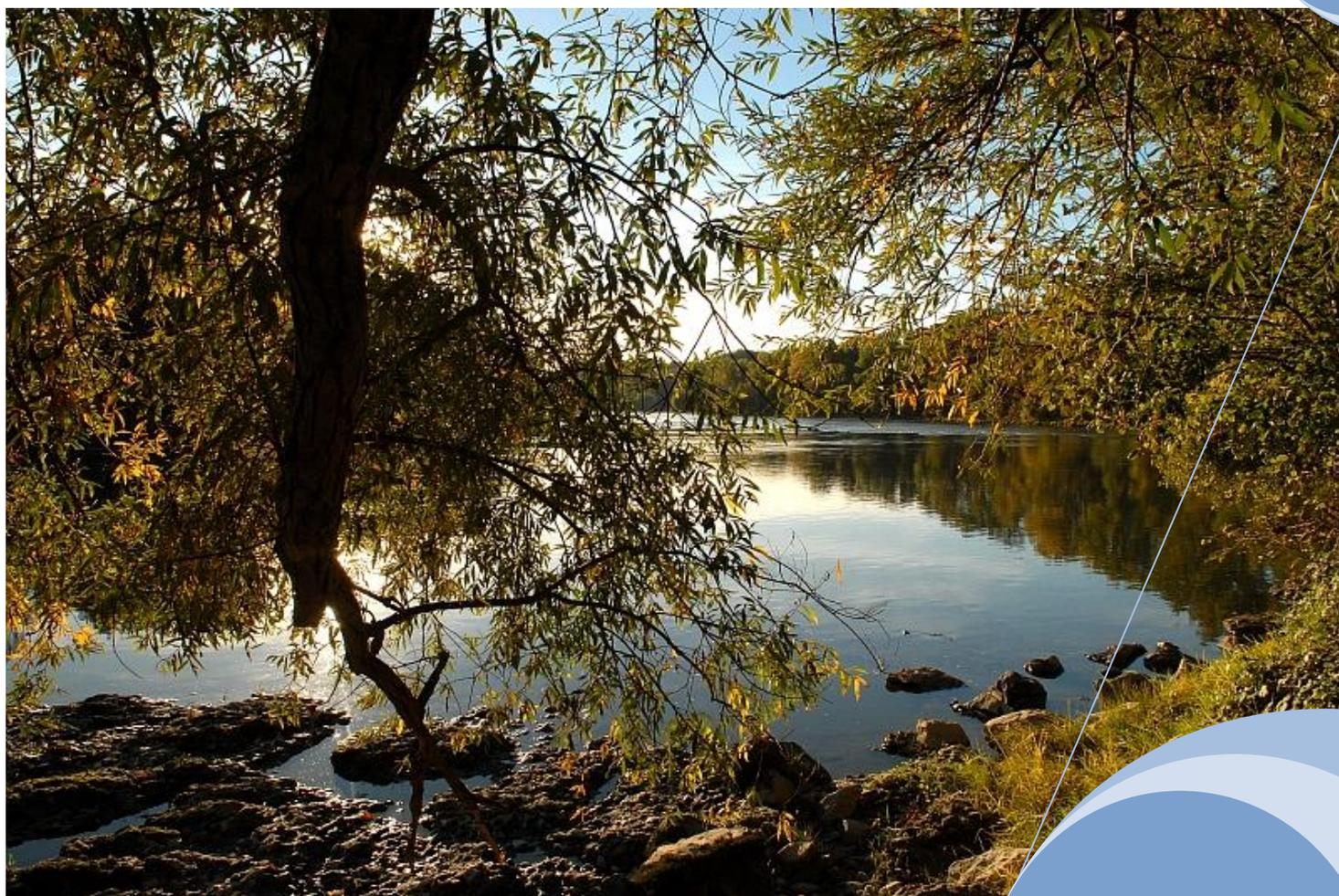


GOURLAND Julie

Etude de deux paramètres de la qualité de l'eau de la Garonne : La température et les micropolluants

Stage DESUPS Novembre 2011 - Juin 2012



Université Paul Sabatier
118 route de Narbonne
31062 TOULOUSE CEDEX 9

<http://www.univ-tlse3.fr/>



Sméag – EPTB
61, rue Pierre Cazeneuve
31200 Toulouse

<http://www.eptb-garonne.fr/>

Photo de couverture :

La Garonne en étiage en amont de Bourret en Tarn-et-Garonne – D. Taillefer

Remerciements

Me voilà (déjà) au terme de ces huit mois de stage et c'est avec un peu d'émotion que je tiens à remercier toutes celles et ceux que j'ai pu rencontrer :

En premier lieu, la directrice générale des services du Sméag, [Madame Sylvie ROCQ](#), qui a su m'accorder sa confiance en acceptant ma candidature.

Naturellement je tiens à remercier mon maître de stage, [Madame Aline CHAUMEL](#) pour son professionnalisme, son suivi de qualité, ses conseils et surtout pour sa confiance et ses encouragements. Ce stage m'a fait mûrir, il m'a permis de conforter mes choix et m'a appris à avoir un peu plus confiance en moi (et ça, c'est pas rien !) et tu y as beaucoup contribué ...merci Aline !

Je tiens à remercier également mon tuteur de stage, [Monsieur Frédéric SANTOUL](#), pour ses bons conseils, il a su être présent et disponible quand il le fallait, en me remettant sur les rails à chaque grande étape de mon stage.

Un grand merci à l'ensemble du [personnel administratif et des chargé\(e\)s de mission du Sméag](#). J'ai eu la chance d'évoluer dans une équipe chaleureuse, dynamique et accueillante et je les remercie de m'avoir intégrée si facilement.

Un merci particulier à [Elisa](#), pour son naturel, ses bons conseils et sa bonne humeur quotidienne (et puis « accessoirement » pour m'avoir supportée dans son bureau).

Merci à tous les [acteurs de l'eau](#) qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail : les scientifiques et gestionnaires, l'association Migado, la fédération de pêche du 82, et ceux que j'oublie par maladresse.

Un dernier petit mot sur la photo de couverture, qui n'a pas été choisie par hasard, merci à [Didier Taillefer](#) pour cette jolie photo que j'ai eu en face de moi dans le bureau pendant ces 8 mois.

Résumé

Un des principaux objectifs du Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne (Sméag) est de promouvoir une gestion coordonnée de la Garonne sur tout son cours français. A ce titre, un travail a été mené sur la qualité du milieu au regard des poissons migrateurs afin d'établir un diagnostic sur leurs conditions de vie. Cette étude a permis de mettre en évidence des tronçons de cours d'eau à enjeux par rapport à certains paramètres de qualité de l'eau. Ainsi, la nécessité d'approfondir les connaissances sur (1) l'évolution de la température entre Toulouse et Golfech et le Tarn aval et (2) les micropolluants dans les cours d'eau, ont fait l'objet de mes huit mois de stage.

L'objectif pour le premier sujet était d'affiner les connaissances sur l'évolution temporelle et spatiale de la température de l'eau le long du tronçon Toulouse – Golfech pour évaluer si les températures mesurées pouvaient impacter la migration des poissons et principalement celle du saumon atlantique. Les résultats ont montré une augmentation de la température de l'eau de Toulouse à Golfech et des températures supérieures à 24°C enregistrées à Verdun-sur-Garonne et Golfech et à 25°C pour le Tarn aval sur de longues périodes. Les températures enregistrées au Bazacle sont inférieures à 25°C mais augmentent rapidement au niveau de Blagnac. Ces températures sont susceptibles de porter atteinte à la migration des saumons, ce secteur présente donc un fort enjeux pour ces poissons et notamment dans un contexte de réchauffement climatique.

Dans la deuxième partie, il était question dans un contexte d'évaluation de la qualité des eaux en lien avec la DCE, d'établir un état des lieux des connaissances et des démarches entreprises au sujet des micropolluants. Il en ressort que de nombreuses connaissances sont encore à acquérir et relèvent du domaine de la recherche. Mais les scientifiques et gestionnaires se saisissent de ces questions et des mesures de gestion ont déjà été engagées. Une liste de micropolluants présents dans le bassin de la Garonne et sur lesquels l'attention devrait être portée a finalement été proposée au Sméag.

Enfin, des mesures de gestion et des préconisations ont enfin été proposées au Sméag pour chaque sujet.

Mots-clés : Garonne, Tarn aval, poissons migrateurs, qualité de l'eau, température, micropolluants, pesticides, métaux, PCB, HAP, résidus médicamenteux, saumon (*Salmo salar*), anguille (*Anguilla anguilla*)

Table des matières

Remerciements	3
Résumé	5
Glossaire	11
Liste des acronymes et des abréviations	13
Introduction et contexte général de l'étude	15
I. Contexte.....	15
II. Présentation de l'organisme d'accueil.....	16
CHAPITRE 1 :	19
La température de l'eau de la Garonne entre Toulouse et Golfech et le Tarn aval	19
I. Introduction et contexte	21
II. Synthèse bibliographique.....	22
1) Généralités	22
2) Régime thermique de l'eau sur le secteur d'étude	24
III. Matériel et méthodes.....	29
1) Données recueillies	29
2) Comparaison des mesures ponctuelles et des mesures en continu	32
3) Attribution d'une classe d'état	33
IV. Résultats	34
1) Evolution du régime thermique de la Garonne de Toulouse à Golfech	34
2) Comparaison des régimes thermiques du Tarn et de la Garonne	40
3) Caractérisation de l'état chimique de la Garonne pour le paramètre température de Toulouse à St Nicolas de la Grave.....	43
V. Scenarii futurs et facteurs combinés	47
1) Eléments contribuant au réchauffement de l'eau	47
2) Prédiction	48
3) Facteurs combinés.....	49
VI. Conclusions et mesures de gestion pour le Sméag.....	50
1) Améliorer les connaissances sur le milieu	50
2) Solutions envisagées en réponse au réchauffement de la Garonne.....	50
CHAPITRE 2 :	53
Les micropolluants dans les cours d'eau	53

I.	Introduction.....	55
1)	Contexte.....	55
2)	Définitions.....	56
3)	Problématique.....	57
II.	Matériel et méthodes.....	57
1)	Documents utilisés.....	57
2)	Recherche de publications.....	58
III.	Présentation et ciblage des micropolluants.....	58
1)	Présence des micropolluants en France.....	59
2)	Principales substances dans le bassin de la Garonne et sujets d'actualité.....	60
IV.	Réglementation.....	62
V.	Cadre de surveillance.....	66
1)	En Europe.....	66
2)	En France.....	67
VI.	Analyse des articles scientifiques.....	69
VII.	Occurrence et localisation des micropolluants dans la Garonne.....	72
1)	Pesticides.....	72
2)	Cadmium (Cd).....	76
3)	Polychlorobiphényles (PCB).....	80
4)	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).....	83
5)	Résidus médicamenteux.....	84
VIII.	Effets des micropolluants sur les organismes vivants.....	85
1)	Richesse spécifique.....	86
2)	Perturbateur endocrinien, génotoxicité, embryotoxicité.....	86
3)	Bioaccumulation.....	87
4)	Immunotoxicité.....	88
5)	Focus sur les anguilles.....	88
IX.	Mesures de gestion déjà engagées.....	90
1)	Connaissances des micropolluants.....	90
2)	Réduction des micropolluants dans les cours d'eau.....	93
3)	Perspectives et recherche scientifique.....	95
X.	Conclusions et préconisations pour le Sméag.....	100
	Conclusion générale.....	102

<i>Références bibliographiques</i>	103
<i>Liste des illustratons</i>	109
<i>Annexes</i>	111

Glossaire

DCE : Directive Cadre sur l'Eau. Communément appelée directive cadre, la directive 2000/60/CE du parlement européen et du conseil du 23 octobre 2000 établit un cadre pour une politique communautaire de l'eau.

Limite de détection (LD) : concentration à partir de laquelle le laboratoire menant l'analyse peut assurer avec certitude la présence d'un paramètre.

Limite de quantification (LQ) : concentration à partir de laquelle le laboratoire menant l'analyse peut chiffrer avec certitude la concentration d'un paramètre. (En pratique, les laboratoires ne font pas la distinction entre limite de détection et limite de quantification et la seule information disponible aujourd'hui est la limite de quantification).

Micropolluant : Produit actif minéral ou organique susceptible d'avoir une action toxique à des concentrations infimes (de l'ordre du $\mu\text{g/l}$).

Norme de Qualité Environnementale (NQE) : représente la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et les écosystèmes. L'annexe VIII de la DCE liste 83 substances jugées prioritaires au niveau national.

Liste des acronymes et des abréviations

µg/L : microgramme par litre (10^{-6} gramme par litre)

AEAG : Agence de l'eau Adour-Garonne

Anses (ex AFSSA) : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

Bassin A-G. : Bassin Adour-Garonne

Cd : cadmium

GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais)

HAP : Hydrocarbures aromatiques polycycliques

LD : Limite de détection

LQ : Limite de quantification

ng/l : nanogramme par litre (10^{-9} gramme par litre)

NQE : Norme de Qualité Environnementale

ONEMA : Office national de l'eau et des milieux aquatiques

P90 : percentile 90

PBDE : Polybromodiphényléther

PCB : PolyChloroBiphényles

PCB-DL : PCB-Dioxine Like

PCB-NDL : PCB-Non Dioxine Like

POP : Polluants organiques persistants

PBT : polluant bioaccumulable toxique

SIE : Système d'information sur l'eau

STEP : Station d'épuration des eaux usées

TMJ : Température moyenne journalière

TMNA : Température moyenne du mois le plus chaud

Introduction et contexte général de l'étude

I. Contexte

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'un D.E.S.U.P.S. (Diplôme d'Etudes Supérieures de l'Université Paul Sabatier). Il a été effectué au Sméag (Syndicat mixte d'études et d'aménagement de la Garonne) pendant huit mois et s'intègre dans la perspective de la « préservation des fonctions d'une Garonne vivante » (objectif 2 du plan stratégique du Sméag).

La Garonne est le dernier bassin européen accueillant les huit espèces migratrices amphihalines, à savoir le saumon atlantique (*Salmo salar*), la truite de mer (*Salmo trutta, f. trutta*), la grande alose (*Alosa alosa*), l'alose feinte (*Alosa fallax*), la lamproie marine (*Petromyzon marinus*), la lamproie de rivière (*Lampetra fluviatilis*), l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) et l'esturgeon européen (*Acipenser sturio*). Ces espèces ont une phénologie particulière liée étroitement aux conditions environnementales, les rendant sensibles aux variations hydro-climatiques (débits, températures, oxygène, etc.). De plus à l'échelle du bassin Adour-Garonne, un ensemble de menaces anthropiques et/ou naturelles impactent directement ou indirectement leur survie (problème de libre circulation, pollution, surpêche, bouchon vaseux, ...) provoquant chez la plupart des espèces une diminution des effectifs (Figure 1).

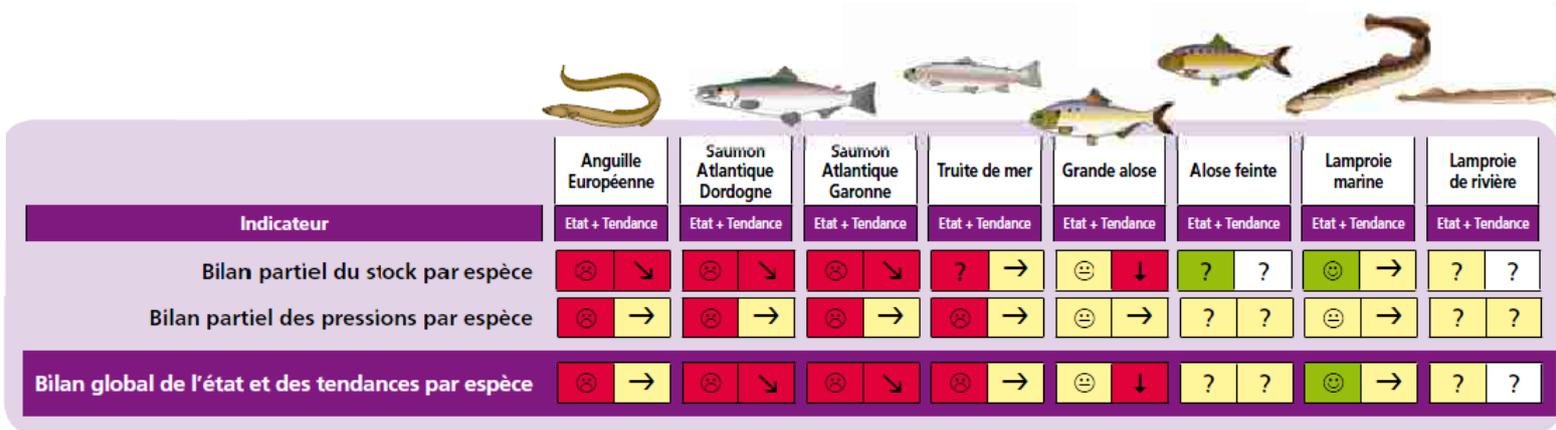


Figure 1 : Tableau synthétique des états et des tendances des stocks et des pressions par espèce (plagepomi)

Etat	
Etat satisfaisant	😊
Préoccupant	😟
Alarmant	☹️
Méconnu	?
Tendance	
Nette amélioration	↑
Faible amélioration	↗
Stabilité	→
Faible dégradation	↘
Nette dégradation	↓
Inconnue	?

Ceci a amené le Sméag à démarrer la première phase d'un travail sur la qualité des milieux de la Garonne au regard des poissons migrateurs dans le cadre du plan de gestion des poissons migrateurs (PLAGEPOMI) afin de (1) synthétiser les connaissances sur leurs besoins à l'échelle du fleuve en terme de qualité de l'eau (température, oxygène, etc.), des habitats, etc. et (2)

d'établir un diagnostic des conditions de vie de ceux-ci à l'échelle du bassin de la Garonne.

Des tronçons de cours d'eau « à enjeux » ont été mis en évidence par rapport à un ou plusieurs paramètres étudiés. Parmi ceux-ci, les mesures de température de l'eau de la Garonne sur le secteur Toulouse-Golfech et sur le Tarn aval ont montré des valeurs élevées, et la présence de micropolluants a été mise en évidence dans le bassin de la Garonne [2].

L'objectif de cette étude est donc de réaliser dans un premier temps une synthèse bibliographique des travaux déjà effectués au sujet de la température de l'eau entre Toulouse et Golfech et le Tarn aval puis de faire une analyse des données de température en continu afin d'évaluer si sur ce secteur, les fortes températures enregistrées peuvent être un frein à la migration des poissons.

Concernant la pollution de l'eau, il est question dans un contexte d'évaluation de la qualité des eaux en lien avec la DCE, d'établir un état des lieux des connaissances et des démarches entreprises au sujet des micropolluants. Cette thématique encore peu connue est toutefois en pleine expansion. Ces micropolluants émergents pourraient venir compléter les listes des substances établies dans le cadre de la DCE.

A la suite de chacun de ces deux chapitres, des mesures de gestion ou des préconisations seront proposées au Sméag.

II. Présentation de l'organisme d'accueil

Le Sméag est un établissement public territorial de bassin (EPTB) créé en 1983 (arrêté ministériel du 28/11/1983) et reconnu par l'Etat. Ses objectifs premiers sont de favoriser l'aménagement coordonné de la Garonne dans les domaines de :

- ❖ l'amélioration du régime des eaux pour satisfaire aux différents besoins en eau sur les plans de la qualité et de la quantité,
- ❖ la protection contre les inondations,
- ❖ la promotion économique,
- ❖ la protection de son environnement.

Il peut réaliser ou faire réaliser toutes les études utiles pour l'accomplissement de sa mission au niveau européen (coopération franco-espagnole), national et du bassin.

En pratique, le Sméag anime, pilote ou participe à la réalisation de diagnostics, à l'élaboration de schémas et à la réalisation d'études à caractère stratégique. Il contribue à la définition des programmes d'action à l'échelle de territoires interdépartementaux et

interrégionaux comme pour élaboration du Plan Garonne qui constitue un cadre de cohérence et un ensemble d'actions pour les dix prochaines années à l'échelle globale du fleuve. Enfin, pour adapter au mieux les objectifs et actions, le Sméag soutient les démarches des acteurs locaux.

Le Sméag travaille en collaboration régulière avec les autres acteurs concernés par la Garonne : État, collectivités locales, Agence de l'eau Adour-Garonne, EDF, associations de protection de la nature, fédérations de pêche et de chasse. De plus, le Sméag est membre de l'AFEPTB (Association Française des Établissements Publics Territoriaux de Bassin) et de la Mission Opérationnelle Transfrontalière.

Ses travaux sont variés :

- ❖ Outils de planification : l'initiation du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) de la vallée de la Garonne (2007), etc.
- ❖ Ressource quantitative en eau : l'étude sur la sensibilisation aux éclusées de la Garonne amont, etc.
- ❖ Qualité du milieu : le schéma directeur d'entretien coordonné du lit et des berges (adopté en 2002) ; l'élaboration du document d'objectif de Natura 2000 sur la Garonne amont et aval, etc.
- ❖ Coopération transfrontalière : Interreg.

Le Sméag est administré par 8 élus des départements : Haute-Garonne, Tarn-et-Garonne, Lot-et-Garonne et Gironde, et 8 élus des régions : Midi-Pyrénées et Aquitaine, au sein d'un Comité syndical (http://www.eptb-garonne.fr/pages/qui_elus.htm). Il est présidé par un président, M. Bilirit, assisté de deux vices présidents.

Le personnel du syndicat est composé : d'une directrice des services, Mme Rocq, de huit chargés de mission ainsi que d'une secrétaire, d'un comptable, d'une personne chargée de la gestion des ressources humaines et de la communication, d'une responsable « administratif et finances » et d'un SIGiste (Annexe 1 : Organigramme du Sméag).

CHAPITRE 1 :

La température de l'eau de la Garonne entre Toulouse et Golfech et le Tarn aval

*Vue aérienne de l'Hôpital de la Grave en rive gauche de la Garonne à Toulouse
(D. Taillefer)*



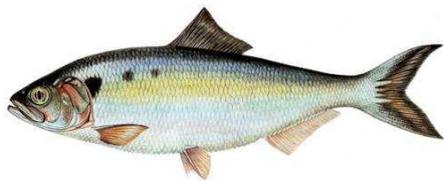
*Vue aérienne du plan d'eau de St Nicolas-de-la-Grave et de la confluence Garonne
et Tarn (D. Taillefer)*

I. Introduction et contexte

Des valeurs de température de l'eau très élevées ont été constatées sur le Tarn aval pendant les quatre mois de l'année les plus chauds et à enjeux (de juin à septembre)[2] : moyennes des températures de l'eau entre juin et septembre de 2001 à 2009 supérieures à 25°C pour le Tarn aval, d'après les données du SIE. Ce paramètre température a donc été classé sur ce secteur comme exerçant un fort impact sur les peuplements de poissons migrateurs, notamment pour les espèces les plus sensibles comme le saumon atlantique et la grande alose.

Sur le secteur Toulouse – Agen, la température de la Garonne est considérée comme susceptible d'avoir un impact sur les peuplements de poissons migrateurs de juin à septembre également. Les températures moyennes de la Garonne entre juin et septembre de 2001 à 2009 sur ce secteur étaient supérieures à 20°C, selon les données issues du SIE.

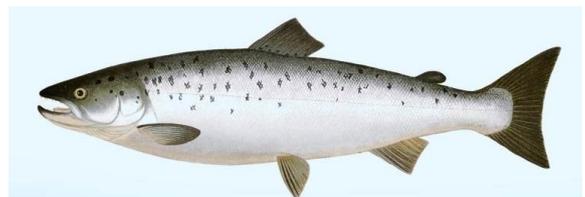
Ce tronçon constitue un axe charnière pour certains « grands migrateurs », c'est le cas par exemple de la grande alose qui migre depuis l'océan Atlantique pour venir s'y reproduire



et tolère difficilement des températures supérieures à 25°C. Le saumon atlantique est une espèce plus exigeante en termes de température de l'eau, des mortalités ont été observées à partir de 24°C (O. Croze *et al.* 2006 [2]).

Alosa alosa (Sméag)

Par ailleurs, une diminution presque constante du nombre de saumon adulte est constatée lors du franchissement des obstacles sur la Garonne où en 2011 seulement 50 individus sur les 165 ayant traversés Golfech, ont passé le Bazacle, et en 2010 ce sont uniquement 24 saumons sur les 101 passés à Golfech qui ont été comptabilisés au Bazacle (site Migado).



Salmo salar (Sméag)

D'après ces constats, le but de cette étude est donc d'avoir une vision plus claire et précise de la qualité de l'eau pour le paramètre température à l'échelle du tronçon de fleuve délimité entre Toulouse et Golfech et l'aval du Tarn. L'objectif ici est d'affiner les connaissances sur l'évolution temporelle et spatiale de la température de l'eau le long du tronçon pour évaluer si les températures mesurées peuvent impacter la migration des poissons et principalement celle du saumon atlantique.

Le secteur d'étude s'étend de la chaussée du Bazacle à Toulouse jusqu'au canal d'aménagé de Golfech en aval de la confluence Garonne et Tarn, pour une longueur de 100 km environ, ainsi que la partie aval du Tarn. Cette zone d'étude inclue tout le secteur de la « Garonne débordante » qui s'étend de Blagnac à Saint Nicolas de la Grave.

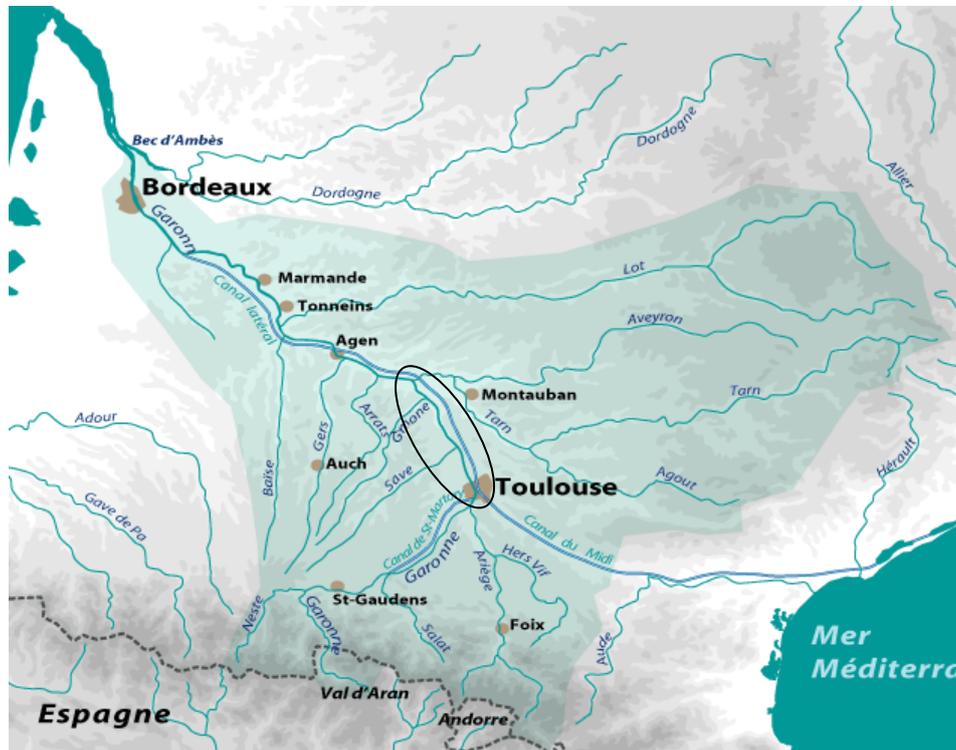


Figure 2 : Carte du secteur d'étude (Sméag)

II. Synthèse bibliographique

1) Généralités

Hydrologie et climatologie

La Garonne a un régime hydrologique de type pluvio-nival, une partie des eaux reçues sont issues des apports d'eau de pluie par les affluents du Massif Central et l'autre partie par la fonte des neiges des Pyrénées [9]. Au carrefour de plusieurs types de climats (océanique, méditerranéen et continental), la Garonne jouit d'hivers doux, de printemps marqués par de fortes précipitations, d'étés secs et chauds et d'automnes bien ensoleillés. On observe toutefois des variabilités interannuelles où les années humides et les années sèches se succèdent. Cependant dans un contexte de réchauffement global, l'inquiétude se porte sur le réchauffement des eaux et les périodes d'étiage, que nous évoquerons plus en détail dans la partie IV. Scenarii futurs et facteurs combinés. Outre l'impact du

réchauffement climatique, la présence de barrages peut induire une modification du régime thermique du cours d'eau, à la fois au niveau des températures moyennes et de l'amplitude thermique journalière (Angilletta *et al.*, 2008 ; Khangaonkar & Yang, 2008 dans O.Croze [6]).

Calendrier des migrations

Chaque espèce de poissons migrateurs transitant dans le secteur d'étude possède des exigences thermiques qui leurs sont propres. Dans ces gammes de températures, elles admettent un preferendum thermique, avec une adaptation plus ou moins importante aux variations. De ce fait, certaines espèces vont être plus sensibles que d'autres au réchauffement de la température de l'eau. Dans le cas des espèces sténothermes comme le saumon atlantique, une variation de température peut être dommageable voire létale. Ce phénomène peut également être amplifié en fonction de la période de migration des espèces dans l'année.

Espèces		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Anguille européenne	dévalaison anguille												
	anguille jaune												
	migration civelles												
Grande alose	montaison adulte												
	reproduction												
	dévalaison juvénile												
Alose feinte	montaison adulte												
	reproduction												
	dévalaison juvénile												
Lamproie marine	montaison adulte												
	croissance												
	reproduction												
	dévalaison juvénile												
Saumon Atlantique	montaison adulte												
	reproduction												
	croissance												
	dévalaison juvénile												

Tableau 1 : Calendrier des mouvements de poissons dans les cours d'eau (Rouge : période avérée ; Jaune : période potentielle) [2]

On peut voir d'après le tableau 1 que la fréquentation de la Garonne par ces espèces est forte pendant la période d'avril à juillet. C'est à cette période que les températures de l'eau commencent à augmenter fortement jusqu'aux mois les plus chauds (juillet-août).

Franchissement des obstacles

En plus de devoir faire face aux températures estivales, les poissons migrateurs sont ralentis dans leur migration par les obstacles présents sur la Garonne. Dans le cas du saumon atlantique, l'étude de Delmouly *et al.* (2007) a montré que la franchissabilité de l'aménagement hydroélectrique de Golfech-Malause était de 47% (9 individus sur 19) avec un temps de blocage moyen de 12,5 jours pour ceux ayant franchi l'obstacle et 31 jours pour ceux restés bloqués. La migration des saumons sur ce linéaire est classée comme difficile par rapport à l'impact des ouvrages répertoriés sur ce tronçon. [2, 4] Ralentis par

les obstacles et un temps de blocage important, c'est donc une course contre la montre que les saumons doivent effectuer lors de la montaison pour atteindre les cours d'eau de tête de bassin versant avant que la Garonne entre Toulouse et Golfech atteignent des températures susceptibles d'être létales.

2) Régime thermique de l'eau sur le secteur d'étude

a) Régime thermique le long du tronçon

Sur le secteur d'étude, on observe un gradient thermique amont-aval où les températures de l'eau à l'amont sont globalement inférieures à celles en aval, l'eau de la Garonne se réchauffe donc le long de son transit entre Toulouse et Golfech.

Bazacle 1994-2008	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum	5.1	4.6	7.2	9.7	12.0	14.0	17.6	18.9	16.8	12.9	7.3	4.3
Maximum	7.6	8.6	11.8	14.5	16.1	20.5	24.7	25.1	20.8	16.8	11.4	8.8
Moyenne	6.3	7.1	9.4	11.3	12.7	17.2	21.2	22.1	18.6	14.6	9.4	6.5
Bazacle 2009												
Moyenne	7.7	7.5	9.2	10.1	11.5	14.9	18.4	21.9	20.3	17.1	10.5	6.7
Verdun / G 2008	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Min	4.2	7.3	7.6	9.9	13.2	13.4	17.8	20.5	17.2	10.9	5.8	4.8
Moyenne	7.3	9.2	10.0	11.9	15.0	16.8	20.9	22.9	19.6	15.3	9.5	6.8
Max	9.2	12.8	12.4	14.5	16.0	21.0	25.9	26.0	23.0	17.9	11.4	8.4
Verdun / G 2009												
Moyenne	5.9	7.3	9.9	11.3	13.2	18.3	23.1	24.4	20.4	17.1	11.1	6.7
Golfech 1993 - 2008	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre	décembre
Minimum	5.5	5.3	6.3	11.0	14.6	17.8	21.6	22.1	19.3	13.5	9.6	5.0
Maximum	9.3	9.3	12.7	16.0	18.1	23.5	27.6	28.1	22.8	18.3	13.3	9.5
Moyenne	6.8	7.5	10.2	13.1	15.9	20.5	23.9	24.7	20.9	16.2	10.8	7.6
Golfech 2009												
Moyenne	4.8	6.3	9.8	11.7	14.8	20.0	24.7	26.0	21.8	16.2	11.7	7.0

Figure 3 : Comparaison des températures moyennes enregistrées au Bazacle (période 1994-2008 et 2009), à Verdun sur Garonne (en 2008 et 2009) et à Golfech (période 1993-2008 et 2009) [3]

Ces données nous montrent d'une part que pour la période juin-septembre, les températures moyennes mensuelles de l'eau sont plus faibles au Bazacle qu'à Verdun, et aussi qu'à Golfech qui sont les plus élevées des trois stations lorsque l'on compare les données de 2009. De la même façon, les températures moyennes mensuelles au Bazacle sont plus faibles que celles de Golfech entre Juin et Septembre quand on considère les périodes 1993-2008 et 1994-2008.

