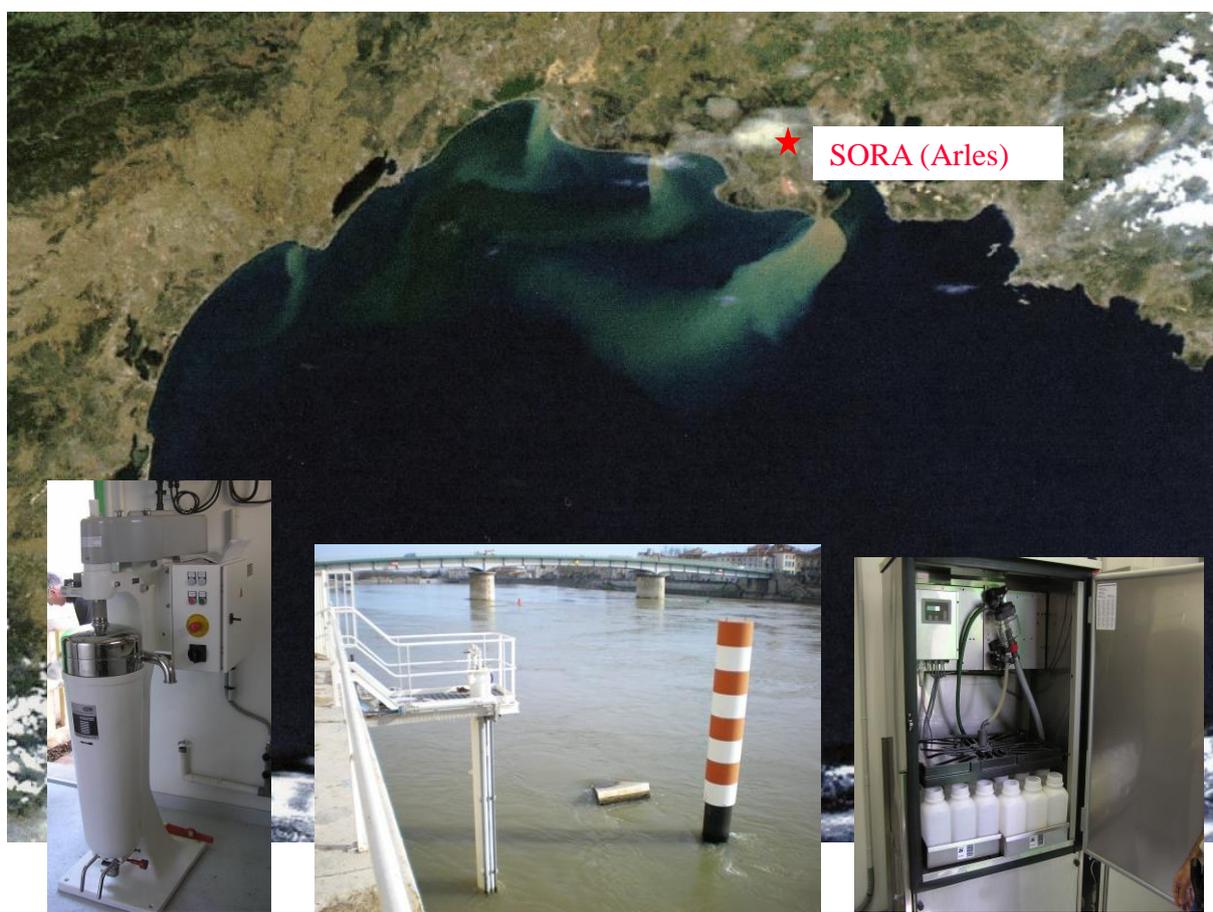




Suivi des apports du Rhône Volet Hydrologie

Rapport d'activité 2016



Remerciements

L'Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO) remercie l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse pour les soutiens financiers accordés à l'opération de suivi à long terme des apports du Rhône à la Méditerranée.

Il remercie également l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN, service de l'Environnement et de l'Intervention), qui assure la gestion de la station de prélèvements automatique à Arles (SORA).

