Réaliser le diagnostic thermique d'un cours d'eau par mesure physique

---

RECUEIL DES PRESENTATIONS

Réseaux coordinateurs

Partenaires

Sommaire

Partage des enjeux et découverte des outils - matinée

Réaliser le diagnostic thermique d'un cours d'eau par mesure physique - introduction
Anne Clémens, *GRAIE-ZABR* ---------- 2

Les enjeux environnementaux de la thermie des cours d'eau
Baptiste Marteau, *UMR 5600 EVS*, Florentina Moatar et Jérémy Piffady, *INRAE* ---------- 4

La panoplie d'outils pour le suivi thermique des cours d'eau

Les sondes de température
Jérémy Piffady*, INRAE* ---------- 8

Traitement des données de température des rivières
Florentina Moatar, *INRAE*----------12

L'outil IRT pour la cartographie des températures de surface
Baptiste Marteau, *UMR 5600 EVS*---------- 18

Retours d'expériences de gestionnaires de milieu

La température, un paramètre pour la gestion des poissons !
Jean-Pierre Faure, *Fédération de pêche et de protection du milieu aquatique du Rhône*---------- 25

Ain et affluents : diagnostic thermique
Willy Bertin, *SR3A*----------30

Conclusions de la matinée

Complémentarité des approches et des outils
Baptiste Marteau, *UMR 5600 EVS*, Florentina Moatar et Jérémy Piffady, *INRAE* ---------- 35

Cas concrets et manipulation des données de thermie

Les sondes de température : comment mettre en place son échantillonnage ?

Jérémy Piffady, *INRAE* ---------- 38

Traitement des données de température

Florentina Moatar, INRAE ---------- Support **non transmis** - *confidentiel*

Imagerie Thermique Aéroportée

Baptise Marteau, UMR 5600 EVS ---------- 43

Avant-Propos

Contexte :

La température des rivières est un paramètre critique pour de nombreuses espèces d'aquatiques. Or, si celle-ci varie naturellement dans le temps et dans l'espace, elle est également fortement perturbée par l'Homme, via l'installation d'obstacles à l'écoulement, les prélèvements ou les rejets, la déforestation et le réchauffement climatique. La thermie des cours d'eau est donc un paramètre important à prendre en compte pour comprendre le fonctionnement physique des milieux, les risques d'altération et suivre les actions de remédiation envisagées à l'échelle des territoires.

Déterminer correctement la température de l'eau d'une rivière et son évolution nécessite d'utiliser des outils et des méthodologies adaptées. Au cours des dernières années, les chercheurs de la ZABR ont réalisé des mesures et des analyses de données thermiques sur de nombreux cours d'eau du bassin du Rhône en mobilisant des techniques complémentaires : sondes de température, imagerie infrarouge thermique aéroportée, fibre optique et modélisation.

Dans le cadre des Rencontres inter-réseau, le Graie et la ZABR organisent des Pêches aux Outils Scientifiques, afin de faciliter le transfert de ces outils au monde opérationnel de gestion de cours d'eau, en appui sur les réseaux professionnels de l'ARRA2, RRGMA, RéSO et FCEN.

Pour cette quatrième édition, nous vous proposons de découvrir les outils permettant de réaliser un diagnostic thermique des cours d'eau par mesure physique, leurs enjeux, leurs performances, leurs atouts et leurs limites pour comprendre le fonctionnement des milieux. Les équipes de chercheurs qui travaillent avec ces méthodes seront présents.

Objectifs :

Cette rencontre a quatre ambitions principales :

- Partager les enjeux socio-environnementaux associés aux acquisitions thermiques ;
- Identifier les avantages et inconvénients de différentes méthodes de mesure de la température (imagerie infra-rouge thermique aéroportée (IRT-a), sondes de température, fibre optique, modélisation…) avec un retour des scientifiques ou des gestionnaires ;
- Apprécier les outils à préconiser en fonction des objectifs recherchés et des caractéristiques hydro-géomorphologiques des rivières concernées et interpréter les résultats qu'ils apportent ;
- Appuyer la formalisation d'un guide méthodologique opérationnel (à paraitre en 2021) par le retour de ses utilisateurs potentiels.

SUPPORTS D’INTERVENTIONS

Partage des enjeux et découverte des outils

Réaliser le diagnostic thermique d'un cours d'eau par mesure physique : introduction

Anne Clémens, GRAIE

Réaliser le diagnostic thermique d'un cours d'eau par mesure physique

Réseaux coordinateurs

Partenaires

Les pêches aux outils scientifiques

Initiateurs :

Zone Atelier — Réseau scientifique qui apportent des outils et méthodologies pour la gestion des cours d'eau

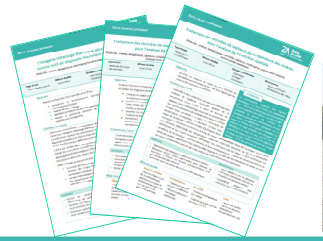
graie — Association qui vise à développer une culture partagée, fondée sur la connaissance et l'échange d'expérience, afin d'améliorer les pratiques en matière de gestion de l'eau.

- **En collaboration :** avec les associations régionales animateurs de réseaux professionnels de l'eau

Les pêches aux outils scientifiques

Objectifs: Tester, partager, s'approprier des méthodologies, des outils, des connaissances scientifiques ou pratiques

- **Encourager** les échanges et organiser le transfert et **l'appropriation** des connaissances produites
- Avoir connaissance des **réalités de terrain** et une **proximité avec les acteurs**
- **Partager les recherches** engagées sur le bassin et ses territoires



Le programme

Première partie – Partage des enjeux et découverte des outils (9h30-12h15)

- **Les enjeux environnementaux** de la thermie des cours d'eau
- **La panoplie d'outils** : sondes de température – Traitement des données, Imagerie Thermique Aéroportée (IRT-a)
- **Retour d'expériences** d'acteurs du territoire
- **Arbre de décision**

Deuxième partie – Les outils en ateliers en parallèle (13h15-16h30)

Atelier de 45 minutes chacun – en image et en fichier – Travaux pratiques

- Les sondes de température
- Traitement des données
- L'Imagerie Thermique Aéroportée (IRT-a)

Les enjeux environnementaux de la thermie des cours d'eau

Baptiste Marteau, UMR 5600 EVS, Florentina Moatar et Jérémy Piffady, INRAE

Les enjeux environnementaux de la thermie des cours d'eau

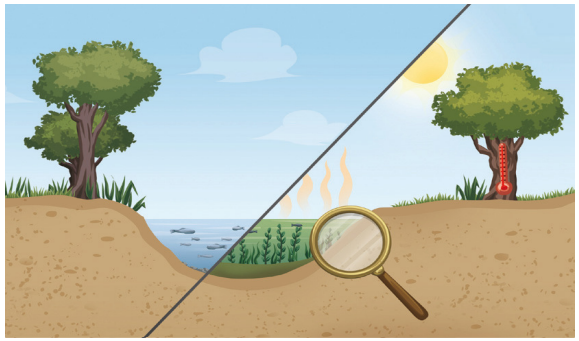
B. Marteau, F. Moatar, J. Piffady

EVS-UMR5600 et INRAE RiverLy

Réseaux coordinateurs

Partenaires

Effets de la température

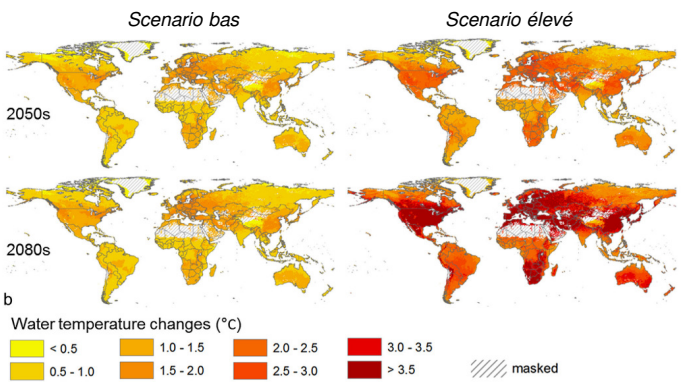


- Qualité de l'eau (physico-chimie, métabolisme, O_2, …)
- Habitabilité (stress, seuils de tolérance, disponibilité des zones refuges, …)
- Services écosystémiques (dépollution de l'eau, rétention des nutriments, soutien des espèces patrimoniales, …)
- Services économiques (production d'électricité, pêcherie, eau potable, …)

Changement(s) climatique(s)

Échelle globale

Scenarios de concentration des gaz à effet de serre

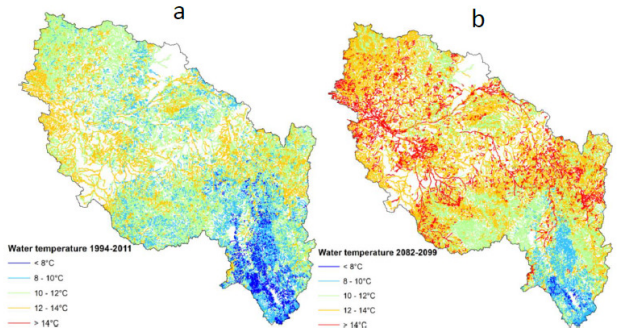


van Vliet et al. 2016. Global Environ. Change 40: 156-170.

Changement(s) climatique(s)

Échelle du bassin versant

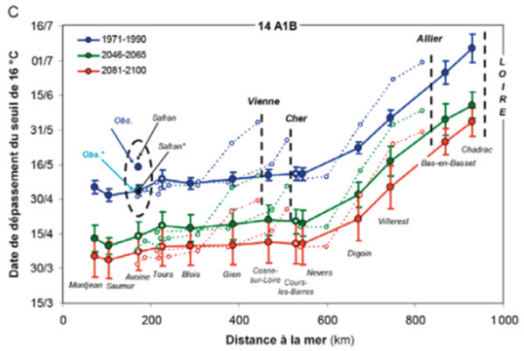
Bassin de la Loire, température moyenne interannuelle.



Beaufort et al. 2015. Rapport ONEMA, 66p.

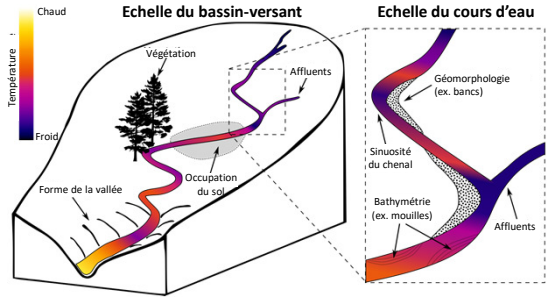
Changement(s) climatique(s)

Échelle de la rivière



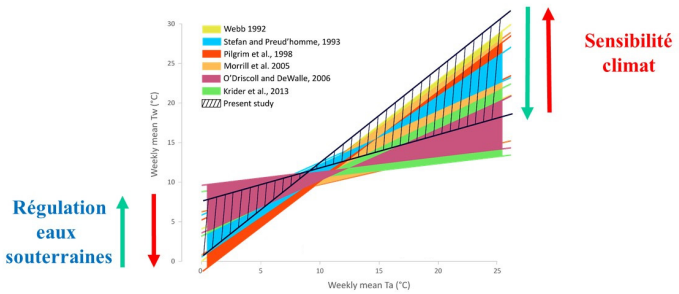
Moatar & Dupont 2016. La Loire fluviale et estuarienne : un milieu en évolution. Ed. Quae.

Facteurs de contrôle de la T°



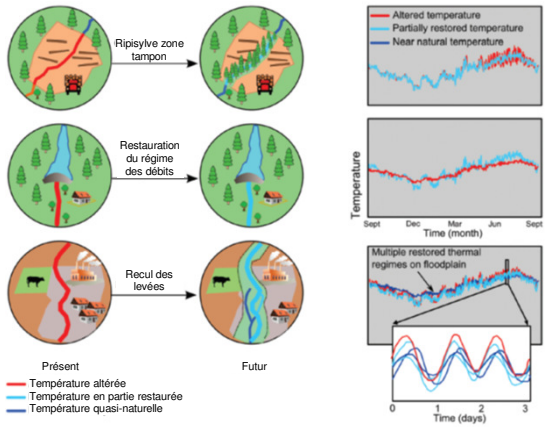
Dugdale et al., 2017. Earth-Sc. Rev. 175: 97-113.

Sensibilité des cours d'eau



Beaufort et al., 2020. HP 34: 583-597.

Actions de mesure



Steel et al. 2017. BioScience 67: 506-522.