Dans l'étude de Carry et Nars (2010), en comparant les températures mensuelles enregistrées au Bazacle et à Golfech entre 2000 et 2009, les auteurs ont montré que « les températures de l'eau au Bazacle sont toujours, pendant la période estivale, inférieures à minima de 2°C par rapport à celles enregistrées à Golfech. »[3]

En faisant le parallèle avec l'activité migratoire des saumons atlantiques, de fortes températures (supérieures à 24°C) qui sont des conditions peu favorables à la migration des saumons (Croze et *al.*, 2004, 2006 ; Bau et *al.*, 2005, 2006 dans [3]), on peut voir, d'après la figure 3, que les températures moyennes mensuelles de 2009 pour Verdun (Août : 24,4°C) et à Golfech (Juillet : 24,7°C et Août : 26,0°C) sont des conditions peu favorables alors que les températures enregistrées à la station du Bazacle ne semblent pas poser de problème à leur migration.

Toutefois, il est important de noter que les données de ce tableau n'apportent aucunes informations quant aux variations inter journalières des températures de l'eau et donc si certaines moyennes calculées dépassent le seuil de 24°C, cela implique que des températures au dessus de 24°C peuvent être enregistrées. C'est d'ailleurs le cas puisqu'en 2009 des températures supérieures à 27°C ont été enregistrées à Verdun-sur-Garonne et à Golfech.[3]

Selon une étude (O. Croze et *al.*, 2006), il a été enregistré des températures maximums de 27,5°C le 2 août 2004 à Belleperche et à St Nicolas de la Grave et 27,2°C à Malause le 4 août 2004. [4] Ces valeurs sont des températures moyennes journalières, il est donc probable que des températures instantanées plus élevées puissent être subies par le milieu, notamment en milieu d'après-midi.

En 2006, au cours d'une étude menée sur la franchissabilité de l'aménagement hydroélectrique Golfech-Malause par le saumon atlantique, des conditions hydroclimatiques particulières ont été mesurées, de fortes températures, supérieures à 24°C dès mi-juin, associées à de faibles débits. [7]

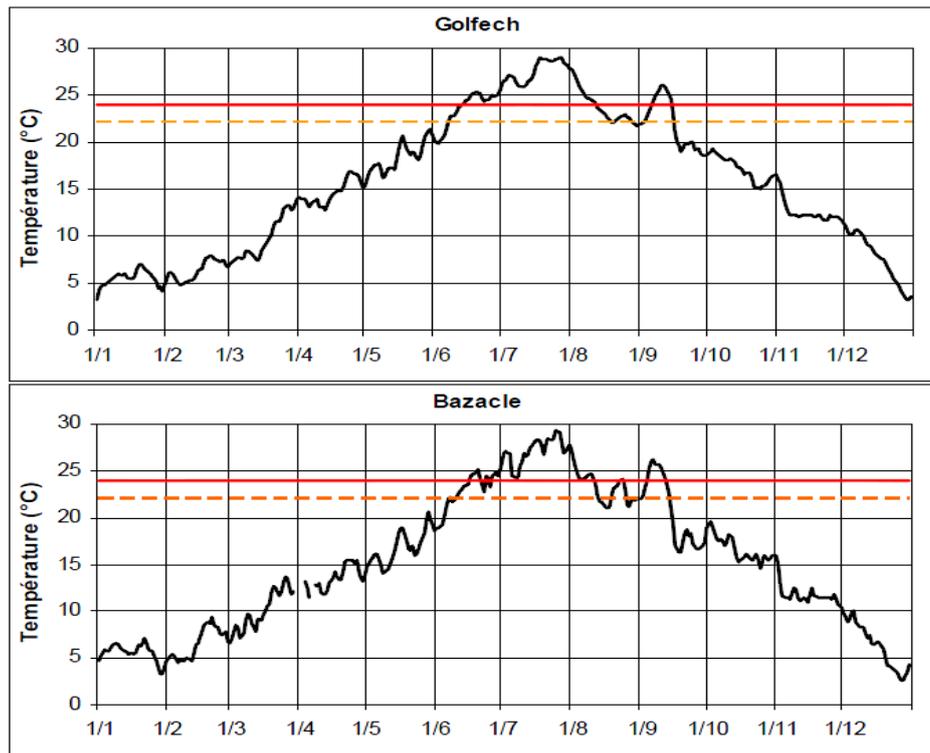


Figure 4 : Evolution des températures moyennes journalières aux stations de Golfech et du Bazacle en 2006 [7]

Le seuil de 20°C à partir duquel l'activité migratoire du saumon atlantique pourrait être inhibée (Thioulose, 1972 dans source [7]) a été régulièrement franchi dès le 28 mai à Golfech et à partir du 5 juin à Toulouse. A partir de la moitié du mois de juin, la température de l'eau atteignait 22°C au Bazacle et dépassait 24-25°C à Golfech. La température moyenne journalière de la Garonne est restée supérieure à 24°C du 7 juin au 11 août à Toulouse et du 14 juin au 12 août à Golfech. La température maximum mesurée à Toulouse a été de 29.4°C le 25 juillet et 28.9°C à Golfech les 27 et 28 juillet. Un dernier bref réchauffement à plus de 25°C a eu lieu la première semaine de septembre aux deux stations. [7]

b) Evolution des températures de l'eau au cours du temps

Réchauffement de l'eau inter annuel

Il a été constaté une tendance à l'augmentation de la température moyenne annuelle sur les trente dernières années à Toulouse et à Golfech et donc à un réchauffement de la température de la Garonne. [5]

Une étude sur les tendances d'évolution des températures de l'eau à Toulouse et à Malause (Larnier, 2010) permet d'illustrer ce réchauffement.

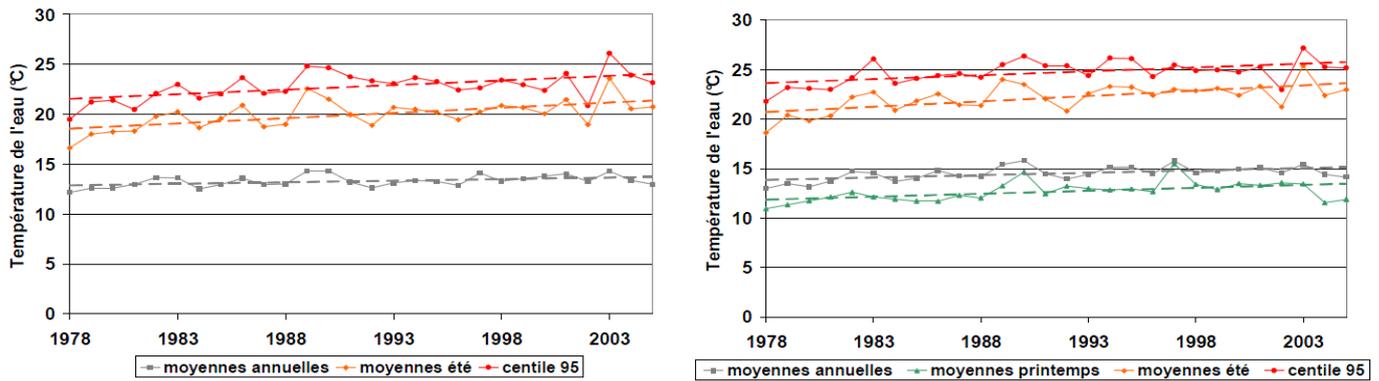


Figure 5 : Evolution de la température de l'eau à Toulouse et à Malause [9]

Ces courbes présentent une tendance d'évolution des températures de l'eau significative, les droites de régressions montrent bien l'augmentation de la température de l'eau à Toulouse et à Malause depuis 1978 jusqu'à 2005, avec un pic notamment lors de la canicule de 2003. Ceci permet de mettre en avant la corrélation entre la température de l'air et la température de l'eau qui évoluent de la même façon. [9]

Dans leur étude, O. Croze *et al.* (2007) se sont intéressés à l'évolution du régime thermique de la Garonne à Toulouse et Golfech sur la période 1978-2005, comme précédemment les résultats montrent un réchauffement de l'eau d'après les moyennes annuelles de Golfech et Toulouse. Ces températures sont **significativement plus chaudes de 1989 à 2005 que pour la période 1977-1988** avec **+0,9°C à Golfech** et **+0,6°C à Toulouse**.

Lieu	Période 1 (1977-1988)				Période 2 (1989-2005)				Test de Mann-Whitney	
	Moyenne	Médiane	Min	Max	Moyenne	Médiane	Min	Max	U	Valeur p
Golfech	13.91	14.00	12.98	14.71	14.85	14.73	13.96	15.79	22.0	< 0.001
Toulouse	12.95	12.96	12.05	13.65	13.52	13.35	12.64	14.34	41.0	< 0.05

Figure 6 : Comparaison des températures moyennes annuelles de Toulouse et Golfech (avant et à partir de 1989) [5]

A Golfech la température moyenne passe de 13,91°C à 14,85°C et à Toulouse de 12,95°C à 13,52°C entre la période 1 et la période 2.

De la même façon, en considérant la température moyenne du mois le plus chaud (TMNA), les auteurs ont également constaté une tendance au réchauffement sur les trois dernières décennies pour les deux stations.

Lieu	Période 1 (1977-1988)				Période 2 (1989-2005)				Test de Mann-Whitney	
	Moyenne	Médiane	Min	Max	Moyenne	Médiane	Min	Max	U	Valeur p
Golfech	23.02	23.30	18.56	24.71	24.88	24.75	22.32	27.42	23.5	< 0.001
Toulouse	21.21	21.22	18.83	23.26	22.98	22.89	19.99	26.36	26.0	< 0.01

Figure 7 : Comparaison des TMNA de Toulouse et Golfech (avant et à partir de 1989) [5]

Les TMNA de la période 2 sont significativement plus chaudes que celles de la période 1 à Toulouse et à Golfech avec +1,8°C et +1,9°C respectivement. Elles passent de 23,02°C à 24,88°C à Golfech et 21,21°C à 22,98°C à Toulouse. Le réchauffement constaté est donc plus intense en été.

La durée de la période favorable à la migration du saumon diminue significativement à Golfech passant de 228 jours en moyenne pour la période 1977-1988 à 169 jours à partir de 1988. Le seuil de 24°C qui n'était quasiment jamais atteint à Golfech pour la période 1978-1989 (3 années sur 12) est régulièrement dépassé à partir de 1989 (13 années sur 17). A Toulouse ce seuil a été franchi trois fois à partir de 1989 mais jamais dépassé auparavant. C'est à partir de ce seuil que des mortalités de saumons adultes sont majoritairement observées entre Toulouse et Golfech.

De plus, des opérations de suivis par radiopistage du saumon atlantique ont été effectuées en Garonne et ont mis en évidence d'importantes pertes entre Golfech et Toulouse (Croze *et al.*, 2004 ; Bau *et al.*, 2005, 2006 dans [5]) liées en partie à des mortalités estivales dues aux fortes températures (Croze *et al.*, 2006 dans [5]).

Modifications du régime thermique de la Garonne au cours d'une année

Le réchauffement de l'eau est visible également au cours d'une année car des températures supérieures à 24°C sont de plus en plus fréquemment enregistrées, les franchissements de seuils 9, 12, 14, 15, 18, 19 °C et des températures maximums arrivent plus tôt dans l'année et il y a un allongement de la « période estivale » à partir de 1989. [5]

c) Problématique

Pour résumer, on a donc un gradient thermique amont-aval avec des températures plus chaudes à Golfech qu'à Toulouse. Depuis les trente dernières années, il a été observé une augmentation des températures de l'eau à l'aval (Golfech +0,9°C) comme à l'amont (Toulouse +0,6°C), ce phénomène est exacerbé en été (+ 1,9°C et + 1,8°C respectivement). La période estivale est de plus en plus longue et démarre de plus en plus tôt dans l'année.

Des températures supérieures à 24°C, susceptibles d'altérer la migration des saumons atlantiques, sont enregistrées de plus en plus fréquemment et sur des périodes de plus en plus longues sur le linéaire et particulièrement dans la moitié aval de notre tronçon d'intérêt.

La migration des saumons atlantiques pour la reproduction s'étend d'avril à juillet, avec des blocages (12,5 jours à 1 mois à Golfech) dus au problème de libre circulation, ils peuvent donc être exposés à de fortes températures au cours de leur transit sur le tronçon d'étude.

Comme on l'a vu, dans la bibliographie les résultats indiquent des températures de l'eau pouvant dépasser 24°C à Golfech et quelques fois à Verdun-sur-Garonne mais pas au Bazacle. On cherche donc à identifier :

- (1) comment évolue la température de la Garonne au sein du tronçon entre juin et septembre (augmentation progressive d'amont en aval ? augmentation nette à partir de Verdun-su-Garonne ?)
- (2) Dans un contexte de réchauffement global, jusqu'à quand la température de l'eau au Bazacle va-t-elle rester inférieure à 24°C ?
- (3) Comment prendre en compte les exigences de températures des saumons atlantiques ?

III. Matériel et méthodes

1) Données recueillies

Comme évoqué précédemment, nous nous sommes intéressés uniquement aux mesures de températures de l'eau relevées entre juin et septembre pour chaque année. On précise que l'on s'intéressera aux tendances d'évolution et non pas aux valeurs propres.

a) Mesures en continu

Des données de températures sur six stations réparties sur la Garonne et le Tarn ont été fournies sous forme de températures moyennes journalières. Voici un tableau synthétisant les données exploitées de l'amont vers l'aval :

Cours d'eau	Localisation de la station	Dates des mesures	Structure
Garonne	Bazacle	De 2002 à 2010	Migado
Garonne	Verdun	De 2007 à 2010	Migado
Garonne	Saint Nicolas de la Grave	2002 et 2003	Etude particulière
Garonne	Golfech	De 2002 à 2010	Migado
Tarn	Tarn amont	De 2007 à 2010	Fédération pêche 82
Tarn	Tarn aval	De 2007 à 2010	Fédération pêche 82

Tableau 2 : Synthèse des mesures de température de l'eau en continu recueillies

b) Mesures ponctuelles

Des mesures ponctuelles ont été utilisées pour affiner les connaissances sur l'évolution de la température de l'eau le long du tronçon d'étude grâce à l'ajout de stations supplémentaires. Ces données sont mises à dispositions sur le site du SIE géré par l'AEAG. Pour chacune des stations sélectionnées, les mesures ont été prises à des années, des jours et des heures différentes.

Nom de la station de mesure	Date de prélèvement
Blagnac	2003, 2004 et de 2007 à 2010
Centre et Nord	2003, 2004 et de 2008 à 2010
Gagnac	De 2002 à 2010
Ondes	2003, 2004 et de 2007 à 2010
Mauvers	2009, 2010
Verdun sur Garonne	De 2002 à 2010
Bourret	De 2007 à 2010
Saint Aignan	De 2002 à 2010
Coudol	De 2007 à 2010

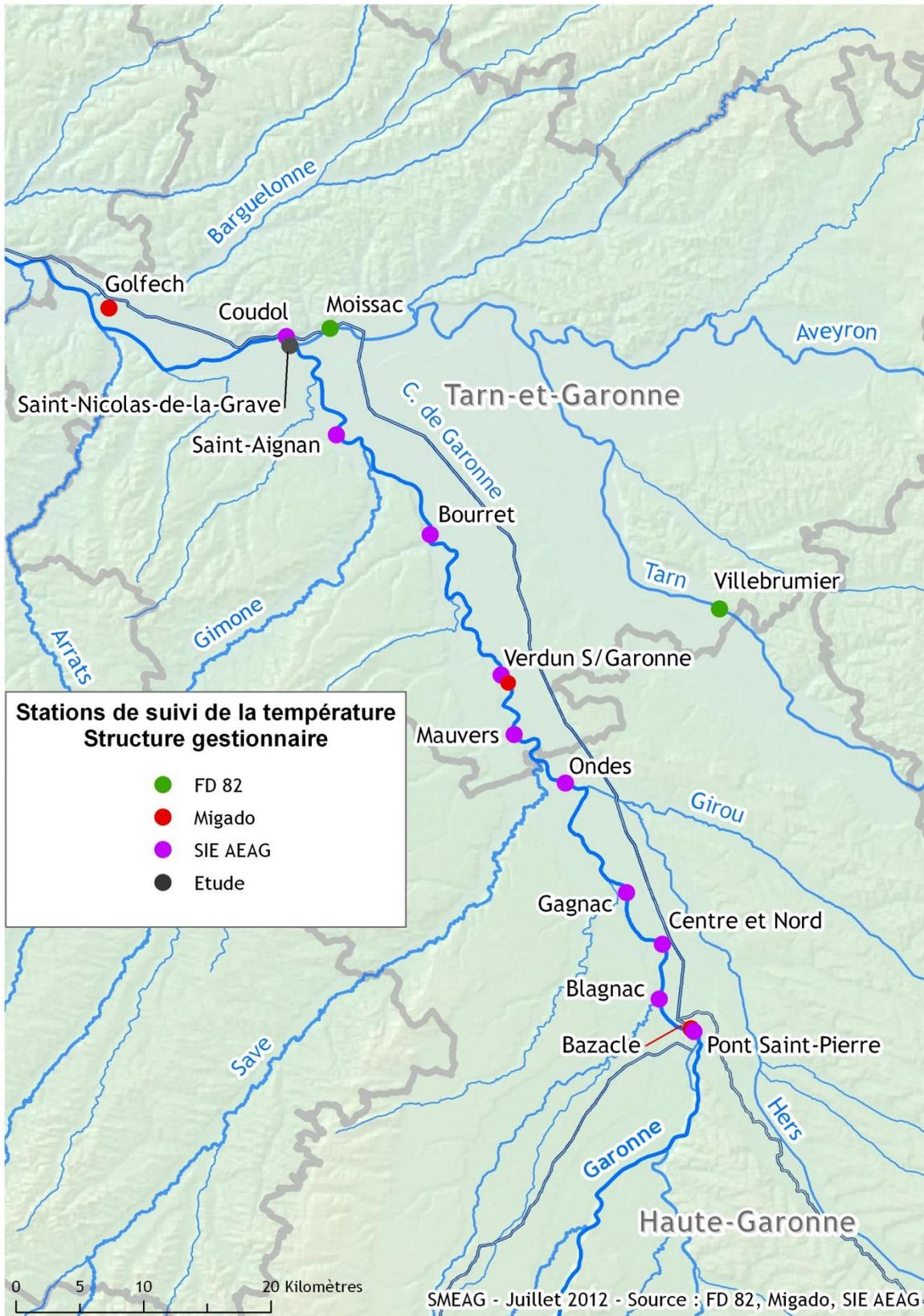


Figure 8 : Localisation des stations de suivis de la température de l'eau et structures gestionnaires

2) Comparaison des mesures ponctuelles et des mesures en continu

La question s'est rapidement posée de savoir si les mesures ponctuelles et les températures moyennes journalières calculées grâce aux mesures prises en continu étaient comparables. Est-ce qu'il est vraiment judicieux de comparer pour un jour donné une mesure de température moyenne journalière (TMJ) et une mesure prise à n'importe qu'elle heure de la journée ou la différence est-elle trop importante ?

Pour cela, les TMJ ont été comparées avec les températures prises par le SIE aux mêmes stations. J'ai donc comparé pour Carbonne, Valentine et Verdun qui sont les stations pour lesquelles on a la fois les TMJ fournies par Migado et les données ponctuelles du SIE (exemple : à Carbonne le 08/08/2006 → on a une température de l'eau de 23.7°C à 13h55 mesuré par le SIE et 22.8°C par Migado, la différence est de 0.9°C). Le tableau détaillé figure en annexe 2.

Sur les 44 comparaisons, 31 présentent une différence entre les 2 valeurs inférieure ou égale à +/-1°C soit 70.5% et 13 comparaisons sont strictement supérieure à +/- 1°C soit 29.5%.

Voici une répartition des classes de différences calculées entre les mesures ponctuelles et les mesures en continu pour les 3 stations.

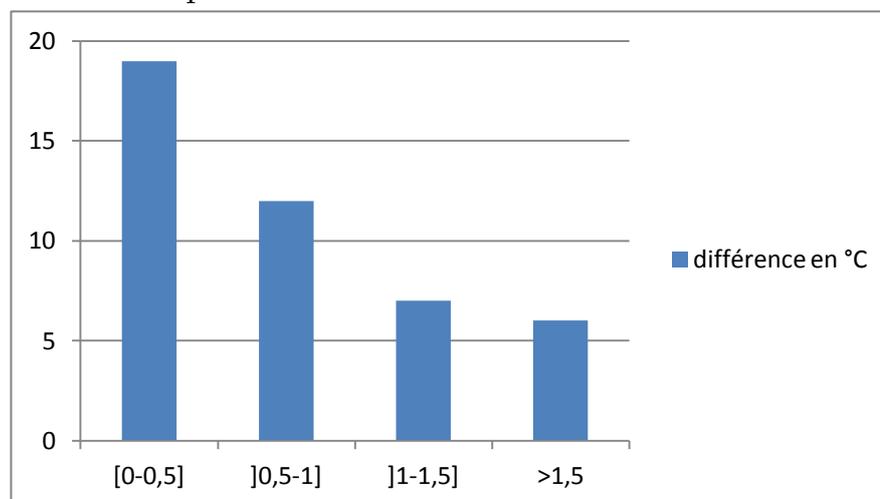


Figure 9 : Répartition des classes de différences entre les valeurs du SIE et de Migado

On voit bien les 31 comparaisons pour lesquelles la différence entre les 2 valeurs est inférieure ou égale à +/-1°C (13 sur 18 pour Carbonne, 6 sur 8 pour Valentine et 12 sur 18 à Verdun). Les températures les plus similaires des TMJ sont celles qui ont été prises entre 11h et 14h par l'AEAG. C'est globalement pendant cette période que les températures se rapprochent des TMJ calculées.

Il est donc difficile de comparer ces valeurs issues du SIE avec les mesures prises en continu car la différence est trop importante pour pouvoir interpréter les résultats de manière fiable et robuste.

3) Attribution d'une classe d'état

Règlementation

L'arrêté du 25 Janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface mentionne les valeurs seuils définissant les limites des classes d'état pour un ensemble de paramètres par élément de qualité.

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état				
	très bon	bon	moyen	médiocre	mauvais
Température					
eaux salmonicoles	20	21,5	25	28	
eaux cyprinicoles	24	25,5	27	28	

Tableau 3 : Limites des classes d'état pour le paramètre température
Source [1]

Calcul de la valeur à retenir pour l'attribution d'une classe d'état

Pour attribuer une classe d'état au paramètre température à une station donnée, on utilise le percentile 90. Ce dernier est calculé sur l'ensemble des mesures effectuées sur une année à une station. En ne retenant que 90% des valeurs observées pour une année, on évite de donner trop de poids aux températures les plus élevées.

Lorsqu'on a plus de dix données de température de l'eau pour une année, on classe nos valeurs par ordre croissant et on enlève 10% des valeurs les plus élevées (exemple : à Verdun sur Garonne, année 2004 → 11 mesures, donc $10\% \times 11 = 1,1$ arrondi à 1 on enlève alors la valeur la plus élevée et on retient la deuxième valeur la plus élevée).

Dans le cas où dix mesures ont été faites ou moins, la classe d'état est attribuée à la valeur la plus élevée.

Les classes d'état attribuées par l'AEAG sont présentées sur le site du SIE dans les données élaborées.

IV. Résultats

Dans la mesure où on ne dispose pas de chroniques de températures de l'eau assez longues pour l'ensemble des stations de mesures en continu, on s'intéresse dans cette partie à l'évolution spatiale de la température de l'eau sur le tronçon. L'étude de l'évolution temporelle fera l'objet de la partie suivante, et on utilisera les informations bibliographiques disponibles issues des études prospectives sur le tronçon d'étude.

En premier lieu, on va comparer les mesures prises en continu pour la Garonne (Bazacle, Verdun, St Nicolas, Golfech) et pour le Tarn (amont et aval). On essaiera ensuite d'affiner ces premiers résultats avec les données de mesures prises de manière ponctuelle (SIE), qui sont prélevées sur plus de stations. On attribuera enfin les classes d'état selon la réglementation établit par l'arrêté du 25 janvier 2010¹ pour chacune de nos stations.

1) Evolution du régime thermique de la Garonne de Toulouse à Golfech

On souhaite comparer les chroniques de mesures prises en continu pour avoir une première vue des variations de températures de l'eau de la station du Bazacle jusqu'à celle de Golfech. Nous disposons donc de l'amont vers l'aval des données et des stations suivantes :

- Bazacle → 2002 à 2010
- Verdun → 2007 à 2010
- Saint Nicolas de la Grave → 2002 et 2003
- Golfech → 2002 à 2010.

L'idée ici n'est pas d'avoir une vision chronologique de l'évolution de la température de 2002 à 2010 mais bien de caractériser cette évolution le long du tronçon. L'objectif est de savoir si on a une augmentation graduelle de la température de Toulouse à Golfech, ou bien brutale (forte augmentation à partir de Verdun par exemple), ou bien encore de grandes variations (températures faibles au Bazacle, élevées à Verdun, à nouveau faible à St Nicolas et élevées à Golfech).

¹ Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement

a) Bazacle - Verdun - Golfech

On commence donc par comparer les températures moyennes journalières (TMJ) pour les stations Bazacle - Verdun – Golfech pour l'année 2008, considérée comme représentative d'une année « moyenne » (pas trop chaude, ni caniculaire).

Evolution des TMJ

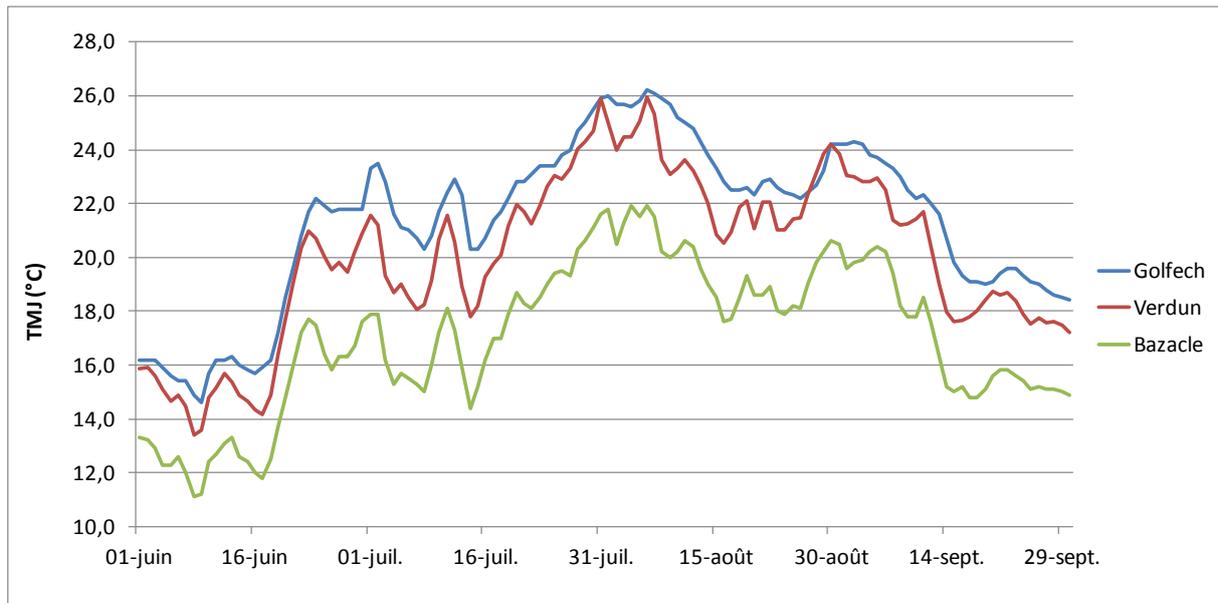


Figure 10 : Comparaison des TMJ de Bazacle, Verdun et Golfech entre Juin et Septembre en 2008

On observe ici que les TMJ enregistrées au Bazacle sont les moins élevées des trois stations.

On voit bien une différence entre ces trois courbes mais davantage marquée entre Bazacle et Verdun par rapport à Verdun et Golfech.

2008	Bazacle	Verdun	Golfech
Moyenne	17,0	20,1	21,4
Ecart-type	2,8	3,1	3
Médiane	17,6	20,6	22,2

Les TMJ au Bazacle sont globalement inférieure à 20°C et ne dépassent jamais 22°C avec une moyenne de 17,0°C, en

2008. Les TMJ à Verdun sont plus chaudes que celles du Bazacle avec une moyenne de 20,1°C, elles dépassent sur de courtes périodes les 24°C. Les TMJ moyennées sur la période

	G-V	V-B
Différence moyenne	1,3	3,0
Ecart-type	0,7	0,5

Juin-Septembre sont de 21,4°C à Golfech avec tout de même la moitié des valeurs supérieures à 22,2°C, elles dépassent les 24°C sur de plus longues périodes que celles de Verdun. Dans le

cadre de migration des saumons atlantiques, les températures à Verdun-sur-Garonne et surtout à Golfech sont susceptibles d'impacter négativement la montaison.

Différences de TMJ entre les 3 stations

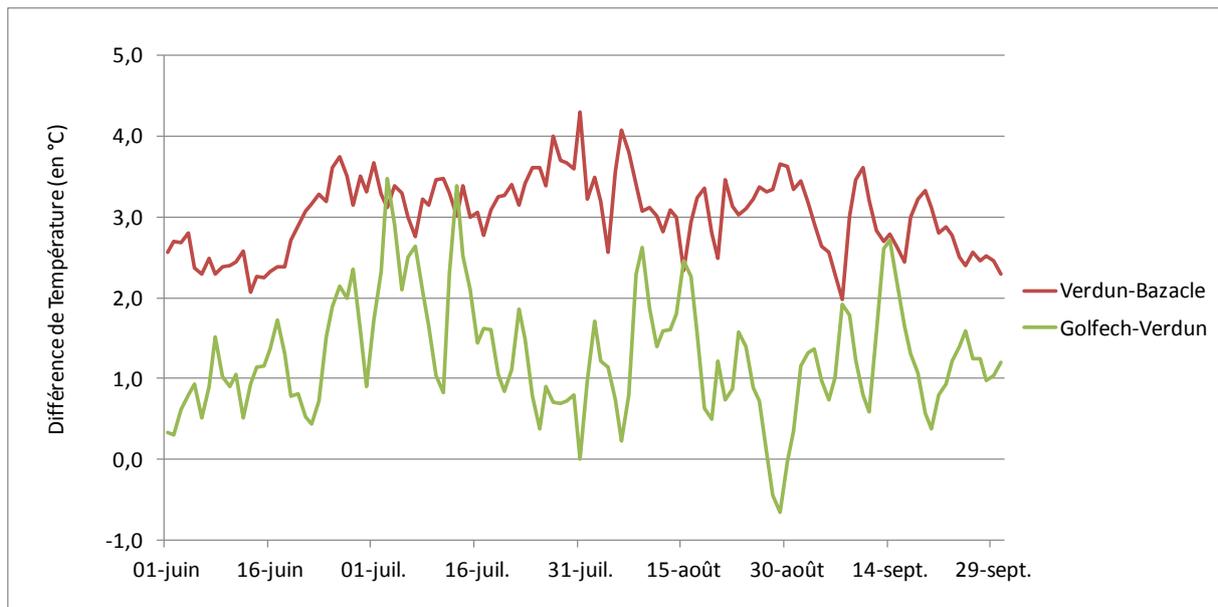


Figure 11 : Comparaison des différences moyennes de TMJ pour Verdun-Bazacle et Golfech-Verdun entre Juin et Septembre en 2008

D'après la figure 8 et le calcul de la différence moyenne entre les TMJ de deux stations entre Juin et Septembre 2008 (comparaison date par date entre les 2 stations), on peut confirmer et préciser les observations faites sur la figure 7. On constate une différence moyenne de température de 4,3°C entre le Bazacle et Golfech et cette différence est plus de 2 fois plus élevée entre Bazacle et Verdun (3,0°C) qu'entre Verdun et Golfech (1,3°C). Toutefois, les TMJ du Bazacle et de Verdun semblent suivre des tendances plus similaires que celles de Verdun et Golfech, et on observe de ce fait des variations de différence moyenne de moins grandes amplitudes que dans le cas de la comparaison Golfech-Verdun. On précise que le tronçon fait une distance d'environ 100 km et que la station Verdun se situe à égale distance des deux extrémités. Il y a donc une **augmentation de température 2 fois plus importante dans les 50 premiers km de notre tronçon** (Bazacle-Verdun) que dans la deuxième moitié (Verdun-Golfech).

Durée de la période « chaude »

Comme on l'a vu précédemment les TMJ à Verdun et à Golfech dépassent les 24°C en 2008 mais pas au Bazacle. En 2009 et 2010, on trouve pourtant 8 et 2 jours consécutifs respectivement où les TMJ dépassent 24°C au Bazacle. De la même manière, à Verdun on trouve 12, 28 et 9 jours (en 2008, 2009 et 2010) avec des TMJ supérieures à 24°C, les périodes variant de 2 à 12 jours consécutifs. Enfin à Golfech, on a 23, 57 et 31 jours supérieures à 24°C variant de 2 à 44 jours consécutifs.

Ces périodes se situent généralement pour les 3 stations pendant le mois d'août et la fin du mois de Juillet.

Il est important de quantifier ces périodes de fortes chaleurs car elles expliqueraient mieux l'apparition de mortalités ou d'atteinte à la migration de saumons atlantiques que les températures maximales atteintes ponctuellement. En effet, une exposition prolongée à de fortes températures est probablement plus dommageable qu'une exposition de courte durée. [4]

b) Bazacle - St Nicolas - Golfech

On compare ensuite les températures moyennes journalières en 2002 pour les stations du Bazacle – St Nicolas – Golfech.

