

SIG 2011
CONFÉRENCE FRANCOPHONE ESRI
5 & 6 OCTOBRE - VERSAILLES

Apport de l'imagerie infrarouge thermique (IRT) satellite pour évaluer la température du Rhône sur un linéaire de 500 km.

Wawrzyniak, V.¹, Piégay, H.¹

¹Université de Lyon, CNRS-UMR 5600 EVS, ENS de Lyon, Plateforme ISIG
15, Parvis René Descartes, BP 7000, 69343 Lyon Cedex 07, France
Téléphone: +33437376665; e-mail: vincent.wawrzyniak@gmail.com



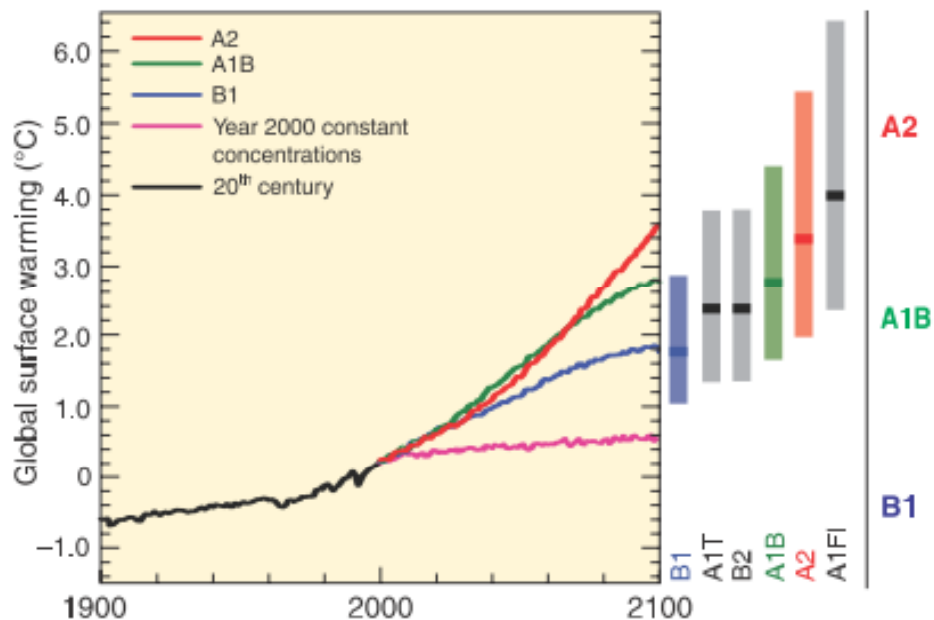
Pourquoi la température de l'eau ?

Température : paramètre clef pour les écosystèmes aquatiques (Vannote et al., 1980; Daufresne et al., 2003; Caissie, 2006; Acuña & Tockner, 2009...)

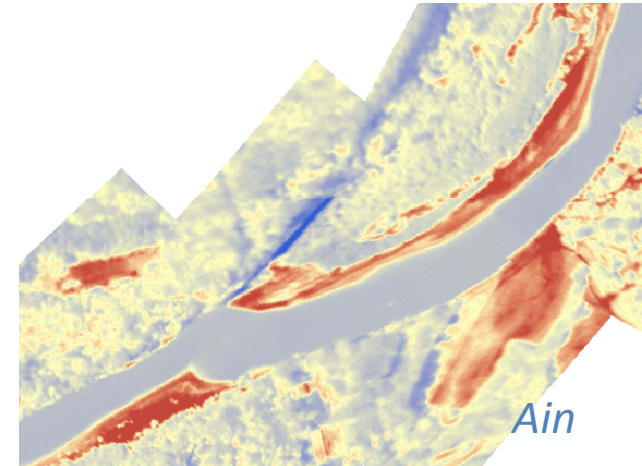
Température : longtemps peu étudiée par rapport à l'hydrochimie (Webb et al., 2008)

Regain d'intérêt :

- Changement climatique
- Nouveaux thermomètres programmables
- Télédétection infrarouge thermique (IRT)



GIEC,
2007



Source : vemco.com

Et celle du Rhône ?

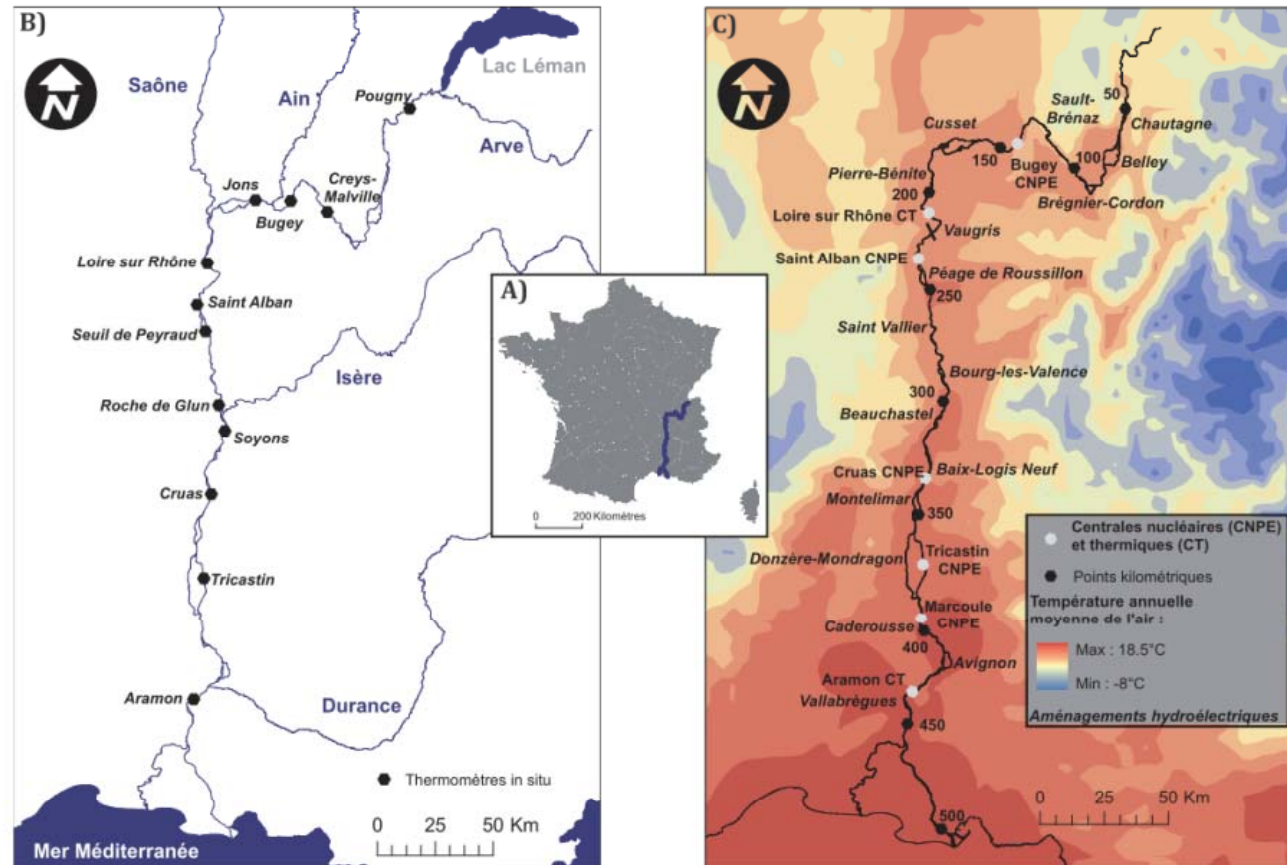
Peu de connaissances sur la température des grands fleuves

Depuis 1977 : **12 stations** T° *in situ* (EDF) : mais **infos locales**

But : Évaluer les structures thermiques du Rhône entre 1999 et 2009 en utilisant des images thermiques Landsat ETM+ (83 dates)

Objectifs :

- Évaluer les effets thermiques des sources ponctuelles (affluents principaux et Centres Nucléaires de Production Électrique (CNPE))
- Estimer les impacts thermiques des aménagements hydro-électriques



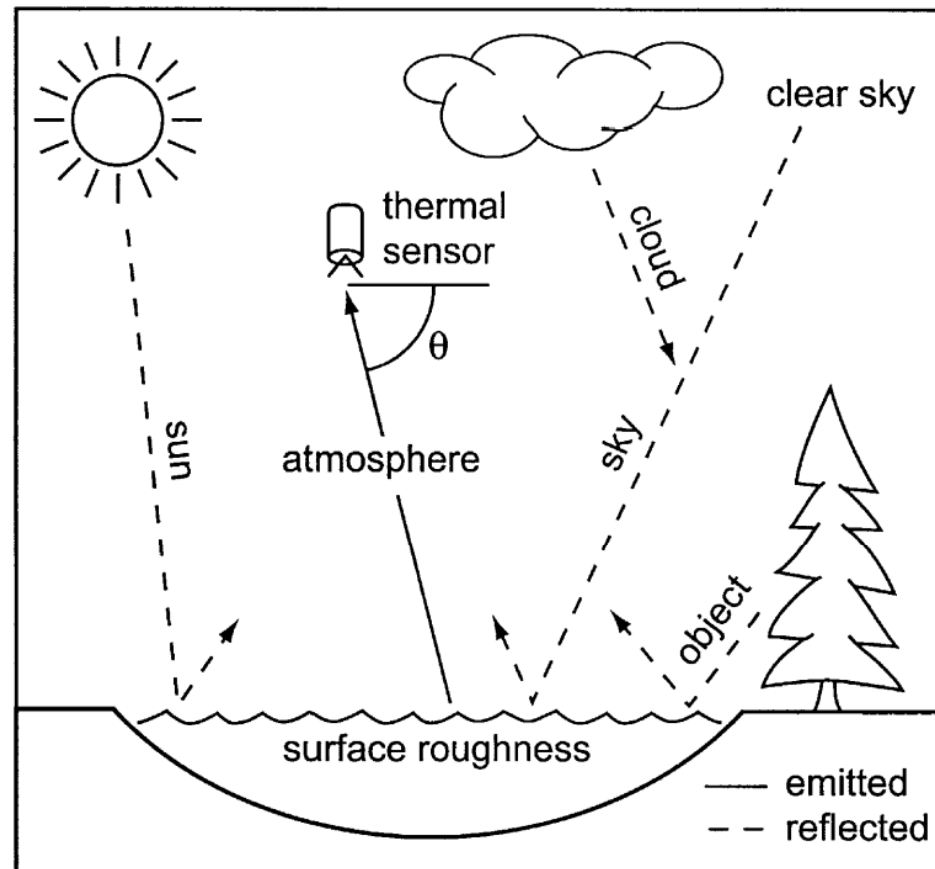
Imagerie infrarouge thermique (IRT) et rivières

Surface de l'eau → Radiations IRT (3-5 & 8-14 μm)

Mesure avec capteurs & conversion en température (loi de Planck)

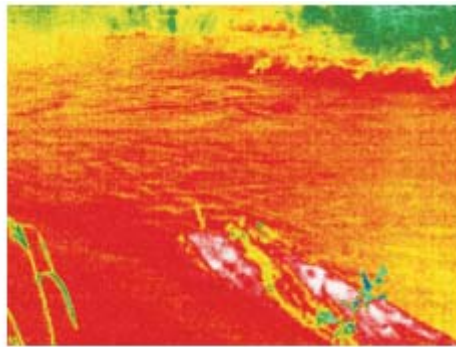
Utilisation IRT : rivières

- Radiations réfléchies
- Angle d'observation
- Rugosité eau
- Précision...

