

Température des cours d'eau sur le périmètre de la cellule Qualité des Eaux

Service
Ressources
Naturelles et
Paysage

Septembre
2016

Synthèse 2003-2015

ANALYSES
ET CONNAISSANCE

Collection
n° 189

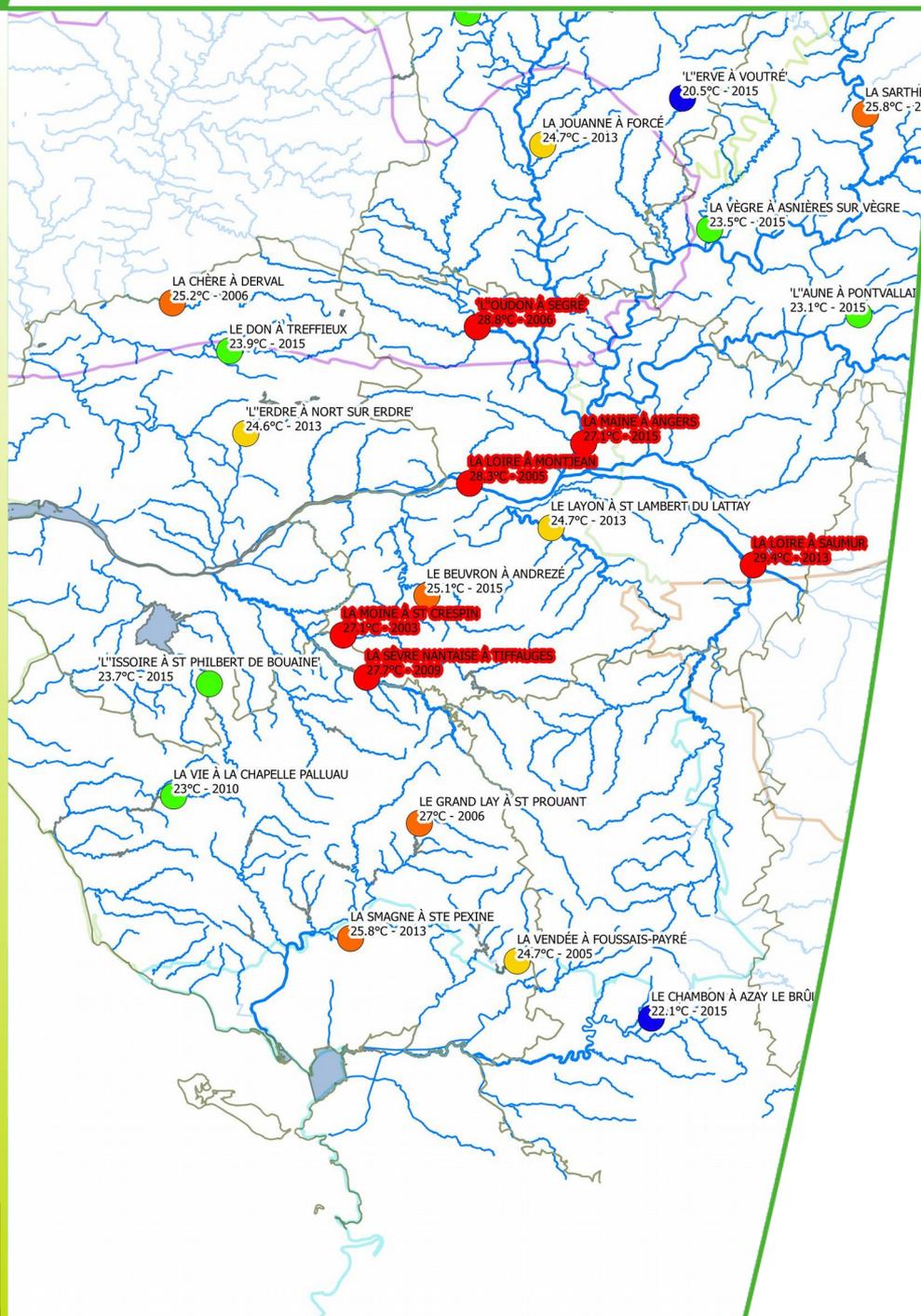


Table des matières

Préambule.....	5
Sites de mesure en continu et données disponibles.....	6
Géographie, géologie et biologie.....	8
Facteurs d'influence de la température des cours d'eau.....	9
i.Lien entre température de l'eau et température de l'air.....	10
ii.Répartition des températures au cours de l'année.....	12
iii.Profils de températures.....	13
iv.Lien T et hydrologie.....	18
v.Relations entre différents paramètres caractéristiques par station.....	21
Caractérisation des années de la période d'étude.....	26
i.Comparaison des TMJ et des TMM.....	26
ii.Caractérisation régionale.....	27
iii.Températures seuils et qualification thermique des années.....	28
iv.Stations concernées par des dépassements des 25°C.....	32
Détection d'évolutions dans le temps.....	34
Conclusions.....	36
Références bibliographiques.....	37
Annexe 1 : profils de température.....	38
Annexe 2 : tableau de résultats obtenus par station.....	41
Annexe 3 : cartes.....	42

Index des illustrations

Illustration 1: Localisation des stations de mesure de la température des cours d'eau.....	6
Illustration 2: Disponibilité des données par station.....	7
Illustration 3: Exemple de variation sur 15 jours des températures de l'eau et de l'air.....	11
Illustration 4: Ecart moyen T_{air}/T_{eau} en fonction de T_{air} par pas de $0,1^{\circ}\text{C}$	11
Illustration 5: Distribution des températures de l'air : station météorologique de Derval.....	12
Illustration 6: Distribution des températures de l'eau : station hydrotempérature de Derval.....	12
Illustration 7: Corrélation entre T_{air} / T_{eau} moyenne : exemple de la Loire à Montjean.....	14
Illustration 8: Lien entre pentes et ordonnées à l'origine des relations linéaires T_{air} / T_{eau}	15
Illustration 9: Lien entre pente et inertie.....	16
Illustration 10: Débits moyens mensuels interannuels.....	18
Illustration 11: Températures moyennes mensuelles interannuelles.....	18
Illustration 12: Moyenne des ratios Q_{MJ}/Q_{moy} interannuel en fonction de la température de l'eau.....	19
Illustration 13: Amplitude moyenne journalière de la T_{eau} en fonction du ratio de crue.....	20
Illustration 14: T_{eau} (pour $T_{air} = 25^{\circ}\text{C}$) en fonction de T_{eau} (pour $T_{air} = 0^{\circ}\text{C}$).....	21
Illustration 15: Relation entre la T_{max} et la T_{95}	22
Illustration 16: Relation entre le nombre de jours au dessus d'un seuil (20°C) et la T_{95}	23
Illustration 17: Lien entre nombre de jours au dessus d'un seuil et module.....	24
Illustration 18: Lien entre température maximale mesurée et superficie du bassin versant.....	24
Illustration 19: Tableau des ratios RTMJ.....	26
Illustration 20: Graphe des ratios RTMJ.....	27
Illustration 21: Tableau récapitulatif des T_5 et T_{95}	29
Illustration 22: exemple de l'Oudon à Segré, typologie des années.....	30
Illustration 23: Qualification des années à partir des T_5 et T_{95}	30
Illustration 24: Qualification régionale des températures de l'eau à partir des T_5 et T_{95}	31
Illustration 25: Nombre de jours par an où la température journalière maximale a dépassé les 25°C	32
Illustration 26: Nombre de jours par an où la TMJ a dépassé les 25°C	32
Illustration 27: Evolution des TMM de l'air entre 2003 et 2015 (mois de décembre).....	34
Illustration 28: Evolution des TMM de l'eau entre 2003 et 2015 (mois de décembre).....	35

Préambule

Un premier rapport a été publié en 2009 qui restituait les premiers résultats du réseau de suivi des températures de la DREAL Pays de la Loire.

Il est disponible à cette adresse :

<http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/mesures-en-continu-des-temperatures-sur-quelques-a1009.html>

Six ans après, ce réseau s'est fortement étoffé, passant de 8 à 28 stations équipées d'un capteur de mesure en continu de la température.

Le présent rapport vise tout d'abord à mettre à jour les informations liées à ce réseau et aux données collectées depuis.

Par ailleurs, le nombre d'années-stations disponibles permet maintenant d'envisager d'en faire une exploitation plus poussée.

Une caractérisation des différents cours d'eau par leur profil thermique (fonction de leur réponse aux températures mesurées de l'air) et des indicateurs synthétiques est abordée.

Des indicateurs qualifiant la situation par année à l'échelle de la rivière et de la région Pays de la Loire sont par la suite proposés.

Des regroupements de stations ont été étudiés (proximité géographique et par type d'hydroécocorégion, quantiles à 5% et 95 %..) afin notamment de voir si, en cas de lacunes de données, il serait néanmoins possible de qualifier la situation générale annuelle par rapport à une autre rivière aux caractéristiques proches.

Enfin, une recherche d'indicateurs qui pourraient être des marqueurs d'évolutions de fond, notamment dues au changement climatique, clôt ce rapport.

Sites de mesure en continu et données disponibles



Illustration 1: Localisation des stations de mesure de la température des cours d'eau

La couverture territoriale et le déploiement du réseau de suivi des températures des cours d'eau sont maintenant considérés comme achevés.

Ce sont ainsi 28 capteurs qui ont été installés depuis 2003.

Le tableau ci après récapitule la complétude des chroniques depuis cette date.

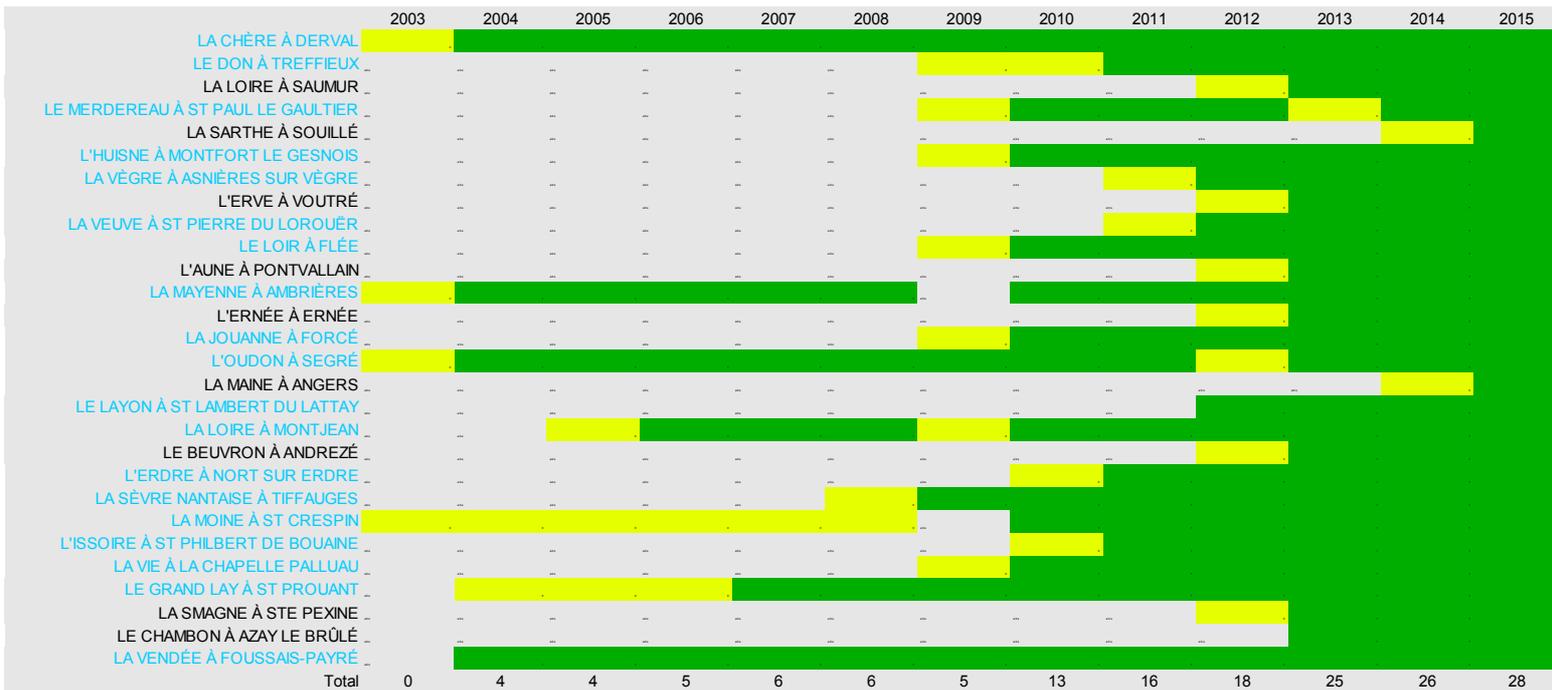


Illustration 2: Disponibilité des données par station

Les chroniques disponibles, après reconstitution d'un certain nombre d'entre elles, sont encore assez disparates. Peu d'entre elles couvrent une longue période, et l'information se densifie réellement depuis 2010.

Il est donc sans doute encore trop tôt pour espérer distinguer des tendances de fond sur tous les types de cours d'eau de la région.

Au final 19 stations sur les 28 seront principalement utilisées dans la suite du rapport, ces 19 stations disposant d'au moins quatre années de données. Elles sont surlignées en bleu dans le tableau précédent.

Géographie, géologie et biologie

En se basant sur des caractéristiques diverses, les stations pourront à terme faire l'objet de regroupements, dès lors que les paramètres déterminants pour lier la température des cours d'eau et ses impacts sur la biologie seront mieux décrits (des programmes de recherche sont en cours actuellement).

La France métropolitaine a été découpée en hydro-éco-régions, dans lesquelles les peuplements attendus, de flore et de faune aquatiques, sont a priori homogènes, ou tout le moins où deux peuplements identiques reflètent un même état de perturbation du milieu aquatique (notion d'état de référence).

En utilisant de tels critères pour regrouper les stations hydrotempérature, il sera intéressant à terme de voir ce qui dans leur fonctionnement les rapproche ou les éloigne, et si d'éventuelles différences dans les températures mesurées permettent d'expliquer certains résultats des suivis d'hydrobiologie.

Groupe	Sous-groupe	Cours d'eau	Station	Altitude (m)	Surface BV (m ²)	Largeur mouillée approximative (m)	Module	type HER
GROUPE 1 – Tp° les plus élevées	LOIRE	LOIRE	MONTJEAN SUR LOIRE	10	109930	250/450	846,00	12 – Armoricaïn
	HAUT-BOCAGE VENDEEN	SÈVRE NANTAISE	TIFFAUGES	43	814	25	9,21	12 – Armoricaïn
MOINE		ST CRESPIN	27	373	25	3,28	12 – Armoricaïn	
GROUPE 2 – Tp° élevées	ARMORICAÏN	OUDON	SEGRÉ	21	1310	50	8,60	12 – Armoricaïn
	TABLES CALCAIRES	LOIR	FLÉE	46	5940	42	24,00	9 – Tables Calcaires
HUISNE		MONTFORT LE GESNOIS	56	1895	37	13,00	9 – Tables Calcaires	
GROUPE 3 – Tp° moyennes	PLAINE ET MARAIS VENDEENS	VENDÉE	FOUSSAIS-PAYRÉ	48	157	14	1,77	9 – Tables Calcaires
		GRAND LAY	ST PROUANT	63	131	11	1,33	12 – Armoricaïn
		VIE	LA CHAPELLE PALLUAU	26	118	12	1,14	12 – Armoricaïn
		ISSOIRE	ST PHILBERT DE BOUAINE	8	70	5	nc	12 – Armoricaïn
GROUPE 4 – Tp° fraîches	ARMORICAÏN – OUEST REGION	DON	TREFFIEUX	20	305	30	nc	12 – Armoricaïn
		ERDRE	NORT	4	472	12	2,69	12 – Armoricaïn
		CHÈRE	DERVAL	8	349	18	2,43	12 – Armoricaïn
ARMORICAÏN – NORD-OUEST REGION	MAYENNE	AMBRIÈRES	100	828	24	8,91	12 – Armoricaïn	
	JOUANNE	FORCÉ	47	410	15	3,06	12 – Armoricaïn	
GROUPE 5 – Tp° les plus fraîches	ARMORICAÏN – NORD REGION	MERDEREAU	ST PAUL LE GAUTIER	114	118	6	1,20	12 – Armoricaïn

Néanmoins, en l'absence de résultats définitifs issus des programmes de recherche en cours, ce rapport s'attachera plutôt à rechercher des similitudes ou disparités entre stations, basées sur les chroniques de températures observées, sans tenter pour l'heure de faire le lien avec les réseaux de suivi de la qualité des milieux aquatiques.

Facteurs d'influence de la température des cours d'eau

Les facteurs qui peuvent influencer, plus ou moins naturellement, la température d'un cours d'eau sont, pris globalement : le mode d'alimentation en eau (sources, précipitations, affluents, origines artificielles), la géométrie (en particulier la largeur du plan d'eau et la profondeur), la morphologie du lit (en termes d'action sur la distribution transversale et longitudinale des températures et au niveau du sous-écoulement : l'écoulement hypohéique, ie la relation avec une nappe alluviale ou souterraine), les conditions météorologiques (température de l'air, ensoleillement, humidité), le couvert végétal, le débit et les vitesses d'écoulement.

Le rôle de la ripisylve (végétation de berge) a en particulier été mis en évidence dans son effet sur la température des cours d'eau et sur les populations animales et végétales qui y vivent.

L'effet de l'absence de végétation en berge (ou de boisements sur le bassin versant) peut amener une élévation de la température estivale de l'eau de plusieurs degrés.

L'action de l'Homme sur ces différents facteurs peut donc impliquer à court terme (création d'un barrage, non entretien de la végétation de berge) autant qu'à long terme (multiplication des plans d'eau sur un bassin versant, changement climatique) un impact significatif sur la température des cours d'eau.