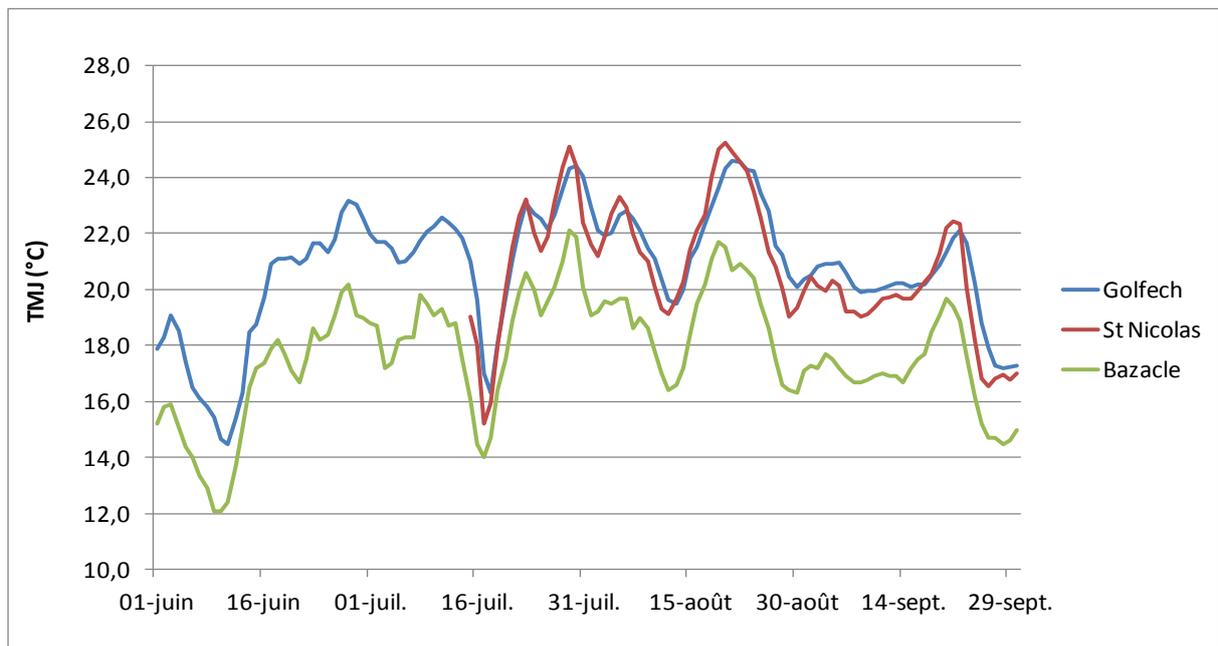


Figure 12 : Comparaison des TMJ entre Juin et Septembre en 2002

Les TMJ à Golfech et à St Nicolas de la Grave suivent les mêmes tendances et ne diffèrent quasiment pas entre elles. L'année 2002 n'a pas été une année de canicule, les TMJ à ces deux stations dépassent cependant les 24°C sur une courte période (9 jours à St Nicolas et 8 jours à Golfech), sur la majeure partie de la période considérée les TMJ se situent entre 20 et 22°C, pour une moyenne de 20,8°C pour les deux stations.

2002	Bazacle	St Nicolas	Golfech
Moyenne	17,7	20,8	20,8
Ecart-type	2,1	2,3	2,2
Médiane	17,7	20,4	21,1

En revanche, il y a une différence marquée entre les TMJ du Bazacle et celles de St Nicolas et de Golfech. Les TMJ au Bazacle sont globalement inférieures à 20°C avec une moyenne de 17,7°C.

2002	G-St N	St N-B
Différence moyenne	0,4	2,7
Ecart-type	0,8	0,6

On peut noter que les TMJ à Golfech semblent être légèrement supérieures à celles de St Nicolas d'après le calcul de la médiane car la moitié des valeurs dépassent les 21,1°C à Golfech et 20,4°C à St Nicolas.

En 2002 pour la période considérée, on observe une différence moyenne de 3°C entre les TMJ au Bazacle et celles de Golfech et 2,7°C entre Bazacle et St Nicolas.

Les TMJ de St Nicolas et Golfech diffèrent peu, la différence moyenne est de 0,4°C.

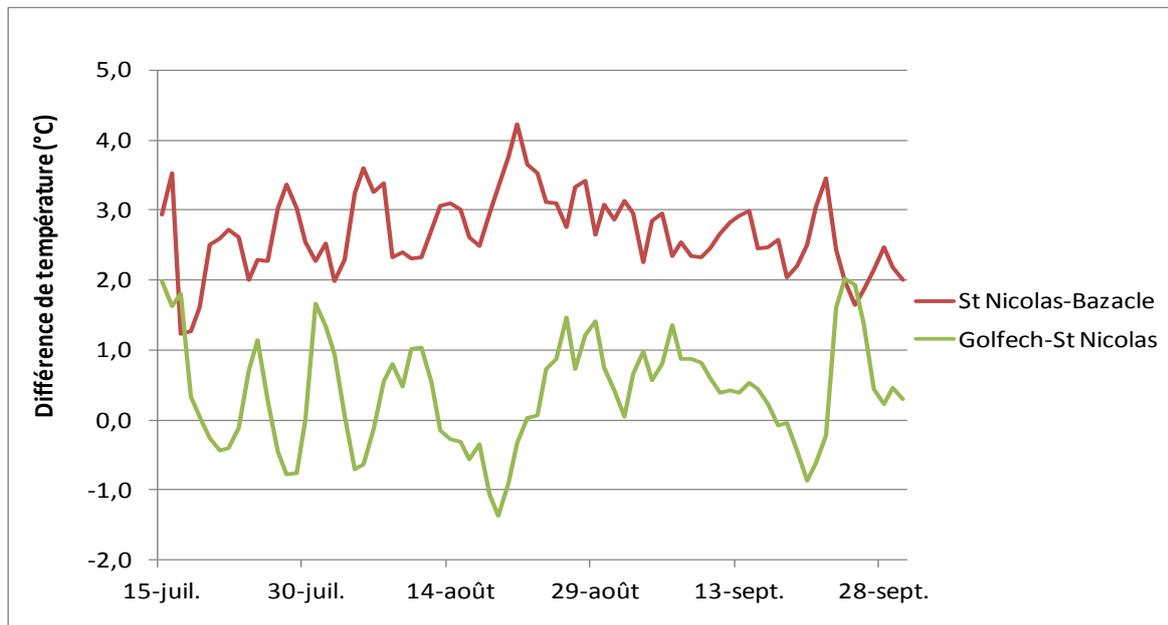


Figure 13 : Comparaison des différences moyennes de TMJ pour St Nicolas-Bazacle et Golfech-St Nicolas entre Juillet et Septembre en 2002

(NB : les données de température disponibles en 2002 à St Nicolas débutent le 15 juillet).

Toutefois d'après la figure 13, on observe une variation de différence moyenne plus importante lorsqu'on compare Golfech et St Nicolas par rapport que lorsqu'on compare St Nicolas et Bazacle. Donc, en termes de tendance d'évolution au cours de la période Juin-Septembre les températures moyennes journalières du Bazacle et de St Nicolas sont davantage similaires entre elles que celles de St Nicolas et de Golfech, bien que la distance soit bien moins importante entre ces deux dernières stations.

On peut faire les mêmes observations pour les données de 2003, en notant d'une part que les TMJ sont bien plus chaudes que celles de 2002 pour les trois stations, du fait d'un été caniculaire. D'autre part, les TMJ de St Nicolas sont globalement plus élevées que celles de Golfech avec une moyenne de 25,6°C respectivement.

c) Influence des affluents

On recense de Toulouse à Golfech les principaux affluents de la Garonne suivants : Touch, Aussonnelle, Hers mort, Girou, Save, Gimone et le Tarn.

On s'intéresse aux débits de ces cours d'eau et aux classes d'état attribuées par le SIE dans le cadre de la DCE aux stations les plus proches de la confluence des affluents avec la Garonne afin de trouver des éléments d'explications à la différence de température entre Bazacle et Verdun qui est deux fois plus importante que celle entre Verdun et Golfech, et

qui se trouve cependant à la même distance (NB : les classes d'état correspondent aux eaux salmonicoles pour l'année 2008).

Affluents entre Bazacle et Verdun

On a les affluents du Touch jusqu'à la Save et on présente les données de manière synthétique.

Affluents	Débits VCN10 quinquennale sèche (m ³ /s)	Classes d'état eaux salmonicoles en 2008
Touch	0,610 (à St Martin)	Moyen : 22,5°C (à St Michel)
Aussonnelle	0,037 (à Seilh)	Très bon : 17,3°C (à Seilh)
Hers mort	0,240 (à Toulouse)	Moyen : 24,2°C (au niveau de St Sauveur)
Girou	0,026 (à Cepet)	Très bon : 18°C (à Cépet)
Save	0,390 (à Larra)	Très bon : 19°C (à Grenade)

Tableau 4 : Classes d'état (correspondant aux eaux salmonicoles) des affluents de la Garonne en 2008 et débits (sources : SIE et Banque Hydro)

Les affluents semblent donc jouer un rôle négligeable dans l'augmentation de la température de la Garonne entre Toulouse et Verdun, notamment du fait de leur faible débit d'apport par rapport au débit de la Garonne 41,00 m³/s et 32,00 m³/s (VCN10 quinquennale sèche) à Portet-sur-Garonne et Verdun-sur-Garonne.

Affluents entre Verdun et Golfech

Entre Verdun et Golfech, on s'intéresse à deux affluents, la Gimone et le Tarn.

Affluents	Débits (m ³ /s)	Classes d'état
Gimone	0,130 (à Garganvillar)	Très bon : 20°C (à Lafitte)
Tarn	15,00 (à Moissac)	Moyen : 23,5°C (à Moissac)

Tableau 5 : Classes d'état (correspondant aux eaux salmonicoles) de la Gimone et du Tarn en 2008 et débits (sources : SIE et Banque Hydro)

Visiblement, il n'y a pas d'influence de la Gimone sur la température de la Garonne. Les débits de la Garonne sont de 32,00 m³/s et 57,00 m³/s (VCN10 quinquennale sèche) à Verdun-sur-Garonne et Lamagistère ; le Tarn contribue donc 1/3 des eaux de Lamagistère (info Garonne lettre d'information du Sméag n°17). Et du fait d'un débit plus important que les autres affluents et même, à certaines périodes, supérieur à celui de la Garonne [9],



Photo 1 : Vue aérienne de la confluence du Tarn et de la Garonne au niveau du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave en Tarn-et-Garonne (06/07/2010) – D. Taillefer

et d'une classe d'état « moyen », on s'intéresse dans la partie suivante à l'influence du Tarn sur les températures de la Garonne à l'aval de la confluence. Pour cela, on va [approfondir l'étude du régime thermique du Tarn](#) en comparant les TMJ du Tarn et de la Garonne à Golfech.

2) Comparaison des régimes thermiques du Tarn et de la Garonne

Nous disposons des données supplémentaires :

- Tarn amont → 2007 à 2010
- Tarn aval → 2007 à 2010

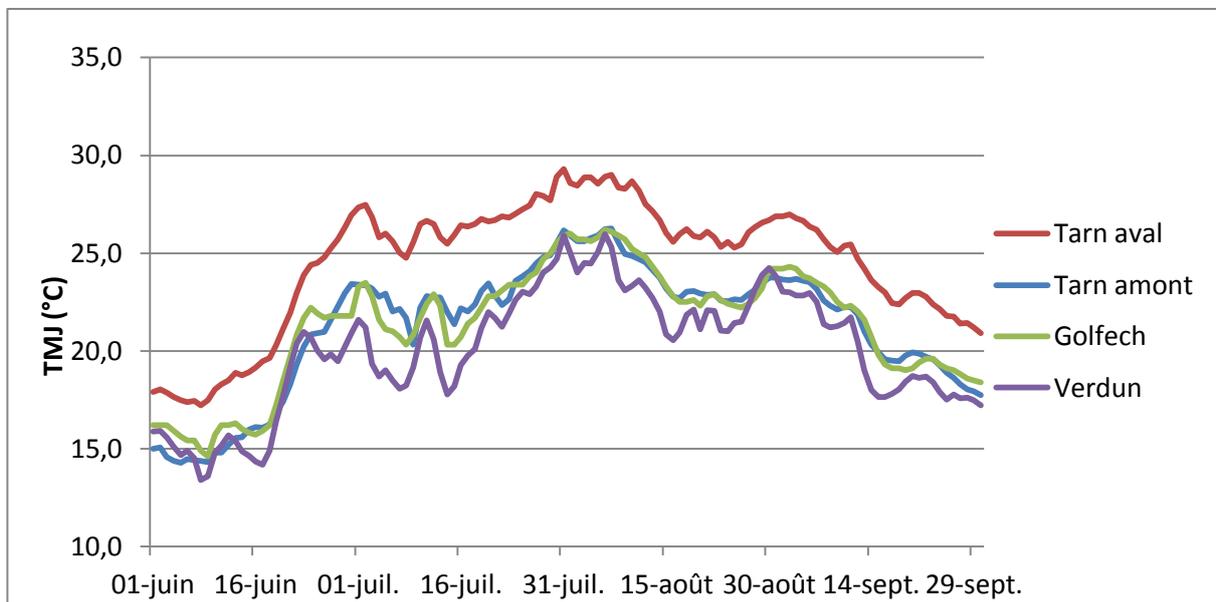


Figure 14 : Comparaison des TMJ du Tarn amont, Tarn aval, Verdun et Golfech entre Juin et Septembre en 2008

On peut voir ici que les TMJ du Tarn aval sont les plus élevées alors que celles du Tarn amont et Golfech se confondent. Les TMJ du Tarn aval sont globalement supérieures à 25°C (76 jours sur 122) avec une moyenne de 24,6°C et les TMJ des deux autres stations sont globalement inférieures à 25°C (10 jours pour le Tarn amont et 12 jours pour Golfech >25°C) avec des moyennes de 21,3°C et 21,4°C respectivement.

	Verdun	Golfech	Tarn amont	Tarn aval
Moyenne	20,1	21,4	21,3	24,6
Ecart-type	3,1	3	3,3	3,3
Médiane	20,6	22,2	22,4	25,7

	Golfech-Verdun	Tarn aval-amont	Golfech-Tarn aval
Différence moyenne	1,3	3,3	-3,2
Ecart-type	0,7	0,4	0,8

Pour ce qui est des années 2007, 2009 et 2010 les figures sont présentées en 3. Hormis des variations interannuelles « naturelles », on constate d'une manière générale les mêmes tendances d'évolution le long de ce linéaire que pour l'année 2008. On peut ajouter les remarques suivantes :

En 2007, l'écart entre les TMJ du Tarn aval par rapport au Tarn amont et à Golfech est moins important.

En 2009, on observe des écarts plus importants entre les TMJ du Tarn et celles de la Garonne, on note en moyenne 5°C d'écart entre les TMJ du Tarn aval et celles de Golfech. On constate pour cette année des températures plus élevées pour l'ensemble des trois stations mais une augmentation bien plus notable pour le Tarn aval avec une moyenne de 28,2°C et la moitié des données relevées pendant cette période supérieures à 28,6°C.

En 2010, un écart moins marqué entre les températures des trois stations ; les TMJ du Tarn sont plus chaudes que celles de la Garonne, mais ces valeurs sont parfois plus élevées pour la station du Tarn amont que pour la station du Tarn aval alors que précédemment c'était pour le Tarn aval que les TMJ étaient les plus élevées.

On peut donc confirmer les résultats de l'étude sur « la qualité du milieu de la Garonne au regard des poissons notamment migrateurs » qui pointe le **Tarn aval et la Garonne jusqu'à Golfech comme une zone à enjeux** et compléter en disant que ce ne sont pas uniquement des températures ponctuellement supérieures à 25°C qui sont enregistrées sur le Tarn aval mais de **longues périodes (jusqu'à deux mois et demi) où la température peut dépasser les 25°C**. Les mesures de températures en continu ont donc permis de confirmer et de préciser les résultats des mesures ponctuelles du SIE.

Il semble donc que ces fortes températures **sur l'aval du Tarn soient très défavorables pour la migration voire la survie des saumons atlantiques**. Pour apporter des éléments de réponse à la question du peu d'individus adultes traversant le Bazacle par rapport à Golfech entre Juin et Septembre lors de la montaison, vraisemblablement, il semble au vu des résultats **peu probable que ces saumons se dirigent vers le Tarn**.

Enfin, en ce qui concerne l'influence du Tarn sur les températures de la Garonne à l'aval de la confluence, il est difficile de conclure d'après ces résultats. Comme on l'a vu précédemment le débit du Tarn équivaut à environ un tiers des eaux de la Garonne à l'aval de la confluence, ce qui n'est pas négligeable d'autant plus que les températures du Tarn aval sont nettement supérieures à celles de la Garonne à Golfech (moyenne des différences date par date de 3,2°C en 2008). La différence des températures de l'eau entre

Golfech et St Nicolas de la Grave est très faible et on peut considérer en termes de tendance qu'on retrouve les mêmes températures aux deux stations. Comme on l'a vu dans la partie 1.b Bazacle-St Nicolas-Golfech, ceci peut s'expliquer du fait de la localisation de la station de St Nicolas (pour les années 2002 et 2003) qui se situe à proximité de la confluence Garonne-Tarn et qui subirait l'influence des températures du Tarn au même titre que la Garonne à Golfech. L'idéal serait d'avoir une station en amont de St Nicolas mais à l'aval de Verdun et pour laquelle on pourrait comparer les TMJ d'une station à l'aval de la confluence. Il existe que des stations du SIE dans ce tronçon, on va donc comparer les données de la station de St Aignan avec celles de Coudol. Ces données seront à prendre avec précautions étant donné le peu de mesures effectuées et les jours et heures différentes de prélèvement de température.

Comparaison des températures de la Garonne à St Aignan et à Coudol

On compare les mesures des deux stations lorsque celles-ci sont prélevées à des jours pas trop éloignés. Le tableau est présenté en 4.

Bien que les mesures ne soient pas réalisées les mêmes jours aux deux stations, on peut dire que globalement les températures instantanées sont plus élevées à Coudol qu'à St Aignan, et ce malgré que les heures de prélèvement soient plus tôt dans la journée. On pourrait donc penser que si les températures étaient prises aux mêmes heures qu'à la station de St Aignan, les températures à Coudol seraient encore plus chaudes qu'elles ne les sont d'après ces résultats.

On peut conclure quant à l'influence du Tarn sur les températures de la Garonne au niveau de la confluence et à l'aval en disant que le [Tarn contribue en partie au réchauffement de l'eau de la Garonne](#) et donc à la différence entre les TMJ observées entre Golfech et Verdun. De plus, on peut ajouter que cette influence est visible également dans le plan d'eau de St Nicolas de la Grave à proximité de la confluence, puisque l'on n'observe pas de différence notable entre les TMJ de St Nicolas et celles de Golfech.

On a pu apporter ici des éléments de réponse pour expliquer la différence de températures de l'eau entre Golfech et Verdun. Toutefois, on a à ce stade, pas plus d'éléments sur l'augmentation de la température entre Bazacle et Verdun. Afin de mieux caractériser cette augmentation, on va s'intéresser dans la partie suivante à l'évolution des températures de l'eau en utilisant les données du SIE qui sont plus nombreuses en terme de stations, mais plus difficiles à utiliser du fait du faibles nombres de mesures et du caractère instantané de ces mesures.

3) Caractérisation de l'état chimique de la Garonne pour le paramètre température de Toulouse à St Nicolas de la Grave

Comme on a pu le voir dans la partie III. Matériel et méthodes, on ne peut ni comparer les mesures ponctuelles et les mesures prises en continu, ni les classes d'état du SIE et celles calculées à partir des TMJ.

Le but dans cette troisième partie est d'affiner les observations de l'évolution de la température entre Bazacle et Golfech, en observant donc les tendances d'évolution des classes d'état attribuées par le SIE pour le paramètre température de l'eau. La comparaison sera bien moins précise que celle effectuée avec les mesures en continu, mais cette méthode nous permet d'avoir plus d'informations sur l'évolution de la température dans notre tronçon en ayant un nombre de stations plus important.

On commence par étudier l'évolution des classes d'état de Toulouse à St Nicolas de la Grave (NB : les classes d'état figurant sur le SIE correspondent sur ce tronçon aux eaux cyprinicoles, nous avons donc modifié ces classes d'état pour qu'elles correspondent aux **eaux salmonicoles** étant donné l'intérêt porté dans cette étude au contexte de migration des saumons atlantiques). On a utilisé les années 2004, 2009 et 2003 qui sont des années « normale », moyennement chaude et caniculaire respectivement.

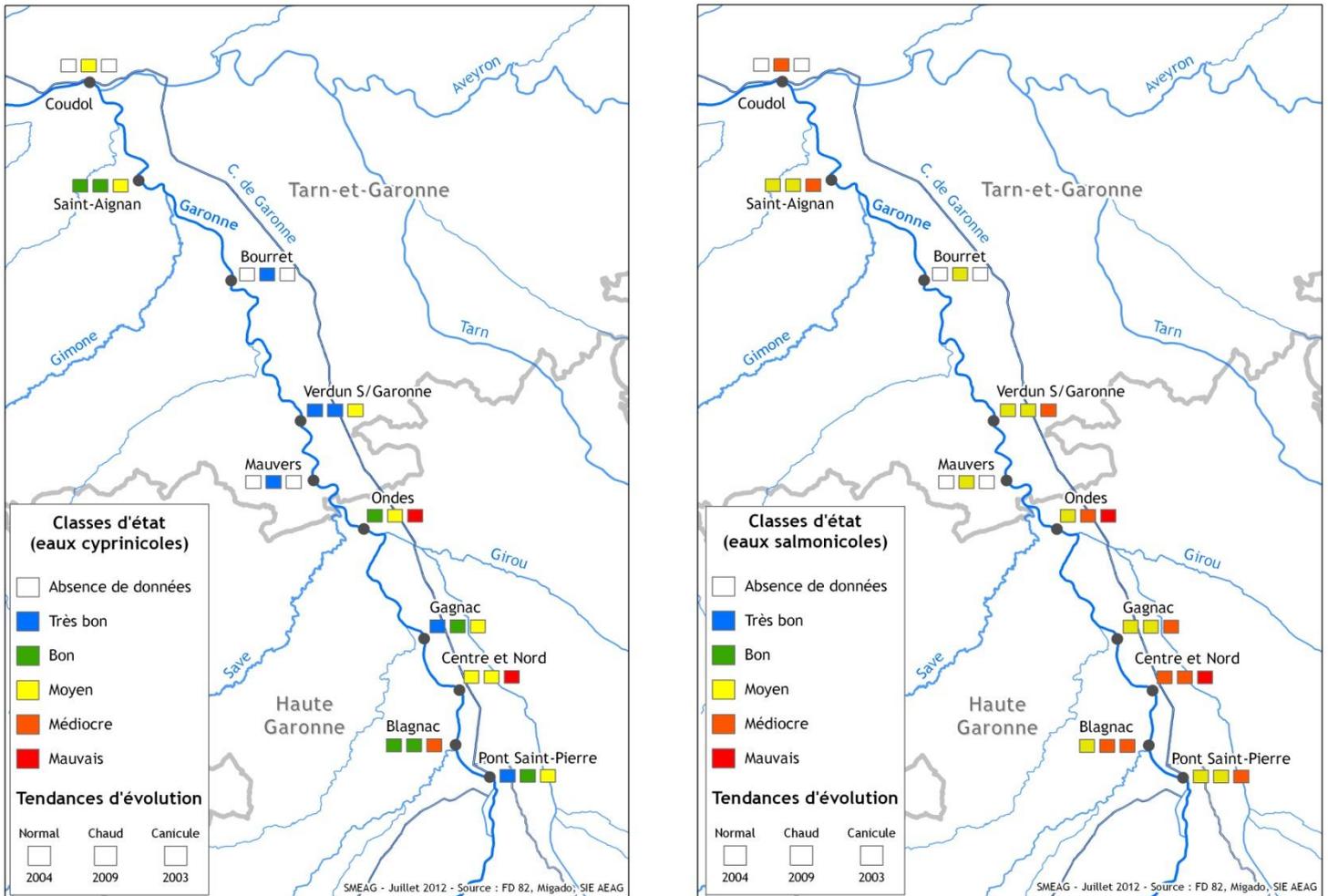


Figure 15 : Evolution des classes d'état pour le paramètre température de l'eau de Toulouse à St Nicolas de la Grave (1 : Très bon ; 2 : Bon ; 3 : Moyen ; 4 : Médiocre ; 5 : Mauvais) pour les eaux cyprinicoles et salmonicoles

Il semblerait donc que les températures de la Garonne à la station Centre et Nord soient plus élevées que celles des autres stations en 2004 qui est une année dite normale, avec une classe d'état « médiocre ».

Les stations Blagnac, Centre et Nord, Ondes et Coudol se voient attribuer une classes d'état médiocre pour l'année 2009 qui fut moyennement chaude, leur état est donc moins bon que pour les autres stations.

Enfin, pour l'année de canicule (2003), uniquement les stations Centre et Nord et Ondes, sont en mauvais état et les autres stations en état médiocre.

On note également qu'il n'y a pas de différence entre les classes d'état pour les trois années aux stations St Pierre et Verdun sur Garonne. Or, lors des comparaisons des TMJ du Bazacle avec celles de Verdun, on avait constaté une différence de 3°C en moyenne ce qui constitue dans certains cas une différence inférieure ou égale à l'intervalle entre deux classes d'état (notamment pour passer de moyen à médiocre et de médiocre à mauvais respectivement), la différence observée n'est pas visible en comparant les classes d'état. De

plus, les mesures ponctuelles sont prises à des heures et à des jours différents par rapport aux TMJ, ce qui induit donc des différences entre les mesures ponctuelles et les TMJ, comme vu dans la partie III.2 Comparaison des mesures ponctuelles et des mesures en continu.

On peut conclure d'après ces données qu'en amont de Verdun on a des températures qui augmentent de manière notable à l'aval de Toulouse entre Blagnac et Gagnac et vers Ondes. Puis à l'aval de Verdun, on a une augmentation de température de l'eau dans le secteur de St Nicolas de la Grave à la station de Coudol. Mais ces résultats sont à prendre avec précautions, car le fait de se baser sur les classes d'état est une manière peu fiable d'étudier l'évolution de la température, mais permet d'avoir une idée sur les tendances. Des mesures prises en continu seraient donc nécessaires pour confirmer ces conclusions.



Photo 2 : Marne affleurante sur la Garonne en aval des ponts de Bourret en Tarn-et-Garonne (07/08/2008) – D. Taillefer

Comme nous le verrons dans la partie suivante, le substrat alluvial joue un rôle important dans la thermie de l'eau, mais nous pouvons d'ores et déjà mettre ces résultats en relation avec une étude de Delmouly et al. (2007) sur la cartographie du substrat de la Garonne (de St Nicolas à Toulouse) qui a mis en évidence un appauvrissement de la composition du lit en graviers et galets (-20%) entre 1990 et 2006 de la chaussée du Bazacle à Fenouillet et également à St Nicolas de la Grave. D'après cette étude, la composition du lit est majoritairement composée de molasse de Toulouse à Gagnac (20,2% seulement de graviers-galets).

Dans le secteur d'Ondes on observe une succession de radier et de plat de faible profondeur pouvant expliquer l'augmentation de température constatée. En amont de St Aignan on observe des profonds qui peuvent constituer des zones refuges lors de la montaison des saumons atlantiques. Et enfin, juste en amont du plan d'eau de St Nicolas de la Grave, il semble que près de la totalité du substrat est de la molasse mise à nue, pouvant contribuer à un réchauffement de l'eau. [4]



Photo 3 : La Garonne en étiage en aval de Blagnac en Haute-Garonne (19/08/2004) – D. Taillefer



Photo 4 : La Garonne en étiage en aval de Gagnac-sur-Garonne en Haute-Garonne (08/08/2006) – D. Taillefer

V. Scenarii futurs et facteurs combinés

Comme évoqué dans la problématique du sujet, on s'intéresse également à l'évolution temporelle des températures de l'eau, et donc aux processus qui influencent la température de l'eau comme les débits par exemple.

1) Eléments contribuant au réchauffement de l'eau

Paramètres climatiques et hydrologiques

Une thèse a été menée pour déterminer les phénomènes environnementaux climatiques et hydrologiques qui participent à l'évolution du régime thermique de la Garonne à Malause (Larnier, 2010).

L'auteur a pu mettre en avant trois facteurs pouvant expliquer l'évolution des températures de l'eau (corrélation entre les évolutions des moyennes saisonnières de ces facteurs et des moyennes saisonnières de la température de l'eau à Malause) :

- La température de l'air
 - L'insolation
 - Le débit

Le flux d'insolation est celui qui participe majoritairement au réchauffement de l'eau du tronçon Toulouse – Malause depuis 1992, autant en ce qui concerne l'évolution annuelle (influence maximale en été) que sur la période 1992-2005. Durant cette période, l'insolation estivale a augmenté de 52 W.m^{-2} en été. Dans une moindre mesure, les flux de radiations en ondes longues et de convection (température de l'air) à la surface de l'eau ont augmenté de $10,5 \text{ W.m}^{-2}$ et $6,8 \text{ W.m}^{-2}$ respectivement au printemps.

La diminution des débits estivaux a également un rôle majeur dans l'augmentation des températures de l'eau, d'importantes diminutions peuvent avoir lieu en été (jusqu'à 40% à Verdun-sur-Garonne).

Substrat

Le substrat alluvial joue un rôle important dans la thermie de l'eau. En période estival la température moyenne et l'amplitude journalière sont plus faible lorsqu'un cours d'eau dispose d'un substrat alluvial et de faciès de type radiers ou mouilles permettant le développement d'un écoulement hyporhéique à l'inverse d'un substrat rocheux. [10]

Le tronçon entre Toulouse et Malause présente un faciès de lit très irrégulier avec des sinuosités, des variations de largeur et de profondeur, des affleurements localisés de molasses ou des vastes bancs de galets. L'impact à l'étiage de ces irrégularités du profil longitudinal est très important puisque les affleurements de roches créent de nombreuses successions de radiers et de mouille qui régissent l'écoulement en basses eaux. [9]

Dans une étude sur la cartographie du substrat de la Garonne de Toulouse à St Nicolas citée plus haut, il a été constaté que le tronçon d'étude présente une faible charge sédimentaire grossière, avec de nombreuses zones d'affleurements de molasse. La composition du lit en graviers et galets a diminué de 20% entre la confluence avec le Tarn et Toulouse.

De plus, la faible profondeur et l'étalement de l'eau du faible d'un lit peu profond et large entraîne un réchauffement plus important de l'eau et constitue des zones à traverser très défavorables pour les saumons atlantiques. Comme énoncé dans l'étude L. Demouly *et al.* (2007), un milieu composé de molasse affleurant de manière uniforme constitue un faible potentiel pour les poissons en terme de diversité d'habitats et peut rendre difficile la migration du fait de perte de zones refuge.[8]

2) Prédictions

Comme nous l'avons vu précédemment, les températures de l'eau sont étroitement liées à celles de l'air. L'auteur de la thèse citée ci-dessus s'est intéressé à l'évolution des températures de l'eau à Toulouse et à Malause pour les 40 ans à venir.

Il semblerait qu'à l'horizon 2050 à Toulouse, le cycle annuel de température de l'eau soit modifié par rapport au fonctionnement actuel, avec une **augmentation des températures plus rapide au printemps** (mais globalement plus basses qu'actuellement) et commençant **plus tard dans l'année** (jour 100 en 2050 contre jour 50 sur la période 2000-2005) et une **période chaude décalée vers fin août-début septembre**.

Les résultats de l'évolution de la température de l'eau à Malause en 2050 indiquent des tendances similaires à celles prédites à Toulouse pour le printemps et légèrement supérieures en été en se rapprochant des températures les plus chaudes (quantiles 95%) de la période 2000-2005.

Selon 3 des scénarii élaborés par le GIEC (cf encadré), le nombre de jours où la température de l'eau serait supérieure à 24°C à Malause serait plus ou moins important variant de 27 (scénario B1) à 44 (scénario A1B) jours (contre 33 pour la période 2000-2005) d'après le modèle établi dans l'étude de K. Larnier (2010).

Dans le plus pessimiste des scénarii (A1B) on aurait une **augmentation de 1,68°C des températures de l'eau à Malause** par rapport à la période 2000-2005.

Si les températures de la Garonne à Malause augmentent à l'horizon 2030, on peut penser que dans une plus ou moins grande mesure, elles augmentent aussi sur le Tarn aval, à Golfech et au Bazacle. Actuellement les températures

Synthèse de 3 scénarii du GIEC (dans K. Larnier, 2010)

A : Globalisation des échanges

B : Régionalisation des échanges

1 : Economie

2 : Environnement

A1B : Equilibre entre les énergies fossiles et non fossiles

sont déjà chaudes et dépassant 24°C sur des périodes pouvant aller de 12 jours à 44 jours consécutifs pour Verdun et Golfech respectivement (cf partie IV.1.a). Ces périodes portent atteintes à la migration des saumons atlantiques et ce d'autant plus si la durée de ces périodes augmentent jusqu'à 2030.

Une autre étude prospective a été menée sur le bassin de la Garonne, le projet IMAGINE 2030 dont l'objectif était d'étudier l'évolution des étiages du bassin de la Garonne en intégrant les changements climatiques annoncés et les activités anthropiques (irrigation et hydroélectricité).

D'après les résultats issus des modèles utilisés, le changement climatique impacterait de manière forte les débits en aggravant l'intensité des sécheresses (diminution de 11 à 18% des débits sur le bassin selon les modèles) et la durée des périodes d'étiages (baisse plus prononcée de juin à août). Ceci étant lié à une augmentation de la température de l'air de 2°C en été à l'échelle du bassin.

