

**Suivi de l'évolution des flux de cadmium
émis et transitant dans le système
continuum Riou-Mort - Lot - Garonne**

ANNEE 2006

Réalisé pour le compte de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne

Introduction

Suite au contrat signé entre l'université de Bordeaux 1 et l'Agence de l'Eau Adour-Garonne, Gérard BLANC, responsable scientifique de l'équipe GEMA/TGM de l'UMR EPOC, de l'Université de Bordeaux 1 s'est engagé à réaliser un suivi de l'évolution des flux de cadmium dans le Riou-Mort, le Lot et la Garonne en 2006. Le présent ayant fait état des opérations réalisées et de la synthèse des résultats selon la proposition technique répondant aux clauses administratives et techniques de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

Ce rapport comporte deux parties :

1. suivi des flux dans le Lot et la Garonne, synthèse
2. suivi des flux dans le Riou-Mort, synthèse

1^{ière} PARTIE

METHODOLOGIE GENERALE

1. - Méthodologie générale d'échantillonnage et d'analyse

Au cours de l'année 2006, le suivi des flux de cadmium a été effectué sur trois sites (figure 1) :

- le Lot au **Temple sur Lot** (à l'exutoire du Lot),
- la Garonne à **Port Sainte Marie** (en amont de la confluence Lot-Garonne) et à **La Réole** (limite amont de la marée dynamique).

Sur ces trois sites, des prélèvements journaliers de Matières En Suspension (MES) et des prélèvements mensuels d'eau et de MES ont été effectués.

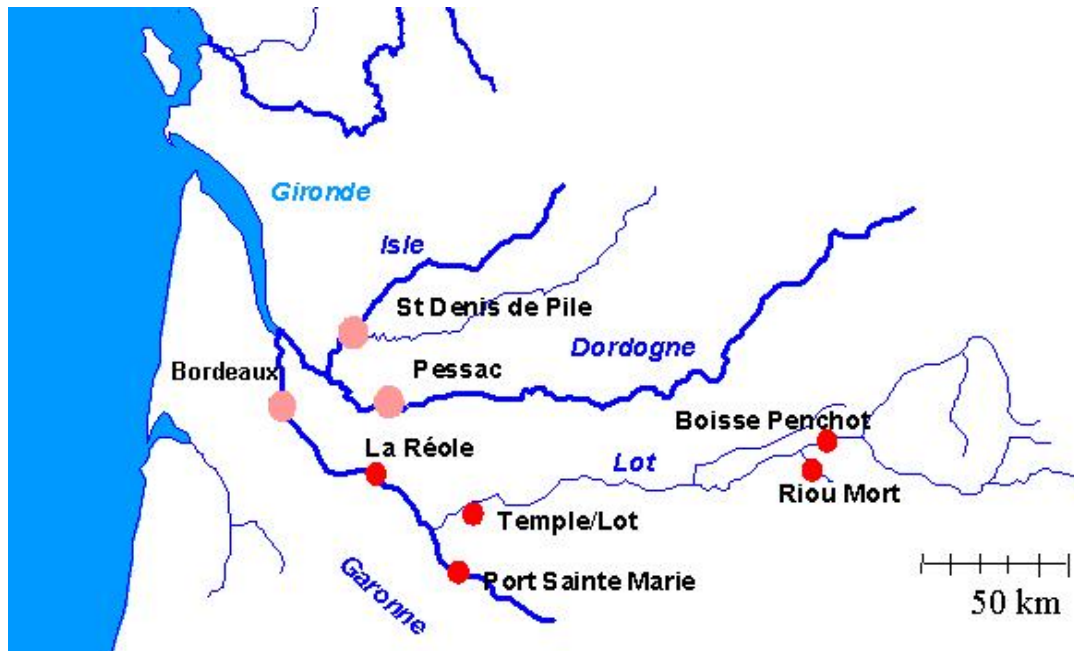


Figure 1 : Emplacement des stations de prélèvement et de mesure

1.1. - Stratégie d'échantillonnage

L'estimation des flux de MES, de cadmium (Cd) et de carbone organique particulaire (COP) doit tenir compte de la variabilité des débits, des concentrations en MES, de la teneur en cadmium dissous et particulaire et des teneurs en COP. Les valeurs de flux estimés dépendent ainsi :

- des caractéristiques des crues et de la répartition des prélèvements autour des pics de débit. En effet, au cours de crues majeures, débits et concentrations en MES peuvent varier rapidement, pouvant atteindre en 24 heures un facteur de deux à trois cents.
- de la section de rivière déterminée pour le point d'échantillonnage ainsi que de la position de la crépine de prélèvement dans la section. Ces facteurs jouent un rôle significatif dans la représentativité des échantillons (Lapaquellerie et al., 1998 ; Maneux, 2000).
- de la variabilité des concentrations en Cd dissous et particulaire et en COP. Toutefois, elle est d'une amplitude beaucoup moins importante que celle des concentrations en MES.

La variabilité importante du flux instantané de MES et la relative stabilité des concentrations en COP et en Cd imposent alors de réaliser, dans un premier temps, une bonne mesure des flux de MES grâce à une fréquence d'échantillonnage adaptée. Des simulations statistiques sur les bases de données de MES obtenues à La Réole ont montré qu'avec un échantillonnage tous les 3 jours la probabilité d'estimer le flux annuel avec une erreur de 10% est de 75% pour les années sèches et de seulement 30% pour les années humides (Maneux, 2000). Ce type d'échantillonnage conduit à une erreur de plus de 20% en moyenne. Il n'exclue pas non plus la probabilité de rater l'échantillonnage des 2 jours de crues les plus significatifs représentant à eux seuls 20% du flux annuel de MES. Ainsi, seul un prélèvement minimum journalier permet d'obtenir des flux de MES fiables. Les fréquences d'échantillonnage pour chaque paramètre mesuré et par station sont répertoriées dans le tableau 1.

	Lot		Garonne			
	Localités	Fréquence	Localités	Fréquence	Localités	Fréquence
Débits*	Cahors	jour	Tonneins	jour	Lamagistère	jour
Concentrations MES	Temple	8 par jour	La Réole	jour	Port Ste Marie	jour
Concentrations Cd particulaire	Temple	mois+crues	La Réole	mois+crues	Port Ste Marie	mois+crues
Concentrations Cd dissous	Temple	mois+crues	La Réole	mois+crues	Port Ste Marie	mois+crues

* Données : Banque Hydro, DIREN©

Tableau 1 : Localités et fréquences des prélèvements

1.1.1. Les flux d'eau

Les données de débits journaliers sont fournies par la DIREN Midi-Pyrénées pour le Lot. Le flux liquide du Lot à son exutoire était habituellement assimilé à celui de Villeneuve/Lot. Depuis 2002, la DIREN Midi-Pyrénées nous transmet les débits de la station de Cahors qui sont extrapolés au bassin de Villeneuve/Lot, point de calcul historique.

Pour la Garonne à La Réole, les données de débit étaient historiquement fournies par le Port Autonome de Bordeaux. Depuis 2003, on utilise les données de la DIREN Midi-Pyrénées de la station de Tonneins qui montrent en moyenne un débit inférieur de 2% avec les débits estimés à La Réole.

1.1.2. Les flux dissous

Les variations des teneurs en Cd dissous n'excèdent pas un ordre de grandeur. Par conséquent, un bilan du flux de Cd dissous relativement satisfaisant peut être obtenu avec 15-20 analyses par an suivant les conditions hydrologiques. La teneur en Cd est supposée constante autour de l'échantillon analysé. On attribue cette valeur au volume liquide écoulé entre deux prélèvements associés à cette analyse.

1.1.3. Les flux particuliers

Le calcul des flux de Cd est basé sur un calcul du flux de MES fiable grâce à une mesure de la variabilité temporelle des concentrations en MES (prélèvements journaliers). Un échantillonnage mensuel est réalisé pour Cd particulaire à La Réole et Port Sainte Marie sur la Garonne et à Temple sur le Lot.

1.2. - Calendrier d'échantillonnage pour l'analyse du cadmium dissous et particulaire

Les dates et lieux des prélèvements des échantillons pour les trois stations sont reportés dans les tableaux 2a, 2b et 2c pour Cd dissous ; les échantillonnages pour les analyses de Cd particulaire et dissous ont été réalisés simultanément.

Garonne 2006 La Réole		Prélèvement			Méthode décontam. (3)	Temps avant filtration (4)	Temps avant acid. (5)	Conservation échantillon (6)
		Rive (1)	Profondeur	Mode (2)				
10 janvier	09 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
03 février	15 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
27 février	14 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
24 mars	12 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
18 avril	16 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
11 mai	11 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
06 juin	12 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
30 juin	14 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
24 juillet	14 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 août	17 h 05	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
14 septembre	15 h 50	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
06 octobre	15 h 45	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
23 novembre	15 h 50	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 décembre	15 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C

- (1) **Lieu**: Quai de La Réole (100 m en aval du pont) à 3m de la berge
(2) **Mode de prélèvement** : effectué directement dans un flacon décontaminé, à l'abri de l'atmosphère.
(3) **Décontamination** : 72 h à HNO₃ Suprapur[®] à 50°C, 1,5N.
(4) **Filtration** : filtres polycarbonates, 0,2µm.
(5) **Temps avant acidification** : l'acidification, pour assurer la stabilisation chimique, se fait sur site.
(6) **Acidification** de l'échantillon amené à pH 2 (HNO₃ Ultrapur[®]).

**Tableau 2a : Calendrier et protocole de prélèvement des eaux (Cd dissous)
de la Garonne à La Réole**

Garonne 2006 Port Ste Marie		Prélèvement			Méthode décontam. (3)	Temps avant filtration (4)	Temps avant acid. (5)	Conservation échantillon (6)
		Rive (1)	Profondeur	Mode (2)				
10 janvier	11 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
03 février	13 h 50	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
27 février	11 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
24 mars	09 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
18 avril	14 h 35	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
11 mai	10 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
06 juin	15 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
30 juin	11 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
24 juillet	11 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 août	11 h 35	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
14 septembre	14 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
06 octobre	11 h 10	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
30 octobre	11 h 10	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
23 novembre	11 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 décembre	11 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C

- (1) **Lieu**: Port Ste Marie à 3m de la berge
(2) **Mode de prélèvement**: effectué directement dans un flacon décontaminé, à l'abri de l'atmosphère.
(3) **Décontamination** : 72 h à HNO₃ Suprapur[®] à 50°C, 1,5N.
(4) **Filtration** : filtres polycarbonates, 0,2µm.
(5) **Temps avant acidification** : l'acidification, pour assurer la stabilisation chimique, se fait sur site
(6) **Acidification** de l'échantillon amené à pH 2 (HNO₃ Ultrapur[®]).

**Tableau 2b : Calendrier et protocole de prélèvement des eaux (Cd dissous)
de la Garonne à Port Sainte Marie**

Lot 2006 Temple/Lot		Prélèvement			Méthode décontam. (3)	Temps avant filtration (4)	Temps avant acid. (5)	Conservation échantillon (6)
		Rive (1)	Profondeur	Mode (2)				
4 janvier	10 h 25	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
10 janvier	12 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
27 janvier	10 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 février	11 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 mars	09 h 55	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
10 avril	18 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
5 mai	10 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
30 mai	10 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
23 juin	10 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
18 juillet	19 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
24 juillet	10 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 août	15 h 00	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
14 septembre	12 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
6 octobre	12 h 30	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
30 octobre	12 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
23 novembre	13 h 50	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C
21 décembre	12 h 15	droite	0,25 m	flacon	TGM	< à 2 min.	< à 1 heure.	4 °C

- (1) Lieu: Barrage de Temple sur Lot à 3m de la berge
(2) Mode de prélèvement : effectué directement dans un flacon décontaminé, à l'abri de l'atmosphère.
(3) Décontamination : 72 h à HNO₃ Suprapur[®] à 50°C, 1,5N.
(4) Filtration : filtres polycarbonates, 0,2µm.
(5) Temps avant acidification : l'acidification, pour assurer la stabilisation chimique, se fait sur le site
(6) Acidification de l'échantillon amené à pH 2 (HNO₃ Ultrapur[®]).

**Tableau 2c : Calendrier et protocole de prélèvement des eaux (Cd dissous)
du Lot à Temple sur Lot**

1.3. - Méthodologie d'échantillonnage et d'analyse des eaux et des matières en suspension (MES)

1.3.1. Protocole de prélèvement des échantillons

1.3.1.1. Mesure des turbidités

Les prélèvements à Temple sur Lot (figure 1) ont été réalisés à l'aide d'un préleveur automatique SIGMA 900 programmé pour réaliser un prélèvement toutes les 3 heures. Les 8 prélèvements de 120 ml sont collectés dans un flacon de 1 litre pour obtenir un échantillon journalier. Le mode d'échantillonnage automatique a permis de disposer d'un échantillon journalier représentatif notamment en période de crue sur le Lot.

Sur la Garonne à La Réole et à Port Sainte Marie, les prélèvements journaliers ont été effectués manuellement comme les années précédentes.

La charge en MES a été évaluée par filtration (filtre Durieux, fibre de verre, porosité 0,7 µm) et pesée.

1.3.1.2. Le cadmium dissous

Le prélèvement d'eau ponctuel réalisé selon le calendrier (tableaux 2a à 2c) se fait à l'aide d'une perche de prélèvement en PVC et en aluminium avec un embout en polypropylène sur lequel se fixent les flacons de 100 ml en polypropylène décontaminé (72 heures HNO₃ Suprapur[®] 1,5N). L'échantillon liquide est immédiatement transféré dans le laboratoire mobile (Ford Transit) pour y être filtré sur membrane en acétate de cellulose de 0,2µm, et acidifié à pH 2 par adjonction de HNO₃ 1/1000 (Ultrapur[®]).

1.3.1.3. Le cadmium particulaire

Pour réaliser une analyse géochimique précise du Cd particulaire, des pompages « gros » volumes (de 40 à 80 litres) sont réalisés selon le calendrier (tableaux 2a à 2c) afin d'obtenir un échantillon suffisamment représentatif. Les MES sont récupérées par centrifugation (12000 g) à l'aide d'un séparateur (Wesfalia Separator) assurant un taux de récupération de l'ordre de 99 % pour un débit de l'ordre de 65 litres à l'heure. Après homogénéisation des MES, les particules sont séchées à 45 °C et stockées jusqu'à l'analyse.

Il a été vérifié antérieurement que la pollution engendrée par ce matériel peut être considérée comme négligeable pour les éléments analysés [Etcheber H. et Jouanneau J.M., 1980 : *Comparison of the different methods of recovery of suspended matter from estuarine waters: deposition, filtration, centrifugation. Consequences for the determination of some heavy metals. Est. Coast. Mar. Sci., London, II (6), 701-707*]. De plus, une étude comparative a permis de confirmer l'intérêt de l'utilisation de cette méthode d'échantillonnage de MES en milieu fluvial. [Lapaquellerie, Y., Maillet, N., Schäfer, J. et Blanc, G., 2000 : *Etude comparative de deux méthodes de récupération de MES : Pièges à particules et pompage-centrifugation (Garonne, Dordogne, Isle, Charente, Adour, Gaves), rapport technique convention N° 3001351-19333, Agence de l'Eau Adour-Garonne, Toulouse*].

1.3.2. Protocole d'analyse de Cd et précision des mesures

Toute manipulation d'échantillon est réalisée selon un protocole strict dans des conditions contrôlées (air filtré, produits chimiques de haute pureté, vaisselle propre...) afin d'éviter toute contamination de l'échantillon. Les échantillons solides secs sont broyés et homogénéisés dans un mortier en agate. Des aliquotes représentatifs de 30-50 mg sont prélevés dans des réacteurs en polypropylène. Les échantillons sont mis en solution par une attaque tri-acide (HNO₃, HCl et HF, qualité suprapur[®]) et repris par 10 ml de HNO₃ Ultrapur[®] (1%, dans eau Milli-Q[®]).

1.3.2.1. Protocole d'analyse du cadmium

Les analyses de la concentration en Cd dans les échantillons liquides (eaux de rivière et les solutions résultantes des attaques acides dans une matrice de HNO₃ 1%) sont effectuées par spectrométrie de masse après ionisation par plasma couplé (ICP-MS Thermo X7). Pour cela, les échantillons sont aspirés et nébulisés dans une torche en quartz générant un plasma d'Argon (ICP), celui-ci induit l'ionisation des éléments par transfert d'énergie (par collision). Les ions traversent ensuite une interface en nickel par des orifices de diamètre 1 mm. Son rôle est d'extraire les ions de la torche (T=8000 K, P atm) vers le spectromètre de masse (MS) par un vide permanent (P=10⁻⁶ torr). Les ions traversent des lentilles polarisées (réglées dans notre cas pour l'analyse de cations), puis le spectromètre de masse quadripôle discrimine les isotopes par déviation de leur trajet dans un champ électromagnétique de haute fréquence, en fonction de leur rapport masse sur charge. Le détecteur enregistre le nombre d'ions d'un isotope ayant traversé le spectromètre. L'ICP-MS est réglé en mode Peak-Hop : la mesure de chaque élément est la moyenne de 21 lectures sur 3 dosages successifs.

