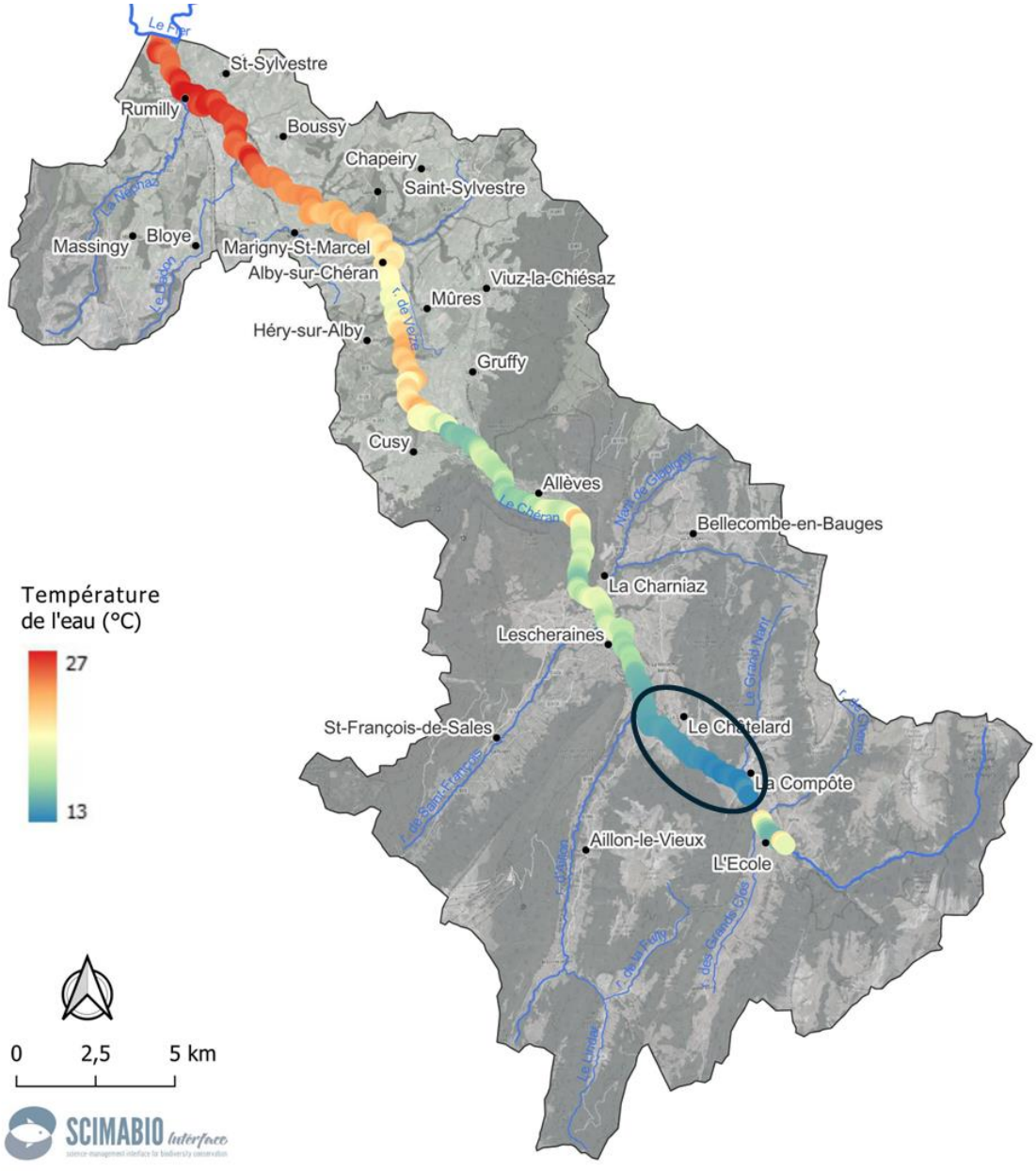
La répartition de ces habitats thermiques estivaux est directement dépendante des débits d'étiage estivaux et de la gestion des prélèvements en eau. Le maintien de débits d'étiage permettant d'assurer des surfaces d'habitats thermiques suffisantes et favorables pour certaines espèces repères rentre dans le cadre du partage de la ressource en eau. Cependant, cette notion de surface en habitats thermiques favorables n'est aujourd'hui pas prise en compte dans la détermination des débits minimums biologiques et dans les études de détermination des volumes prélevables.

Objectifs et recommandations

Il est recommandé d'initier une étude scientifique de définition d'un débit minimum écologique à respecter en période estivale sur le Chéran en couplant des approches d'IRT-a et de modélisation hydraulique et thermique. Ce débit minimum doit ensuite servir de base pour définir les volumes d'eaux prélevables sur les différentes ressources qui alimentent le Chéran.

Type d'action	Protection réglementaire et action de restauration
Nom de l'action	Protéger et améliorer le fonctionnement hydro-morphologique de l'espace alluvial entre Ecole et le Pont Picot (Le Châtelard) pour maintenir et augmenter les échanges nappe/rivière.

Localisation : Le Chéran amont entre Ecole et le Pont Picot (Le Châtelard).