Les données produites par le MIO sont transmises à la base de données SANDRE et contribuent aux travaux de recherche développés 1) dans le cadre du Service d'Observation du MIO (<http://www.mio.univ-amu.fr/?-Apports-du-Rhone->), 2) du programme Mediterranean Oceanic Observing System for the Environment (MOOSE - <http://www.moose-network.fr/>), 3) de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR - <http://www.graie.org/osr/>).

*La gestion financière de la subvention accordée par l'Agence de l'Eau a été assurée par **PROTISVALOR Méditerranée** Jardin du Pharo- 13007 Marseille, n° Siret : 441 801 651 000 15, agissant au nom et pour le compte **d'Aix-Marseille Université de la Méditerranée – Institut Méditerranéen d'Océanologie**.*

SUIVI DES APPORTS DU RHONE – VOLET HYDROLOGIE

Rapport d'activité 2016

Rappel des objectifs

L'arrivée des eaux du Rhône dans le golfe du Lion est un évènement écologique significatif, non seulement pour les eaux côtières mais aussi pour l'ensemble de la partie nord-occidentale de la Méditerranée. Cette influence ne provient pas uniquement des volumes d'eau apportés mais également de la composition de la matière (dissoute et particulaire) transportée. Il est ainsi le principal pourvoyeur d'éléments nutritifs en Méditerranée, lesquels ont une influence directe sur la chaîne alimentaire en soutenant jusqu'à la moitié de la production primaire du golfe du Lion, région la plus productive de Méditerranée.

Avec des sous bassins aux caractéristiques géomorphologiques et climatiques très différentes, le bassin versant du Rhône est très hétérogène. C'est pourquoi le régime hydrologique du Rhône est complexe et irrégulier. Il n'y a pas d'année de « référence » mais plutôt des années caractérisées par des évènements de crue plus ou moins nombreux et d'intensité plus ou moins importante. De plus, les crues peuvent être de nature très différente. Ainsi, les crues cévenoles et méditerranéennes induisent des changements brutaux de régime et leurs eaux sont souvent plus chargées que celles des crues océaniques.

Ainsi, un suivi très fin, adapté à la quantification des flux dissous, particuliers et polluants associés, a été mis en place au niveau de la Station Observatoire du Rhône en Arles (SORA) notamment pour améliorer la caractérisation des évènements de crue qui peuvent être à l'origine du transit d'un très fort pourcentage de matière et polluants particuliers associés vers la mer. Ceci est d'autant plus vrai pour la région méditerranéenne qui possède un régime hydrologique caractérisé par des crues « éclair », soudaines et violentes.

La station SORA, installée dans les locaux de Voie Navigables De France, est pourvue d'équipements spécifiques (préleveur automatique et centrifugeuse) dédiés au suivi journalier des flux de matières en suspension (MES) et de nutriments (dissous et particuliers) et au suivi bimensuel des flux de contaminants chimiques (dissous et particuliers). La fréquence de ces suivis est accrue lors des évènements de crues.

L'IRSN assure la maintenance de l'installation et des équipements, notamment l'alimentation de la station par les eaux du Rhône et le suivi de la radioactivité exportée par le fleuve en Méditerranée. Le MIO assure les analyses de matières en suspension (MES), de éléments nutritifs dans le cadre de ses activités et travaux de recherche et est chargé pour le compte de l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse de prélever les échantillons nécessaires pour la détermination des teneurs de certains contaminants chimiques dissous et particuliers. La mise à disposition par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR) des données de débit liquides, acquises quotidiennement, constitue un élément d'information élémentaire pour la gestion des prélèvements et le calcul des flux.

Suivi à long terme des apports par les eaux du Rhône

I) ACTIONS REALISEES

1) Collecte de matériels pour « analyses DCE ».

La station SORA, gérée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) et l'Institut Méditerranéen d'Océanographie (MIO) installée dans les locaux des Voies Navigables de France (Grand Rhône à Arles, rive droite). Elle est pourvue d'équipements spécifiques (préleveur automatique et centrifugeuse) permettant la mesure des concentrations dissoute et particulaire en radioéléments, nutriments et contaminants chimiques.