La sensibilité de l'appareil est ajustée à l'aide d'une solution connue de 1 µg.l⁻¹ d'isotopes couvrant une large gamme de masse (²⁴Mg, ¹¹⁵In et ^{207, 208}Pb), le bruit de fond est mesuré à la masse 220. Le taux d'oxydes et le taux d'ions doublement chargés sont également vérifiés pour ne pas excéder 1% lors de tous les dosages.

Une calibration externe est réalisée. Une solution mère a été préparée pour notre étude avec des solutions de concentrations connues (AccuTraceTM Reference standard) : Zn = 2500 µg.l⁻¹ ; V, Cu, Pb, Ni, Cr, Co = 500 µg.l⁻¹ ; Cd, Sn, Mo = 50 µg.l⁻¹. Une gamme d'étalonnage comprenant neuf concentrations a été utilisée. Les neuf concentrations ont été obtenues en diluant la solution mère de la façon suivante : 10000 fois (Cd=0,005 µg.l⁻¹), 5000 fois (0,01 µg.l⁻¹), 2500 fois (0,02 µg.l⁻¹), 1000 fois (0,05 µg.l⁻¹), 400 fois (0,125 µg.l⁻¹), 200 fois (0,25 µg.l⁻¹), 100 fois (0,50 µg.l⁻¹), 50 fois (1,0 µg.l⁻¹) et 25 fois (2,0 µg.l⁻¹). Les droites de calibration ont permis de déterminer la concentration des éléments métalliques avec un coefficient de régression supérieur à 0,9995. De plus, un étalon est intercalé tous les 5 échantillons. La mesure de ces étalons permet de déterminer et contrôler la dérive de la sensibilité de l'appareil. Des blancs d'attaques sont mesurés pour ensuite être soustraits de nos valeurs de concentration.

1.3.2.2. Limite de détection et reproductibilité

La limite de détection pour un dosage direct d'eau de rivière est de 1 ng.l^{-1} (3σ ; intervalle de confiance de 95%). La reproductibilité est de l'ordre de 5% pour des concentrations $>100 \text{ ng.l}^{-1}$ et inférieure à 10% pour des concentrations $< 100 \text{ ng.l}^{-1}$.

Pour les MES, l'attaque régulière des standards certifiés internationaux (NCS DC 78301, métaux traces dans sédiment de rivière, LKSD-4, sédiment de lac et/ou IAEA-405 sédiment d'estuaire) montre une erreur moyenne de la méthode analytique inférieure à 5% (typiquement 3%).

1.3.2.3. Justesse

La justesse de la mesure est vérifiée régulièrement par dosage des eaux de rivière certifiées (SLRS-4 et LGC6019) et des sédiments certifiés internationaux (NCS DC 78301, LKSD-4, IAEA-405). Pour des concentrations $>100 \text{ ng.l}^{-1}$, l'erreur d'analyse est inférieure à 5%. Pour des concentrations d'environ 10 ng.l^{-1} , la justesse d'analyse est de l'ordre de 10%.

1.4. - Détermination du carbone organique particulaire (COP)

La détermination du COP se fait par oxydation thermique de l'échantillon au four à induction après décarbonatation par HCl et une analyse par spectrométrie d'absorption infrarouge (LECO CS). La qualité des résultats est surveillée par le dosage d'un matériel de référence (LECO 501-503) et des intercalibrations [King, P., Kennedy, H., Newton, P.P., Jickells, T.D., Brand, T., Calvert, S., Cauwet, G., Etcheber, H., Head, B., Khripounoff, A., Manighetti, B. and Miquel, J. C., 1998 : *Analysis of total and organic carbon and total nitrogen in settling oceanic particles and a marine sediment: an interlaboratory comparison. Marine Chemistry, 60, 203-216.*].

1.5. - Paramètres physico-chimiques de l'eau

Les paramètres physico-chimiques essentiels de l'eau (température, conductivité, pH, Eh) sont mesurés au cours du prélèvement, (après étalonnage systématique à partir de solutions étalons) à l'aide d'appareils de terrain (sondes WTW portables).

Précision des mesures *in situ* :

Température	$\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$	pH	$\pm 0,01 \text{ degré pH}$
Conductivité	$\pm 2 \text{ } \mu\text{S.cm}^{-1}$	Oxygène dissous	$\pm 0,05 \text{ mg.l}^{-1}$
Eh	$\pm 2 \text{ mV}$		

2. - Méthode de calcul des flux

2.1. - Flux liquides

L'incertitude sur les flux liquides correspond à l'erreur commise sur le calcul du débit moyen journalier (Q_m) à partir de la courbe de tarage (relation hauteur/débit de la section jaugée). Cette incertitude est généralement évaluée à 5% de la valeur relative pour la partie interpolée de la courbe de tarage. L'incertitude augmente pour les forts débits.

2.2. - Flux de matières en suspension (MES)

Dans la Garonne à Port Sainte Marie et à La Réole, la concentration moyenne journalière (MES_m) correspond à la concentration en MES du prélèvement ponctuel journalier. Pour le Lot, au Temple sur Lot, la concentration moyenne journalière (MES_m) est égale à la moyenne des 8 prélèvements (fréquence de prélèvement : 3h) effectués sur la journée. Connaissant Q_m et MES_m , on obtient une bonne connaissance des flux de MES ($FMES_m$) journaliers. Le flux annuel de MES ($FMES$) est donc la sommation des flux journaliers selon l'expression:

$$FMES = \sum_{t=1}^{365} MES_m \times Q_m \times T_m \quad (\text{éq. 2})$$

avec $T_m=86400$ secondes

L'incertitude sur le flux correspond à la somme des incertitudes de la mesure des turbidités (MES_m) et du débit moyen journalier du fleuve Q_m :

$$\Delta FMES = \Delta MES + \Delta Q_m \quad (\text{éq. 3})$$

La variation relative des turbidités entre deux mesures, dans des conditions hydrologiques pour lesquelles la concentration en MES est considérée comme constante, n'excède pas 10%. L'erreur donnée par les services hydrologiques pour le débit moyen journalier Q_m est théoriquement inférieure à 5% pour des débits interpolés. L'erreur relative totale sur les flux de MES journaliers est de +/-15%. L'erreur sur le flux annuel est donc inférieure à +/-15% et est principalement constituée par les erreurs réalisées sur le calcul des flux journaliers de MES pendant les crues.

2.3. - Flux de COP, Cd dissous et Cd particulaire

2.3.1. - Méthode de calcul

La méthode de calcul est celle préconisée par M. Meybeck (Etablissement des flux polluants, décembre 1992, Rapport Inter Agences de l'Eau), citée dans le cas de l'hypothèse des teneurs constantes en constituants (COP et cadmium) associés aux MES.

2.3.2. - Principe

Il s'agit d'un bilan qui nécessite la connaissance des concentrations en MES avec une fréquence supérieure à celle des analyses de polluants. La teneur en polluant (x) des suspensions (C_{px_i}) est supposée constante autour de l'échantillon (i) analysé. Cette teneur constante est attribuée à la quantité de matières en suspension ($FMES_i$) écoulée entre deux analyses de polluants. Le flux de polluants autour de l'intervalle d'échantillonnage (i) est alors:

$$F_{px_i} = FMES_i \times C_{px_i} \quad (\text{éq. 4})$$

Le flux moyen annuel est:

$$F_{px_i} = \sum_i FMES_i \times C_{px_i} \quad (\text{éq. 5})$$

2.3.3. - L'incertitude sur la mesure des flux résulte de la somme des erreurs sur les flux solides et des variations possibles des concentrations en COP ou de cadmium entre deux mesures:

$$\Delta F_{px_i} = \Delta FMES + \Delta C_{p_i} \quad (\text{éq. 6})$$

2.3.4. - Utilisation. Cette méthode est applicable à condition de disposer d'un bilan satisfaisant de la distribution des concentrations en MES au cours de l'année, ce qui est le cas. En effet, les teneurs en polluants des MES sont relativement peu variables, les variations excèdent rarement un facteur 2 ou 3, alors que les MES varient toujours d'au moins un ordre de grandeur.

2^{ième} PARTIE

RESULTATS DES MESURES 2006

1. - Résultats des mesures pour l'année 2006

1.1. - Paramètres physico-chimiques de l'eau

Les résultats des mesures, *sur site*, de température, conductivité, oxygène dissous, pH et Eh sont reportés pour chaque site sur les tableaux 3a, 3b et 3c, face à ces valeurs sont également reportés les débits ainsi que les turbidités.

2006 Garonne La Réole	Température °C	Conductivité µS.cm ⁻¹	Oxygène mg.l ⁻¹	pH	Eh mV	Débits m ³ .s ⁻¹	Turbidités mg.l ⁻¹
10 janvier	5,6	335	12,4	7,86	232	349	9,3
03 février	5,2	267	13,0	7,73	190	1120	80,4
27 février	7,9	305	11,9	8,30	172	521	15,1
24 mars	11,6	306	10,3	8,14	151	877	35,5
18 avril	13,9	265	10,9	8,36	227	579	11,8
11 mai	17,9	273	9,2	7,42	126	407	52,2
06 juin	22,6	301	8,4	8,10	165	126	4,1
30 juin	26,0	280	8,3	8,10	195	140	6,6
24 juillet	29,4	269	8,5	8,14	226	81,1	10,6
21 août	23,8	268	7,5	8,27	104	108	5,0
14 septembre	23,4	293	6,9	7,38	192	120	12,6
06 octobre	19,5	314	9,3	7,98	198	236	22,9
23 novembre	12,9	300	12,8	8,00	163	377	3,2
21 décembre	6,3	336	11,7	8,21	174	329	43,3

Tableau 3a : Paramètres physico-chimiques de la Garonne à La Réole

2006 Garonne Port Ste Marie	Température °C	Conductivité µS.cm ⁻¹	Oxygène mg.l ⁻¹	pH	Eh mV	Débits m ³ .s ⁻¹	Turbidités mg.l ⁻¹
10 janvier	5,9	334	11,9	7,52	237	265	7,2
03 février	5,9	304	12,7	8,11	214	761	54,3
27 février	7,2	317	11,9	8,31	225	324	11,2
24 mars	12,0	331	11,1	8,16	131	526	37,0
18 avril	15,2	301	12,7	8,52	184	317	10,2
11 mai	16,1	300	14,2	7,21	91	271	169
06 juin	22,8	293	8,4	8,09	185	82,1	4,1
30 juin	26,4	294	8,2	8,00	200	94,3	6,6
24 juillet	28,6	315	8,3	8,24	211	48,9	3,0
21 août	24,2	286	7,6	8,28	117	65,4	3,0
14 septembre	24,0	319	6,4	6,73	293	103	12,6
06 octobre	18,5	358	8,2	7,52	180	132	11,3
30 octobre	16,0	352	10,0	7,87	153	157	17,9
23 novembre	12,6	300	12,5	8,00	147	283	3,2
21 décembre	5,9	313	10,8	8,12	218	166	43,3

Tableau 3b : Paramètres physico-chimiques de la Garonne à Port Ste Marie

2006 Lot Temple sur Lot	Température °C	Conductivité $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Oxygène mg.l^{-1}	pH	Eh mV	Débits $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$	Turbidités mg.l^{-1}
04 janvier	4,1	205	13,6	7,83	229	229	3,5
10 janvier	5,7	257	12,1	7,85	206	113	2,5
27 janvier	5,8	203	12,1	6,68	218	140	1,8
21 février	7,6	271	12,5	8,00	218	420	24,8
21 mars	8,6	245	11,3	8,19	265	264	4,6
10 avril	11,6	202	11,5	7,98	180	201	2,6
05 mai	17,8	227	8,5	8,01	163	56,1	0,9
30 mai	20,2	266	8,8	7,94	251	31,2	3,4
23 juin	24,3	239	6,7	7,79	171	25,4	34,3
18 juillet	31,2	195	15,0	9,28	249	118	3,1
24 juillet	28,8	227	6,6	7,65	260	28,0	39,5
21 août	25,0	183	4,9	7,71	166	26,4	2,7
14 septembre	24,6	208	8,9	7,53	192	17,3	3,5
06 octobre	19,3	294	8,3	7,60	180	76,7	1,9
30 octobre	16,0	231	7,5	7,98	167	40,2	2,2
23 novembre	12,4	244	9,3	8,00	164	110	2,8
21 décembre	7,3	306	10,4	8,06	193	153	3,2

Tableau 3c : Paramètres physico-chimiques du Lot à Temple sur Lot

1.1.1. Température

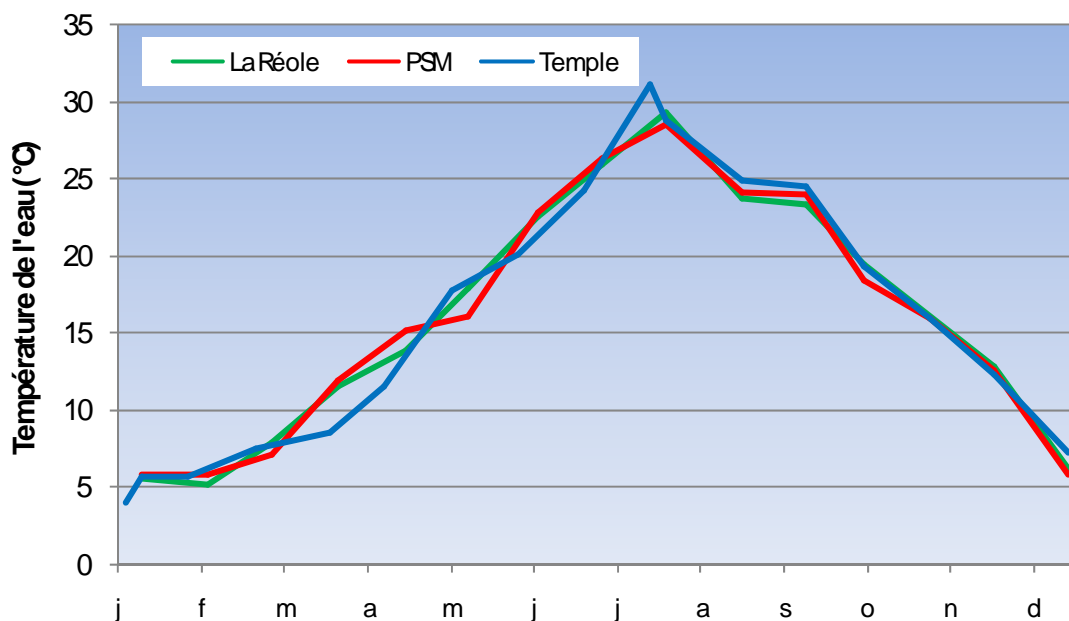


Figure 2a : Variations mensuelles de la température

Les variations mensuelles de la température de l'eau indiquent une très bonne concordance entre les eaux du Lot et celles de la Garonne (figure 2a). A partir du mois d'août, les températures chutent aussi bien dans la Garonne que dans le Lot pour atteindre respectivement un minimum hivernal moyen de 4-8°C. La moyenne annuelle des

températures (16°C) est supérieure à la moyenne de l'année 2005 (14-15°C selon les sites). Dès le début du mois de juin, les températures atteignent 20°C (similaire aux années précédentes 2003, 2004, 2005) contre 15°C en 2002 et les maxima sont mesurés en juillet avec des températures proches voire supérieures à 30°C selon les sites (valeurs non enregistrées depuis 2000). L'année 2006 est caractérisée par un étiage estival de juin à mi-septembre (juin-fin octobre en 2003).