Comme nous l'avons vu la température de l'eau est étroitement liée aux débits et températures de l'air, on peut donc s'attendre d'après ces résultats à une augmentation des températures de l'eau à l'échelle du bassin en 2030. Ces résultats sont en accord avec ceux de l'étude évoquée précédemment.

3) Facteurs combinés

La température est également liée à d'autres paramètres physico-chimiques (teneur en oxygène, concentration de polluants, etc.), un réchauffement de l'eau peut donc avoir des conséquences majeures sur le fonctionnement de l'écosystème dans sa globalité.

Bien que l'augmentation de la température de l'eau a un impact avéré sur la mortalité des saumons atlantiques notamment, d'autres facteurs sont à prendre en compte dans le phénomène du déclin de certaines espèces. En outre, la qualité de l'eau dans son ensemble joue un rôle fondamental sur la santé des poissons, en impactant directement leur physiologie, morphologie, etc. De plus, il semblerait que les saumons vivant dans une eau de moindre qualité seraient plus sensibles à l'arrivée d'un nouveau stress comme une augmentation de température et résisteraient moins aux fortes températures estivales. [4]

VI. Conclusions et mesures de gestion pour le Sméag

La température, le débit et la qualité de l'eau jouent un rôle incontestable dans la migration anadrome du saumon atlantique sur la Garonne. [4]

Les fortes élévations thermiques en termes d'intensité et de durée, les affleurements de molasse liés aux faibles débits estivaux sont des facteurs impactant la migration des saumons.

1) Améliorer les connaissances sur le milieu

En termes de préconisations à formuler suite aux résultats, on peut dire tout d'abord qu'il est important de bien connaître le milieu pour proposer les mesures de gestion les plus adaptées. Pour ce faire, il est nécessaire de conserver le matériel de mesures de températures en continu déjà mis en place par Migado et de pérenniser ce réseau en fiabilisant les installations.

Il serait envisageable de compléter le réseau actuel en installant d'autres appareils de mesure de température de l'eau, en priorité à l'aval de Toulouse à la station SIE « Centre et Nord » et à Ondes, puis à une distance d'une quinzaine de kilomètres les uns des autres jusqu'à Golfech.

Enfin, le Sméag pourrait envisager de préconiser à l'AEAG de prendre les mesures de températures en milieu de journée (11h-14h environ) qui semblent plus se rapprocher des températures moyennes journalières, et donc être plus représentatives de la température de l'eau.

2) Solutions envisagées en réponse au réchauffement de la Garonne

Le soutien d'étiage ne semble pas être une solution envisageable pour diminuer la température de l'eau car elle nécessite de grands volumes d'apport ainsi que de l'eau fraîche (Larnier, 2010), ce qui actuellement et dans les années à venir ne paraît pas réalisable étant donné la sévérité des étiages.

Cependant il est possible d'agir sur d'autres paramètres, notamment il serait intéressant d'étudier la faisabilité d'un aménagement du lit de la Garonne en amenant des graviers et galets bloqués en amont des barrages. On a pu voir que le substrat alluvial joue un rôle majeur dans la thermie de l'eau, ce substrat pourrait donc favoriser une diminution de la

température de l'eau et constituer un habitat pour les organismes aquatiques. Ces travaux pourraient donc se faire en lien avec le projet Interreg réalisé notamment par le Sméag.



Photo 5 : Banc de galets dans le lit mineur de la Garonne en étiage estival à Bordes-de-Rivière (10/08/2006) – D. Taillefer

On a vu dans la partie II. Synthèse bibliographique, que les saumons lors de la montaison font l'objet de problème de libre circulation, les temps de blocage pouvant aller de 12,5 jours à 1 mois à Golfech. Il serait donc envisageable d'agir sur le transit des poissons en améliorant la franchissabilité de l'aménagement de Golfech ou bien d'effectuer le piégeage-transport des saumons dès Golfech ; cette dernière solution reste toutefois temporaire et ne constitue pas une solution durable sur le long terme.

Enfin, comme on l'a vu dans la partie IV.1) C. les affluents de la Garonne sur le secteur d'étude n'ont pas d'influence sur l'augmentation de la température de l'eau le long du tronçon, ils peuvent même potentiellement constituer des zones refuges pour les saumons lors de leur migration. Le paramètre température de l'eau pour l'Aussonnelle, le Girou, la Save et la Gimone est évalué comme « Très bon » par le SIE pour l'année 2008 au niveau de leur confluence avec la Garonne.

De même, on a pu voir dans la partie IV.3) que des zones profondes situées notamment en amont de St Aignan peuvent constituer des refuges potentiels si la température de l'eau y est fraîche et qu'il y a suffisamment d'oxygène.

Il faudrait donc étudier si l'Aussonnelle, le Girou, la Save, la Gimone, mais aussi l'Ayroux et la Sère, et également les profonds situés sur la Garonne, peuvent représenter des zones refuges pour les saumons atlantiques. Des profils verticaux de températures et d'oxygène pourraient être effectués au niveau des zones les plus profondes de la Garonne ; et au niveau des affluents il faudrait placer des appareils de mesure de température. Pour finir, il serait intéressant d'étudier l'impact de la prédation des saumons par les silures au niveau de ces zones refuges potentielles ainsi qu'à proximité des aménagements.



CHAPITRE 2 :

Les micropolluants dans les cours d'eau



Source des images : <http://www.energie-environnement.ch/maison/micropolluants/438>

I. Introduction

1) Contexte

Au 22 juin 2012, ce sont un peu plus de 67 millions de substances chimiques naturelles ou synthétiques, organiques ou inorganiques qui sont recensés dans la base de données du CAS Registry (Chemical Abstract Service). Naturels ou non, ces micropolluants sont employés pour leurs vertus isolantes, thérapeutiques, ignifuges, etc., on les retrouve dans de nombreux « produits » : les plastifiants, les textiles, les médicaments, les cosmétiques, dans l'alimentation, dans les boîtes de conserve, les biocides, l'électroménager, etc. Ils sont donc partout et cohabitent avec nous quotidiennement ! Les micropolluants sont beaucoup employés également dans les usages industriels. Généralement, ces substances finissent leur course dans le milieu naturel.

De ce fait, la qualité de l'eau fait l'objet de préoccupations majeures actuellement, notamment dans le cadre des mesures engagées et des objectifs fixés par la DCE. Depuis, les récentes avancées sur les méthodes d'analyse et d'échantillonnage des micropolluants dans l'eau, la liste des substances trouvées s'est allongée de la même manière que celle des substances recherchées. La pollution des cours d'eau par les micropolluants n'est pas forcément récente, elle est juste de mieux en mieux connue : métaux, pesticides, substances pharmaceutiques, PCBs..., la liste est longue. Toutefois, si la présence de certaines molécules (comme les pesticides) est connue, celle des produits pharmaceutiques l'est beaucoup moins. De ce fait, leurs effets sur les organismes non cibles (tels que les organismes aquatiques et les humains) soumis à une exposition chronique et à de faibles doses sont très peu documentés et peuvent représenter un vrai danger pour les espèces aquatiques et notamment les poissons migrateurs.

Il s'agit donc dans ce deuxième chapitre de dresser une synthèse des connaissances sur les micropolluants afin d'avoir une vision objective et actualisée des enjeux liés à leur présence dans le bassin de la Garonne. Cette analyse a pour but d'apporter des éléments d'informations synthétisés pour les collectivités et de faire en sorte qu'à l'issue de ce travail le Sméag puisse adopter une stratégie de positionnement.

On s'intéressera dans cette étude de manière non exhaustive aux micropolluants présents dans les cours de métropole et principalement dans le bassin de la Garonne. L'attention sera portée uniquement sur les eaux superficielles puisque cette étude s'inscrit dans le contexte de qualité de l'eau par rapport aux poissons migrateurs.

2) Définitions

Le terme « micropolluants » désigne un ensemble de substances qui a de très faibles concentrations, de l'ordre du $\mu\text{g/L}$ ou du ng/L , peuvent être toxiques et engendrer des nuisances dans les milieux aquatiques. On peut distinguer les substances minérales (métaux et métalloïdes) ou organiques (hydrocarbures, pesticides, etc.). Les micropolluants sont utilisés lors de processus industriel ou entrent dans la composition de nombreux produits d'usage industriel, agricole ou domestique. [20]

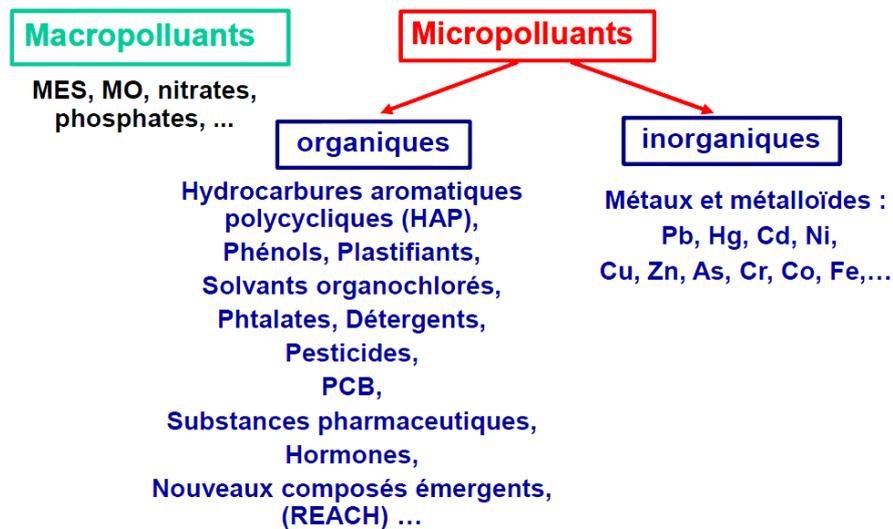


Figure 16 : Classification des substances polluantes [21]

Parmi ces listes de molécules, on trouve des micropolluants réglementés et des micropolluants non réglementés qualifiés « d'émergents ».

La terminologie des polluants « émergents » est issue des travaux du National Research Council dès 1990 et définit comme polluants émergents les substances (telles que les résidus de médicaments, les perturbateurs endocriniens, etc.) qui ne font pas l'objet, à ce jour, de suivis réguliers. Ces polluants d'origine chimique ou biologique n'ont pas encore de statut réglementaire et sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé des organismes vivants et sur les écosystèmes. [26]

Les micropolluants peuvent être décrits de différentes manières :

- Usages et sources d'émission
- Familles chimiques ou à effets thérapeutiques
- Effets sur les organismes vivants et le milieu aquatique
- Formes chimiques

Ils regroupent un nombre considérable de molécules chimiques, il est donc impossible d'en dresser une liste exhaustive dans ce rapport. De plus, du fait de leurs propriétés physico-chimiques ou bien leurs usages par l'homme, ces substances peuvent être

retrouvées dans différents compartiments environnementaux (air, sol, eau, etc.) et différents types de milieux aquatiques (cours d'eau, eaux souterraines ou plans d'eau). Dans le contexte de cette étude, un [état des connaissances sur les principaux micropolluants présents dans les cours d'eau du bassin de la Garonne](#) sera présenté.

3) [Problématique](#)

Les principales questions qui structurent ce travail sur le sujet des micropolluants amènent dans un premier temps à avoir une vision claire de ce que sont ces substances, pour pouvoir ensuite lister les principaux micropolluants que l'on peut trouver dans le bassin de la Garonne.

Il s'agira ensuite d'identifier leur localisation et leur concentration dans le milieu pour déterminer s'il y a des secteurs plus impactés que d'autres. Les conséquences des micropolluants dans l'eau feront l'objet d'une partie de synthèse des résultats de recherche scientifique sur les effets de ces substances sur les organismes aquatiques.

Enfin, ces éléments amèneront à présenter les mesures de gestion (non exhaustives) établies sur la question des micropolluants en termes de connaissances et d'actions, et une réflexion sur les points à améliorer.

II. [Matériel et méthodes](#)

1) [Documents utilisés](#)

Cette étude exploratoire a été faite par le biais de plusieurs types de recherche bibliographique. Un travail de veille a été effectué sur les articles publiés par actu-environnement². Une recherche approfondie de publications scientifiques (détaillée dans la partie suivante) a pu être menée. J'ai pu me procurer des rapports et des publications issus du centre de documentation de l'AEAG. J'ai également consulté des bases de données comme le SIE de l'AEAG³, le site de référence des sites et sols pollués BASOL⁴ et le Portail Substances de l'Ineris⁵. Une enquête a également été menée auprès de scientifiques comme Magali GERINO et Hélène BUDZINSKI tout au long de la période de stage. Et enfin, j'ai assisté au colloque GaGiLau les 6 et 7 décembre 2011 à Bordeaux et au séminaire sur les PCB à Talence le 31 mai 2012.

² <http://www.actu-environnement.com/>

³ <http://adour-garonne.eaufrance.fr/>

⁴ <http://basol.ecologie.gouv.fr/>

⁵ <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

2) Recherche de publications

Sur la base d'une recherche par mots clés effectuée via trois moteurs de recherche : [Science direct](#), [Web of knowledge](#) et [Springerlink](#), une liste non exhaustive de publications scientifiques a été répertoriée dans une base de données nommée « Publications ».

Les mots clés utilisés correspondent aux micropolluants présentés dans la partie suivante et leurs diverses caractéristiques (présence, concentration, impact, élimination, etc.).

Ces micropolluants ont été choisis selon plusieurs critères dont notamment leur concentration importante (ex. : pesticides) ou leur présence avérée (ex. : perchlorate) dans le bassin de la Garonne, leurs effets sur les organismes aquatiques et les Hommes (ex. PCB), ou bien les risques encourus liés aux micropolluants émergents (ex. : médicaments).

Ces quelques exemples de mots clés ont été utilisés :

Métaux et métalloïdes PCB Pesticides Médicaments Perchlorate Radioactivité Contaminants émergents	Pollution Effets Impacts Occurrence	Milieux aquatiques Cours d'eau Garonne Bassin Adour- Garonne	Organismes aquatiques Poissons Poissons migrateurs
---	--	--	--

La base de données « Publications » répertorie un ensemble de 206 articles scientifiques, datés de 1991 à 2011 à l'échelle mondiale. Toutefois, le choix des publications a été largement ciblé sur la France et surtout sur le bassin de la Garonne. Le but étant de recueillir un maximum d'informations sur la Garonne et de pouvoir discuter des résultats en ayant une vue globale de la pollution des eaux superficielles par les micropolluants. Cette base de données n'est donc pas représentative de la recherche scientifique sur les micropolluants au sens large.

III. Présentation et ciblage des micropolluants

De nombreux micropolluants sont présents dans les cours d'eau en France, on dresse donc dans un premier temps un panorama des substances les plus souvent retrouvées. Puis, l'attention sera portée sur les micropolluants présents dans le bassin de la Garonne, pour enfin cibler les substances que l'on étudiera de manière plus approfondie.

1) Présence des micropolluants en France

Dans le cadre du plan national micropolluants 2010-2013, que nous détaillerons plus tard, une étude a été menée sur la présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux au cours de la période 2007-2009. On s'intéresse uniquement aux résultats relatifs au suivi de ces substances dans les cours d'eau de métropole dans les matrices « eau » et « sédiments ». Ce rapport qui ne porte pas sur les micropolluants émergents (tels que les médicaments, etc.) est scindé en deux parties : les pesticides et les micropolluants hors pesticides. Entre 2007 et 2009, plus de 900 micropolluants ont été recherchés dans l'eau et plus de 600 sur les sédiments.

Pour ce qui est des pesticides, ils ont été détectés dans 91% des points de suivi de la qualité des cours d'eau français. On les retrouve principalement dans l'eau du fait de leur forte solubilité et donc peu dans les sédiments. On distingue des différences de concentrations entre les bassins hydrographiques. Les plus pollués sont le Nord de l'Hexagone, le Sud-Ouest et le couloir Rhodanien. Ce sont principalement des herbicides (surtout du glyphosate et l'AMPA, son principal produit de dégradation) qui sont rencontrés dans les cours d'eau français, ainsi que des molécules de nos jours interdites comme l'atrazine ou le diuron.

En ce qui concerne les micropolluants hors pesticides, les HAP sont largement retrouvés dans l'eau, et surtout sur les sédiments des cours d'eau ainsi que les PBDE et les PCB qui sont également des composés hydrophobes. Les métaux et métalloïdes sont également très présents dans les cours d'eau mais pour certains comme le cadmium, le cuivre, l'arsenic, etc., leur origine est en partie naturelle et dépend du fond géochimique propre à chaque bassin. Pour ce qui est des dépassements de normes ce sont principalement les HAP⁶ et les PBDE⁷ (retardateurs de flamme) qui sont concernés. Sur les 42% de points de mesure qui présentent au moins un dépassement sur la période 2007-2009, ces deux familles de micropolluants sont responsables de la majorité des dépassements.

On peut donc conclure que les herbicides sont des micropolluants très répandus dans les cours d'eau français du fait d'une large utilisation à la fois agricole mais aussi domestiques et par les collectivités. De même, les HAP, PCB, PBDE et les métaux et métalloïdes sont très présents mais ils sont associés aux sédiments alors que les herbicides sont solubles dans l'eau. On ne va donc pas retrouver les mêmes micropolluants selon le support étudié.

⁶ Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

⁷ PolyBromoDiphénylEthers

2) Principales substances dans le bassin de la Garonne et sujets d'actualité

Au niveau du bassin de la Garonne, on va également trouver ces familles de micropolluants. Voici une présentation non exhaustive des principales familles et des substances les plus retrouvées en fonction de l'historique de leur pollution ou du contexte actuel de leur provenance :

❖ Pesticides

Du fait d'un contexte agricole très important au niveau du bassin A-G, avec principalement des cultures céréalières, de l'arboriculture, du maraîchage et de la viticulture, des pesticides sont retrouvés dans les cours d'eau. On peut les appeler de différentes manières : pesticides, produits phytosanitaires, produits phytopharmaceutiques ou encore agropharmaceutiques, mais ils signifient la même chose. Ce sont des composés chimiques de synthèse utilisés majoritairement en agriculture pour éliminer les organismes considérés comme « nuisibles » pour les cultures. Les pesticides regroupent plusieurs catégories de substances visant des organismes cibles : herbicides, insecticides, fongicides, nématicides, molluscicides, etc. Ce sont donc des composés biologiquement actifs, qui véhiculés par les eaux, peuvent impacter des organismes non cibles. Ils sont hydrophiles, donc solubles dans l'eau et sont acheminés dans les cours d'eau via le lessivage des sols. Environ 500 produits différents sont utilisés en France, dont principalement des herbicides. [13]

❖ Cadmium (Cd)

Le cadmium est un métal « lourd » présent dans la croûte terrestre en faible quantité et dans les minerais de zinc, plomb ou phosphates auxquels il est souvent associé. Relativement rare, il n'existe pas à l'état naturel sous la forme pour laquelle il est utilisé mais est obtenu comme sous-produit de raffinage du plomb et du cuivre.

Il est utilisé dans l'industrie chimique et électrique pour la fabrication des accumulateurs électriques (notamment nickel-cadmium), le traitement des surfaces métalliques, la fabrication des pigments, le raffinage de métaux non ferreux, etc. La combustion du charbon, des produits pétroliers, l'incinération d'ordures peuvent être des sources d'émission de cadmium dans l'environnement.

Il n'est pas soluble dans l'eau sous sa forme élémentaire, on le trouve principalement adsorbé sur les MES ou dans les sédiments. En revanche, ses sels sont plus ou moins solubles, le chlorure de cadmium (CdCl_2) l'est davantage à l'inverse du cadmium sous ses formes oxyde, sulfate et sulfure.

Le système fluvial Lot-Garonne est connu pour sa pollution historique (> 50 ans) aux métaux lourds (cadmium, plomb, zinc, etc.) [16]

La pollution du bassin Adour-Garonne par le cadmium ne date pas d'hier, déjà dans les années 80, l'estuaire avait été pollué aux métaux lourds dont le cadmium. Ces métaux cheminaient le long des cours d'eau depuis la zone industrielle de Decazeville dans l'Aveyron et de la mine de zinc, emporté par le courant du Riou-Mort, puis par le Lot, La Garonne, l'estuaire de la Gironde jusqu'au bassin ostréicole de Marennes-Oléron. Ces mollusques filtreurs ont accumulés des métaux, s'en est suivie l'interdiction de pêche aux coquillages. Le Riou-Mort contribue en effet jusqu'à 47 % de cadmium, 20% de zinc, 9% de plomb et 4% de cuivre des flux bruts de la Garonne au niveau de l'estuaire de la Gironde.[16] Les sédiments du Lot peuvent être considérés comme « sévèrement pollués » en Cd et Zn.

❖ PCB

Aussi connus sous le nom de pyralènes, les PolyChloroBiphényles sont des dérivés chimiques chlorés synthétisés par l'Homme. Largement utilisés par l'industrie française depuis les années 1930 pour leurs qualités d'isolants pour les appareils électriques, de liquides de refroidissements ou bien encore de lubrifiants, ils représentent désormais un danger toxique avéré en santé humaine et environnementale. Ils ont été interdits dans les encres, les adhésifs, les additifs et certaines huiles dès 1979, puis interdits de production et d'utilisation en 1987. Ils sont peu biodégradables, très lipophiles, et se bioaccumulent donc facilement le long des chaînes trophiques, ils s'accumulent également dans l'environnement où ils ont une affinité particulière pour les sédiments marins ou de rivières et persistent donc encore aujourd'hui. Ils font partie des Polluants Organiques Persistants (POP).

Depuis la médiatisation en 2007 de la pollution des poissons du Rhône par les PCB⁸, et devant l'inquiétude grandissante de la population, l'Etat décide de mettre en place le 6 février 2008 un plan stratégique : le Plan National d'Actions sur les PCB.

❖ HAP

Les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques sont des molécules organiques constituées de cycles benzéniques. Ils sont bioaccumulables et peu biodégradables et comme les PCB, ils font partie des POP. Ces composés sont générés par la combustion de matières fossiles notamment par les moteurs diesels (source anthropique) mais aussi les éruptions volcaniques ou les feux de forêt (source naturelle). Ils peuvent être utilisés par exemple comme intermédiaire dans la fabrication de teinture, de pesticides et matières plastiques mais aussi comme colorants fluorescents, ou dans les revêtements de protection des réseaux de distribution d'eau potable en acier. Le passage des hydrocarbures dans l'organisme humain s'effectue par inhalation, par ingestion, mais également par transfert

⁸ www.onema.fr/IMG/pdf/PCB-20120531_Intro_40ans-evaluation-des-risques-France_NARBONNE.pdf

au travers de la peau. Plusieurs études épidémiologiques en milieu professionnel ont montré que les HAP sont impliqués dans l'apparition de certaines formes de cancers chez l'homme. Certains HAP sont inscrits sur la liste des substances dangereuses prioritaires de la DCE.

❖ Résidus médicamenteux

Les résidus médicamenteux (= pharmaceutiques) sont des composés chimiques ayant un effet thérapeutique. Cette grande famille de substances regroupe les stéroïdes synthétiques (œstradiol, testostérone), des médicaments de type antidépresseur (diazépam, amitriptyline), analgésique (ibuprofène, paracétamol, diclofénac), antibiotique (néomycine, chloramphénicol), hypolipémiant (acide clofibrigue, gemfibrozil), etc. Ces composés sont biologiquement actifs, ils ont été fabriqués pour avoir une action ciblée et traverser certaines barrières tissulaires. Les rejets de stations d'épuration sont les principales sources de pollution des cours d'eau par les résidus médicamenteux qui sont excrétés par les urines, la transpiration ou encore par rejets directs dans le milieu. Ils peuvent entrer dans la chaîne alimentaire lorsque les sols sont contaminés par les déjections d'animaux traités et par l'épandage dans les champs des boues de station d'épuration ou des fumiers et purins issus des étables. Ces contaminants émergents peuvent présenter un risque dangereux pour les organismes non cibles (poissons migrateurs, Homme, macroinvertébrés, etc.).

La liste des micropolluants présentés ici correspond à celle utilisée pour l'ensemble de la recherche bibliographique effectuée dans ce chapitre.

IV. Réglementation

Le 23 octobre 2000, le parlement européen et le conseil de l'Union Européenne ont adopté la [directive cadre européenne sur l'eau \(DCE\)](#) afin d'harmoniser la politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe un certain nombre d'objectifs environnementaux :

- protéger, améliorer et restaurer toutes les masses d'eau de surface,
- ne pas dégrader l'état des ressources en eau,
- parvenir en 2015 au « bon état » des eaux de surface,
- réduire la pollution due aux substances prioritaires (ex : diuron, atrazine, DEHP, etc.) et supprimer les émissions de rejets

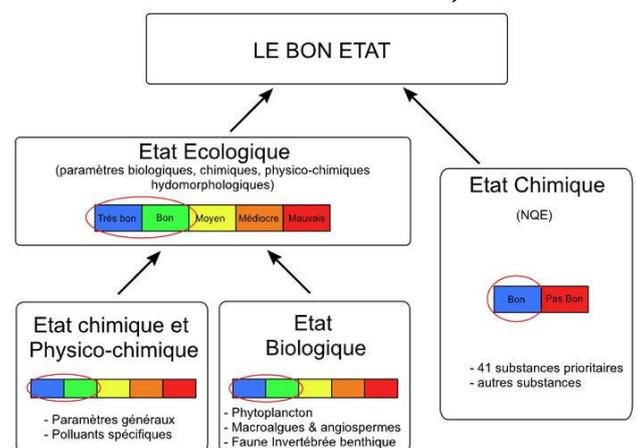


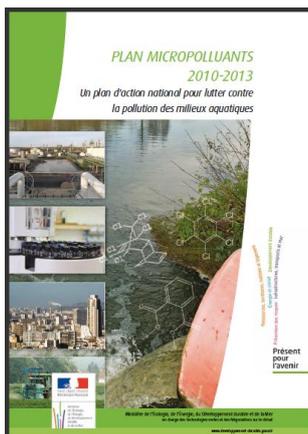
Figure 17 : Méthodologie pour l'évaluation de l'état des masses d'eau

de substances prioritaires dangereuses (ex : HAP, PBDE, cadmium, etc.)[28]

La fixation de **normes de qualité environnementales (NQE)** pour 41 substances (13 substances dangereuses prioritaires, 20 substances prioritaires et 8 substances de la « liste I » de la directive 2006/11/CE non incluses dans la DCE) fixées au niveau communautaire permet d'évaluer **l'état chimique des masses d'eau** qui rentre en compte pour la caractérisation de l'état des eaux au même titre que l'évaluation de l'état écologique des masses d'eau.

L'évaluation de l'état des masses d'eau en France pour l'année 2009 montre que 21% des eaux de surface sont en « mauvais état » chimique. Il est constaté l'omniprésence de certains composés comme les HAP ; il en est de même pour les pesticides et leurs métabolites qui sont quantifiés dans 91% des points de suivi de la qualité des cours d'eau.

Devant le constat de cette contamination des milieux aquatiques par les micropolluants, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) publie le 13 octobre 2010 le « **plan micropolluants 2010-2013** ». Il constitue un support pour définir l'approche stratégique de lutte contre la pollution des milieux aquatiques par les micropolluants. Il permet de répondre aux objectifs⁹ fixés par la DCE et de se donner les moyens d'anticiper la mise en œuvre d'actions sur les micropolluants non réglementés.



Il vient compléter et mettre à jour le programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses (PNAR) publié par l'arrêté du 30 juin 2005. Ce dernier concernait les eaux de surface et les substances inscrites sur les listes de la directive 76/464/CEE de 1976 en lien avec la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses.

L'évolution des connaissances et l'encadrement des micropolluants - via des outils réglementaires (directives filles de la DCE), le Grenelle de l'environnement, la création de l'ONEMA¹⁰ et d'AQUAREF¹¹, et la publication du deuxième Plan National Santé Environnement (PNSE2) - a imposé d'élargir le champ d'application du PNAR et de valoriser les avancées qui en résultaient.

Les 22 actions du plan micropolluant sont réparties selon 4 axes :

⁹ Atteinte du bon état et de non dégradation des masses d'eau d'ici 2015 (DCE), et ne pas recourir aux reports de délais, autorisés par la DCE pour plus d'un tiers des masses d'eau (article 27) de la loi n°2009-967 du 3 août 2009 programmant la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement

¹⁰ Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques

¹¹ Laboratoire de référence national pour la surveillance des milieux aquatiques

1. Réduire les émissions à la source
2. Améliorer les connaissances de l'état des masses d'eau dans le cadre du schéma national des données sur l'eau
3. Améliorer les connaissances scientifiques et techniques pour identifier les marges de progrès et hiérarchiser l'action de pouvoirs publics
4. Suivre et communiquer sur les progrès accomplis

Les micropolluants visés par ce plan sont issus de plusieurs listes établies dans des **arrêtés nationaux** (ex : 25 janvier 2010 relatif à l'évaluation de l'état des masses d'eau, 30 juin 2005 PPAR, etc.), **des circulaires** (ex : 5 janvier 2009 relatif à la surveillance des rejets des installations classées pour la protection de l'environnement, etc.) pris en application des directives européennes comme la DCE. Le **portail substance** mis en place **par l'INERIS**¹² récapitule et met à jour le tableau des substances concernées par le plan micropolluants. Ce plan vise donc un grand nombre de substances qui diffèrent entre elles de part leurs familles chimiques, leurs propriétés physico-chimiques ou encore leurs types d'usages. On trouve des POP comme les PCB, des HAP, des pesticides, des métaux, etc.

Ce plan permet également de renforcer la coordination des actions prévues par **d'autres plans nationaux** spécifiques à certains micropolluants ou groupes de micropolluants :



SOMMAIRE	
→ PLAN ÉCOPHYTO 2018 DE RÉDUCTION DES USAGES DE PESTICIDES 2008-2018	1
→ AEE 1 : Évaluer les progrès en matière de réduction de l'usage des pesticides	3
→ AEE 2 : Mettre en généralisation les systèmes agricoles et les modes de production qui réduisent l'utilisation des pesticides en améliorant l'efficacité des produits de la recherche, de l'identification et de l'usage	7
→ AEE 3 : Innover dans la conception et la mise au point des produits chimiques et des systèmes de culture innovants en pesticides	9
→ AEE 4 : Former à la réduction et à l'efficacité de l'utilisation des pesticides	11
→ AEE 5 : Renforcer les niveaux de surveillance sur les biopesticides et sur les effets non intentionnels des pesticides	13
→ AEE 6 : Mettre en œuvre les objectifs du PNAR	16
→ AEE 7 : Mettre en œuvre l'usage des produits phytopharmaceutiques en zone agricole	17
→ AEE 8 : Organiser le suivi national au plan de contamination territoriale, notamment par une réduction de l'utilisation des produits phytopharmaceutiques	19

- le **Plan écophyto 2018** du 10 septembre 2008 mis en place par le ministère de l'agriculture et de la pêche qui a pour but de définir un cadre pour la réduction de 50% des usages de pesticides dans un délai de dix ans en France.

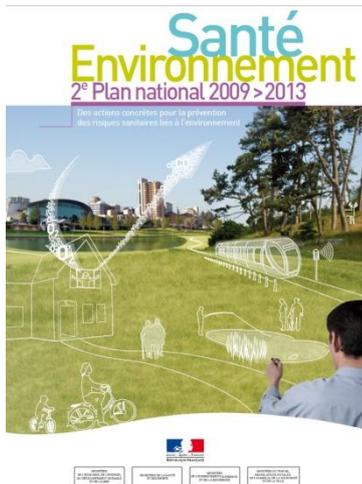
- le **Plan national d'actions sur les polychlorobiphényles (PCB)** datant du 6 février 2008. Ce plan interministériel permet de définir **une approche nationale** en réponse à la contamination des sédiments par les PCB au niveau de plusieurs bassins hydrographiques (notamment Seine-Normandie et Artois-Picardie, les plus touchés). Parmi les 6 axes de ce plan, 2 sont consacrés à l'amélioration des connaissances, d'une part sur le devenir des PCB dans les milieux aquatiques et d'autre part sur le risque sanitaire encouru. Ceci montre bien que l'on est dans le cas d'une pollution avérée mais pour laquelle il manque encore beaucoup de connaissances malgré le temps de recul depuis l'interdiction des PCB en 1987.



COMITÉ NATIONAL DE PILOTAGE
ET DE SUIVI DU MERCREDI 6 FÉVRIER 2008

Paris, le 6 Février 2008

¹² <http://www.ineris.fr/substances/fr/>



- Le 2^e Plan national Santé Environnement 2009-2013 (PNSE2). Ce plan interministériel fait suite à celui mis en place pour la période 2004-2008 (PNSE1). Parmi les mesures prises dans le cadre du PNSE2, il y a : 1. Réduire de 30% les émissions dans l'air et dans l'eau de 6 substances toxiques (mercure, arsenic, HAP, benzène, perchloroéthylène et PCB/dioxines) et 5. Améliorer la connaissance et réduire les risques liés aux rejets de médicaments dans l'environnement. Pour ce qui est du secteur géographique de la Garonne ce sont les PRSE2¹³ Midi-Pyrénées et Aquitaine qui y font référence et concernent notamment les PCB, les perturbateurs endocriniens, les résidus médicamenteux, pesticides, etc.

- Le Plan national sur les résidus de médicaments dans les eaux (PNRM) du 30 mai 2011. Il constitue une déclinaison particulière du plan micropolluants et vient en complément de l'action 47¹⁴ du PNSE2. Ce plan définit un cadre pour améliorer les connaissances au niveau environnementale et sanitaire par le biais de l'évaluation des risques (état des lieux de la contamination, effets sur l'environnement et la santé, etc.), la gestion des risques (surveillance, réduction des émissions, etc.) et intègre une dimension économique et social.