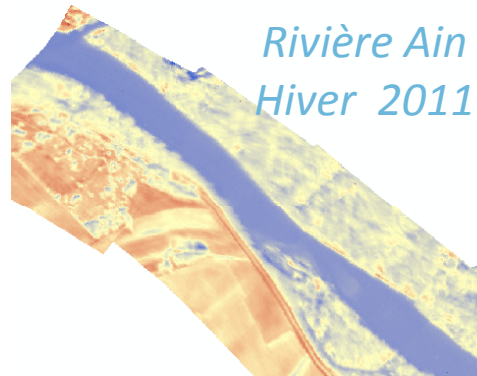


Torgersen et al. (2001)

Imagerie infrarouge thermique (IRT) et rivières

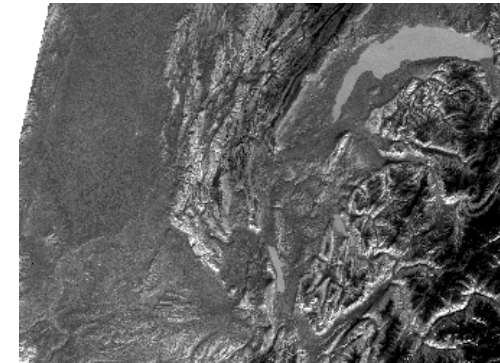


Cardenas et al., 2008



*Rivière Ain
Hiver 2011*

Landsat Hiver 1999



E c h e l l e

Sol

Cardenas et al., 2008;
Dunkel et al., 2009; Tonolla
et al., 2010

Aérienne

Atwell et al., 1971; Torgersen
et al., 1999; Torgersen et al.,
2001; Loheide & Gorelick,
2006; Cristea & Burges,
2009...

Satellite

Cherkauer et al., 2005; Kay et
al., 2005; Handcock et al., 2006

Landsat:

- accès gratuit
- images tous les 16 jours
- résolution spatiale de 60 m (240 m Landsat 5)

Limites spatiales, temporelles & économiques

Landsat 7 & ETM+



Depuis Avril 1999, Révolution de 16 jours

Accès gratuit

Amélioration résolution thermique : 240 m
avec Landsat 5

Bande	Spectre	Résolution
TM1	0.45-0.5 μm : bleu	30 m
TM2	0.52-0.6 μm : vert	30 m
TM3	0.63-0.69 μm : rouge	30 m
TM4	0.75-0.9 μm : IR proche	30 m
TM5	1.5-1.7 μm : IR moyen	30 m
TM6	10.4-12.5 μm : IR thermique	60 m
TM7	2.08-2.35 μm : IR moyen	30 m
TM8	0.52-0.9 μm : panchro	15 m

Images thermiques ETM+

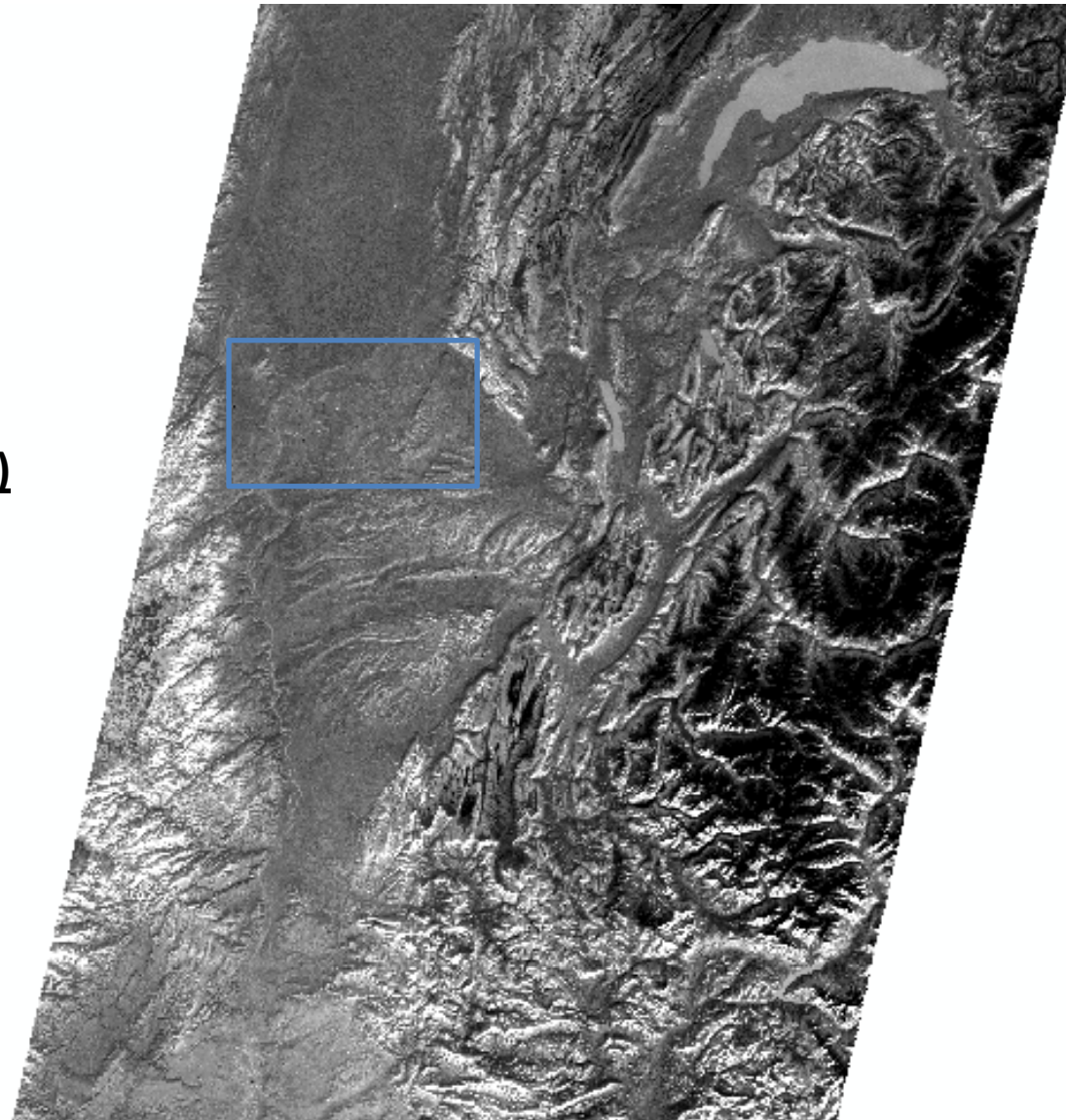
TM6 : IRT

11h20 (heure locale)

7 Décembre 1999

Noir : froid

Blanc : chaud

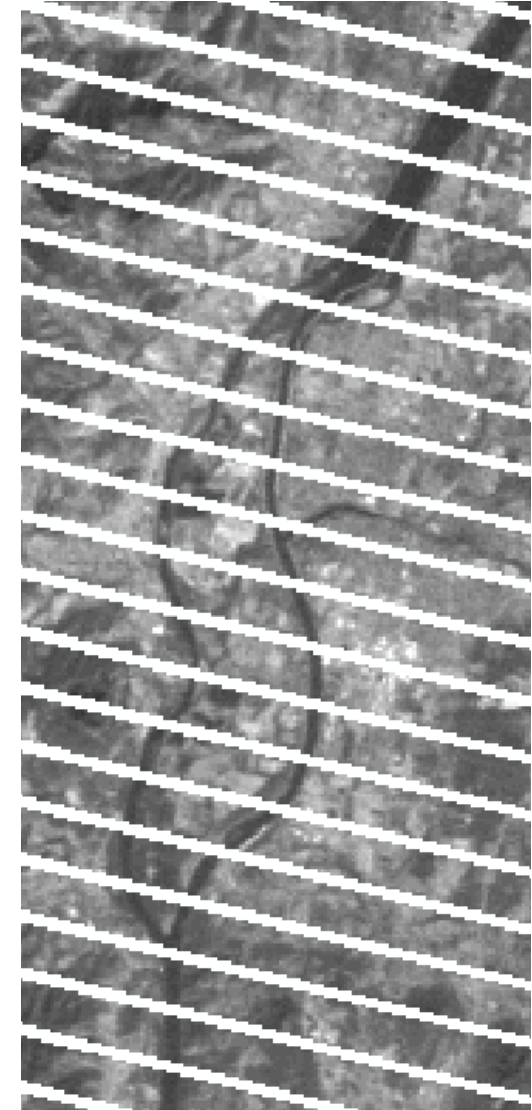
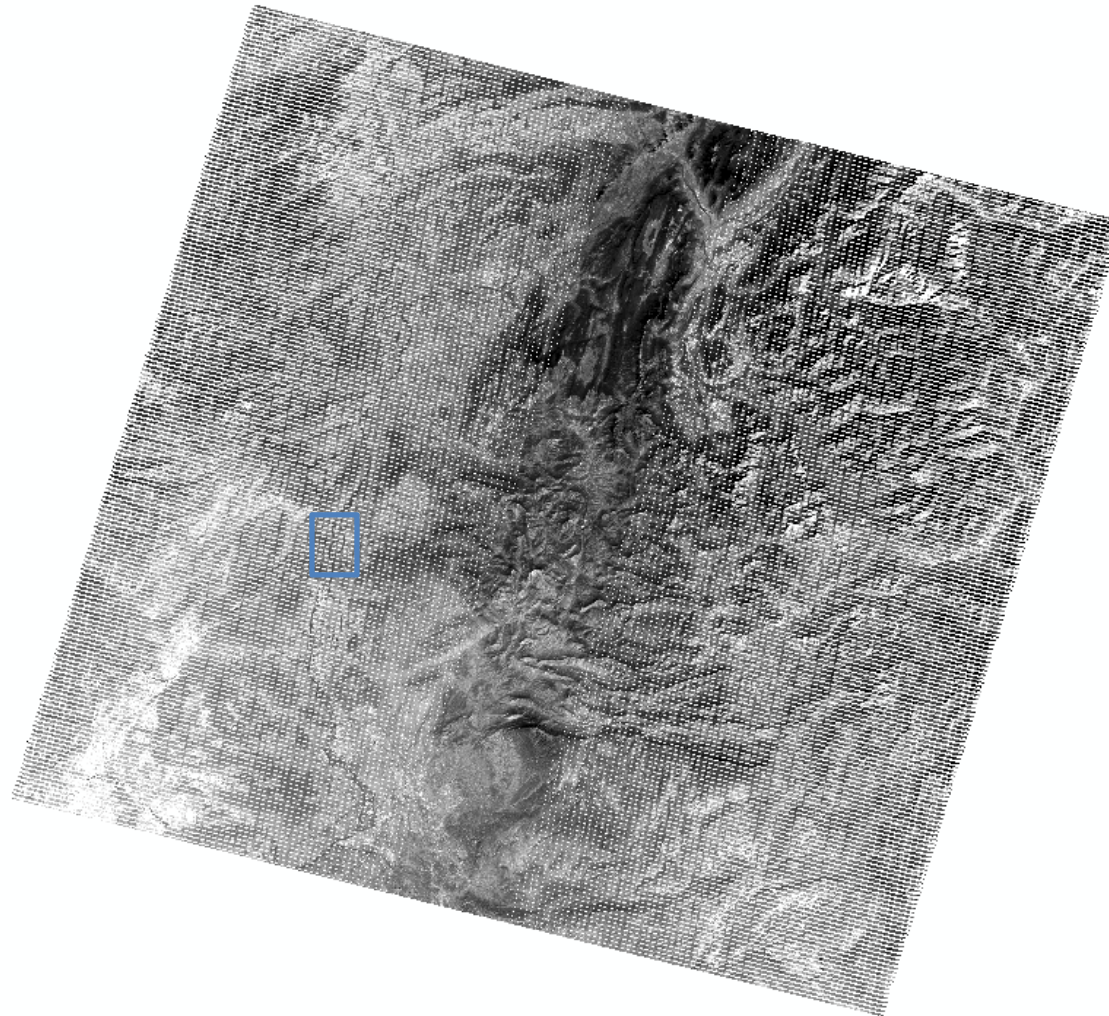