Le paragraphe suivant présente le lien qui existe entre température de l'eau et de l'air, qui s'avère être un des facteurs, sinon le facteur, les plus explicatifs.

i. Lien entre température de l'eau et température de l'air

Pour chacune des 28 stations de mesure en continu de la température, la station météorologique la plus proche a été recherchée afin d'en récupérer les chroniques de température de l'air correspondantes.

code station eau	Station	Cours d'eau	Code station T°	Nom station T° air	distance
M1463010	PONTVALLAIN	AUNE	72175002	<i>Luché-Pringé</i>	11 km
M6014010	ANDREZÉ	BEUVRON	49027001	Bérolles	< 5 km
N4104030	AZAY LE BRULÉ	CHAMBON	79191005	<i>Niort</i>	10 km
J7833020	DERVAL	CHÈRE	44051002	Derval	< 5 km
J7933010	TREFFIEUX	DON	44051002	<i>Derval</i>	12 km
M6333020	NORT	ERDRE	44110002	Nort sur Erdre	< 5 km
M3313010	MONTENAY	ERNÉE	53096004	Ernée	< 5 km
M0613010	VOUTRÉ	ERVE	72255001	<i>Rouessé-Vassé</i>	9 km
N3001610	ST PROUANT	GRAND LAY	85051001	<i>Chantonnay</i>	12 km
M0421510	MONTFORT LE GESNOIS	HUISNE	72275003	Saint Corneille	< 5 km
M8124010	ST PHILBERT DE BOUAINÉ	ISSOIRE	44181001	<i>St Même le Tenu</i>	22 km
M3423010	FORCÉ	JOUANNE	53007001	<i>Argentré</i>	7 km
M5222210	ST LAMBERT DU LATTAY	LAYON	49020001	<i>Beaucouzé</i>	18 km
M1341610	FLÉE	LOIR	37213003	<i>St Christophe sur le Nais</i>	10 km
L8000020	SAUMUR	LOIRE	49328001	Saumur	< 5 km
M5300010	MONTJEAN SUR LOIRE	LOIRE	49244001	La Pommeraye	< 5 km
M4101940	ANGERS	MAINE	49020001	Beaucouzé	< 5 km
M3060910	AMBRIÈRES	MAYENNE	53147001	<i>Mayenne</i>	12 km
M0114910	ST PAUL LE GAUTIER	MERDEREAU	53083001	Courcité	10 km
M7213020	ST CRESPIN	MOINE	44117002	<i>Le Pallet</i>	12 km
M3851810	SEGRÉ	OUDON	53084001	<i>Craon</i>	21 km
M0250620	SOUILLÉ	SARTHE	72181001	<i>Le Mans</i>	19 km
M7112420	TIFFAUGES	SÈVRE NANTAISE	85119001	Landes-Génusson	< 5 km
N3222010	STE PEXINE	SMAGNE	85051001	<i>Chantonnay</i>	15 km
M0583020	ASNIÈRES	VÈGRE	72264001	<i>Sablé sur Sarthe</i>	9 km
N7101810	FOUSSAIS-PAYRÉ	VENDÉE	85092004	<i>Fontenay le Comte</i>	13 km
M1313010	ST PIERRE DU LOROUE	VEUVE	72361001	<i>Tresson</i>	12 km
N1001510	LA CHAPELLE PALLUAU	VIE	85169002	Palluau	< 5 km

À noter que la station météorologique de la Pommeraye, associée jusqu'en 2014 à la station de Montjean-sur-Loire, semble arrêtée. La station qui la remplace est celle de Beaucouzé.

Deux certitudes à ce stade :

- la température de l'eau mesurée n'est pas définie à l'instant t uniquement par la température de l'air ambiant au même endroit, beaucoup d'autres paramètres entrent en ligne de compte (températures des jours précédents, débit, apports des affluents et des nappes, conditions locales comme par exemple l'existence de barrages etc)
- tenter de lier températures de l'air et de l'eau ne peut donc se faire que sur des valeurs moyennes.

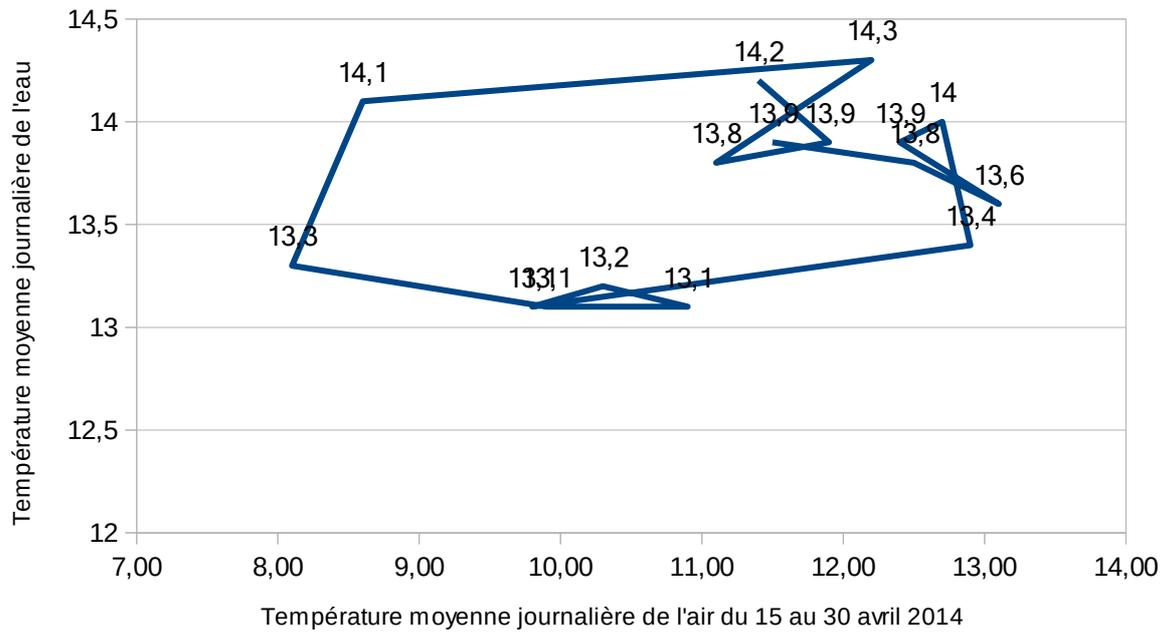


Illustration 3: Exemple de variation sur 15 jours des températures de l'eau et de l'air, Erdre à Nort sur Erdre

Sur cet exemple de l'Erdre à Nort sur Erdre, il peut être aisément constaté qu'à une même température de l'eau ont pu correspondre des températures de l'air assez différentes, et qu'il existe une inertie réelle. La température de l'air moyenne peut chuter sur cet exemple de plusieurs degrés en 24h, et n'avoir un effet que limité en terme d'amplitude, et en retard, sur la température du cours d'eau.

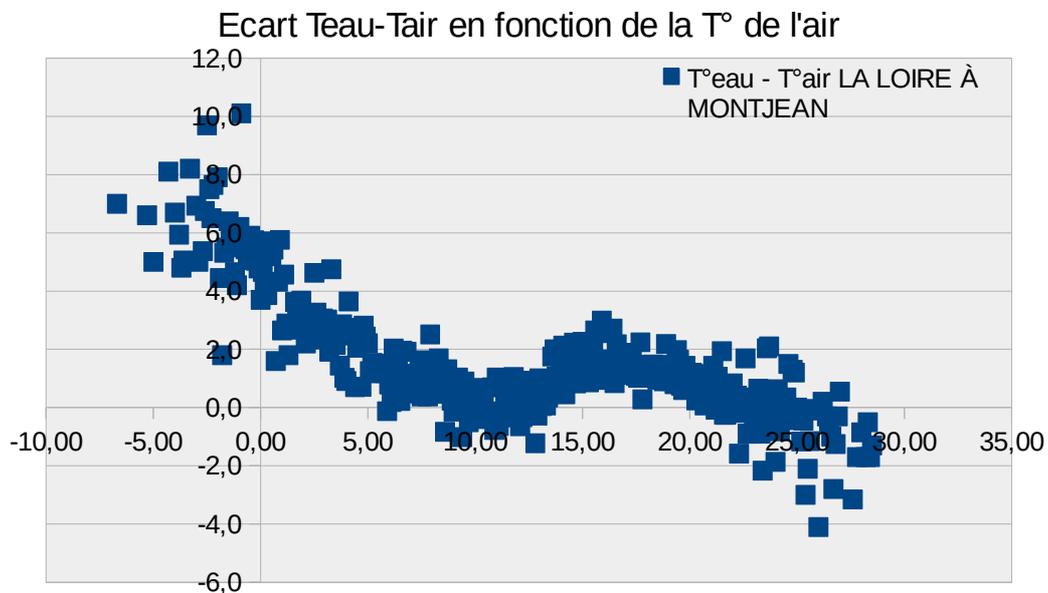
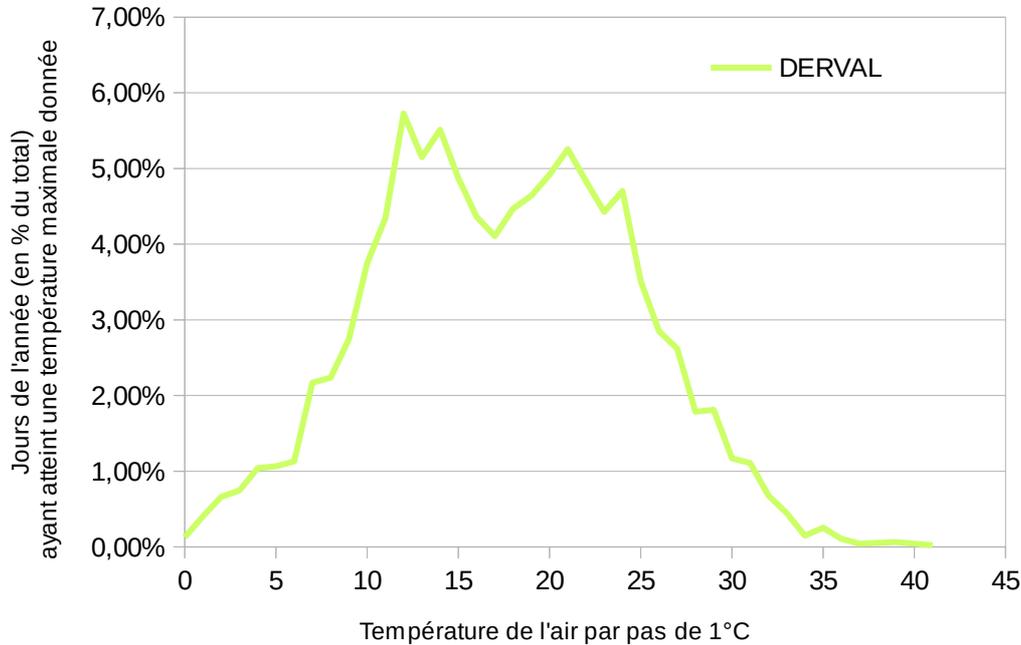


Illustration 4: Ecart moyen Tair/Teau en fonction de Tair par pas de 0,1°C

Par contre, dès lors qu'est calculée la température moyenne observée de l'eau pour chaque température de l'air, (par pas de 0,1°C par exemple) des profils types peuvent apparaître sur chacune des stations. L'exemple ci-dessus, à Montjean sur Loire, montre le lien entre la température de l'air et l'écart moyen entre température de l'air et de l'eau, sur l'ensemble de la chronique disponible.

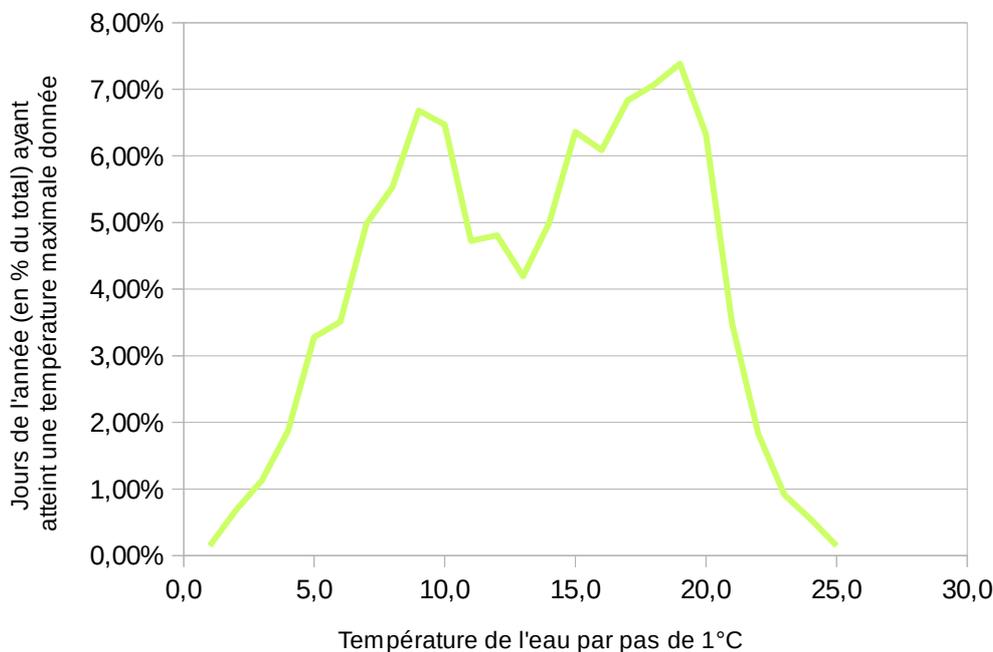
ii. Répartition des températures au cours de l'année

Il s'avère pour la plupart des stations météorologiques et d'hydrotempérature que la distribution suit une courbe à deux bosses tels que les exemples ci-dessous l'illustrent.



La distribution n'étant pas centrée, qualifier la température du cours d'eau par des valeurs, par exemple de percentiles comme proposé plus loin, permet de caractériser les extrêmes mais pas nécessairement l'ensemble du profil de température du cours d'eau.

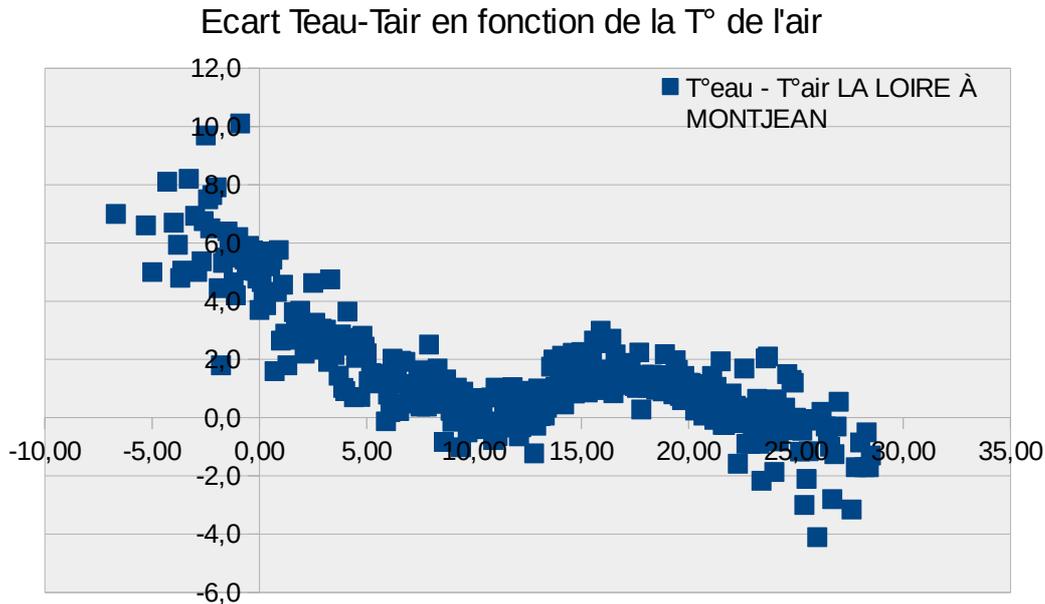
Illustration 5: Distribution des températures de l'air : station météorologique de Derval



Par ailleurs, si la forme générale des distributions est la même pour les températures de l'air et de l'eau, elle n'est cependant pas identique. Dans l'exemple présenté ici, les pics les plus élevés ne correspondent pas aux mêmes périodes.

Illustration 6: Distribution des températures de l'eau : station hydrotempérature de Derval

iii. Profils de températures



Reprenons le graphique déjà présenté au premier paragraphe de ce chapitre.

Il est obtenu en faisant la moyenne des écarts mesurés entre la température de l'air et de l'eau pour une température de l'air donnée.

Ce profil est caractéristique et plus ou moins marqué suivant les stations. L'ensemble des profils est disponible en annexe 1.

Quand la température de l'air est basse (entre -5°C et $+10^{\circ}\text{C}$), il semble presque toujours exister une relation quasi-linéaire entre T_{air} et l'écart moyen de température $T_{\text{air}}-T_{\text{eau}}$.

De fait il existe une inertie certaine entre les variations de température de l'air (alternance jour nuit, variabilité forte en cours de journée) et celles de l'eau.

Il faut souvent plusieurs jours de températures de l'air basses pour que la température de l'eau suive (entre 4 et 10 jours sur les stations étudiées). Le climat de la région étant tempéré, il est rare de connaître des températures de l'air négatives sur de longues périodes, et il est par conséquent rare que la température de l'eau s'approche de 0°C .

Ainsi en moyennant les écarts $T_{\text{air}}-T_{\text{eau}}$ pour une température de l'air donnée, il ressort que lorsque la température de l'air est négative, la température de l'eau est en moyenne supérieure de plusieurs degrés.

Quand la température de l'air augmente, l'écart avec celle de l'eau diminue, pour atteindre un point d'équilibre ($T_{\text{air}}=T_{\text{eau}}$), souvent situé, comme dans cet exemple, autour des 10°C .

Puis une inversion de cette évolution se produit, l'écart moyen oscillant entre $+1$ et $+2^{\circ}\text{C}$ lorsque la température de l'air atteint les $17-18^{\circ}\text{C}$. Ceci s'explique sans doute principalement par le fait que pour ces températures, communes au printemps ou à l'automne sur de longues périodes, l'alternance jour nuit a un impact sur la température de l'air alors que la température de l'eau varie peu dans le même temps.

Enfin une dernière tendance se dessine, là aussi de manière assez similaire sur l'ensemble des stations, où l'écart $T_{\text{eau}}/T_{\text{air}}$ diminue, pour devenir négatif, lors des épisodes de forte chaleur.

Ce cas de figure, principalement rencontré en été, s'explique sans doute par le fait que les pics de température de l'air ne s'observent que pendant quelques heures chaque jour, et que la température de l'eau n'a à nouveau pas le temps de se mettre à l'équilibre avec celle de l'air.

L'ombrage apporté par la végétation joue sans doute également un rôle dans ce phénomène, ainsi que les apports de nappes lorsqu'ils existent, desquelles provient souvent une eau plus fraîche.

Un second profil type consiste à comparer plus directement la température de l'eau moyenne pour une température de l'air donnée.