Le MIO réalise le suivi à long terme et à haute fréquence pour la quantification des apports par le Rhône, associé à la collecte de matériel pour l'analyse de paramètre DCE pour les laboratoires d'analyse sélectionnés par l'AERMCEn accord avec la demande de l'Agence de l'Eau, une centrifugeuse CEPA Z-61 a été installée dans le local de la station d'Arles (SORA) en novembre 2007. La centrifugeuse, fonctionnant à 17 000 tours/minute, permet de collecter en quelques heures une grande quantité de matériels solides, à partir de l'eau pompée dans le Rhône et directement amenée à l'intérieur du local.

La matière solide est concentrée par centrifugation CEPA Z-61 et collectée sur une feuille Teflon afin d'éviter toute contamination. Quelques grammes sont recueillis et stocker dans un flacon en verre pour les analyses recommandées par le Directive Cadre sur l'Eau (DCE) de l'ensemble des substances et composés associé à la fraction particulaire. La durée de collecte va de quelques dizaines de minutes (en période de crue) à plusieurs heures (en période d'étiage) en fonction de la charge particulaire du Rhône qui est elle-même dépendante du débit.

En L'eau issue de la centrifugeuse est totalement dépourvue de matière particulaire. Elle est utilisée pour les **11 prélèvements d'eau** sur lesquels seront effectuées les analyses des éléments dissous.

La collecte a commencé le 6 janvier 2016.

Un opérateur du MIO effectue cette opération tous les 15 jours depuis cette date. Le matériel récolté est immédiatement traité par l'opérateur du MIO selon les protocoles définis. Il expédie le jour même les échantillons:

au Laboratoire Départemental de la Drôme (LDA26) et au Laboratoire CARSO.

Bilan des échantillons prélevés et expédiés

26 collectes ont été effectuées entre janvier et décembre 2016, dont 2 en période crue.