Images thermique ETM+



Images thermique ETM+

31 Mai 2003 : incident Satellite : NoData



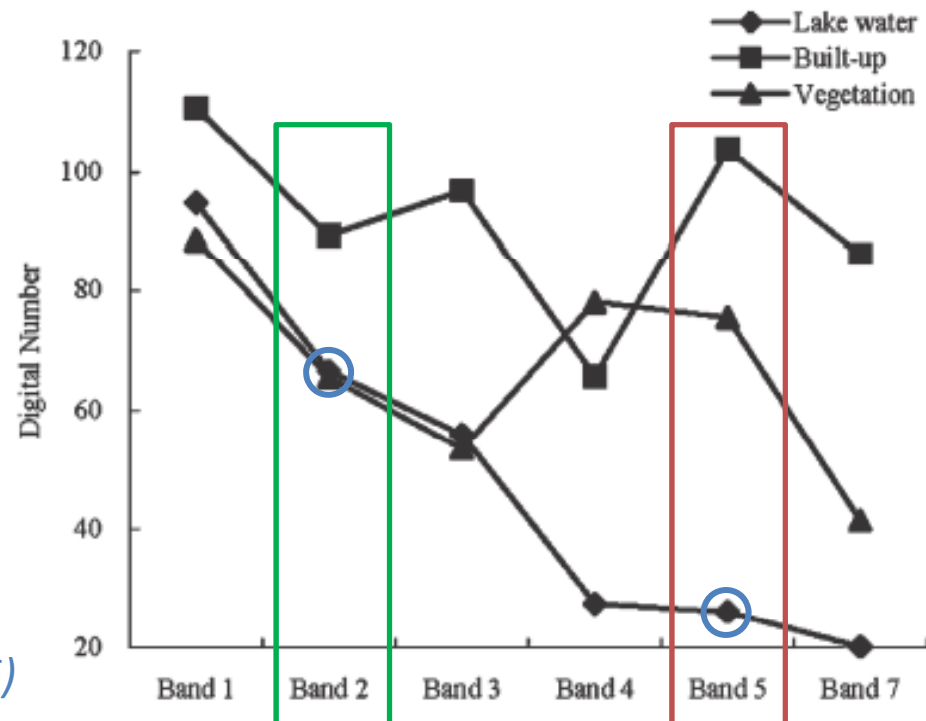
Identification de l'eau

$$MNDWI = \frac{Vert - MIR}{Vert + MIR}$$

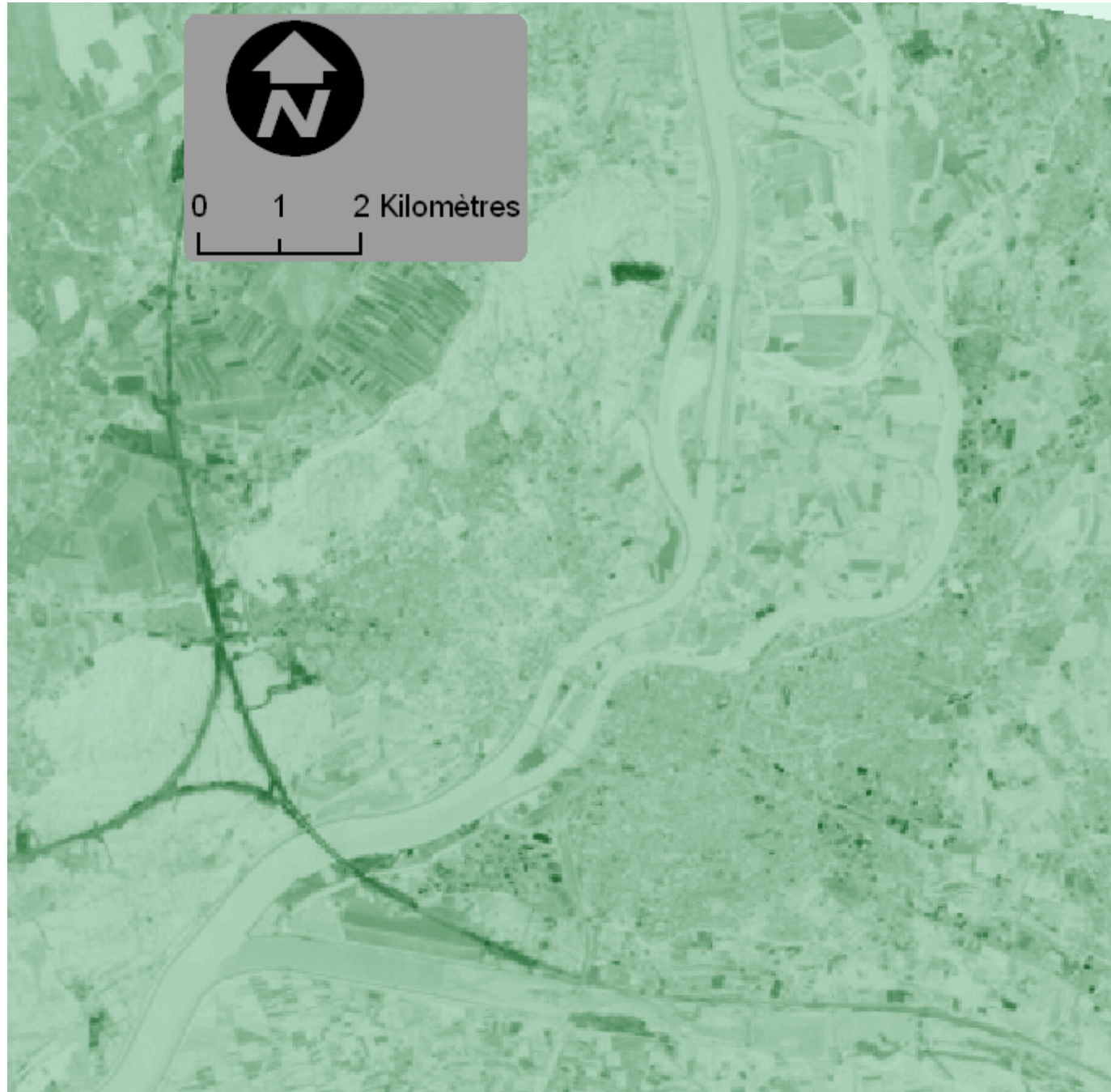
(Xu Hanqui, 2006) basé sur l'indice de McFeeters (1996).

L'eau réfléchit plus le
VERT que le **MIR**
contrairement au bâti et à
la végétation

Xu Hanqui (2006)



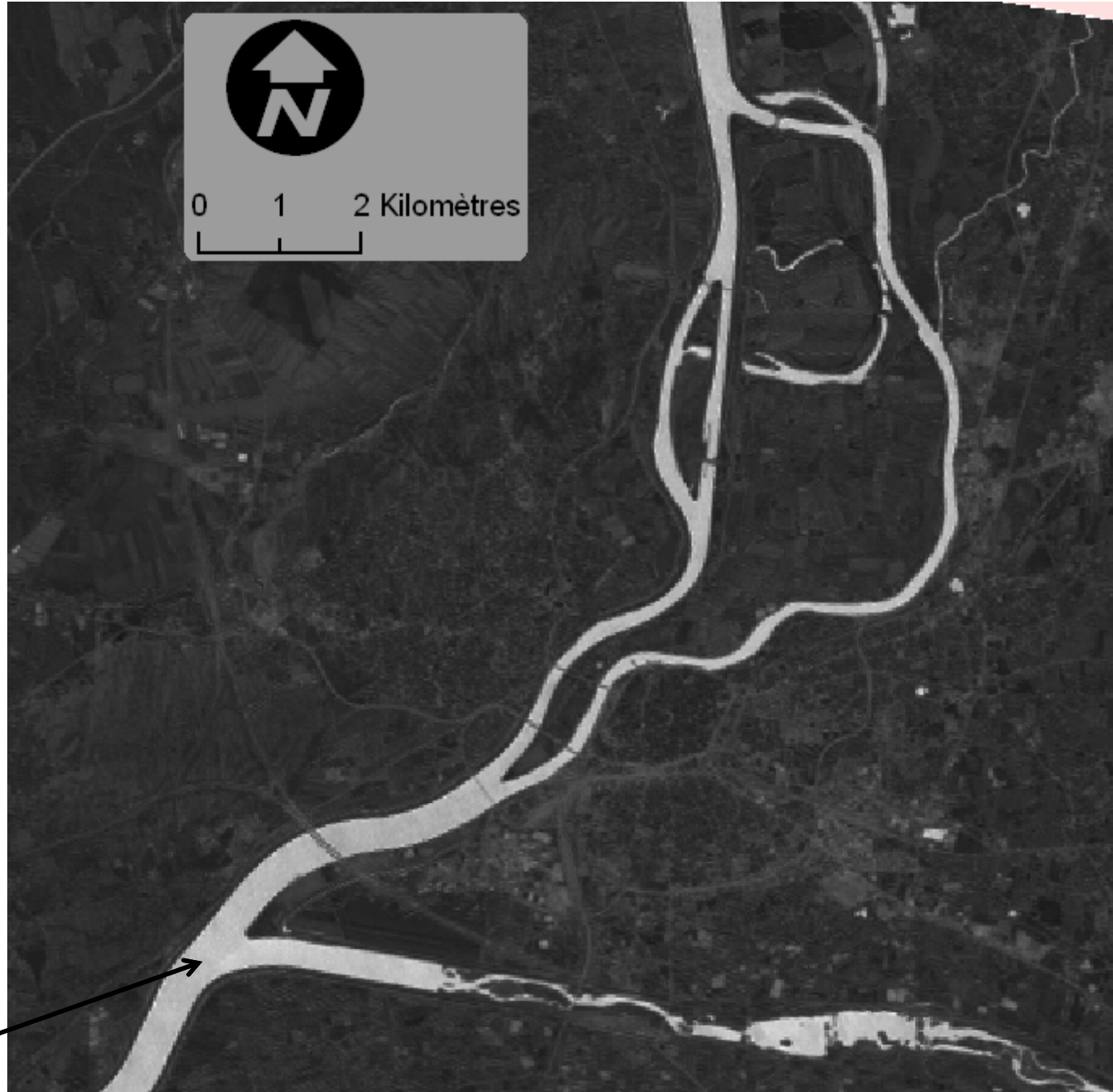
VERT



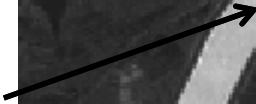
MIR



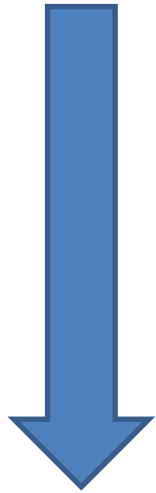
MNDWI



Blanc > 0



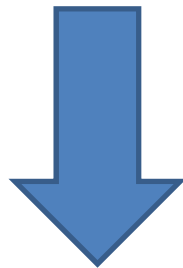
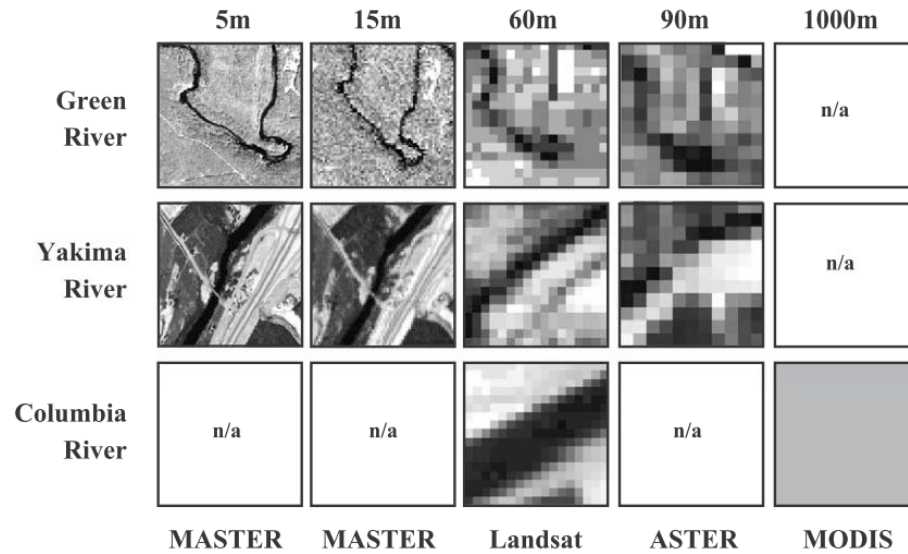
MNDWI > 0