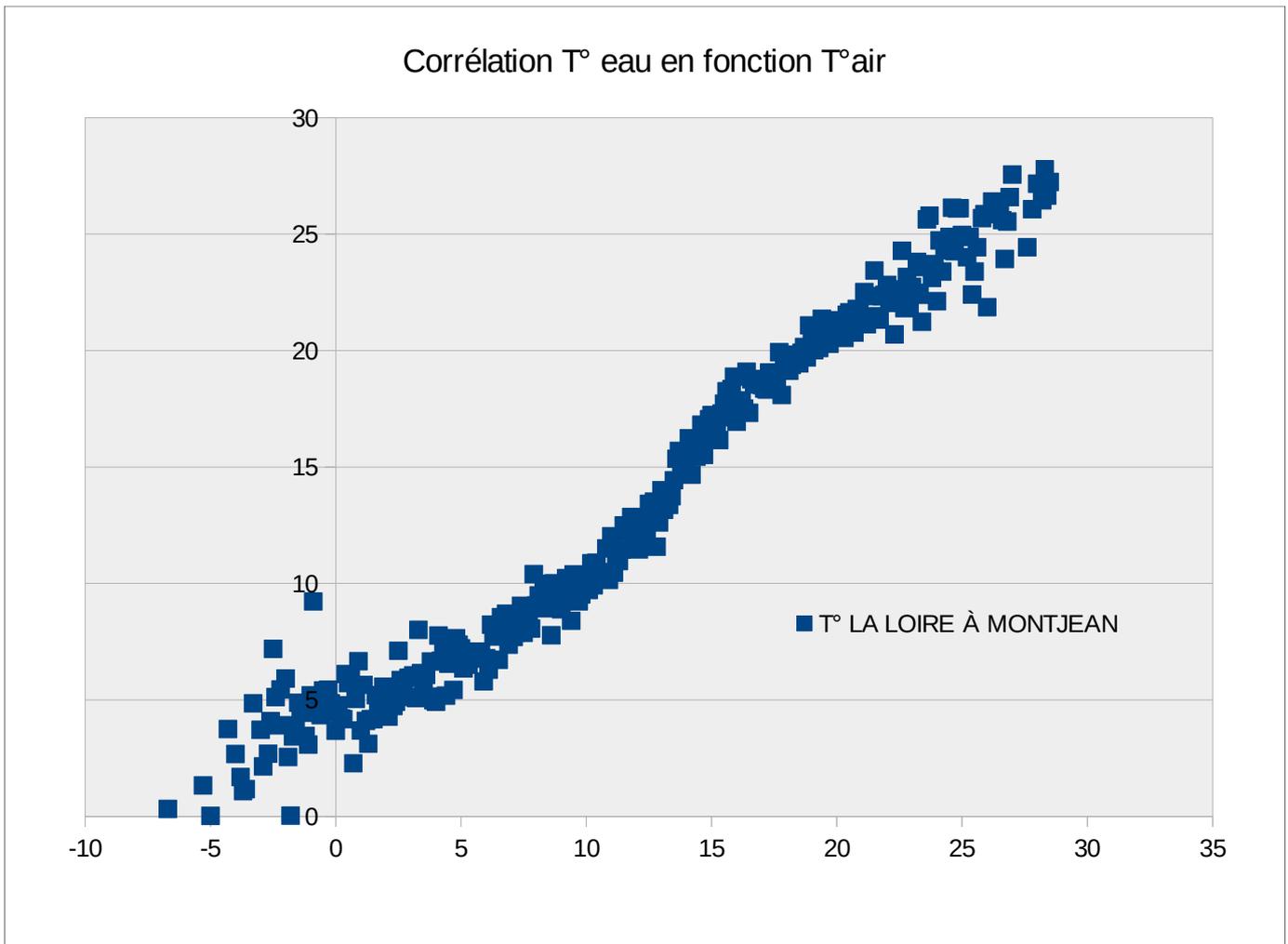


Illustration 7: Corrélation entre T_{air} / T_{eau} moyenne : exemple de la Loire à Montjean

Il s'agit d'une représentation typique en forme de « S » très aplati, et qui encore une fois est un profil dont la forme générale est commune à l'ensemble des stations.

Le lien entre ces inflexions et la distribution annuelle des températures présentée au paragraphe précédent paraît assez claire.

De fait, la possibilité d'établir une relation linéaire entre température de l'air et de l'eau a été démontrée depuis longtemps, et sert souvent à caractériser les régimes de température et à catégoriser les cours d'eau, en fonction de la part explicative respective des apports de nappe et du forçage atmosphérique.

Cette distinction s'opère en calculant les pentes et ordonnées à l'origine des chroniques T_{air} et T_{eau} à chaque station, soit directement, soit en calculant des moyennes glissantes pour l'un et/ou l'autre paramètre.

Ont été considérées ici les températures moyennes journalières (TMJ) de l'air et de l'eau, qui semblent mieux corrélées que les températures minimales ou maximales journalières.

Une moyenne glissante est calculée pour les $TMJ_{(air)}$ sur les jours ayant précédé chaque $TMJ_{(eau)}$ disponible dans la chronique.

Le nombre de jours pris en compte pour chaque station est celui qui optimise le coefficient de détermination de la relation linéaire entre $TMJ_{(eau)}$ et $TMJ_{(air)}$ en moyenne glissante.

Ces relations linéaires sont caractérisées par une pente et une ordonnée à l'origine, qui sont ensuite reportées sur le graphe ci-dessous.

Ordonnée à l'origine fonction de la pente des relations T_{air} (moyen sur x jours) et $TMJ_{(eau)}$

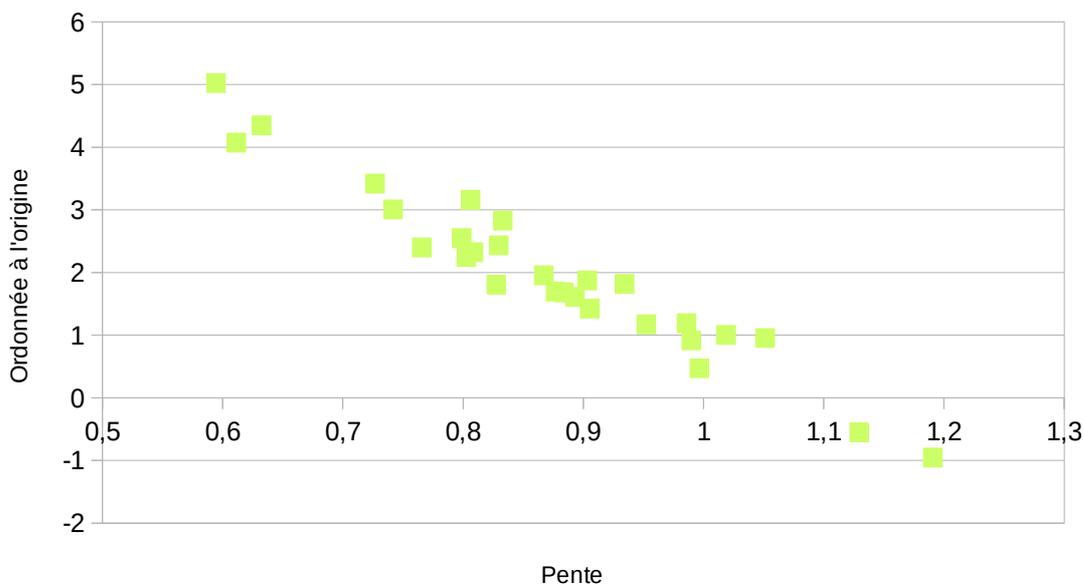


Illustration 8: Lien entre pentes et ordonnées à l'origine des relations linéaires T_{air} / T_{eau}

Les mêmes résultats que ceux issus de précédentes études sont observés, à savoir une relation linéaire entre les pentes et ordonnées à l'origine. Les stations dont la pente est proche de 1 sont celles dont la température de l'eau est expliquée quasi intégralement par la température de l'air, celles autour de 0,6 sont les plus influencées par d'autres facteurs, et notamment les apports d'eau souterraine.

Entre les deux, une situation mixte, avec une influence des apports de nappe, de la morphologie du cours d'eau, de l'ombrage apporté par la ripisylve etc.

A noter sur les stations étudiées, quatre d'entre elles ont une pente supérieure à 1. Deux stations (les points les plus à droite), situées sur la Loire (à Saumur) et sur la Maine (à Angers), ressortent encore plus, avec une ordonnée à l'origine négative. L'influence d'autres paramètres, notamment l'apport d'énergie radiative du soleil sur une largeur au miroir importante localement, l'activité humaine et la taille de ces bassins versants peuvent expliquer ce cas de figure. La faible profondeur des chroniques de données pour le moment disponibles sur ces deux stations est également à souligner.

Pente en fonction de l'inertie
(nombre de jours pour maximiser lien T_{air} Teau)

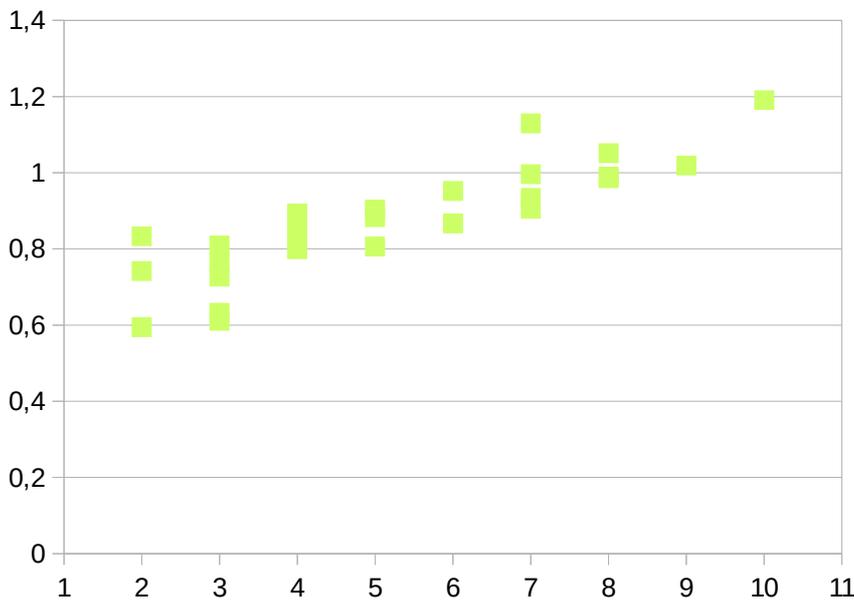


Illustration 9: Lien entre pente et inertie

Sur ce graphe, il existe un lien entre la pente de la relation T_{air}/Teau et le nombre de jours qui optimise cette relation.

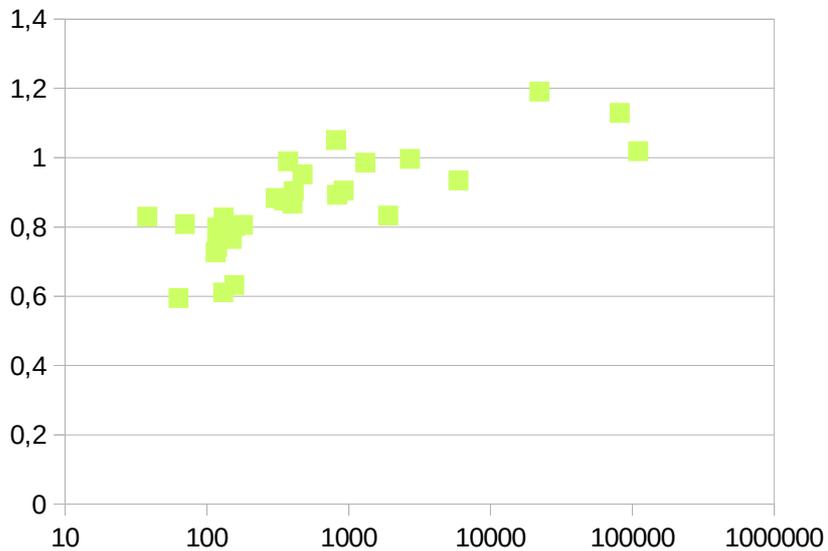
Le terme inertie désigne alors cette durée (en jours) pour laquelle le coefficient de détermination de la droite de régression du nuage de points T_{MJeau}(T_{air} moyenne sur les X derniers jours) est maximal.

L'inertie est d'autant plus importante que la pente s'approche de 1, donc d'autant plus importante lorsque la température de l'air explique de manière prépondérante la température de l'eau.

De fait, comme il a pu être démontré dans d'autres études précédentes, la pente, et donc la part explicative de la température de l'air sur la température de l'eau, est aussi liée à la taille des bassins versants, de l'ordre de Strahler ou de la distance à la source.

En Pays de la Loire, les cours d'eau de l'ordre de la centaine de km² ont une pente T_{air}/Teau située entre 0,6 et 0,8 (influence probable des apports de nappes, vitesse de courant qui fait que l'équilibre thermique n'est pas encore réalisé au droit de la station, part apports des petits affluents en eaux dont la température est elle aussi liée à la température de la source), puis autour du millier de km² le coefficient est plutôt situé entre 0,8 et 1, et les trois stations situées à l'exutoire de bassins versants dépassant les 10000 km² ont toutes un coefficient supérieur ou égal à 1.

Pente T_{air} Teau optimisée
en fonction de la superficie BV



Quelques constats à ce stade :

- les températures de l'air et de l'eau sont **fortement corrélées, ce d'autant que les données temporelles sont moyennées pour tenir compte de l'inertie de l'équilibre thermique**. La température de l'air est alors le **facteur majeur** qui explique la température de l'eau.
- les autres facteurs qui influencent la température de l'eau sont importants pour **expliquer la forme (inflexions, ordonnées à l'origine)** de ces courbes et la vitesse à laquelle se produit l'équilibre thermique air-eau.

La prise en compte de ces facteurs devient indispensable dès lors qu'une modélisation est envisagée, qui tenterait de reproduire les variations journalières ou infra journalières de la température d'un cours d'eau

- les profils thermiques présentés sous différentes formes peuvent permettre de caractériser les stations hydrotempérature

iv. Lien T et hydrologie

Il est établi que la température de l'eau dépend principalement de la température de l'air des jours qui ont précédé.

Les deux suivent un cycle annuel inversé pour ce qui concerne leurs extremums.

Débits moyens mensuels interannuels

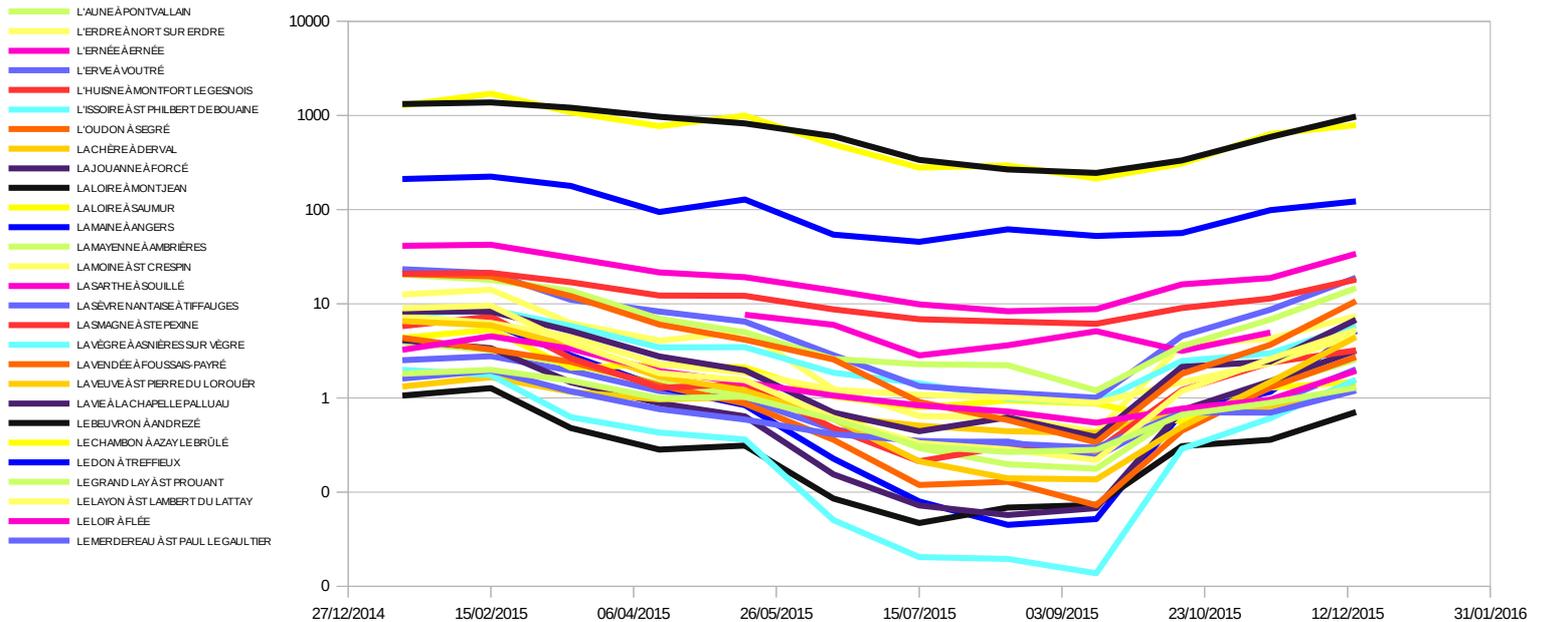


Illustration 10: Débits moyens mensuels interannuels

Températures moyennes mensuelles interannuelles

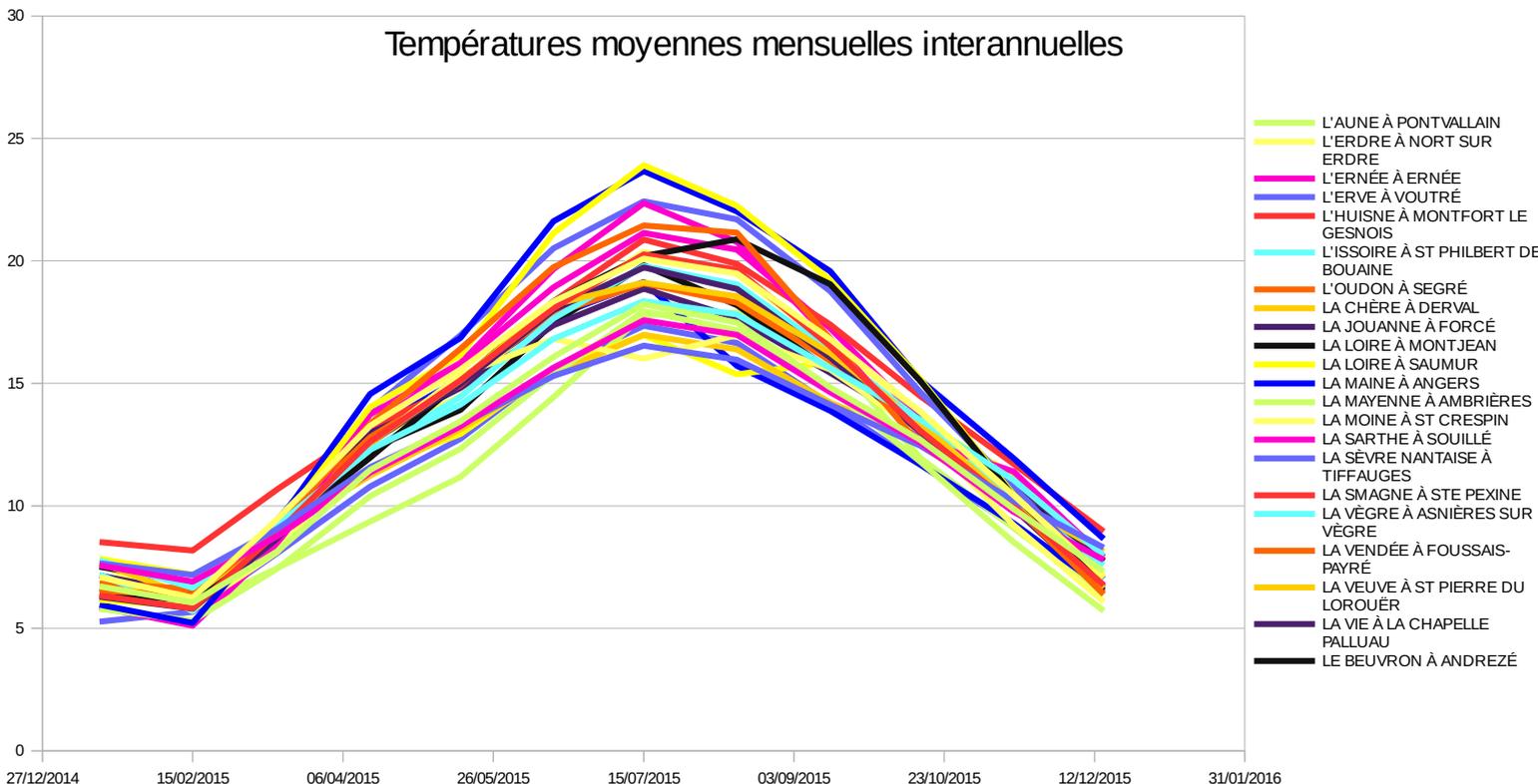


Illustration 11: Températures moyennes mensuelles interannuelles

Ainsi les températures de l'eau sont-elles majoritairement maximales en juillet et minimales en février, et les débits maximaux en février et minimaux entre juillet et septembre, ce qui correspond bien aux caractéristiques du climat océanique.