1.1.2. Oxygène dissous

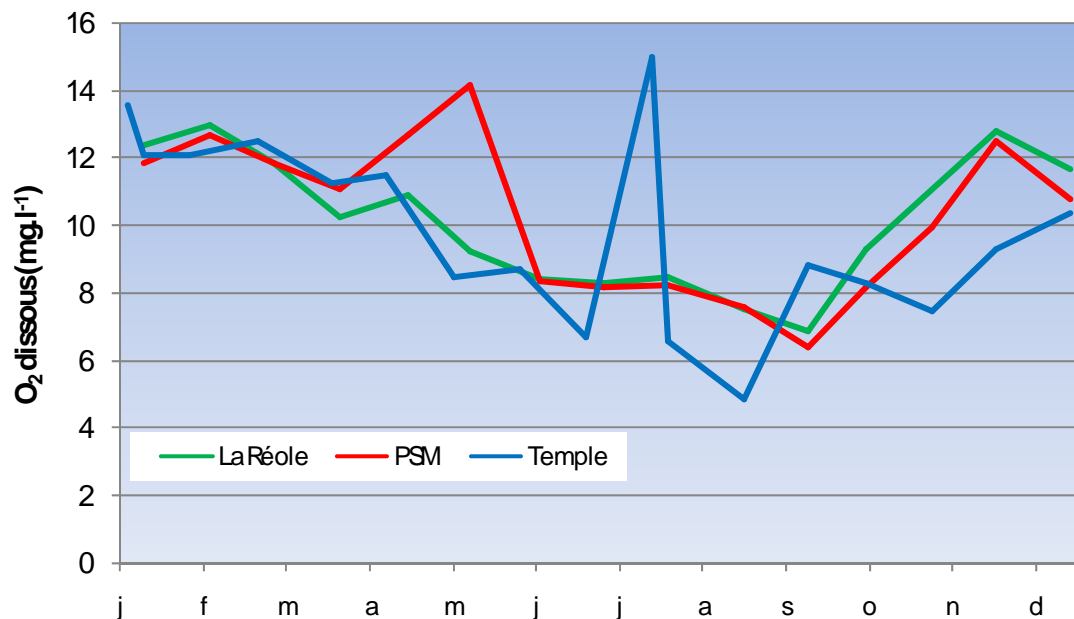


Figure 2b : Variations mensuelles des concentrations en oxygène dissous

Les eaux de la Garonne à La Réole et Port Sainte Marie montrent des variations mensuelles analogues (figure 2b). On observe des valeurs faibles en été liées aux températures élevées limitant la dissolution de l'oxygène avec un minimum observé en septembre (6,5-7 mg.l⁻¹) probablement lié à une consommation d'oxygène plus importante due à la dégradation de la matière organique produite pendant la période estivale. Les valeurs les plus élevées sont en période hivernale en adéquation avec les températures.

Pour le Lot, la désoxygénation des eaux a été plus marquée en relation avec les conditions de faibles débits (environ 20 m³.s⁻¹) et d'eau stagnante, en particulier au niveau du point de prélèvement, avec un niveau bas observé de 5 mg.l⁻¹ correspondant à un taux de saturation de 59 % en août. Ce minimum fait suite à un maximum (15 mg.l⁻¹ correspondant à un taux de saturation de 110 %) observé en juillet qui semble indiquer une très forte

production de biomasse et d'oxygène dans l'eau de surface due à la photosynthèse. Cette hypothèse est soutenue par les fortes valeurs de pH et de COP mesurées pour la même période (figure 2c et figure 6).

1.1.3. pH

Le pH varie fortement, les valeurs sont comprises entre 6,7 et 9,3 autour d'une valeur moyenne de 8 (figure 2c) et l'évolution saisonnière est peu marquée pour les trois sites. On note à Temple un minimum absolu de 6,7 fin janvier et un maximum absolu de 9,3 mi-juillet. Cette valeur de pH coïncide avec un pic d'oxygène dissous correspondant à une très forte production de biomasse dans l'eau de surface due à la photosynthèse. En Garonne, on enregistre les mêmes variations sur les deux sites La Réole et Port Sainte Marie avec des valeurs minimales en mai et septembre. En septembre, la forte diminution des valeurs du pH correspond à la chute des concentrations en oxygène dissous liées à la dégradation de la matière organique associée à des faibles débits. Les organismes consomment de l'oxygène et produisent du CO₂, ce qui baisse le pH. Par contre en mai, la diminution du pH correspond à des valeurs fortes en oxygène dissous.

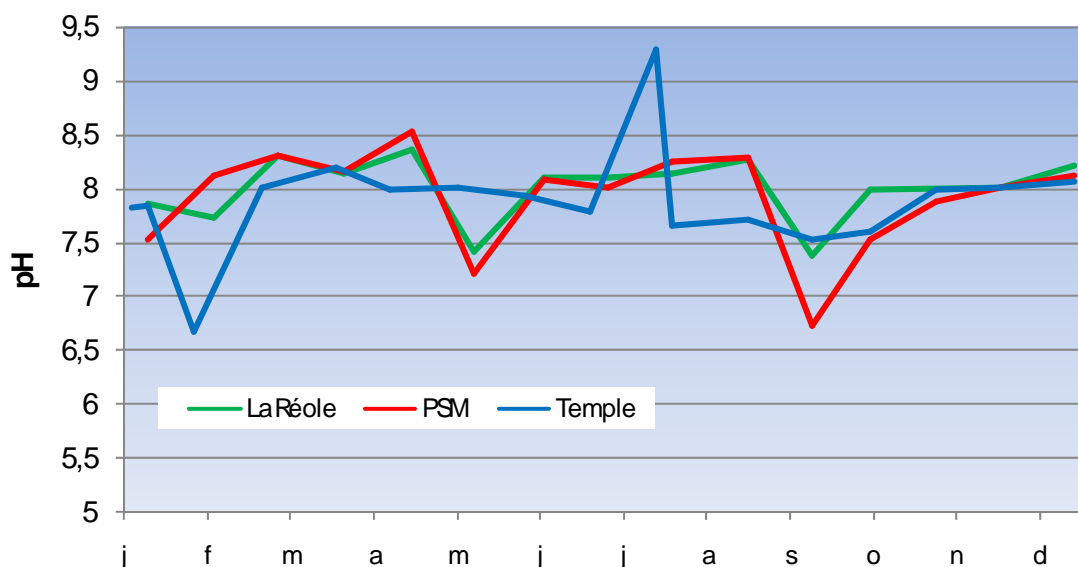


Figure 2c : Variations mensuelles du pH

1.1.4. Potentiel d'oxydo-réduction (Eh)

Les valeurs ponctuelles du Eh varient entre 90 et 300 mV pour les trois sites (figure 2d). L'enregistrement annuel est très variable pour les 3 sites, aucune tendance saisonnière n'est visible.

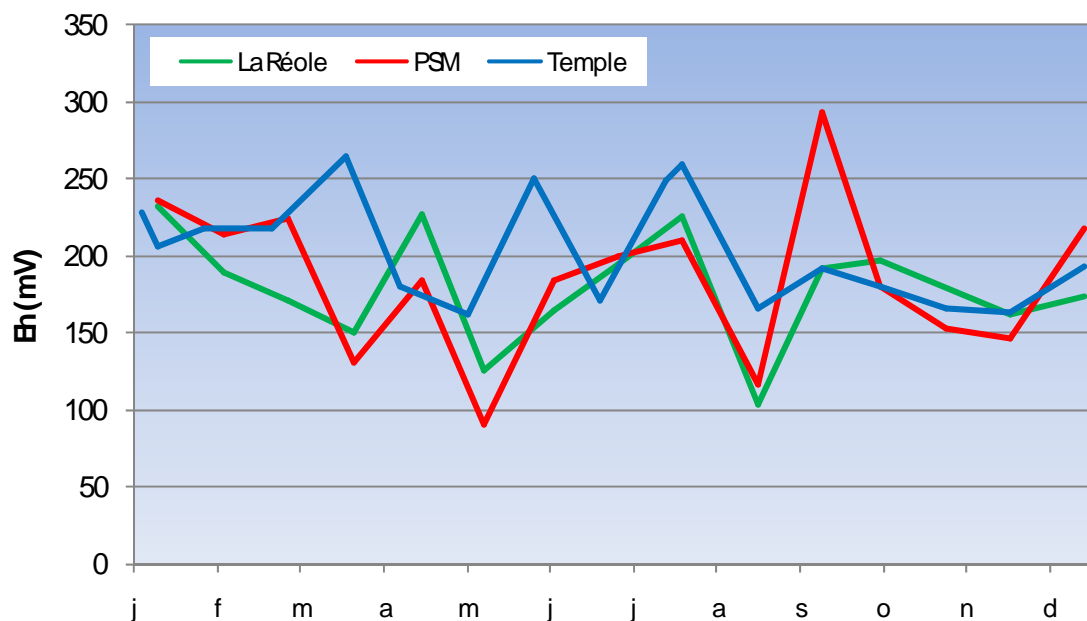


Figure 2d : Variations mensuelles du potentiel d'oxydo-réduction

1.1.5. Conductivité

Comme les années précédentes, les variations de la conductivité (figure 2e) au cours de l'année ne semblent pas indiquer de tendances particulières. Les valeurs varient de 260 à 360 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour la Garonne et de 180 à 300 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ pour le Lot. Les conductivités mesurées à Temple sont systématiquement inférieures et montrent une plus grande variabilité.

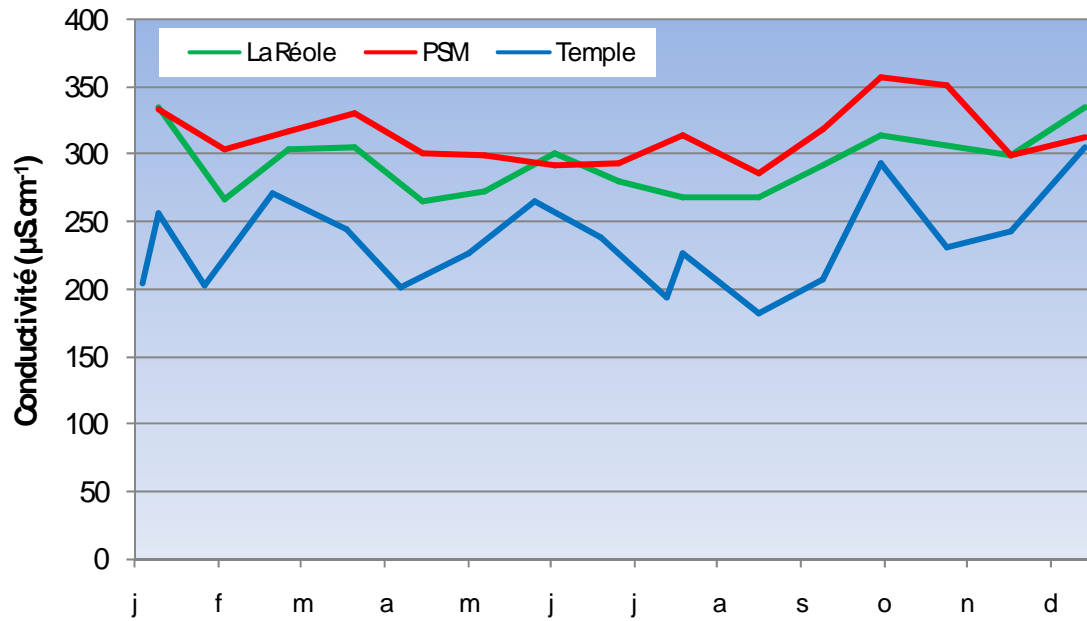


Figure 2e : Variations mensuelles de la conductivité

1.2. - Débits et turbidités journaliers de la Garonne et du Lot

Les débits liquides journaliers de la Garonne à Tonneins et ceux du Lot à Cahors (DIREN Midi-Pyrénées) et les turbidités quotidiennes sont reportés en Annexes. Les évolutions annuelles des débits et des concentrations en MES de la Garonne et du Lot sont reportées dans les figures 3a et 3b.

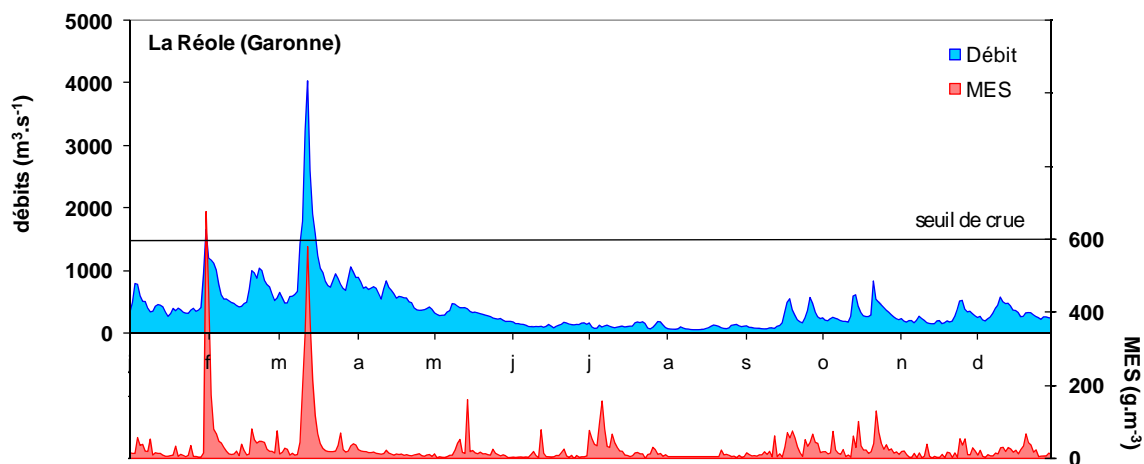


Figure 3a : Profil annuel des débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) et concentrations en MES ($\text{g}.\text{m}^{-3}$) de la Garonne à La Réole en 2006

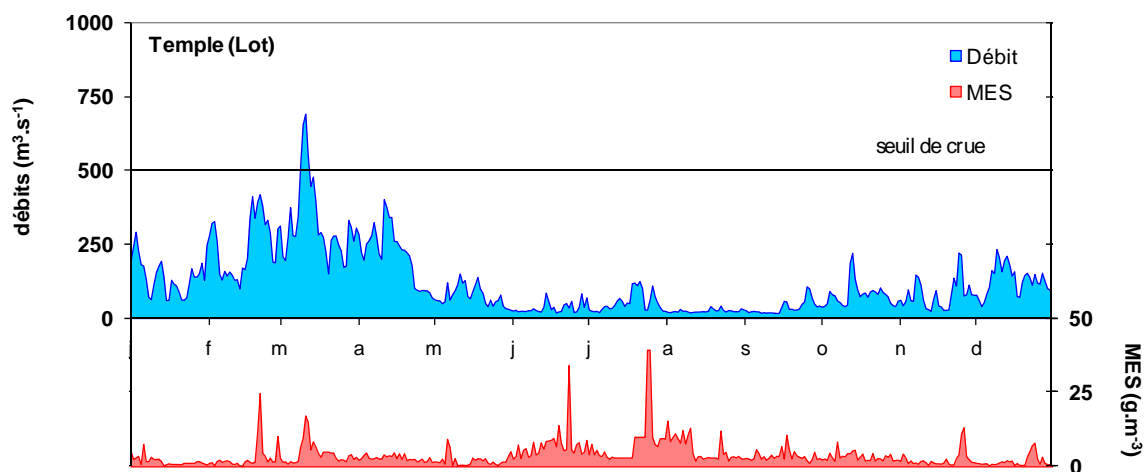


Figure 3b : Profil annuel des débits ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$) et concentrations en MES ($\text{g}.\text{m}^{-3}$) du Lot à Temple en 2006

1.2.1. Les débits moyens annuels

1.2.1.1. La Garonne à La Réole

Le débit moyen annuel calculé à partir de la base de données de la DIREN Midi-Pyrénées sur la période 1913-2006 est de $610 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. La valeur donnée par Nagy-Breitenstein (1993) sur la période 1883-1991 est de $647 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$. L'analyse des débits moyens interannuels montre que l'année 2006, avec un débit moyen de $389 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, est une année très sèche (figure 4a). En effet, depuis 1959 seules les années 1989, 1990 et 2005 étaient encore plus sèches (1989 : $302 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, 1990 : $317 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$, 2005 : $347 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$).