Pixels eau
« mixés »



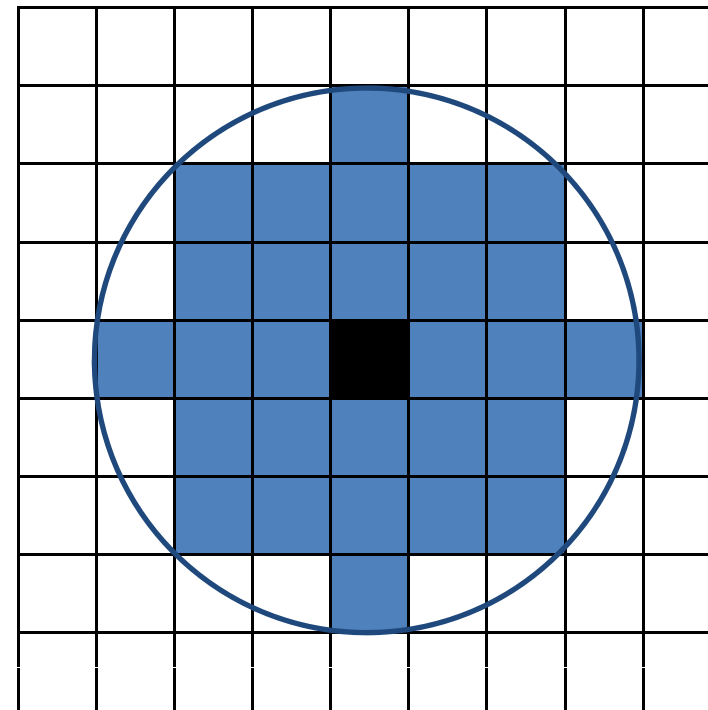
IRT : **3 pixels** de large (Handcock et al., 2006)