En liant la moyenne des débits journaliers et la température le même jour, il est possible de construire le type de graphes comme ci-dessous.

Moyenne des ratios (QMJ / Qmoyinterannuel) observés en fonction de la température

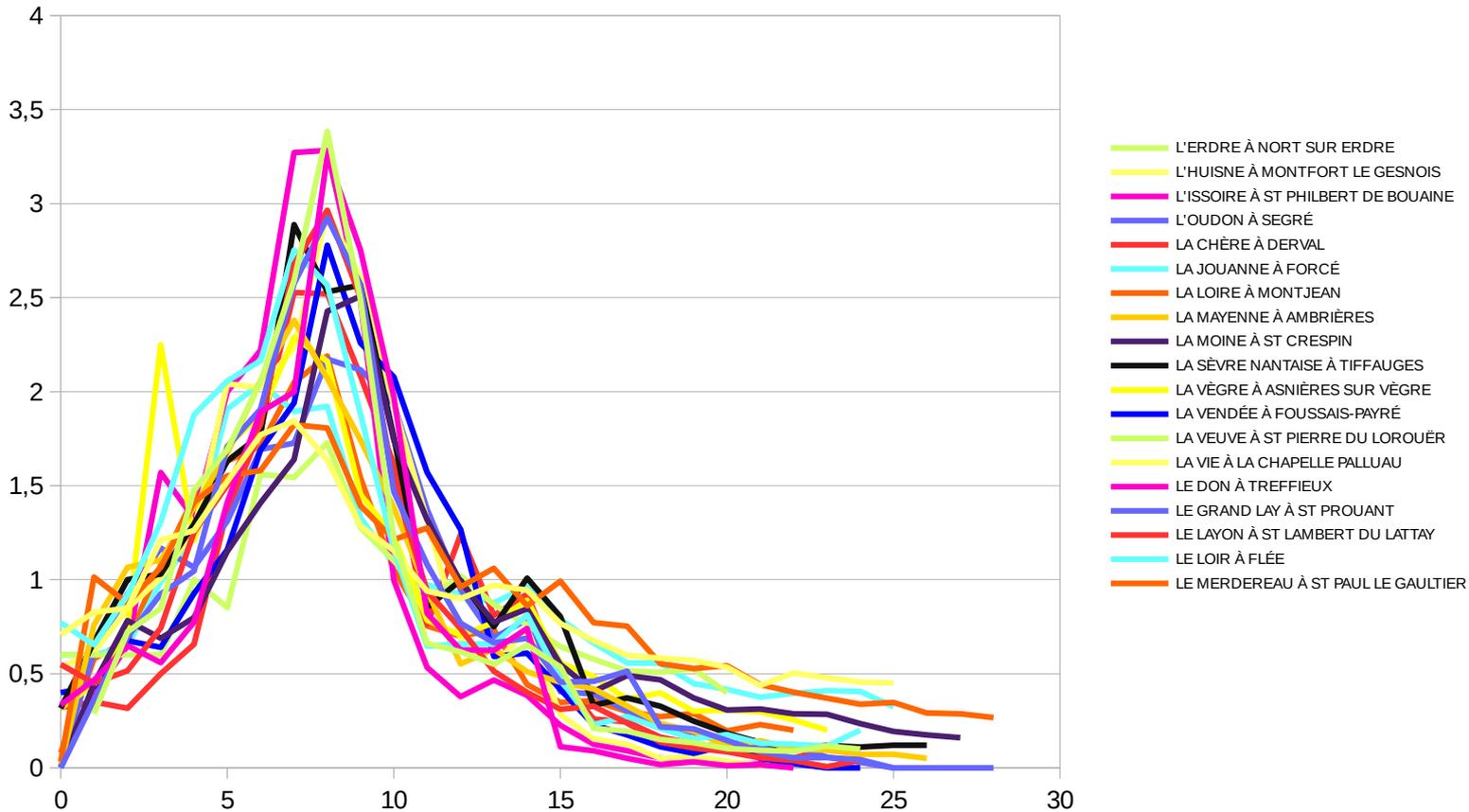


Illustration 12: Moyenne des ratios QMJ/Qmoyinterannuel en fonction de la température de l'eau

Si globalement les températures les plus élevées sont bien observées lorsque les débits sont les plus faibles, il est intéressant de constater que les températures proches de 0°C sont également observées à des périodes de faibles débits hivernaux et que la température de l'eau est, en moyenne, lors des périodes de crues, située entre 7 et 9°C.

En s'intéressant plus particulièrement aux périodes de crues, mois par mois, il n'y a pas de lien entre l'ampleur de la crue (un débit 2 ou 30 fois supérieur au débit moyen interannuel) et la température de l'eau, celle-ci variant de 7-8°C en hiver à 18°C en été.

L'impact des débits de crue sur l'amplitude journalière de la température de l'eau, qui diminue alors, montrée par (Moatar et al., 2009) est également vérifiée (figure suivante).

Le graphe est obtenu en calculant l'amplitude journalière moyenne pour chaque ratio de crue (QMJ/Qmoyen de la chronique), divisée par l'amplitude moyenne sur l'ensemble de la chronique. Le tout fonction du ratio de crue. La tendance est globalement à une amplitude plus faible qu'en temps normal quand les débits augmentent, avec une amplitude journalière inférieure de 25% à 50% à celle observée habituellement pour des débits journaliers supérieurs à 2 fois le débit moyen interannuel.

v. Relations entre différents paramètres caractéristiques par station

Dans le chapitre suivant, divers paramètres ont été calculés afin de valider des approches tentant de qualifier les années thermiques et faire émerger les stations où les impacts de la température sur la biologie sont a priori les plus probables.

L'étude des liens entre ces paramètres apporte quelques éléments d'ordre général sur les cours d'eau de la région.

Apparaissent sur le graphe suivant les couples de points pour chaque station, liant la température moyenne de l'eau, quand la température de l'air est à 25°C, et la température moyenne de l'eau, quand la température de l'air est à 0°C.

Le chiffre à gauche du nom de la station renvoie à un regroupement des stations, suivant des critères d'appartenance aux grands secteurs hydro écologiques et aux températures estivales maximales observées (à droite la température moyenne journalière maximale observée sur la chronique disponible).

Il en ressort que les températures de l'eau moyennes quand la température de l'air est à 0°C sont assez peu discriminantes. De ce fait, en dehors des températures caractéristiques (quantile à 5%) calculées par la suite, l'attention portera surtout sur les températures élevées.

Teau (Tair25) en fct Teau (Tair0)

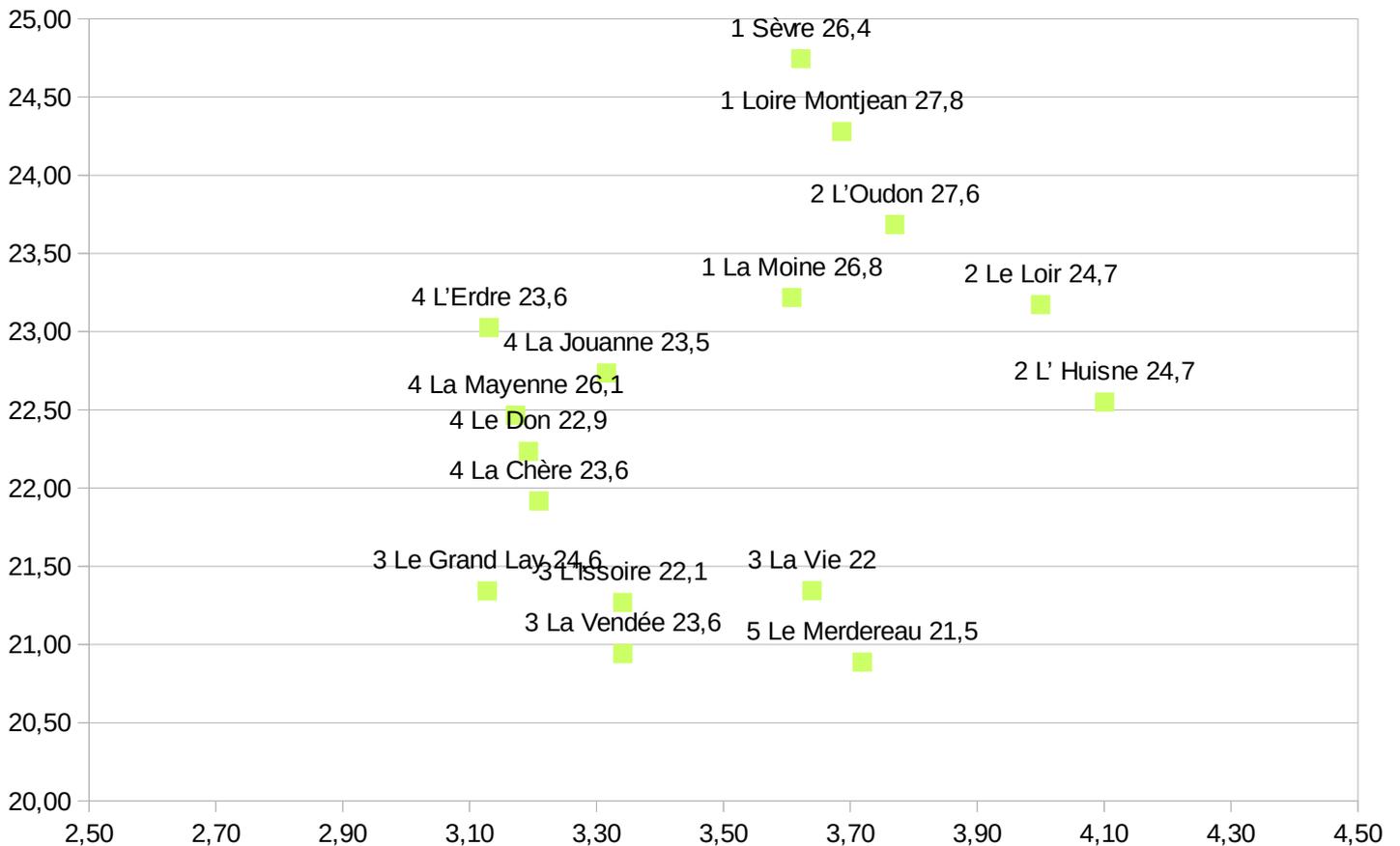


Illustration 14: Teau (pour Tair =25°C) en fonction de Teau (pour Tair = 0°C)

Trois paramètres ont d'abord été calculés :

- la température maximale relevée sur chaque station sur l'ensemble de la période (Tmax)
- la température T95 correspondant au quantile 95 % des températures classées
- la moyenne annuelle du nombre de jours où la température maximale journalière dépasse un certain seuil

Sur l'ensemble de la période, le rapport entre la Tmax et la T95 % suit une évolution assez linéaire, trois stations s'écartant un peu des autres.

Pour la plupart des stations, ce rapport oscille entre 1,15 et 1,20, celui de Segré, Ambrières et Saint Prouant étant situé entre 1,26 et 1,31.

Ces stations n'ont a priori pas de points communs, sont situées dans des zones différentes, ont des tailles de BV différentes.

Il peut néanmoins être noté, que bien que cela soit le cas aussi pour d'autres stations, pour ces trois-ci, le débit mesuré lors de la période où la Tmax a été observée était inférieur à 5 % du débit moyen interannuel. La conjonction de débits très faibles et une configuration locale particulière peut donc expliquer ces températures maximales records.

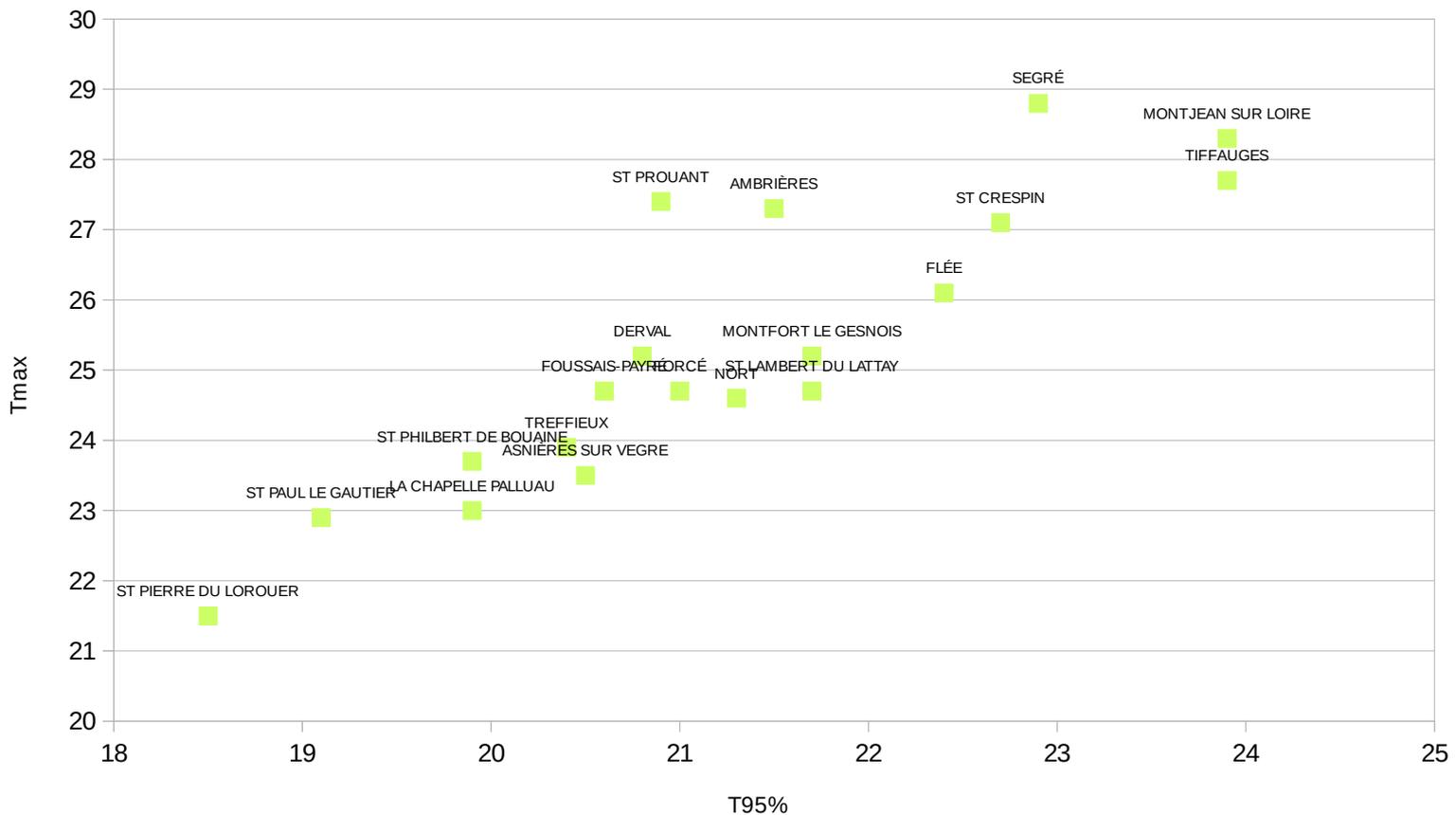


Illustration 15: Relation entre la Tmax et la T95

Par ailleurs il existe une relation assez marquée, entre le nombre moyen de jours par an dépassant les 20°C et la T95 %.

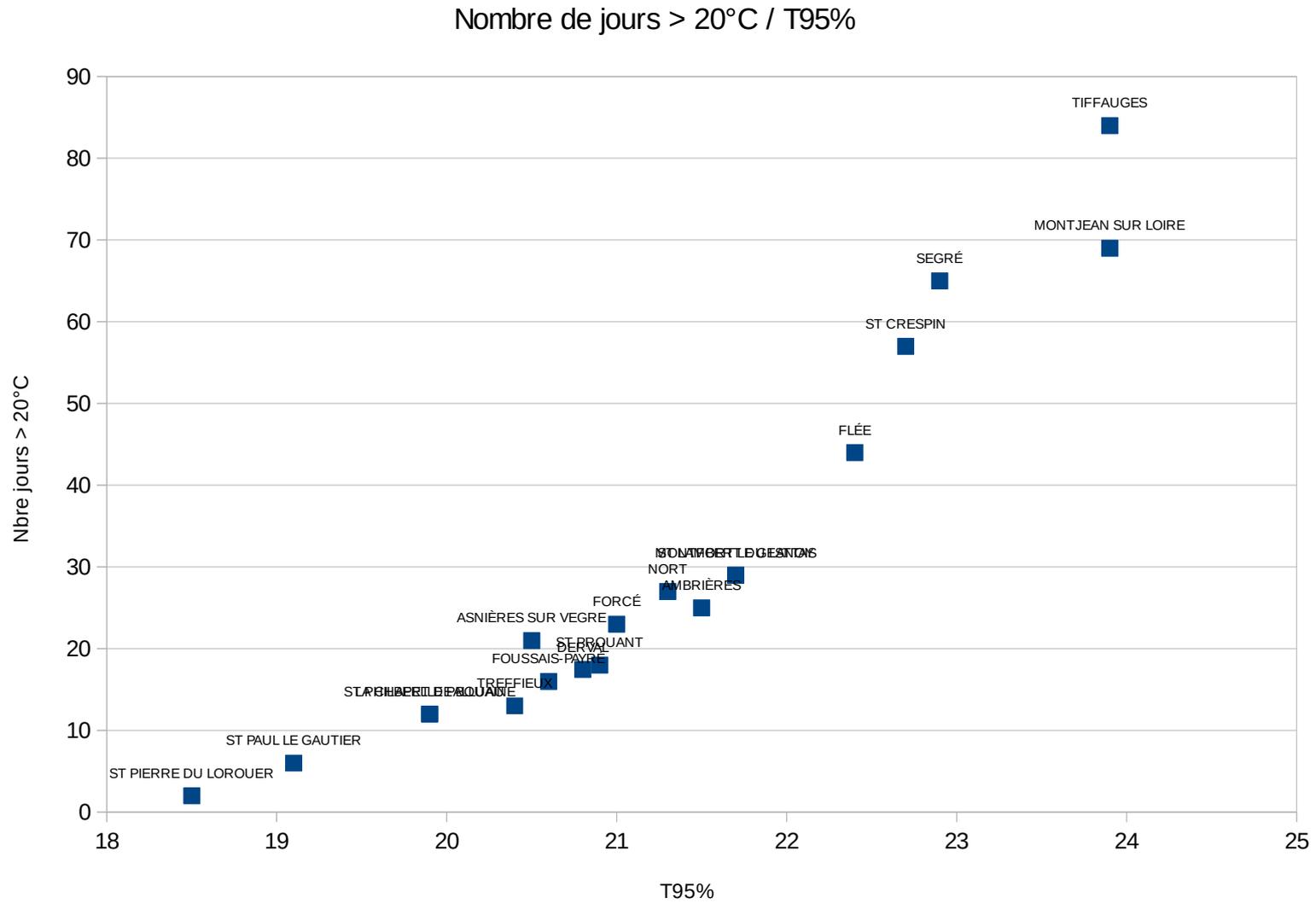


Illustration 16: Relation entre le nombre de jours au dessus d'un seuil (20°C) et la T95

Les indicateurs Tmax, T95 et nombre de jours au dessus d'un seuil peuvent donc être a priori utilisés de manière relativement équivalente pour caractériser les valeurs les plus élevées mesurées aux stations.