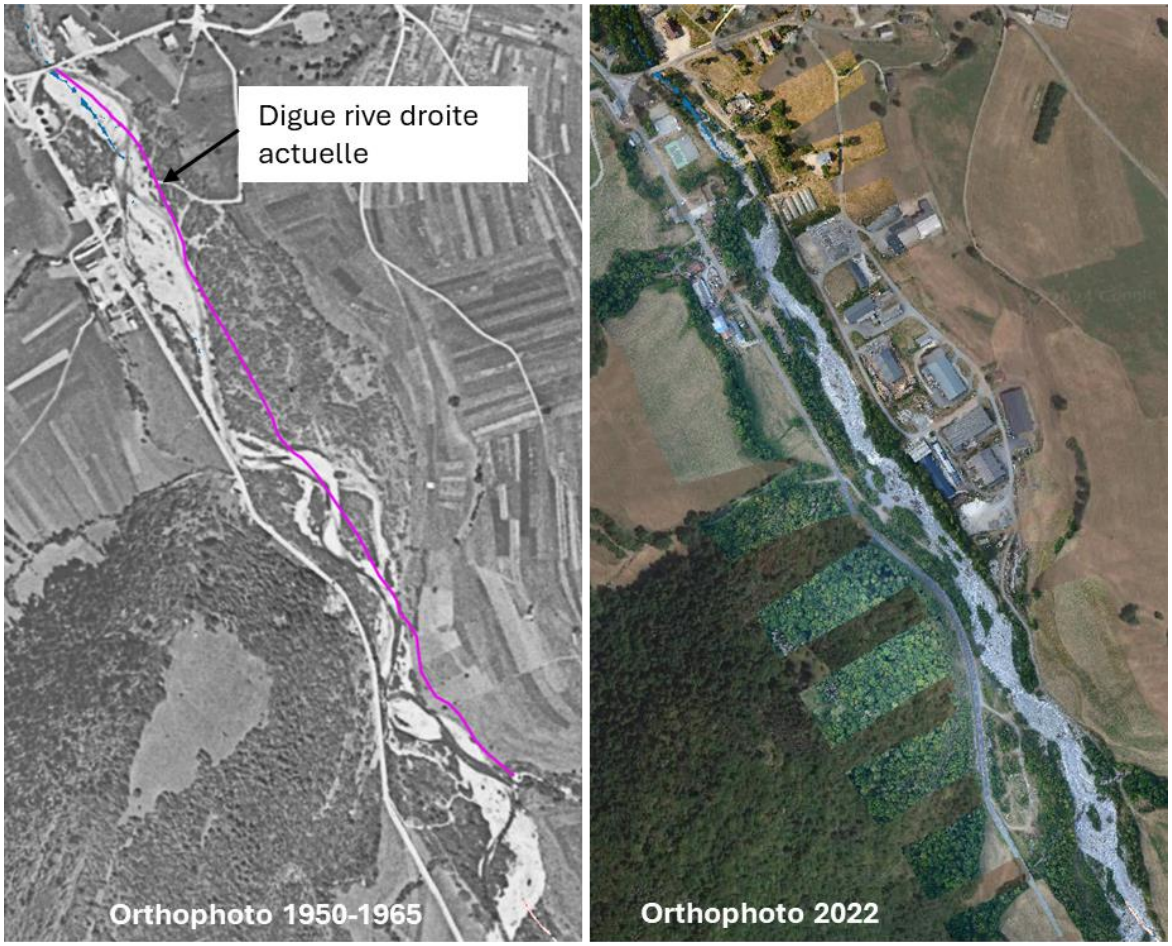


Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats du profil thermique et de la répartition des poches froides permettent de mettre en avant l'espace alluvial amont situé entre Ecole et le pont Picot au Châtelard.

Sur ce linéaire, le lit majeur de la rivière a subit peu d'aménagements liés à l'urbanisation de type rectification, endiguement ou recalibrage. Les abords du lit restent également en majorité peu anthropisés. Ainsi sur la majorité du linéaire, le milieu bénéficie d'un bon fonctionnement des

dynamiques hydromorphologiques qui se traduit par de nombreux échanges nappe/rivière. Le seul secteur qui a subit un rétrécissement du lit et qui a été contraint par des digues se situe au niveau de la zone d'activité des îles (scierie) à la Compote. C'est également ce tronçon qui montre une perte des échanges nappe/rivière provoquant un assec estival (figures ci-dessous).





Réalimentation du Chéran grâce aux résurgences amont du pont de la Compote



Assèchement du Chéran au niveau d'Ecole

Objectifs et recommandations

Les actions proposées sur ce secteur ont pour objectifs **d'une part de conserver le bon fonctionnement hydromorphologique actuel** pour maintenir les échanges nappe/rivière qui sont essentiels pour alimenter en eau le Chéran, et **d'autre part de restaurer les échanges nappe/rivières sur le tronçon à sec** afin de retrouver une alimentation en eau pérenne de la rivière.

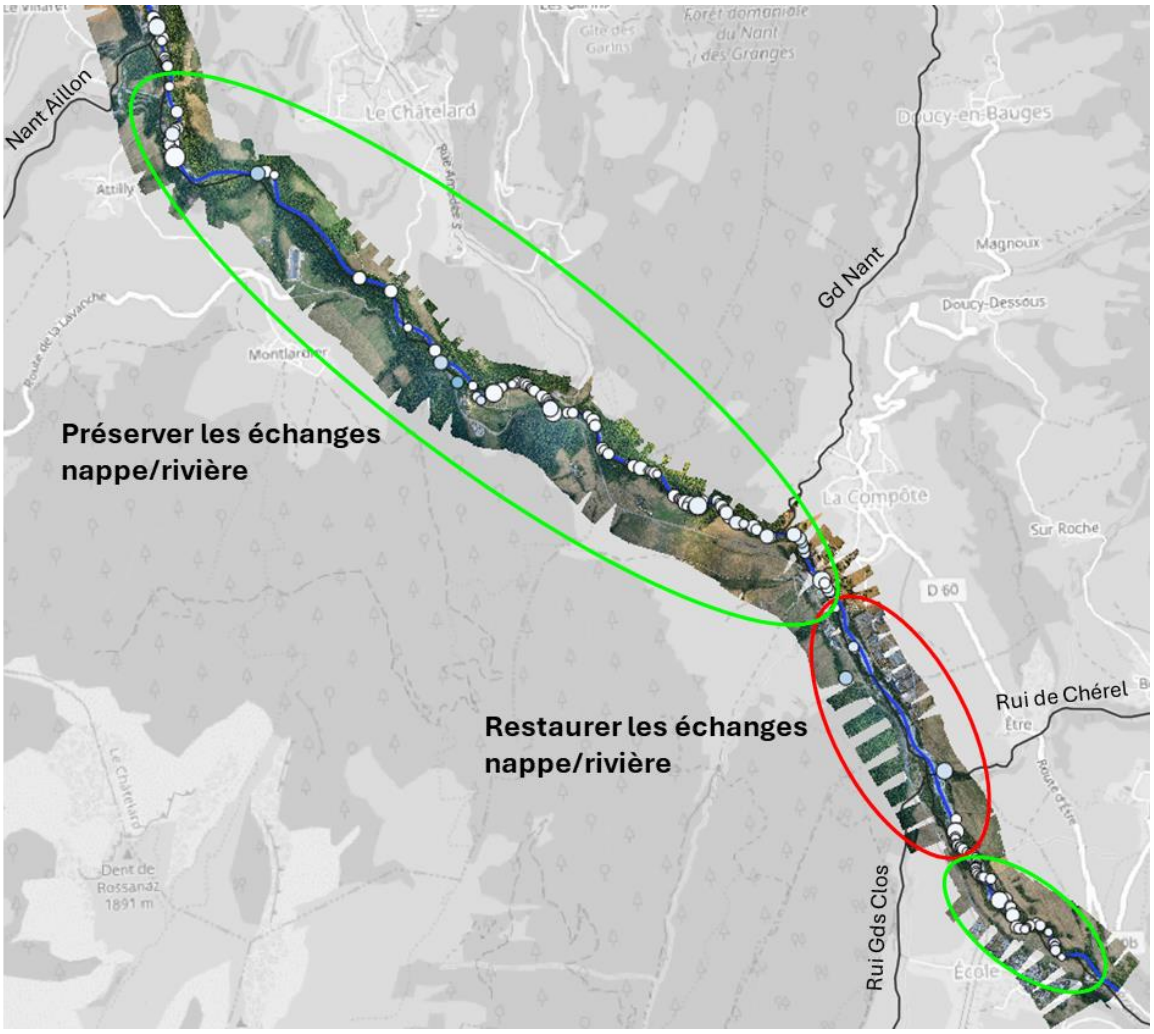
Les mesures de conservation peuvent intervenir à deux niveaux :