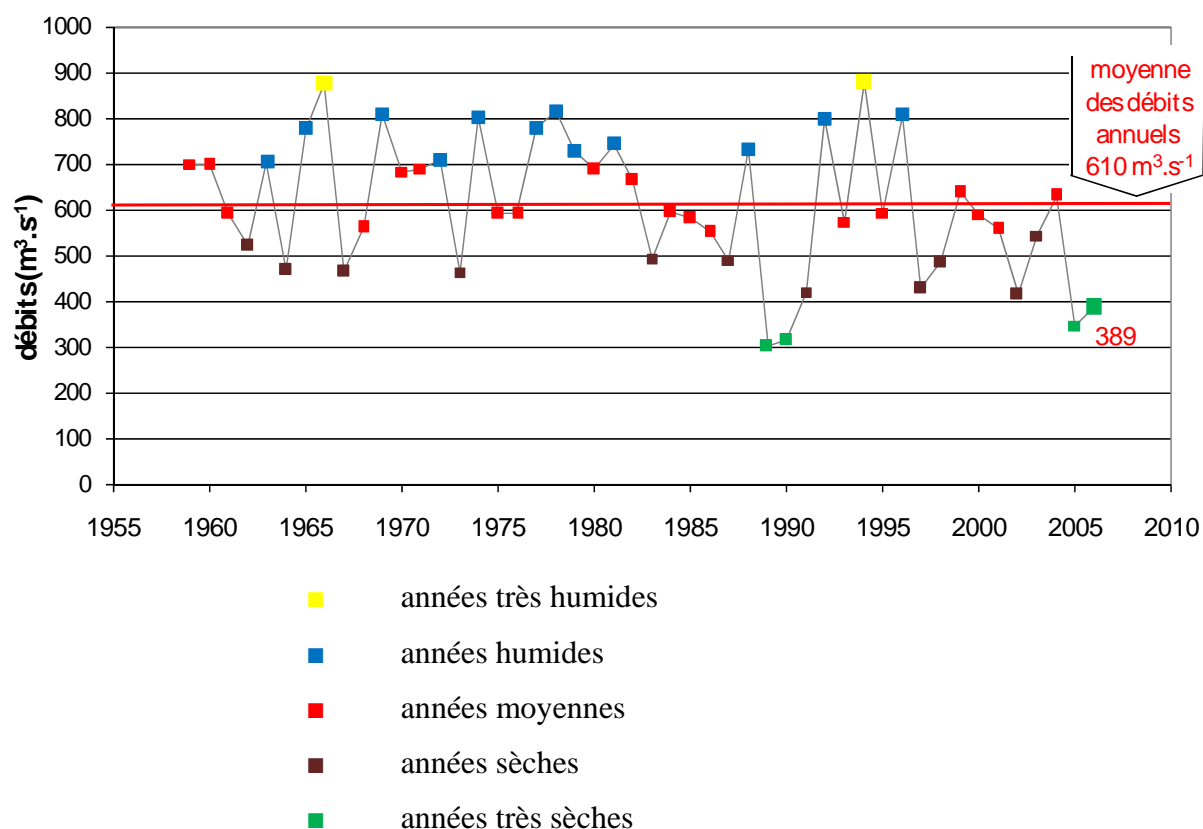


Figure 4a : Evolution des débits moyens annuels de la Garonne à La Réole de 1959 à 2006 (données DIREN Midi-Pyrénées).

1.2.1.2. Le Lot

La moyenne des débits annuels est de $165 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour la période 1973-2000 et de $143 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ pour la période 1989-2006. La valeur donnée par Mignot (1971) est de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En 2006, le débit moyen annuel du Lot à Villeneuve est de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (figure 4b), ce qui classe cette année comme sèche. A noter que pour des raisons techniques la DIREN ne nous transmet plus les données de la station de Villeneuve/Lot mais celles de Cahors. Les débits de la station de Villeneuve/Lot (utilisés pour notre site du Temple) sont calculés à partir d'une relation statistique fournie par la DIREN :

$$\log(Q_{\text{villeneuve}}) = 0,908 \log(Q_{\text{cahors}}) + 0,251 \quad (n = 9201 ; r = 0,94)$$

$Q_{\text{villeneuve}}$: débit moyen journalier à Villeneuve/Lot

Q_{cahors} : débit moyen journalier à Cahors

La répartition des 18 dernières années dans les différentes classes suit une distribution normale. Sous réserve d'éventuelles petites erreurs liées aux changements du mode d'estimation de débits par la DIREN, les données suggèrent que 2006 est proche du débit annuel moyen de 2003.

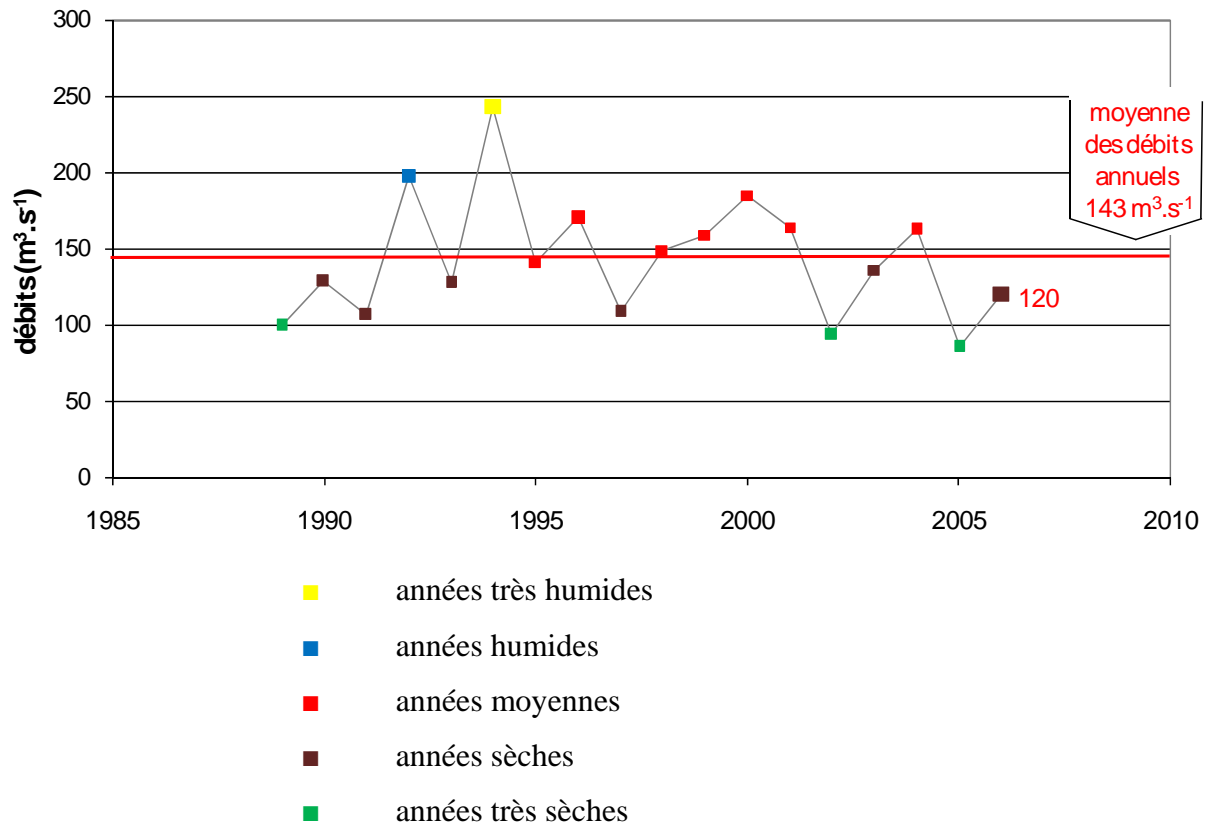


Figure 4b : Evolution des débits moyens annuels du Lot à Temple de 1989 à 2006 (données Diren Midi-Pyrénées).

1.2.2. Les principales crues de la Garonne et du Lot

1.2.2.1. La Garonne

Les variations des débits et des MES sont reportées figure 5. Si l'on considère que le fleuve est en régime de crue au-dessus de $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, on enregistre 2 crues en 2006 à La Réole en période hivernale. Le nombre total de jours de crue avec un débit supérieur à $1500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ est de 7 jours en 2006, la répartition chronologique est la suivante :

➤ le 31 janvier (figure 5 a) avec un débit de $1660 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ et une concentration en MES de $680 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$.

➤ du 10 au 15 mars (figure 5 b) avec un maximum de débit moyen journalier de $4040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 12 mars et une concentration en MES de $580 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ le même jour. La durée de la crue est de 6 jours.

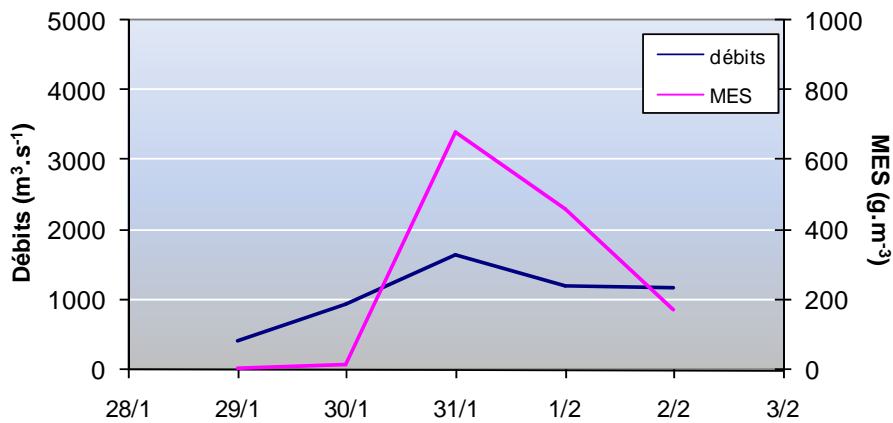


Figure 5a : Crue de la Garonne le 31 janvier (La Réole)

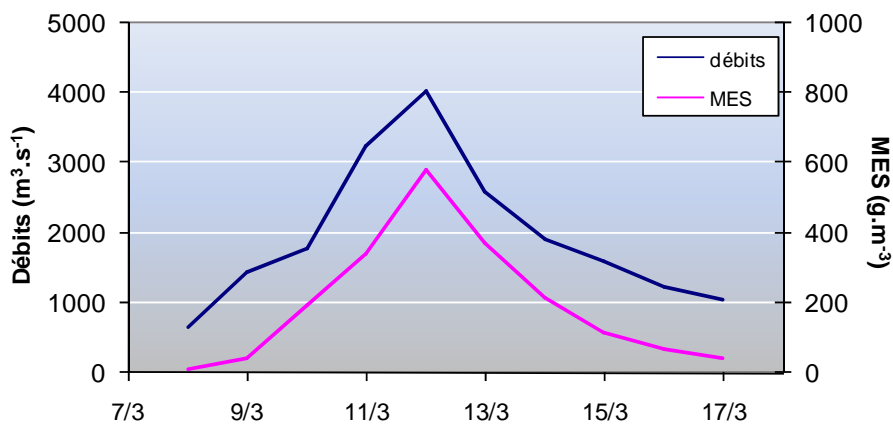


Figure 5b : Crue de la Garonne en mars (La Réole)

L'année 2006 est caractérisée par deux périodes de crue, une de faible intensité légèrement supérieure à la limite de crue mais avec forte concentration en MES (31 janvier, $1660 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, $680 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$) et la seconde crue de forte intensité ($4040 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) et fortes concentrations en MES ($580 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$).

1.2.2.2. Le Lot

Les variations des débits et des MES sont reportées figure 3b. Si l'on considère que le fleuve est en régime de crue au-dessus de $500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, en 2006 une seule crue est enregistrée à Temple.

➤ du 9 au 12 mars (figure 5 c) avec un maximum de débit moyen journalier de $694 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ le 12 mars et une faible concentration en MES de $17,2 \text{ g} \cdot \text{m}^{-3}$ le même jour. La durée de la crue est de 4 jours.

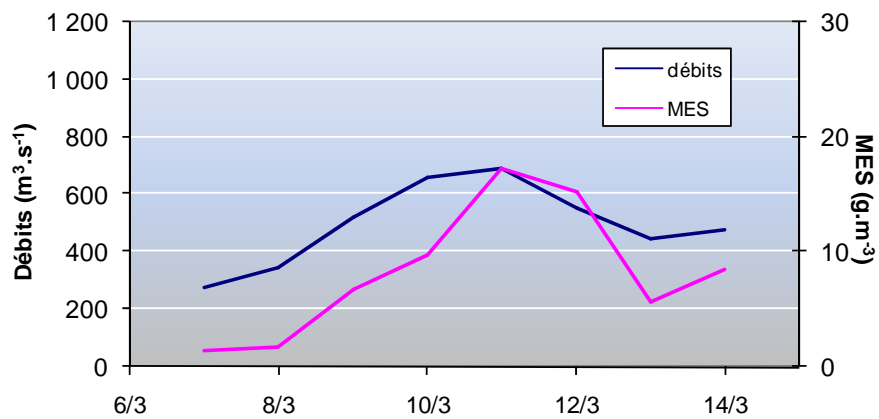


Figure 5c : Crue du Lot en mars (Temple)

En résumé, l'année 2006 est légèrement moins sèche que 2005 (année très sèche). Si l'étiage d'été est moins long que celui de 2003, les valeurs minimales de débits et de concentrations en MES sont similaires.

Les débits

- **dans la Garonne**, le débit moyen annuel de $389 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ qualifie l'année 2006 de très sèche. L'année est caractérisée par un étiage estival nettement plus long que celui de l'année 2005, avec 44 jours à moins de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ entre juin à septembre (contre 24 jours en 2005). Le débit minimum enregistré en 2006 ($54 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) est similaire que celui enregistré en 2005 ($53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). L'augmentation légère du débit annuel par rapport à l'année précédente est attribué à un niveau de début plus élevé en printemps et notamment à la crue de mars (moyenne intensité, durée 6 jours).

- **dans le Lot**, le débit moyen annuel de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ qualifie l'année 2006 de sèche, alors que 2005 était très sèche ($89 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). L'étiage estival est aussi prononcé qu'en 2005, avec 12 jours à moins de $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ contre 11 jours en 2005. Le débit minimum ($16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) est également similaire à celui de l'étiage 2005 ($16 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). Toutefois, le nombre de jours (79 jours = 21% du temps) avec des débits inférieurs à $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ semble très élevé est suggère un manque d'eau sévère entre juin et septembre. Si l'année 2005 ne montrait aucun jour de crue en 2006 une seule crue (faible intensité, durée 4 jours) a été observée dans le Lot.

Les MES

- **dans la Garonne :**

Les concentrations en MES montrent des valeurs faibles avec une moyenne de $28,7 \text{ g.m}^{-3}$, reflétant la situation hydrologique exceptionnelle de 2006. L'été estival a été associé à une période de très faibles turbidités bien inférieures à 10 g.m^{-3} jusqu'à des valeurs inférieures à 3 g.m^{-3} .

- **dans le Lot :**

Les concentrations en MES étaient très faibles pendant toute l'année avec une moyenne de $3,9 \text{ g.m}^{-3}$ et une valeur maximale de 40 g.m^{-3} . Comme l'année précédente, l'été estival a été associé à une période de très faibles turbidités, nettement inférieures à 10 g.m^{-3} (valeur minimale : $0,2 \text{ g.m}^{-3}$).

Que ce soit la Garonne ou le Lot, les concentrations en MES sont très faibles et assez similaires à celles observées en 2005 en raison de l'absence d'évènements de très fortes intensités.

1.3. - Les concentrations (COP, Cd particulaire et dissous)

1.3.1. - Le carbone organique particulaire (COP)

1.3.1.1. Précision des mesures

Les concentrations en COP (en %) sont reportées dans le tableau 4. L'incertitude de la mesure est de 5%.

1.3.1.2. Variations mensuelles

Les variations mensuelles du COP (figure 6, tableau 4) montrent que le niveau des concentrations en COP est généralement plus élevé dans le Lot que dans la Garonne. Le comportement du COP est identique pour les 2 sites de la Garonne. Des valeurs élevées (proche de 11%) ont été mesurées dans le Lot pendant l'été et correspondent à une production de biomasse phytoplanctonique par photosynthèse. Cette tendance est notable dès le début du mois d'avril et perdure jusqu'à fin octobre.

Les teneurs en COP et les tendances observées sont similaires aux données acquises en 2005. Le fort ensoleillement, les fortes températures, les faibles débits et les faibles concentrations en MES d'été 2006 ne semblent pas avoir eu d'impact particulier sur les teneurs en COP.