PRELEVEMENTS BIMENSUELS												
Code Prélèvement Agence ①	Date prévisionnelle de début du prélèvement ②	Délai d'exécution du prélèvement ③	Support	Laboratoire d'analyse	② et ③ sont-ils renseignés sur l'étiquette ? (liste de choix : oui / non)	① est-il renseigné sur l'étiquette, est-ce le même ? (liste de choix : oui / non)	Référence échantillon du laboratoire	Date réelle du prélèvement	Heure Prélèvement	Date envoi chronopost	Evènement de crue (liste de choix : montée, pic de crue, décrue)	Commentaires éventuels
315 937	01/01/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10109	06/01/2016	8h00	06/01/2016		
316 617	01/01/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52686	06/01/2016	12h30	06/01/2016		
315 944	15/01/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10116	20/01/2016	8h00	20/01/2016		
316 624	15/01/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52674	20/01/2016	10h30	20/01/2016		
315 945	01/02/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1602-2586	02/02/2016	8h00	02/02/2016		
316 625	01/02/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52662	02/02/2016	10h30	02/02/2016		
315 946	15/02/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1602-2587	16/02/2016	8h30	16/02/2016		
316 626	15/02/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52665	16/02/2016	10h00	16/02/2016		
315 947	01/03/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1603-10617	02/03/2016	8h00	02/03/2016		
316 627	01/03/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52670	02/03/2016	10h00	02/03/2016		
315 948	15/03/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1603-10618	23/03/2016	7h30	23/03/2016		
316 628	15/03/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52661	23/03/2016	11h45	23/03/2016		
315 949	01/04/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1604-2675	05/04/2016	8h30	05/04/2016		
316 629	01/04/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52669	05/04/2016	12h00	05/04/2016		
315 950	15/04/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1604-2676	20/04/2016	8h00	20/04/2016		
316 630	15/04/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52679	20/04/2016	9h00	20/04/2016		
315 951	01/05/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1605-8823	11/05/2016	9h00	11/05/2016		
316 631	01/05/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52673	11/05/2016	13h15	11/05/2016		
315 952	15/05/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1605-8824	18/05/2016	7h30	18/05/2016		
316 632	15/05/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52660	18/05/2016	9h45	18/05/2016		
315 953	01/06/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1606-3466	06/06/2016	8h00	06/06/2016		
316 633	01/06/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52664	06/06/2016	9h15	06/06/2016		
315 954	15/06/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1606-3466	21/06/2016	9h45	21/06/2016	Decrue	
316 634	15/06/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52678	21/06/2016	10h15	21/06/2016	Decrue	
315 955	01/07/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1607-9725	05/07/2016	15h50	05/07/2016		
316 635	01/07/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52682	05/07/2016	10h30	05/07/2016		
315 956	15/07/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1607-9726	20/07/2016	9h00	20/07/2016		
316 636	15/07/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52671	20/07/2016	14h30	20/07/2016		
315 957	01/08/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1608-3819	16/08/2016	9h30	16/08/2016		
316 637	01/08/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52659	16/08/2016	14h00	16/08/2016		
315 958	15/08/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1608-3820	31/08/2016	8h30	31/08/2016		
316 638	15/08/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52672	31/08/2016	15h00	31/08/2016		
315 959	01/09/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1609-3984	13/09/2016	9h00	13/09/2016		
316 639	01/09/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52663	13/09/2016	15h00	13/09/2016		
315 960	15/09/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1609-3985	20/09/2016	8h30	20/09/2016		
316 640	15/09/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52681	20/09/2016	14h15	20/09/2016		
315 961	01/10/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1610-11184	04/10/2016	15h00	10/10/2016		
316 641	01/10/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52668	04/10/2016	15h00	04/10/2016		
315 962	15/10/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1610-11185	19/10/2016	8h00	19/10/2016		
316 642	15/10/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52677	19/10/2016	15h15	19/10/2016		
315 963	01/11/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1611-2777	08/11/2016	9h00	08/11/2016		
316 643	01/11/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52658	08/11/2016	11h40	08/11/2016		
315 964	15/11/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1611-2778	28/11/2016	8h15	28/11/2016		
316 644	15/11/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52657	28/11/2016	8h30	28/11/2016	Decrue	
315 965	01/12/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1612-2491	06/12/2016	8h45	06/12/2016		
316 645	01/12/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52667	06/12/2016	11h30	06/12/2016		
315 966	15/12/2016	15	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1612-2492	19/12/2016	9h00	19/12/2016		
316 646	15/12/2016	15	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52676	19/12/2016	13h10	19/12/2016		

PRELEVEMENTS COMPLEMENTAIRES EVENTUELS INTERVENUS LORS DES EPISODES CRUE												
Code Prélèvement Agence ①	Date prévisionnelle de début du prélèvement ②	Délai d'exécution du prélèvement ③	Support	Laboratoire d'analyse	② et ③ sont-ils renseignés sur l'étiquette ? (liste de choix : oui / non)	① est-il renseigné sur l'étiquette, est-ce le même ? (liste de choix : oui / non)	Référence échantillon du laboratoire	Date réelle du prélèvement	Heure Prélèvement	Date envoi chronopost	Evènement de crue (liste de choix : montée, pic de crue, décrue)	Commentaires éventuels
315 938	02/01/2016	364	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10110	10/02/2016	17h00	10/02/2016	lontée de crue	
316 618	02/01/2016	364	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52675	10/02/2016	17h30	10/02/2016	lontée de crue	
315 939	03/01/2016	363	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10111	16/06/2016	14h15	16/06/2016	lontée de crue	
316 619	03/01/2016	363	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52685	16/06/2016	15h15	16/06/2016	lontée de crue	
315 940	04/01/2016	362	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10112	22/11/2016	9h15	22/11/2016	lontée de crue	
316 620	04/01/2016	362	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52684	22/11/2016	10h00	22/11/2016	lontée de crue	
315 941	05/01/2016	361	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10113	23/11/2016	4h05	23/11/2016	Pic de crue	
316 621	05/01/2016	361	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52683	23/11/2016	4h10	23/11/2016	Pic de crue	
315 942	06/01/2016	360	Eau	CARSO	oui	oui	LSE1601-10114	24/11/2016		24/11/2016	Decrue	
316 622	06/01/2016	360	Matères en suspension (MES)	LDA	oui	oui	52666	24/11/2016		24/11/2016	Decrue	
315 943	07/01/2016	359	Eau									
316 623	07/01/2016	359	Matères en suspension (MES)									