Landsat ETM+ : **180 m**

Test des 28 voisins

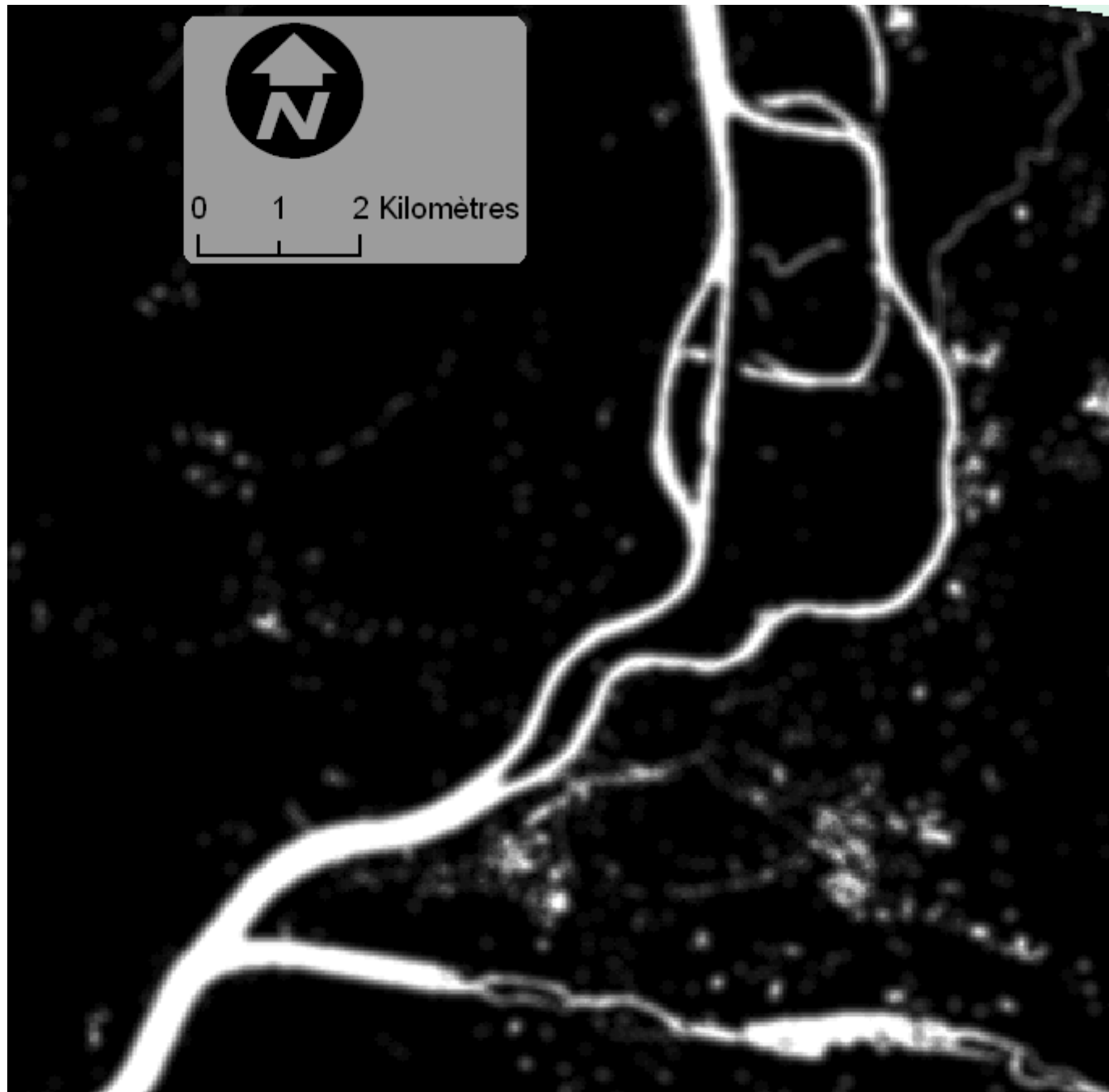
210 m



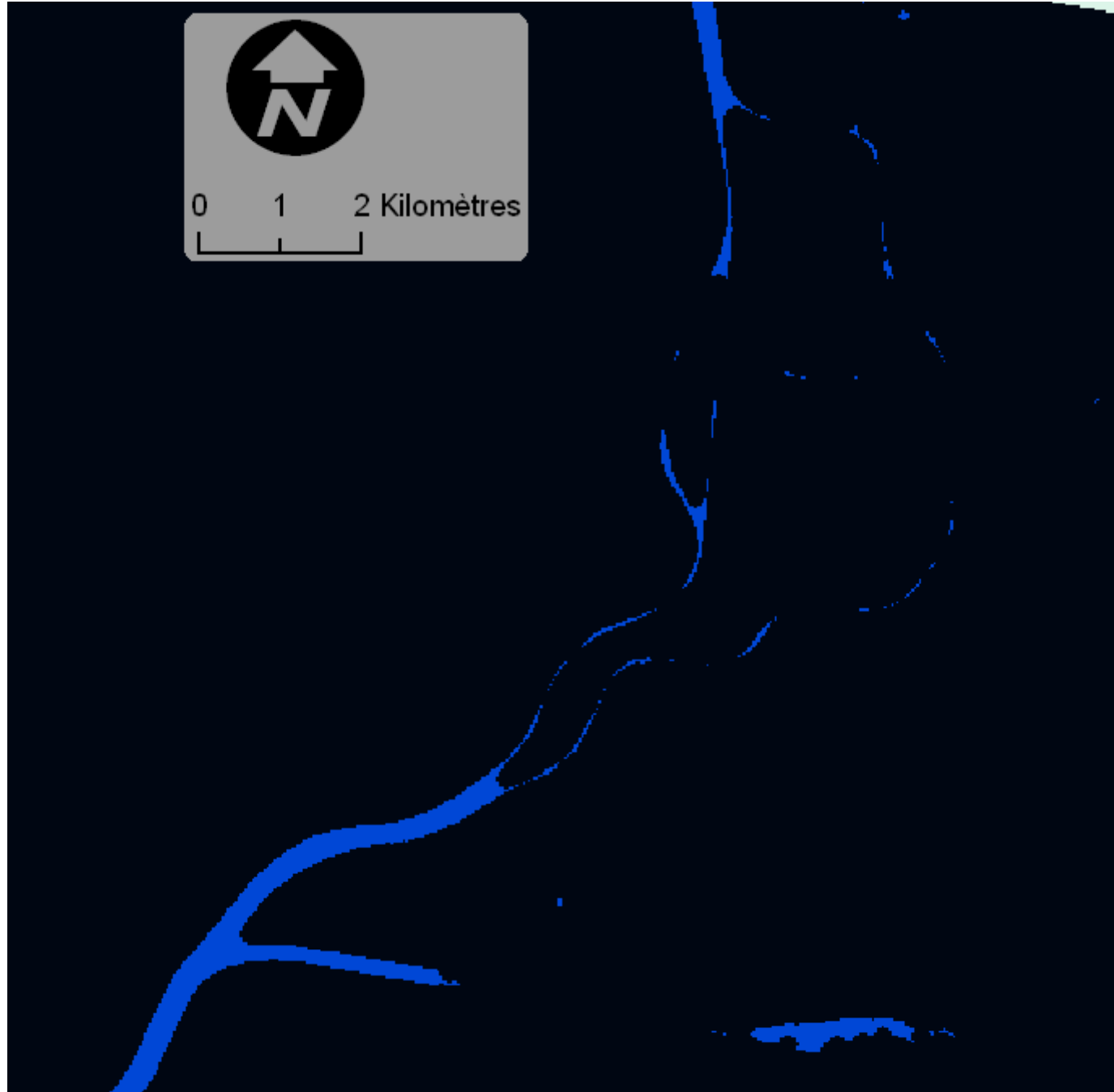
MNDWI > 0



Voisinage

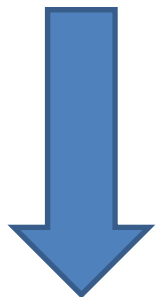


28 voisins en eau

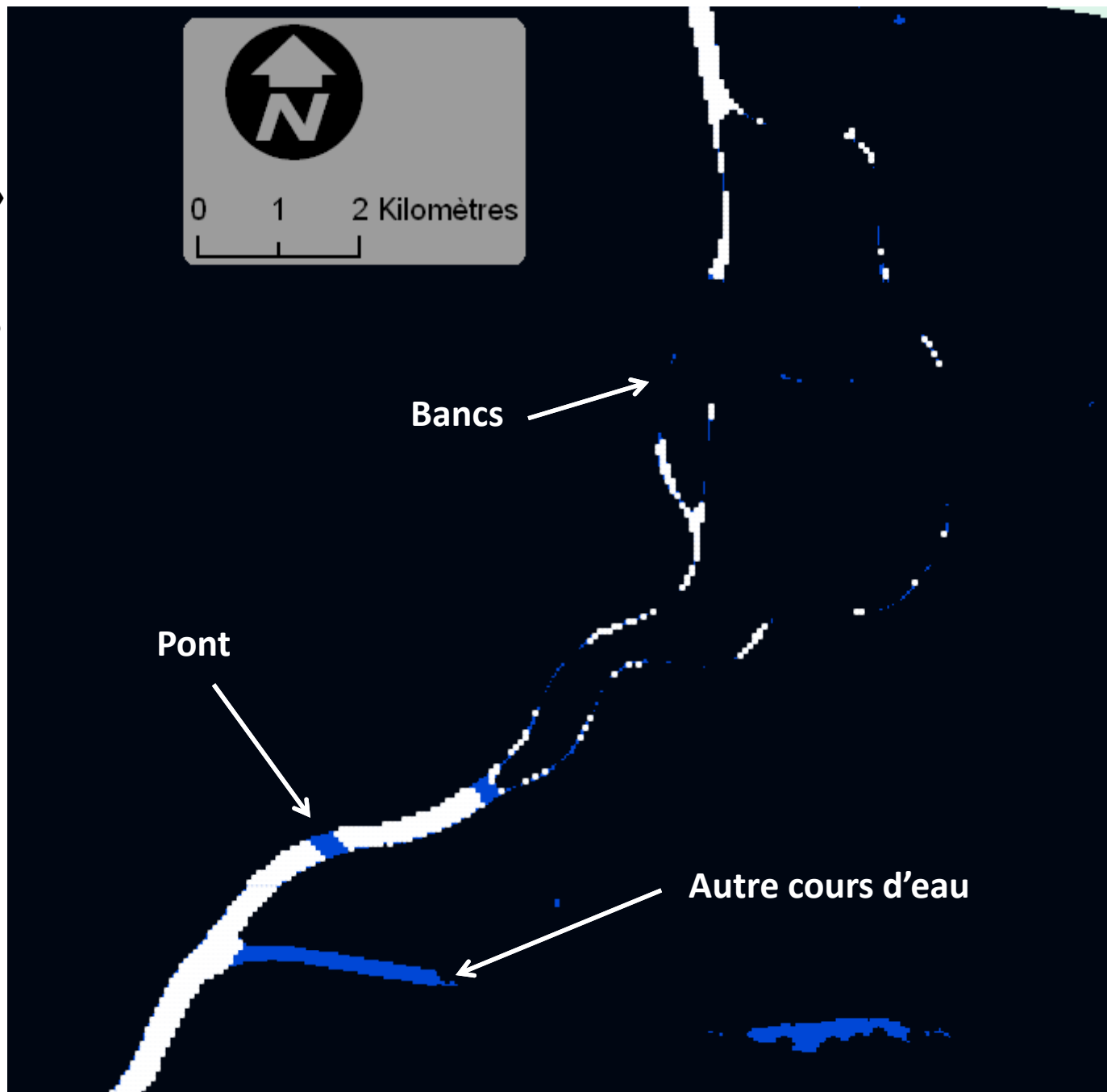


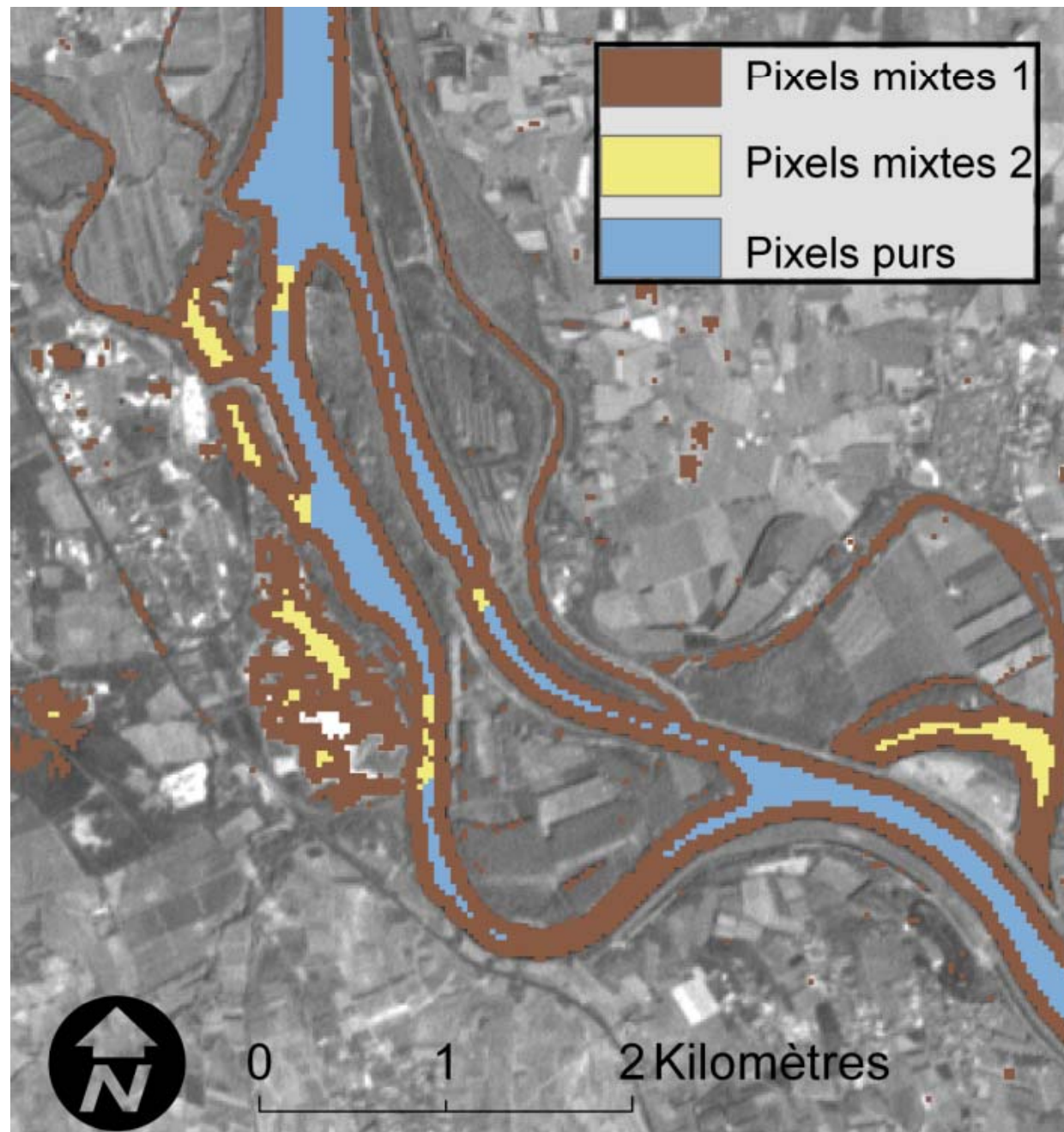
« Nettoyage »
Shapes

BD Carthage®
+
BD Ortho®



Pixels eau
« purs »





Calcul de la température

Radiance :

$$L_{\lambda} = ((LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}) / (QCALMAX - QCALMIN)) \times (\overset{\text{DN}}{\uparrow} QCAL - QCALMIN) + LMIN_{\lambda}$$

Température :

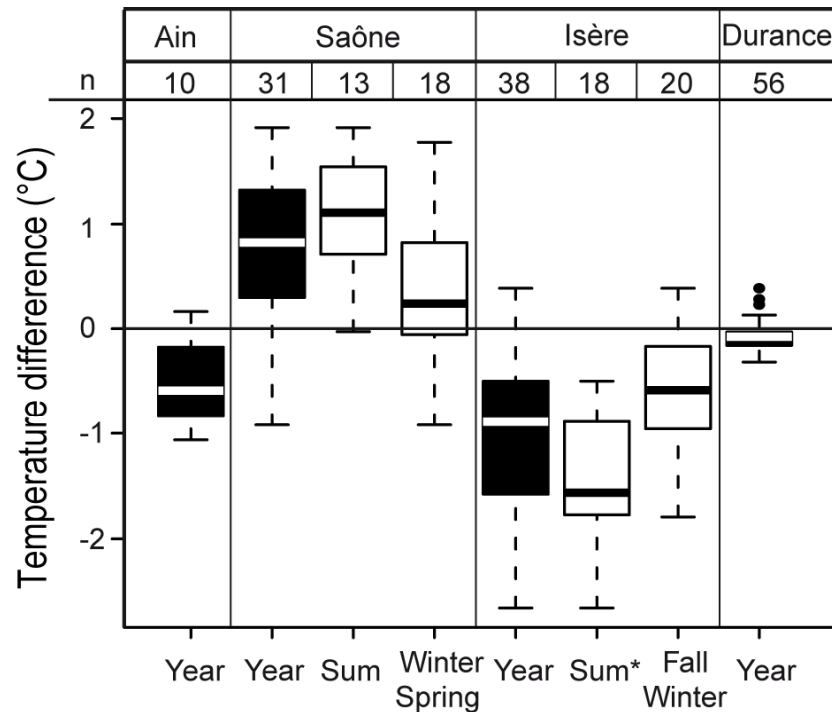
$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)} \quad \text{Landsat handbook}$$

Utilisation TM61 (meilleure précision que TM62)

Précision (NE Δ T) = 0.22°C à 7°C (Chandler et al., 2009)

Pas de corrections atmosphériques (variations locales de T°)

Sources ponctuelles : affluents et CNPEs



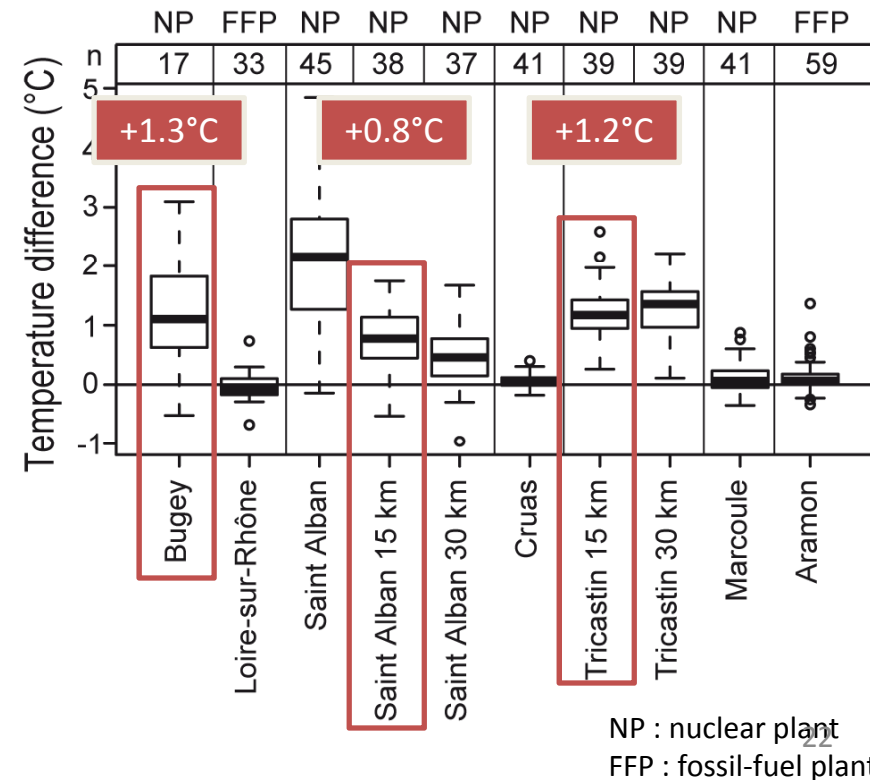
☐ **Isère**: source d'eau froide

☐ **Saône**:

- Source d'eau chaude l'été
- Mauvaise représentativité des données satellites durant l'hiver (nuages)