COP %	Garonne (La Réole)	Garonne (Port Ste Marie)	Lot (Temple)
4 janvier			5,40
10 janvier	4,40	4,40	4,80
27 janvier			8,10
3 février	3,40	3,50	
21 février			4,00
27 février	4,65	3,40	
21 mars			5,40
24 mars	2,40	3,65	
10 avril			7,70
18 avril	4,60	4,05	
5 mai			10,8
11 mai	2,30	2,70	
30 mai			6,45
6 juin	3,47	4,35	
23 juin			7,80
30 juin	3,50	3,75	10,7
24 juillet	2,80	4,40	7,50
21 août	4,10	4,25	6,50
14 septembre	4,10	3,35	8,30
6 octobre	2,90	2,70	7,60
30 octobre	3,73	2,70	6,75
23 novembre	3,75	3,90	4,20
21 décembre	3,50	3,40	4,40
Moyenne	3,60	3,65	6,85

Tableau 4: Concentrations en COP (%)

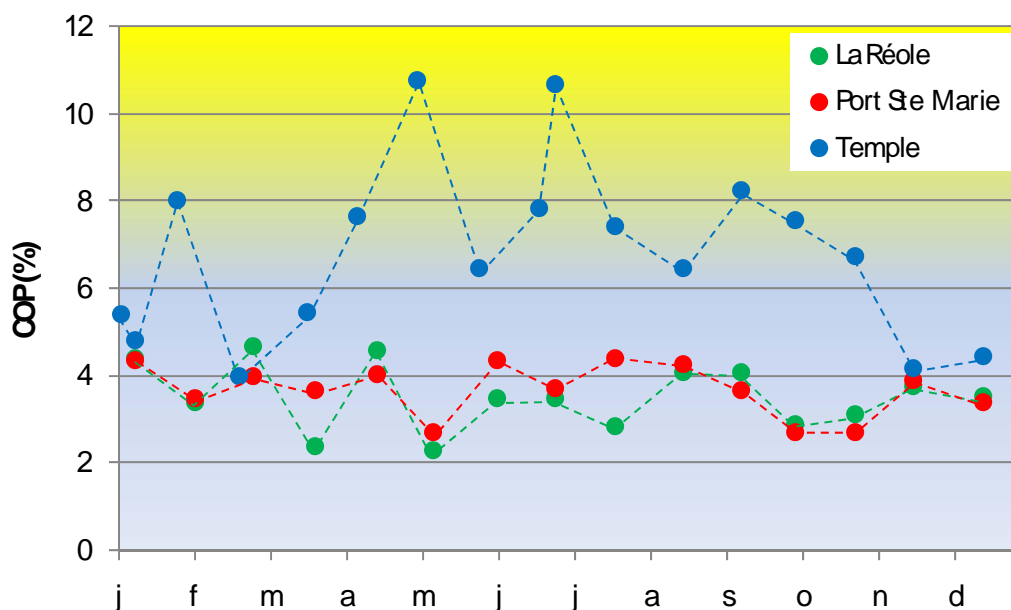


Figure 6 : Variations mensuelles du COP (%)

1.3.1.3. Valeurs moyennes

Les valeurs moyennes des concentrations en COP dans les MES du Lot et de la Garonne sont :

Concentrations moyennes en COP dans les MES	
Garonne (La Réole)	3,60 ± 0,20 %
Garonne (Port Ste Marie)	3,65 ± 0,20 %
Lot (Temple)	6,85 ± 0,35 %

1.3.2. - Le cadmium particulaire

1.3.2.1. Variations mensuelles

Les concentrations ponctuelles en Cd particulaire montrent des valeurs nettement plus élevées et variables dans le Lot (figure 7, tableau 5) que dans la Garonne comme c'est généralement le cas. Les concentrations à Port-Sainte-Marie et à La Réole sont comparables, avec toutefois des teneurs généralement supérieures à La Réole. Cette différence peut s'expliquer par les apports en Cd_{part} du Lot.

Les concentrations de 32 mg.kg⁻¹ en mai à Temple puis en juin à La Réole (validées par trois analyses consécutives et indépendantes) semblent témoigner d'une pollution ponctuelle.

Nous ne pouvons pas exclure que les valeurs élevées à Temple peuvent éventuellement être liées aux travaux d'aménagement (navigation fluviale) en amont de Cahors.

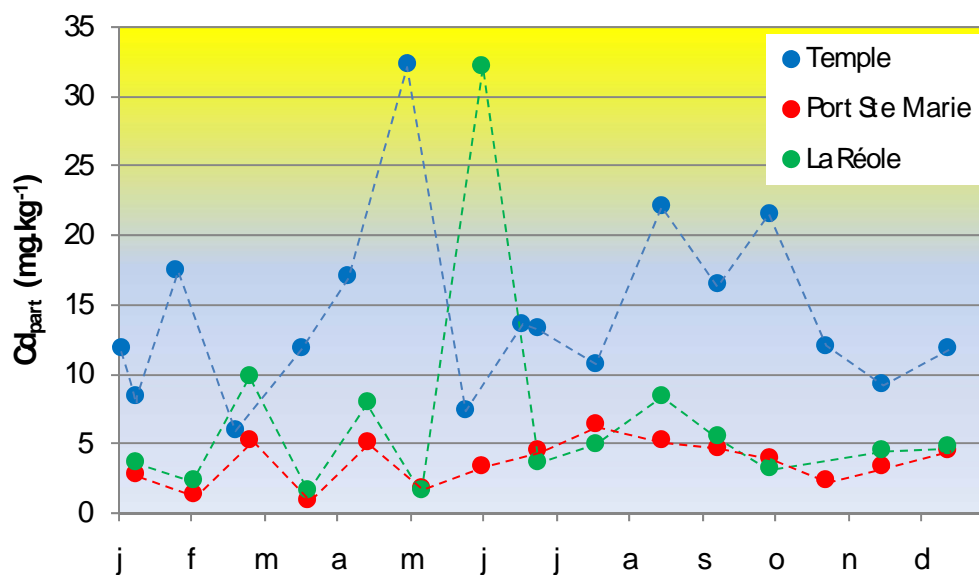


Figure 7 : Variations mensuelles des concentrations en Cd particulaire (en mg.kg⁻¹)

Cd particulaire mg.kg ⁻¹	Garonne (La Réole)	Garonne (Port Ste Marie)	Lot (Temple)
4 janvier			11,9
10 janvier	3,70	2,78	8,48
27 janvier			17,5
3 février	2,43	1,35	
21 février			6,02
27 février	9,86	5,27	
21 mars			11,9
24 mars	1,70	0,960	
10 avril			17,1
18 avril	8,02	5,09	
5 mai			32,3
11 mai	1,63	1,88	
30 mai			7,47
6 juin	32,2	3,40	
23 juin			13,6
30 juin	3,72	4,55	13,3
24 juillet	5,05	6,39	10,8
21 août	8,39	5,25	22,1
14 septembre	5,56	4,70	16,5
6 octobre	3,25	4,03	21,6
30 octobre		2,41	12,1
23 novembre	4,58	3,46	9,31
21 décembre	4,83	4,56	11,9
Moyenne	6,78	3,74	14,3

Tableau 5 : Concentrations en cadmium particulaire (en mg.kg⁻¹) dans les MES.

1.3.2.2. Valeurs moyennes

Le niveau général des concentrations suggère une nette diminution par rapport aux valeurs de 2005 dans la Garonne. La concentration moyenne en Cd de la Garonne en 2006 a diminué de 40 % pour la Garonne amont (Port Sainte Marie) et de 35 % à La Réole. Toutefois, on retrouve le niveau de concentration mesuré depuis 1990 puisque seules les années 2003, 2004, 2005 présentent des concentrations en Cd particulière proches de 10 mg.kg^{-1} . A Temple, la moyenne est comparable à celle de l'année précédente (2005 : $12,8 \text{ mg.kg}^{-1}$) et montre une baisse respectivement de 20% et 35% comparé à la moyenne des années 2004 et 2003.

Concentrations moyennes en Cd particulaire

Garonne (La Réole)	$6,78 \text{ mg.kg}^{-1}$
Garonne (Port Ste Marie)	$3,74 \text{ mg.kg}^{-1}$
Lot (Temple)	$14,3 \text{ mg.kg}^{-1}$

1.3.3. - Le cadmium dissous

1.3.3.1. Variations mensuelles

Les variations mensuelles en Cd_{diss} sont relativement peu variables et similaires sur les trois sites d'avril à novembre (tableau 6, figure 8). Sur le Lot, on observe de plus fortes concentrations en Cd_{diss} en début et en fin d'année. A l'inverse, dans la Garonne on peut noter des concentrations plus élevées en période estivale. En été, les concentrations dans la Garonne (La Réole et Port Sainte Marie) sont même supérieures à celles du Lot, suggérant des apports non négligeables du bassin amont de la Garonne.

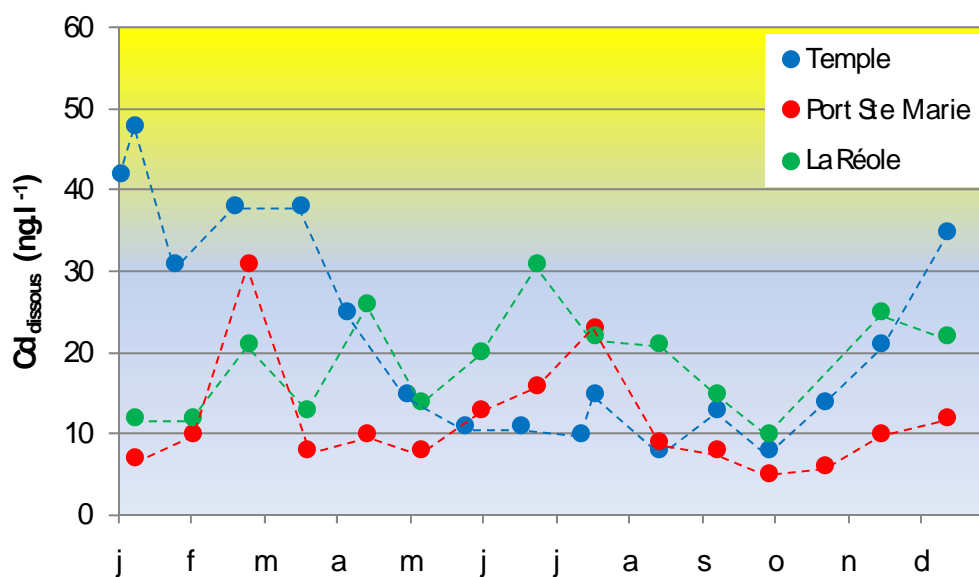


Figure 8 : Variations mensuelles des concentrations en Cd dissous (en ng.l⁻¹)

Cd dissous ng.l ⁻¹	Garonne (La Réole)	Garonne (Port Ste Marie)	Lot (Temple)
4 janvier			42
10 janvier	12	7	48
27 janvier			31
3 février	12	10	
21 février			38
27 février	21	31	
21 mars			38
24 mars	13	8	
10 avril			25
18 avril	26	10	
5 mai			15
11 mai	14	8	
30 mai			11
6 juin	20	13	
23 juin			11
30 juin	31	16	
18 juillet			10
24 juillet	22	23	15
21 août	21	9	8
14 septembre	15	8	13
6 octobre	10	5	8
30 octobre		6	14
23 novembre	25	10	21
21 décembre	22	12	35
Moyenne	19	12	22

Tableau 6 : Concentrations en cadmium dissous (en ng.l⁻¹)

1.3.3.2. Valeurs moyennes

La moyenne des valeurs ponctuelles en Cd_{diss} dans le Lot montre un niveau similaire à 2005 ce qui représente une baisse de 50% par rapport aux années 2001, 2002, 2003, 2004. La moyenne des concentrations dans le Lot est comparable à celle à La Réole et deux fois supérieure à celle de la Garonne à Port-Sainte-Marie.

Concentrations moyennes en Cd dissous

Garonne (La Réole)	19 ng.l ⁻¹
Garonne (Port Ste Marie)	12 ng.l ⁻¹
Lot (Temple)	22 ng.l ⁻¹

2. - Les Flux

2.1. - Les flux liquides et les flux de matières en suspension

2.1.1. Incertitudes

Habituellement, le débit moyen journalier est donné avec une incertitude théorique de l'ordre de 5 % pour les débits interpolés. Les écarts de concentrations en MES entre deux mesures, qui ne dépassent pas 10 % de variation relative, permettent d'estimer la variabilité due au prélèvement. L'erreur sur le calcul de la concentration en MES est très faible (< 1%). Ainsi, l'incertitude sur les flux mesurés peut être estimée comme inférieure à 15 %.

Pour l'incertitude sur le calcul des flux annuels, De Vries et Klavers (1994) ont montré par simulation que la précision des flux tend vers 5% (avec une incertitude sur la mesure des concentrations en MES de 15% et de 5% pour les débits) quand la fréquence d'échantillonnage augmente et dépasse les 200 échantillons par an (figure 9).

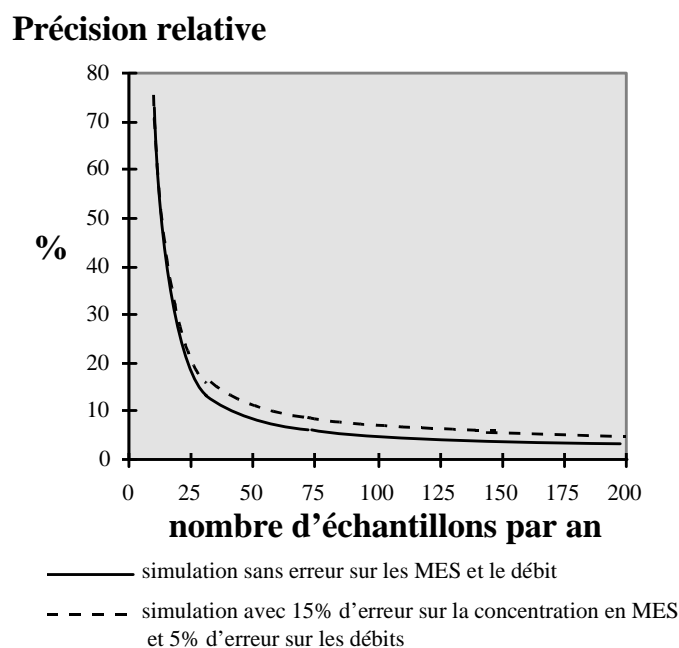


Figure 9 : Relation entre fréquence de prélèvements et précision de l'estimation des flux annuels (simulation de Monte-Carlo, d'après DeVries et Klavers, 1994)

Sur la base de données réelles obtenues sur la Garonne à La Réole, il a déjà été montré qu'une précision de +/-5% peut être atteinte avec un échantillonnage quasi journalier (Maneux et al., 2000). Dans cette étude, l'incertitude de la mesure des MES sur le Lot et la Garonne est de l'ordre de 10% et l'échantillonnage est journalier. On estime donc que l'incertitude sur les flux de MES est bien de l'ordre de 5%. En conséquence, pour les flux de COP, de Cd dissous et particulaire, l'erreur de mesure étant de l'ordre de 5%, l'erreur sur le flux peut être estimée, en condition normale de débit, à 10%.

2.1.2. Résultats

Les flux liquides et les flux de MES calculés pour l'année 2006 sont reportés ci-après :

Année 2006	Flux liquides ($km^3.an^{-1}$)	Flux de MES ($10^6.t.an^{-1}$)
Garonne (La Réole)	12,3 ± 0,61	0,900 ± 0,045
Garonne (P. Ste Marie)	7,83 ± 0,40	0,869 ± 0,043
Lot (Temple)	3,79 ± 0,19	0,015 ± 0,0007

On note que les bilans des flux liquides et les flux de MES sont cohérents. Le flux de MES en Garonne est essentiellement régi par l'apport de Port Ste Marie, le flux de MES à Temple étant très faible. A Temple, le flux de MES 2006 est identique à celui 2005 par contre en Garonne le flux 2006 est 4 fois (La Réole) à 8 fois (Port Ste Marie) supérieur au flux 2005.

2.2. - Les flux de carbone organique particulaire (COP)

2.2.1. Incertitude

L'incertitude sur les flux de COP intègre l'incertitude sur les flux de MES, l'erreur d'analyse qui est faible et surtout l'erreur faite en estimant constante la concentration entre deux prélèvements. Cette dernière est évaluée en erreur relative à 10% à Temple, 10% à Port Sainte Marie et 13% à La Réole.

2.2.2. Résultats

Les flux de COP mesurés sont les suivants : 38 300 t.an⁻¹ à La Réole, 35 200 t.an⁻¹ à Port Ste Marie et 890 t.an⁻¹ au Temple.

Année 2006	Flux de COP (t.an⁻¹)
Garonne (La Réole)	38 300 ± 3 830
Garonne (Port Ste Marie)	35 200 ± 3 520
Lot (Temple)	890 ± 90

Cette année, similaire aux niveaux des flux de COP en 2002, se caractérise par des flux quasi-identiques en Garonne amont et aval en tenant compte de la marge d'erreurs et des flux de COP très faibles sur le Lot.