PLAN NATIONAL SUR LES RESIDUS
DE MEDICAMENTS DANS LES EAUX
30 MAI 2011

Enfin, le règlement européen Reach (1907/2006), relatif à l'enregistrement, l'évaluation, l'autorisation et les restrictions des substances chimiques est entré en vigueur depuis le 1^{er} juin 2007. Il s'intéresse aux substances telles qu'elles ou contenues dans des mélanges ou des articles. Les fabricants et importateurs sont soumis aux obligations issues de ce règlement dans une perspective d'assurer notamment un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement contre les risques que peuvent poser les produits chimiques réglementés et émergents.

¹³ Plan Régional Santé Environnement 2

¹⁴ Améliorer la connaissance et réduire les risques liés aux rejets de médicaments dans l'environnement

V. Cadre de surveillance

1) En Europe

Le réseau européen NORMAN

Ce réseau est constitué « de laboratoires de référence, de centres de recherche et organismes associés pour la surveillance des substances émergentes dans l'environnement. »

Ce réseau débute ses activités en Septembre 2005, financé par la Commission Européenne pour trois ans. Ce projet a vocation pérenne est aujourd'hui une association loi 1901 à but non-lucratif autonome et permanente : « Il y a un besoin d'une **plate forme d'échange** sur le sujet des **substances émergentes** avec une reconnaissance officielle des pouvoirs publics à l'échelle européenne et même au delà».

Les missions du projet NORMAN

- « Améliorer les échanges d'information et la collecte de données sur les substances émergentes de l'environnement
- Encourager la validation et l'harmonisation des méthodes de mesures (chimiques et biologiques) et des outils communs de surveillance de sorte que les exigences des évaluateurs de risque puissent être mieux respectées
- S'assurer que les connaissances sur les polluants émergents sont maintenues et développées par simulation coordonnée, que les projets interdisciplinaires sur le problème de la recherche orientée et le transfert de connaissances répondent aux besoins identifiés ».

Chaque année, les activités du réseau définies par un comité de pilotage, sont organisées sur la base d'un Programme d'Activités Annuel. Elles incluent la rencontre des groupes d'experts, des activités de veille scientifique, la collecte et la validation de données dans les bases de données NORMAN déjà existantes, l'organisation de colloques, d'essais inter laboratoires, de campagnes de mesures, la création et l'animation de groupes de travail thématiques.

Documents disponibles sur le site du réseau

- (1) Une liste des polluants émergents¹⁵ est disponible sur le site du réseau NORMAN, elle est constamment discutée et mise à jour

¹⁵http://www.norman-network.net/index_php.php?module=public/about_us/emerging&menu2=public/about_us/about_us

(2) **Trois bases de données** sont accessibles sur le site web aux membres du réseau NORMAN (pas au public) :

- EMPOMAP : recensement des experts, des organismes et des projets sur les différentes catégories de substances émergentes
- EMPODAT : base de données de surveillance géo-référencées sur les substances émergentes couplée à l'information écotoxicologique des essais biologiques et des biomarqueurs
- EMPOMASS : base de données d'informations spectrométriques de masse sur les substances provisoirement identifiées et/ou inconnues.

2) En France



a) L'Onema

L'office national des milieux aquatiques (ONEMA), est un établissement public du MEEDDM, qui fournit et organise l'expertise en matière de gestion globale et durable de la ressource en eau et des écosystèmes aquatiques. Ses missions s'inscrivent dans l'objectif de reconquête de la qualité des eaux et d'atteinte des objectifs de bon état fixés par la DCE. Les financements de l'ONEMA pour la recherche et le développement sur les micropolluants s'élèvent à 3M€ pour l'année 2010. L'ONEMA organise également le système d'information sur l'eau, système de collecte et de bancarisation des données sur l'eau. [Plan Micropolluants]

b) AQUAREF

Laboratoire national de référence pour la surveillance des milieux aquatiques, AQUAREF existe depuis 2007. Il relaie au niveau national le réseau NORMAN et assure l'interface pouvoirs publics-recherche-opérateurs. C'est le résultat d'un consortium scientifique et technique de cinq établissements publics :



- ❖ **Le BRGM** : établissement public de référence dans le domaine des sciences de la Terre, le BRGM est en charge du « développement de la connaissance, de l'évaluation, de la gestion et de la protection des ressources en eau souterraine. Ses actions portent sur la compréhension des mécanismes de la dégradation de la qualité des eaux souterraines, l'étude de leurs caractéristiques chimiques naturelles ou induites par l'Homme et des mécanismes de dépollution naturelle ». (<http://www.brgm.fr/>)



- ❖ **L'IFREMER** : l'institut français de recherche pour l'exploitation de la mer « est chargé d'améliorer les méthodes de surveillance, de prévisions d'évolution, de protection et de mise en valeur du milieu marin et côtier ». Il contribue donc à la connaissance des océans et de leurs ressources, à la surveillance du milieu marin et du littoral et au développement durable des activités maritimes. (<http://wwz.ifremer.fr/institut>)



- ❖ **L'INERIS** : institut national de l'environnement industriel et des risques, l'INERIS a été créé en 1990. Il est en charge de la surveillance de l'état chimique des eaux de surface et étudie les risques chroniques par le biais de l'écotoxicologie, la toxicologie et l'étude de l'impact des substances toxiques à faibles doses sur les écosystèmes et la santé humaine.



L'INERIS oriente ses recherches sur l'appui technique pour l'élaboration d'une liste de substances pertinentes à surveiller dans le milieu et les rejets pour lesquelles il a également élaboré des valeurs écotoxiques de référence et sur la stratégie de recherche sur les perturbateurs endocriniens et les outils de bio surveillance. (<http://www.ineris.fr/>)

- ❖ **IRSTEA** : c'est l'institut national de recherche en sciences et technologies pour l'environnement et l'agriculture, il est depuis 2010 le porte-parole de la recherche environnementale. Il est chargé de mettre en œuvre la DCE, d'établir des modèles liant pressions et impacts, d'évaluer la variabilité interannuelle naturelle, de mettre au point des bioindicateurs et d'identifier des indicateurs physiques des milieux aquatiques. Ses domaines d'activité sont la surveillance des milieux aquatiques continentaux, les risques naturels et environnementaux, l'aménagement du territoire et le développement local. (<http://www.irstea.fr/>)



- ❖ **Le LNE** : le laboratoire national de métrologie et d'essais a été créé en 1901. C'est actuellement le laboratoire national de référence dans le cadre de la métrologie, il permet d'anticiper les besoins nouveaux en matière de mesure et d'essais et de donner une assistance technique aux pouvoirs publics et aux acteurs économiques pour l'élaboration de nouvelles réglementations et normes au niveau international, européen et national.

VI. Analyse des articles scientifiques

Comme détaillé dans le « matériel et méthodes », j'ai pu faire une base de données regroupant 206 publications à l'issue d'une recherche orientée par mots-clés.

NB : Le terme « micropolluants » dans cette sous-partie est non exhaustif, il désigne seulement les micropolluants résultant de cette recherche.

La base de données constituée ne se veut pas être le reflet de la recherche scientifique dans le domaine des micropolluants mais rend compte des principaux articles résultant de cette recherche. Son analyse a permis de tirer quelques enseignements, illustrés par les tendances générales des résultats.

Les deux premières figures illustrent le nombre d'articles recueillis en fonction des années de publications, puis du pays d'où proviennent le laboratoire et les principaux auteurs.

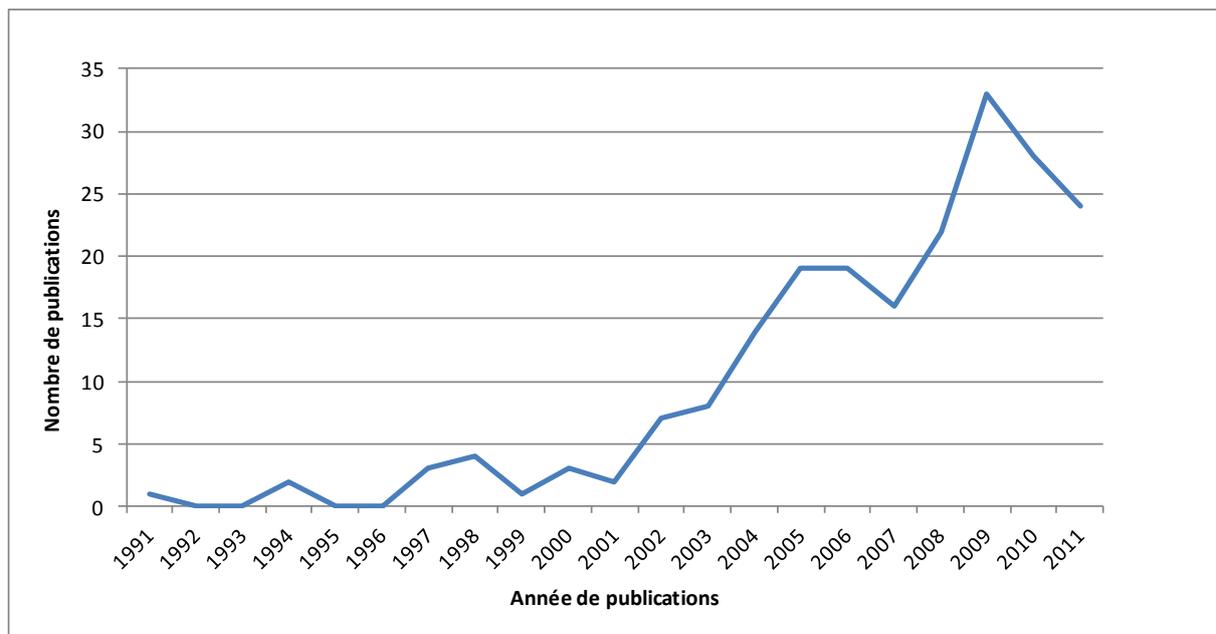


Figure 18 : Répartition des publications par année

On peut donc voir qu'à partir de 2002, le nombre de publications augmentent considérablement et de manière presque constante jusqu'à 2011.

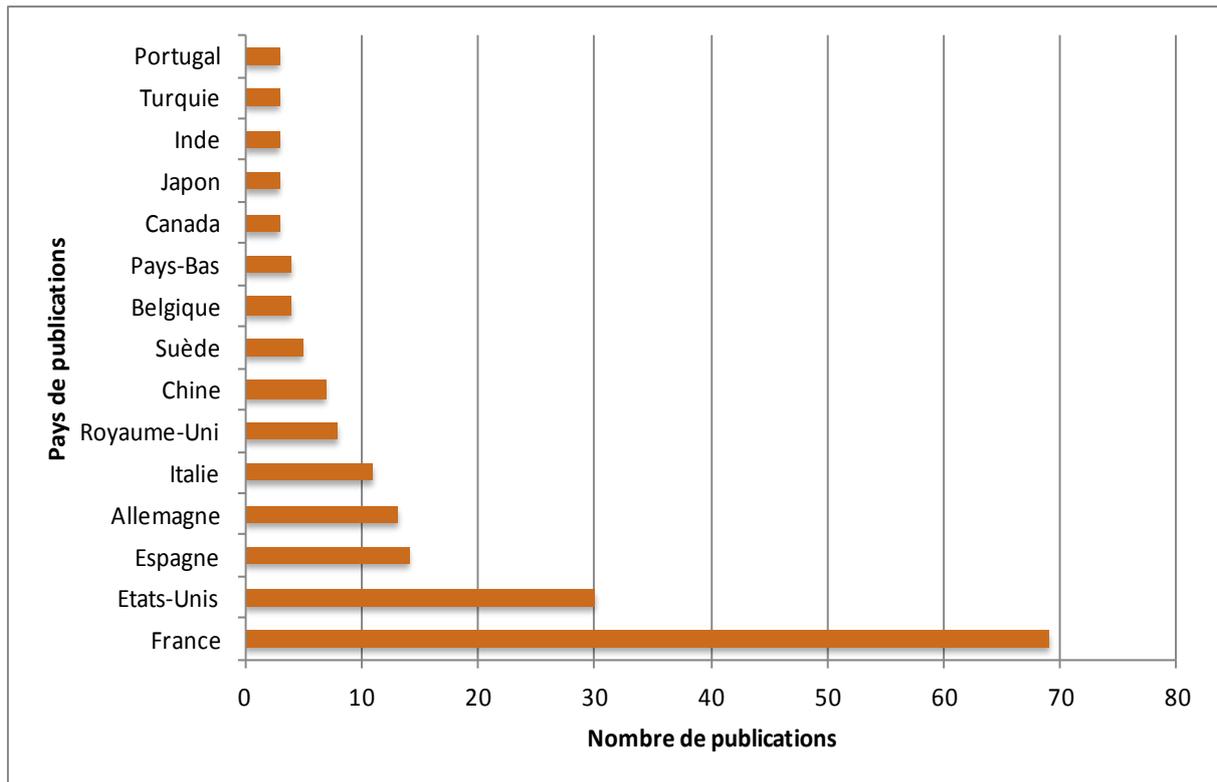


Figure 19 : Répartition des publications par pays

La recherche de publications a été ciblée, le plus possible sur la France, mais trois continents sont représentés principalement dans la recherche : l'Europe (73% des publications), l'Amérique (16,5%), et l'Asie (9%) et quelques articles d'Afrique et d'Océanie.

NB : pour alléger la figure, les pays pour lesquels un seul article a été utilisé ne sont pas présentés ici.

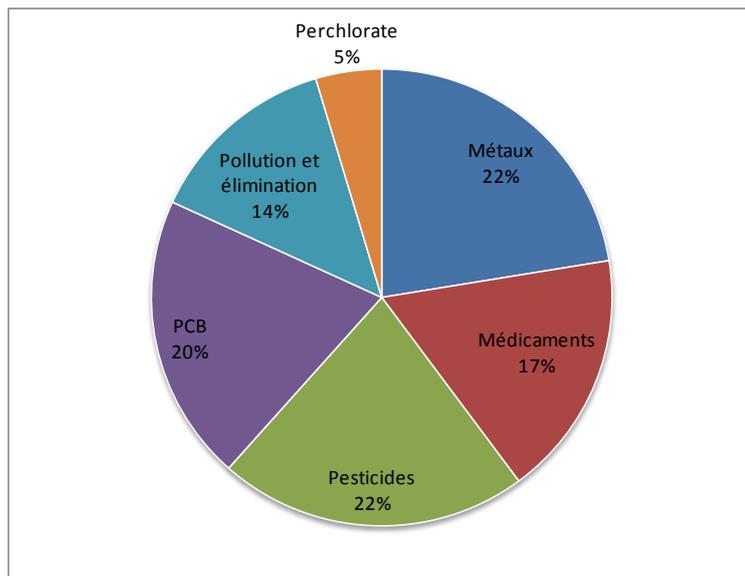


Figure 20 : Répartition des catégories de micropolluants pour les 206 publications

En ce qui concerne les catégories de micropolluants, on peut voir que les quatre grandes familles qui ont fait l'objet d'un effort de recherche plus important, à savoir les métaux, les pesticides, les PCB et les médicaments, sont bien représentées et de manière plutôt équivalente (toutes années et pays de publications confondus).

On peut noter que la catégorie « radioactivité » qui a fait l'objet d'un effort de recherche équivalent au sujet de la pollution par le perchlorate (mais moindre par rapport aux autres catégories) ne figurent pas dans la base de données qui comporte seulement 13 articles sur le perchlorate. Très peu de données sont disponibles sur la radioactivité qui ne semble pas être un sujet très étudié (ou peut-être que les articles ne sont pas accessibles au public). Pour les 13 publications sur le perchlorate, les études ont été faites aux Etats-Unis et correspondent à une pollution localisée.

Pratiquement la totalité des études faites par des laboratoires français ont été réalisées in situ, en France. La figure suivante présente la répartition des catégories de micropolluants étudiées par les études de terrain faites en France.

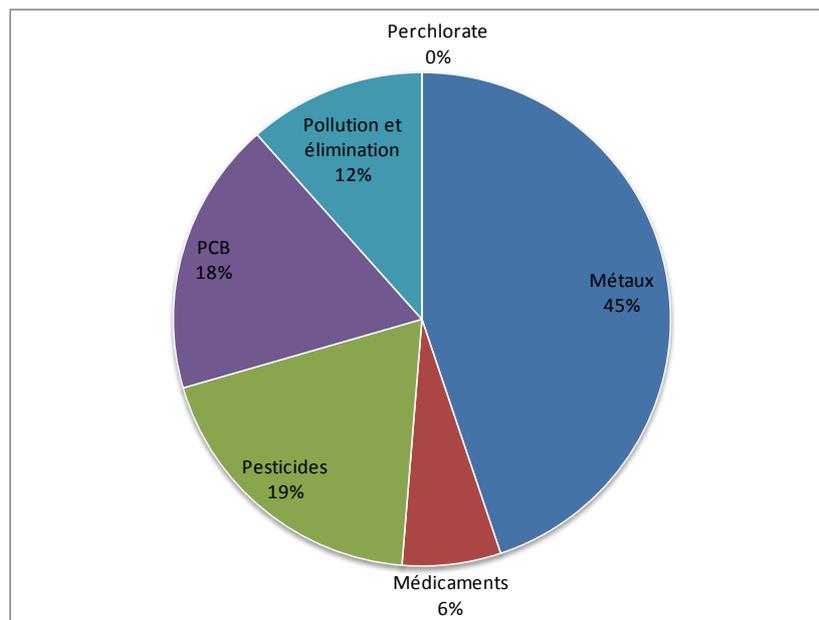


Figure 21 : Répartition des catégories de micropolluants étudiées dans les études in situ en France

On voit bien ici que les métaux et métalloïdes, les PCB et les pesticides sont les catégories de micropolluants les plus étudiées dans les travaux in situ en France d'après les articles recueillis. Toutefois, plus de la moitié de ces études ont été faites dans le bassin A-G, ce résultat vient du fait que l'effort de recherche a été orienté vers les études réalisées sur ce bassin.

A l'échelle du bassin Adour-Garonne, plus de 80% (n=30) des études in situ s'intéressent aux métaux et métalloïdes, les autres articles étudient les PCB et les pesticides et plus de

70% traitent de l'occurrence de ces micropolluants, les autres articles étudient leurs effets sur les organismes vivants.

D'après ces articles constituant la base de données il semble donc que l'accent soit porté, à l'échelle du bassin A-G., sur l'occurrence des métaux au niveau du secteur Riou-Mort-Lot-Garonne. Malgré un effort de recherche orienté vers les micropolluants dans la Garonne, qui nuance donc les tendances de la base de données dans sa globalité, le sujet de la pollution par les métaux est le plus largement documenté dans le bassin A-G. par rapport aux autres micropolluants.

Sur les 206 publications, pratiquement la moitié (n=100) traite des effets des micropolluants sur les organismes aquatiques et les Hommes. La plupart sont des études sur l'écotoxicité aigue des substances pour lesquelles les organismes sont soumis à des doses létales ou des concentrations provoquant un effet. Hormis ces études, le type d'effet le plus étudié est la bioaccumulation, suivi des effets de perturbateurs endocriniens (croissance, reproduction, etc.). Il y a beaucoup d'articles sur les effets immunotoxiques, génotoxiques et neurotoxiques. En ce qui concerne les modèles biologiques pour les poissons, l'espèce la plus utilisée dans ces types d'études sur les effets est l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*) qui sert surtout de bioindicateur dans les études in situ, et aussi le poisson zèbre (*Danio rerio*) utilisés pour les tests d'écotoxicité in vitro.

VII. Occurrence et localisation des micropolluants dans la Garonne

On s'intéresse ici à la contamination de l'eau et des sédiments du linéaire Garonne et à ses principaux affluents (Tarn et Lot) par les micropolluants pour lesquels on a choisi de s'intéresser (pesticides, cadmium, PCB, HAP, et résidus médicamenteux).

1) Pesticides

Le bassin Adour-Garonne est un des bassins de métropole qui a la plus forte activité agricole avec le nord de l'hexagone et le couloir rhodanien, il fait donc partie des bassins les plus susceptibles de voir ses cours d'eau pollués par les pesticides.

De manière générale, d'après le rapport de l'AEAG « bilan sur la qualité de l'eau des principales rivières du bassin Adour-Garonne » en 2003, la qualité est bonne pour la Garonne amont et elle devient de mauvaise qualité à partir de sa confluence avec le Tarn, (le Tarn aval est lui même de mauvaise qualité au niveau de deux stations) jusqu'à l'aval de sa confluence avec le Lot.

Le secteur le plus impacté par les pesticides (en sommant les concentrations annuelles et le nombre de molécules retrouvées) est la Garonne au niveau de la confluence avec le Tarn

(ainsi que le Tarn aval et le Gers) jusqu'au Lot et dans une moindre mesure la Garonne de l'aval Toulouse à la confluence avec le Tarn.

Entre 2007 et 2009, les pesticides les plus quantifiés dans le bassin Adour-Garonne sont des herbicides. On fait donc un petit focus sur ces micropolluants :

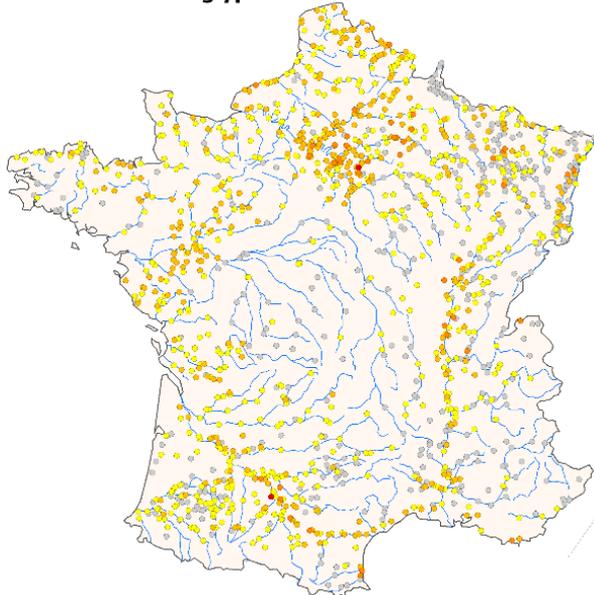
Atrazine

En 2003, les pesticides les plus détectés étaient des herbicides : l'atrazine, le déséthyl-atrazine. L'atrazine a été interdit cette même année, toutefois bien qu'en diminution constante, entre 2006 et 2009, c'est l'un des pesticides les plus quantifiés dans le bassin Adour-Garonne dans l'eau. Cet herbicide est classé comme substances prioritaire de la DCE. On en retrouve sur le linéaire Garonne depuis la confluence avec l'Ariège jusqu'à l'estuaire en concentration inférieure à 0,05 µg/L.

Glyphosate et AMPA

Le glyphosate est un herbicide très répandu, il est utilisé comme désherbant sur les grandes cultures, en viticulture, en arboriculture et en zones non agricoles (collectivités, particuliers, etc.) et l'AMPA est son principal produit de dégradation. En 2008 et 2009, l'AMPA et le glyphosate sont parmi les molécules les plus détectées du bassin A-G.

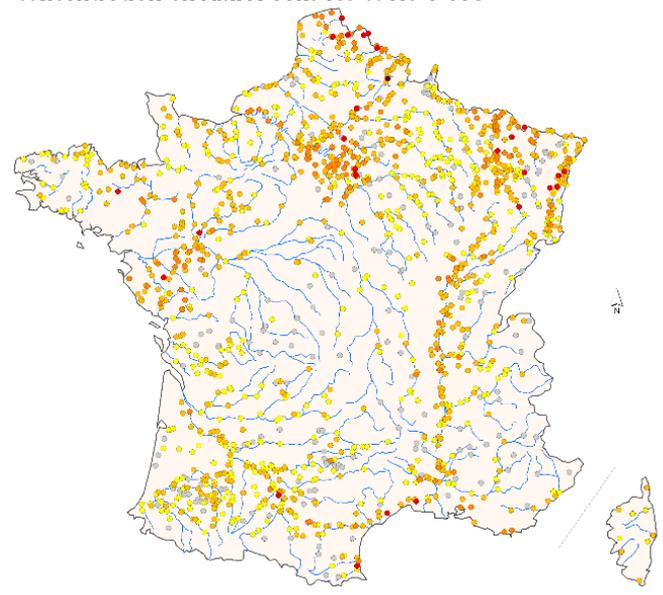
Concentration en glyphosate dans les cours d'eau



Moyenne sur la période 2007-2009 par point de mesure (µg/l)	Nombre de points	% de points
• Plus de 2	2	0,1
• Entre 0,5 et 2	42	3
• Entre 0,1 et 0,5	356	24
• Moins de 0,1	601	41
• Pas de quantification	464	32

Source : Agences de l'Eau, 2010.
Traitements : SOeS, 2011.

Concentration en AMPA dans les cours d'eau



Moyenne sur la période 2007-2009 par point de mesure (µg/l)	Nombre de points	% de points
• Plus de 5	1	0,06
• Entre 2 et 5	26	2
• Entre 0,5 et 2	147	10
• Entre 0,1 et 0,5	604	41
• Moins de 0,1	464	32
• Pas de quantification	224	15

Source : Agences de l'Eau, 2010.
Traitements : SOeS, 2011.

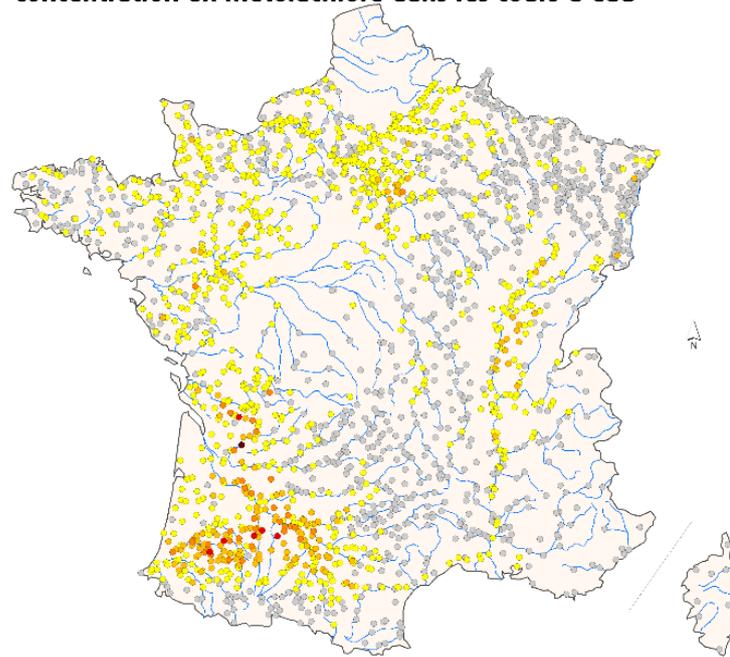
Figure 22 : Concentration moyenne sur la période 2007-2009 en glyphosate et AMPA dans les cours d'eau de métropole [20]

La contamination du bassin de la Garonne par le glyphosate est comparable à celle par l'AMPA. On retrouve ces deux pesticides depuis la confluence avec l'Ariège jusqu'à l'estuaire. De la confluence avec le Tarn jusqu'à l'exutoire, on peut voir des concentrations moyennes sur la période 2007-2009 jusqu'à 0,5 µg/L, et entre Toulouse et la confluence avec le Tarn des concentrations entre 0,5 et 2 µg/L, et a une station sur ce tronçon (aval de Toulouse), on observe une concentration supérieure à 2 µg/L pour le deux herbicides. Ces deux molécules sont donc retrouvées sur tout le linéaire Garonne, mais également au niveau des cours d'eau situés dans les départements du Lot-et-Garonne et du Gers. La grande répartition du glyphosate ne paraît pas étonnante car en 2009, c'était le pesticide le plus vendu (1300 tonnes) du bassin A-G.

Métolachlore et S-Métolachlore

Le bassin A-G ne fait pas l'objet d'une pollution « particulière » en pesticides par rapport aux autres bassins hydrographiques, sauf dans le cas du métolachlore, qui est un herbicide utilisé pour les cultures de maïs qui sont très répandues dans ce bassin. D'après les résultats du bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques, le bassin A-G est le plus impacté par la pollution des cours d'eau au métolachlore (pourtant interdit depuis 2003) entre 2007 et 2009.

Concentration en métolachlore dans les cours d'eau



Moyenne sur la période 2007-2009 par point de mesure (µg/l)	Nombre de points	% de points
• Plus de 5	1	0,05
• Entre 2 et 5	6	0,3
• Entre 0,5 et 2	36	2
• Entre 0,1 et 0,5	142	6
• Moins de 0,1	864	39
• Pas de quantification	1 141	52

Source : Agences de l'Eau, 2010.
Traitements : SOeS, 2011.

Figure 23 : Concentration moyenne sur la période 2007-2009 en métolachlore dans les cours d'eau de métropole [20]

Pour la majorité des stations du bassin de la Garonne les concentrations moyenne en métolachlore sont entre 0,1 et 2 µg/L. On peut voir que la pollution s'étend sur la Garonne de sa confluence avec l'Ariège jusqu'à l'amont de l'estuaire.

Pour ce qui est du S-métolachlore, l'isomère du métolachlore, c'est une des molécules les plus souvent quantifiées entre 2006 et 2009. C'est un herbicide utilisé principalement pour le désherbage du maïs (comme son isomère). En 2009, c'était le 4^{ème} pesticide le plus vendu dans le bassin A-G (700 tonnes), ce qui peut expliquer le fait qu'il soit très présent. On le retrouve principalement au niveau du Lot-et-Garonne et du Gers. Ce **remplaçant de l'atrazine** qui possède les mêmes propriétés est donc très répandu sur le bassin A-G. et comme évoqué précédemment, l'atrazine est une substance prioritaire de la DCE. Une **vigilance particulière** semble donc nécessaire pour encadrer l'utilisation du S-métolachlore afin de ne pas tomber dans le même schéma que la pollution du bassin par l'atrazine.

Enfin, on peut noter qu'il n'est pas possible de qualifier la pollution de la Garonne par ces quatre micropolluants (glyphosate et AMPA, métolachlore et S-métolachlore) car ils n'ont pas de NQE qui leurs sont attribuées. Il est donc important de mener une veille sur

l'évolution de la pollution du bassin de la Garonne sur ces substances et leurs éventuelles conséquences.

2) Cadmium (Cd)

Les métaux sont présents dans tous les cours d'eau du bassin, ils peuvent provenir de sources naturelles ou anthropiques, ces différentes sources ont un impact sur la concentration en métaux mesurée à chaque station et de ce fait aux différentes classes d'état qui leur sont attribuées. On observe donc des tronçons de cours d'eau plus concernés que d'autres par la pollution métallique. En 2005 d'après l'analyse des données par l'AEAG, 1 station sur 3 était contaminée par les métaux (qualité médiocre ou mauvaise). Les trois bassins qui sont plus particulièrement concernés par la pollution métalliques sont le Lot, le Tarn et la Charente.

Le Lot est connu pour sa pollution historique polymétallique (Cd, plomb, zinc, cuivre). La pollution du Lot par le cadmium est étudiée depuis plusieurs décennies notamment par les scientifiques de Talence. Les analyses des concentrations en Cd dissous et particulaire ont montrées une diminution nette depuis le début des années 90 mais toujours supérieures à celles de la Garonne. De même dans les sédiments, les études qui ont été faites montrent une évolution temporelle de la contamination au cadmium qui est à la baisse depuis la fin des années 90, ce qui correspond à la période de mise en place de mesure de gestion comme le traitement des eaux usées et l'utilisation de bassins de stockage des déchets. Toutefois les sédiments du Lot étaient toujours en 2004 considérés comme « sévèrement pollués » au cadmium. Entre 2000 et 2006 le flux de Cd dissous issu du Riou-Mort s'est stabilisé à environ 0,5 t/an. [18]

La contribution du Lot au flux de Cd apporté à la Garonne varie donc en fonction des débits mais est aussi liée aux facteurs anthropiques (ex : création d'une écluse au barrage de villeneuve sur Lot en 2000-2001) susceptibles d'entraîner une remise en suspension des sédiments chargés en Cd, augmentant in fine la concentration en Cd particulaire. [18]

Cadmium dans l'eau

Le cadmium est suivi dans l'eau par les réseaux du bassin Adour-Garonne : les données utilisées viennent du SIE, pour l'année 2009. Les mesures ont été effectuées dans la matrice « eau brute », aux stations de suivi de qualité physico-chimique du bassin de la Garonne. Les données retenues au départ étaient celles supérieures à la NQE-CMA pour les eaux douces de surface à 0,6 µg/L¹⁶ (eau à dureté moyenne) mais comme la limite de quantification (LQ) en 2009 étaient supérieures à la NQE-CMA, j'ai choisi de prendre pour valeur de référence la LQ = 1 µg/L dans l'eau.