Étapes préalables : diagnostic

Présentation de 3 outils/méthodes :

- Thermomètre, ou capteur de température, ou thermographe ;
- Outils numériques et statistiques pour traiter ces données ;
- Télédétection par infrarouge thermique aéroporté (IRT-a).

La panoplie d’outils pour le suivi thermique des cours d’eau

Les sondes de température

Jérémy Piffady, INRAE

Sondes de température

Jérémy Piffady

INRAE - Riverly

Réseaux coordinateurs

Partenaires

Matériel

Hobo Pendant ® UA-001-64
Enregistreur de température avec interface USB optique
Etanche jusqu'à 30 mètres.
Précision : ±0,47 °C à +25 °C
Résolution 0, 1 °C à +25 °C
Mémoire : Approximativement 52000 mesures / 12-bit

Minilog-II-T
Enregistreur de température sur 10 ans submersible
Etanche jusqu'à 500 mètres.
Précision : ±0,1 °C de -5 à +35 °C
Résolution 0,01 °C à +25 °C
Mémoire : Approximativement 10^6 mesures / 12-bit

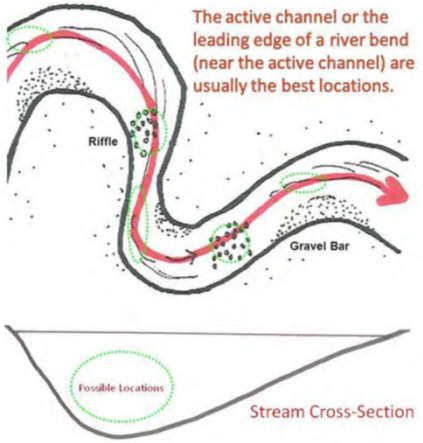
Tinytag Aquatic 2
Enregistreur de température submersible avec capteur intégré
Etanche jusqu'à 500 mètres.
Précision : ±0,5 °C de 0 à +50 °C
Résolution 0,01 °C à +25 °C
Mémoire : Approximativement 42000 mesures / 12-bit

TidbiT v2
Enregistreur de température avec interface USB optique TIDBIT datalogger V2 TEMP
Etanche jusqu'à 300 mètres.
Précision : ±0,2 °C de 0 à +50 °C
Résolution 12 bits : 0,02 °C à +25 °C
Mémoire : Approximativement 42000 mesures / 12-bit

Matériel – critères de choix

- coût
- interface (mutualisable avec collègues), simple d'emploi
- précision (fonction de l'objectif)
- remplacement pile (usine ou utilisateurs)
- taille / dispositif d'ancrage
- solidité

La pose des enregistreurs



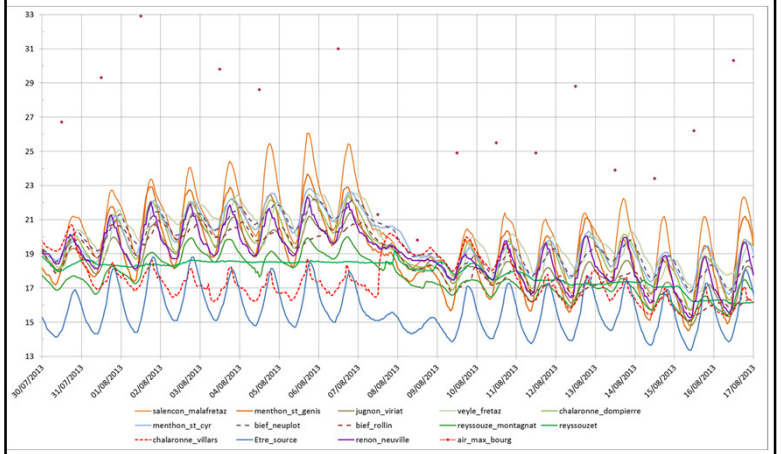
Principes de base :
- immersion permanente,
- mélange homogène
- fortes et faibles vitesses à éviter

Ward, 2011
Cercles en pointillés vert représentent des exemples de bon positionnement

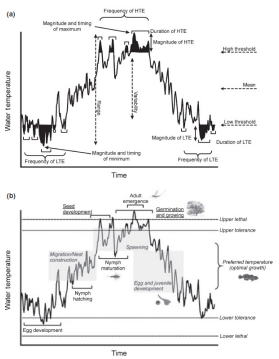
Pose des enregistreurs

- protection du matériel
  - chocs,
  - rayonnements infra rouge, (Johnson & Wilby, 2013)
- ancrage
  - solide, discret
  - ajout d'un lest éventuellement
  - collage sur support fixe

Enregistrements en sortie



Exploitation - biologie



In Olden and Naiman, 2010

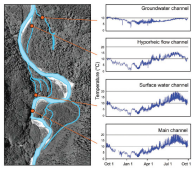
- Descripteurs synthétiques
  - Maximum, degrés jours, durée, magnitude
  - Plutôt bien décrit chez les poissons (Tissot et Souchon, 2007)
  - Moins pour les invertébrés
    - Il faut passer aux traits specifiques / fonctionnels
- Adaptation aux régimes naturels
  - Variation naturelle des communautés
- Les activités humaines impactent les régimes thermiques
  - Seuils / barrages / hydrologie
  - Influences urbaines
  - Suppression du couvert rivulaire

→ Quels impacts? Dépasse-t-on les capacités adaptatives?

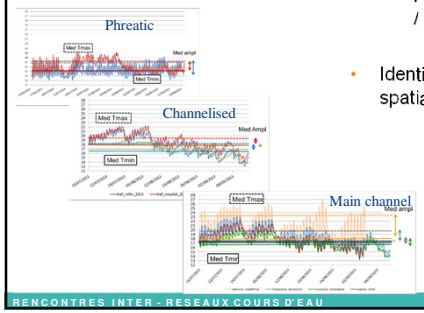
Plan d'échantillonnage

- Identifier les patrons spatiaux, les zones refuges
- Etudier les effets des pratiques (ex: du corridor rivulaire et de sa fragmentation)
  - Proposer des mesures de restauration / protection

Plan d'échantillonnage



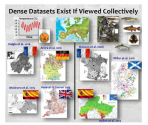
In Steel, 2017



- Identifier les patrons spatiaux, les zones refuges
- Etudier les effets des pratiques (ex: du corridor rivulaire et de sa fragmentation)
  - Proposer des mesures de restauration / protection
- Identifier les apports d'eau, les différences spatiales de régimes

En résumé

- Avantages
  - Peu onéreux
  - Manutention facile
  - Relevé en continu → effets biologiques



https://www.fs.fed.us/rm/boise/AWAE/projects/stream_temp/maps.html

- Inconvénients
  - Maille spatiale grossière → habitats locaux?
  - Traitement des données / bases de données
  - Choix du positionnement à bien réfléchir

La panoplie d’outils pour le suivi thermique des cours d’eau

Traitement des données de température des rivières

Florentina Moatar, INRAE

Traitement des données de température des rivières

Florentina Moatar
Directrice de recherche, INRAE

INRAE – RiverLy – Centre Lyon-Grenoble –Auvergne-Rhône-Alpes
Florentina.moatar@inrae.fr

Réseaux coordinateurs

Partenaires

Objectifs

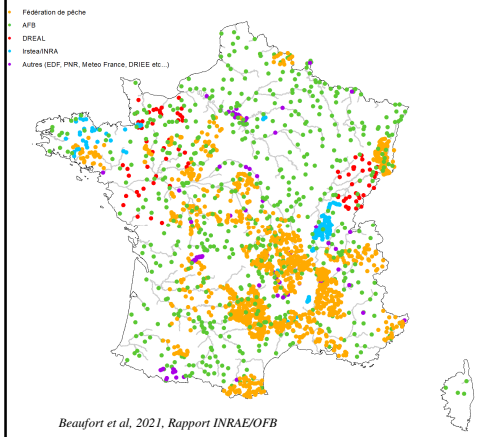
- Identifier les évolutions récentes par rapport à des régimes thermiques établis sur plusieurs années
- Identifier les impacts des retenues de faible, moyenne et grande profondeur
- Caractériser l'occurrence de certains seuils de température en lien avec la survie, la croissance et la reproduction des organismes
- Identifier les tronçons de rivière les plus sensibles au réchauffement climatique et ceux le plus régulés par les apports de nappe ou l'ombrage

Types de traitement

- Critique et reconstitution des données manquantes
  - Filtres pour détection valeurs aberrantes
  - Régressions avec la température de l'air
- Détermination des métriques de température des cours d'eau
  - Régimes saisonniers (climat, nappe, végétation)
  - Extrêmes chauds (moyenne sur 30j consécutifs)
  - …
- Extrapolation des métriques extrêmes le long du réseau hydrographique
  - Modèles géostatistiques (surface bassin, hydrologie, …)
- Impact du changement climatique
  - Modèles à base physique (bilan énergétique)

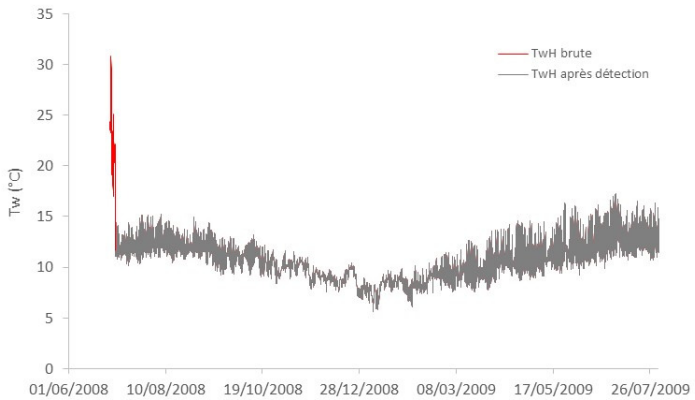
Projet TIGRE

https://thermie-rivieres.inrae.fr/

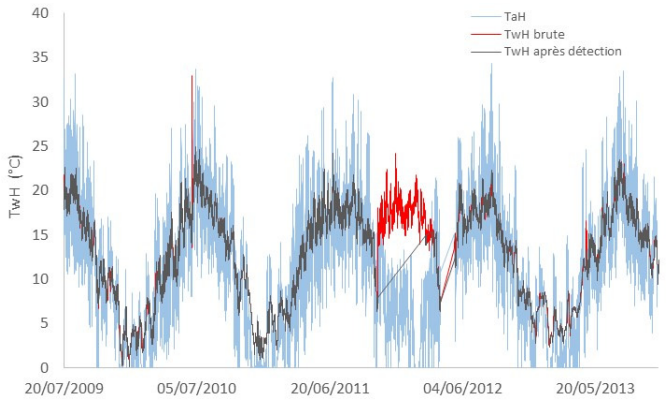


Beaufort et al, 2021, Rapport INRAE/OFB

Critique des données

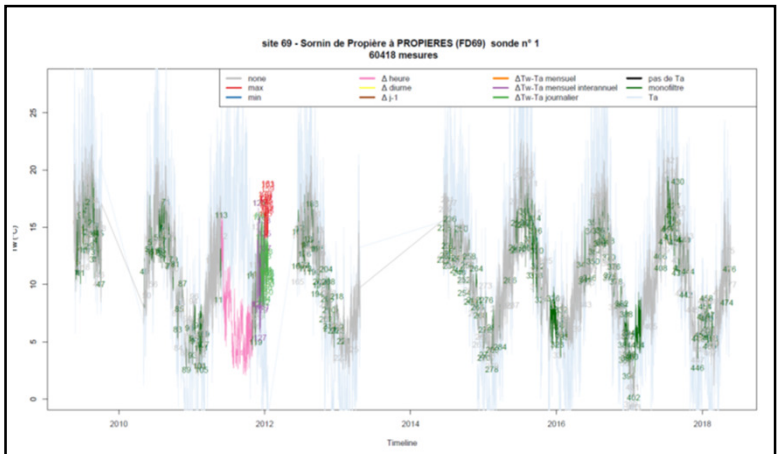


Critique des données

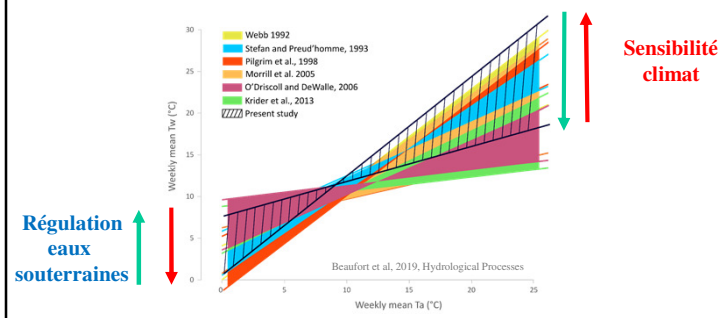


Tests de valeurs aberrantes

- Détection basée sur les données Teau horaires
  - Maximum horaire par mois (ex. TeauH : Janv > x1; Fév > x2; ….Aout > x3…)
  - Minimum horaire absolu (TeauH< x13)
  - TeauH(h)-TeauH(h-1) >x14
  - Amplitude diurne > x15
  - Différences entre TeauJ des deux jours consécutifs > x16
- Détection basée sur les différences mensuelles entre TeauM et TairM
- Détection basée sur les différences journalières entre TeauJ et TairJ