D'une part, il s'agit de préserver les ressources en eaux à l'origine de ces apports (sources, affluents, nappe alluviale) de tout prélèvement (agriculture ou AEP) afin de garantir une restitution maximale dans le milieu naturel.

D'autre part, l'ensemble de l'espace alluvial compris entre Ecole et le pont Picot doit faire l'objet d'un classement de protection en tant que structures hydromorphologiques particulières pour éviter tout projet d'aménagement futur. Ainsi, ce linéaire peut faire l'objet d'une protection réglementaire en application de l'article L.432-3 du code de l'environnement.

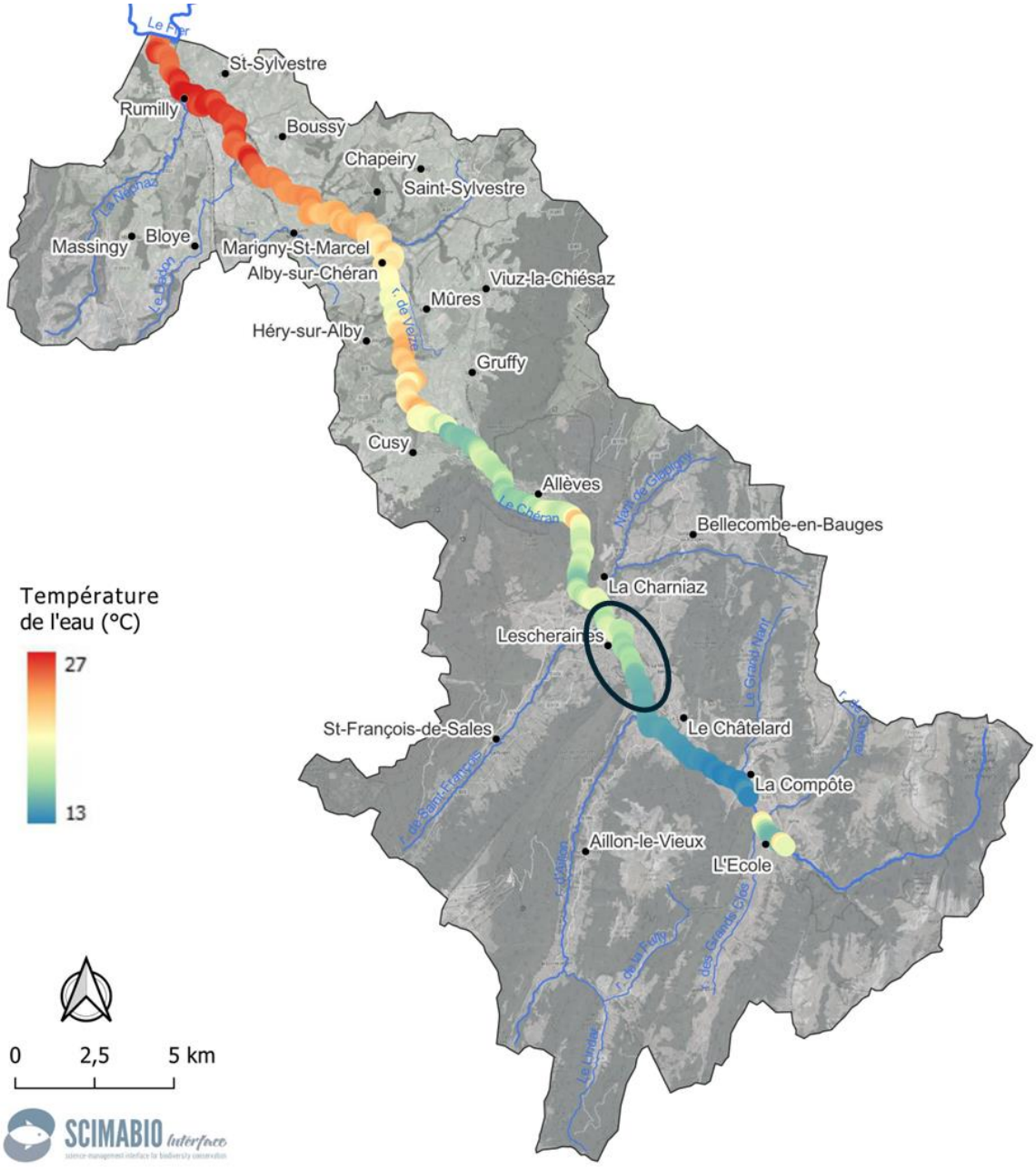
En complément, il est proposé d'étudier la possibilité de retrouver des apports phréatiques sur le tronçon à sec entre Ecole et la Compote. Dans un premier temps, il s'agit de définir précisément les caractéristiques de la nappe alluviale sur ce secteur (écoulement, profondeur, débit, température) et de faire un bilan précis des prélèvements actuels sur les ressources en eaux locales, y compris sur les trois affluents (Ruisseaux de Chérel et des Grands Clos et le Grand Nant) qui jouent

un rôle dans l'alimentation du Chéran. Ensuite, les possibilités de retrouver des échanges nappe/rivière par le biais de travaux de restauration pourront être étudiées.