¹⁶ Arrêté du 25 janvier 2010

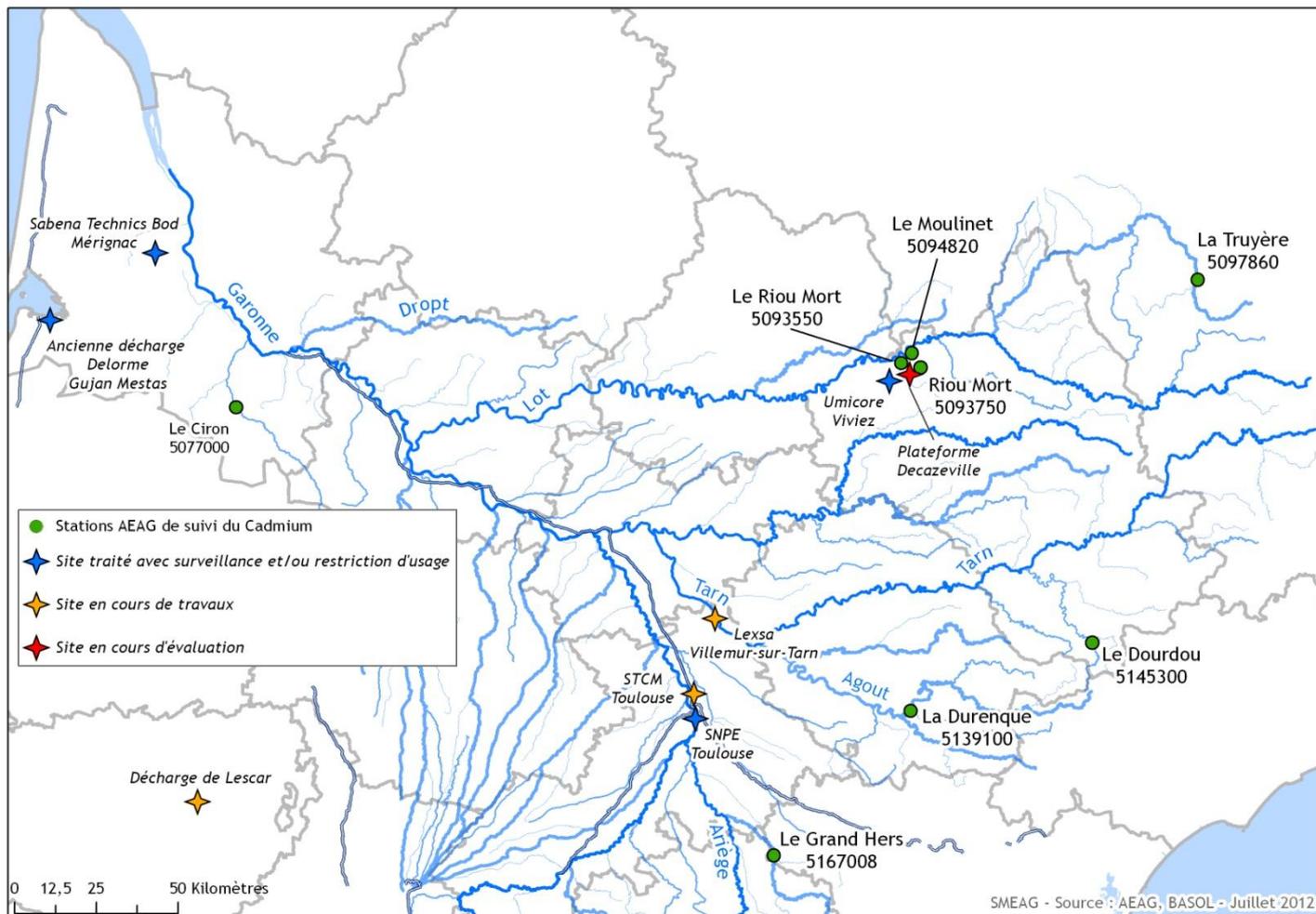


Figure 24 : Stations AEAG dépassant la LQ pour le Cd dans l'eau et localisation des sites et sols pollués au Cd

On peut donc voir des concentrations en cadmium dissous plus importantes au niveau des têtes de bassins versants et au niveau du Ciron plutôt que sur le reste du bassin de la Garonne. Sans surprise, on retrouve la zone de confluence Riou-Mort-Lot avec des sites pollués au Cd recensés dans la base de données Basol et 3 stations SIE aux alentours de cette zone industrielle avec des dépassements de la LQ. Des sites pollués au Cd sont recensés au niveau du Tarn et de la Garonne à Toulouse et également en Gironde mais les mesures de Cd dissous ne sont pas quantifiables.

Cadmium dans les sédiments

Comme on l'a vu précédemment, le Riou-Mort contribue jusqu'à 47% des flux de cadmium de la Garonne à l'estuaire de la Gironde. Le bruit de fond géochimique régional en ce qui concerne le cadmium est estimé entre 0,33 et 0,56 mg/kg selon les études.[16]

Etant donné qu'il n'y a pas de normes de qualité pour le support sédiments, la valeur seuil à ne pas dépasser pour le cadmium est égale au bruit de fond géochimique¹⁷. On utilise donc les valeurs supérieures à 0,56 mg/kg de cadmium dans les sédiments qui est la valeur estimée la plus élevée des deux études.

A Cajarc (aval de la confluence Riou-Mort et Lot), dans les 10 premiers centimètres de sédiments la concentration en Cd est environ de 17 mg/kg, à Temple (aval du Lot) la concentration en cadmium à l'interface eau-sédiment est de 11mg/kg, et entre 1 et 1,5 mg/kg à Marcenac (amont de la confluence Riou-Mort et Lot).

Les valeurs de cette étude ont été utilisées comme référence en considérant de manière grossière des concentrations en cadmium dans les sédiments (à l'interface eau-sédiments) de la façon qui suit :

- < 1,5 mg/kg → aux alentours du bruit de fond géochimique correspondant au Lot
- Entre 1,5 mg/kg et 17 mg/kg → pollué (comparables aux valeurs de Temple)
- $17 < x < 100$ mg/kg → sévèrement pollué (supérieur à la pollution de Cajarc (aval direct du Riou-Mort))
- > 100 mg/Kg → très sévèrement pollué (valeurs comparables aux pics de pollution, proximité directe de la zone industrielle)

On ne considère pas les valeurs inférieures ou égales à 0,56mg/kg qui est le bruit de fond géochimique estimé du Lot le plus élevé dans le bibliographie retenue.

Les valeurs utilisées sont celles des stations de suivi de la qualité physico-chimique du SIE pour l'année 2011 (données les plus récentes).

¹⁷ Circulaire DCE 2005/12, relative à la définition du « bon état » et à la constitution des référentiels pour les eaux douces de surface (cours d'eau, plans d'eau), en application de la directive européenne 2000/60/DCE du 23 octobre 2000, ainsi qu'à la démarche à adopter pendant la phase transitoire (2005-2007).

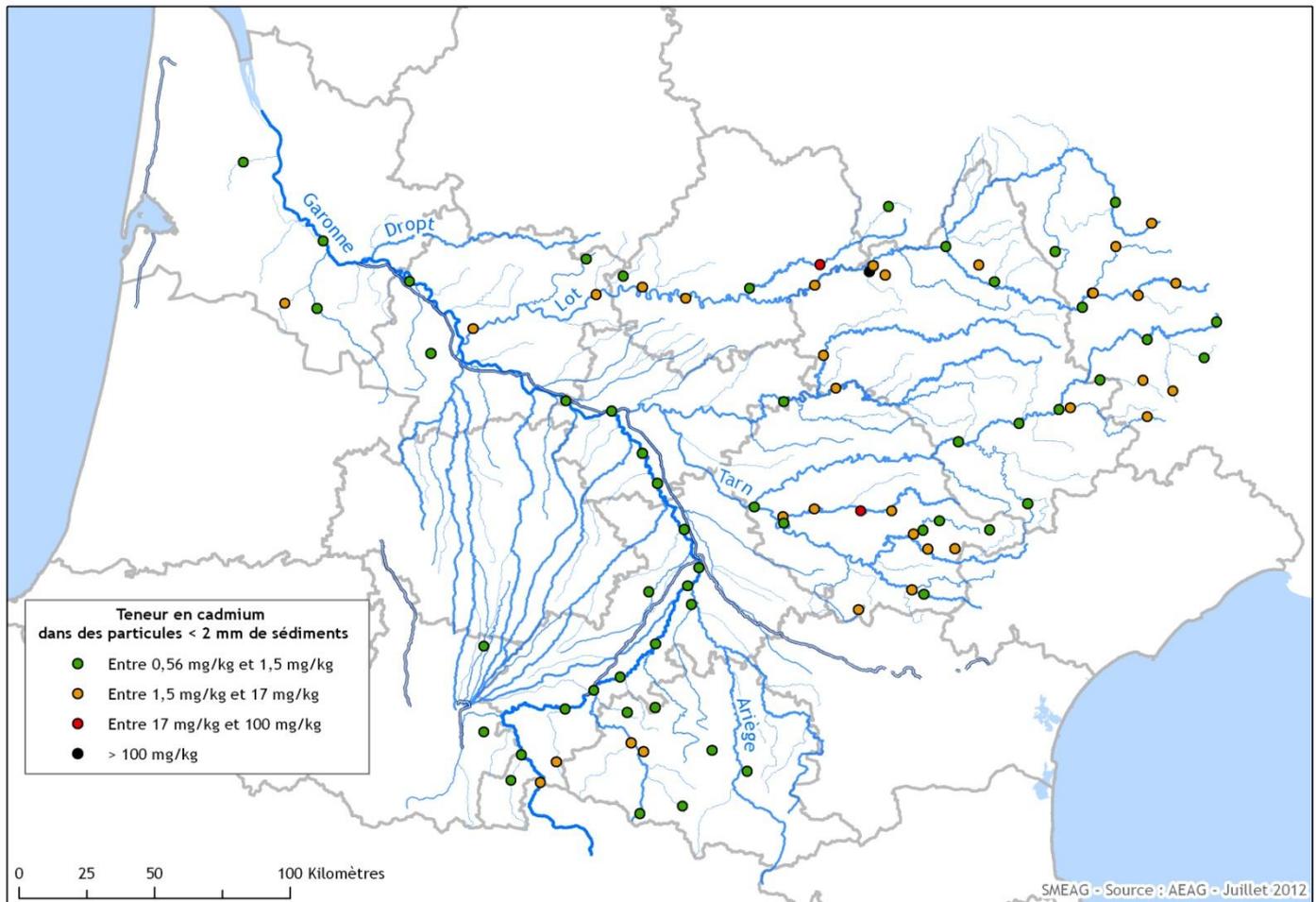


Figure 24 : Concentration en Cd dans les sédiments aux stations AEAG du bassin de la Garonne

D'après cette carte qui nous indique seulement les concentrations en cadmium dans les sédiments supérieures au bruit de fond géochimique estimé pour le bassin du Lot. On voit que le cadmium est omniprésent sur tout le bassin de la Garonne. Le linéaire Garonne présente des concentrations plus faibles que les têtes de bassins versants. Les sédiments sont fortement pollués par le Cd au niveau du Riou-Mort avec une station où la concentration mesurée est de 110 mg/kg de Cd dans les sédiments. D'une manière générale, on remarque que le Lot et l'amont du bassin du Tarn sont concernés une pollution au Cd dans les sédiments. La difficulté dans l'évaluation de la contamination des sédiments par le Cd est qu'il existe une norme seulement pour l'eau et pas pour les sédiments.

3) Polychlorobiphényles (PCB)

Pour ce qui est des PCB, au niveau du bassin Adour-Garonne l'association Robin des bois recense dans son atlas de pollution au PCB de juillet 2011, 25 sites pollués¹⁸ :

- 2 sites de production
- 4 sites de regroupement, de maintenance et d'élimination
- 15 sols ou remblais pollués
- 4 récupérations non autorisées

Dans le cadre d'une action encadrée par le plan national d'actions sur les PCB, une étude a été menée de 2008 à 2010 sur la contamination des sédiments fluviaux et estuariens par les PCB en France métropolitaine¹⁹. Ces micropolluants font également l'objet de l'action 31 du PRSE2 Midi-Pyrénées : réduire la contamination des milieux aquatiques par les PCB.

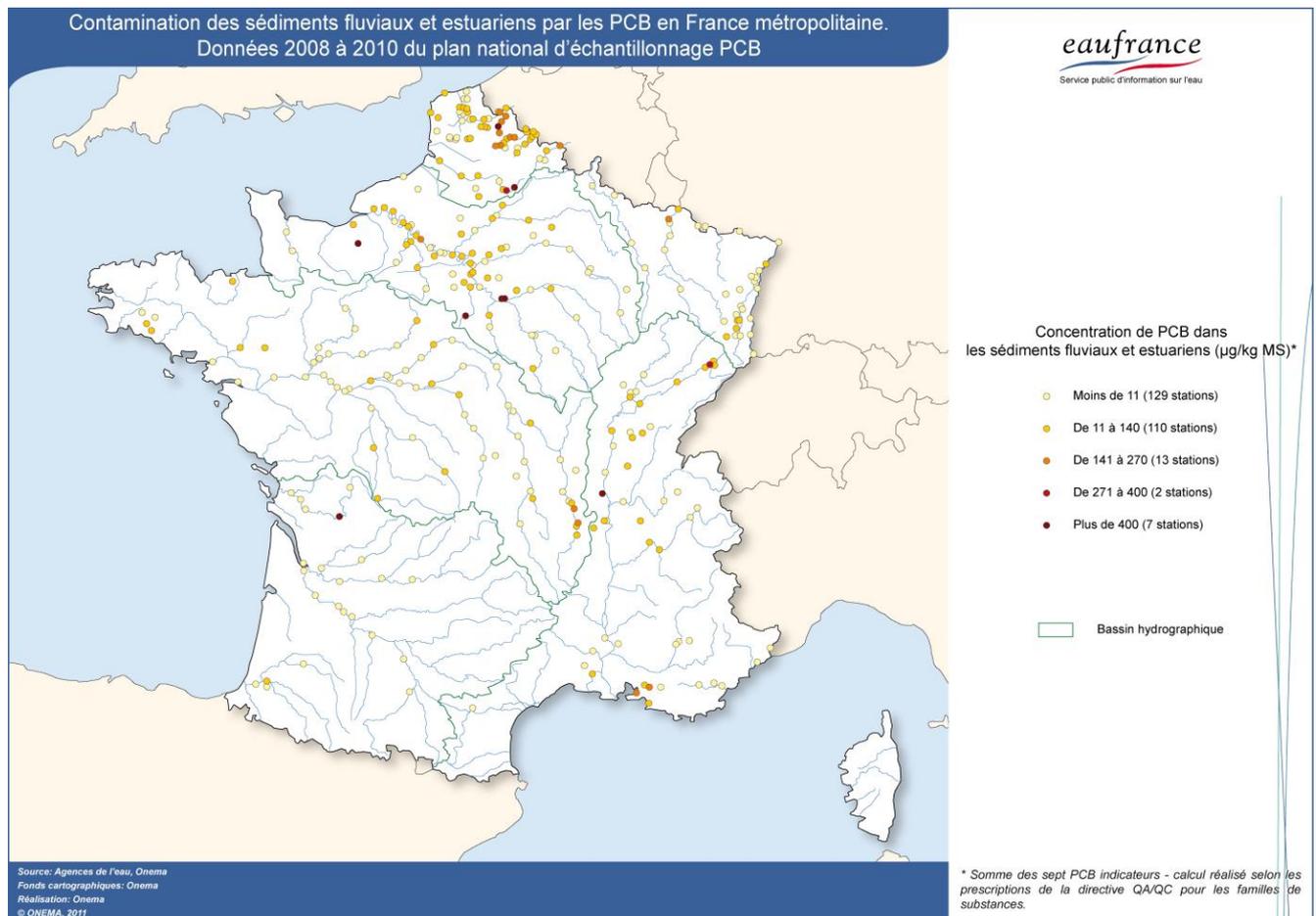


Figure 25 : Contamination des sédiments fluviaux et estuariens par les PCB en France métropolitaine²⁰

¹⁸ http://www.robindesbois.org/PCB/PCB_hors_serie/ATLAS_PCB.html

¹⁹ <http://www.pollutions.eaufrance.fr/pcb/>

²⁰ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-documents-du-comite-de-suivi.html>

D'après cette carte, le bassin A-G. semble être le moins impacté des bassins hydrographiques métropolitains par la pollution des sédiments aux PCB.

Jusqu'en 2008, les données disponibles au niveau du bassin Adour-Garonne ont amené à considérer que la contamination par les PCB était faible et pouvait servir de référence aux autres bassins. En 2009, les interdictions de pêche à l'anguille en vue de commercialisation dans certains tronçons de la Garonne ramènent la question de la contamination du bassin Adour-Garonne par les PCB. En ce qui concerne les prélèvements de sédiments à l'échelle du bassin dans le cadre de cette étude, 1 site a été échantillonné en 2008, 10 en 2009 et 8 en 2010.

L'agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) a rendu, le 16 mai 2011, un avis relatif à l'interprétation sanitaire des résultats d'analyse en dioxines et PCB de type dioxine et mercure des poissons pêchés dans les cours d'eau du bassin Adour-Garonne dans le cadre du plan national d'actions sur les PCB. Cet avis propose des recommandations de limitation ou interdiction de la commercialisation et de la consommation de certaines espèces de poissons (anguilles notamment). Ces recommandations ont donné lieu à des arrêtés départementaux.

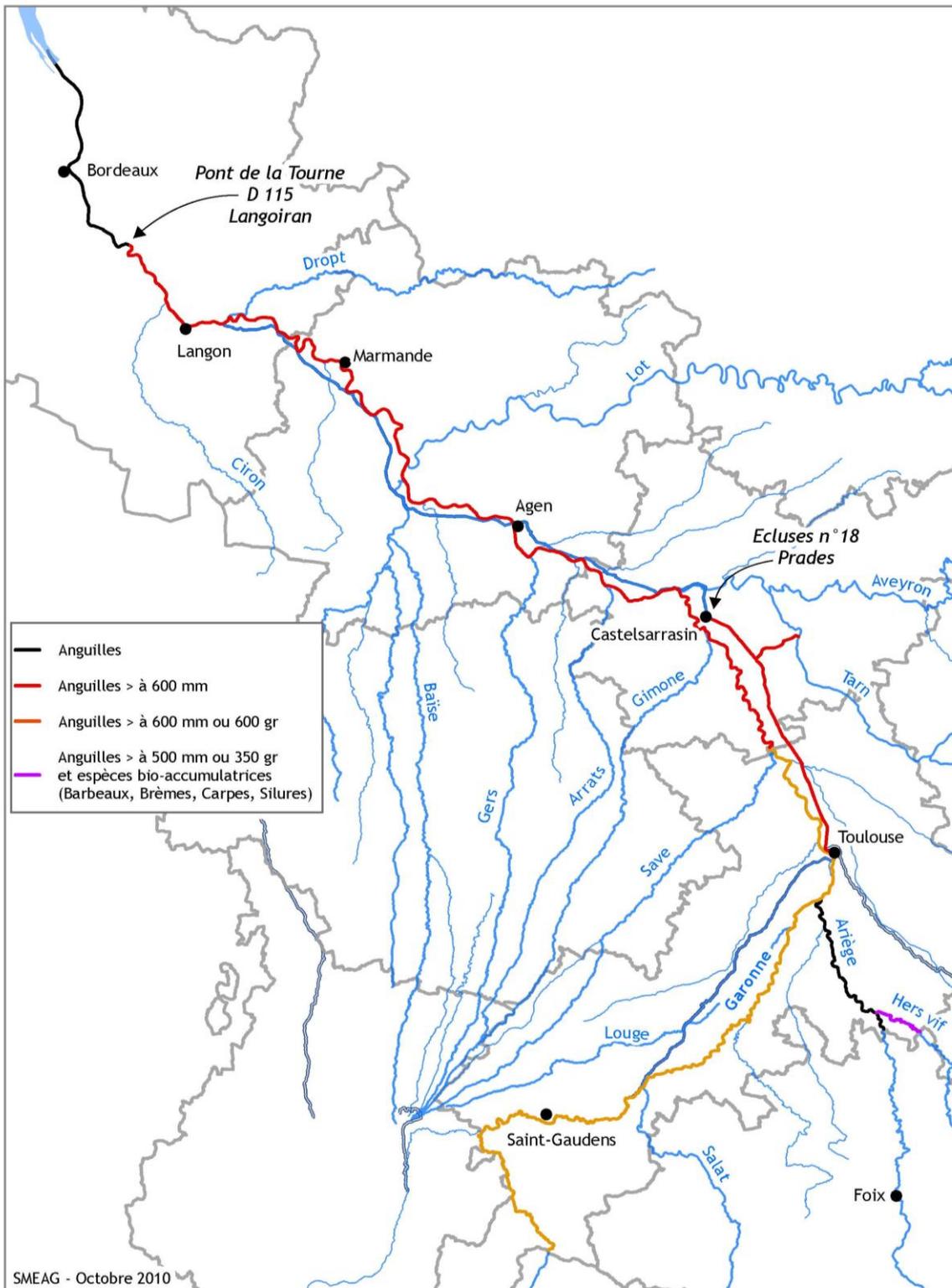


Figure 25 : Localisation des interdictions de pêche dans la Garonne de certaines anguilles en vue de leur commercialisation et de leur consommation imposées par les arrêtés préfectoraux

Le gradient de contamination de l'amont vers l'aval de la Garonne est confirmé, avec une non-conformité des anguilles quelle que soit la masse en Garonne aval dans une zone

toutefois plus restreinte. Cette non-conformité pourrait être due à une source de contamination dans cette zone, à proximité de Bordeaux.

Enfin il n'existe pas à ce jour de normes pour les PCB dans les sédiments mais la réglementation nationale fixe une NQE pour les eaux de surface intérieures à 0,001 µg/L²¹ (PCB totaux). Or la limite de quantification, au 21 janvier 2012 est de 0,005 µg/L. D'après les données du SIE de l'AEAG, toutes les valeurs des stations sur la Garonne dépassent (ou égalent) 0,01 µg/L pour les PCB mesurés dans l'eau.

4) Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

On dispose ici des données du bilan de présence des micropolluants dans les eaux superficielles [20]. Comme on l'a vu précédemment, en métropole les HAP sont souvent quantifiés dans les cours d'eau et 42% des points de mesures dépassent au moins une fois les normes en vigueur pour les 8 HAP. Le fluoranthène et le benzo(a)pyrène (substances dangereuses prioritaires de la DCE) sont les deux composés les plus quantifiés entre 2007 et 2009 dans les cours d'eau (eau et sédiments) de métropole.

Respect des normes pour les HAP dans les cours d'eau

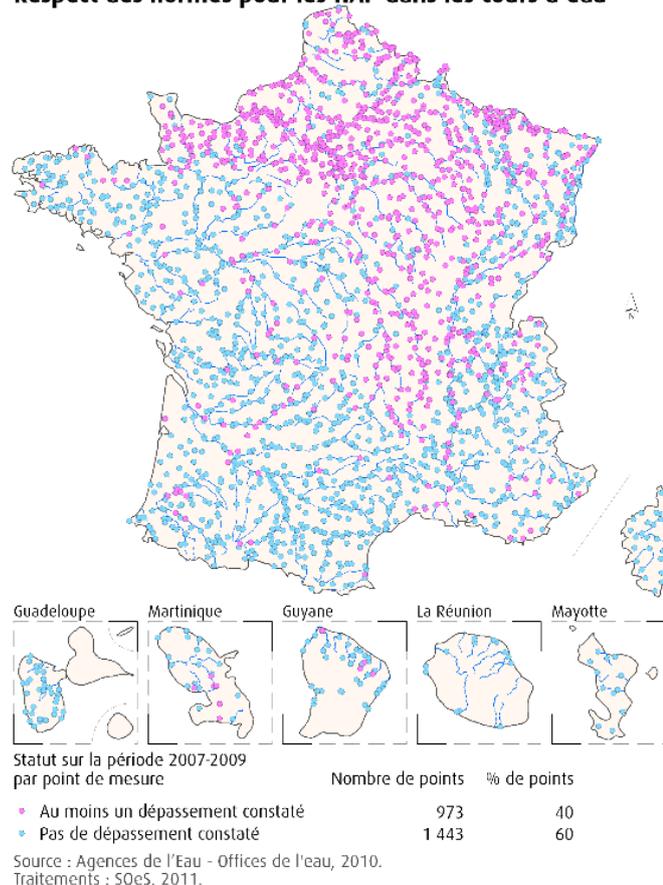


Figure 26 : Respect des normes pour les HAP dans les cours d'eau métropolitains

²¹ Arrêté du 08/07/2010 [27]

Lorsque l'on considère le bassin Adour-Garonne, 7 des 10 micropolluants (hors pesticides et métaux) les plus quantifiés dans les eaux de 2007 à 2009 sont des HAP. Toutefois, comme le montre cette carte il y a peu de dépassements de normes pour les HAP dans l'eau pour la période 2007-2009.

Les deux HAP les plus quantifiés sur le bassin Adour-Garonne ne sont pas les mêmes que ceux le plus souvent retrouvés en métropole. Ce sont le naphthalène (substance prioritaire de la DCE) et le phénanthrène qui sont le plus quantifiés en Adour-Garonne ; toutefois le taux de quantification (environ 14,5% pour les deux composés) est beaucoup moins important que ceux des deux HAP les plus quantifiés pour les autres bassins (jusqu'à 64,1% pour le fluoranthène en Artois-Picardie).

La concentration en benzo(a)pyrène dans les sédiments est très majoritairement en dessous du seuil de quantification au niveau du bassin A-G.

En observant les résultats de teneur en phénanthrène (2^e HAP le plus quantifié dans le bassin, mais avec moins de points de mesure que les autres bassins hydrographiques de métropole) dans les sédiments du linéaire Garonne on voit des concentrations inférieures à 1000 µg/kg, réparties de manière homogène de l'amont de la Garonne à sa confluence avec le Lot. Malgré un suivi peu important sur le bassin A-G, on voit que le phénanthrène est présent dans l'eau à des concentrations inférieures à 0,02 µg/L dans la Garonne entre Toulouse et la confluence avec le Tarn et depuis la confluence avec le Lot jusqu'à l'estuaire.

Dans une étude menée en 2006 par l'AEAG, où le but était de faire un inventaire de la contamination des eaux superficielles par certaines substances dangereuses sur le bassin Adour-Garonne, 8 HAP ont pu être quantifiés parmi les 135 substances recherchées dans les sédiments. Une seule station présente des concentrations en HAP (somme de 7 HAP = 6364 mg/kg) importantes en 2006 au niveau de la station de Bapaume sur la Grande Baïse. [33]

Le bassin Adour-Garonne semble donc peu impacté par la présence de HAP dans l'eau entre 2007 et 2009 en comparaison du bassin Seine-Normandie par exemple. Mais une veille doit être portée sur l'évolution de la contamination du bassin A-G. par ces micropolluants inscrits pour certains comme substances prioritaires dangereuses de la DCE.

5) Résidus médicamenteux

Depuis plus de vingt ans, la pollution des eaux superficielles par les résidus médicamenteux suscite des questionnements et des inquiétudes quant aux effets sur les organismes aquatiques (B. Hoeger et al., 2005).

Les médicaments sont également présents dans les cours d'eau, on peut les retrouver principalement au niveau des rejets de station d'épuration ou de traitement d'eaux usées. Parmi les médicaments les plus présents dans le milieu aquatique il y a la carbamazépine, l'acide clofibrique et le diclofénac (B. Ferrari et al., 2003 ; B. Hoeger et al., 2005).

Comme énoncé précédemment, ces micropolluants émergents sont fabriqués pour avoir un effet thérapeutique sur les organismes, ils sont biologiquement actifs et peuvent représenter un risque pour les organismes aquatiques transitant par les cours d'eau comme les poissons migrateurs. De plus, peu de données écotoxicologiques sont disponibles et aucunes normes ne leur sont attribuées.

Peu de données sont disponibles sur la contamination du bassin A-G. par les résidus médicamenteux. Mais une campagne d'analyse des perturbateurs endocriniens dans les eaux destinées à la consommation humaine a été menée sur le bassin par la DRASS Midi-Pyrénées et l'AEAG. Les seules informations disponibles sur cette étude (qui a fait l'objet d'un effort de recherche particulier) sont présentées par un diaporama. Les résultats indiquent qu'aucunes hormones n'a été quantifiée, en revanche la carbamazépine (un antiépileptique) est présente dans 70 % des échantillons d'eaux brutes et 36% des eaux traitées. C'est le seul médicament (parmi ceux recherchés) qui a été détecté dans les eaux superficielles du bassin A-G. L'attention doit donc être portée en priorité sur l'occurrence et les effets de la carbamazépine sur les organismes aquatiques dans le bassin A-G.

VIII. Effets des micropolluants sur les organismes vivants

Introduction

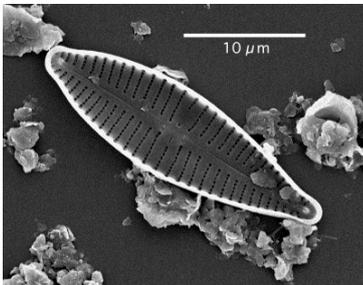
Parmi les micropolluants, on peut distinguer de manière grossière ceux qui sont hydrophobes (PCB, PBDE, HAP, etc) que l'on va retrouver plutôt au niveau des sédiments, de ceux qui sont hydrophiles (pesticides, médicaments, etc.) que l'on va retrouver dans la colonne d'eau. En fonction, de leur mode de vie (benthique ou pélagique), les organismes vont être soumis à des micropolluants présents sous forme dissoute ou bien adsorbé. La forme chimique de ces micropolluants va donc jouer un rôle capital dans la contamination des organismes vivants (voie d'entrée, mécanisme d'action, etc.).

Parmi tous ces micropolluants, certains sont conçus pour avoir un effet sur les organismes (pesticides, médicaments, etc.), ce sont des substances biologiquement actives dont les propriétés qui leurs sont conférées leur permettent de franchir certaines barrières tissulaires. Le risque est donc de voir des organismes vivant dits non-cibles soumis à ces micropolluants, un des exemples les plus relayés médiatiquement est la féminisation des poissons.

De manière générale, les êtres vivants peuvent être contaminés par les micropolluants via l'inhalation, l'exposition directe (ex : contact cutané) et/ou l'ingestion. Le régime alimentaire est une des principales voies de contamination des organismes vivants par les micropolluants. J'ai donc choisi dans cette partie de présenter quelques effets (non exhaustifs) des micropolluants sur les organismes vivants en commençant des niveaux trophiques les plus bas (diatomées) aux prédateurs (certains poissons).

Les références utilisées ici sont issues des publications scientifiques répertoriées dans la base de données (cf. matériel et méthodes).

1) Richesse spécifique



Les diatomées et les macroinvertébrés peuvent être utilisés comme **bioindicateur** de pollution métallique. En fonction du gradient de pollution métallique et des paramètres physico-chimiques certaines communautés vont prédominer au sein d'un biofilm, avec par exemple *Gomphonema parvulum* (photo) et *Nitzschia palea* (2 espèces de diatomées) associées à un milieu pollué aux métaux et des espèces comme *Tabellaria flocculosa* associées à de faibles concentrations métalliques. Une exposition à de fortes concentrations en Cd ($\approx 100 \mu\text{g/L}$) peut entraîner des malformations chez les diatomées et une diminution de la richesse spécifique du biofilm (M. De Jonge et al., 2008 ; T. Duong et al., 2009).

2) Perturbateur endocrinien, génotoxicité, embryotoxicité

Les PCB peuvent également se bioaccumuler le long de la chaîne trophique et agir comme perturbateur endocrinien en provoquant une inhibition de la croissance des larves d'*Artemia*, de petites crevettes. (J.S. Wang et al., 1998)

Des effets génotoxiques du diuron (un herbicide) ont été mis en évidence chez les huîtres ainsi que des altérations du développement des larves, soumises à une concentration de $0,05 \mu\text{g/L}$ (F. Akcha et al., 2011).

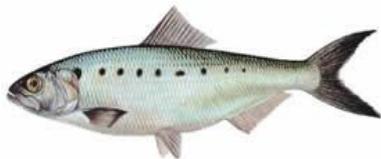
Des effets embryotoxiques (mortalité, malformations, pigmentation, etc.) et des retards de la croissance ont été relevés chez le poisson zèbre (*Danio rerio*) exposée à la carbamazépine, au diclofénac et au métropolol à des concentrations de l'ordre du mg/L. (E-J. van den Brandhof, M. Montfort, 2010). Il a été observé des effets embryotoxiques (inhibition du développement des embryons, malformations) chez le saumon atlantique (*Salmo salar*) soumis à des insecticides (cyperméthrine ($0,05 \mu\text{g/L}$) et diazinon ($0,10 \mu\text{g/L}$)) (N. Lower, A. Moore, 2004).

Le cadmium et les PCB agissent également comme perturbateurs endocriniens chez les poissons femelles, en altérant la vitellogenèse.

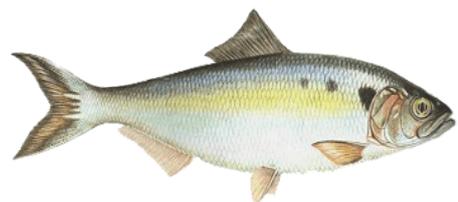
3) Bioaccumulation

Les bivalves sont plus exposés aux micropolluants présents sous forme dissoute, qu'ils bioaccumulent en filtrant l'eau, que ceux adsorbés sur les m.e.s. Dans une étude de 2004 au niveau des marais salants du Médoc, les résultats montrent que parmi les trois espèces considérées, les huîtres bioaccumulent plus de Cd, cuivre (Cu), zinc (Zn) présents dans la colonne d'eau que les coques et les palourdes, du fait de leur forte capacité de filtration. On peut noter également que les coques accumulent particulièrement le Hg, mais les mécanismes d'accumulation du Hg par cette espèce sont encore mal connus. Ces métaux altèrent les défenses de ces espèces et diminuent leur performance de ventilation, ce qui les conduit à ouvrir davantage leurs valves, et ils sont donc plus soumis aux micropolluants dissous. (M. Baudrimont et al., 2005) Ces composés associés aux sédiments en eau douce passent en solution en présence d'eau salée.