Reconstitution des valeurs manquantes



Les régressions linéaires ou sigmoides avec la température de l'air

Bonnes performances ($R^2 > 0.8$)
Mais attention à l'extrapolation en dehors de la gamme de variation des régressions

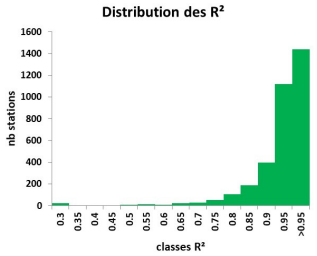
Modèles de régression

Modèle 1

Teau(J) =a + b [moyenne(Tair(J):Tair(J-n)]

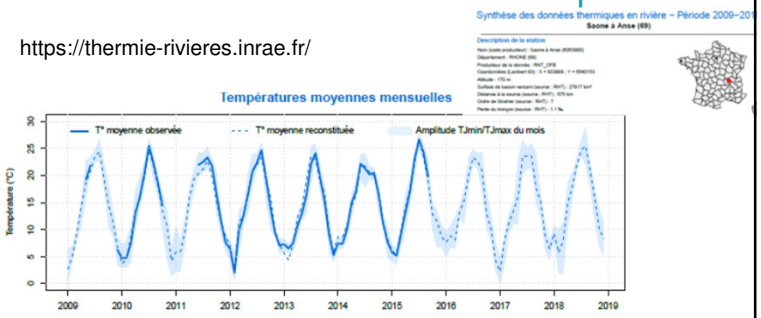
Modèle 2

Teau(J) =a + b [moyenne(Teau(J-1):Teau(J-m)]+ c [moyenne(Tair(J):Tair(J-n)]



Reconstitution des valeurs manquantes

https://thermie-rivieres.inrae.fr/

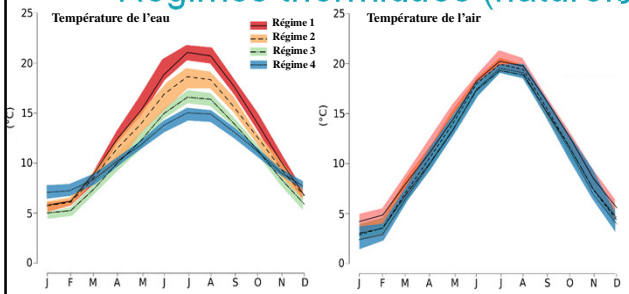


Températures moyennes mensuelles, annuelles et températures maximales sur 1, 7 et 30 jours (°C)

	Janv	Fev	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Dec	TAmoy	TJmax (date)	T7Jmax (date)	T30Jmax (date)
2009	2.7	5.1	9.5	14.4	19.2	21.8	23.5	24.4	19.4	14.6	11.5	6.2	14.3	26.8 (22/08)	26.4 (20/08)	24.5 (30/07)
2010	4.7	4.8	7.6	13.1	16.1	20.4	25.5	22.2	18.6	14.5	10.7	4.2	13.3	26.5 (12/07)	26.3 (06/07)	24.9 (29/06)
2011	5.8	5.9	9.7	16	19.4	22	22.5	23.3	21.8	16.6	11.6	7.6	14.7	26.3 (26/08)	25.7 (22/08)	22.9 (03/08)
2012	6.5	2	9.9	12.6	16.5	20.7	22.4	24.6	19.5	14	9.4	7.1	13.8	26.2 (24/08)	25.8 (21/08)	24.7 (31/07)
2013	7.3	6.5	7.5	10.7	13	16.4	22.1	24.1	19.6	15.3	9.1	5.3	13.1	25.8 (07/08)	25.2 (03/08)	24.6 (22/07)
2014	7.4	7.4	10.1	14.9	17.1	22.2	21.3	20.2	20.5	16.5	11.2	7.7	14.7	24.2 (05/07)	23.8 (02/07)	23.3 (11/06)
2015	5.8	5.2	9.2	13.3	17.1	23.1	26.6	24.2	19.8	12.8	11.5	8.6	14.9	29 (08/07)	28.4 (06/07)	27 (01/07)
2016	7.7	8.8	8	13.3	15.4	20	23.3	22.6	20.8	12.9	10.1	4.2	13.9	24.9 (28/07)	24.4 (26/07)	23.4 (07/07)
2017	2.2	8.1	11.4	13.5	16.1	23.6	23.5	23.6	17.7	15.2	8.8	6.4	14.2	26.6 (25/06)	26.4 (23/06)	24.4 (18/06)
2018	9.3	5.7	7.9	14.9	17.7	21.7	24.7	25.4	20.9	15.9	10.3	8.3	15.3	29.1 (09/08)	28.4 (05/08)	26.1 (18/07)

Calcul réalisé à partir de données journalières reconstituées (si plus de 3 observations journalières manquantes dans le mois)

Régimes thermiques (naturels)



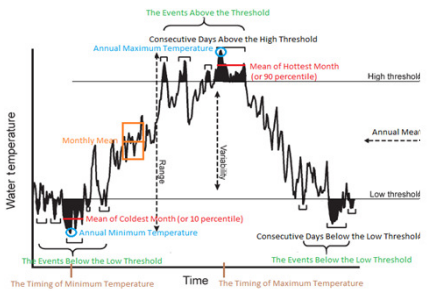
TS et b : pente et intercept des régressions entre Tw7J et Ta7J

ΔTJan et ΔTaou : moyennes interannuelles de la différence entre TaM et TwM en janvier et aout

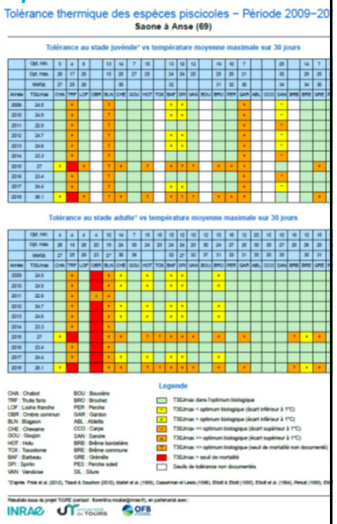
MTw30J : moyenne interannuelle des moyennes des 30 jours consécutifs les plus chauds chaque année

Cluster	$\overline{TS}$	$\overline{b}$	$\overline{\Delta T_{jan}}$	$\overline{\Delta T_{aou}}$	$\overline{MTw30J}$
Cluster 1 – Chaud et très variable	0.9	3.4	-2.6	-1.1	22
Cluster 2 – Chaud et variabilité modérée	0.6	5.9	-4.8	0.9	19.4
Cluster 3 – Froid et variabilité modérée	0.6	4.1	-2.9	2.4	17.4
Cluster 4 – Froid et peu variable	0.4	7.2	-5.7	4	15.5

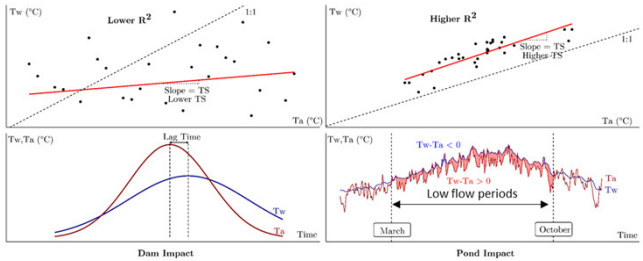
Métriques biologiques



From Olden & Naiman 2010



Métriques pour étude impacts anthropiques



Seyedhasemi et al, 2021, Science of Total Environnement

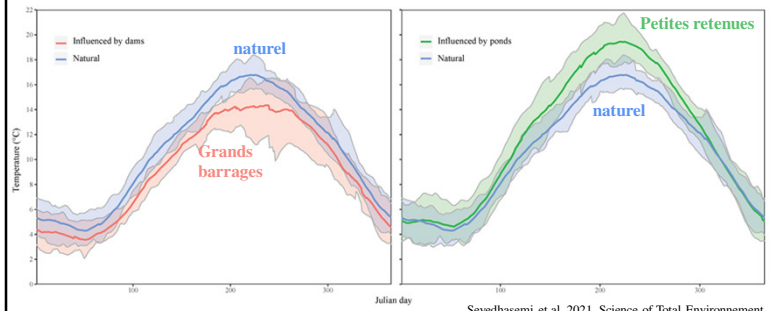
Indicateurs grands barrages

- Pente régression Teau vs. Tair
- R^2
- Lag time

Retenues de faible et moyenne hauteur

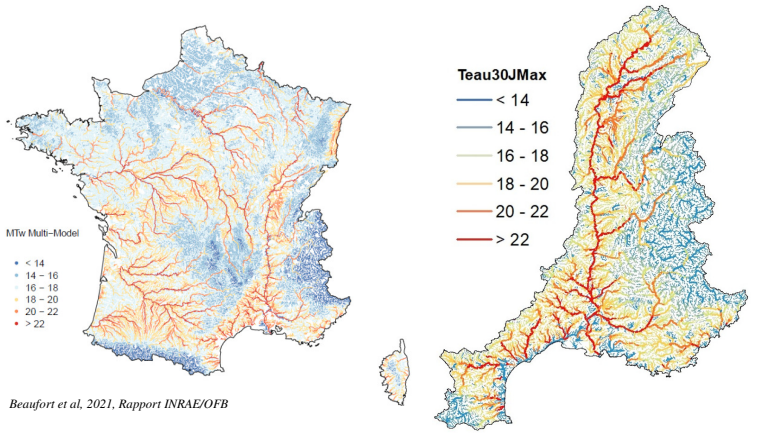
- Somme des valeurs positives Teau-Tair
- Somme des valeurs positives et négatives de Teau-Tair

Métriques pour étude impacts anthropiques



Seyedhasemi et al, 2021, Science of Total Environnement

Extrapolation spatiale de la métrique Teau30J



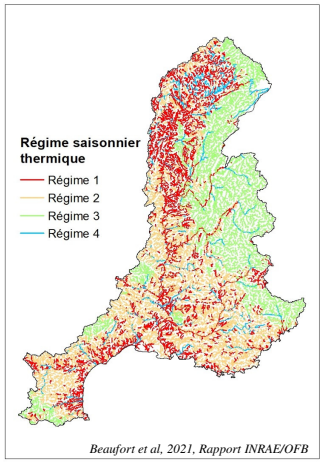
Beaufort et al, 2021, Rapport INRAE/OFB

Réseau hydrographique, RHT, Pelle et al, 2012

Extrapolation spatiale des régimes (naturels)

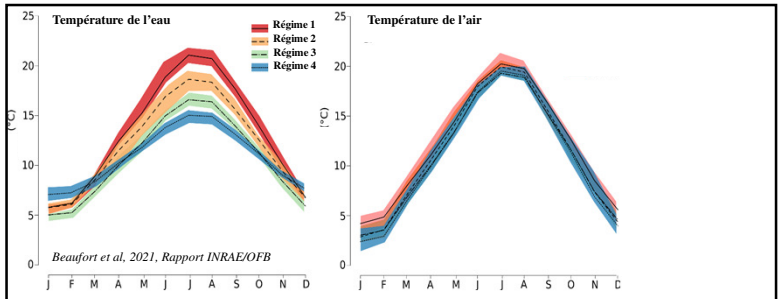
Facteurs de contrôle

- Surface du bassin versant
- Pente du tronçon
- Taux de végétation (buffer 10m)
- Débit mensuel minimum
- Moyenne de la température estivale de la température de l'air