2) Quantification de la charge particulaire dans le Rhône et des apports en éléments biogènes

Le préleveur AQUALYSE, en service dans le local MIO de la Station SORA, est programmé en routine pour des prélèvements quotidiens. 6 échantillons par jour sont collectés en période crue.

Un opérateur du MIO se rend tous les 15 jours sur site pour récupérer les échantillons et entretenir les équipements.

L'ensemble des échantillons a été analysé pour déterminer :

- La charge particulaire ou matières en suspension (MES) : données quotidiennes
- Les teneurs en éléments minéraux : ammonium, nitrate, nitrite, phosphate, silicate : données quotidiennes
- Les teneurs en éléments organiques dissous (carbone, azote, phosphore) : données bihebdomadaires
- Les teneurs en carbone et azote organiques particulaires : données quotidiennes
- Les teneurs en phosphore particulaires: un jour sur deux
- Les teneurs en chlorophylle : données bimensuelles

3) Opérations de maintenance et collaboration

Le MIO assure l'entretien des équipements installés dans le local de la station SORA (échantillonneur Aqualyse et centrifugeuse CEPA Z61) et participe aux opérations de maintenance du système de pompage en collaboration avec l'IRSN.

II) LOGISTIQUE MISE EN PLACE

MOYENS HUMAINS MIS A DISPOSITION PAR LE MIO :

- 2 Techniciens de l'Université de la Méditerranée pour la maintenance des équipements et la collecte des échantillons.
- Un ingénieur d'étude Université pour l'analyse chimique des échantillons
- Un ingénieur d'étude du CNRS pour l'analyse chimique des échantillons
- Un Directeur de Recherche au CNRS pour la coordination scientifique

La Gestion financière est assurée par PROTISVALOR

Liste des participants

Patrick RAIMBAULT	Chercheur CNRS
Michel Fornier	Technicien Université
Fabrice Garcia	Ingénieur Université
Nicole Garcia	Ingénieur CNRS
Véronique Lagadec	Ingénieur Université

Collaboration
Christelle Antonelli

IRSN (DEI/SESURE/LERCM)

MOYENS TECHNIQUES MIS A DISPOSITION PAR LE MIO:

- Echantillonneur automatique Aqualyse
- Ultra centrifugeuse CEPA Z-61
- Congélateur
- Flaconnage de prélèvement
- Equipements analytiques
 - balance de précision
 - étuve
 - hotte
 - spectrophotomètre
 - chaîne colorimétrique automatique
 - autoclave
 - rampe de filtration
 - Spectromètre de masse
- Evacuation des déchets
- Expédition des échantillons aux laboratoires LA DROME et CARSO

III) RESULTATS OBTENUS EN 2016

1) Les matières en suspension

La figure 1 présente l'évolution du débit du fleuve au cours de l'année 2016 qui n'a été marquée) au cours du premier semestre que par un faible épisode de crue (3500 m³.s⁻¹ le 18 juin 2016) et le maintien d'un débit modéré tout au long du 2^{ème} semestre. Une très forte crue a marqué la fin de l'année avec un débit qui a atteint 6400 m³.s⁻¹ le 23 novembre 2016.