Type d'action	Travaux de restauration
Nom de l'action	**Restaurer l'espace alluvial « des îles du Chéran » entre la confluence du Nant d'Aillon et l'ancienne confluence du ruisseau des Cornes afin de rétablir les échanges nappe/rivière.**

Localisation : Le Chéran amont au niveau des plans d'eau du Châtelard et de Lescheraines.



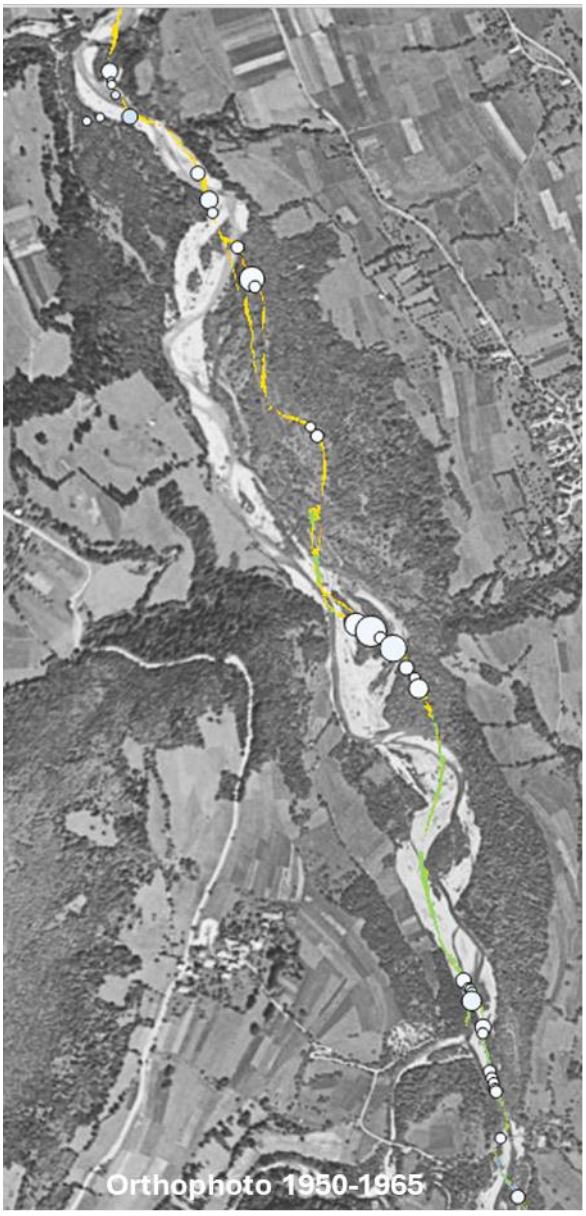
Rappel du diagnostic/lacune à combler

Les résultats IRT-a et des enregistreurs thermiques montrent l'existence d'un double basculement thermique sur le linéaire fortement aménagé au niveau des plans d'eau du Châtelard et de Lescheraines. Sur environ 1,5 km, les températures passent rapidement de conditions optimales pour les salmonidés (<17°C) à des conditions de stress physiologique au dessus de 20°C.

Cet échauffement est provoqué par un déficit d'échanges nappe/rivière, comme le montre le manque de poches froides, en lien avec les aménagements passés (extraction de granulats, recalibrage, endiguement, création de plans d'eau) (voir figure ci-dessous). Les seules poches froides recensées proviennent majoritairement de suintements le long de la digue au niveau de chaque plan d'eau.

Il semble que le fonctionnement hydromorphologique de la rivière est altéré par la réduction de l'espace alluvial et la présence des plans d'eau. Ces derniers, situés à une altitude plus basse que le lit de la rivière, captent les arrivées d'eau en rive gauche et drainent la nappe alluviale, autant de ressources en eaux qui devraient normalement bénéficier au Chéran.

Par son potentiel, ce site représente le principal enjeu de restauration hydro-morphologique sur le Chéran.