Réseau hydrographique, RHT, Pelle et al, 2012

Beaufort et al, 2021, Rapport INRAE/OFB



Beaufort et al, 2021, Rapport INRAE/OFB

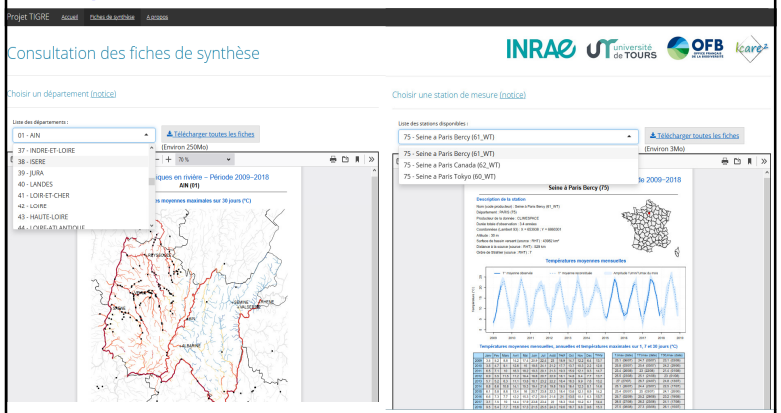
Cluster 1 : **Surface bassin > 500 km² ou < 500 km² avec Taux de végétation < 65%, QMmin < 5 l/s/km²**

Cluster 2 : **Surface bassin < 500 km², QMmin < 5 l/s/km², *mais* Taux de végétation > 65%, pente < 5 m/km, Mta_ete > 19°C**

Cluster 3 : **Surface bassin < 500 km², QMmin < 5 l/s/km², Taux de végétation > 65%, *mais* pente > 13 m/km, Mta_ete < 19°C**

Cluster 4 : **Surface bassin < 500 km², Taux de végétation > 65%, pente < 13 m/km, Mta_ete < 19°C, *mais* QMmin > 5 l/s/km²,**

https://thermie-rivieres.inrae.fr/



Beaufort, A., F. Moatar, E. Sauquet, C. Magand, 2020. Thermie en rivière : Analyse géostatistique et description de régime : Application à l'échelle de la France, INRAE UR RiverLy, Université de Tours GéHCO, rapport final projet TIGRE, 63 pages + 53 pages d'annexes

Seyedhasemi H, F. Moatar, J.Ph Vidal, J. Diamond, Beaufort A. Chandesris, L. Valette. 2021. Using thermal signatures to identify the influence of dams and ponds on stream temperature at the regional scale. Science of Total Environment.

Beaufort A, F Moatar, E Sauquet, P Loicq, D. M. Hannah, 2020. Influence of landscape and hydrological factors on Stream-Air temperature relationships at regional scale Hydrological Processes, vol 34 (3): 583-597

Beaufort A, Diamond J, E. Sauquet, F. Moatar, 2021. The thermal peak : A simple stream temperature metric at regional scale. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 1-18

En résumé, le traitement des chroniques

- Avantages
  - Valorisation des données acquises sur plusieurs années
  - Extraction d'informations pertinentes pour détecter les évolutions (dans le temps et l'espace) à travers les réseau hydrographiques
  - Fait le lien avec l'évolution des communautés aquatiques
  - Important pour la mise en œuvre des modèles
- Inconvénients
  - Vision réduite à une ou plusieurs stations

La panoplie d’outils pour le suivi thermique des cours d’eau

L’outil IRT pour la cartographie des températures de surface

Baptiste Marteau, UMR 5600 EVS

L'outil IRT pour la cartographie des températures de surface

Baptiste Marteau

Post-doctorant CNRS
UMR5600, Laboratoire Environnement, Ville, Société

Réseaux coordinateurs

Partenaires

1. Principes de fonctionnement

Principes de fonctionnement

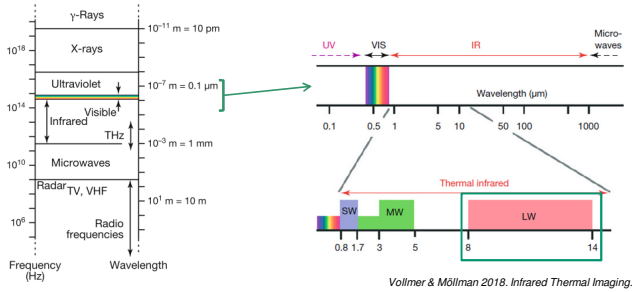
Principes de base

- Tout corps T°K > 0 (-272°C) émet des radiations « thermiques »
- Radiations → mesurables par des capteurs, sous forme de *radiance* (i.e. puissance de rayonnement ~ quantité d'énergie)
- Loi de Planck : *radiance → température*

Principes de fonctionnement

Les différents infrarouges

- Infrarouge = rayonnement électromagnétique invisible



Vollmer & Möllman 2018. Infrared Thermal Imaging.

Principes de fonctionnement

De la théorie à la pratique…

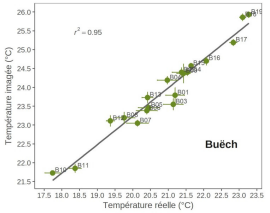
- En réalité : différence entre $T_{infrarouge}$ et $T_{réelle}$
  - Paramètres physiques : eau = candidat idéal
    forte inertie thermique, faible conductivité thermique, émissivité proche de 1
  - Paramètres atmosphériques :
    température de l'air, humidité de l'air
  - Paramètres opérationnels :
    hauteur de vol, angle de prise de vue

  => Nécessité de *corriger* les mesures de $T_{infrarouge}$

Principes de fonctionnement

Passer de $T_{infrarouge}$ à $T_{réelle}$:

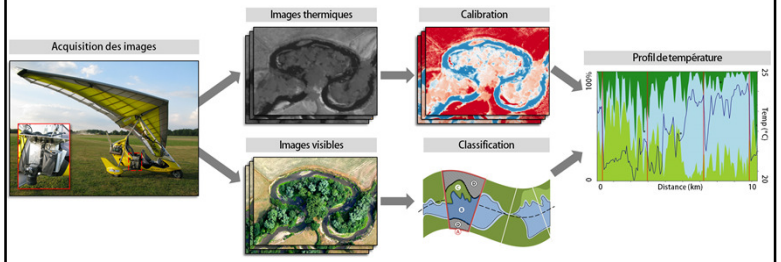
- Modèles atmosphériques (ex. MODTRAN)
  - Large échelle (satellites), mais peu précis à petite échelle ;
  - Nécessite des données atmosphériques
- Correction empirique
  - thermomètres enregistreurs placés en rivière pendant la mission



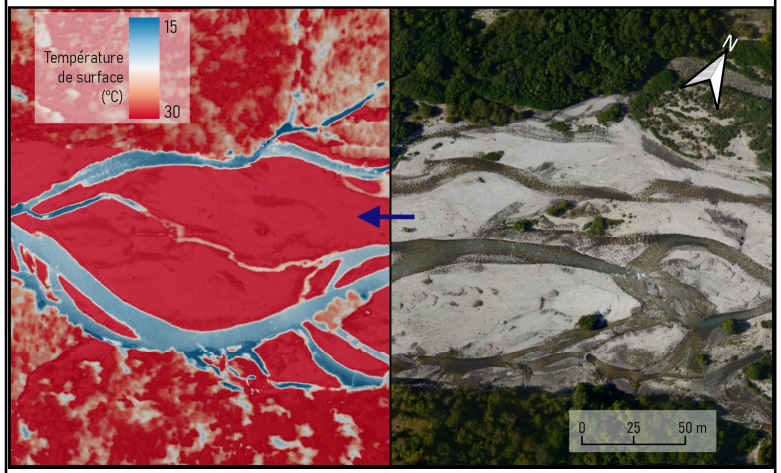
2. Acquisition, traitement et analyse des données IRT-a

Acquisition des données

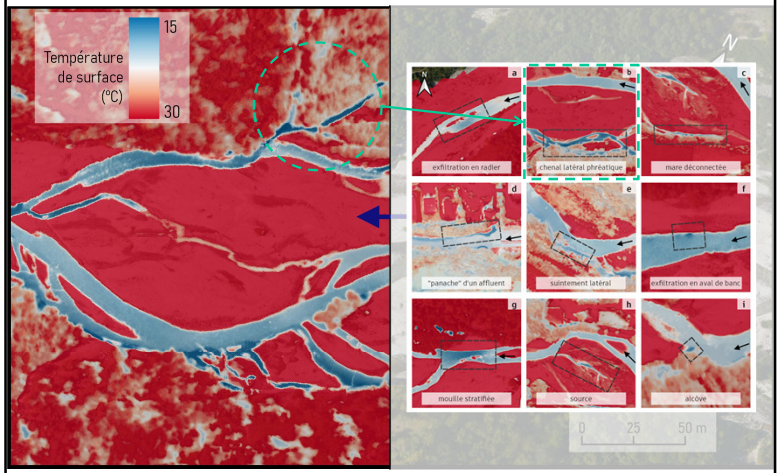
Acquisition et traitement des données



Traitement des données



Traitement des données



3. Types de capteurs et de vecteurs

IRT satellitaire

IRT satellitaire : application difficile en milieu fluvial

- Résolution assez faible
- Pas toujours accessible gratuitement
- Contrainte de couverture nuageuse / heure de visite

Satellite	Sensor	Ground resolution (m)	Revisit time	Launched
Landsat 8	TIRS	120	16 days	2013-....
Landsat 7	ETM+	60	16 days	1999-*2003*
Landsat 5	TM	120	16 days	1984-2011
Landsat 4	TM	120	16 days	1982-1993
Sentinel-3 (ESA, EUMESTAT)	SLSTR	1000	4 days	2016-....
Terra (NASA)	MODIS	1000	1-2 days	1999-....
Aqua (NASA)	MODS	1000	1-2 days	2002-....
Terra (NASA)	ASTER	90	16 days	1999-....
POES (NOAA)	AVHRR/3	1090	4 to 6 days (several satellites)	Started 1960
GOES (NASA-NOAA)	ABI	2000	5 min (geostationary over the US)	Started 1974

IRT aéroporté : vecteurs et capteurs

- Il existe tous types de *vecteurs*… et de capteurs

Systèmes spécifiques/dédiés

Ex. Handcock et al. 2006. RSoE 100.

Systèmes adaptés

Ex. Danielscu et al. 2009. HP 23.

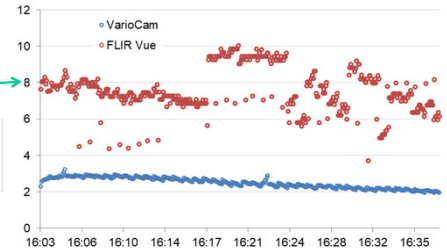
Ex. Dugdale et al. 2019. HP 678.

Ex. Wawrzyniak et al., 2013. IJRS 34(13); Wawrzyniak et al., 2017. STOTEN 592.

IRT aéroporté : vecteurs et capteurs

- Cas de certains nouveaux capteurs
  - Miniaturisés pour drone
  - Moins chers, plus accessibles
  - Mais manque de recul sur leur utilisation

Ex. Dugdale et al. 2019. HP 678.

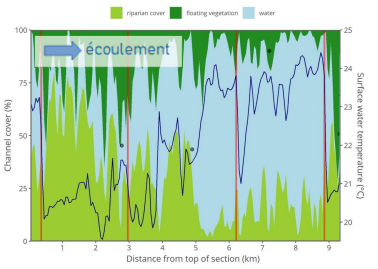


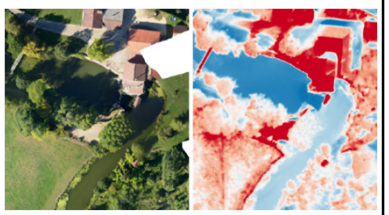
4. Exemples d'application

Exemples d'application

Identifier le rôle de la présence/absence de ripisylve et des seuils

- Plaine de la Bresse – rivières lentes, contexte agricole, présence de seuils

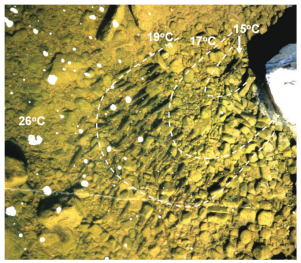




Marteau et al. 2021. ESPL (in review).

Exemples d'application

Lien entre les refuges thermiques et les peuplements piscicoles



Ebersole et al. 2001. Ecol. Freshw. Fish 10 (1).

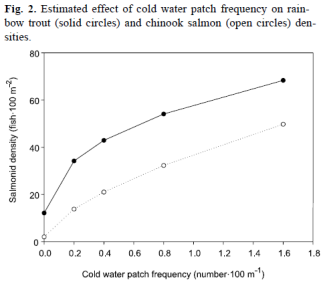


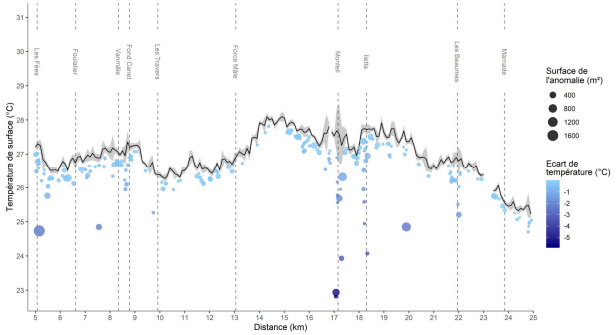
Fig. 2. Estimated effect of cold water patch frequency on rainbow trout (solid circles) and chinook salmon (open circles) densities.