Une étude de 2008 sur la contamination des aloses au mercure (Hg) dans l'estuaire de la Gironde a montré que l'aloise feinte (*Alosa fallax*) est davantage contaminée que la grande alose (*Alosa alosa*). La concentration en Hg dans les branchies, le foie, les muscles et les reins est systématiquement plus importante pour l'aloise feinte. Les organes les plus contaminés sont le foie ([Hg] = 1,99 µg/g pour l'aloise feinte vs. 1,18 µg/g pour la grande alose) et les reins ([Hg] = 1,93 µg/g vs. 1,08 µg/g) et dans une concentration moindre dans les muscles ([Hg] = 1,22 µg/g vs. 0,20 µg/g) et les branchies ([Hg] = 0,33 µg/g vs. 0,06 µg/g). Le comportement reproducteur et le régime alimentaire peuvent expliquer la bioaccumulation plus importante du Hg par l'aloise feinte que par la grande alose (A. Lochet et al., 2008)



Alosa fallax (Sméag)



Alosa alosa (Sméag)

4) Immunotoxicité



Salmo trutta fario (Wikipédia)

Un effet immunotoxique a été constaté chez des truites (*Salmo trutta f. fario*) exposées à des concentrations de 0,5 à 50 µg/L (plus élevées que dans le milieu naturel) de diclofénac (un médicament anti-inflammatoire non stéroïdien). Malgré de faibles concentrations dans les eaux superficielles l'exposition chronique au diclofénac peut être considérée comme ayant un effet « potentiellement dangereux » pour les organismes aquatiques (B. Hoeger et al., 2005). Des effets immunotoxiques sont également constatés chez le silure (*Silurus glanis*) exposé à concentrations de l'ordre du mg/L de diazinon (un insecticide). (S. S. Koprucu et al., 2006)

5) Focus sur les anguilles

Un intérêt particulier est porté sur les effets des micropolluants sur les anguilles pour plusieurs raisons : ce sont des poissons qui ont un fort impact socio-économique dans le système fluvio-estuarien Garonne-Gironde et qui ont fait l'objet d'arrêtés préfectoraux interdisant leur pêche en vue de leur commercialisation et de leur consommation depuis 2011, et enfin pour le déclin constaté des populations d'anguilles (F. Pierron et al., 2007).

a) PCB et anguilles

Contamination des anguilles par les PCB

Une étude a été menée sur la « contamination en PCB des anguilles du système fluvio estuarien de la Gironde » (N. Tapie *et al.* 2006), et elle a confirmé la forte imprégnation en PCB des anguilles au niveau de l'estuaire. Il en ressort que le niveau de contamination moyen des anguilles en PCB est de 639 ± 477 ng/g poids sec (ps) (toutes tailles confondues). Mais du fait du caractère lipophile et bioaccumulable des PCB, selon le stade de développement des anguilles, leur concentration va augmenter en fonction de la taille et de l'âge des individus jusqu'à l'argenture (environ 600 mm). La concentration maximale en PCB (7 PCB_i) dans les muscles est mesurée pour les anguilles entre 500 et 600 mm, elle est de 1189 ± 525 ng/g ps, et pour les civelles, 28 ± 12 ng/g ps. Les civelles sont donc moins contaminées que les individus plus grands, et les anguilles argentées moins contaminées que le stade précédent l'argenture du fait de mécanismes de remobilisation des PCB au niveau des gonades (17 à 52% du total des réserves de graisses est transféré dans les gonades (A. Palstra, 2005)).

D'après cette même étude, il semblerait que les anguilles de l'estuaire amont soient plus contaminées que celles de l'estuaire aval et des zones fluviales. La principale voie de contamination serait la voie trophique, la fraction dissoute représenterait un apport minime en PCB. Le comportement des anguilles favorise leur contamination par les PCB de part leur régime alimentaire et le fait que ce soit des organismes benthiques, elles sont en contact étroit avec le compartiment sédimentaire (potentiellement pollué). (F. Pierron et al. 2008), [32]

Cette contamination induit deux problèmes, d'abord au niveau de la dynamique des populations de l'espèce et, l'exploitation de la ressource et la consommation humaine (commercialisation et risques sanitaires).

Dynamique de l'espèce

Depuis les années 80, un déclin des populations d'anguilles européennes et américaines est constaté à grande échelle, mais il existe des disparités géographiques.

L'imprégnation des milieux aquatiques par les PCB et le déclin des populations d'anguilles suggèrent que les PCB contribuent à ce déclin. (A. Palstra, 2005) Leur cycle de vie particulier, les implique de migrer vers la mer des Sargasses pour la reproduction, les anguilles mobilisent pour cela une grande quantité d'énergie pour la migration. Cette énergie est utilisée en consommant la graisse qui est accumulée tout au long de la croissance. Les graisses diminuent donc au cours de la migration et ceci induit une augmentation progressive de la concentration en PCB dans le corps des anguilles. (F. Pierron et al. 2007)

Les PCB peuvent avoir un effet de perturbateur endocrinien en interférant avec l'activité thyroïdienne, ce qui diminue les chances des anguilles d'atteindre leurs frayères ou avec les hormones stéroïdiennes lors de la reproduction. Les femelles peuvent transférer les PCB qu'elles ont accumulés à la ponte, les larves naissent donc contaminées bien qu'elles n'aient jamais été exposées aux PCB dans le milieu naturel. Cette contamination peut altérer le développement et la survie des larves.[e (V. Ginneken et al. 2009)], pour des concentrations chez les femelles inférieures à 4 ng TEQ/kg gonade. (A. Palstra, 2005)

De manière générale chez les anguilles, les PCB-DL peuvent entraîner des effets mutagènes (cassure de l'ADN), des phénomènes d'apoptose, altération des organes reproducteurs, une hyperactivité de la rate, un élargissement du foie pour des anguilles présentant une concentration en PCB de 381 ± 44 pmolTEQ/g lipides et 1526 ± 913 pmolTEQ/g lipide dans le muscle et le sang respectivement, ainsi qu'une immunodéficiência, une baisse de résistance aux maladies, virus et parasites (C. Geeraerts, et al. 2011, V. Ginneken et al. 2009)

b) Effets des autres micropolluants sur les anguilles

Aux effets des PCB sur les anguilles, s'ajoutent ceux induit par d'autres micropolluants. Une étude sur la toxicité du cadmium dissous (concentration de 0 à 5 µg/L) sur l'activité et le niveau d'expression d'enzymes impliquées dans la synthèse de lipides hépatiques et le stockage de lipides dans les muscles chez les anguilles a montré une diminution de la masse corporelle et du stockage de lipides pour des individus contaminés. Les anguilles contaminées au Cd consomment davantage de graisse, ce qui peut compromettre la reproduction (F. Pierron, et al., 2007). De plus, il a été mis en évidence que les anguilles transitant par l'axe Garonne-Gironde présentant de fortes concentrations en Cd dans le foie. Les anguilles les plus contaminées sont celles qui viennent de la Garonne et de l'amont de l'estuaire (en comparaison avec celles de Dordogne et de l'aval de l'estuaire qui sont moins impactées) et particulièrement celles attrapées à proximité de la confluence de la Garonne et du Lot. La voie trophique joue un rôle majeur dans la contamination des anguilles au Cd. (F. Pierron et al., 2008).

IX. Mesures de gestion déjà engagées

On s'intéresse dans cette partie aux mesures de gestion qui ont été prises pour connaître et réduire la pollution des cours d'eau par les micropolluants. L'idée ici est de mettre en avant ce qui est fait pour améliorer la connaissance et diminuer la pollution des cours d'eau par les micropolluants, et également faire ressortir les points où il y a encore des lacunes.

1) Connaissances des micropolluants

a) Surveillance des cours d'eau et suivi des micropolluants

❖ Réseaux de surveillance

Au niveau national

La DCE a défini un cadre de surveillance en imposant la mise en place d'un **programme de surveillance** au niveau de plusieurs catégories d'eau (eaux douces de surface, eaux souterraines, eaux littorales). La circulaire du 13 juillet 2006²² a permis d'encadrer et de mettre en place en France ce programme de surveillance.

²² relative à la constitution et la mise en œuvre du programme de surveillance pour les eaux douces de surface en application de la directive 2000/60/CE du 23 octobre 2000 du Parlement et du Conseil établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau

Depuis 2007, deux réseaux ont donc été mis en place pour répondre aux obligations imposées par la DCE :

- **Le Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS)** : il « s'appuie sur un réseau de sites pérennes répartis sur l'ensemble du territoire (métropole et DOM) de façon à disposer d'un suivi sur le long terme. La logique de répartition des stations poursuit un objectif de « connaissance de l'état général » et non de « suivi de pollution ». »
- **Le Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO)** : il a pour but d' « assurer le suivi de toutes les masses d'eau identifiées comme risquant de ne pas atteindre les objectifs environnementaux de la DCE, et le suivi des améliorations suite aux actions mises en place dans le cadre des programmes de mesures, et à préciser les raisons de la dégradation des eaux »

Ceci a permis d'actualiser et remplacer le réseau national de bassin (RNB) déjà mis en place depuis 1987.

En parallèle de ces deux réseaux, un nouvel outil d'évaluation de l'état chimique et écologique des masses d'eaux a été mis en place depuis 2009 pour remplacer le SEQ-EAU : **le Système d'Evaluation de l'Etat des Eaux (SEEE)**.

Pour plus d'informations, un rapport de l'ONEMA et de l'OIEau dresse le « bilan national des efforts de surveillance de la qualité des cours d'eau ».

Bassin Adour-Garonne

Au niveau du bassin A-G., les RCS et RCO permettent de suivre la qualité cours d'eau et le **réseau phytosanitaire patrimonial Adour-Garonne** permet de suivre la qualité des eaux superficielles en ce qui concerne les pesticides (cf. Annexe 5 Localisation des stations de qualité physico-chimique l'AEAG). Géré par l'AEAG depuis 2006, ce réseau s'étend sur six régions dont les principales par rapport au nombre de stations de mesures sont Midi-Pyrénées, Aquitaine et Poitou-Charentes. D'après le dernier bilan de la qualité des eaux et produits sanitaires sur la bassin A-G., en 2009 le réseau était constitué de 231 stations de rivière où 140 substances étaient recherchées de mars à décembre (5 fois dans l'année).

❖ Bancarisation des données

Actuellement c'est le **Système d'Information sur l'Eau (SIE)**²³ qui partage et met à disposition les données sur l'eau, les milieux aquatiques et leurs usages.

Cette banque de données gérée par les agences de l'eau de chaque bassin a été constituée en application du Schéma National des Données sur l'Eau (SNDE). Le SNDE est le

²³ <http://adour-garonne.eaufrance.fr/>

référentiel technique du SIE, il permet de banqueriser les informations sur l'administration, la conservation et la mise à disposition des données et des métadonnées sur l'eau.

Le SNDE programme la mise en place de quatre banques de données nationales sur l'état des eaux pour rationaliser le SIE. La [banque de donnée NAIADES²⁴](#) permettra de banqueriser les données sur la qualité des cours d'eau et des plans d'eau en regroupant les éléments de qualité biologiques, hydromorphologiques et physico-chimiques. La mise en place du troisième et dernier volet qui constituera la banque de données NAIADES (« physico-chimie ») est prévu pour fin 2012. L'opérateur pour la mise en œuvre de cette banque est l'Ineris. [31]

Dans le bassin A-G., les micropolluants sont suivis dans le support « eau » et sur les supports « sédiments » et « M.E.S. », chaque paramètre y est mesuré à une fréquence d'analyse donnée²⁵.

b) Etudes

Pour améliorer les connaissances sur les micropolluants, des programmes et des projets voient le jour. De plus en plus de travaux portent sur des modèles utilisant des biomarqueurs (C.A. Murphy et al., 2004), comme par exemple le programme Fish Bio utilisant des biomarqueurs d'exposition aux PCB chez les poissons du bassin A-G., ou bien le programme Corbi-Bio chez les mollusques Corbicula.

Le programme national de recherche sur les perturbateurs endocriniens (PNRPE)²⁶ créé en 2005 par le ministère de l'éologie. Ce programme vise à soutenir des recherches sur les méthodologies de criblage, les mécanismes d'action, la recherche de biomarqueurs d'exposition et d'effets, le devenir dans l'organisme et dans les milieux, les effets sanitaires des perturbateurs endocriniens, l'identification des dangers, l'évaluation des risques et la (bio)surveillance.

Dans le cadre du projet Micang (GaGiLau) les chercheurs étudient un système de puce ADN qui pourrait servir à identifier des mélanges de micropolluants auxquelles sont soumis les anguilles (modèle de l'étude) en conditions naturelles.

²⁴ <http://www.reseau.eaufrance.fr/sujet/naiades>

²⁵ <http://www.sandre.eaufrance.fr/disceau/0500000022>

²⁶ <http://www.pnrpe.fr/>

2) Réduction des micropolluants dans les cours d'eau

Face à la contamination des cours d'eau par les micropolluants, la réduction de cette pollution peut se faire de trois manières : l'autoépuration par le milieu naturel, l'épuration anthropique, et la réduction des rejets et des émissions à la source.

a) Autoépuration

Le phénomène d'autoépuration se traduit dans un cours d'eau par une modification du milieu naturel à l'aval d'un rejet chargé en matières organiques biodégradables. Suite à la dégradation de cette matière organique, le milieu s'appauvrit donc en oxygène dissous pour revenir ensuite progressivement à l'équilibre au fur et à mesure que la pollution diminue. L'efficacité de ce phénomène d'épuration est étroitement lié à son état général, un milieu de bonne qualité aura donc une meilleure capacité autoépuratrice qu'un milieu pollué.

L'autoépuration par le milieu naturel est de mieux en mieux connu pour la dégradation des macropolluants et principalement les matières azotées. Mais ce phénomène est encore peu étudié dans le cas des micropolluants organiques comme les PCB ou les pesticides par exemple. Des chercheurs du laboratoire ECOLAB de Toulouse étudient de près les services rendus par l'environnement en lien avec des polluants (détoxification, bioremédiation, flux de matières naturelles et anthropiques, etc.).

Enfin, un projet d'utilisation de la capacité autoépuratrice des milieux a été mis en place en août 2009 dans la région Languedoc-Roussillon. Imaginées par une filiale de la Lyonnaise des Eaux, les « zones libellules » (« Liberté Biologique Et de Lutte contre les polluants Emergents »)²⁷ sont constituées de différents types de zones humides (marais, roselières, prairie humide, etc.) abritant plusieurs espèces végétales et placés en sortie de STEP. L'objectif est donc d'éliminer les micropolluants encore présents dans les eaux en sortie de STEP avant le rejet dans le milieu naturel, en utilisant par exemple les capacités d'absorption de certains végétaux ou la photodégradation par l'exposition à la lumière.

b) Epuration anthropique

Un autre moyen de réduire la pollution dans les cours d'eau est le traitement par les stations d'épuration et les stations de traitement des eaux usées (STEP et STEU). Ces stations permettent de dépolluer les eaux usées urbaines domestiques et parfois des entreprises peuvent se raccorder au réseau des STEP. Les STEP et STEU peuvent être inefficaces pour le traitement des effluents industriels et domestiques contenant des

²⁷ <http://www.lyonnaise-des-eaux.fr/actualite/collectivites/zone-libellule-utiliser-nature-reduire-nouveaux-polluants>

micropolluants organiques et minéraux. Les filières d'épuration dites « conventionnelles » peuvent alors être une source de pollution du fait de leurs rejets d'effluents « propres » mais contenant toujours des micropolluants comme des pesticides ou des médicaments par exemple.

Le projet AMPERES (« Analyse de micropolluants prioritaires et émergents dans les rejets et les eaux superficielles ») s'est donc penché sur la composition et la concentration des micropolluants en entrée et en sortie de STEP et la capacité d'élimination des ces substances par les différentes filières d'épuration. Il en ressort que la plupart des STEP sont inefficaces pour l'élimination de certains micropolluants comme les médicaments (ex. : carbamazépine).

Devant ces résultats et la contamination des cours d'eau par les micropolluants, les chercheurs s'intéressent donc de plus en plus à cette problématique de rejets des micropolluants dans l'environnement par les STEP. De ce fait, des projets d'élimination des xénobiotiques²⁸ voient le jour pour répondre à ce problème.

Par exemple, la société toulousaine Loïra²⁹ a déposé en avril 2009 un brevet international pour son procédé d'élimination des xénobiotiques dans les eaux. Ce système permet de minéraliser par réaction photochimique les micropolluants comme les médicaments, les hormones, les pesticides, etc. pour en faire à la sortie des molécules de formes simples (CO₂, eau, sels minéraux). Il peut être installé dans les usines de potabilisation, les STEP, les industries chimiques et pharmaceutiques, les hôpitaux, etc.

c) Réduction à la source

Enfin, un des moyens sans doute les moins coûteux pour réduire les émissions de micropolluants dans les eaux superficielles est la **réduction de la consommation** en pesticides par exemple comme le planifie le plan écophyto 2018.

Egalement une **réduction des rejets** domestiques mais aussi des rejets des effluents hospitaliers en équipant les établissements de soins médicaux en systèmes de traitement des effluents issus des chambres de malades (70% d'un médicament est excrété par la transpiration et les urines)³⁰.

Toutefois, il faut noter que pour réduire les émissions et rejets à la source il faut au préalable identifier les sources de pollution, ce qui en pratique n'est pas toujours chose facile (ex. : PCB).

²⁸ Substances possédant des propriétés toxiques, même à de très faibles concentrations (actu-environnement)

²⁹ <http://www.loira.fr/>

³⁰ Article La dépêche « Cliniques et hôpitaux se mettent au vert » E. Rey

3) Perspectives et recherche scientifique

Comme on a pu le voir tout au long de ce travail, il existe un véritable manque de connaissances sur le sujet des micropolluants à plusieurs niveaux. Il s'agit ici de dresser un bilan des difficultés rencontrées et des domaines dans lesquels des connaissances sont à acquérir.

a) Identification des sources de pollution

Pour pouvoir réduire la contamination des milieux aquatiques et les niveaux d'exposition des organismes vivants, et assurer un suivi efficace dans le milieu, il est nécessaire d'identifier les sources d'émissions et de rejets des micropolluants.

Dans le cas des PCB, trois catégories de sources sont identifiées :

- Les **émissions primaires** résultant de la production historique des PCB
- La **remobilisation** issue des réémissions à partir de lieux de stockage (réservoirs/compartiments environnementaux)
- La **formation accidentelle ou non intentionnelle** de PCB (ex. : synthèse *de novo* de PCB à partir de processus de combustion). [27]

Pourtant, la quantification des flux et l'identification de sites et sols pollués aux PCB restent encore très peu connues, comme c'est le cas pour la source à proximité de Bordeaux (avis Anses, cf. partie sur l'occurrence des PCB).

Ces catégories de sources de pollution peuvent être valables pour d'autres micropolluants, comme les métaux. En effet comme on l'a vu précédemment, des activités anthropiques peuvent entraîner une remise en suspension de sédiments chargés en cadmium dans le cas des travaux effectués sur le Lot par exemple, avec la création d'une écluse au barrage de Villeneuve-sur-Lot. [18] Une remobilisation naturelle peut aussi avoir lieu dans le cas des crues, les biofilms ayant accumulés des micropolluants sont alors arrachés de leur support sédimentaire. Ils peuvent donc être considéré à la fois comme des puits (dans le cas du stockage) et des sources de micropolluants.

Enfin, il est également difficile d'identifier les sources dans le cas de pollution diffuse comme les pesticides, résultant du lessivage des sols.

b) Réglementation et suivi des micropolluants

On a pu voir qu'il y avait des micropolluants réglementés et des micropolluants émergents. Pour ces derniers il n'existe pas de réglementation ni de normes, l'interprétation de résultats de concentrations n'est donc pas évidente.

Pour les micropolluants réglementés, des NQE leur sont associées pour ceux qui entrent en compte dans l'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface³¹, c'est le cas pour le cadmium par exemple et certains pesticides comme l'atrazine. Cependant, deux aspects sont à mettre en évidence :

- Dans certains cas les NQE sont inférieures aux limites de quantification, c'est le cas du cadmium. NB : un avis du 21 janvier 2012 a été publié au journal officiel de la République française pour fixer de nouvelles limites de quantification.
- Les propriétés physico-chimiques des micropolluants les rendent plus ou moins solubles dans l'eau. Par exemple, on trouve des pesticides majoritairement dans la matrice « eau », alors que les PCB qui sont hydrophobes se concentrent davantage sur les sédiments. Il est donc important de suivre les micropolluants sur les supports auxquels ils sont associés. Or, il n'existe pratiquement pas de normes pour les micropolluants dans les sédiments (comme on a pu le voir pour l'occurrence du cadmium dans le bassin de la Garonne).

On peut noter également que les micropolluants qui sont détectés dans le milieu sont ceux qui sont recherchés. Il est donc fortement probable de passer à côté de certaines pollutions qui ne font pas l'objet d'une attention particulière, comme c'est le cas pour le perchlorate, qui n'est pas suivi de manière régulière malgré des rejets identifiés et les contaminations au perchlorate d'ammonium de l'eau du robinet à Bordeaux³² par exemple.

De plus, une autre difficulté rencontrée dans le suivi des micropolluants se situe au niveau de leurs faibles concentrations dans le milieu, de l'ordre du µg/L au ng/L. Les outils d'échantillonnage et les méthodes analytiques ne sont pas forcément adaptés à la mesure de ces faibles concentrations. Un effort est donc mené sur l'amélioration et le développement d'outils analytiques adaptés à la mesure des micropolluants dans le milieu naturel. Un nouveau type d'échantillonnage est utilisé pour pallier à ce problème, c'est le **POCIS**³³, un échantillonneur intégratif. Il permet d'abaisser les seuils de quantification et d'obtenir une concentration moyennée sur la durée d'exposition dans l'eau. Cependant il ne peut être employé que pour le suivi des micropolluants hydrophiles comme les pesticides et les résidus médicamenteux. [29]

Enfin, les processus de mise en place de la réglementation pour une substance peuvent être très longs, et par conséquent l'exposition des êtres vivants et la contamination des milieux par les micropolluants se poursuivent. (cf. Annexe 6 : « Contexte et historique de la réglementation de l'atrazine »)

³¹ Arrêté du 25 janvier 2010

³² Article la dépêche du midi du 20/07/2011

³³ Polar organic chemical integrative sampler

c) Dégradation et élimination

La solution de l'épuration ne permet pas toujours l'élimination des micropolluants dans le milieu. Comme on l'a vu les STEP peuvent être des sources de pollution dans le cas où les micropolluants ne sont pas, ou que partiellement, dégradés. On peut noter plusieurs points :

- Dans le cas où des molécules sont peu biodégradables (ex. : PCB), après traitement des eaux usées, les micropolluants vont être transférés dans les boues d'épuration et non dégradés. La pollution est alors simplement déplacée et les micropolluants ne sont pas affectés par le passage à travers les procédés de traitement, c'est le cas par exemple de pesticides polaires (ex. : glyphosate, AMPA). Comme le soulignait Hélène Budzinski lors d'un séminaire sur les PCB³⁴ le 31 mai dernier, les PCB présents à des concentrations inférieures aux normes établies dans les boues de STEP épandues ($[PCBi] = 0,8 \text{ mg/kg ps}^{35}$) participent tout de même à nouveau au flux et à la contamination des PCB dans le milieu naturel malgré le respect de la norme.
- Dans le cas de micropolluants biodégradés en STEP, comme les médicaments de type analgésique (ex. : paracétamol) qui peuvent être éliminés jusqu'à 90%, le problème vient du fait que les concentrations sont trop élevées en entrée de STEP. La quantité de substance à traiter est donc trop importante et la dégradation ne peut donc pas se faire complètement, une partie est donc rejetée dans les eaux traitées³⁶, ce qui donne à ces micropolluants un **caractère pseudo-persistant**.
- Enfin dans le cas intermédiaire où les micropolluants sont partiellement dégradés, les produits de dégradation peuvent alors être plus dangereux que les molécules mères comme par exemple pour certains HAP (ex. : phénanthrène). Les conséquences sont les mêmes dans le cas d'une biodégradation naturelle et par STEP.

d) Evaluation des risques

Les recherches sur les effets des micropolluants sur les organismes vivants s'amplifient à mesure que ceux-ci sont mesurés dans les cours d'eau. Ces effets sont évalués par le biais de **tests d'écotoxicité** réalisés sur des organismes cibles utilisés comme modèles. Pour les poissons beaucoup de recherches sont faites sur le poisson zèbre *Danio rerio* et l'anguille européenne *Anguilla anguilla*. Cependant, il existe encore peu de données

³⁴ Séminaire de restitution des résultats R&D du plan national d'actions sur les PCB – 31 mai 2012 à Talence

³⁵ Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie (AESN)

³⁶ Colloque GAGILAU – présentation du projet MEDIC'EAU par H. Budzinski

écotoxicologiques sur les effets des micropolluants sur les organismes aquatiques. Ces questions font l'objet de plus en plus de recherches, comme la possibilité de transposer les données écotoxicologiques acquises pour les mammifères aux poissons (S.F. Owen et al., 2009 ; E-J. van den Brandhof, M. Montfort, 2010). Mais la transposition des résultats à d'autres espèces, même de poissons, n'est pas toujours évidente car l'écologie et le comportement de l'espèce (reproduction, alimentation, etc.) influence fortement leur contamination par les micropolluants (ex. : les espèces qui ont un mode de vie benthique sont plus soumises aux contaminations par les micropolluants hydrophobes que les espèces pélagiques). De ce fait, les études sur le transfert des micropolluants le long des chaînes trophiques et de leurs effets intègrent de plus en plus l'écologie et la physiologie de l'espèce dans les modèles (ex. : Projets Merlumed et Costas³⁷).

Il est également important de noter que les doses de micropolluants auxquelles sont soumis les modèles biologiques sont généralement plus élevées que celles rencontrées dans le milieu naturel. C'est donc la toxicité aiguë des micropolluants qui est étudiée alors que le risque que présentent ces substances en conditions naturelles résulte de faibles concentrations ($\mu\text{g/L}$ au ng/L) pour une **exposition chronique**. Les effets dus pour une telle exposition, notamment à certains médicaments ne sont pas révélés à l'issue des essais de toxicité aiguë classique (B. Hoeger et al., 2005), le risque est donc de sous estimer ou mal évaluer l'impact d'un micropolluant sur un organisme. Il y a donc une véritable nécessité d'adapter les tests d'écotoxicité aux conditions rencontrées dans le milieu naturel, d'autant plus que les effets peuvent être différents selon qu'un organisme soit soumis à la toxicité aiguë d'un micropolluant ou à une exposition chronique avec de faibles doses.

Ceci nous amène donc au dernier point, « **l'effet cocktail** ». Les tests d'écotoxicité sont non seulement fait sur des organismes modèles mais les substances auxquelles ils sont soumis sont choisies dès le début de l'étude. Or, en conditions naturelles les micropolluants sont mélangés et ces mélanges peuvent avoir des effets différents de ceux provoqués par un seul micropolluant. Les nombreuses questions que soulève l'effet cocktail représentent un sujet émergent pour la recherche scientifique (ex. : y'a-t-il un effet additif ou multiplicatif des micropolluants ayant les mêmes propriétés toxicologiques sur les organismes aquatiques ?). L'utilisation de biomarqueurs, de bioessais *in vitro*³⁸ et de puces à ADN³⁹(projet Micang cité précédemment) sont actuellement étudiés pour prendre en compte les mélanges de micropolluants que l'on peut trouver dans le milieu naturel.

³⁷ www.onema.fr/IMG/pdf/PCB-20120531_bioaccumulation-reseaux-golfe-Lion_LOIZEAU.pdf

³⁸ www.onema.fr/IMG/pdf/PCB-20120531_tests-cellulaires-in-vitro_AIT-AISSA.pdf

³⁹ MICANG : Développement d'une puce à ADN pour détecter le stress lié à une exposition environnementale aux contaminants chez les anguilles atlantiques. F. Pierron (EPOC-CNRS Univ. Bordeaux1)

e) Focus sur le bassin Adour-Garonne

D'après le bilan de présence 2007-2009 des micropolluants dans les milieux aquatiques, en 2009, le bassin Adour-Garonne était le bassin hydrographique de métropole qui possédait le plus de stations de mesures de pesticides dans l'eau des cours d'eau (697 en 2009, 169 en 2008 et 457 en 2007). Or, pour les mesures dans les sédiments, il n'y avait pas de points de mesure de pesticides en 2008 et 2009 (seulement en 2007 avec 398 points de mesures). Le nombre de molécules recherchées était également variable entre les années passant de 128 en 2007 à 189 en 2009 dans l'eau et 22 en 2007 dans les sédiments, c'était le bassin qui recherchait le moins de pesticides (en nombre) dans l'eau après le bassin Artois-Picardie, alors que c'est un bassin à forte activité agricole. L'effort de recherche est donc inégalement réparti en fonction des années et en fonction des bassins. [20]

Pour ce qui est de l'accès aux données via le SIE de l'AEAG, les données brutes sont effectivement disponibles mais très difficiles à utiliser. Beaucoup de mesures ont un code remarque qui leur est associé indiquant que les valeurs sont inférieures au seuil de quantification et l'analyse des données selon les méthodes de l'arrêté du 25 janvier 2010 représente un travail très lourd et fastidieux.

Enfin, le dernier bilan de qualité de l'eau du bassin A-G. disponible sur le SIE date de 2005 et ne semble pas achevé. Pour ce qui est de la partie pesticides, deux bilans récents ont été fait avec les données de 2006 à 2008 et pour l'année 2009, ils présentent de façon claire et synthétique la qualité de l'eau du bassin A-G. pour le paramètre pesticides, ainsi que les molécules les plus détectées et les plus quantifiées. Il n'existe pas de bilan plus récent à ma connaissance mais peut-être n'ont-ils simplement pas été diffusés. La transition du SIE vers la banque de données nationale NAIADES peut peut-être expliquer ces constats.

X. Conclusions et préconisations pour le Sméag

On a donc pu voir dans ce chapitre que la question de la contamination des cours d'eau par les micropolluants est encore un sujet émergent qui relève de la recherche scientifique. De nombreuses connaissances sont acquérir en termes d'identification des sources de pollution, de quantification des flux ou encore d'effets sur les organismes aquatiques et les Hommes par exemple. Les poissons migrateurs, lors de leur transit par la Garonne peuvent être soumis à ces faibles concentrations de micropolluants mélangés qui peuvent impacter directement leur croissance, leur reproduction ou encore leur survie.

Cet état des connaissances sur les micropolluants permettra d'éclairer les collectivités en leur apportant d'une part une synthèse sur la pollution par ces substances présentes dans le bassin de la Garonne et des éléments de réflexion sur les questions qu'ils sous-tendent. L'approche pour le Sméag est différente de celle pour la température de l'eau (chapitre 1), qui se veut plus dans la veille et la sensibilisation que dans l'action au niveau du milieu naturel. Les conclusions de cette étude permettent donc au Sméag d'adopter un positionnement stratégique en ayant une vision objective sur le sujet des micropolluants.

Les poursuites à donner pour le Sméag peuvent se faire à deux niveaux :

❖ **La sensibilisation** : le Sméag pourrait se rapprocher de structures comme l'AEAG ou d'associations environnementales pour sensibiliser les professionnels et les particuliers à la question de ce type de pollution. Véhiculer également des messages pour changer les habitudes, les gestes simples qui peuvent malgré tout contribuer à cette pollution (ex. : connaître les précautions d'emploi de pesticides en terme de risques sanitaires et d'utilisation), les idées reçues sur l'efficacité des STEP (les eaux traitées ne sont pas exemptes de pollution par les micropolluants) et les pratiques qui leur sont associées notamment la notion du « tout-à-l'égout ».

❖ **La veille** : le Sméag peut parallèlement continuer à suivre l'évolution de ces pollutions par les micropolluants en portant une attention particulière sur la pollution au cadmium (notamment la remobilisation du Cd stockés dans les sédiments), les pesticides (atrazine, glyphosate et AMPA, et métolachlore et S-métolachlore), les PCB et les HAP, et pour les résidus médicamenteux la carbamazépine. Et l'avancement progressif sur l'établissement de normes pour les micropolluants émergents, et pour les micropolluants déjà réglementés la mise en place de normes dans les sédiments.

Les projets à suivre : le **projet MEDIC'EAU** (pollution par les médicaments, et notamment les antibiotiques dans la Garonne en aval de Toulouse), le **projet ETIAGE**⁴⁰(« ETude

⁴⁰ <http://www.etiage.fr/index.php?op=edito>

Intégrée de l'effet des Apports amont et locaux sur le fonctionnement de la Garonne Estuarienne »), et le programme PCB-AXELERA (dépollution des sédiments pollués aux PCB).

Et enfin, se tenir informer des colloques sur le sujet des micropolluants qui sont un bon moyen de prendre connaissances des résultats et des projets de recherche, et l'occasion de pouvoir échanger avec les scientifiques et autres acteurs de l'eau.

Conclusion générale

Les objectifs de ce stage étaient multiples, ils consistaient à affiner les connaissances sur deux des résultats mis en évidence par la première phase du travail de diagnostic des conditions de vie des poissons migrateurs dans le bassin de la Garonne. Cette étude a permis de synthétiser les connaissances existantes et de mettre en avant les lacunes rencontrées, elle donne des pistes concrètes et des suites à donner pour le Sméag.

Pour la partie « température de l'eau », les conclusions de ce travail permettent au Sméag d'envisager des mesures de gestion concrètes pour améliorer les connaissances sur l'évolution de la température de l'eau de Toulouse à Golfech en pérennisant le réseau de mesures et en plaçant de nouveaux appareils sur le tronçon. Il faudrait également étudier les potentielles zones refuges de la Garonne et de ses affluents, et la faisabilité d'amener des graviers et galets pour aménager le lit.

Pour la partie « micropolluants », les conclusions permettent au Sméag d'adopter une stratégie de positionnement. Ce sujet exploratoire ne permet au Sméag de mener des actions concrètes hormis de la sensibilisation et de la veille pour le moment.

Ces huit mois de stage m'ont donc permis de conforter mes choix pour finaliser ma formation, et d'apprendre beaucoup sur les méthodes de gestion et les missions d'une structure comme le Sméag. Je ressors enrichie sur l'aspect « professionnel », sur les connaissances acquises sur les deux sujets traités pendant ces huit mois mais aussi sur l'aspect social et humain avec les échanges que j'ai pu avoir avec l'ensemble du personnel du Sméag et des acteurs de l'eau.