Objectifs et recommandations

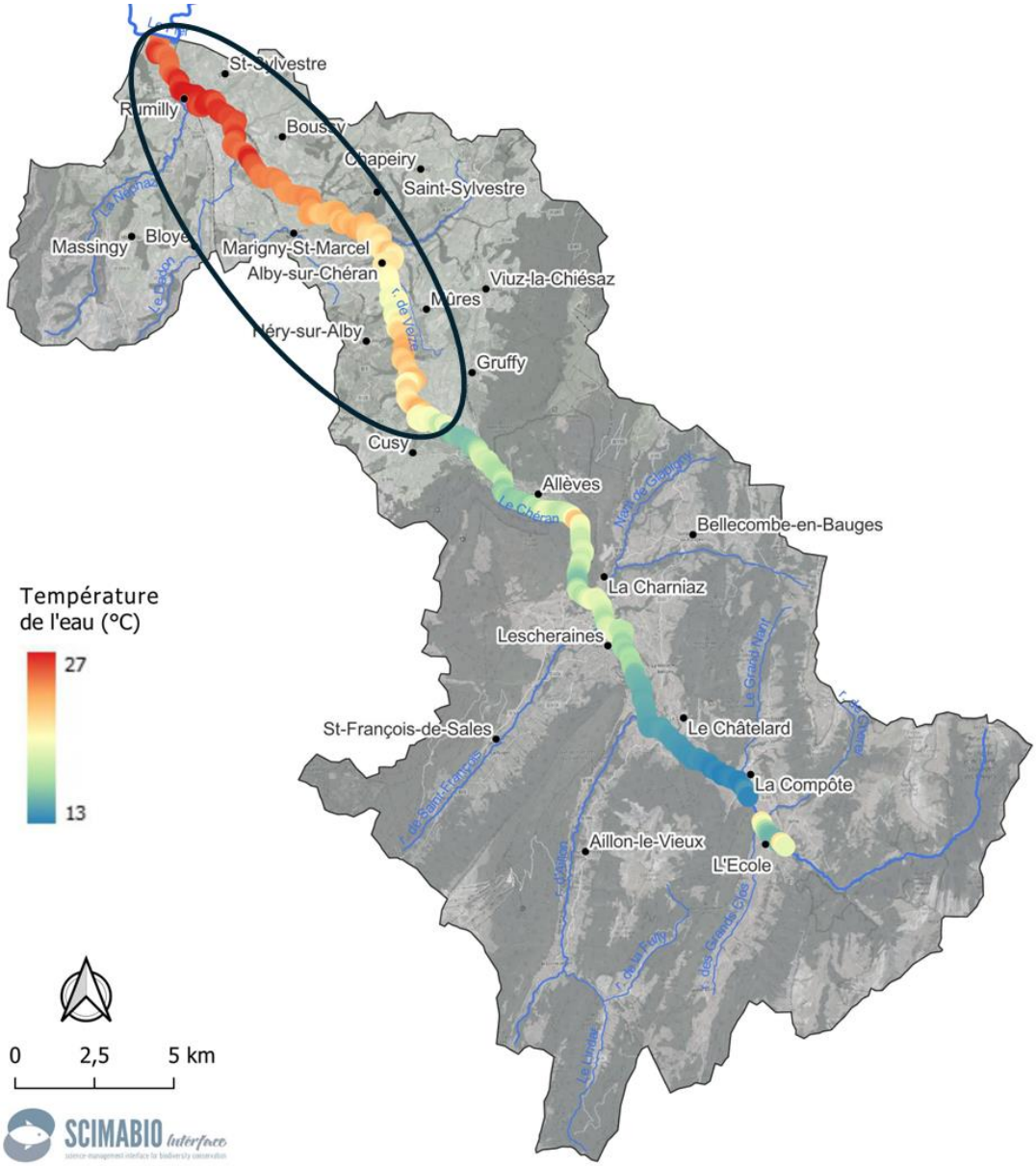
Au vu de la situation critique observée sur ce linéaire du Chéran, un projet de restauration ambitieux apparait nécessaire pour réussir à limiter l'augmentation des températures d'eau estivales et améliorer les conditions thermiques pour les salmonidés.

L'idée est de réparer les dégradations importantes qu'à subi le Chéran sur ce secteur depuis les années 1970 avec une vision long terme (à 100 ans) afin de retrouver un fonctionnement hydromorphologique naturel et recréer les échanges nappe/rivière perdus. Cette restauration permettrait de limiter les effets du réchauffement climatique sur la température d'eau de la rivière.

Seul un projet ambitieux de restauration hydromorphologique destiné à remettre en contact le lit de la rivière avec la nappe alluviale peut permettre de favoriser les processus qui sont à l'origine des échanges nappe/rivière.

Type d'action	**Travaux de restauration**
Nom de l'action	**Renforcer le rôle des refuges thermiques actuels et créer des refuges thermiques temporaires sur les secteurs les plus critiques par apports d'eau froide artificiels.**

Localisation : moitié aval du Chéran de Cusy à Rumilly.



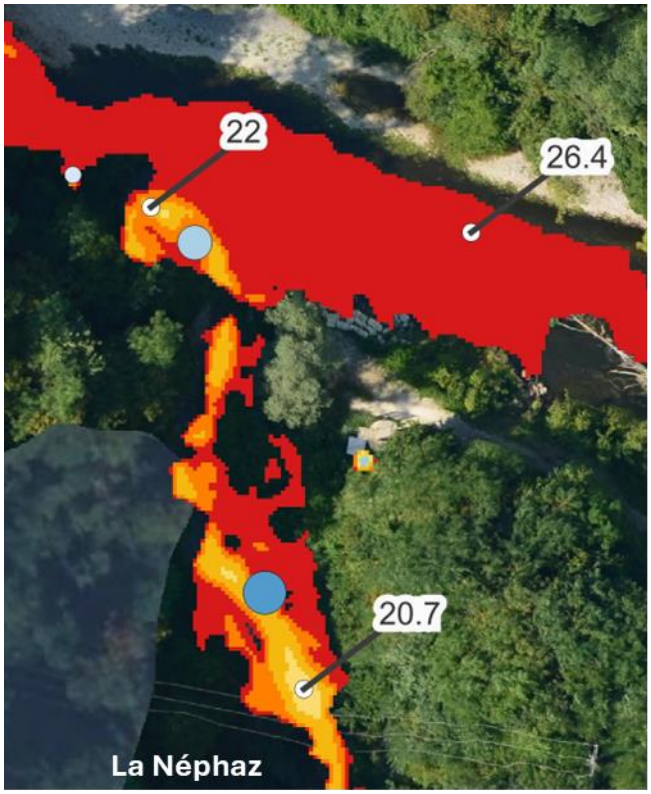
Rappel du diagnostic/lacune à combler

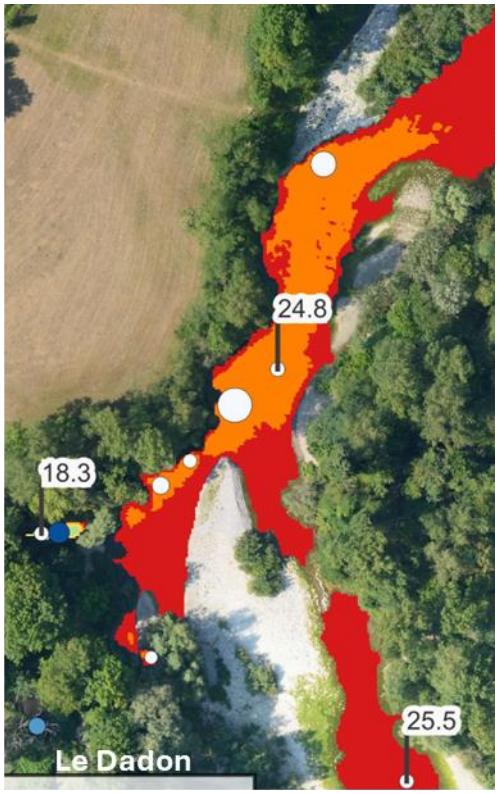
Sur la moitié aval du Chéran, les résultats mettent en évidence des températures estivales élevées. Ainsi le profil thermique montre des températures médianes qui augmentent progressivement de 21°C à 27°C. Sur ce linéaire, les apports d'eau froide qui permettent de refroidir la température médiane de la rivière sont peu nombreux. On distingue principalement deux zones d'apports hyporhéiques au niveau du méandre de Cusy et dans les gorges au niveau d'Héry/Alby.