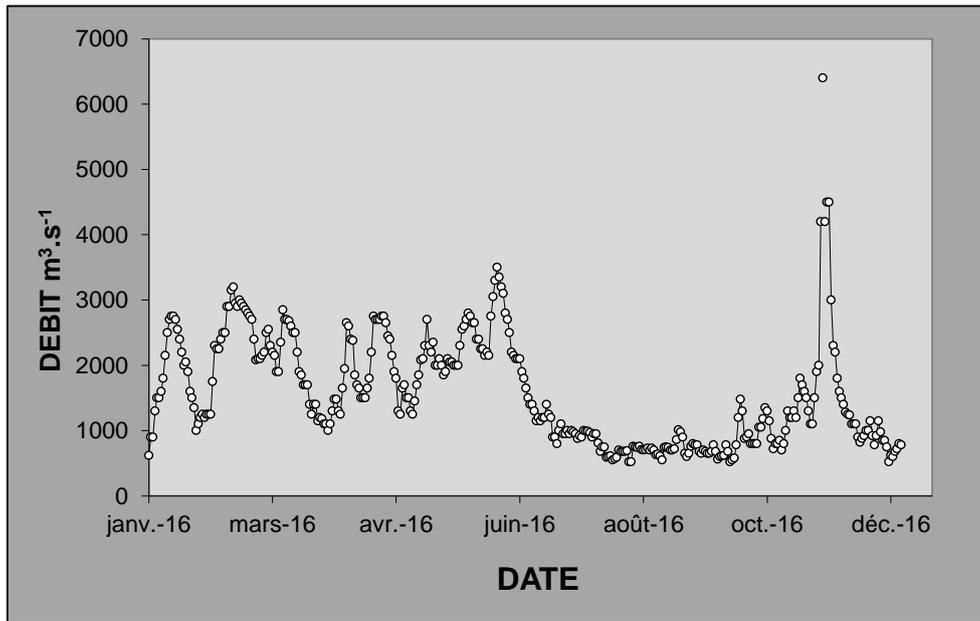


Figure 1 : Evolution du débit du Rhône au cours de l'année 2016

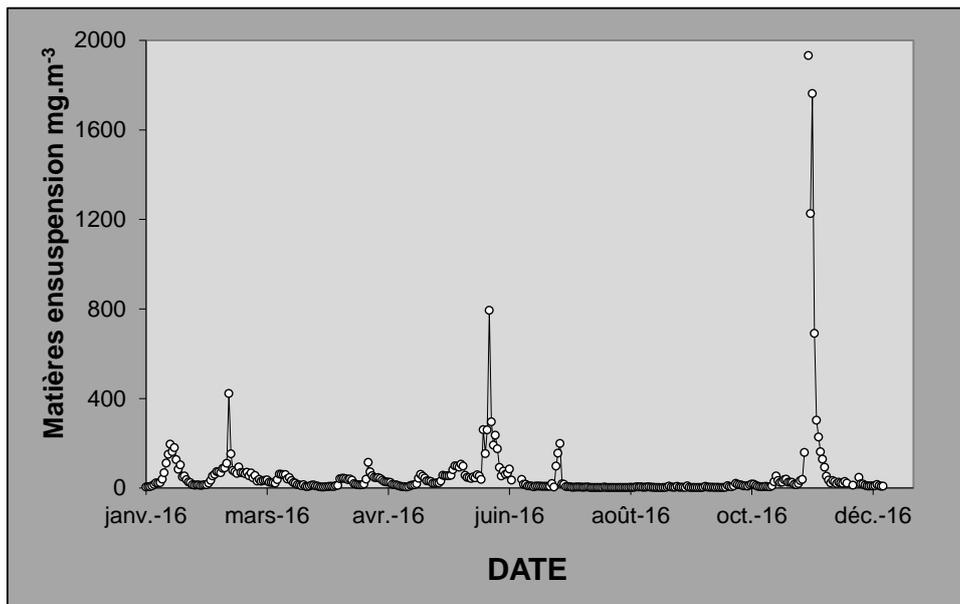


Figure 2 : Evolution des teneurs moyennes quotidiennes en matières en suspension au cours de l'année 2016

Les périodes de forts débits sont caractérisées des teneurs plus élevées en matières en suspension (fig. 2). Près 0.8 g/litre pour la crue de juin et plus de 6 g/litre pour la crue de fin novembre et près. Mais en l'absence de crue significative, la gamme de concentration en MES est restée peu étendue en période estivale (2 - 20 mg.l⁻¹). La période hivernale est caractérisée par une grande variabilité des charges particulaires (5 -150 mg.l⁻¹).