Références bibliographiques

La Température de l'Eau

❖ Textes réglementaires

[1] Arrêté du 25 Janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R 212-18 du code de l'environnement – JO n°46 du 24 février 2010

❖ Rapports et thèses

[2] C. Bouchet-Bert (2011). Qualité du milieu de la Garonne au regard des poissons notamment migrateurs - mémoire de stage ENSAT - Sméag

[3] L. Carry, A. Nars (2010). Mise en place d'un suivi de paramètres simples de la qualité de l'eau sur le Garonne – Suivi 2009 - MI.GA.DO. 31G-10-RT.

[4] O. Croze, E. Blot, F. Delmas, R. Alesina, H. Jourdan, F. Bau, T. Breinig (2006). Suivi de la qualité de l'eau de la Garonne lors de la migration anadrome du saumon en amont de Golfech - Rapport GHAAPPE Toulouse, CEMAGREF Bordeaux RA06.04

[5] O. Croze, E. Blot, L. Delmouly (2007). Evolution de la température de l'eau de la Garonne au cours des 3 dernières décennies (1977-2005) - Rapport GHAAPPE RA07.04 (SMEAG 727)

[6] O. Croze (2008). Impact des seuils et barrages sur la migration anadrome du saumon atlantique (*Salmo salar* L.) : caractérisation et modélisation des processus de franchissement – Thèse Université Paul Sabatier Toulouse

[7] L. Delmouly, O. Croze, F. Bau, N. Moreau (2007). Etude de la franchissabilité de l'aménagement hydroélectrique de Golfech / Malause par le saumon atlantique – Suivi 2006 et synthèse 2005 – 2006 - Rapport GHAAPPE RA.07.07

[8] L. Delmouly, N. Moreau, O. Croze, R. Le Barh (2007). Cartographie du substrat de la Garonne (de la retenue de St Nicolas-de-la-Grave à Toulouse) et influence sur le comportement des saumons atlantiques en remontée

[9] K. Larnier (2010). Modélisation écohydraulique d'un tronçon de Garonne en lien avec l'habitat piscicole – Thèse Université Paul Sabatier Toulouse

[10] J-R. Malavoi, CC. Garnier, N. Landon, A. Recking, P. Baran (2011). Eléments de connaissance pour la gestion du transport solide en rivière - ONEMA

❖ Sites internet

Projet Imagine2030 :

<http://www.irstea.fr/la-recherche/unites-de-recherche/hhly/hydrologie-des-bassins-versants/projet-imagine2030>

Les Micropolluants dans l'Eau

❖ Publications scientifiques

F. Akcha, C. Spagnol, J. Rouxel (2011). Genotoxicity of diuron and glyphosate in oyster spermatozoa and embryos – *Aquatic Toxicology* 106– 107 (2012) 104– 113

S. Audry, G. Blanc, J. Schäfer (2003). Cadmium transport in the Lot–Garonne River system (France) : temporal variability and a model for flux estimation - *The Science of the Total Environment* 319 (2004) 197–213

S. Audry, J. Schäfer, G. Blanc, J-M. Jouanneau (2004). Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France) - *Environmental Pollution* 132 (2004) 413–426

M. Baudrimont, J. Schafer, V. Marie, R. Maury-Brachet, C. Bossy, A. Boudou, G. Blanc (2005). Geochemical survey and metal bioaccumulation of three bivalve species (*Crassostrea gigas*, *Cerastoderma edule* and *Ruditapes philippinarum*) in the Nord Medoc salt marshes (Gironde estuary, France) - *Science of the Total Environment* 337 (2005) 265– 280

E-J. van den Brandhof, M. Montforts (2010). Fish embryo toxicity of carbamazepine, diclofenac and metoprolol - *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73 (2010) 1862–1866

M. De Jonge, B. Van de Vijver, R. Blust, L. Bervoets (2008). Responses of aquatic organisms to metal pollution in a lowland river in flanders : a comparison of diatoms and macroinvertebrates – *Science of the Total Environment* 407 (2008) 615–629

T. Duong, S. Morin, M. Coste, O. Herlory, A. Feurtet-Mazel, A. Boudou (2010). Experimental toxicity and bioaccumulation of cadmium in freshwater periphytic diatoms in relation with biofilm maturity - *Science of the Total Environment* 408 (2010) 552–562

B. Hoeger, B. Köllner, D. R. Dietrich, B. Hitzfeld (2005). Water-borne diclofenac affects kidney and gill integrity and selected immune parameters in brown trout (*Salmo trutta f. fario*) - *Aquatic Toxicology* 75 (2005) 53–64

S.S. Köprücü, K. Köprücü, M.S. Ural, Ü. Ispir, M. Pala (2006). Acute toxicity of organophosphorous pesticide diazinon and its effects on behavior and some hematological parameters of fingerling European catfish (*Silurus glanis* L.) - *Pesticide Biochemistry and Physiology* 86 (2006) 99–105

A. Lochet, R. Maury-Brachet, C. Poirier, J. Tomas, M. Lahaye, M. Aprahamian, E. Rochard (2008). Mercury contamination and life history traits of Allis shad *Alosa alosa* (Linnaeus, 1758) and Twaite shad *Alosa fallax* (Lacépède, 1803) in the Gironde estuary (South West France) - *Hydrobiologia* (2008) 602:99–109

N. Lower, A. Moore (2004). Exposure to insecticides inhibits embryo development and emergence in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) - *Fish Physiology and Biochemistry* 28: 431–432, 2003

M. Mariottini, I. Corsi, S. Focardi (2006). PCB levels in european eel (*Anguilla anguilla*) from two coastal lagoons of the Mediterranean - *Environmental Monitoring and Assessment* (2006) 117: 519–528

C. A. Murphy, K. A. Rose, P. Thomas (2004). Modeling vitellogenesis in female fish exposed to environmental stressors: predicting the effects of endocrine disturbance due to exposure to a PCB mixture and cadmium - *Reproductive Toxicology* 19 (2005) 395–409

S. F. Owen, D. B. Huggett, T. H. Hutchinson, M. J. Hetheridge, L. B. Kinter, J. F. Ericson, J. P. Sumpter (2009). Uptake of propranolol, a cardiovascular pharmaceutical, from water into fish plasma and its effects on growth and organ biometry - *Aquatic Toxicology* 93 (2009) 217–224

F. Pierron, M. Baudrimont, A. Bossy, J-P. Bourdineaud, D. Brèthes, P. Elie, J-C. Massabuau (2007). Impairment of lipid storage by cadmium in the European eel (*Anguilla anguilla*) - *Aquatic Toxicology* 81 (2007) 304–311

F. Pierron, M. Baudrimont, M. Lucia, G. Durrieu, J-C. Massabuau, P. Elie (2008). Cadmium uptake by the European eel: Trophic transfer in field and experimental investigations - *Ecotoxicology and Environmental Safety* 70 (2008) 10–19

J. Schäfer, G. Blanc, Y. Lapaquellerie, N. Maillet, E. Maneux, H. Etcheber (2002). Ten-year observation of the Gironde tributary fluvial system : fluxes of suspended matter, particulate organic carbon and cadmium - *Marine Chemistry* 79 (2002) 229– 242

C. Soulier, V. Gabet, S. Lardy, K. Lemenach, P. Pardon, M. Esperanza, C. Miège, J.-M. Choubert, S. Martin, A. Bruchet, M. Coquery, H. Budzinski « Zoom sur les substances pharmaceutiques : présence, partition, devenir en station d'épuration » - Revue TSM numéro 1/2 – 2011 – 106^e année

J. S. Wang, H. N. Chou, J-J. Fan, C-M. Chen (1998). Uptake and transfer of high PCB concentrations from phytoplankton to aquatic biota - *Chemosphere*, Vol. 36, No. 6, pp. 1201-1210, 1998

❖ Rapports, thèses et présentations

[13] AEAG (2008). Qualité des eaux et produits phytosanitaires sur le bassin Adour-garonne – bilan 2006-2008 - Agence d l'Eau Adour-Garonne

[14] Agence de l'eau Seine-Normandie (2008). Guide pratique des substances toxiques dans les eaux douces et littorales du bassin Seine-Normandie

[15] Anses (2011). Surveillance des contaminations en polychlorobiphényles (PCB) des poissons d'eau douce : méthodologie, résultats et perspectives - Bulletin épidémiologique n°45 – Octobre 2011

[16] S. Audry (2003) Bilan géochimique du transport des éléments traces métalliques dans le système fluvial anthropisé Lot-Garonne-Gironde. Thèse (http://ori-oai.u-bordeaux1.fr/ori-oai-search/notice.html?id=u-bordeaux1-ori-53&format=dc_id)

[17] D. Biletorte, M. Saubesty (2008). Synthèse des campagnes d'analyse de perturbateurs endocriniens dans les eaux destinées à la consommation humaine – DRASS Basse-Normandie, Midi-Pyrénées et Rhône-Alpes – Agence de l'eau Seine-Normandie et Adour-Garonne en coordination avec la Direction générale de la Santé

[18] G. Blanc (2006). Suivi de l'évolution des flux de cadmium émis et transitant dans le système continuum Riou-Mort – Lot – Garonne, Année 2006 – UMR EPOC Bordeaux 1 – Agence de l'Eau Adour-Garonne

[19] H. Budzinski et A. Togola (2006). Présence des résidus de médicaments dans les différents compartiments du milieu aquatique

[20] Commissariat général au développement durable (2011). Etudes & documents – Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux – Période 2007-2009

[21] M. Coquery (2009). Les micropolluants - Séminaire AQUAREF diaporama

[22] M. Coquery, J-M. Choubert, C. Miège (2009). Synthèse des travaux du projet AMPERES – AQUAREF – ONEMA - CEMAGREF

[23] Direction Générale de la Santé (2008). Synthèse de la campagne d'analyse de perturbateurs endocriniens dans les eaux destinées à la consommation humaine du bassin Adour Garonne - DDRASS de Midi-Pyrénées et AEAG

[24] V. Durio, A. Morin (2009) Les substances émergentes dans l'environnement – note de synthèse sur l'état de l'art concernant les produits pharmaceutiques, les cosmétiques et les produits d'hygiène corporelle – AQUAREF

[25] Eawag News (2009). Les micropolluants anthropiques dans l'eau – Effets – Risques – Moyens de lutte

[26] A. Feraudet (2009). Biotechnologies et eau : Détection des polluants émergents dans l'eau : état des lieux – Sup'Biotech

[27] N. Hubaux, O. Perceval (2011). Pollution des milieux aquatiques par les polychlorobiphényles (PCB) en France : principaux enjeux de gestion et lacunes identifiées dans les connaissances environnementales » - Rapport final – ONEMA

[28] S. Laronde, K. Petit (2010). Bilan national des efforts de surveillance de la qualité des cours d'eau. Onema – Office international de l'eau

[29] C. Miège, H. Budzinski, R. Jacquet, C. Soulier, M. Coquery (2009). L'échantillonnage par POCIS – Application pour la surveillance des micropolluants organiques dans les eaux résiduaires traitées et les eaux de surface. Cemagref – Université Bordeaux 1

[30] M. Nichelatti (2010). DCE Substances prioritaires dangereuses émergentes – Ministère de l'écologie

[31] F. Rougerie (2010) « Naiades – Banque de données sur la qualité des eaux de surface continentale » ONEMA/DCIE diaporama

[32] N. Tapie, H. Budzinski, P. Elie, P. Gonthier (2006). Contamination en polychlorobiphényles (PCB) des anguilles du système fluvio estuarien de la Gironde. CNRS – CEMAGREF – Agence de l'Eau Adour-Garonne

[33] P. Thiebaut (2006). Inventaire de la contamination des eaux superficielles par certaines substances dangereuses sur le bassin Adour-Garonne en 2005 – Rapport de synthèse. Agence de l'Eau Adour-Garonne

❖ Sites internet

Données du plan national d'actions sur les PCB : <http://www.pollutions.eaufrance.fr/pcb/>

Portail Substances Ineris : <http://www.ineris.fr/substances/fr/>

Fiches Substances Ineris : <http://www.ineris.fr/substances/fr/page/21>

Site web du laboratoire Aqua-Ref <http://www.aquaref.fr/>

Site web du réseau NORMAN http://www.norman-network.org/index_php.php

Liste des illustrations

Liste des figures

Figure 1 : Tableau synthétique des états et des tendances des stocks et des pressions par espèce (plagepomi)	15
Figure 2 : Carte du secteur d'étude.....	22
Figure 3 : Comparaison des températures moyennes enregistrées au Bazacle (période 1994-2008 et 2009), à Verdun sur Garonne (en 2008 et 2009) et à Golfech (période 1993-2008 et 2009) [3]	24
Figure 4 : Evolution des températures moyennes journalières aux stations de Golfech et du Bazacle en 2006 [7].....	26
Figure 5 : Evolution de la température de l'eau à Toulouse et à Malause [9]	27
Figure 6 : Comparaison des températures moyennes annuelles de Toulouse et Golfech (avant et à partir de 1989) [5]	27
Figure 7 : Comparaison des TMNA de Toulouse et Golfech (avant et à partir de 1989) [5]	27
Figure 8 : Localisation des stations de suivis de la température de l'eau et structures gestionnaires.....	31
Figure 9 : Répartition des classes de différences entre les valeurs du SIE et de Migado	32
Figure 10 : Comparaison des TMJ de Bazacle, Verdun et Golfech entre Juin et Septembre en 2008	35
Figure 11 : Comparaison des différences moyennes de TMJ pour Verdun-Bazacle et Golfech-Verdun entre Juin et Septembre en 2008.....	36
Figure 12 : Comparaison des TMJ entre Juin et Septembre en 2002	37
Figure 13 : Comparaison des différences moyennes de TMJ pour St Nicolas-Bazacle et Golfech-St Nicolas entre Juin et Septembre en 2002	38
Figure 14 : Comparaison des TMJ du Tarn amont, Tarn aval, Verdun et Golfech entre Juin et Septembre en 2008	40
Figure 15 : Evolution des classes d'état pour le paramètres température de l'eau de Toulouse à St Nicolas de la Grave (1 : Très bon ; 2 : Bon ; 3 : Moyen ; 4 : Médiocre ; 5 : Mauvais) pour les eaux cyprinicoles et salmonicoles	44
Figure 16 : Classification des substances polluantes [21].....	56
Figure 17 : Méthodologie pour l'évaluation de l'état des masses d'eau	62
Figure 18 : Répartition des publications par année	69
Figure 19 : Répartition des publications par pays.....	70
Figure 20 : Répartition des catégories de micropolluants pour les 206 publications.....	70
Figure 21 : Répartition des catégories de micropolluants étudiées dans les études in situ en France	71
Figure 22 : Concentration moyenne sur la période 2007-2009 en glyphosate et AMPA dans les cours d'eau de métropole [20]	73
Figure 23 : Concentration moyenne sur la période 2007-2009 en métolachlore dans les cours d'eau de métropole [20]	75

Figure 24 : Concentration en Cd dans les sédiments aux stations AEAG du bassin de la Garonne.....	79
Figure 25 : Localisation des interdictions de pêche dans la Garonne de certaines anguilles en vue de leur commercialisation et de leur consommation imposées par les arrêtés préfectoraux.....	82
Figure 26 : Respect des normes pour les HAP dans les cours d'eau métropolitains	83

Liste des tableaux

Tableau 1 : Calendrier des mouvements de poissons dans les cours d'eau	23
Tableau 2 : Synthèse des mesures de température de l'eau en continu recueillies.....	29
Tableau 3 : Limites des classes d'état pour le paramètre température Source [1].....	33
Tableau 4 : Classes d'état (correspondant aux eaux salmonicoles) des affluents de la Garonne en 2008 et débits (sources : SIE et Banque Hydro).....	39
Tableau 5 : Classes d'état (correspondant aux eaux salmonicoles) de la Gimone et du Tarn en 2008 et débits (sources : SIE et Banque Hydro).....	39

Liste des photos

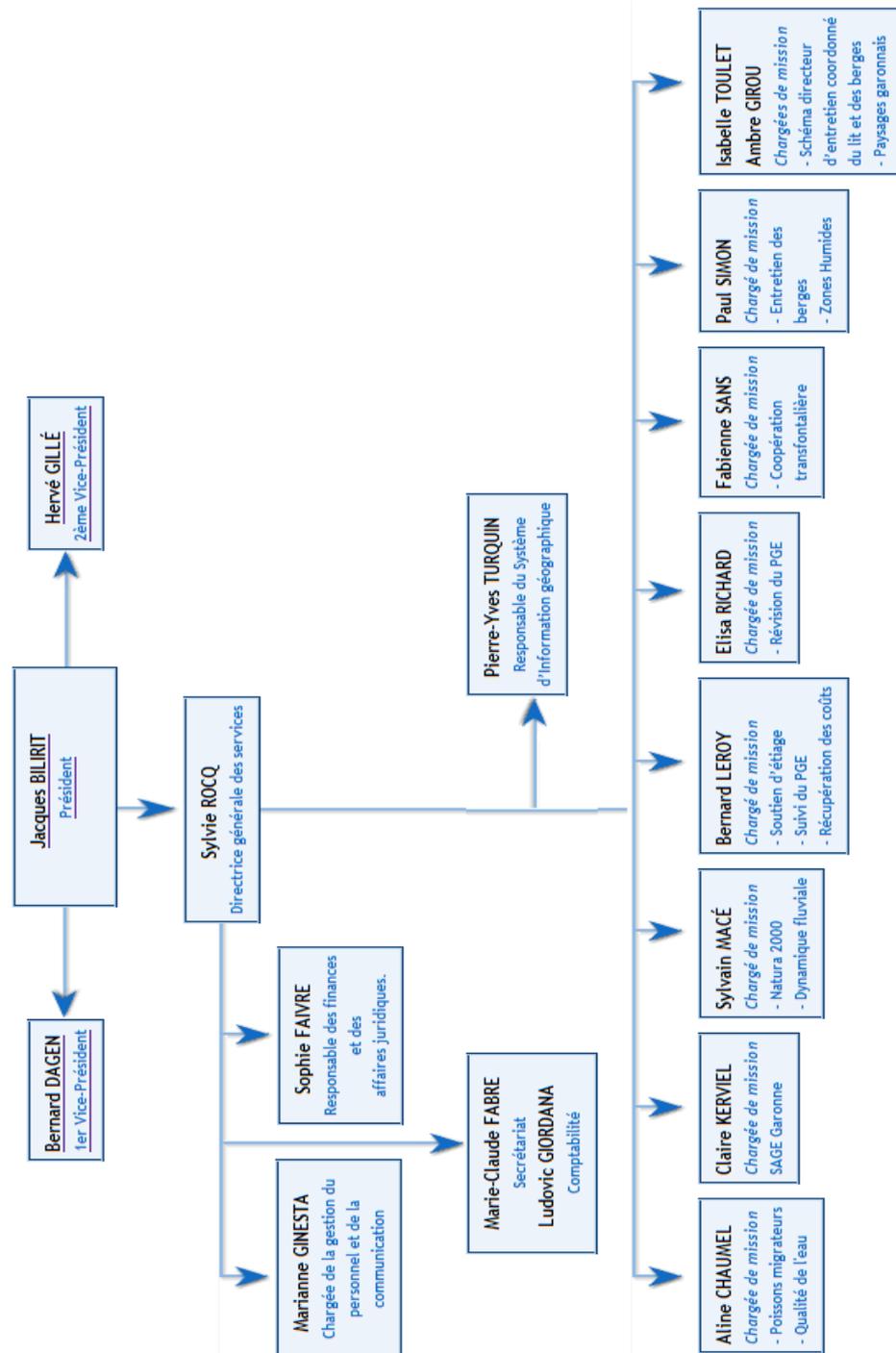
Photo 1 : Vue aérienne de la confluence du Tarn et de la Garonne au niveau du plan d'eau de Saint-Nicolas-de-la-Grave en Tarn-et-Garonne (06/07/2010) – D. Taillefer	39
Photo 2 : Marne affleurante sur la Garonne en aval des ponts de Bourret en Tarn-et-Garonne (07/08/2008) – D. Taillefer.....	45
Photo 3 : La Garonne en étiage en aval de Blagnac en Haute-Garonne (19/08/2004) – D. Taillefer	46
Photo 4 : La Garonne en étiage en aval de Gagnac-sur-Garonne en Haute-Garonne (08/08/2006) – D. Taillefer.....	46
Photo 5 : Banc de galets dans le lit mineur de la Garonne en étiage estival à Bordes-de-Rivière (10/08/2006) – D. Taillefer.....	51

Liste des annexes

Annexe 1 : Organigramme du Sméag.....	111
Annexe 2 : Comparaison des températures moyennes journalières (Migado) et des températures instantanées (SIE).....	112
Annexe 3 : Comparaison des températures moyennes journalières du Tarn et de la Garonne.....	114
Annexe 4 : Comparaison des températures instantanées de St Aignan et de Coudol.....	116
Annexe 5 : Localisation des stations de qualité physico-chimiques de l'AEAG.....	117
Annexe 6 : Démarches pour un classement plus sévère d'une molécule au niveau européen : le cas du formaldéhyde.....	118

Annexes

Annexe 1 : Organigramme du Sméag

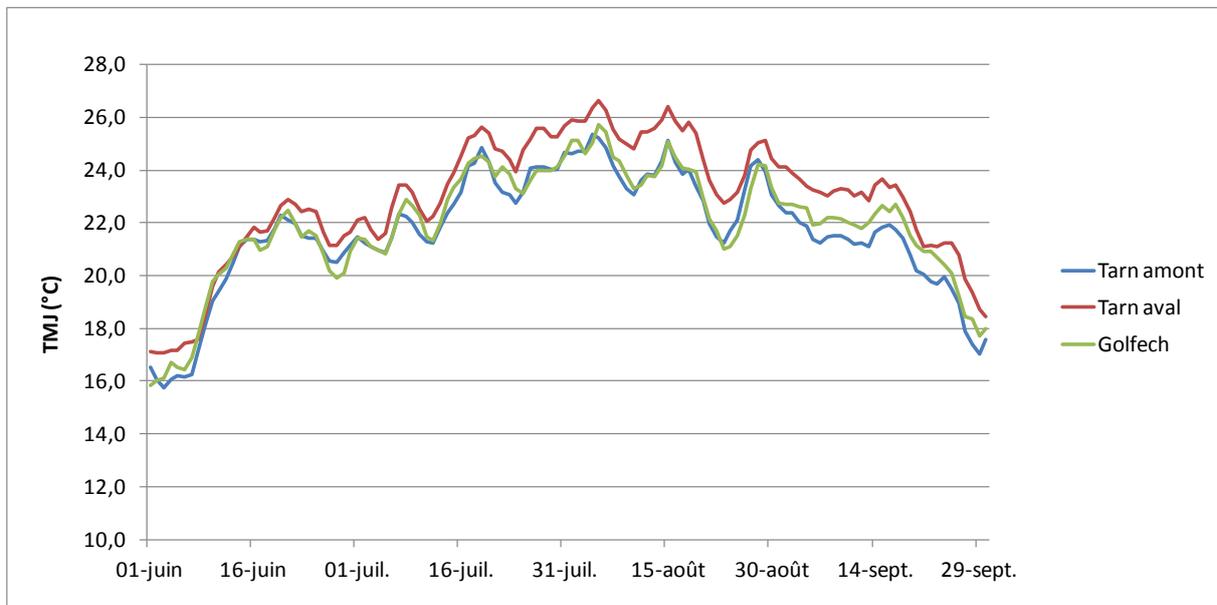


Annexe 2 : Comparaison des températures moyennes journalières (Migado) et des températures instantanées (SIE)

Station	Année	Date de prélèvement	SIE		Migado	Différence
			Heure de prélèvement	Température de l'eau	TMJ	+/-
Marquefave/Carbonne	2006	07/06/2006	15:15:00	22	18,6	3,4
		06/07/2006	15:00:00	23,7	22,7	1
		08/08/2006	13:55:00	23,7	22,8	0,9
		11/09/2006	15:15:00	25,7	22,6	3,1
	2007	21/06/2007	13:00:00	18,2	17,2	1
		23/07/2007	14:45:00	21,3	19	2,3
		20/08/2007	11:45:00	19,8	19,6	0,2
		20/09/2007	14:00:00	18,4	18,8	-0,4
	2008	17/06/2008	14:15:00	13,1	12,2	0,9
		21/07/2008	13:15:00	19,1	18,8	0,3
		19/08/2008	11:00:00	19,6	19,4	0,2
		18/09/2008	13:00:00	15,7	15,5	0,2
	2009	17/06/2009	11:00:00	15,5	15,1	0,4
		20/07/2009	15:00:00	21,4	19,5	1,9
		19/08/2009	11:45:00	23,8	23,6	0,2
		15/09/2009	14:00:00	20,1	20,3	-0,2
2010	31/08/2010	11:30:00	20,2	21,4	-1,2	
	21/09/2010	12:00:00	17,3	17,4	-0,1	
Valentine	2008	22/07/2008	10:20:00	13,7	15	-1,3
		16/09/2008	10:30:00	14,2	14,2	0
	2009	15/06/2009	12:00:00	12,5	13,2	-0,7
		22/07/2009	14:00:00	18,9	17,9	1
		18/08/2009	12:00:00	19,2	17,4	1,8
		16/09/2009	14:00:00	15,3	14,9	0,4
	2010	01/09/2010	13:35:00	16,4	16	0,4
20/09/2010		10:00:00	13,6	14,3	-0,7	
Verdun	2007	24/07/2007	11:20:00	21	21,1	-0,1
		21/08/2007	11:00:00	19	24,5	-5,5
		19/09/2007	10:30:00	18	19,2	-1,2
	2008	16/06/2008	11:50:00	15	14,3	0,7
		18/06/2008	13:30:00	15,8	14,9	0,9
		22/07/2008	10:35:00	20	21,2	-1,2
		19/08/2008	13:40:00	22,2	22,1	0,1
		16/09/2008	10:50:00	17	17,6	-0,6
		17/09/2008	13:15:00	18	17,8	0,2
	2009	16/06/2009	10:05:00	18,3	18,6	-0,3
		18/06/2009	11:25:00	18,8	19	-0,2
21/07/2009		11:00:00	23	24,3	-1,3	
18/08/2009		09:15:00	25,3	26,3	-1	

		15/09/2009	10:40:00	19	20,1	-1,1
		17/09/2009	10:50:00	19,2	19,6	-0,4
	2010	31/08/2010	10:15:00	20	21,1	-1,1
		08/09/2010	08:15:00	20	20,7	-0,7
		21/09/2010	11:40:00	19	18,5	0,5

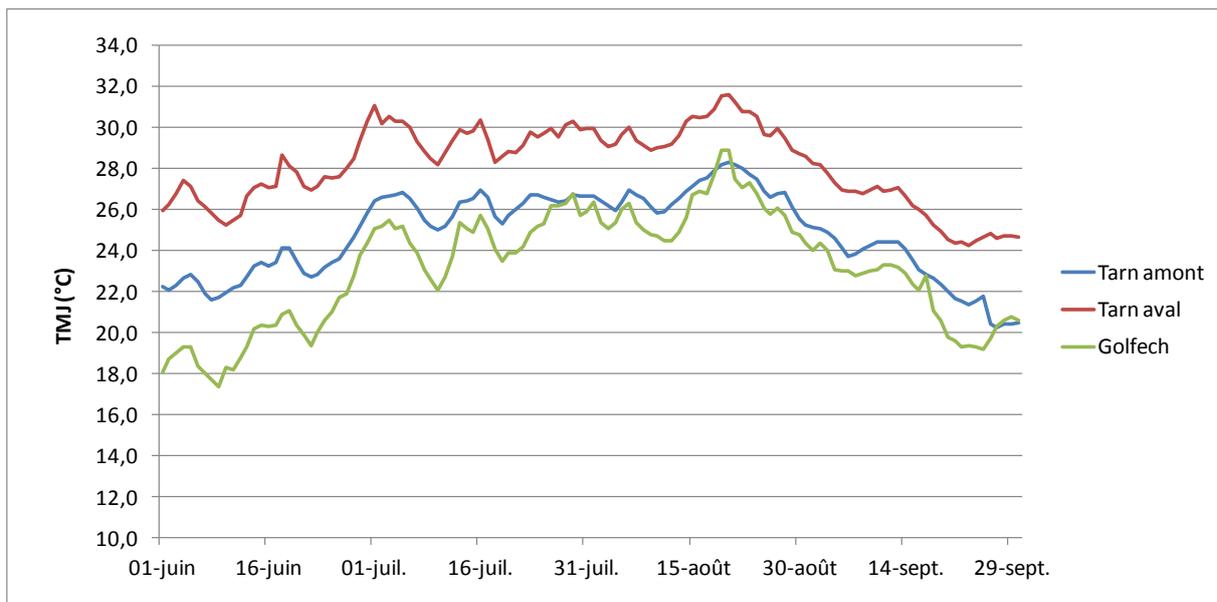
Annexe 3 : Comparaison des températures moyennes journalières du Tarn et de la Garonne



Comparaison des TMJ du Tarn amont, Tarn aval et Golfech entre Juin et Septembre en 2007

	Golfech	Tarn amont	Tarn aval
Moyenne	21,9	21,7	22,9
Ecart-type	2,2	2,3	2,4
Médiane	22,2	21,7	23,2

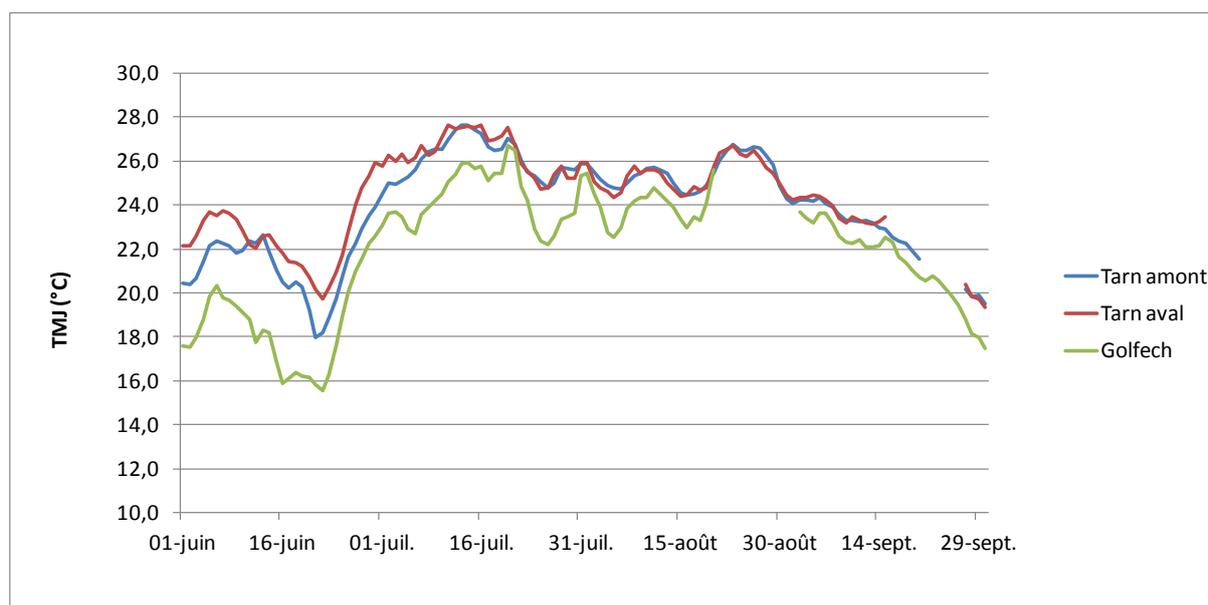
	Tarn aval-amont	Golfech-Tarn aval
Différence moyenne	1,2	-0,9
Ecart-type	0,5	0,5



Comparaison des TMJ du Tarn amont, Tarn aval et Golfech entre Juin et Septembre en 2009

	Golfech	Tarn amont	Tarn aval
Moyenne	23,2	24,8	28,2
Ecart-type	2,8	2,1	1,9
Médiane	23,8	25,2	28,6

	Tarn aval-amont	Golfech-Tarn aval
Différence moyenne	3,4	-5
Ecart-type	0,6	1,4



Comparaison des TMJ du Tarn amont, Tarn aval et Golfech entre Juin et Septembre en 2010

	Golfech	Tarn amont	Tarn aval
Moyenne	21,9	23,9	24,4
Ecart-type	2,9	2,3	2
Médiane	22,6	24,5	24,8

	Tarn aval-amont	Golfech-Tarn aval
Différence moyenne	-0,6	-1,4
Ecart-type	4,6	5,1

Annexe 4 : Comparaison des températures instantanées de St Aignan et de Coudol

Coudol			St Aignan		
18/06/2008	17.5	09:10:00	16/06/2008	16	14:35:00
15/09/2008	19	09:00:00	16/09/2008	17	12:40:00
21/07/2008	24	09:50:00	22/07/2008	21	12:20:00
16/06/2009	22.0	11:55:00	16/06/2009	18.8	11:35:00
22/07/2009	24.7	11:05:00	21/07/2009	25.0	13:00:00
18/08/2009	26.7	11:20:00	18/08/2009	25.7	10:50:00
16/09/2009	20.3	11:15:00	15/09/2009	19.0	08:00:00
01/09/2010	22.0	08:10:00	31/08/2010	20.0	11:35:00
22/09/2010	19.0	09:15:00	21/09/2010	19.0	09:45:00

Annexe 5 : Localisation des stations de qualité physico-chimiques de l'AEAG



Annexe 6 : Démarches pour un classement plus sévère d'une molécule au niveau européen : le cas du formaldéhyde