Les conditions thermiques estivales sont donc difficiles pour les salmonidés sur la majorité de ce linéaire. Ellent restent relativement acceptables jusqu'à Alby-sur-Chéran, car les valeurs induisant des niveaux de stress importants ne durent que quelques heures par jour ce qui permet aux individus de bénéficier de conditions plus clémentes le reste de la journée lorsque les températures redescendent. Plus en aval, les températures peuvent rester à des niveaux de stress élevés pendant plusieurs jours consécutifs. Notamment, on note un point de basculement thermique au niveau des Pérouses à Rumilly, à partir duquel les valeurs de températures restent dans des gammes défavorables 24h par jour et pendant plusieurs jours consécutifs avec des valeusr dépassant le seuil létal de 25°C.

En outre, les possibilités de refuges thermiques sur le linéaire le plus impacté sont minimes, on recense quelques zones avec des apports hyporhéiques ponctuels ainsi que les confluences du Dadon et de la Néphaz.

Le Dadon et la Néphaz présentent des conditions thermiques plus favorables que le Chéran en période estivale critique bien que restant dans des gammes de températures élevées. De même, au niveau de leur confluence, il forme un panache d'eau légèrement plus froid que le Chéran qui représente une petite zone de refuge thermique et joue sur leur attractivité.

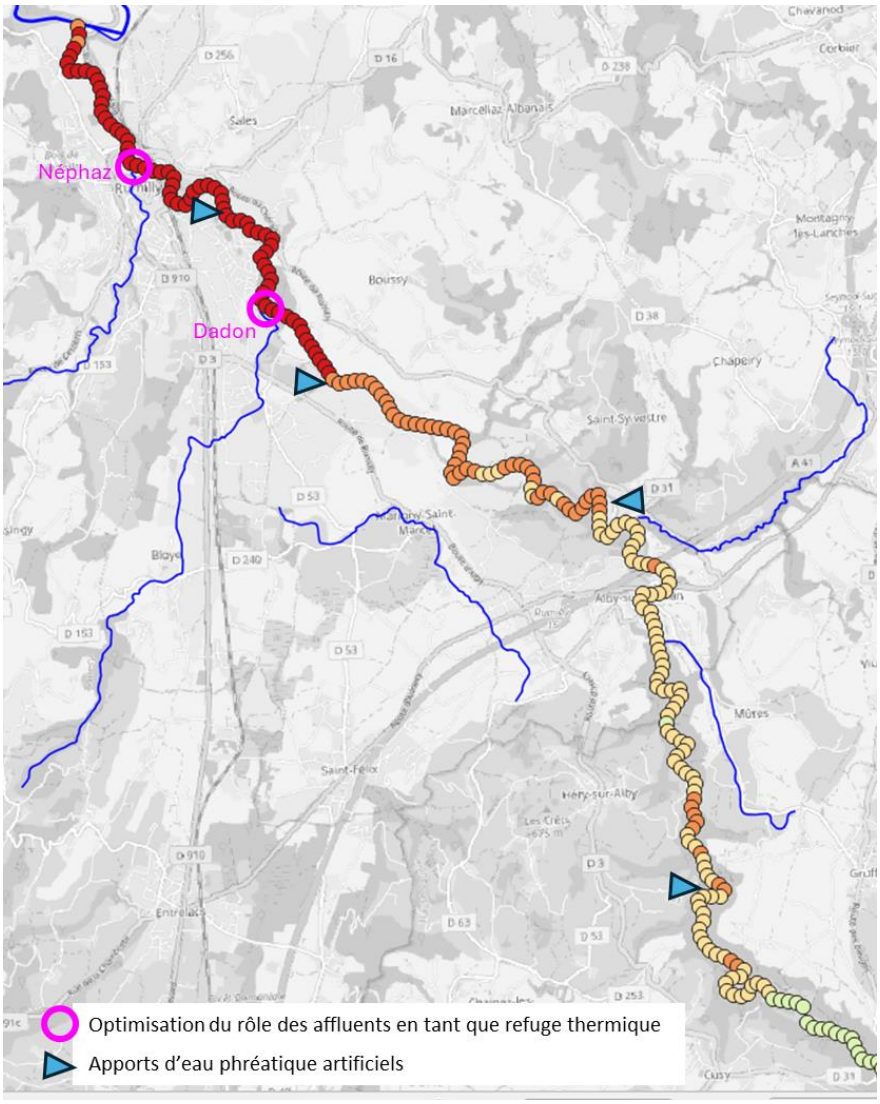




Objectifs et recommandations

Au vu de la situation, deux types d'actions peuvent être proposés :