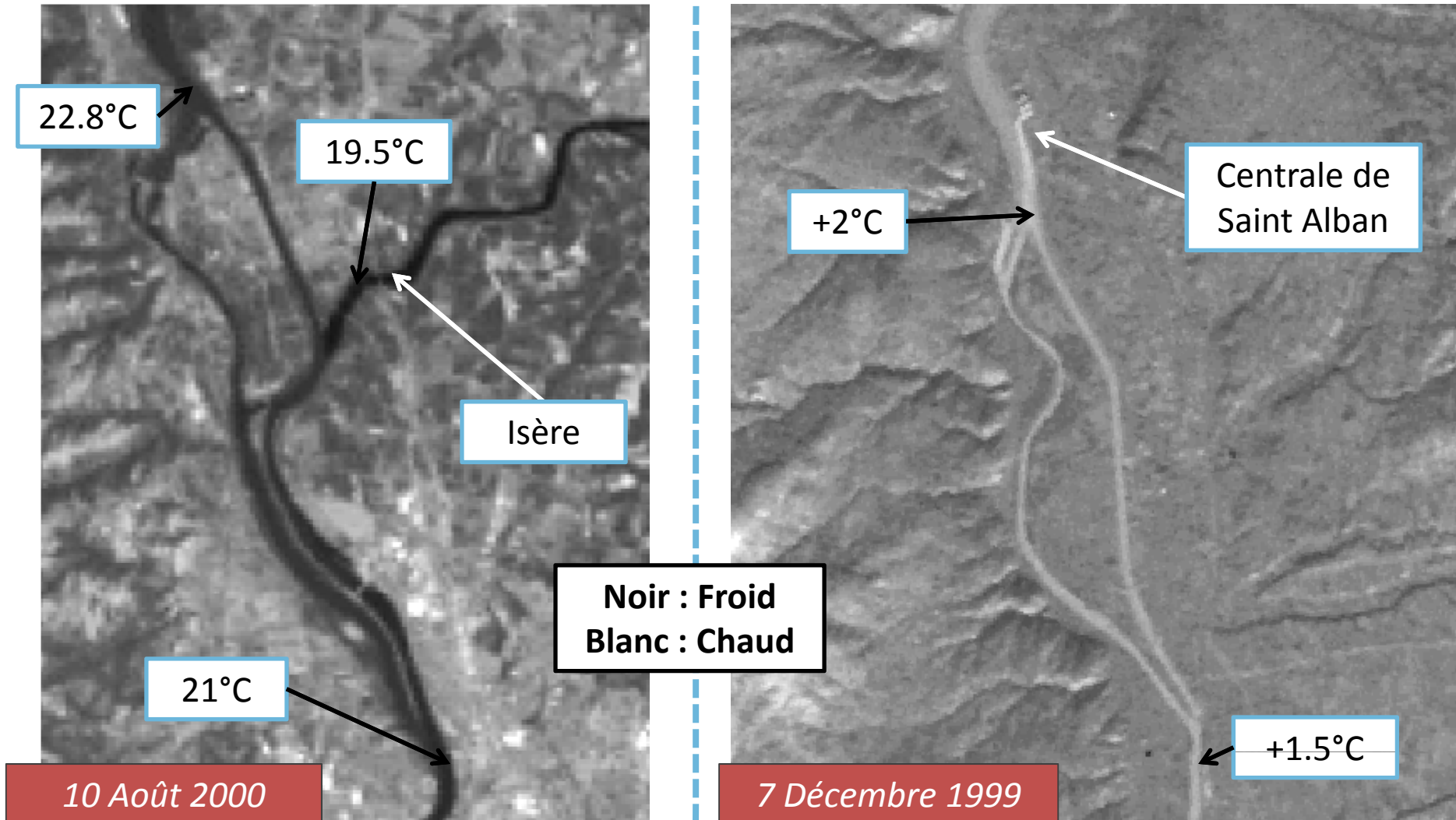
☐ Confirmation des calculs théoriques (Poirel, 2004)

☐ **Débit** : impacts forts des centrales nucléaires pour les conditions d'été

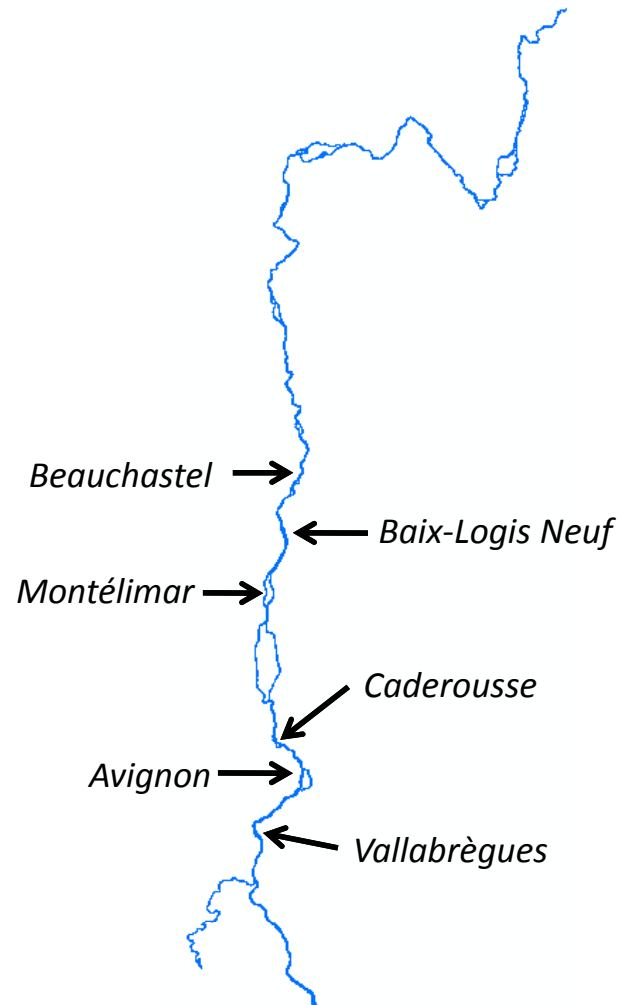


Isère

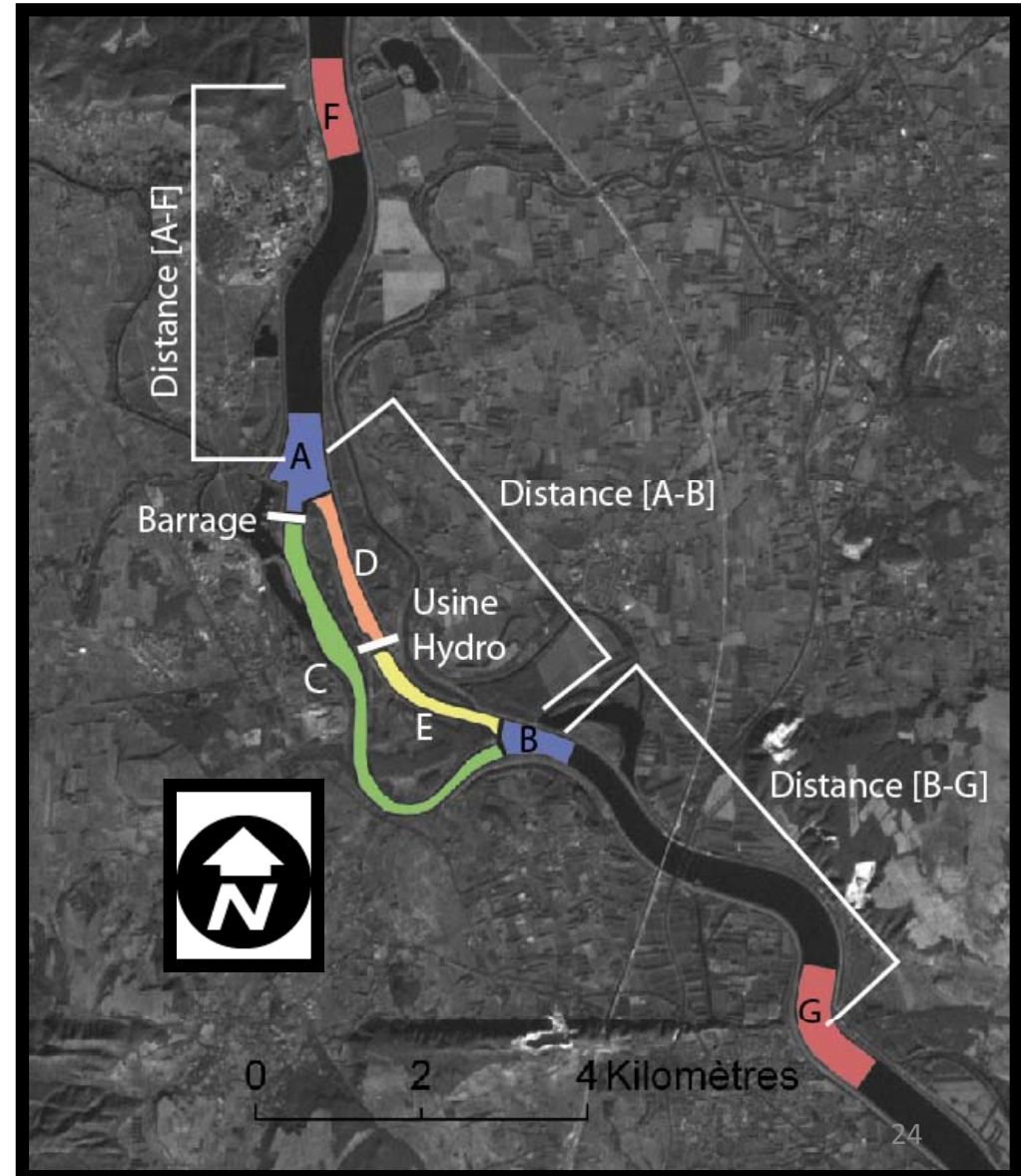
Panache CNPE



Aménagements hydroélectriques

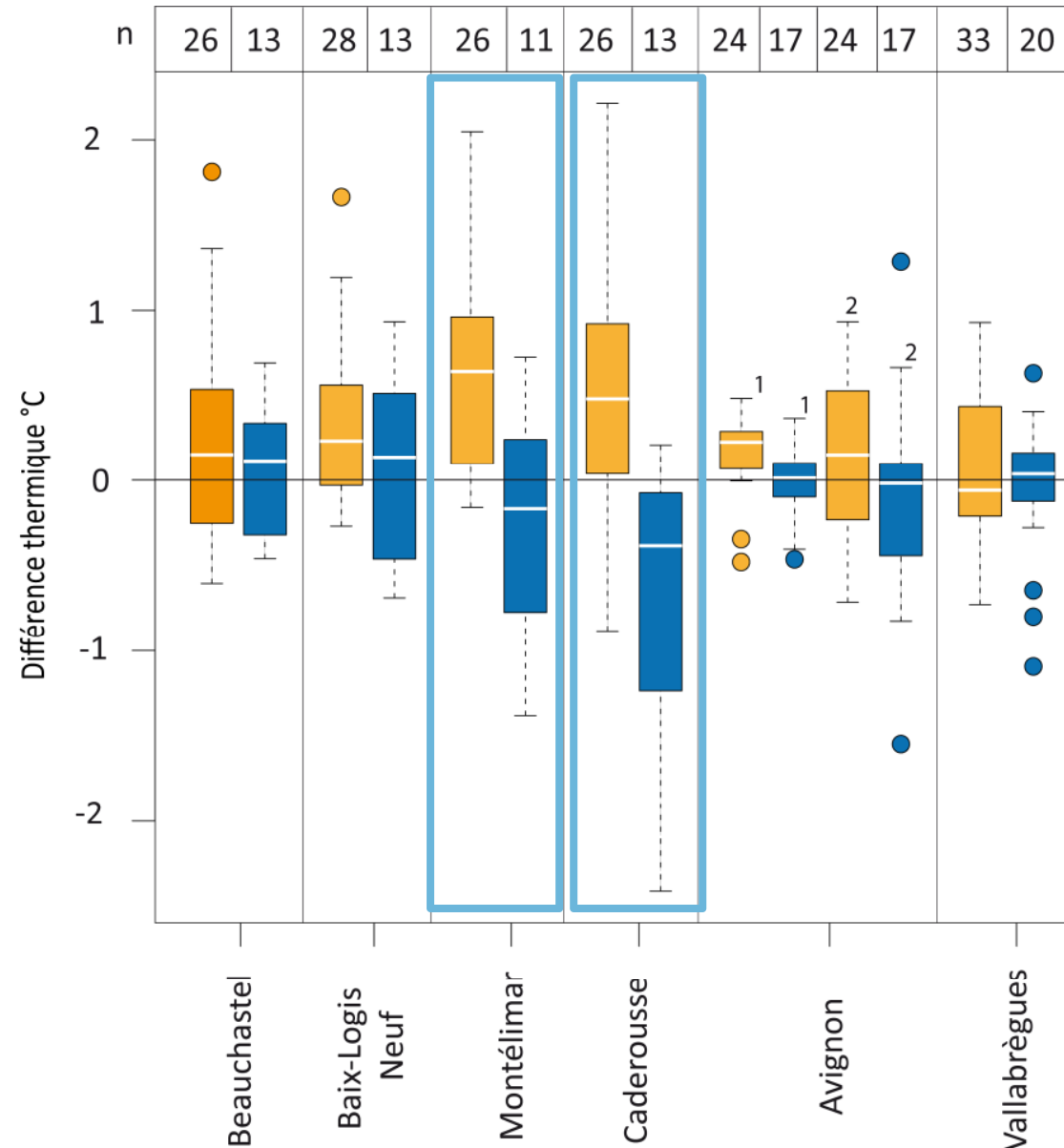


Caderousse



Aménagements hydroélectriques

- Différences thermique entre le RCC et le canal:
 - >0 : RCC + chaud que canal
 - <0 : RCC + froid que canal
- Variations saisonnières
- Montélimar et Caderousse