Ces températures caractéristiques et d'autres paramètres ont ensuite été confrontés.

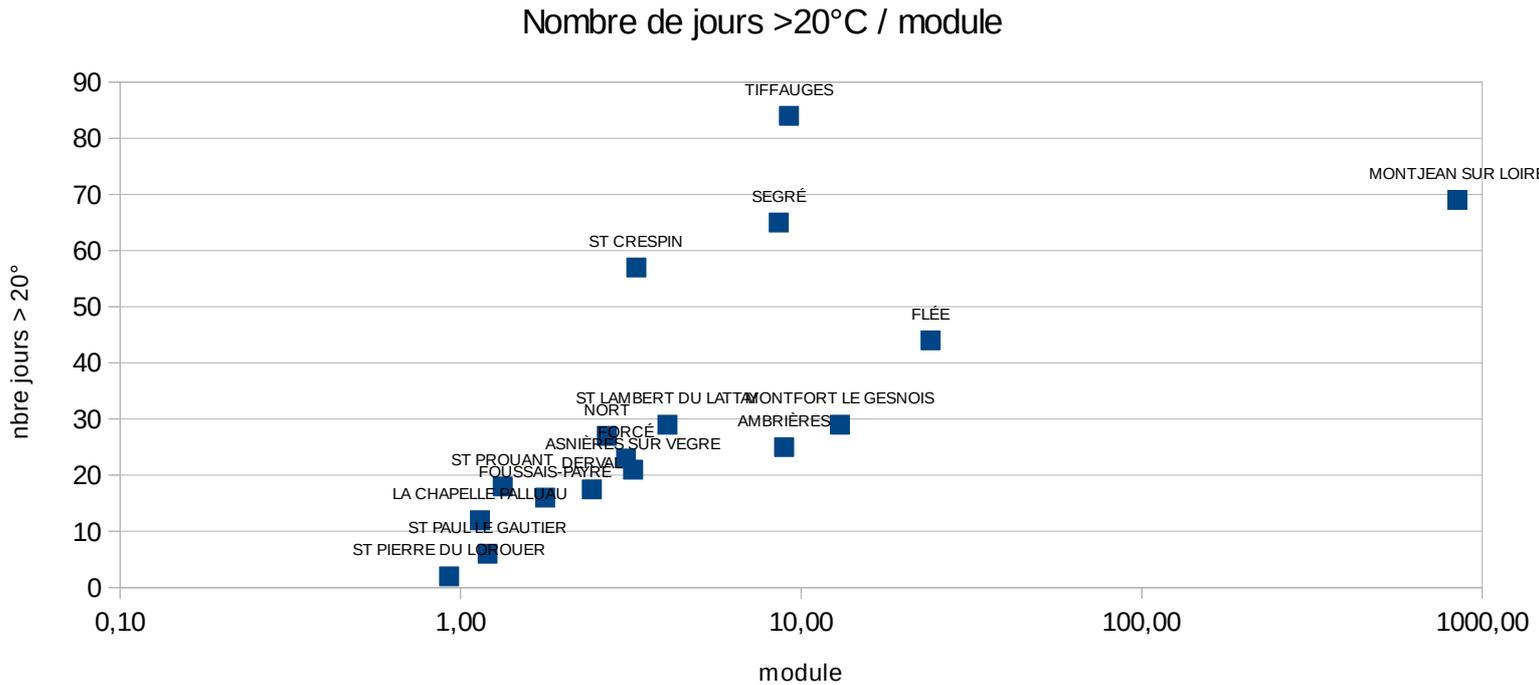


Illustration 17: Lien entre nombre de jours au dessus d'un seuil et module

Il n'existe pas de relation simple et unidimensionnelle entre le nombre de jours moyen dépassant les 20°C et le débit caractéristique qu'est le module. La même répartition peut être observée vis-à-vis de la superficie du bassin versant. Tout juste peut on se borner à indiquer qu'il n'existe pas de cas où ce nombre de jours est faible (inférieur à 20 par exemple) et où le module (ou la superficie du BV, non représenté ici) serait important.

C'est encore plus flagrant avec la Tmax sur le graphique ci-dessous.

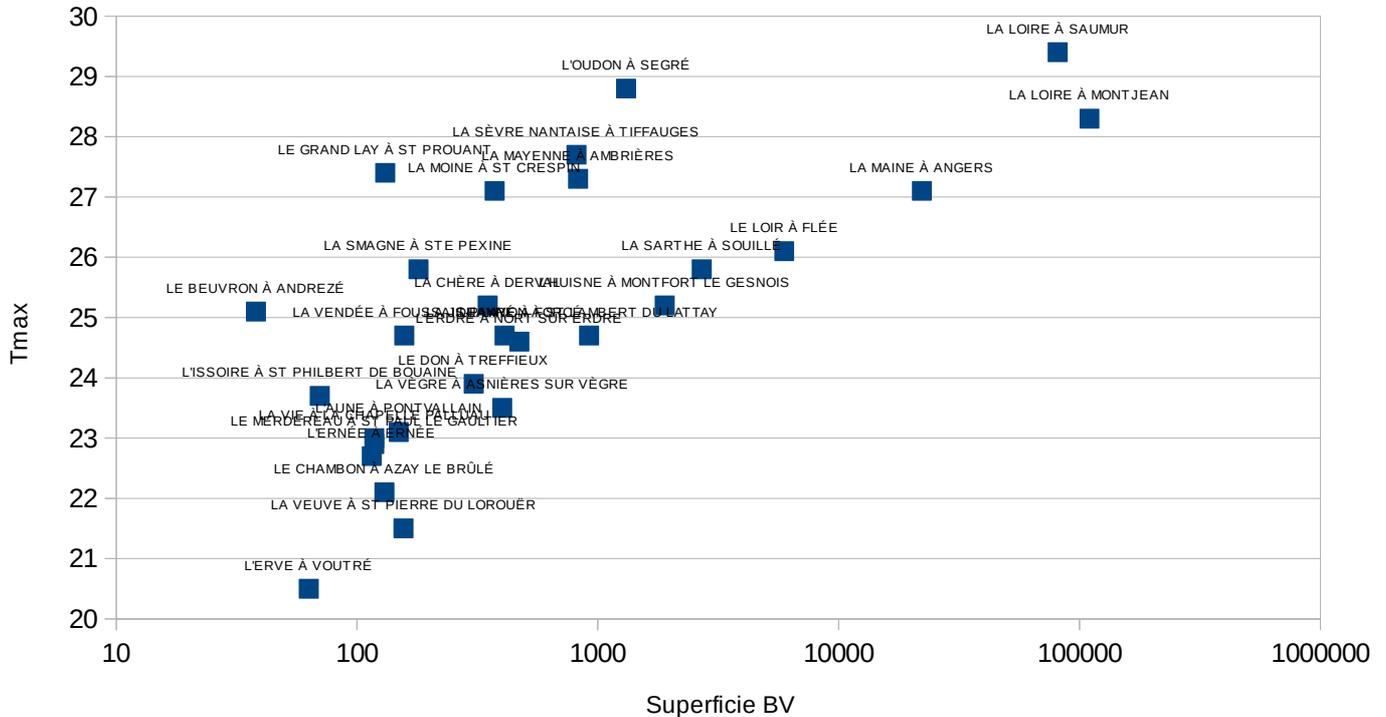


Illustration 18: Lien entre température maximale mesurée et superficie du bassin versant

Si la situation est contrastée pour les bassins versants jusqu'aux alentours des 1000 km² en termes de record absolu de température de chaque cours d'eau, il apparaît clairement sur les rivières de la région Pays de la Loire, au moins à partir d'une certaine taille de bassin versant, que plus celle-ci augmente, moins il est probable que la Tmax soit faible.

Ceci peut s'expliquer par de nombreux facteurs :

- la largeur au miroir plus importante (et donc forçage atmosphérique, rayonnement direct plus importants, baisse de l'influence de l'ombrage..)
- l'équilibre thermique a eu le temps de se faire du fait de l'éloignement aux sources
- éventuels apports intermédiaires dont les débits sont de plus en plus négligeables vis à vis du débit total du cours d'eau..

De cette seconde partie, il ressort :

- que la répartition des points de mesure hydrotempérature sur le territoire du SHPC Maine - Loire aval permet une large représentation des types de cours d'eau en fonction notamment de leur réponse relative aux apports de nappe et au forçage atmosphérique
- que s'il est possible de caractériser débits et température de l'eau, ce sont de fait les conditions météorologiques et le climat océanique qui influent sur ces paramètres, plutôt que l'un directement envers l'autre
- que les profils de température et notamment les températures extrêmes permettent d'envisager de caractériser les cours d'eau et de proposer de les différencier vis à vis de celles-ci, ce qui fera l'objet de la dernière partie du rapport

Caractérisation des années de la période d'étude

Acronymes pour la suite

TMJ : température moyenne journalière

TMM : température moyenne mensuelle interannuelle

i. Comparaison des TMJ et des TMM

Pour chaque station la TMJ est comparée chaque jour à la valeur de la TMM du mois. Sont ainsi décomptés au cours de chaque année le nombre de jours où la TMJ est inférieure ou supérieure à la valeur du TMM.

Un ratio annuel est finalement obtenu par station pour l'année considérée, le R_{TMJ}

Pour un ratio situé autour de 1, l'année peut être considérée comme tempérée comparée aux températures moyennes habituellement observées.

Un ratio inférieur à 1 indique une année froide (Le seuil de 0,9 a été retenu).

Un ratio supérieur à 1 indique une année chaude (le seuil de 1,1 a été retenu).

qualification de l'année	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
LA LOIRE À SAUMUR											0,62	2,29	1,45
LA SARTHE À SOUILLÉ													1,12
L'ERVE À VOUTRÉ											0,67	1,68	1,04
L'AUNE À PONTVALLAIN											0,60	1,70	1,24
L'ERNÉE À ERNÉE											0,67	1,81	1,21
LA MAINE À ANGERS													1,40
LE BEUVRON À ANDREZÉ											0,50	2,65	1,28
LA SMAGNE À STE PEXINE											0,79	1,55	0,94
LE CHAMBON À AZAY LE BRÛLÉ											0,69	2,38	0,91
Toutes – 3 ans											0,64	1,96	1,16
LA CHÈRE À DERVAL		0,66	0,95	1,47	1,05	0,87	0,83	0,62	1,30	0,72	1,21	2,80	1,07
LE DON À TREFFIEUX								0,37	1,37	0,52	0,82	2,44	1,06
LE MERDEREAU À ST PAUL LE GAULTIER								0,60	1,37	0,80	0,67	2,61	1,25
L'HUISNE À MONTFORT LE GESNOIS								0,75	1,57	0,73	0,62	1,85	1,39
LA VÈGRE À ASNIÈRES SUR VÈGRE										0,64	0,70	1,92	1,19
LA VEUVE À ST PIERRE DU LOROUËR										0,76	0,67	2,02	1,23
LE LOIR À FLÉE								0,62	1,70	0,75	0,67	2,15	1,47
LA MAYENNE À AMBRIÈRES	1,05	1,08	1,19	1,13	0,92	0,65		0,58	1,63	0,87	0,83	1,87	0,99
LA JOUANNE À FORCÉ								0,49	1,63	0,84	1,01	2,58	1,32
L'ODON À SEGRÉ	1,40	0,88	1,21	1,48	0,87	0,55	0,96	0,69	1,66	0,56	0,73	2,48	0,99
LE LAYON À ST LAMBERT DU LATTAY										0,62	0,85	2,84	1,25
LA LOIRE À MONTJEAN				1,57	1,09	0,38	0,44	0,45	1,11	0,97	0,71	2,51	1,53
L'ERDRE À NORT SUR ERDRE									1,42	0,69	0,83	2,65	1,01
LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES							0,99	0,74	1,92	0,73	0,91	2,32	1,30
LA MOINE À ST CRESPIN		1,69	0,91	1,19	0,23	0,80		0,85	1,77	0,81	0,81	2,97	1,23
L'ISSOIRE À ST PHILBERT DE BOUANE									1,45	0,62	0,86	2,12	1,27
LA VIE À LA CHAPELLE PALLUAU								0,68	1,43	0,81	0,76	2,20	1,05
LE GRAND LAY À ST PROUANT		0,50	0,16	0,48	1,30	0,85	1,07	0,75	1,83	0,77	0,69	1,77	0,87
LA VENDÉE À FOUSSAIS-PAYRÉ		0,80	0,82	1,43	1,57	0,66	1,09	0,57	1,47	0,79	0,80	2,29	1,50
Toutes + 3ans	1,21	0,87	0,78	1,18	0,91	0,66	0,87	0,62	1,52	0,73	0,79	2,30	1,19

Illustration 19: Tableau des ratios $RTMJ$

$$R_{TMJ} = \frac{\text{Nombre de jours où le TMJ est supérieur au TMM}}{\text{Nombre de jours où le TMJ est inférieur au TMM}}$$

(seules les années avec au moins 300 jours disposant d'un TMJ sont prises en compte)

Depuis 2008, les résultats quelles que soient les stations sont très similaires, alors que sur la période précédente ils paraissent plus différenciés et variables d'une année à l'autre.

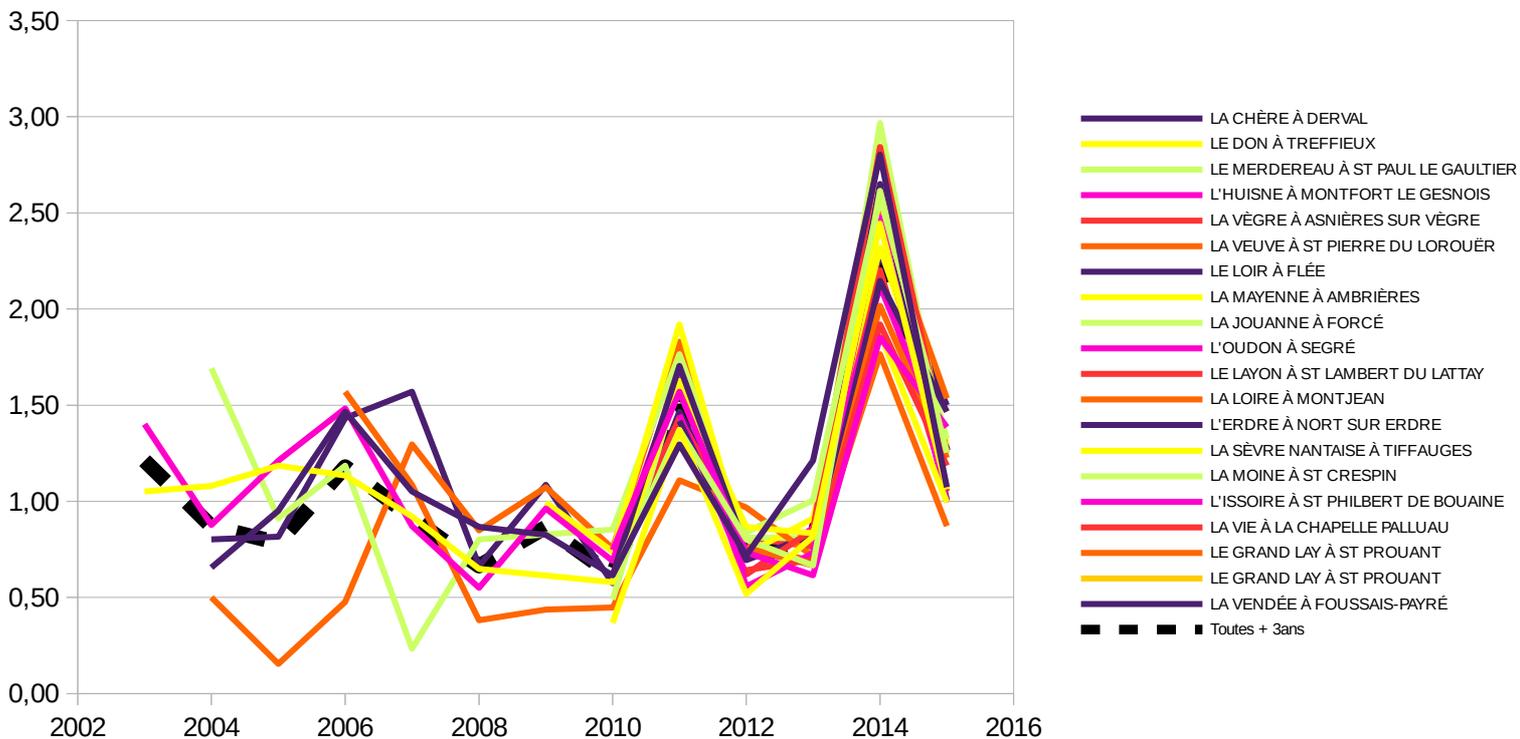


Illustration 20: Graphe des ratios R_{TMJ}

L'année 2014 est par ailleurs totalement hors normes, avec environ 250 jours de dépassement sur 365.

La ligne pointillée n'est pas une moyenne des R_{TMJ} par station mais un calcul d'un R_{TMJ} « régional » à partir de toutes les données disponibles.

ii. Caractérisation régionale

Afin de qualifier une année sur l'ensemble de la région à partir de la comparaison TMJ et TMM, deux approches sont possibles et listées dans le tableau qui suit :

- 1- utiliser directement le R_{TMJ} « régional »
- 2-comptabiliser les occurrences par station, et retenir la qualification qui revient le plus souvent (« plus d'occurrences », avant dernière ligne du tableau page suivante)

qualification de l'année	2003	2 004	2 005	2 006	2 007	2 008	2 009	2 010	2 011	2 012	2 013	2 014	2 015
tempérée	1	1	2	0	3	0	4	0	0	1	2	0	6
chaude	1	1	2	6	2	0	0	0	16	0	1	19	12
froide	0	4	2	1	2	7	2	14	0	18	16	0	1
plus d'occurrences	chaude	froide	?	chaude	tempérée	froide	tempérée	froide	chaude	froide	froide	chaude	chaude
R _{TMO} « régional »	chaude	froide	froide	chaude	tempérée	froide	froide	froide	chaude	froide	froide	chaude	chaude

Afin de pouvoir qualifier une année en cas « d'égalité » comme en 2005, les données agglomérées au niveau régional sont sans doute préférables. Ceci conduirait pour l'année 2009 à retenir une qualification d'année « froide » alors que 4 points de mesure sur 6 mesurés cette année-là qualifient localement l'année de « tempérée ».

Ce type d'indicateur, pour synthétique qu'il soit, n'éclaire cependant pas sur l'impact potentiel des températures de l'année sur le milieu aquatique.

C'est l'objet du paragraphe suivant.

iii. Températures seuils et qualification thermique des années

Afin de pouvoir un jour croiser données de température et de biologie sur un cours d'eau, il est nécessaire de disposer de chroniques de mesures en continu sur de longues périodes.

Ce lien température de l'eau / biologie est connu pour de nombreuses espèces à diverses phases de leur vie (reproduction, développement etc), mais il est plus qu'hasardeux de lier aujourd'hui une température mesurée en un point d'un cours d'eau et l'impact réel de la température sur l'ensemble du milieu aquatique situé en amont et en aval, via une comparaison avec les indicateurs DCE notamment.

Toutefois, en s'intéressant aux extrêmes (températures en dessous de 5°C et surtout au-dessus de 25°C) ainsi qu'au nombre de jours où ces températures sont dépassées, la situation générale favorable ou non à la biologie peut déjà faire l'objet d'une première description.