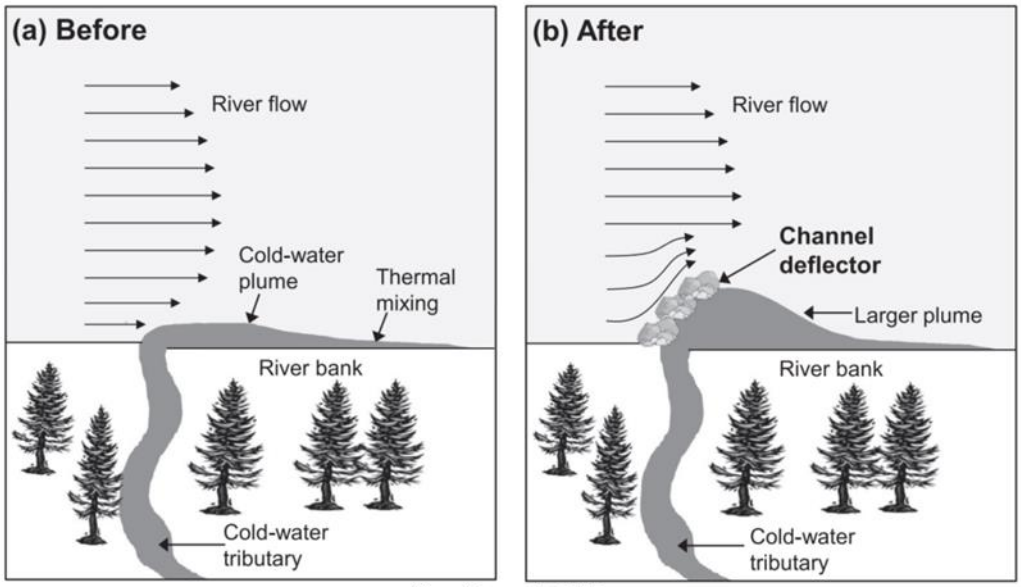
- Préserver et augmenter le rôle du Dadon et de la Néphaz, les deux affluents qui constituent les plus importants refuges thermiques sur le bas Chéran ;
- Créer localement des refuges thermiques par apport d'eau phréatique artificiel pour améliorer temporairement les conditions de vie pour les salmonidés.



Au niveau du Dadon et de la Néphaz, il convient :

- d'éviter tout prélèvement d'eau supplémentaire sur leur bassin versant et de restituer des ressources en eau actuellement exploitées pour maximiser leur apport en étiage ;
- de garder un boisement de berge important pour éviter les radiations solaires ;
- de s'assurer de leur accessibilité pour les poissons en débit d'étiage.

Enfin, si des interventions dans le lit sont possibles au niveau de leur confluence, la surface du panache d'eau plus froide dans la rivière peut être augmentée par le biais de déflecteurs qui vont retarder le mélange entre le panache et la rivière. Ce principe proposé par Kurylyk et al. (2015) est présenté dans la figure suivante. Bien qu'il n'existe que peu d'exemples en France de mise en place de ce type de structure, leur mise en œuvre peut être relativement simple (suivant les contextes et les accès) pour des gains potentiellement importants.



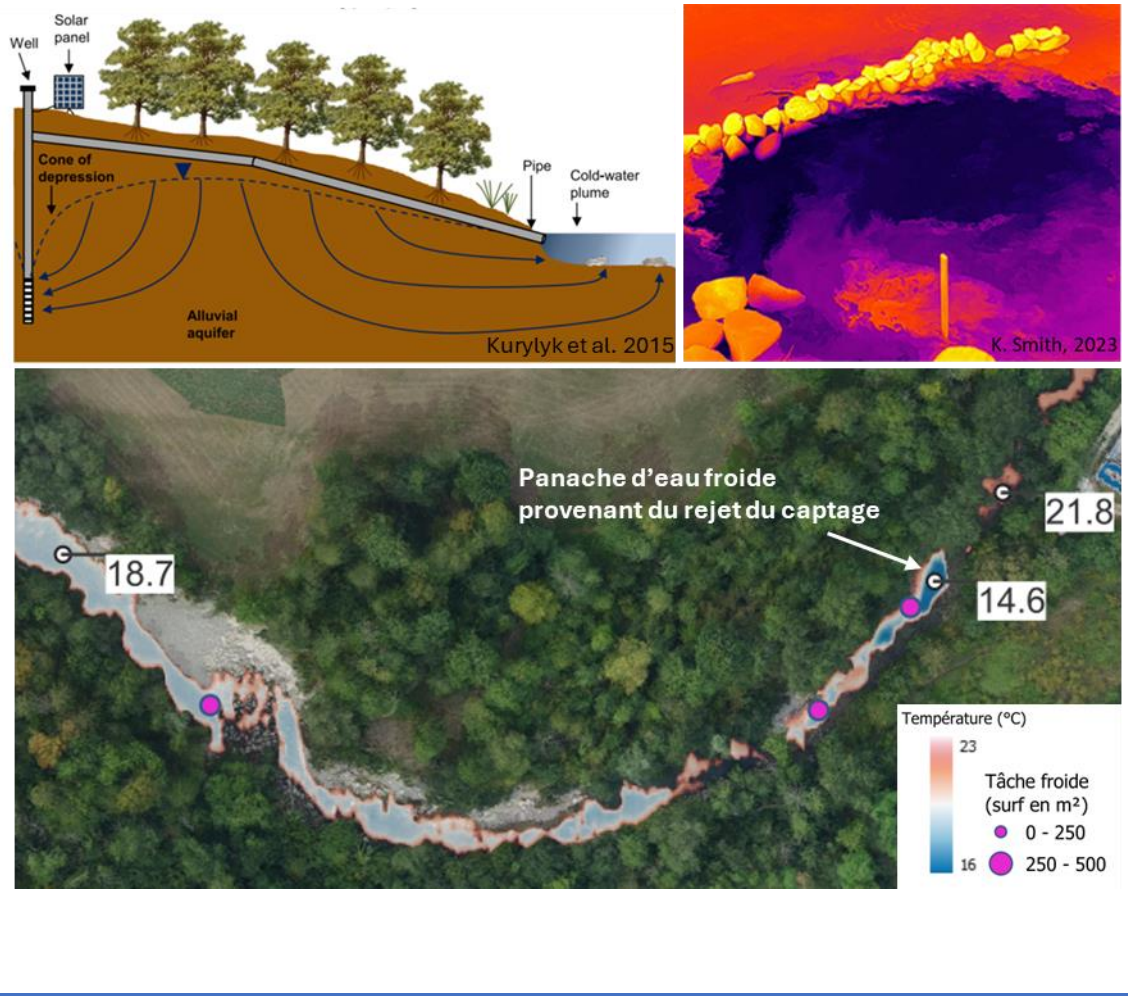
Kurylyk et al. 2015

Création par apports artificiels de plusieurs refuges temporaires :

Sur les linéaires où les apports d'eau de nappe sont réduits et où les possibilités de restauration sont réduites à court ou moyen terme, la création d'apports d'eau froide temporaires sur des secteurs bien ciblés peut-être une solution de compensation. Il s'agit **de créer artificiellement un apport d'eau froide en pompant de l'eau dans l'aquifère phréatique, comme c'est actuellement le cas pour divers usages (AEP, agriculture, pisciculture), et en la restituant en surface directement à la rivière.** Un tel apport d'eau à une température froide autour de 12-14°C a un effet immédiat qui se prolonge sur un linéaire important. Il s'agit d'un outil palliatif temporaire dont la fréquence et le débit du pompage sont uniquement limités aux périodes estivales les plus critiques. Pour optimiser l'effet de ces apports, le choix des secteurs les plus appropriés nécessite des informations préalables afin de bien intégrer les relations nappe/rivière déjà existantes, les caractéristiques de l'aquifère phréatique (profondeur, débit, température) et de privilégier des linéaires sur lesquelles les bénéfices thermiques seront les plus importants.