Aménagements hydroélectriques

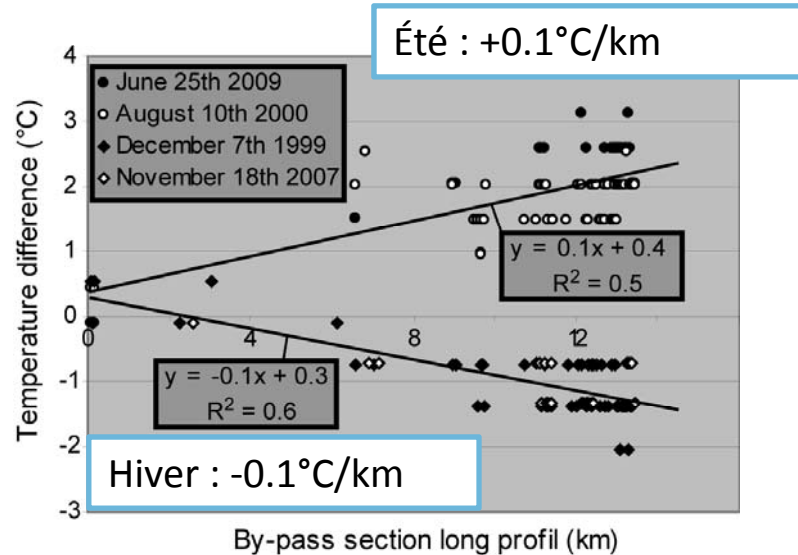
Montélimar

23.4°C

Q réservé :
15 to 60
m³/s

22.0°C

10 Août
2000



Caderousse

10 Août
2000

La Cèze
(Q moyen
: 18 m³/s)

22.6°C

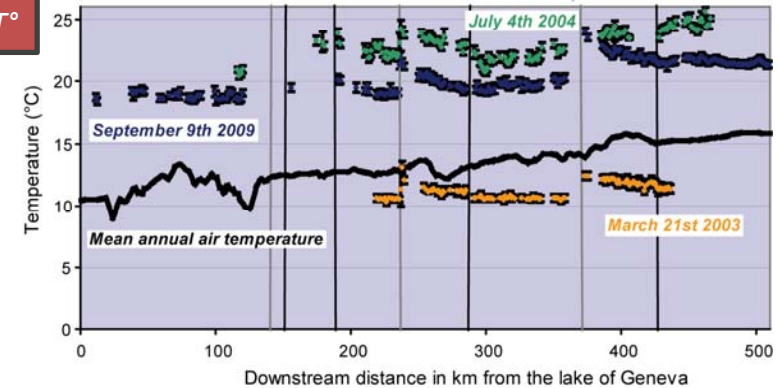
23.4°C

Q réservé
: 5 m³/s

- Longueur du RCC & Q réservé influencent les échanges Eau-Air et donc la T°
- Les affluents peuvent avoir un impact thermique pour les faibles Q réservés
- Heure de l'image (matin)

Structures thermiques

Profils
longitudinal de T°



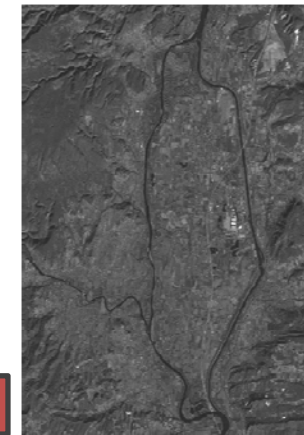
E
c
h
e
l
l
e

□ Échelle régionale :

- Affluents, CNPEs, Lac Léman, Température de l'air
- Pas d'effet des aménagements hydroélectriques

□ Échelle du tronçon :

- RCCs plus sensibles à la température de l'air que les canaux (Poirel, 2004)
- Longueur du RCC et Q réservé
- Affluents et rapports de Q
- Autres aménagements



Aménagement de Donzère-Mondragon

□ Échelle locale :

- Hétérogénéité thermiques (latérales) dans le RCC (apports phréatiques, hyporhéiques...)
- Importance écologique
- Meilleure résolution (1m)



Bras mort dans un RCC (J. Riquier)



Merci de votre attention

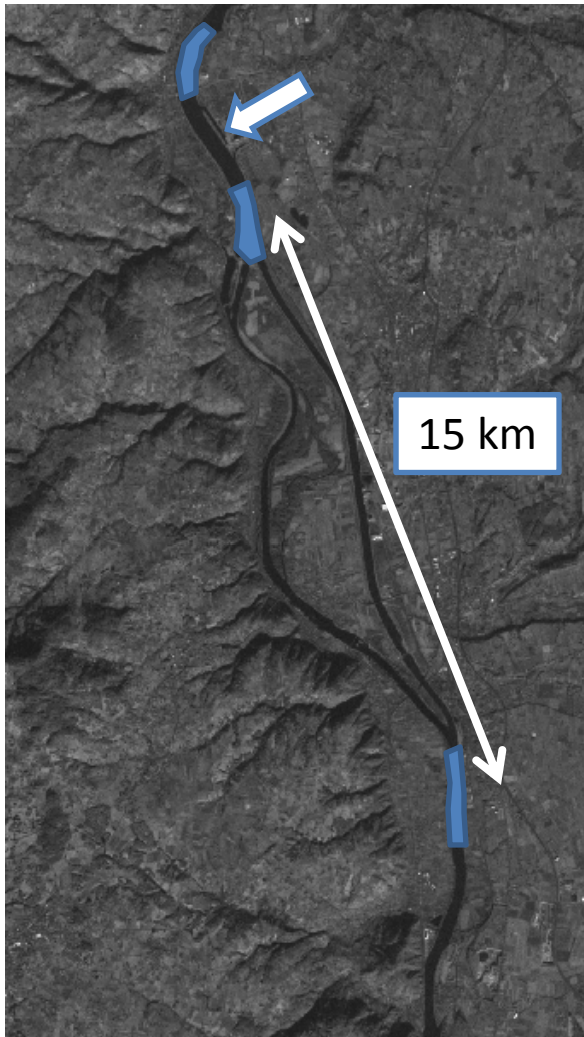
vincent.wawrzyniak@gmail.com

Wawrzyniak V, Piégay H, & Poirel A. 2011. Longitudinal and Temporal Thermal Patterns of the French Rhône River using Landsat ETM+ Thermal Infrared (TIR) Images. Aquatic Sciences. Accepted

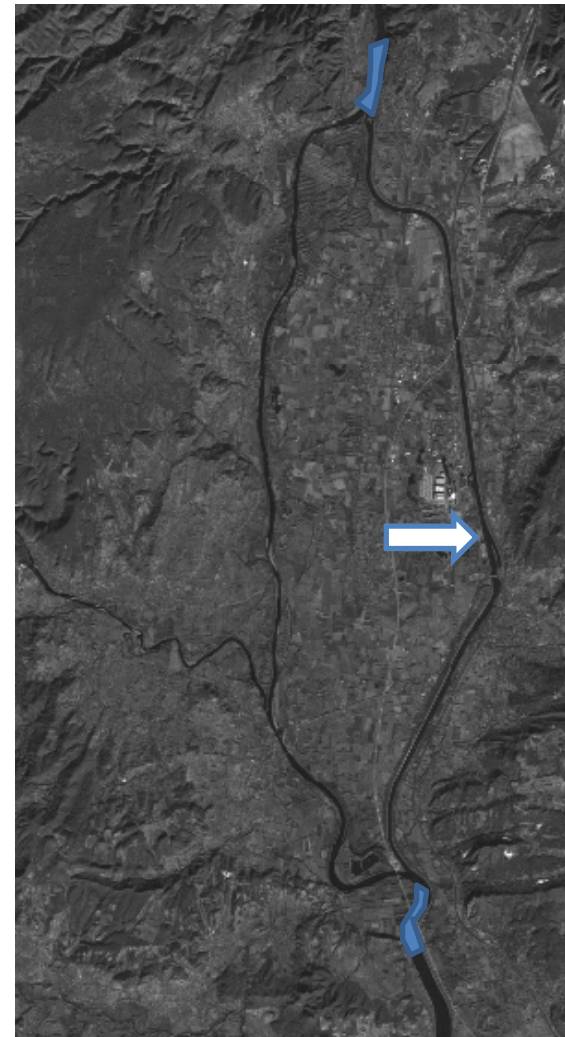


Sources ponctuelles

St Alban



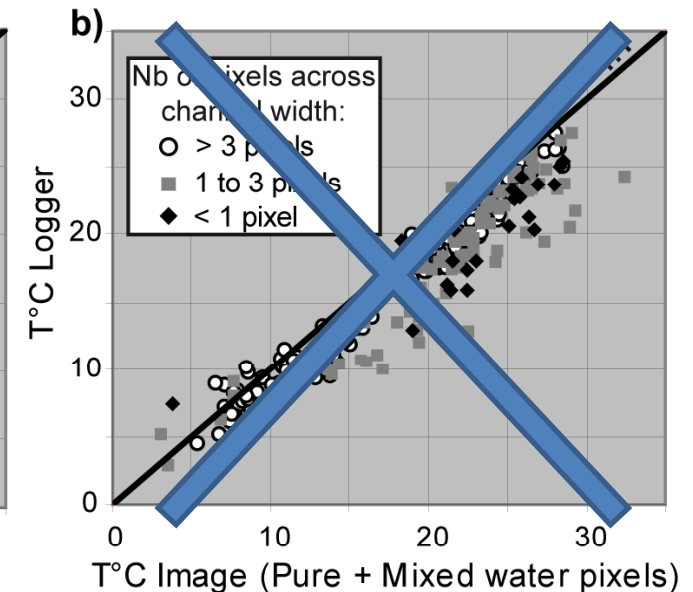
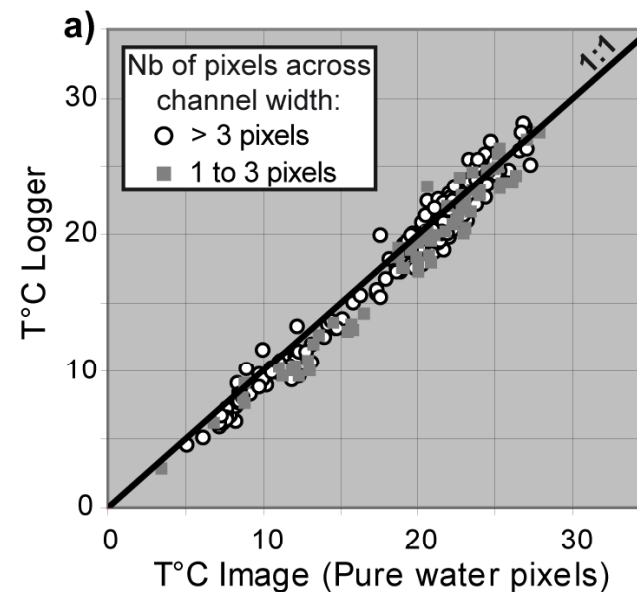
Tricastin