Ainsi par station, ont été calculés :

- les percentiles 5 % et 95 %. Ceux-ci ont permis de fixer des valeurs seuils spécifiques à chaque station, exprimées en nombre de jours de dépassement, permettant par la suite de qualifier l'année pour le cours d'eau.
- le nombre de jours où la température de l'eau a dépassé les 25°C

Qu'est ce que les percentiles 5 % et 95 % ?

L'ensemble des valeurs de températures atteintes à une station sont classées dans l'ordre croissant, avec le nombre de jours (où elles ont été observées) correspondant. Le nombre de jours cumulés représentant 5 % (respectivement 95%) du nombre total de jours mesurés permet de définir la valeur de la $T_{5\%(95\%)}$ exprimée en degrés Celsius

Le nombre de jours en dessous (respectivement au-dessus) de ce seuil sont alors décomptés chaque année.

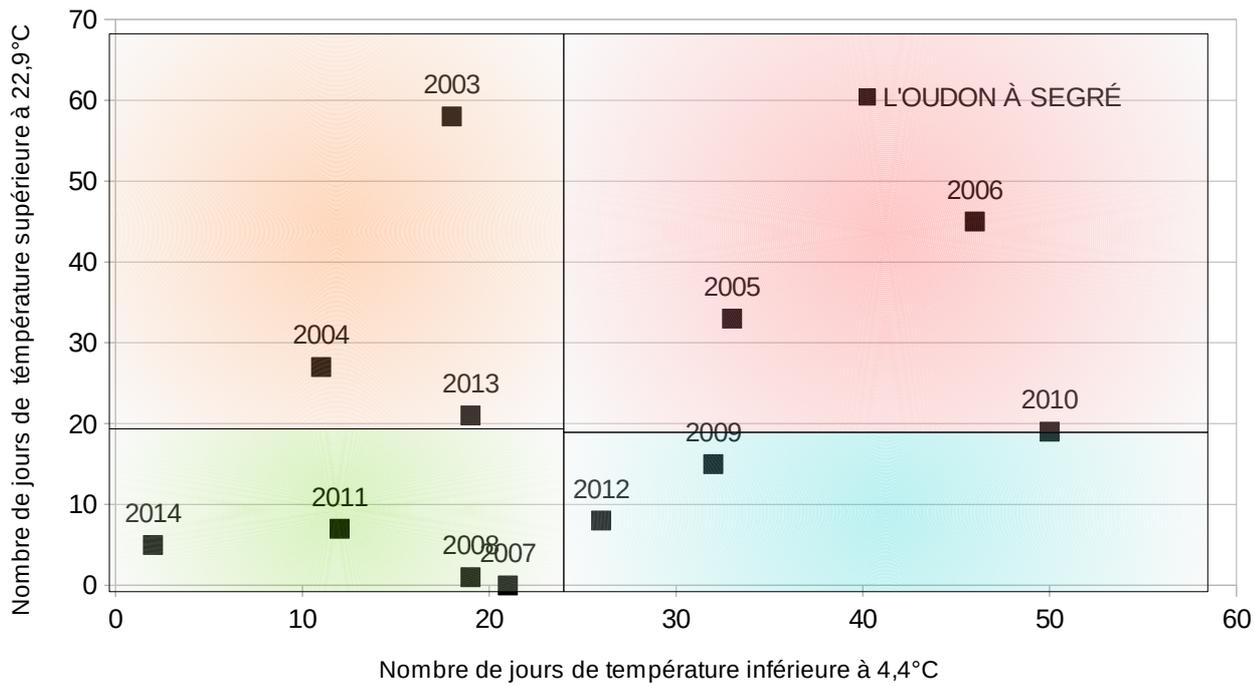
En calculant par ailleurs le nombre moyen de jours sur l'ensemble de la période par le même procédé, il est alors possible de qualifier l'année

nom stations	T°C Quantile 5 %	T°C Quantile 95 %	Nombre moyen de jours en dessous T°CQ5 %	Nombre moyen de jours au dessus de T°CQ95 %
L'AUNE À PONTVALLAIN	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
L'ERDRE À NORT SUR ERDRE	4,8	21,2	18,5	21,3
L'ERNÉE À ERNÉE	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
L'ERVE À VOUTRÉ	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
L'HUISNE À MONTFORT LE GESNOIS	4,2	21,5	25,0	17,2
L'ISSOIRE À ST PHILBERT DE BOUAINE	5,7	19,8	23,8	21,5
L'ODON À SEGRÉ	4,4	22,9	24,1	19,9
LA CHÈRE À DERVAL	4,7	20,9	29,6	19,0
LA JOUANNE À FORCÉ	4,1	20,8	26,2	21,8
LA LOIRE À MONTJEAN	4,7	23,5	22,2	20,0
LA LOIRE À SAUMUR	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA MAINE À ANGERS	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA MAYENNE À AMBRIÈRES	4	21,6	26,7	15,8
LA MOINE À ST CRESPIN	4,9	22,7	27,8	18,4
LA SARTHE À SOUILLÉ	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES	4,3	23,9	23,8	20,7
LA SMAGNE À STE PEXINE	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA VÈGRE À ASNIÈRES SUR VÈGRE	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA VENDÉE À FOUSSAIS-PAYRÉ	4,5	20,6	30,3	20,1
LA VEUVE À ST PIERRE DU LOROUËR	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LA VIE À LA CHAPELLE PALLUAU	5	19,9	27,4	23,0
LE BEUVRON À ANDRÉZÉ	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LE CHAMBON À AZAY LE BRÛLÉ	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LE DON À TREFFIEUX	4,9	20,4	19,0	18,5
LE GRAND LAY À ST PROUANT	5	21	29,1	13,9
LE LAYON À ST LAMBERT DU LATTAY	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes	données insuffisantes
LE LOIR À FLÉE	4,4	22,2	24,8	20,2
LE MERDEREAU À ST PAUL LE GAULTIER	4,4	18,9	29,4	19,8

L'intérêt de cette approche est réellement de fournir des températures seuils spécifiques à chaque station hydrotempérature, obtenues avec une méthode strictement identique. A la différence de la comparaison avec un seuil fixe, les valeurs seuil sont à recalculer chaque année en intégrant les nouvelles données.

Comme déjà évoqué précédemment, ces deux valeurs caractéristiques, $T_{95\%}$ et $T_{5\%}$ ne suffisent pas à décrire l'intégralité de la distribution des températures, qui n'est pas répartie de manière homogène autour d'une valeur centrale, mais bien les températures extrêmes.

Illustration 21: Tableau récapitulatif des T5 et T95



	L'AUNE À PONTVALLAIN	L'ERDRE À NORT SUR ERDRE	L'ERNÉE À ERNÉE	L'ERVE À VOUTRÉ	L'HUISNE À MONTFORT LE GESNOIS	L'ISSOIRE À ST PHILBERT DE BOUAINÉ	L'OUDON À SEGRÉ	LA CHÈRE À DERVAL	LA JOUANNE À FORCÉ	LA LOIRE À MONTJEAN	LA LOIRE À SAUMUR	LA MAINE À ANGERS	LA MAYENNE À AMBRIÈRES	LA MOINE À ST CRISPIN
2003														
2004							chaude	tempérée					tempérée	
2005							extrême	extrême					extrême	
2006							extrême	extrême		extrême			extrême	
2007							froide	tempérée		tempérée			tempérée	froide
2008							tempérée	tempérée		tempérée			tempérée	
2009							froide	froide						
2010					extrême		froide	extrême	froide	froide			froide	extrême
2011		tempérée			tempérée	tempérée	tempérée	tempérée	tempérée	tempérée			tempérée	tempérée
2012		froide			tempérée	froide		froide	froide	extrême			froide	froide
2013		extrême			chaude	extrême	chaude	chaude	chaude	extrême			chaude	chaude
2014		tempérée			tempérée	tempérée	tempérée	chaude	tempérée	tempérée			tempérée	tempérée
2015		extrême			chaude	chaude	chaude	tempérée	chaude	extrême			tempérée	chaude
	LA SARTHE À SOUILLÉ	LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES	LA SMAGNE À STE PEXINE	LA VÈGRE À ASNIÈRES SUR VÈGRE	LA VENDÉE À FOUSSAIS-PAYRÉ	LA VEUVE À ST PIERRE DU LOROUEUR	LA VIE À LA CHAPELLE PALLAU	LE BEUVRON À ANDREZÉ	LE CHAMBON À AZAY LE BRÛLÉ	LE DON À TREFFIEUX	LE GRAND LAY À ST PROUANT	LE LAYON À ST LAMBERT DU LATTAY	LE LOIR À FLÉE	LE MERDEREAU À ST PAUL LE GAULTIER
2003														
2004					extrême									
2005					extrême									
2006					extrême									
2007					tempérée						froide			
2008					tempérée						tempérée			
2009		extrême			froide						extrême			
2010		extrême			froide		extrême				extrême		extrême	extrême
2011		tempérée			tempérée		tempérée			tempérée	tempérée		tempérée	tempérée
2012		froide		froide	tempérée	froide	froide			froide	froide	froide	tempérée	froide
2013		chaude		extrême	chaude	froide	chaude			extrême	chaude	extrême	chaude	
2014		tempérée		tempérée	tempérée	tempérée	tempérée			chaude	tempérée	tempérée	tempérée	tempérée
2015		tempérée		extrême	tempérée	chaude	tempérée			extrême	tempérée	tempérée	chaude	chaude

Illustration 22: Qualification des années à partir des T5 et T95

De même que pour le nombre de jours au dessus d'un seuil fixe, il est alors possible de caractériser l'année à l'échelle du territoire couvert par le réseau hydrotempérature :

	stations qualifiées	dominant	tempérée	froide	chaude	extrême
2003	0		0	0	0	0
2004	4	tempérée	2	0	1	1
2005	4	extrême	0	0	0	4
2006	5	extrême	0	0	0	5
2007	7	tempérée	4	3	0	0
2008	6	tempérée	6	0	0	0
2009	5	froide	0	3	0	2
2010	13	extrême	0	5	0	8
2011	16	tempérée	16	0	0	0
2012	18	froide	3	14	0	1
2013	18	chaude	0	1	11	6
2014	19	tempérée	17	0	2	0
2015	19	chaude	7	0	8	4

Illustration 23: Qualification régionale des températures de l'eau à partir des T5 et T95

Comme au paragraphe précédent, un calcul par année sur l'ensemble des données disponibles pourrait également être réalisé en calculant une T5 et une T95.

Cependant, à la différence du « R_{TMJ} régional » qui additionne au numérateur et au dénominateur les nombres de jours supérieurs et inférieurs à la température moyenne par station, classer l'ensemble des températures mesurées sur le réseau pour en extraire les T5 et T95 aboutirait à qualifier l'année principalement à partir des stations les plus chaudes et froides.

Le calcul n'a de ce fait pas été réalisé.

iv. Stations concernées par des dépassements des 25°C

Température maximale journalière

	L'HUISNE À MONTFORT LE GESNOIS	L'OUDON À SEGRÉ	LA CHÈRE À DERVAL	LA LOIRE À MONTJEAN	LA LOIRE À SAUMUR	LA MAINE À ANGERS	LA MAYENNE À AMBRIÈRES	LA MOINE À ST CRESPIN	LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES	LA SMAGNE À STE PEXINE	LE BEUVRON À ANDRÉZÉ	LE GRAND LAY À ST PROUANT	LE LOIR À FLÉE
2003		18					12	17					
2004		3						1					
2005		4		20			3						
2006		22	2	32				5				9	
2007													
2008													
2009				7					16				
2010	1	1						4	17				5
2011									2				
2012				11	1				6				
2013		2		22	27		1	8	19	4			2
2014				8	17	4					2		
2015	2	2		21	38	20			9		4		6

Illustration 24: Nombre de jours par an où la température journalière maximale a dépassé les 25°C

Température moyenne journalière

	L'OUDON À SEGRÉ	LA LOIRE À MONTJEAN	LA LOIRE À SAUMUR	LA MAINE À ANGERS	LA MAYENNE À AMBRIÈRES	LA MOINE À ST CRESPIN	LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES	LE LOIR À FLÉE
2003	10				7	10		
2004								
2005		16						
2006	15	24						
2007								
2008								
2009		5					4	
2010							4	
2011								
2012		5	1					
2013		15	20			1	11	
2014		2	6	1				
2015		8	17	11			3	1

Illustration 25: Nombre de jours par an où la TMJ a dépassé les 25°C

Sont listées ici les stations ayant dépassé au moins une fois les 25°C, pour la $T_{\text{max journalière}}$ et la TMJ.

Par construction le nombre de jours comptabilisés pour la $T_{\text{max journalière}}$ est supérieur au nombre de jours où la TMJ a dépassé le même seuil.

Ce sont a priori la **Loire et la Sèvre Nantaise (et la Maine à confirmer les années à venir)** qui sont les plus à risque vis à vis des températures élevées, et dans une moindre mesure **l'Oudon, la Mayenne et la Moine**, les années de canicule.

Les autres stations du tableau Tmax connaissent des dépassements temporaires et peu fréquents de cette valeur seuil.

En creux, une **moitié des stations** environ (à confirmer sur de plus longues chroniques) ne connaît pas de dépassements de ce seuil.

De ces différentes approches, peut être retenu :

- qu'à partir des chroniques de températures en continu il est possible de qualifier de manière globale, par année, voire sur un secteur géographique élargi, les températures mesurées des cours d'eau.
- qu'un suivi et une attention particulière pourront être apportés aux cours d'eau atteignant et dépassant des seuils de température a priori préjudiciables à la biologie

Détection d'évolutions dans le temps

La recherche d'évolutions tendancielle (liée au réchauffement climatique ou à des modifications d'usage par exemple) à l'échelle de la région est a priori vaine sur des données moyennes annuelles agrégées sur une trentaine de stations, du fait de la trop faible profondeur des chroniques, et comme vu dans les paragraphes précédents, du fait de l'hétérogénéité des profils thermiques des différents cours d'eau et de l'influence des facteurs décrits et évoqués au long de cette synthèse.

L'étude devra donc se faire station par station, ou groupe de stations par groupe de stations, homogènes vis à vis de l'influence des différents facteurs explicatifs de la température de l'eau, et faire la part des choses entre évolution du climat et autres facteurs liés à l'activité humaine.

La difficulté réside de fait dans l'utilisation de moyennes annuelles, alors même que les températures sont également très différentes suivant les saisons.

Ce sont plutôt des indicateurs, tels la T95 par station, et leur éventuelle évolution dans le temps, qui dans les années à venir pourront peut-être permettre de déceler des tendances de fond.

C'est pourquoi les travaux en cours sur ces sujets partent préférentiellement d'outils de modélisation afin d'estimer l'impact des scénarios climatiques issus du GIEC sur la température des cours d'eau.

Une approche complémentaire consiste à examiner également chaque mois de l'année séparément, sur l'ensemble de la période.

L'examen des chroniques de température de l'air et de l'eau par mois ne montre rien de significatif sur une aussi courte période, où la variabilité annuelle a été marquée entre autres par deux épisodes de canicule en 2003 et 2006.

Les deux graphes ci dessous, réalisés pour les mois de décembre de 2003 à 2015 l'illustrent.

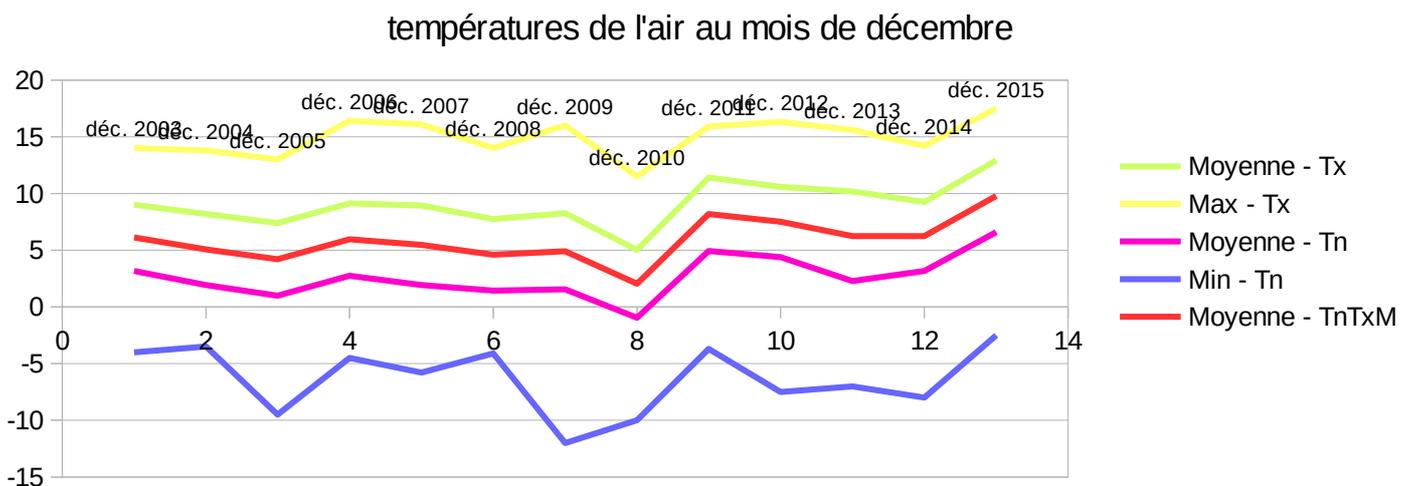


Illustration 26: Evolution des TMM de l'air entre 2003 et 2015 (mois de décembre)

températures de l'eau au mois de décembre

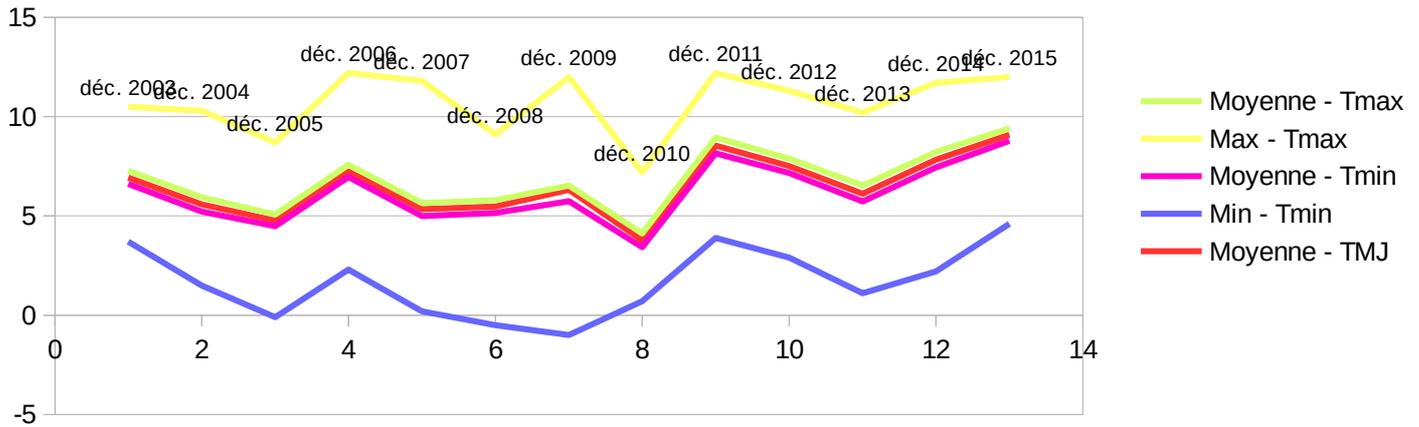


Illustration 27: Evolution des TMM de l'eau entre 2003 et 2015 (mois de décembre)

Tout juste peut-il être constaté la différence d'amplitude entre les différentes températures pour l'eau et pour l'air. Les moyennes mensuelles des Tmin, Tmax et TMJ sont quasi identiques pour l'eau, les moyennes mensuelles des Tn, Tx et TnTxM sont bien différenciées pour la température de l'air.