Il est proposé 4 secteurs sur la moitié aval du Chéran où la création d'un refuge thermique temporaire apparaitrait bénéfique pour compenser un basculement thermique ou des conditions thermiques difficiles.

La figure ci-dessous présente le principe de création d'un apport d'eau froide en rivière par pompage proposé par Kurylyk et al (2015), l'image thermique d'une expérience pilote de mise en place de ce principe dans une rivière Canadienne (Smith, 2023) et l'exemple du panache du rejet du captage de la pisciculture à St-Christophe sur le Guiers Vif qui constitue un apport d'eau froide artificiel basé sur ce même principe.


Well
Solar panel
Cone of depression
Pipe
Cold-water plume
Alluvial aquifer
Kurylyk et al. 2015
K. Smith, 2023
Panache d'eau froide provenant du rejet du captage
18.7
21.8
14.6
Température (°C)
23
16
Tâche froide (surf en m²)
0 - 250
250 - 500

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Caudron A., Marteau B., Dugdale S. 2024. Connaitre et restaurer les rôles de diffusion des poches de biodiversité au sein de la trame turquoise sur l'ensemble du bassin de la Bienne – Rapport final 4 Volet Cartographie thermique de la Bienne par IRT-a et conditions d'habitats thermiques pour les salmonidés. PNR Haut Jura, 75 pages.

Crisp D.T., 1996. Environmental requirements of common riverine European salmonid fish species in freshwater with particular reference to physical and chemical aspects. *Hydrobiologia* 323, 201-221.

Dugdale, S.J., Kelleher, C.A., Malcolm, I.A., Caldwell, S. and Hannah, D.M., 2019. Assessing the potential of drone-based thermal infrared imagery for quantifying river temperature heterogeneity. *Hydrological Processes*, *33*(7), pp.1152-1163.

Elliott J.M., Hurley M.A, 2001. Modelling growth of brown trout, Salmo trutta, in terms of weight and energy units. *Freshwater Biology* 46, 679-692.

Hottinger M. 1998. Etude hydrogéologique de la nappe alluviale de l'Allondon genevoise. : 184.

Hyatt, T., 2023. A lidar-based assessment of riparian shade and large wood potential in the Skagit River watershed, WA. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, *59*(4), pp.743-761

Isaak, D.J. and Young, M.K., 2023. Cold-water habitats, climate refugia, and their utility for conserving salmonid fishes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *80*(7), pp.1187-1206.

Jackson, F. L., Hannah, D. M., Ouellet, V., & Malcolm, I. A. 2021. A deterministic river temperature model to prioritize management of riparian woodlands to reduce summer maximum river temperatures. *Hydrological Processes*, *35*(8), e14314.

Kurylyk BL, Macquarrie KTB, Linnansaari T, Cunjak RA, Curry RA. 2015. Preserving, augmenting, and creating cold-water thermal refugia in rivers: Concepts derived from research on the Miramichi River, New Brunswick (Canada). Ecohydrology 8 : 1095–1108. DOI: 10.1002/eco.1566

Küttel S, Peter A, Wüest A. 2002. Temperaturpräferenzen und -limiten von Fischarten Schweizerischer Fliessgewässer. Rhône Revitalisierung : 1–34.

Marteau B., Piégay H., Chandesris A. & Cernesson F., 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). Rapport de projet Zone-Atelier Bassin du Rhône, Action 62, 66p.

Marteau B, Michel K, Piégay H. 2022. Can gravel augmentation restore thermal functions in gravel-bed rivers? A need to assess success within a trajectory-based before–after control–impact framework. Hydrological Processes 36 : 1–21. DOI: 10.1002/hyp.14480

Marteau, B., & Richard, A. (2022). Cartographie et caractérisation des habitats thermiques de l'Allondon (Suisse) : Synthèse des résultats et rapport final, 46p.

Rusnák, M., Goga, T., Michaleje, L., Šulc Michalková, M., Máčka, Z., Bertalan, L., & Kidová, A. 2022. Remote sensing of riparian ecosystems. *Remote Sensing*, *14*(11), 2645

Seavy NE, Gardali T, Golet GH, Griggs FT, Howell CA, Kelsey R, Small SL, Viers JH, Weigand JF. 2009. Why climate change makes riparian restoration more important than ever: Recommendations for practice and research. Ecological Restoration 27 : 330–338. DOI: 10.3368/er.27.3.330

SIAGA, Otéis, Contrechamp. 2022. Dossier du contrat de basin Guiers-Aiguebelette-Bièvre et Truison / Rheu 2022 – 2024. 380p.

Smith, K. A., O'Sullivan, A. M., Kennedy, G., Benz, S. A., Somers, L. D., & Kurylyk, B. L. 2023. Shallow groundwater temperature patterns revealed through a regional monitoring well network. *Hydrological Processes*, *37*(9), e14975.

Sullivan CJ, Vokoun JC, Helton AM, Briggs MA, Kurylyk BL. 2021. An ecohydrological typology for thermal refuges in streams and rivers. Ecohydrology 14 : 1–15. DOI: 10.1002/eco.2295

Vollmer M, Möllmann K-P. 2018. Infrared Thermal Imaging - Fundamentals, Research and Applications . 2nd Edition. Vollmer M and Möllmann K-P (eds). Wiley-VCH, Weinheim, Germany : 769p.

Withrow-Robinson B, Bennett M, Ahrens G. 2011. A Guide to Riparian Tree and Shrub Planting in the Willamette Valley: Steps to Success. Oregon State University, Corvallis, USA : 28p.