Précision et incertitude IRT

Utilisation limitée aux pixels « purs »

Précision & Incertitude
~ précédentes études
(Cherkauer et al., 2005;
Kay et al., 2005;
Handcock et al., 2006)



Pixel type	Number of pixel across the channel	Accuracy					Uncertainty					Number of cases
		Mean	Std	Min	Max	SE	Mean	Std	Min	Max	SE	
Pure water pixels	>3	1,1	0,4	<0,1	2,8	<0,1	0,4	<0,1	0,1	0,8	<0,1	162
	1 to 3	1,4	0,7	0,1	3,1	0,1	0,5	0,1	<0,1	2,4	<0,1	66
Pure + Mixed water pixels	>3	1,7	1,2	<0,1	4,4	0,1	1,5	0,4	0,4	5,5	<0,1	162
	1 to 3	3,2	4,5	0,2	9,7	0,5	2,0	1,8	0,5	6,1	0,2	89
	<1	3,7	2,7	0,7	6,5	0,6	1,3	0,1	0,8	2,0	<0,1	23

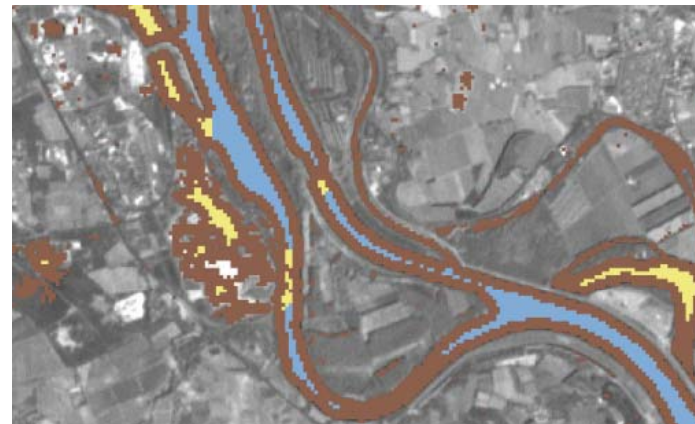
Précision & ≠ thermiques observées




Précédentes études (Cherkauer et al. 2005; Kay et al. 2005; Handcock et al. 2006): **précision IRT à ≠ échelles sur des zones limitées géographiquement**



512 km de rivières sur **83 dates**
Utilisation d'une **méthode automatique**

Suppression des pixels mixés :



 Pixels mixtes 1
 Pixels mixtes 2
 Pixels purs

Type pixel	Précision	Incertitude
« mixés »	$\pm 1.7-3.7$ °C	$\pm 1.5-2.0$ °C
« purs »	± 1.1 °C	± 0.5 °C



Impossibilité d'utiliser les pixels « mixés » tel quel pour observer les « vraies » ≠ thermiques

Utilisation uniquement des pixels « purs » : limites de l'étude

Perspectives



Et encore plus locales...

Différences thermiques dans les RCC (arrivées phréatiques, échanges hyporhéiques)

**Meilleure résolution nécessaire (~1m):
hélicoptère ou avion**

RCC : zones d'intérêt écologique



*RCC
Pierre-
Bénite*

*Photos
Jérémie
Riquier*

Autres Perspectives

Aménagements à dérivation

Comparaison sections court-circuitées Rhône +
Rhin + Danube

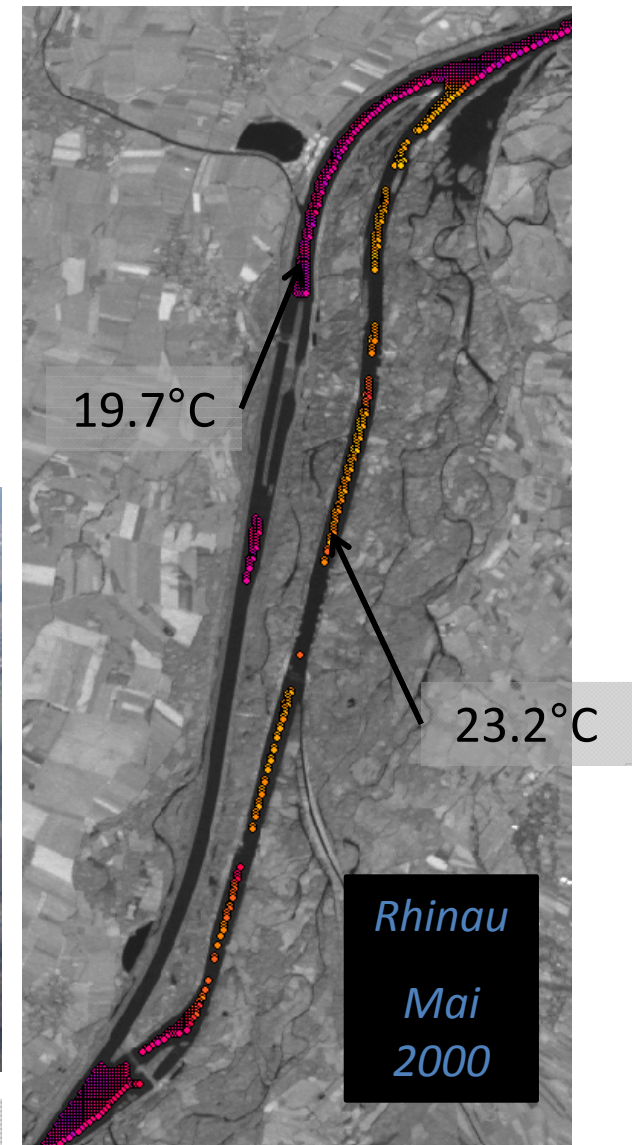
Variations saisonnières ?

Q réservé, largeur et longueur CC

Impacts piscicoles ?



Vieux Rhin / Canal à Ottmarsheim Photo Rodolphe Montagnon



19.7°C

23.2°C

Rhinau

Mai
2000

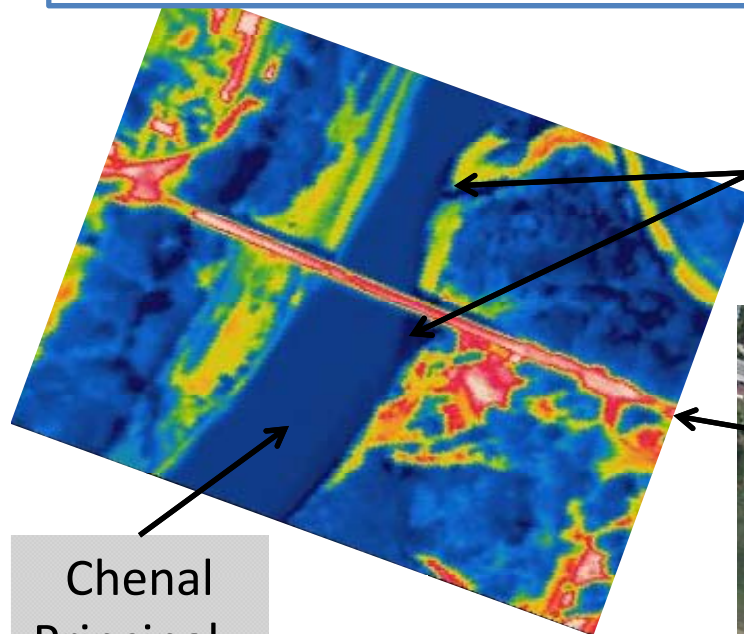
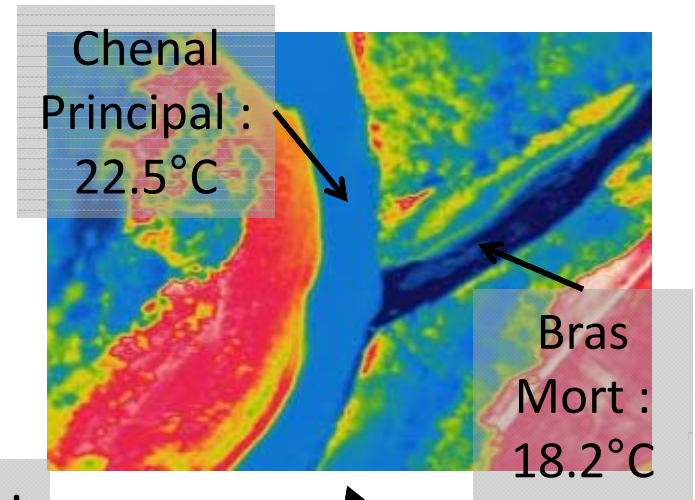
Autres Perspectives

Ain

Vecteurs : avion + hélicoptère (thermique et visible)

Questions :

- Localisation arrivées phréatiques ?
- Leurs impacts sur la thermique de l'Ain f(Q) ?
- Modélisation échanges nappe-rivière



IRT : bleu = froid,
rouge = chaud

Arrivées Phréatiques :
18°C (zones potentielles de
refuge thermique pour les
poissons).



Images visibles.
Source : Géoportail

Autres Perspectives

Rivières en tresses

Vecteurs : drone + hélicoptère (IRT et visible)

Plusieurs sites : Alpes, Vallée du Rhône

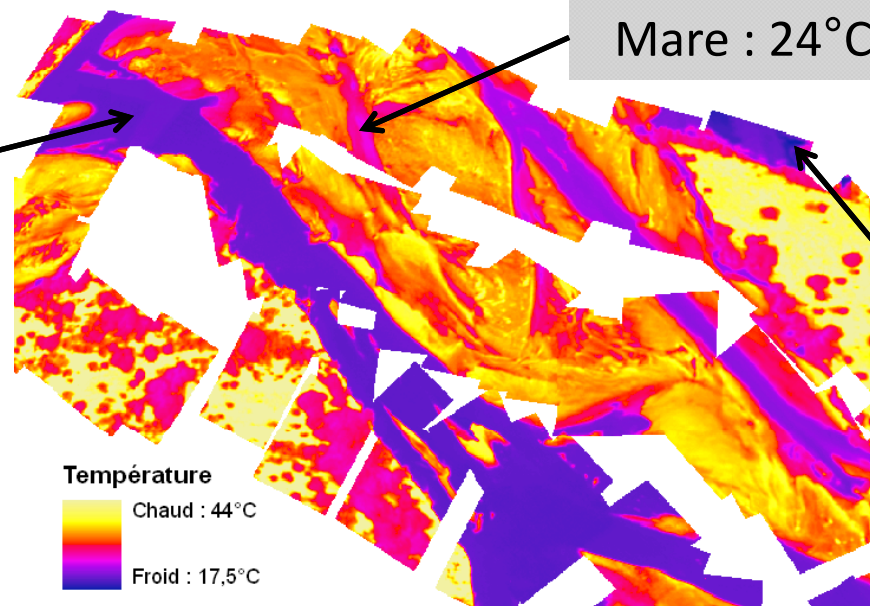
Questions :

- Températures des différents types de chenaux
- Échanges phréatiques et hyporhéiques

Drone Drelio



Chenal
Principal :
20°C



Mare : 24°C

Arrivée
Phréatique ?
17.5°C

Température
Chaud : 44°C
Froid : 17,5°C