Les variations interannuelles de l'air et de l'eau sont par ailleurs tout à fait symétriques, le mois de décembre 2015 est le plus chaud de la chronique pour les températures de l'air, et il en va de même pour la température de l'eau.

Le réseau de stations étant maintenant complet, les calculs de moyennes pourront se faire sur un périmètre stabilisé et fixe de stations, ce qui facilitera grandement l'analyse.

En effet, si en décembre il pourrait sembler que les Tmin, Tmax et TMJ augmentent depuis 2010, de fait seule l'éventuelle tendance à la hausse sur le Tmin ne peut provenir de l'ajout de nouvelles stations.

Cette hausse de la température minimale mesurée sur la région au mois de décembre fait par ailleurs suite à plusieurs années de baisse entre 2003 et 2009, dont on ne sait pas non plus si elle est due à la mise en service de stations habituellement plus froides que les autres à cette période.

Cette approche par les températures moyennes mensuelles de chaque mois sera certainement utile à terme, pour illustrer d'éventuelles évolutions saisonnières du climat, et peut être les lier à des modifications de la flore ou de la faune aquatiques impactées dans telle ou telle phase de leur cycle de vie.

Conclusions

Le réseau de mesure en continu de la température des cours d'eau est maintenant stabilisé sur le périmètre d'intervention du SHPC Maine – Loire Aval.

Les choix d'implantation des capteurs de mesure permettent de couvrir des cours d'eau aux caractéristiques et réponses aux facteurs d'influence extérieurs bien différenciés. Sans prétendre à l'exhaustivité, le réseau paraît donc être assez représentatif des cours d'eau de plaine soumis au climat océanique de cette partie ouest de la France..

L'antériorité des données acquises, encore insuffisante pour examiner des tendances de long terme (changement climatique par exemple), permet néanmoins déjà une caractérisation fine des cours d'eau vis à vis du paramètre température.

La pérennisation de ce réseau paraît absolument nécessaire au vu des enjeux existants et à venir dans ce domaine.

Des indicateurs peuvent d'ores et déjà être proposés pour intégrer des publications régulières et existantes sur l'état des milieux aquatiques, et pourraient utilement être consolidés et adaptés pour d'autres usages (rapports annuels, gestion quantitative prévisionnelle ou de crise, suivi de l'impact de travaux, de l'urbanisation etc).

Références bibliographiques

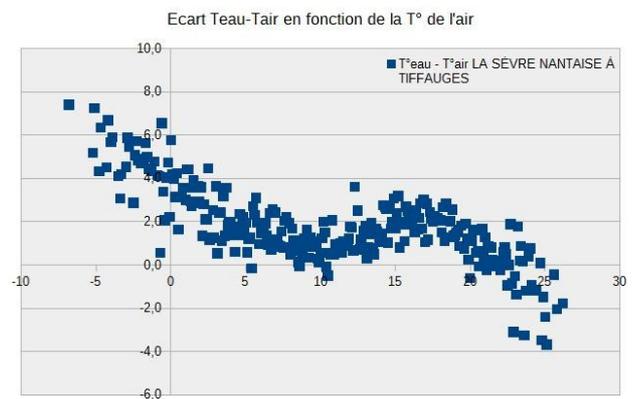
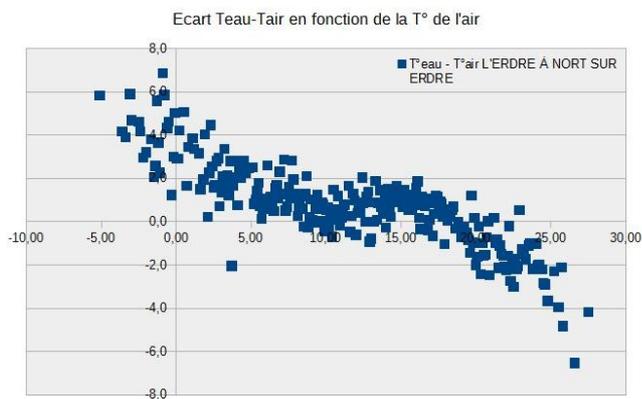
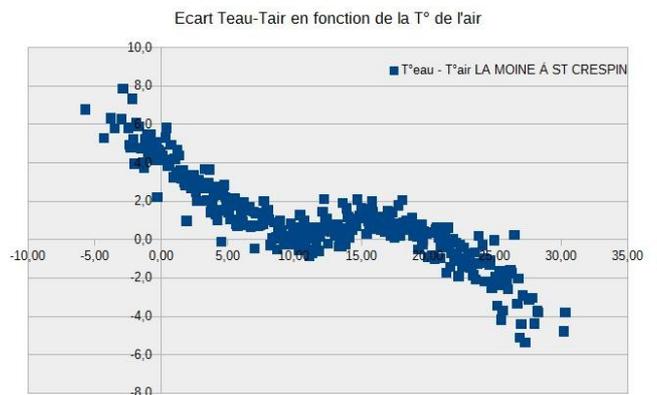
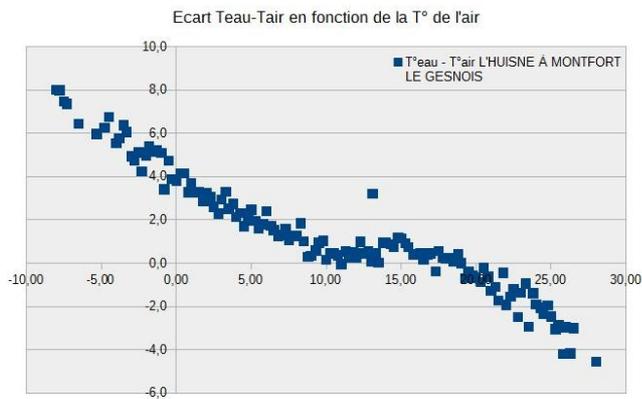
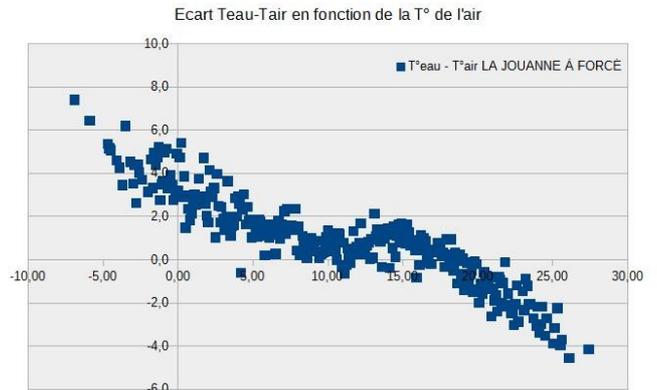
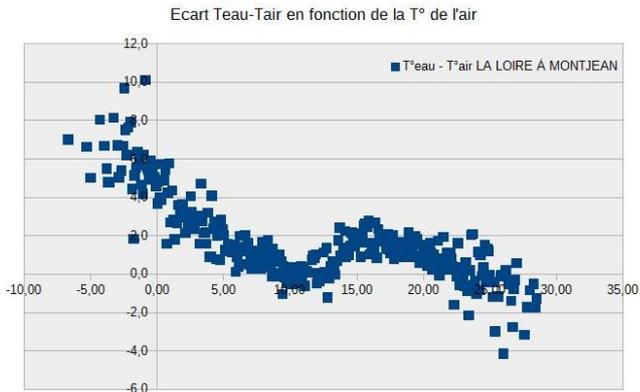
Josserand C. (2010). – *Guide pratique – Mise en œuvre d'une mesure de température de l'eau sur les stations hydrométriques de type CPL et CPL+*. ONEMA et INERIS

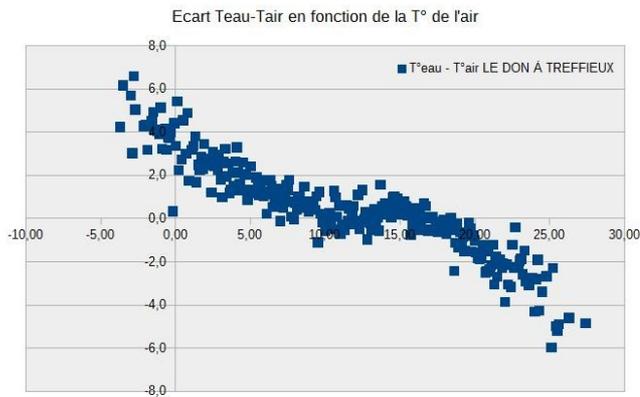
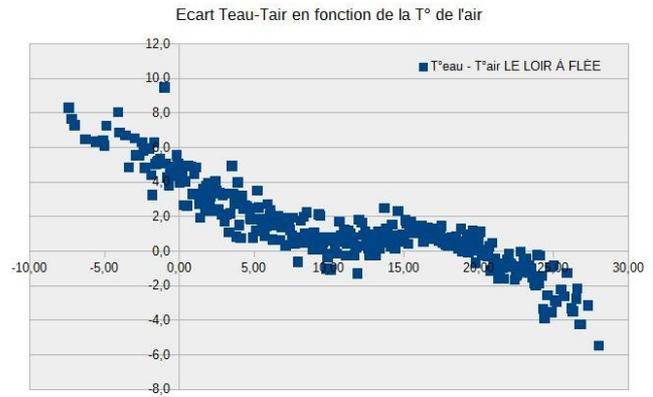
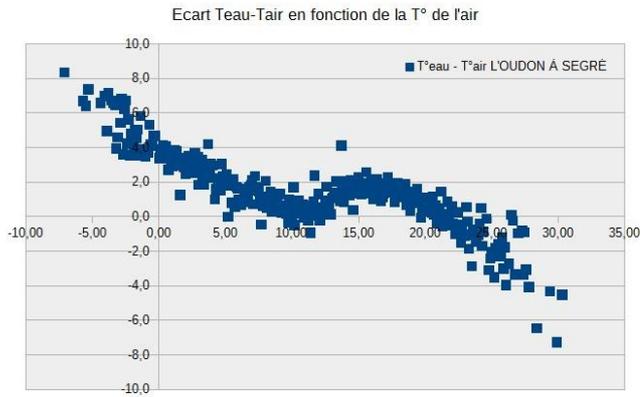
Lery S. (2010) – *Mesures en continu des températures sur quelques rivières des Pays de la Loire, Période 2003-2008*. DREAL Pays de la Loire. <http://www.pays-de-la-loire.developpement-durable.gouv.fr/mesures-en-continu-des-temperatures-sur-quelques-a1009.html>

Beaufort A. (2016) – *Température des cours d'eau : analyse des données et modélisation : application au bassin de la Loire*. ONEMA et Université François Rabelais de Tours.

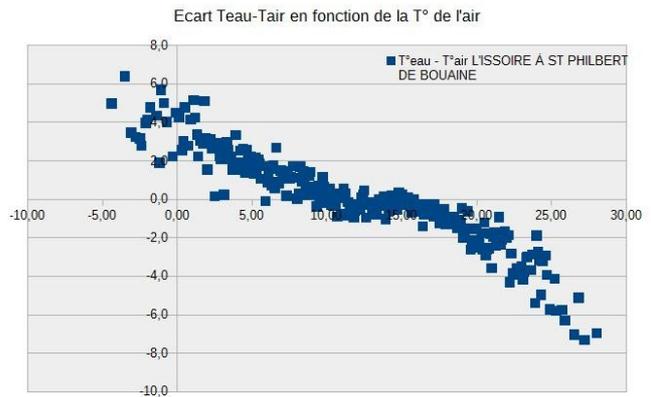
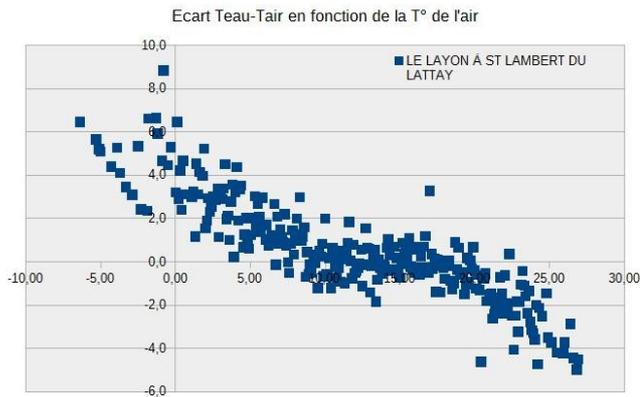
Annexe 1 : profils de température

Cas 1 : profils marqués par une double inflexion sur la plage 10-20°C

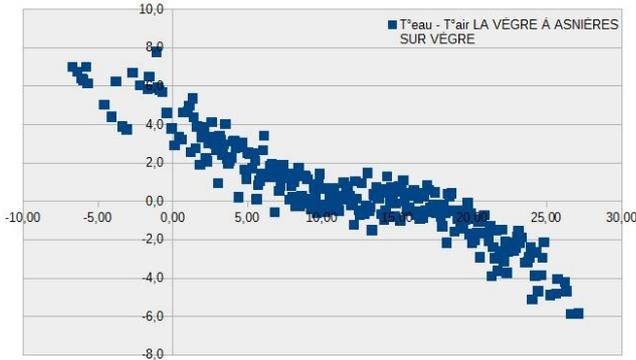




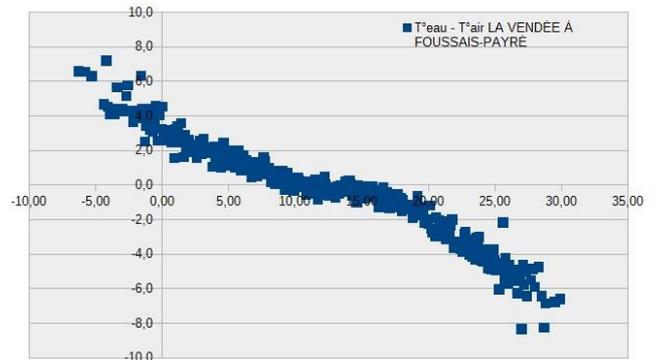
Cas 2 : profils marqués par un relatif équilibre Tair/Teau sur la plage 10-20°C



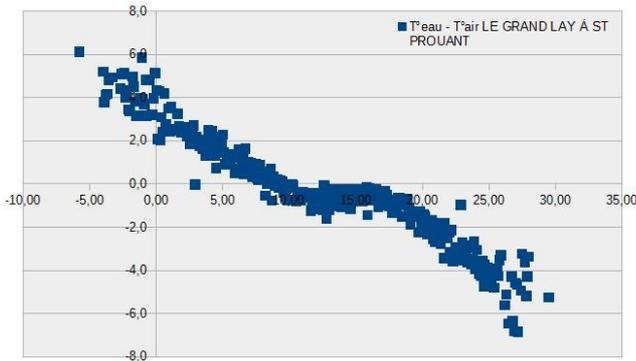
Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



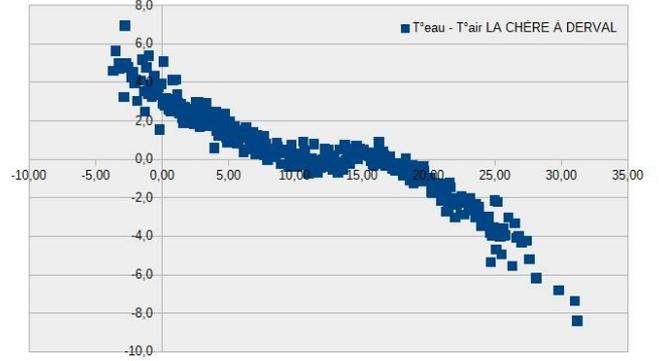
Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



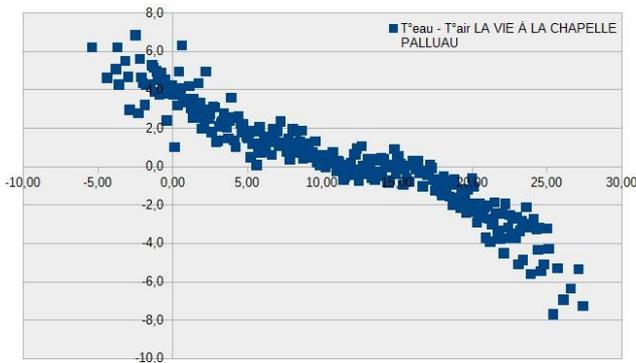
Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



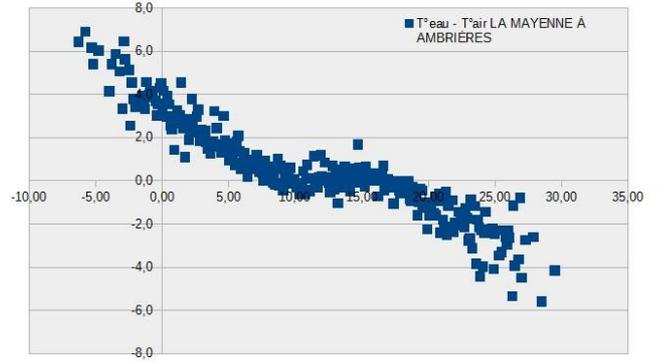
Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air