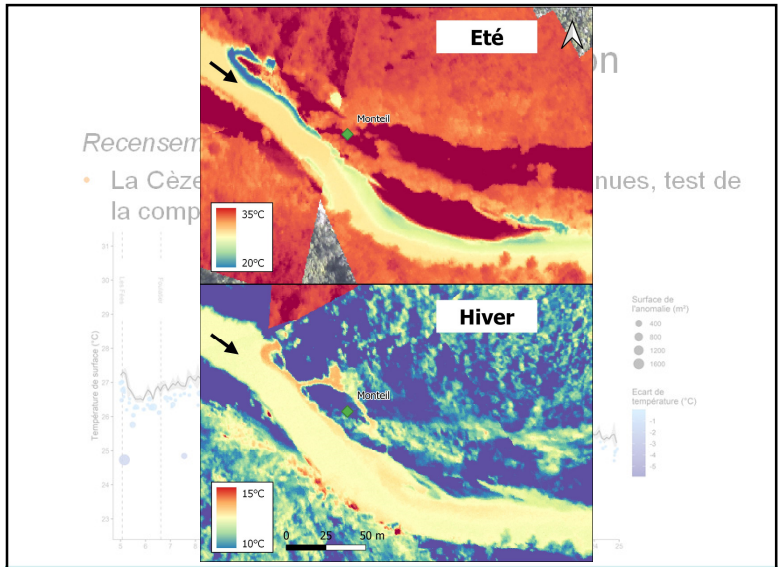
Ebersole et al. 2003. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 60.

Exemples d'application

Recensement des arrivées karstiques

- La Cèze – certaines résurgences déjà connues, test de la comparabilité des outils





Avantages / Inconvénients

AVANTAGES	INCONVENIENTS
+ Permet de caractériser rapidement la température de surface de zones étendues	- L'interprétation des profils de température doit être confirmée par des mesures de terrain
+ Combine une haute résolution spatiale et une haute précision des mesures	- Mesures ponctuelles dans le temps
+ Technique exploitable pour des cours d'eau de taille variable (plan d'eau visible depuis les airs)	- Mesures limitées à la température de surface (uniquement en deux dimensions)
	- Contraintes d'application : période, conditions météo, couvert végétal

MISE EN ŒUVRE

Moyens humains	Compétences	Matériel	Coût
- 2 personnes pendant 1 jour sur le terrain - 1 pilote (ULM/hélicoptère)	- Maîtrise des outils de mesure et des outils de traitement - Compréhension du fonctionnement d'une rivière	- ULM/hélicoptère - Caméra thermique - Logiciels SIG et de traitements d'images	Prestation entre 12 et 18 K€ selon la longueur à couvrir et la résolution spatiale

Références bibliographiques

- Ebersole JL, Liss WJ, Frissell CA. 2001. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout Oncorhynchus mykiss abundance in arid-land streams in the northwestern United States. *Ecology of Freshwater Fish* **10**: 1–10. DOI: 10.1034/j.1600-0633.2001.100101.x
- Ebersole JL, Liss WJ, Frissell CA. 2003. Thermal heterogeneity, stream channel morphology, and salmonid abundance in northeastern Oregon streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **60**: 1266–1280. DOI: 10.1139/f03-107
- Marteau B, Michel K, Piégay H. 2021. Can gravel augmentation restore thermal functions in gravel-bed rivers? A need for trajectory-based assessment. *Hydrological Processes (in review).*
- Marteau B, Piégay H, Chandesris A, Michel K, Vaudor L. 2021. Can riparian shading mitigate water warming caused by impoundment in lowland rivers? *Earth Surface Processes and Landforms (in review).*
- Torgersen CE, Faux RN, McIntosh BA, Poage NJ, Norton DJ. 2001. Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment* **76**: 386–398. DOI: 10.1016/S0034-4257(01)00186-9
- Vollmer M, Möllmann K-P. 2018. Infrared Thermal Imaging - Fundamentals, Research and Applications, 2nd Edition. Wiley-VCH: Weinheim, Germany, 769 p.

Pour aller plus loin :

- Torgersen CE, Ebersole JL, Keenan DM. 2012. Primer for identifying cold-water refuges to protect and restore thermal diversity in riverine landscapes. EPA scientific guidance handbook: 91. DOI: EPA 910-c-12-001
- Dugdale SJ. 2016. A practitioner's guide to thermal infrared remote sensing of rivers and streams: recent advances, precautions and considerations. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* **3**: 251–268. DOI: 10.1002/wat2.1135
- Handcock RN, Torgersen CE, Cherkauer KA, Gillespie AR, Tockner K, Faux RN, Tan J. 2012. Thermal Infrared Remote Sensing of Water Temperature in Riverine Landscapes. *Fluvial Remote Sensing for Science and Management*: 85–113. DOI: 10.1002/9781119940791.ch5

baptiste.marteau@ens-lyon.fr

Retours d’expériences de gestionnaires de milieux

La température, un paramètre pour la gestion des poissons

Jean-Pierre Faure, Fédération de pêche et de protection du milieu aquatique du Rhône

La température, un paramètre pour la gestion…des poissons

Jean-Pierre FAURE

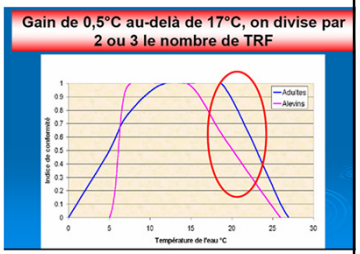
Fédération du Rhône et de la Métropole de Lyon pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique

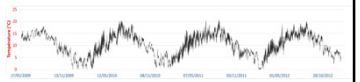
Réseaux coordinateurs

Partenaires

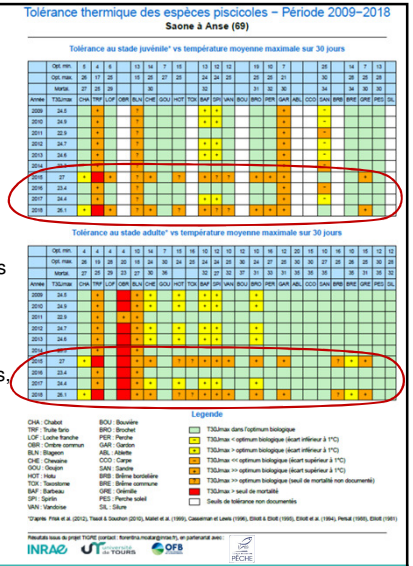
Eléments de contexte

- Température, 1er paramètre structurant les populations de poissons (ex : Verneaux, 1973 ; Oberdorff *et al,* 2001; Baran, 2005…)
- Depuis 2007, fort investissement de la FD69 sur l'acquisition de connaissance :
  - **Environ 100-200 sondes** thermiques en place sur les différents BV / an
  - **>90% des données** du territoire (2013-2018)
  - Analyse des **seuils de sensibilité des espèces piscicoles** / référence
  - Collaboration INRAE :

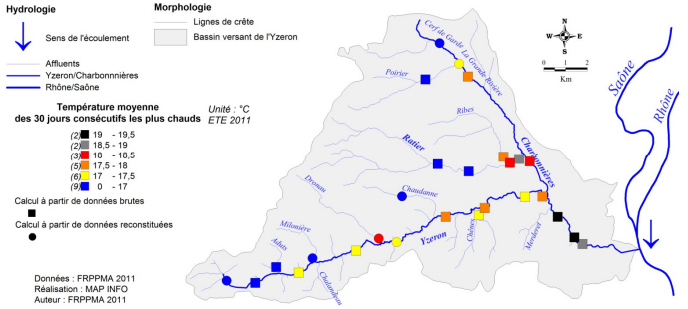




- Bibliographie : tolérance / espèce
- Limites :
  - Conditions expérimentales variables, + ou - précises…
  - … et variabilité entre stades de développement, populations, effets de pathogènes, de qualité d'eau ;
- Adultes et juvéniles distingués,
- + 2 seuils estivaux sur 30j et 7j retenus, permet une appréciation plus large et intégratrice.
- Première approche!

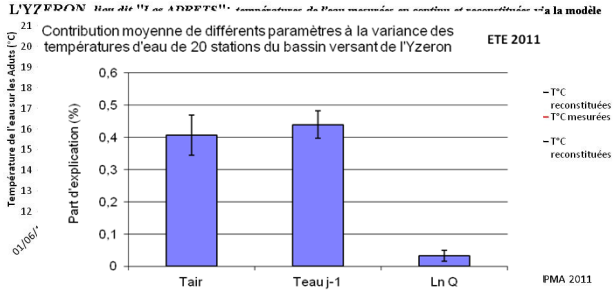


Température de l'EAU moyenne des 30 jours consécutifs les plus chauds (2011)



- Situation critique : aire urbaine de Francheville
  Aval confluence Yzeron-Charbonnières
- majorité des affluents : bonnes conditions thermiques en 2011

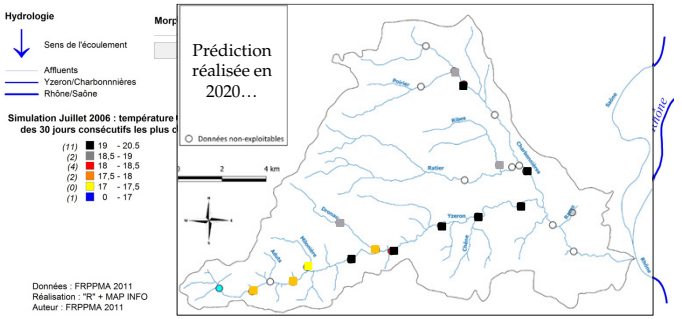
Que se passerait-il en année très chaude?
Cf. juillet 2006 = T° de l'air 25°
=> Simulation avec T° de l'air / T° de l'eau / Débit



➢Construction d'un modèle prédictif de la température de l'eau en fonction de la température de l'air (Lyon St-Exupéry) et des débits (Craponne) :

Teau = a*Tair + b*Teauj-1 + c*ln(Q) + constante

Que se passerait-il en année très chaude?
Cf. juillet 2006 = T° de l'air 25°
Simulation avec T° de l'air / T° de l'eau / Débit



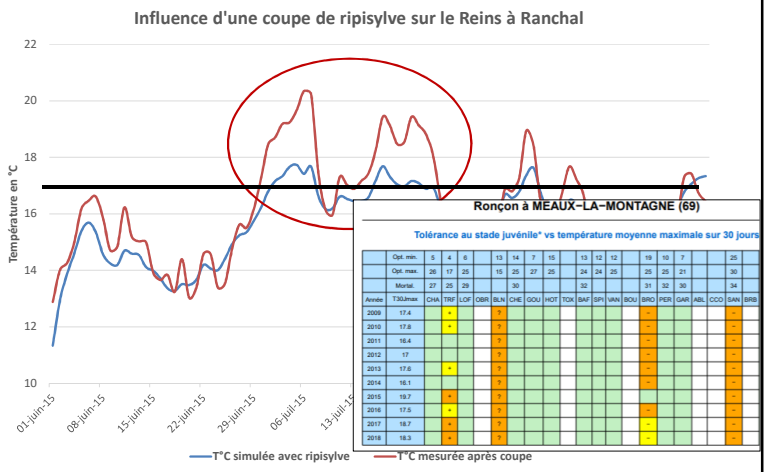
➢Extrême amont de l'Yzeron : seul secteur préservé + amont du Ratier dans une moindre mesure

➢ Situation critique sur tout le reste du bassin versant

>>> **Importance capitale de la continuité piscicole pour regagner les zones refuges**

>>> Fort investissement du SAGYRC… et résultats à l'appui.