Le bilan des flux de COP est équilibré.

2.3. - Les flux de cadmium

Les flux annuels en Cd particulaire à Temple sur Lot sont en 2006 de 0,171 t.an⁻¹, valeur proche du flux 2005 (0,190 t.an⁻¹). Dans la Garonne à La Réole, il est de 1,79 t.an⁻¹, légèrement supérieur à la valeur 2005 (1,35 t.an⁻¹). A Port Sainte Marie, le flux calculé est de 1,83 t.an⁻¹ soit 1,6 fois plus que pour l'année 2005 (0,829 t.an⁻¹). Ceci concorde avec l'observation des fortes concentrations en Cd dissous en été à La Réole et Port Ste Marie. En tenant compte de l'estimation des incertitudes, le flux de Cd particulaire présente un bilan équilibré.

Les flux annuels en Cd dissous sont en 2006 de 0,108 t.an⁻¹ à Temple sur Lot, de 0,105 t.an⁻¹ à Port Sainte Marie et de 0,211 t.an⁻¹ à La Réole. Le Cd dissous présente un bilan parfaitement équilibré pour l'année 2006.

Année 2006	Flux de Cd particulaire (t.an⁻¹)	Flux de Cd dissous (t.an⁻¹)	Flux de Cd total (t.an⁻¹)
Garonne (La Réole)	1,79 ± 0,18	0,211 ± 0,021	2,00 ± 0,20
Garonne (P. Ste Marie)	1,83 ± 0,18	0,105 ± 0,010	1,93 ± 0,19
Lot (Temple)	0,171 ± 0,02	0,108 ± 0,011	0,280 ± 0,03

3 - Conclusions

Les résultats principaux (valeurs moyennes annuelles) sont rassemblés dans le tableau 7. Les flux liquides, de MES, de COP et de Cd particulaire et dissous montrent des valeurs faibles qui s'expliquent par un niveau hydrique faible (étiage prononcé) en 2006. Comme pour l'année 2005, les flux de cette année ne peuvent pas être utilisés pour évaluer une éventuelle tendance pluri-annuelle.

Flux et concentrations	Garonne (La Réole)	Garonne (P. Ste Marie)	Lot (Temple)
<i>Débits moyens ($m^3.s^{-1}$)</i>	389	248	120
Flux liquide ($km^3.an^{-1}$)	12,3	7,83	3,79
<i>Conc. moyennes MES ($g.m^{-3}$)</i>	28,7	31,3	4,0
<i>Conc. pondérées MES ($g.m^{-3}$)</i>	73,2	111	4,0
Flux de MES ($10^6 t.an^{-1}$)	0,900	0,869	0,015
<i>Conc. moyennes COP (%)</i>	3,60	3,65	6,85
<i>Conc. pondérées COP (%)</i>	4,25	4,05	5,95
Flux de COP ($t.an^{-1}$)	38 345	35 215	891
<i>Conc. moyennes Cd particulaire ($mg.kg^{-1}$)</i>	6,78	3,74	14,3
<i>Conc. Cd particulaire pondérées des flux de MES ($mg.kg^{-1}$)</i>	1,61	2,10	11,4
Flux Cd part. ($t.an^{-1}$)	1,79	1,83	0,171
<i>Conc. moy. Cd dissous ($ng.l^{-1}$)</i>	19	12	22
<i>Conc. Cd dissous pondérées des flux liquides ($ng.l^{-1}$)</i>	17	13	28
Flux Cd dissous ($t.an^{-1}$)	0,211	0,105	0,108
Flux Cd total ($t.an^{-1}$)	2,00	1,93	0,280

Tableau 7 : Compilation des principaux résultats (2006)

3^{ième} PARTIE

SYNTHESE 1990 – 2006 : BILANS ET TENDANCES

1. - Les débits

1.1. La Garonne (La Réole)

Le débit moyen de la Garonne pendant l'intervalle de temps 1959-2000 (42 ans) à La Réole sur la base de données du PAB est de $632 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. La valeur donnée par Nagy-Breitenstein en 1993 sur une période plus longue (1883-1991) est légèrement supérieure : $647 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. L'année 2006, avec $389 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, est caractéristique d'une année très sèche (figure 10a). L'effet de l'étiage estival s'ajoute aux faibles nombres de crue de faibles intensités pendant toute l'année.

Débits annuels ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

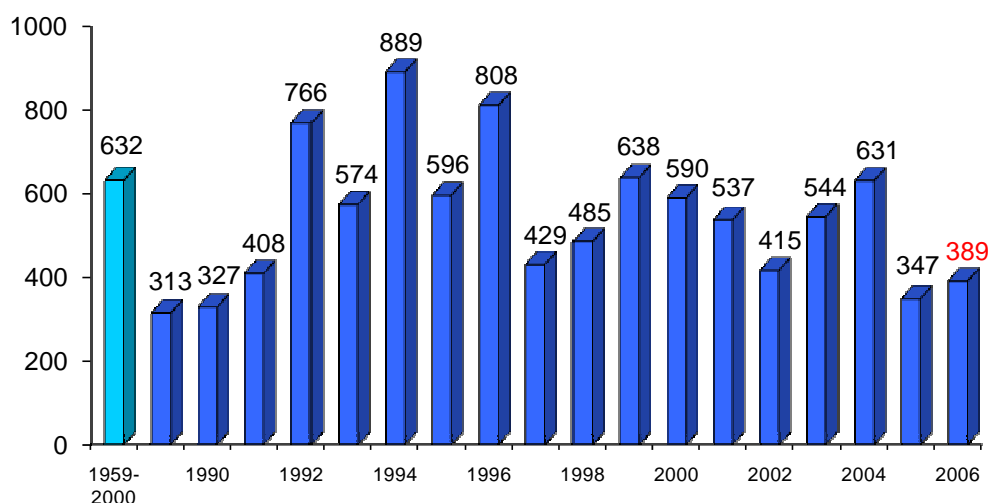


Figure 10a : Débits annuels moyens de la Garonne (La Réole)

1.2. Le Lot (Temple)

La succession historique de sites de mesure utilisés pour la mesure des débits à l'exutoire du Lot ne facilite pas l'analyse pluriannuelle. Cependant, avec un débit annuel de $120 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, l'année 2006 est classée comme année sèche pour le Lot par rapport à la moyenne sur 28 ans de 1973 à 2000 ($165 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$; figure 10b). Comme sur la Garonne, aucune période de forte pluviosité n'a été enregistrée et, par conséquent, le déficit hydrique estival n'a pas été compensé.

Débits annuels (m³.s⁻¹)

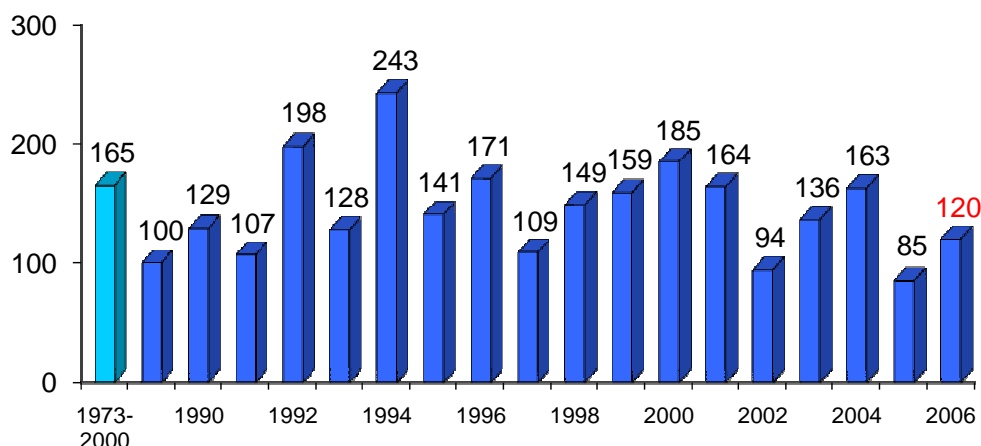


Figure 10b : Débits annuels moyens du Lot (Temple)

2. - Les flux liquides

Les résultats sont reportés dans le tableau 8. La banque de données permet de classer en terme de flux 3 types d'hydrologie :

- **les années sèches** avec un flux liquide compris entre 10 et 14 km³.an⁻¹ pour la Garonne à La Réole et 3 à 4 km³.an⁻¹ pour le Lot,

- **les années moyennes** avec des flux liquides de 14 à 22 km³.an⁻¹ en Garonne et 4 à 5,5 km³.an⁻¹ dans le Lot,

- **les années humides** avec des flux liquides compris de 22 à 28 km³.an⁻¹ et 5,5 à 7 km³.an⁻¹ respectivement pour la Garonne et le Lot.

L'année 2006 est une année sèche, aucune période de forte pluviosité n'a compensé les effets de l'étiage estival prolongé.

Flux liquides (km ³ .an ⁻¹)	La Réole	Port Sainte Marie	Temple
1990	10,3	6,2	4,1
1991	12,9	9,5	3,4
1992	24,2	17,9	6,2
1993	18,1	14,1	4,0
1994	28,0	20,4	7,7
1995	18,8	14,3	4,4
1996	25,5	20,1	5,4
1997	13,5	10,1	3,4
1998	15,3	10,6	4,7
1999	20,1	15,1	5,0
2000	18,7	13,4	5,9
2001	16,9	11,8	5,2
2002	13,1	10,4	3,0
2003	17,2	12,1	4,3
2004	19,9	14,0	5,1
2005	10,9	8,0	2,7
2006	12,3	7,8	3,8
Moyenne	17,4	12,7	4,61

Tableau 8 : Flux liquides annuels (en km³.an⁻¹)

3. - Les flux de matières en suspension

L'année 2006 se distingue (figures 11a et 11b - tableaux 9a et 9b) par des concentrations moyennes en MES (pondérées des flux liquides) intermédiaires pour la Garonne et une moyenne extraordinairement faible dans le Lot (figure 10a, tableau 9a). Comme observé précédemment, l'évolution des concentrations en MES dans la Garonne reste comparable entre La Réole et Port Sainte Marie (figure 10a).

Pour le Lot, la concentration moyenne pondérée est systématiquement inférieure à celles de la Garonne à l'exception des années 1999 à 2001 qui montrent de fortes concentrations en MES liées à l'impact de l'aménagement fluvial.

Les concentrations moyennes en 2006 sont comparables à l'année 2002 sur les sites de Garonne. Dans le Lot, la concentration pondérée en 2006 est encore plus faible qu'en 2005.

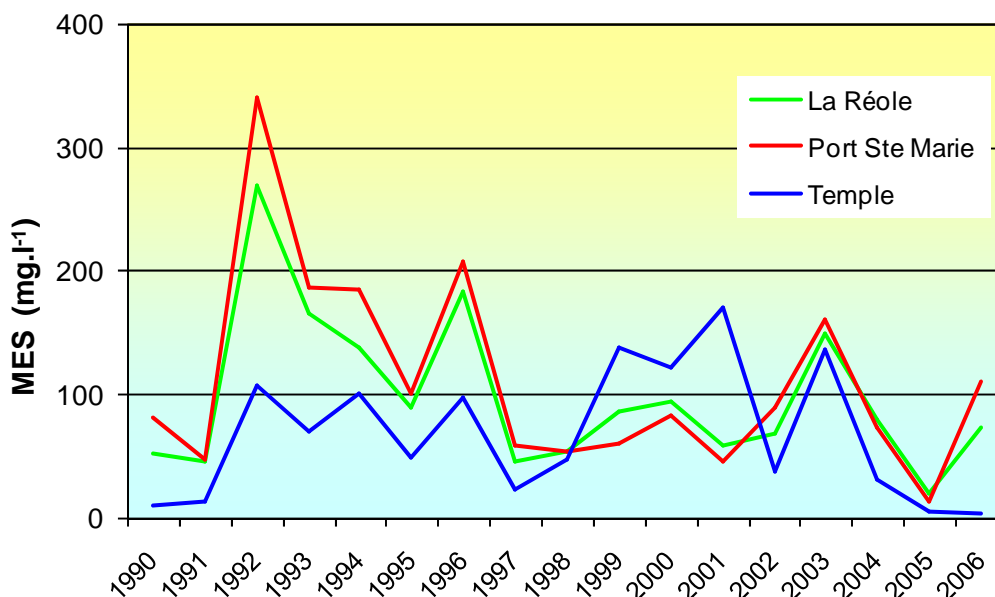


Figure 10a : Evolution (1990 - 2006) des concentrations de MES (en mg.l⁻¹) pondérées des flux liquides

Les flux de MES sont relativement faibles et varient peu depuis 1997 (hors année 2003) avec des valeurs relativement faibles comprises entre $0,2$ et $1,7 \cdot 10^6$ t.an⁻¹ pour la Garonne à La Réole en accord avec les flux liquides très faibles à moyens. Les flux de MES en 2006 sont également comparables à l'année 2002 sur les sites de Garonne. Dans le Lot, le flux de MES en 2006 est comparable à celui de l'année 2005 (figure 10b ; tableau 9b).

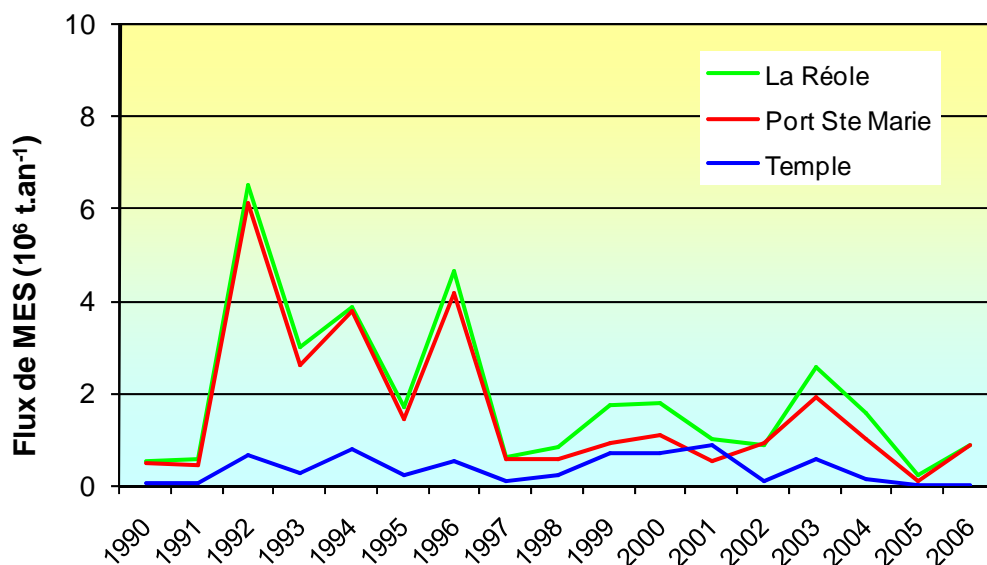


Figure 10b : Evolution des flux de MES (1990 - 2005) en million de tonnes par an (10^6 t.an^{-1})

(mg.l^{-1})	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	53,0	80,4	11,1
1991	46,2	47,3	13,0
1992	269	341	107
1993	166	187	69,4
1994	138	185	101
1995	89,8	101	48,6
1996	183	207	98,5
1997	45,7	59,2	23,3
1998	54,8	54,5	47,5
1999	86,1	60,1	138
2000	94,7	82,8	121
2001	58,7	45,7	171
2002	68,7	90,4	37,3
2003	149	160	137
2004	79,9	72,9	31,2
2005	20,9	14,0	4,8
2006	73,2	111	4,0
Moyenne	99	112	68

Tableau 9a : Concentrations moyennes de MES (en mg.l^{-1}) pondérées des flux liquides

(10^6 t.an^{-1})	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	0,547	0,502	0,045
1991	0,595	0,449	0,044
1992	6,50	6,10	0,670
1993	3,00	2,63	0,280
1994	3,86	3,78	0,773
1995	1,69	1,45	0,216
1996	4,66	4,17	0,531
1997	0,618	0,597	0,080
1998	0,838	0,578	0,223
1999	1,73	0,907	0,695
2000	1,77	1,11	0,710
2001	0,993	0,539	0,884
2002	0,9	0,94	0,11
2003	2,56	1,94	0,59
2004	1,59	1,02	0,16
2005	0,228	0,112	0,013
2006	0,900	0,869	0,015
Moyenne	1,94	1,63	0,36

Tableau 9b : Variations interannuelles des flux de MES du Lot et de la Garonne (en million t.an^{-1})

4. - Les flux de carbone organique particulaire (COP)

Dans le Lot, les concentrations moyennes en COP pondérées des flux de MES sont habituellement supérieures à celles de la Garonne, en moyenne d'un facteur 1,7 sur la période 1990-2005, traduisant une plus grande richesse en matière organique des sols du bassin et/ou une plus grande productivité primaire dans le Lot. En 2006, la moyenne pondérée des concentrations en COP dans le Lot est également bien supérieure à celle de la Garonne, avec un facteur 1,5 (tableau 10a ; figure 12a).