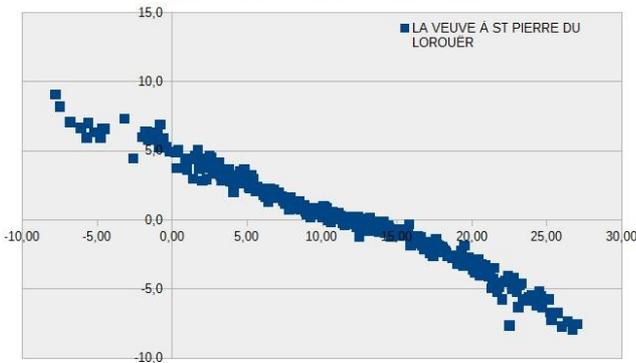


Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air

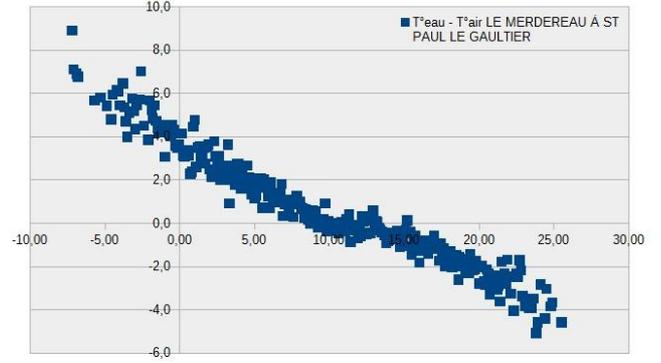


Cas 3 : profils avec une relation quasi linéaire entre l'écart Tair/Teau et Tair

Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



Ecart Teau-Tair en fonction de la T° de l'air



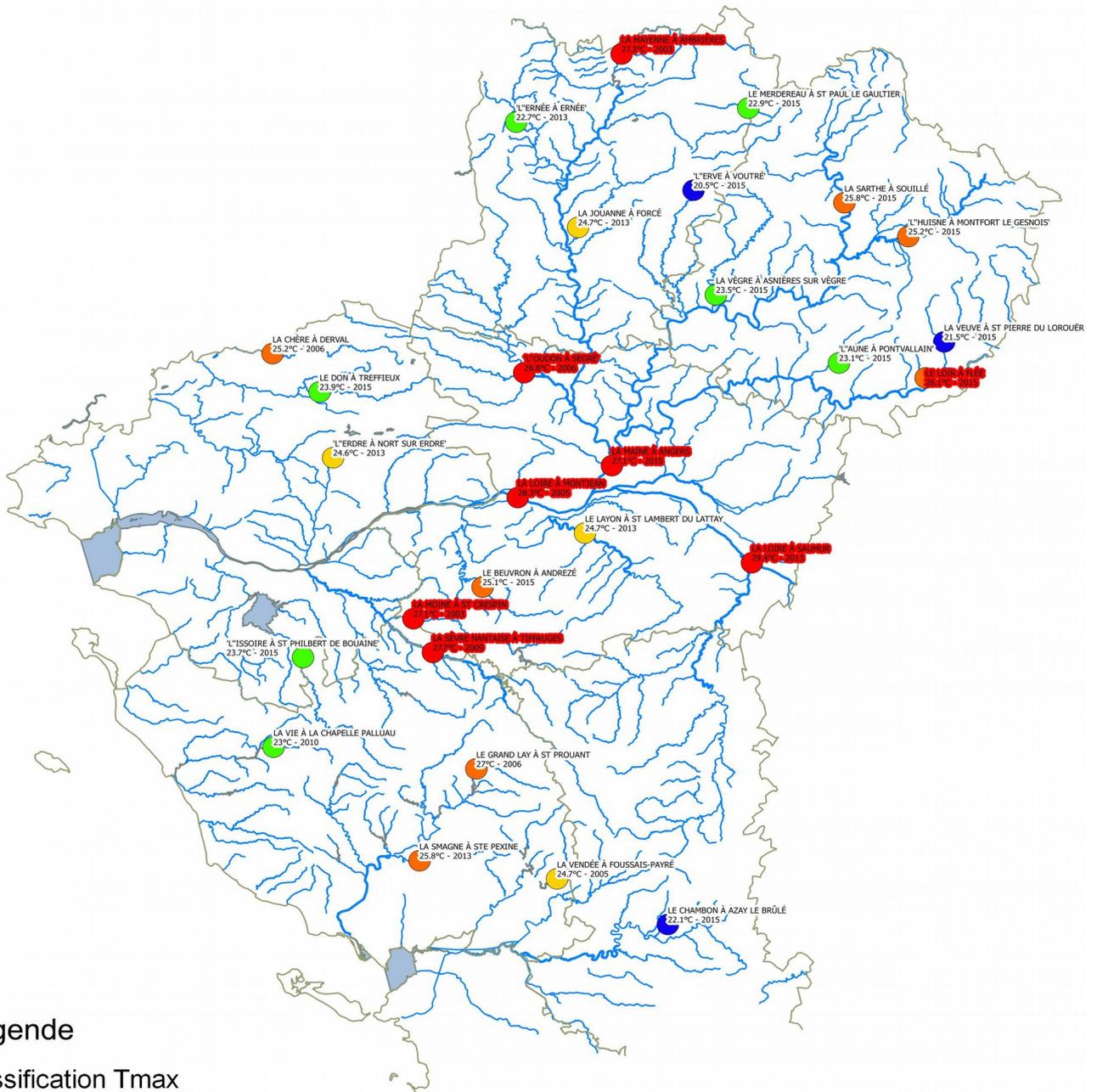
Annexe 2 : tableau de résultats obtenus par station

Code hydro	Nom hydro	Nombre de jours > 20°C	T5 %	T95 %	Tmax	année Tmax	rapport Tmax / T95 %	pente Tair Teau optimisée	ordonnée origine optimisée	inertie (jours)
J7833020	LA CHÈRE À DERVAL	17	5	20,8	25,2	2006	1,21	0,8769	1,6942	4
J7933010	LE DON À TREFFIEUX	13	5	20,4	23,9	2015	1,17	0,8838	1,6809	5
M0114910	LE MERDEREAU À ST PAUL LE GAULTIER	6	5	19,1	22,9	2015	1,20	0,7419	3,006	2
M0421510	L'HUISNE À MONTFORT LE GESNOIS	29	5	21,7	25,2	2015	1,16	0,8331	2,8289	2
M0583020	LA VÈGRE À ASNIÈRES SUR VÈGRE	21	6	20,5	23,5	2015	1,15	0,8671	1,9529	6
M1313010	LA VEUVE À ST PIERRE DU LOROÛER	2	7	18,5	21,5	2015	1,16	0,6324	4,3496	3
M1341610	LE LOIR À FLÉE	44	5	22,4	26,1	2015	1,17	0,9344	1,8209	7
M1463010	L'AUNE À PONTVALLAIN				23,1	2015		0,7656	2,3981	3
M3060910	LA MAYENNE À AMBRIÈRES	25	4	21,5	27,3	2003	1,27	0,893	1,609	4
M3313010	L'ERNÉE À ERNÉE				22,7	2013		0,7269	3,4192	3
M3423010	LA JOUANNE À FORCÉ	23	4	21	24,7	2013	1,18	0,9034	1,8723	5
M3851810	L'OUDON À SEGRÉ	65	5	22,9	28,8	2006	1,26	0,9858	1,1898	8
M4101940	LA MAINE À ANGERS				27,1	2015		1,1906	-0,9558	10
M5222210	LE LAYON À ST LAMBERT DU LATTAY	29	5	21,7	24,7	2013	1,14	0,9053	1,423	7
M5300010	LA LOIRE À MONTJEAN	69	5	23,9	28,3	2005	1,18	1,0188	1,0026	9
M6014010	LE BEUVRON À ANDREZÉ				25,1	2015		0,8298	2,4338	4
M6333020	L'ERDRE À NORT SUR ERDRE	27	4,8	21,3	24,6	2013	1,15	0,9523	1,1747	6
M7112420	LA SÈVRE NANTAISE À TIFFAUGES	84	4,4	23,9	27,7	2009	1,16	1,0512	0,9545	8
M7213020	LA MOINE À ST CRESPIN	57	5	22,7	27,1	2003	1,19	0,9897	0,918	8
M8124010	L'ISSOIRE À ST PHILBERT DE BOUAIN	12	5,8	19,9	23,7	2015	1,19	0,8087	2,325	3
N1001510	LA VIE À LA CHAPELLE PALLUAU	12	5,2	19,9	23	2010	1,16	0,7988	2,5496	4
N3001610	LE GRAND LAY À ST PROUANT	18	5	20,9	27	2006	1,31	0,8276	1,805	4
N4104030	LE CHAMBON À AZAY LE BRÔLÉ				22,1	2015		0,6114	4,072	3

Annexe 3 : cartes

Carte des stations hydrotempérature

Classes de températures maximales et risque de dépassement des 25°C pour les QMJ



Légende

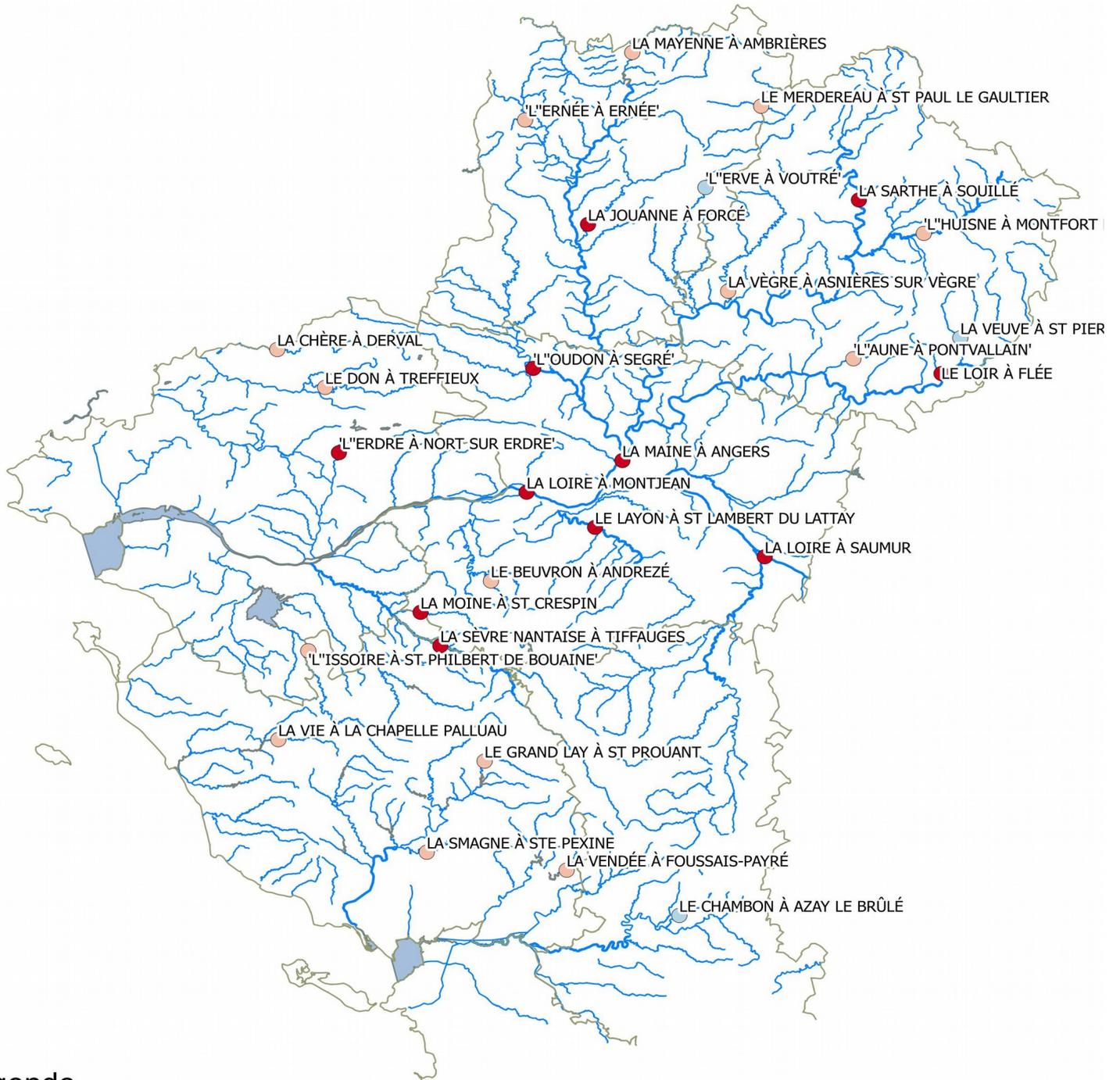
classification Tmax

- 20.5 - 22.1
- 22.1 - 23.9
- 23.9 - 25.0
- 25.0 - 27.0
- 27.0 - 29.4

Les stations surlignées en rouge sont celles où des dépassements du seuil des 25°C pour les températures moyennes journalières ont pu être observés.

Carte des stations hydrotempérature

Influence relative des apports de sources et de nappes et de la température de l'air



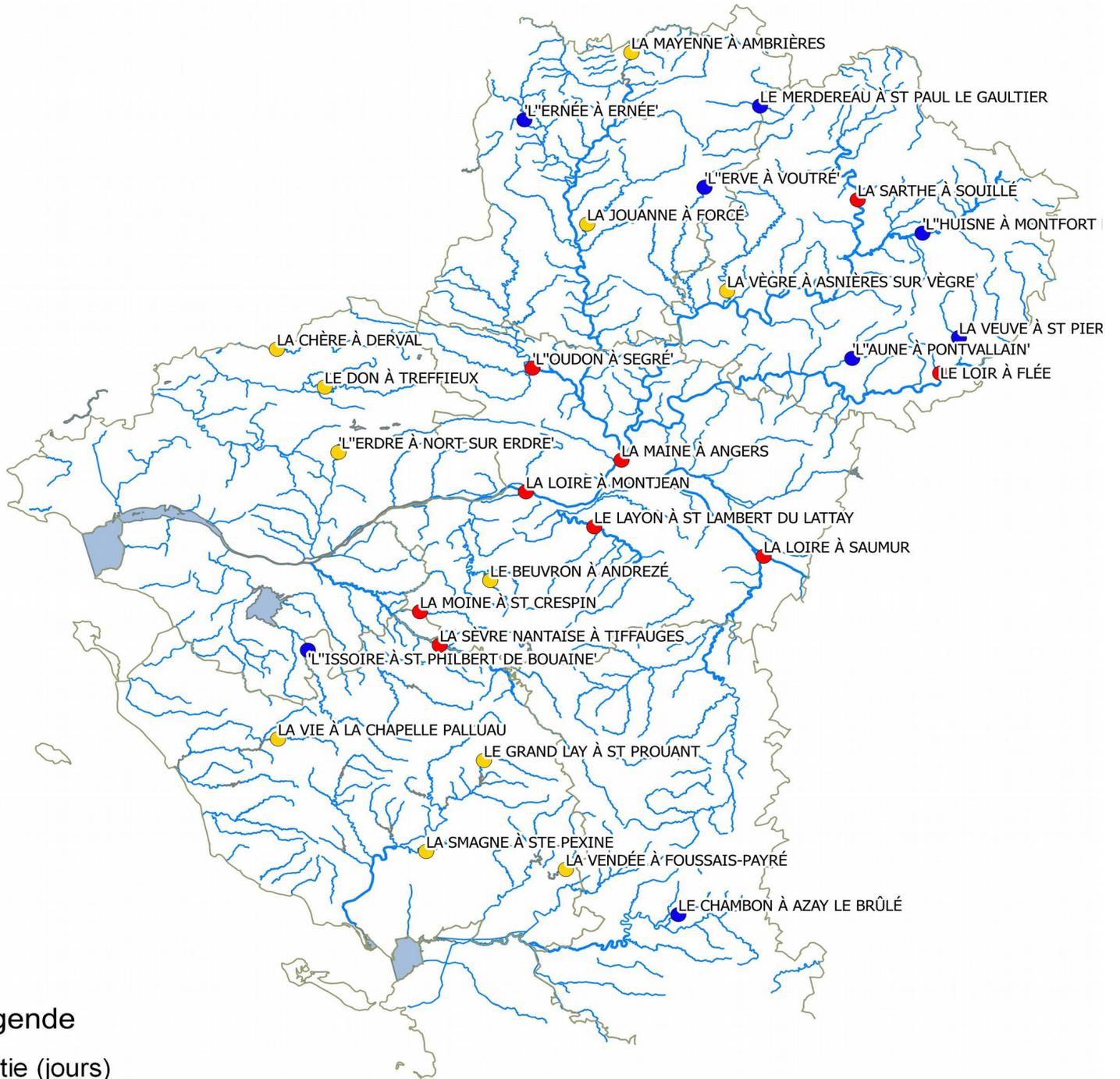
Légende

influence eaux sout./Tair

- influence forte T source / eaux sout
- influence apports sout. été et ombrage
- influence principale Tair

Carte des stations hydrotempérature

Inertie (nombre de jours optimisant la relation linéaire Tair Teau)



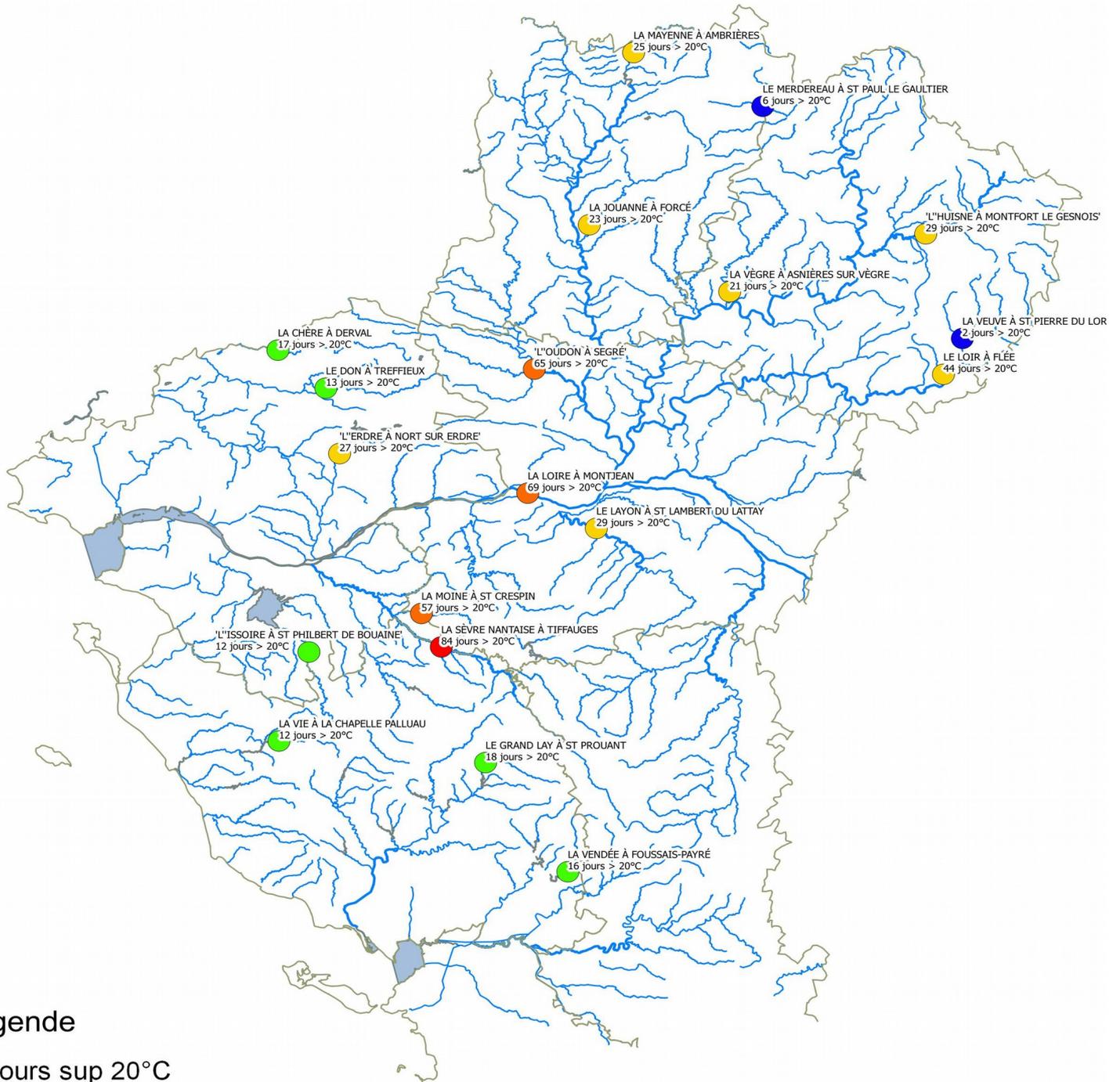
Légende

inertie (jours)

- 2.0 - 3.0
- 3.0 - 6.0
- 6.0 - 10.0

Carte des stations hydrotempérature

Nombre moyen annuel de jours de dépassement des 20°C



Légende

nb jours sup 20°C

- 0.0 - 6.0
- 6.0 - 18.0
- 18.0 - 44.0
- 44.0 - 69.0
- 69.0 - 84.0

Direction régionale
de l'environnement ,
de l'aménagement
et du logement

Service Ressources Naturelles
et Paysages

5, rue Françoise Giroud
CS 16326
44263 NANTES cedex22
Tél : 02 72 74 73 00

Directeur de publication :
A nnick Bonneville

ISSN : 2109-0017