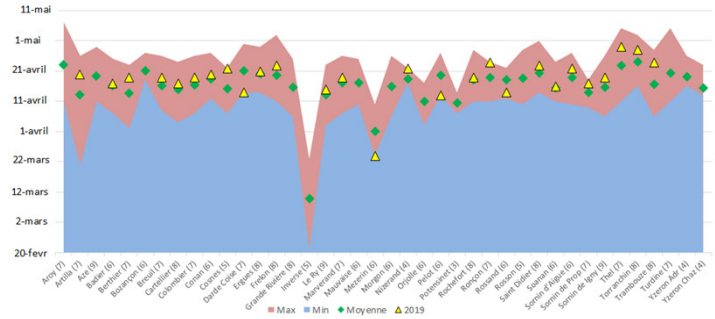
Autres exemples d'utilisation :



Suivi piscicole 2015 du contrat de rivières Rhins, Rhodon et Trambouzan – FDAAPPMA 42 et 69

Autres exemples d'utilisation :

- Calculs de dates d'émergence des alevins de truite fario / températures hivernales :
  - Meilleure compréhension de l'impact des crues printanières
  - Avis plus précis sur les périodes vulnérables pour les travaux en rivière



Rôle crucial connu depuis + de 50 ans, mais…

- …toujours aucun outil d'analyse « officiel » pertinent.

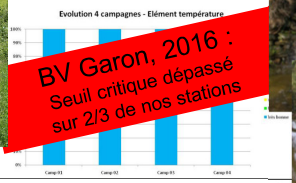
= des publications absurdes et régulières :

Figure 1 : Evolution de la température et du pH sur chaque station entre les deux campagnes

Tableau 2 : Classes de qualité du SEQ-Eau V1 (température, pH)

BV Brévenne, 2011 : Seuil critique dépassé sur 50% de nos stations

Sur la base du SEQ-Eau, la classe de qualité sur la base de ces paramètres est bonne (Do, 1ère campagne) à très bonne (cf. **tableau 2**).



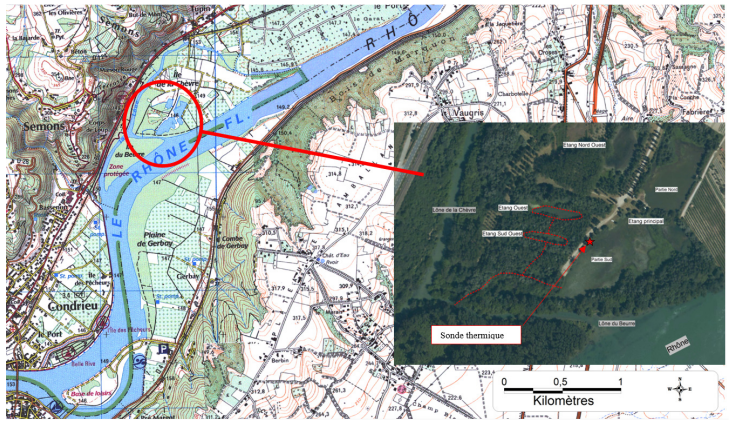
BV Garon, 2016 : Seuil critique dépassé sur 2/3 de nos stations

Sur la base du SEEE :

La totalité des mesures de température de l'eau réalisées au cours des 4 campagnes est classée en qualité « très bonne ».

Quoiqu'il en soit la température n'apparait pas comme facteur déclassant dans le cours principal ou les principaux affluents et reste tout à fait compatible avec une vie salmonicole par exemple.

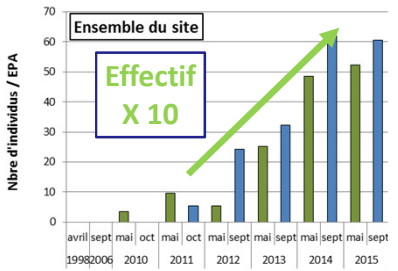
Suivi piscicole des étangs de l'Ile de la Chèvre



Suivi piscicole des étangs de l'Ile de la Chèvre

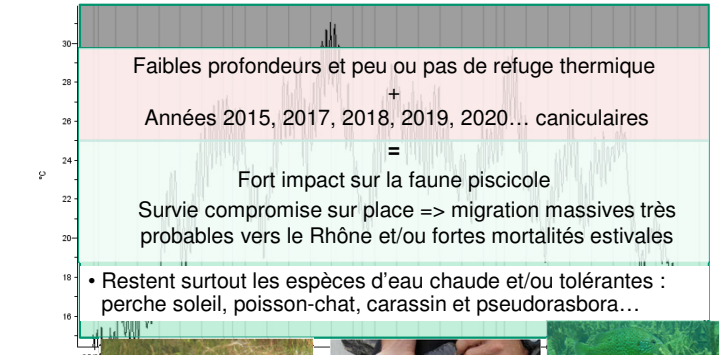
- Pêches électriques depuis 2010 :

Nombre de poissons par point de pêche



Reconnexion des étangs au Rhône

Mise en place d'un seuil (Atténuer les effets du marnage hydroélectrique)



Faibles profondeurs et peu ou pas de refuge thermique

+

Années 2015, 2017, 2018, 2019, 2020… caniculaires

=

Fort impact sur la faune piscicole

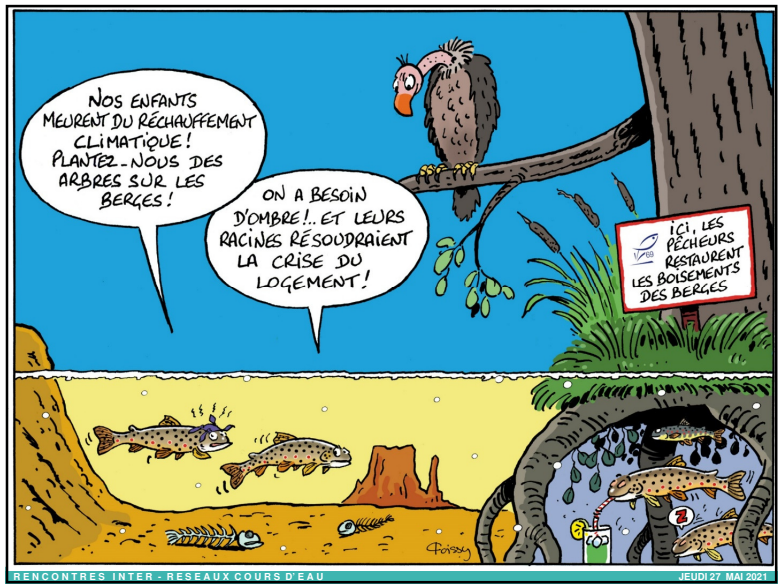
Survie compromise sur place => migration massives très probables vers le Rhône et/ou fortes mortalités estivales

- Restent surtout les espèces d'eau chaude et/ou tolérantes : perche soleil, poisson-chat, carassin et pseudorasbora…

Perspectives

⇒Gestion à adapter à ces contraintes de température de plus en plus fortes avec le réchauffement climatique

⇒**Réflexion sur aménagements :** approfondissement, connectivité…
⇒**Besoin de plus de précisions sur la localisation, le fonctionnement** des refuges thermiques sur les différents milieux ; sonde = donnée « pauvre » d'un point de vue spatial.



Retours d’expériences de gestionnaires de milieux

Ain et affluents : diagnostic thermique

Willy Bertin, SR3A

Ain et affluents – diag thermiques

Willy BERTIN

SR3A – Syndicat de la Rivière d'Ain Aval et de ses Affluents

Réseaux coordinateurs

Partenaires

SR3A Ain Aval & Affluents

Introduction

Enjeux et cas d'étude au SR3A

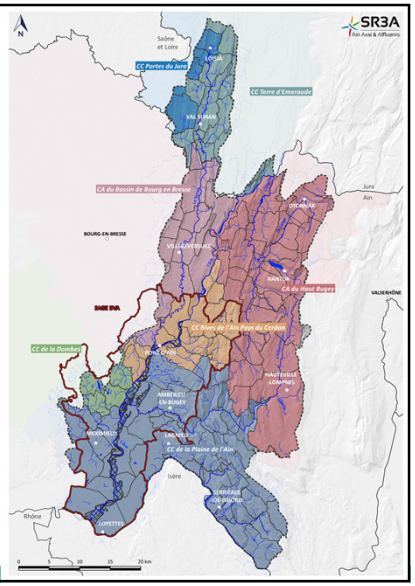
I. Aide à la décision
Ex : Gestion de population d'écrevisse

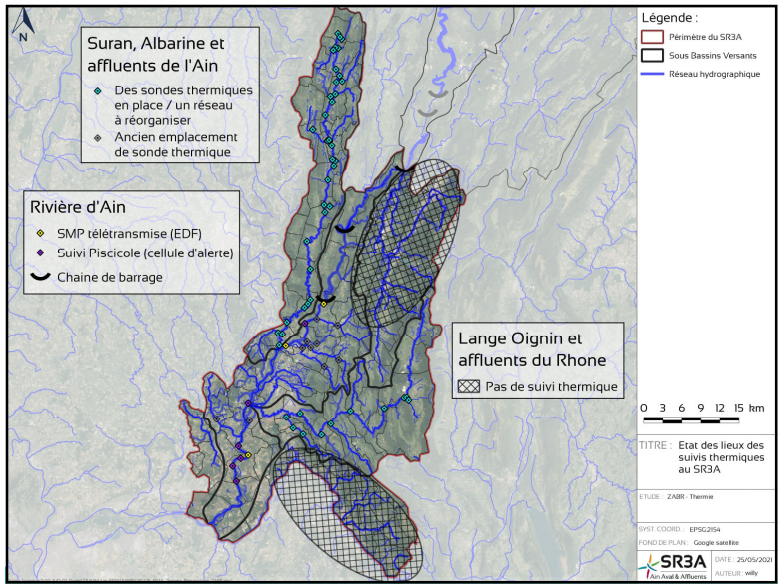
II. Surveillance et alerte
Ex : Suivi de zones refuges piscicoles

III. Évaluation de programme d'action
Ex : Suivi des actions du PGRE

IV. Planification
Ex : Étude prospective – changement climatique

Conclusion / Bilan





SR3A Ain Aval & Affluents

I. Aide à la décision

Ex : Gestion de population d'écrevisse

Contexte : Buizin (affluent Albarine) : écrevisse autochtone concurrencée par écrevisses exotiques sur même secteur. Pour remédier à cela : destruction des exotiques et translocation des autochtones

Objectif : Identifier la compatibilité thermique pour réintroduction (l'un des critères, avec pérennité des écoulements, qualité d'habitat, présence de certains taxons)

Les besoins de l'écrevisse :
- *preferendum* thermique 15-18 °C
- besoin de 1640 °J pour incubation (6-8 mois)

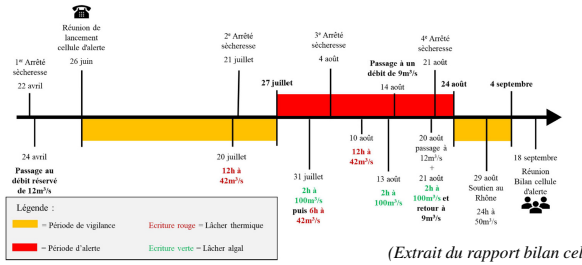
En pratique :
Suivi thermique sur les périodes d'incubation (sur secteurs préciblés)
→ Abandon de certains sites « trop frais » au profit d'autres

II. Surveillance et alerte

Ex : Gestion de crise dans le cadre de la cellule d'alerte

Contexte : Basse Vallée de l'Ain : chaîne de barrages en amont demande une gestion des débits adaptée à la survie des espèces aquatiques en aval.
Notamment : arrivées phréatiques = zones refuges en période estivale

Objectif : Réaliser un suivi régulier en période estivale pour déclencher des actions de la cellule d'alerte (lâcher d'eau de soutien d'étiage)



(Extrait du rapport bilan cellule d'alerte 2020)

II. Surveillance et alerte

Ex : Gestion de crise dans le cadre de la cellule d'alerte

Méthode actuelle:

- Mesures thermiques (EDF) ↔ comparaison aux seuils
- Observation du peuplement piscicole dans les zones refuges (SR3A) pour évaluer la dégradation des conditions globales du milieu qui incite les poissons à se réfugier dans ces zones plus fraiches

Date du lâcher	Type de lâcher	Situation motivant le lâcher	Objectifs	Effet sur la température
19-20 juil	12h à 42m3/s	Température de l'eau élevée, prévisionde hausse de température et d'absence de pluie, poissons dans les ZR	Limiter la hausse des températures. Eviter le potentiel développement algal	Au 20 juillet 1 : +0,1°C 2 : -0,3°C 3 : +0,3X°C
30-31 juil	2h à 100m3/s puis 6h à 42m3/s	Température de l'eau élevée, amplitude nycthémérale élevée, développement algal, prévisionde hausse de température et d'absence de pluie	Limiter la hausse des températures et le développement algal	Au 31 juillet 1 : +0,5°C 2 : -0,5°C 3 : -0,3°C
9-10 août	12h à 42m3/s	Température de l'eau élevée, prévisionde hausse de température et d'absence de pluie, poissons dans les ZR	Limiter la hausse des températures	Au 10 août 1 : 0°C 2 : -0,7°C 3 : -0,3°C