En 2006, les flux de COP sont faibles pour les sites de la Garonne (tableau 10b ; figure 12b) et le plus faible depuis 1990 dans le Lot.

(%)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	3,33	3,07	6,00
1991	2,52	2,56	7,50
1992	2,17	1,79	4,93
1993	2,50	2,39	4,07
1994	2,95	2,05	4,61
1995	3,36	3,43	4,95
1996	2,78	2,40	4,26
1997	3,19	2,63	6,38
1998	5,23	4,79	6,66
1999	4,08	4,00	4,89
2000	3,33	3,16	6,21
2001	3,82	3,41	6,10
2002	4,23	4,09	8,30
2003	3,50	3,68	4,49
2004	2,78	3,03	4,90
2005	4,38	5,04	7,78
2006	4,25	4,05	5,95
Moy.	3,44	3,27	5,76

Tableau 10a: Concentrations annuelles en COP (en %) pondérées des flux MES

(t.an ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot (Temple)
1990	18 200	15 400	2 700
1991	15 000	11 500	3 300
1992	141 000	109 000	33 000
1993	74 900	62 700	11 400
1994	114 000	77 400	35 600
1995	56 800	49 900	10 700
1996	130 000	100 000	22 600
1997	19 700	15 700	5 100
1998	43 800	27 700	14 900
1999	70 600	36 200	34 000
2000	59 000	35 000	44 100
2001	37 900	18 400	53 900
2002	38 100	38 500	9 130
2003	89 500	71 300	26 500
2004	44 200	31 000	7 830
2005	9 945	5 645	988
2006	38 345	35 215	891
Moy.	58 882	43 562	18 626

Tableau 10b: Flux annuels de COP (en t.an⁻¹)

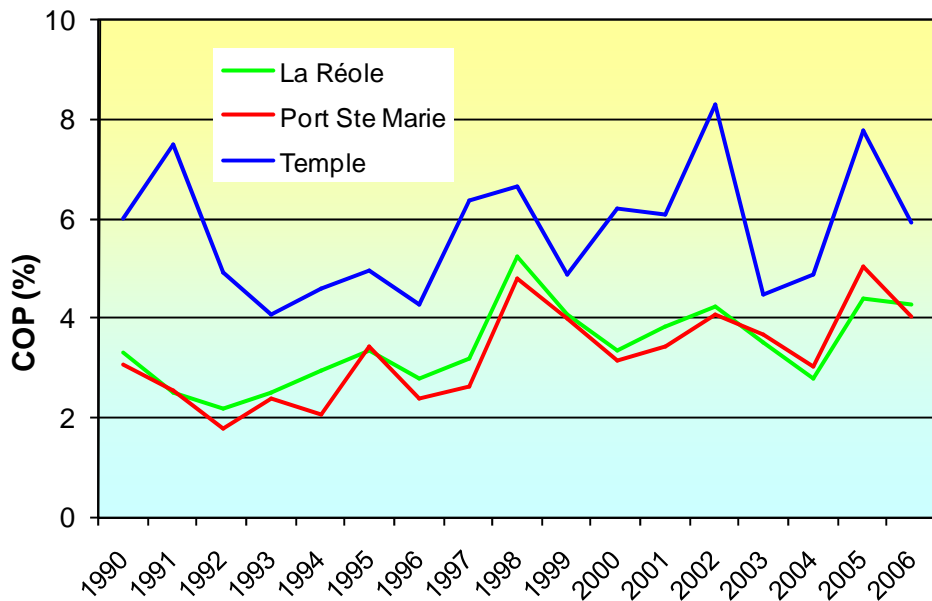


Figure 12a : Variations annuelles des concentrations moyennes en COP dans le Lot et la Garonne (en %) (valeurs pondérées des flux de MES)

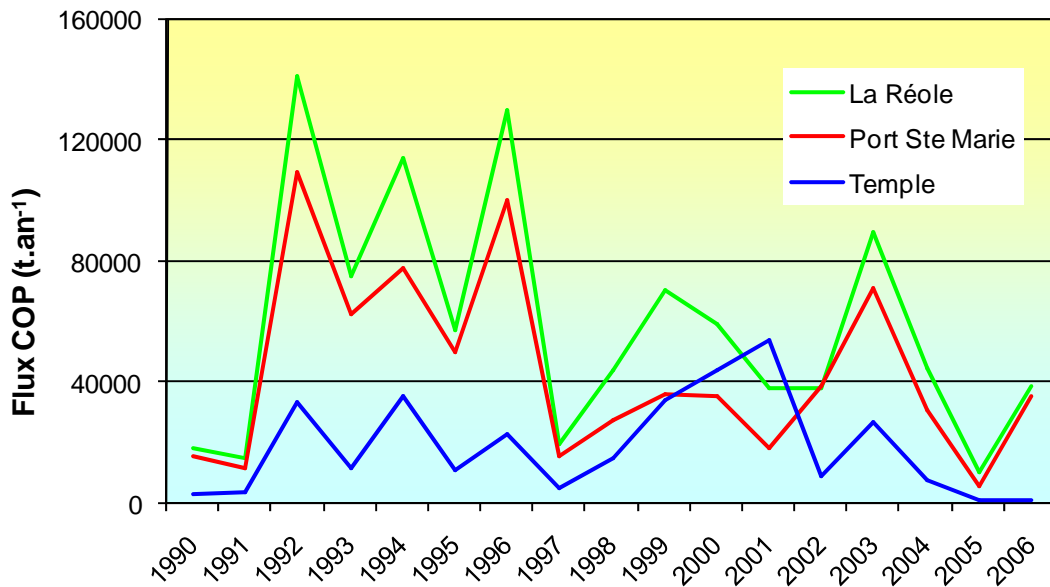


Figure 12b : Variations annuelles des flux de COP dans le Lot et la Garonne (en t.an⁻¹)

5. - Les flux de cadmium

5.1. - Cadmium dissous

5.1.1. Evolution des concentrations

L'évolution des concentrations en Cd dissous dans le Lot montre une forte chute entre 1990 et 1992 (tableau 11a ; figure 13a). Les valeurs semblent ensuite se stabiliser dans le Lot jusqu'en 1999 (entre 70 et 120 ng.l⁻¹). Depuis 2000, avec une succession d'années sèches, on observe une nouvelle chute avec des concentrations moyennes pondérées de Cd dissous qui baissent d'environ 100 ng.l⁻¹ à 25-30 ng.l⁻¹ dans le Lot. Toutefois, les valeurs mesurées à Temple sont toujours supérieures à celles de la Garonne. Dans la Garonne, les concentrations pondérées de Cd dissous baissent d'un facteur 2,5 entre 2000 et 2006 et atteignent des valeurs proches de 2005.

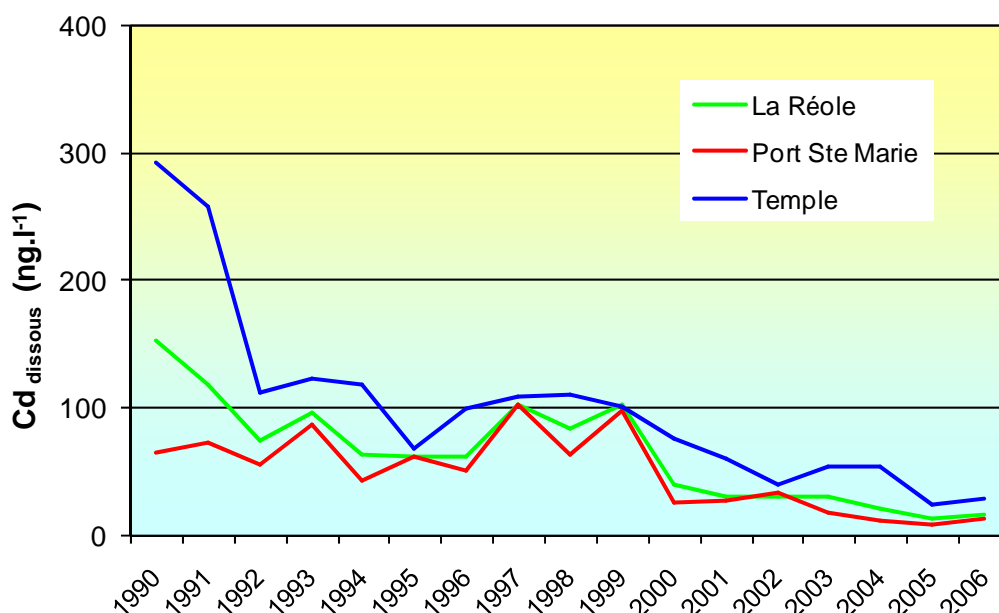


Figure 13a : Variations annuelles des concentrations moyennes en Cd dissous (en ng.l⁻¹) (valeurs pondérées des flux liquides)

5.1.2. Evolution des flux

L'évolution des flux de Cd dissous reflète celle des concentrations. Le flux en Cd dissous dans le Lot légèrement supérieur à celui de 2005 reste faible avec un niveau comparable à 2002. Excepté l'année 1994 exceptionnelle du point de vue hydrologique, le flux annuel de Cd dissous est en diminution globale depuis 15 ans et atteint une valeur ~4 fois inférieure à celles des années précédentes (tableau 11b ; figure 13b). Le flux de Cd dissous

dans la Garonne bien que légèrement plus élevé que pour l'année 2005 confirme globalement une tendance à la baisse.

(ng.l ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	152	64	295
1991	119	73	261
1992	74	55	112
1993	96	87	121
1994	63	43	119
1995	62	62	67
1996	62	51	100
1997	103	103	108
1998	84	63	111
1999	178	177	124
2000	41	26	68
2001	30	29	45
2002	31	35	41
2003	30	18	53
2004	21	13	54
2005	13	8	24
2006	17	13	28
Moy.	69	54	102

Tableau 11a : Concentrations moyennes en Cd dissous (en ng.l⁻¹) pondérées des flux liquides

(t.an ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	1,57	0,40	1,20
1991	1,53	0,69	0,88
1992	1,79	0,99	0,70
1993	1,74	1,23	0,49
1994	1,78	0,88	0,91
1995	1,16	0,88	0,30
1996	1,57	1,02	0,54
1997	1,39	1,04	0,37
1998	1,29	0,67	0,52
1999	2,06	1,49	0,51
2000	0,76	0,35	0,45
2001	0,51	0,33	0,31
2002	0,41	0,36	0,12
2003	0,52	0,22	0,23
2004	0,41	0,17	0,28
2005	0,15	0,066	0,064
2006	0,211	0,105	0,108
Moy.	1,11	0,64	0,47

Tableau 11b : Flux annuels de Cd dissous (en t.an⁻¹)

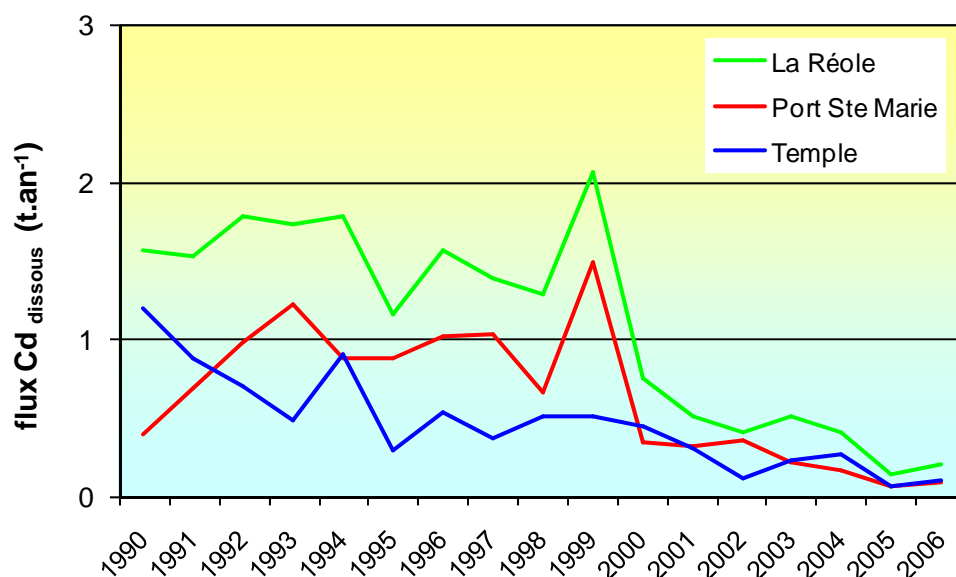


Figure 13b : Variations annuelles des flux de Cd dissous (en t.an⁻¹)

Si cette baisse est en partie liée aux efforts de contrôle des rejets au niveau de la source principale (Riou Mort), toutefois, l'évolution similaire sur les sites de la Garonne (et notamment à Port Ste Marie) suggère que la situation hydrologique favorise de faibles concentrations en Cd dissous dans les deux systèmes. Une augmentation nette des concentrations pendant les prochaines périodes de moyens/forts débits est probable.

5.2. - Cadmium particulaire

5.2.1. Evolution des concentrations

Les concentrations moyennes annuelles (pondérées des flux de MES) sur le Lot diminuent régulièrement entre 1991 et 1996 et se stabilisent entre 1997 et 1999 autour de 10 mg.kg⁻¹ (tableau 12a, figure 14a). On observe ensuite une hausse des concentrations en 2000 (17,8 mg.kg⁻¹; travaux d'aménagement) avant que les concentrations ne reviennent au niveau bas de 10 mg.kg⁻¹ en 2002. Depuis 1995, les concentrations varient peu entre 10 et 15 mg.kg⁻¹ excepté en 2003 (19,6 mg.kg⁻¹; crue cinquantennale avec remobilisation de sédiments anciens contaminés). Après une hausse des concentrations en 2005, les deux sites sur la Garonne retrouvent un niveau de concentration de 2004 (figure 14a).

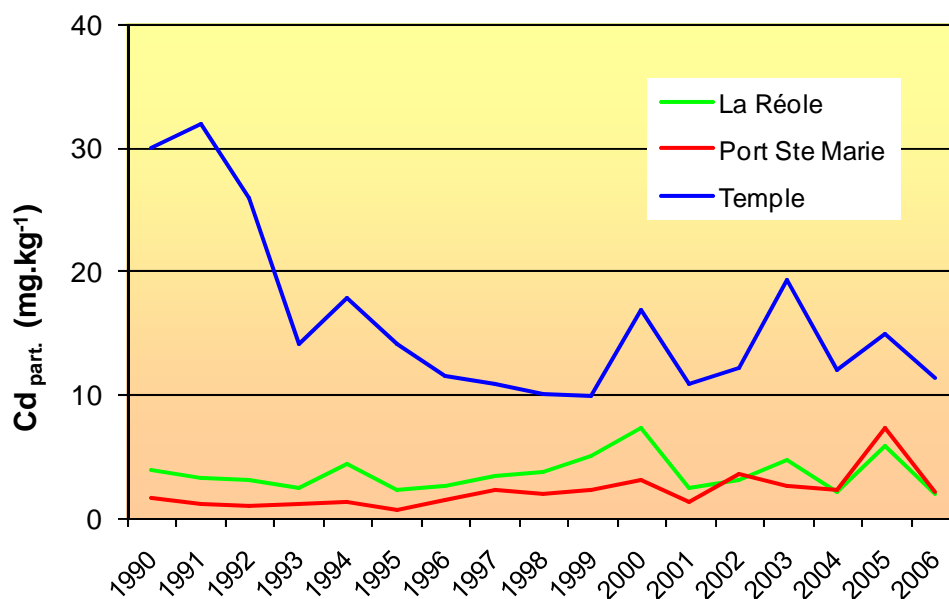


Figure 14a : Variations annuelles des concentrations en Cd particulaire (en mg.kg⁻¹) (valeurs pondérées des flux de MES)

5.2.2. Evolution des flux

Le flux de cadmium particulaire dans le Lot, qui avait atteint un minimum en 1997 et 1998, a subi une forte augmentation entre 1999 et 2001 (en liaison avec la remobilisation de sédiments liée à l'aménagement fluvial). Puis, le flux de Cd particulaire a nettement baissé en 2002 pour atteindre un minimum s'approchant des flux des années sèches 1990 et 1991 (tableau 12b ; figure 13b) ; cette évolution est similaire à celle des flux de MES.