Lâchers thermiques	1 = La Ceuille
Lâchers algaux	2 = Pont d'Ain
Lâchers combinés	3 = Pont de Chazey

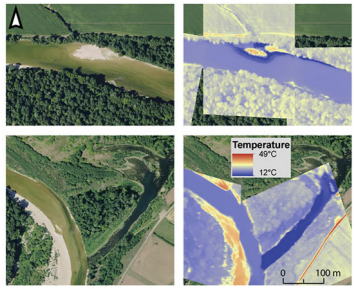
(Extrait du rapport bilan cellule d'alerte 2020)

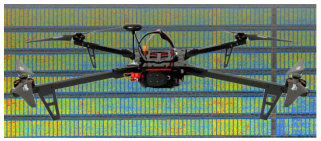
II. Surveillance et alerte

Ex : Gestion de crise dans le cadre de la cellule d'alerte

Perspectives d'amélioration : Détection IRT aérienne localement pour :

- s'affranchir de la subjectivité des observations visuelles
- apprécier spatialement les phénomènes de hausses des températures





Le SR3A s'est doté d'un drone FX1 (ci-dessus) doté d'une caméra thermique
Nous souhaitons reproduire localement des acquisition, en s'inspirant des espériences exitantes (ex ci contre, par V. Wawrzyniak en 2011 sur la BVA)

III. Évaluation de prog. d'actions

Ex : Suivi des actions d'un PGRE

Contexte : Plan de Gestion de la Ressource en Eau sur la BVA visant à réduire les V. prélevés en période estivale en zone sensible (prox. rivière)
→ préserver et renforcer les zones d'arrivées phréatiques
→ garantir la fonctionnalité des zones refuges pour les salmonidés.

Objectif : Évaluer l'impact des actions d'économies d'eau et de substitution sur les milieux aquatiques

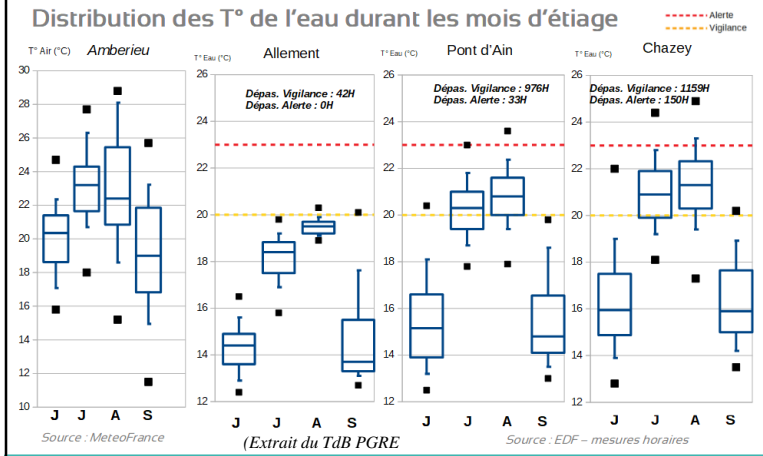
Méthode : Constitution d'un tableau de bord : suivi de la thermie pour évaluer l'impact des actions au regard de l'année climatique (Pluviométrie, Bilan hydrique, etc) et des volumes économisés / substitués

Difficultés / Perspectives :

- Les variations de températures multifacteurs : difficile d'observer un impact direct des actions.
- Besoin de suivi long terme pour interpréter les variations annuelles

III. Évaluation de prog. d'actions

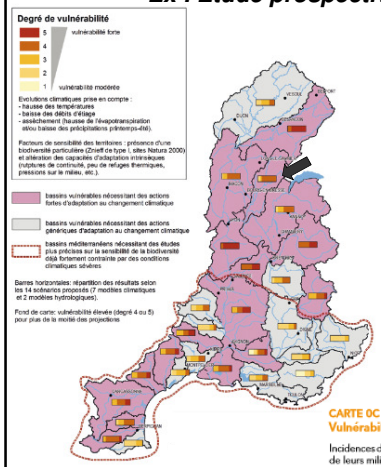
Ex : Suivi des actions d'un PGRE



(Extrait du TdB PGRE 2018)

IV. Planification

Ex : Etude prospective – Changement climatique



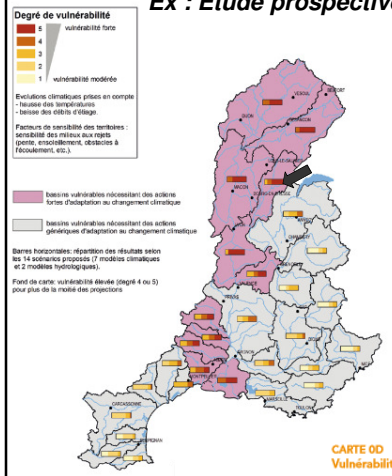
Contexte et objectifs :
Etude prospective :
1. envisager les impacts des changements globaux sur l'eau et les milieux aquatiques
2. dégager les actions d'adaptation les plus pertinentes pour le territoire

(Extrait du SDAGE Rhône Mediterranée 2016 - 2021)

CARTE 0C
Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu biodiversité
Incidences du changement climatique sur l'aptitude des territoires à conserver la biodiversité remarquable de leurs milieux aquatiques et humides

IV. Planification

Ex : Etude prospective – Changement climatique



Contexte et objectifs :
Etude prospective :
1. envisager les impacts des changements globaux sur l'eau et les milieux aquatiques
2. dégager les actions d'adaptation les plus pertinentes pour le territoire

(Extrait du SDAGE Rhône Mediterranée 2016 - 2021)

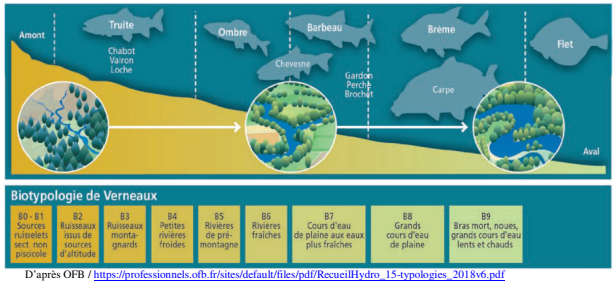
CARTE 0D
Vulnérabilité au changement climatique pour l'enjeu niveau trophique des eaux

IV. Planification

Ex : Etude prospective – Changement climatique

Moyens : Se doter de séries temporelles pour évaluer des effets long terme comme le changement climatique et anticiper les évolutions.

Perspectives : Adapter les modes d'aménagement aux évolutions biotypologiques



D'après OFB / https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RecueilHydro_15-typologies_2018v6.pdf

Conclusion / Bilan

Bilan :
Les stations multiparamètres (EDF) sur la BVA sont bien exploitées (chroniques longues, mesures continues, données télétransmises)
Les autres moyens d'acquisition sont encore relativement peu exploités
→ En pratique, des stations mises en places mais pas toujours suivi (problème matériel, temps de collecte, etc.)
→ Complexité d'interprétation des variations de températures (Temps long, Multifacteur)

Besoin d'améliorer les connaissances aussi bien en terme :
- de variabilité temporelle (chroniques longues)
- de variabilité spatiale (cartographie IRT)

Le SR3A prévoit :
- de mettre en œuvre de nouveaux tests IRT
- d'uniformiser et redistribuer son réseau de stations

Conclusions de la matinée

Complémentarité des approches et des outils

Baptiste Marteau, UMR 5600 EVS, Florentina Moatar et Jérémy Piffady, INRAE

Conclusion : complémentarité des approches et des outils

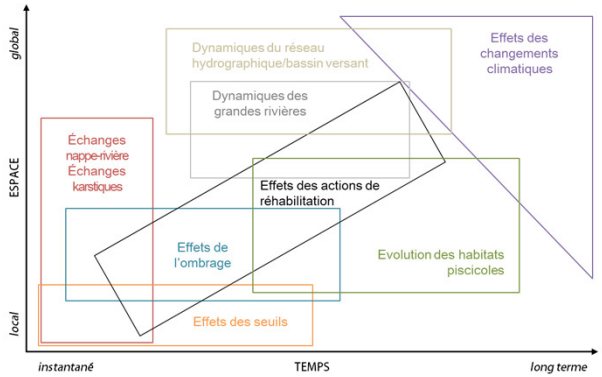
B. Marteau, F. Moatar, J. Piffady

EVS-UMR5600 et INRAE RiverLy

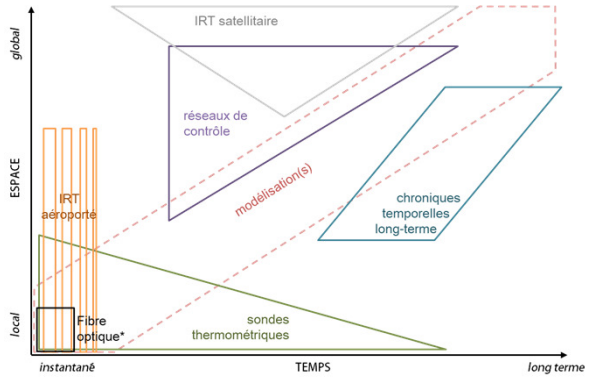
Réseaux coordinateurs

Partenaires

Des questions multi-échelles…

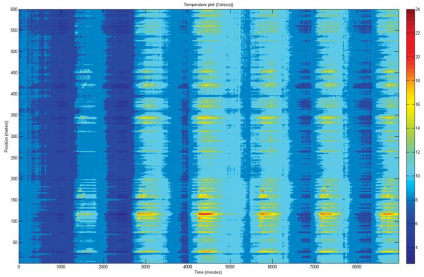


…et des outils modulables.



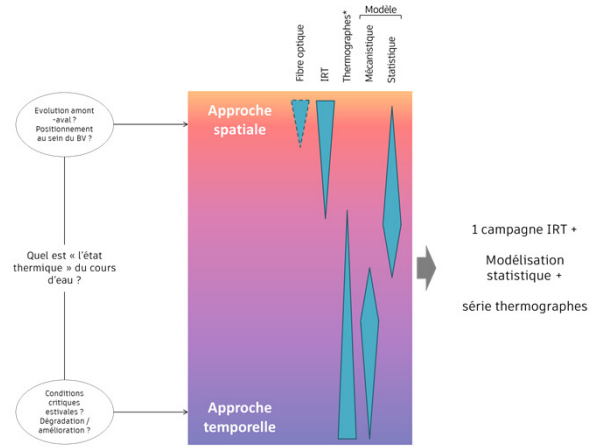
La fibre optique

- Objet de recherche uniquement
- Très locale, échelles spatiales et temporelles fines
- Compliquée à installer
- Traitement des données lourd

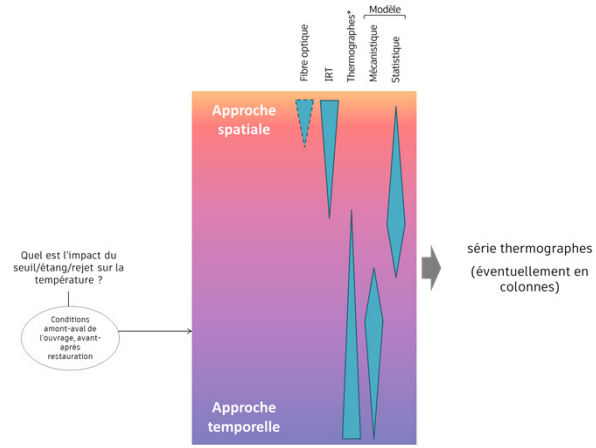


Tuffilaro et al., 2008. Am. Phys. Soc. 10.

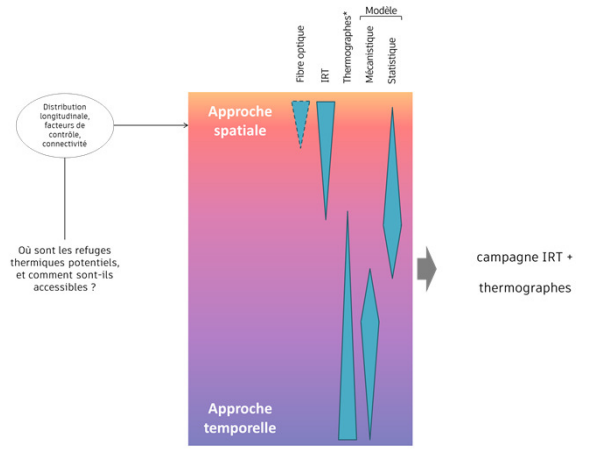
Exemple 1 : « état thermique »



Exemple 2 : effet local



Exemple 3 : refuges thermiques



Conclusion

- Différents outils : complémentaires (échelles différentes)
- ~~Une question = une solution~~
- Choix aussi motivé par des aspects logistiques, techniques et budgétaires (ex. complexité de mise en place et d'interprétation).
- Ateliers de l'après-midi → se familiariser avec le 3 outils principaux.

Cas concrets et manipulation des données de thermie

Les sondes de température : comment mettre en place son échantillonnage ?

Jérémy Piffady, INRAE

Les sondes de température : comment mettre en place son échantillonnage ?

Jérémy Piffady

INRAE - Riverly

Réseaux coordinateurs

Partenaires

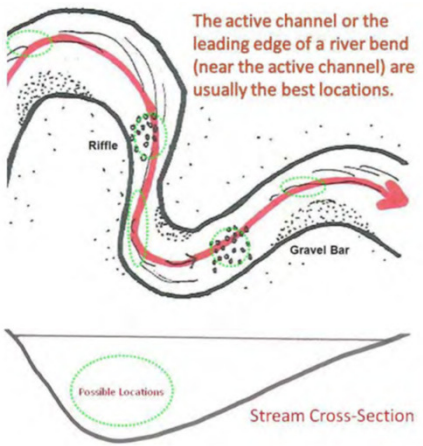
Pose des enregistreurs – cas 1

Pose des enregistreurs – cas 2

Pose des enregistreurs – cas 3

Pose des enregistreurs – cas 4

La pose des enregistreurs



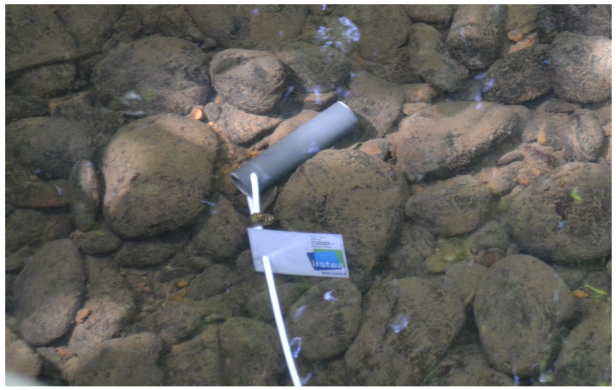
Principes de base :
- immersion permanente,
- mélange homogène
- fortes et faibles vitesses à éviter

Ward, 2011
Cercles en pointillés vert représentent des exemples de bon positionnement

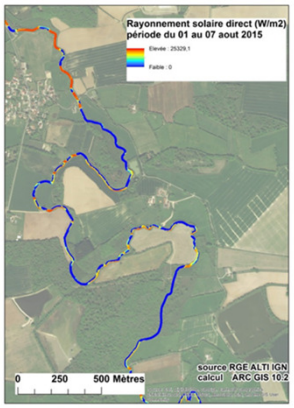
Pose des enregistreurs

- Quelles contraintes?
- Protection du matériel
  - chocs,
  - rayonnements infra rouge, (Johnson & Wilby, 2013)
- Ancrage
  - solide, discret
  - ajout d'un lest éventuellement
  - collage sur support fixe

Pose des enregistreurs



Effets de la présence de ripisylve

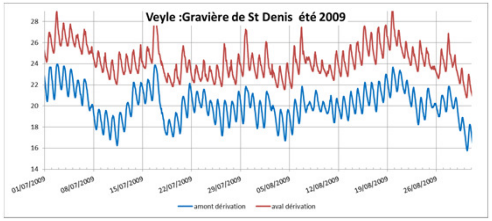


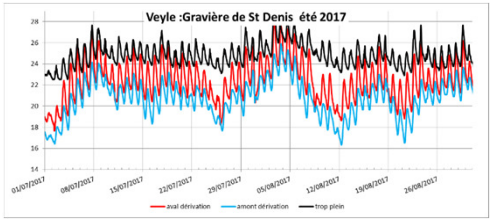
Effets de travaux de restauration

Effets de travaux de restauration

Effets de travaux de restauration

Effets de travaux de restauration

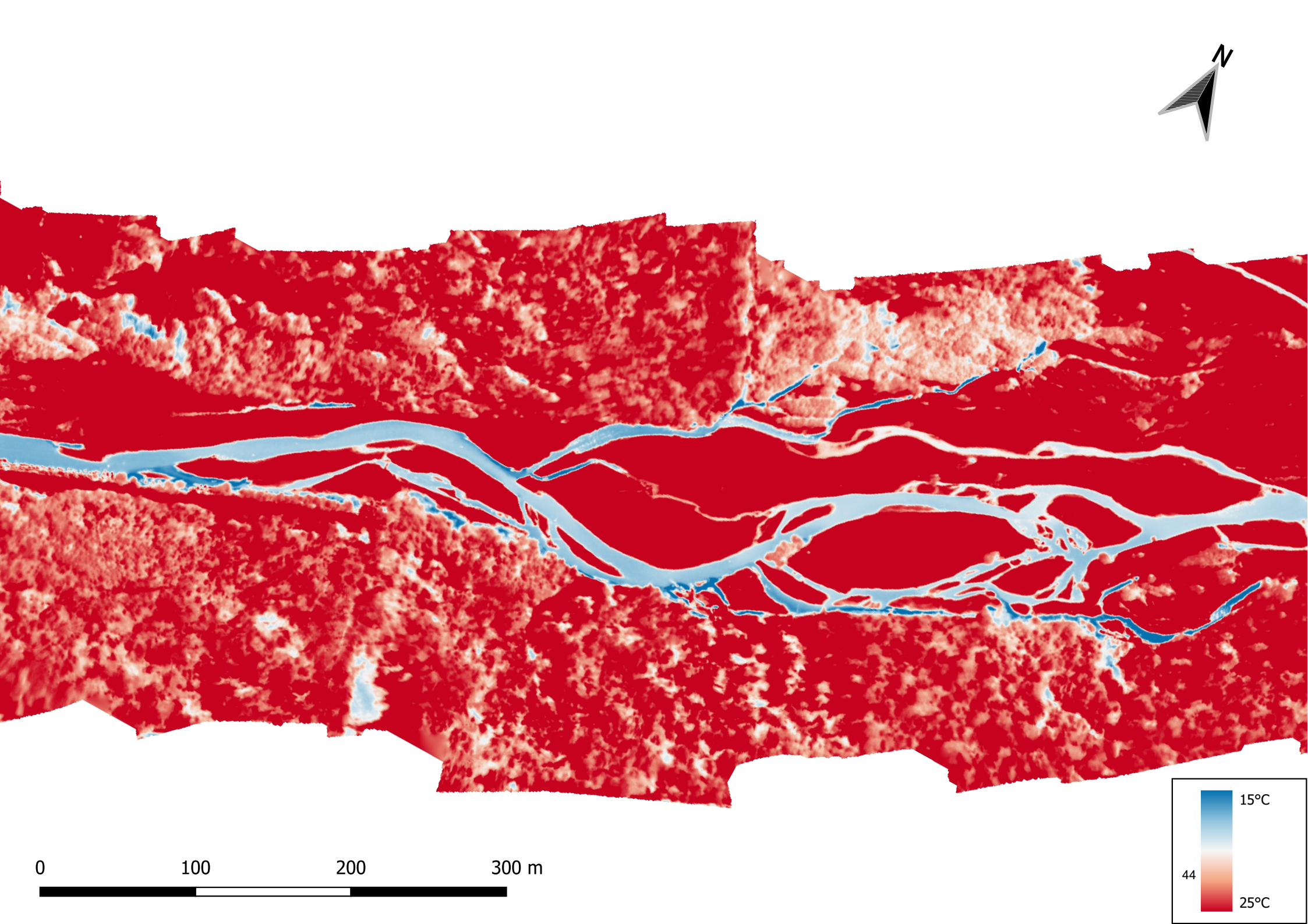




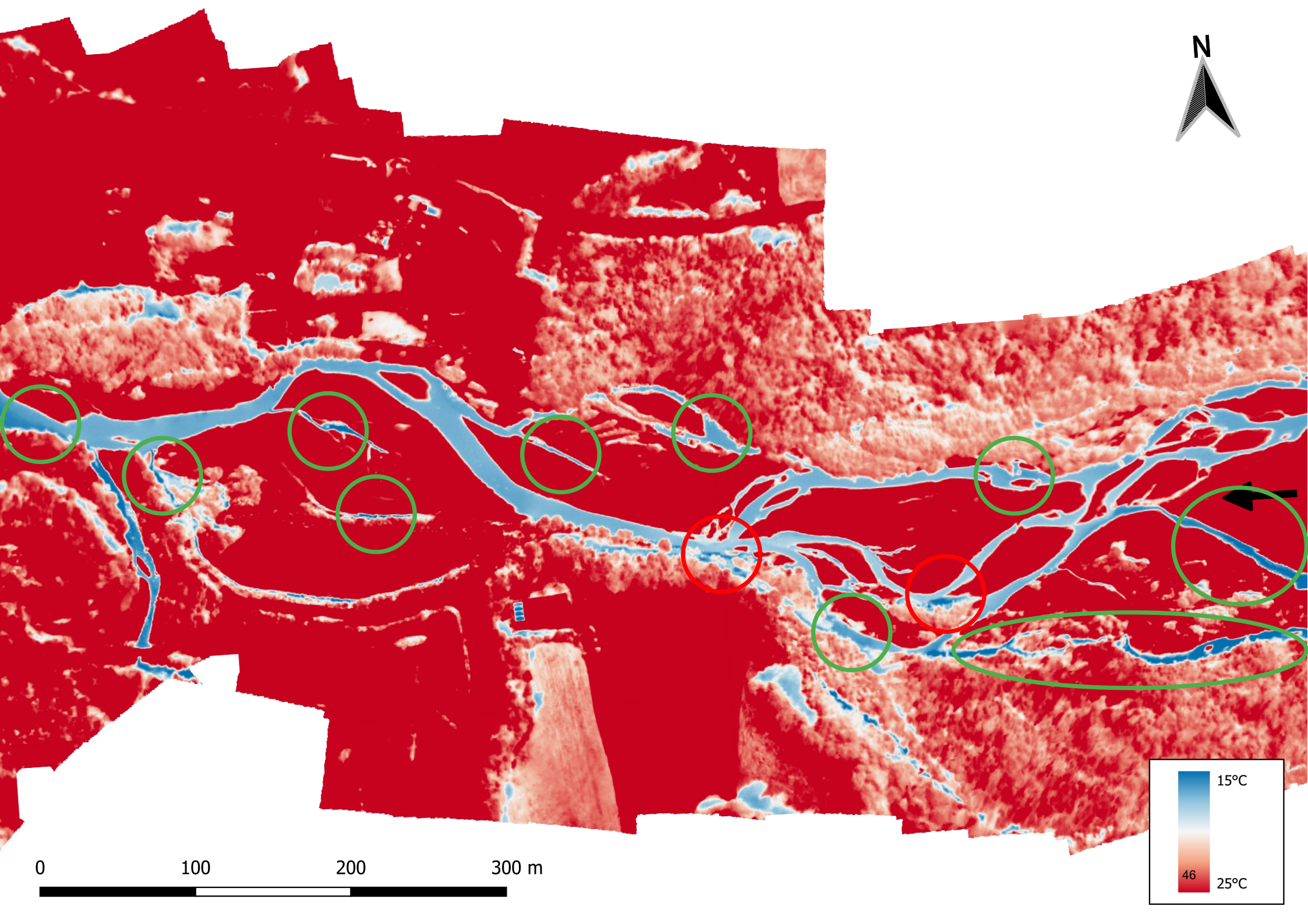
Cas concrets et manipulation des données de thermie

Imagerie thermique Aéroportée

Baptiste Marteau, UMR 5600 EVS


N
0
100
200
300 m
15°C
44
25°C

N
0
100
200
300 m


N
0
100
200
300 m
15°C
46
25°C

Zone Atelier
LTSER FRANCE BASSIN DU RHÔNE

graie

Campus LyonTech la Doua
66 bd Niels Bohr – CS 52132
F-69603 Villeurbanne Cedex
Tel : 04 72 43 83 68 – Fax : 04 72 43 92 77
e-mail : asso@graie.org - www.graie.org