(mg.kg ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	3,90	1,59	30,1
1991	3,31	1,22	32,0
1992	3,15	1,06	25,9
1993	2,47	1,21	14,1
1994	4,49	1,28	17,9
1995	2,32	0,74	14,1
1996	2,65	1,44	11,6
1997	3,45	2,33	10,9
1998	3,79	1,97	10,1
1999	5,05	2,25	10,0
2000	7,28	3,05	17,8
2001	2,43	1,30	10,9
2002	3,07	3,64	12,3
2003	4,72	2,56	19,4
2004	2,16	2,25	12,1
2005	5,95	7,40	15,0
2006	1,61	2,10	11,4
Moy.	3,66	2,20	16,1

Tableau 12a: Concentrations moyennes en Cd particulaire (en mg.kg⁻¹) pondérées des flux de MES

(t.an ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	2,15	0,80	1,35
1991	1,97	0,55	1,42
1992	22,3	6,16	17,5
1993	7,40	3,19	3,90
1994	17,8	3,78	13,9
1995	3,92	1,08	2,92
1996	12,4	5,99	6,13
1997	2,13	1,39	0,87
1998	3,18	1,14	2,26
1999	8,75	2,04	6,97
2000	12,9	3,38	12,6
2001	2,41	0,70	9,62
2002	2,76	3,42	1,35
2003	12,1	4,96	11,4
2004	3,43	2,29	1,935
2005	1,35	0,829	0,190
2006	1,79	1,83	0,171
Moy.	6,98	2,56	5,53

Tableau 12b: Flux annuels de Cd particulaire (en t.an⁻¹)

En 2004, le minimum des flux en Cd particulaire était le résultat de faibles flux en MES et de très faibles concentrations en Cd particulaire (suite au lessivage par la crue en 2003). En 2005, le minimum historique du flux annuel de Cd particulaire est essentiellement attribué à l'absence de crue, i.e. à un transport de particules excessivement faible, jamais observé depuis 1990. L'année 2006 est similaire avec un flux inférieur à 2005, minimum absolu depuis le début de notre suivi en 1990 dû au très faible flux de MES dans le Lot. Comme en 2006, le flux en Cd particulaire apporté par le Lot est inférieur à celui apporté par la Garonne amont (~ 10 fois moins).

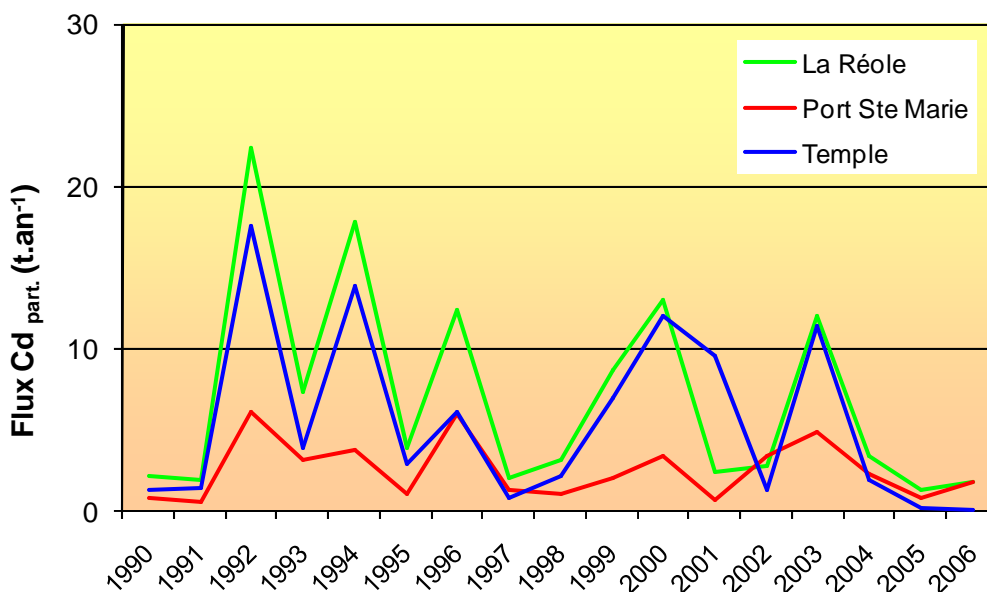


Figure 14b : Variations annuelles des flux de Cd particulaire (en t.an⁻¹)

5.3. - Cadmium total

5.3.1. Dans le Lot

De 1992 à 1996, nous enregistrons des flux plus importants à relier aux variations hydrologiques. Après deux années sèches, les flux de 1999 à 2001 augmentent en fonction des variations hydrologiques et également des travaux de l'écluse de Villeneuve. En 2002, les valeurs minimales de 1997 sont réatteintes. En 2003, avec la crue exceptionnelle de décembre, les flux de MES et de Cd particulaire ont contribué à l'augmentation du flux de Cd total. L'impact principal de cette crue a été cependant de mobiliser des particules riches en Cd avec des teneurs supérieures à 20 mg.kg⁻¹, très probablement issues des sédiments historiques du lit du Lot. En 2005, le flux de Cd total est de 0,254 t.an⁻¹, soit un flux approximativement divisé par 9 par rapport aux flux de l'année précédente (tableau 13 ; figure 15). Tout comme en 2005, le flux de 0,28 t.an⁻¹ en 2006 est extrêmement faible et ne semble pas être lié à une baisse des concentrations mais est essentiellement expliqué par l'hydrologie avec un flux de MES en 2006 excessivement faible.

5.3.2. Dans la Garonne

Jusqu'en 2003, les variations à La Réole reproduisaient généralement celles enregistrées sur le Lot à Temple (figure 15). En 2005, la forte chute des flux en Cd du Lot se traduit par une diminution du flux de Cd total de la Garonne à la Réole. En 2006, le flux de Cd total dans le Lot est toujours faible et le flux observé à La Réole 2006 s'explique en majorité par les apports de la Garonne amont **avec une contribution très significative du flux particulière à Port Ste Marie.**

Les apports du Lot étant exceptionnellement faibles, la contribution des Coteaux de Gascogne devient visible (agriculture ?).

(t.an ⁻¹)	Garonne La Réole	Garonne Port Sainte Marie	Lot Temple
1990	3,72	1,20	2,55
1991	3,50	1,24	2,30
1992	24,1	7,15	18,2
1993	9,14	4,42	4,39
1994	19,6	4,66	14,8
1995	5,08	1,96	3,22
1996	13,9	7,01	6,67
1997	3,52	2,43	1,24
1998	4,47	1,81	2,78
1999	10,8	3,54	7,48
2000	13,6	4,03	13,1
2001	2,92	1,03	9,93
2002	3,17	3,78	1,47
2003	12,6	5,18	11,7
2004	3,84	2,47	2,21
2005	1,50	0,895	0,254
2006	2,00	1,93	0,280
Moy.	8,47	3,22	5,93

Tableau 13 : Flux annuels de Cd total (t.an⁻¹)

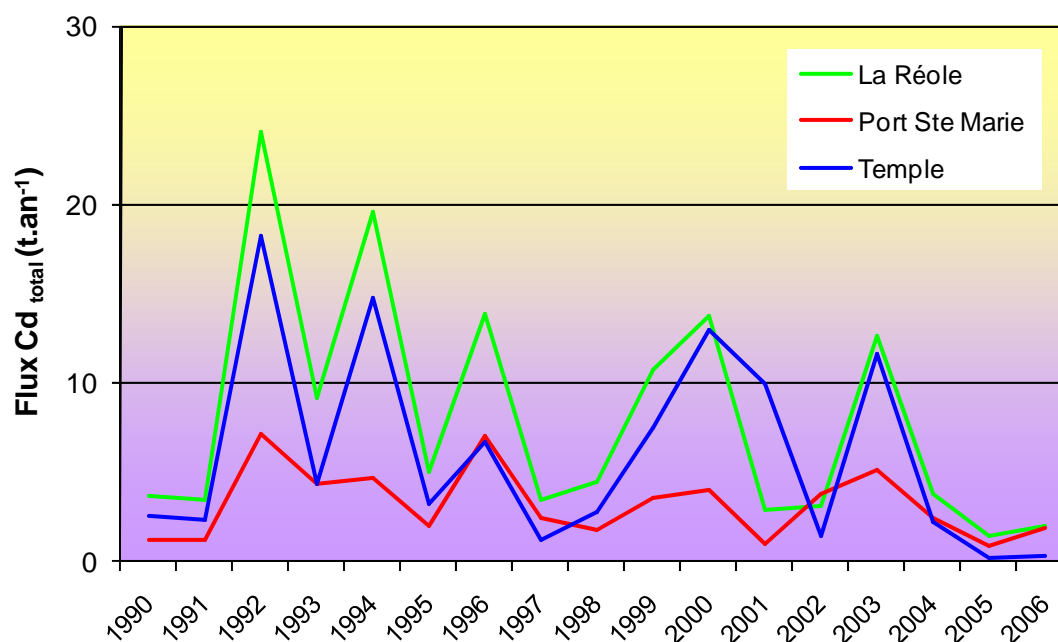


Figure 15 : Variations annuelles des flux de cadmium total (en t.an⁻¹)

5.3.3. Contribution du Lot au flux de cadmium total apporté à la Garonne à La Réole

La contribution du Lot au flux de Cd total apporté à la Garonne à La Réole (tableau 14) est directement dépendante du régime hydrologique de la rivière, mais aussi de facteurs anthropiques comme par exemple en 1998 (année moyenne du point de vue hydrologique) avec la création d'un port à Castelmoron sur Lot et en 2000/2001 par la création d'une écluse au barrage de Villeneuve sur Lot. Durant ces 4 années, la contribution du Lot est remontée à un niveau important. Ceci semble dû vraisemblablement à une remise en suspension de sédiments chargés en Cd avec pour conséquence une augmentation des concentrations en Cd particulaire et des flux de MES.

Année	Contribution %
1990	69
1991	66
1992	76
1993	48
1994	76
1995	63
1996	48
1997	35
1998	62
1999	69
2000	94
2001	340
2002	46
2003	92
2004	57
2005	17
2006	14

Tableau 14 : Contributions du Lot aux flux de Cd à La Réole (en %)

En 2001, les flux de Cd particulaire et total mesurés à Temple excèdent (exceptionnellement) les flux correspondants à La Réole. Ceci montre la forte influence des travaux « ponctuels » sur le Lot et sur les masses de Cd transportés vers l'aval au niveau du site d'échantillonnage. Néanmoins, il semble qu'une partie importante du sédiment remis en suspension décante entre Temple et La Réole. En effet, la différence entre les flux mesurés à Temple et l'apport (estimé) du Lot au total est de l'ordre de 8 t de Cd. Ceci peut s'expliquer notamment par les débits moyens observés en 2001. En 2003, la contribution du Lot est dominante, notamment en raison de l'érosion des sédiments naturels et de barrages observées lors de la crue exceptionnelle de décembre 2003. Les observations de 2003 montrent qu'après un épisode de remobilisation anthropique (2000-2001), les événements hydrologiques exceptionnels et géomorphogènes (qui façonnent la morphologie du fleuve) sont susceptibles de mobiliser des sédiments stabilisés à moyen terme et ayant plus de 10 ans d'âge et des teneurs supérieures (20 mg.kg^{-1}) à celles habituellement mesurées (10 mg.kg^{-1}).

En résumé, le Lot constitue en général la composante principale des flux de Cd total à La Réole à l'exception des années 1993, 1996, 1999, 2002 et 2005. En 2006, le schéma est identique

à 2005 pour le Lot avec une contribution de 14% en 2006 (2005 : 17%) mais l'apport de la Garonne amont s'élève à 95% pour l'année 2006 (2005 : 60%). L'augmentation de l'apport de Cd total à La Réole est directement liée avec l'augmentation de l'apport en MES (96,6 %) de la Garonne amont.

5.3.4. Cadmium d'origine anthropique

Les flux de Cd total d'origine « naturelle » et de source anthropique peuvent être extrapolés (tableaux 15, 16 et 17) à partir des bruits de fond géochimiques définis pour le bassin de la Garonne par Martin et Meybeck (1972), soit une concentration de 0,7 mg.kg⁻¹ pour la phase particulaire et de 20 ng.l⁻¹ pour la phase dissoute.

Lot (Temple)	Flux Cd naturel		Flux Cd anthropique		Flux Cd total
	(t.an⁻¹)	(%)	(t.an⁻¹)	(%)	(t.an⁻¹)
1990	0,2	6	2,4	94	2,3
1991	0,1	4	2,2	96	2,3
1992	0,6	3	17,6	97	18,2
1993	0,3	7	4,1	93	4,4
1994	0,7	5	14,1	95	14,8
1995	0,2	6	3,0	94	3,2
1996	0,5	7	6,2	93	6,7
1997	0,1	8	1,1	92	1,2
1998	0,2	7	2,6	93	2,8
1999	0,5	7	7,0	93	7,5
2000	0,6	5	12,5	95	13,1
2001	0,7	7	9,3	93	10
2002	0,1	9	1,3	91	1,5
2003	0,5	4	11,2	96	11,7
2004	0,2	10	2,0	90	2,21
2005	0,06	25	0,19	75	0,25
2006	0,09	31	0,19	69	0,28

Tableau 15 : Flux de cadmium total d'origine « naturelle » et « anthropique » dans le Lot (à Temple) (en t.an⁻¹) et proportion respective en (%)

Les concentrations considérées comme « naturelles » multipliées par les débits solides et liquides permettent ainsi d'estimer la contribution respective des flux naturels et anthropiques. Comme les flux de Cd sous forme particulaire sont dominants pour la Garonne, les apports de Cd anthropique sont principalement associés aux flux de MES.

Dans le Lot, le flux de Cd d'origine anthropique contribuerait à 69% du flux total en 2006, valeur très faible par rapport à la moyenne des années précédentes (tableau 15). Dans la Garonne amont (Port Ste Marie) et aval (La Réole), les contributions des flux anthropiques en 2006 sont inférieures de 10% à celles du Lot, représentant respectivement 60% et 56% des flux de Cd total. Ces valeurs sont dans la gamme de valeurs déjà observées depuis 1990 (34-77 % et 61-88 %, respectivement).

Garonne (Port Ste Marie)	Flux Cd naturel		Flux Cd anthropique		Flux Cd total (t.an ⁻¹)
	(t.an ⁻¹)	(%)	(t.an ⁻¹)	(%)	
1990	0,5	40	0,7	60	1,2
1991	0,5	40	0,7	60	1,2
1992	4,6	65	2,5	35	7,2
1993	2,1	48	2,3	52	4,4
1994	3,1	65	1,6	35	4,7
1995	1,3	66	0,7	34	2,0
1996	3,3	47	3,7	53	7,0
1997	0,6	29	1,8	71	2,4
1998	0,6	33	1,2	67	1,8
1999	1,0	28	2,5	72	3,5
2000	1,0	25	3,0	75	4,0
2001	0,6	60	0,4	40	1,0
2002	0,9	23	2,9	77	3,8
2003	1,6	31	3,6	69	5,2
2004	1,0	40	1,5	60	2,5
2005	0,24	27	0,66	73	0,90
2006	0,76	40	1,16	60	1,93

Tableau 16 : Flux de cadmium total d'origine « naturelle » et « anthropique » dans la Garonne à Port Ste Marie (en t.an⁻¹) et proportion respective en (%)

Garonne (La Réole)	Flux Cd naturel		Flux Cd anthropique		Flux Cd total (t.an ⁻¹)
	(t.an ⁻¹)	(%)	(t.an ⁻¹)	(%)	
1990	0,6	17	3,1	83	3,7
1991	0,7	19	2,8	81	3,5
1992	5,0	21	19,1	79	24,1
1993	2,5	27	6,7	73	9,1
1994	3,3	17	16,3	83	19,6
1995	1,6	31	3,5	69	5,1
1996	3,8	27	10,2	73	13,9
1997	0,7	20	2,8	80	3,5
1998	0,9	20	3,6	80	4,5
1999	1,8	17	9,0	83	10,8
2000	1,6	12	12	88	13,6
2001	1,0	35	1,9	65	2,9
2002	0,9	28	2,3	72	3,2
2003	2,1	17	10,5	83	12,6
2004	1,5	39	2,3	61	3,84
2005	0,38	28	0,98	72	1,36
2006	0,87	44	1,12	56	2,00

Tableau 17 : Flux de cadmium total d'origine « naturelle » et « anthropique » dans la Garonne à La Réole (en t.an⁻¹) et proportion respective en (%)