La figure 3 compare l'ensemble des mesures effectuées avec les débits fournis par la Compagnie Nationale du Rhône (CNR). Comme attendu, l'évolution des teneurs en MES suit celle des débits, de façon assez régulière et linéaire jusqu'à 3000 m³.s⁻¹. Pour des débits supérieurs, la charge en MES tend à augmenter de manière exponentielle tout en présentant une grande irrégularité en fonction des crues.

Il apparaît clairement que la relation exponentielle reliant MES et débit (fig. 3) semble applicable pour des débits inférieurs à 2000-2500 m³.s⁻¹, mais ne peut pas représenter de manière fiable la charge particulaire pour des débits supérieurs. Le seuil de 300m³.s⁻¹ pour caractériser une crue apparaît donc tout à fait pertinent. L'année 2016 ne présente pas de particularité et l'évolution des teneurs en matières en suspension est conforme à la tendance générale observée lors des 7 dernières années.

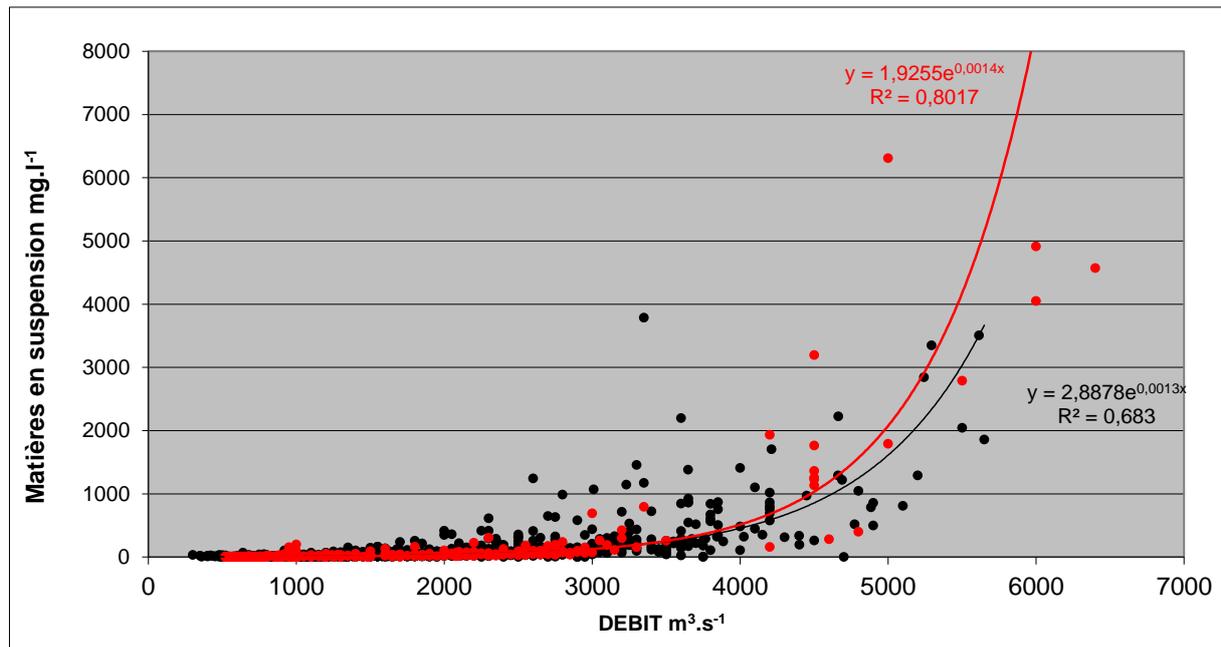


Figure 3 : Relation débit/MES pour les données de l'année 2016 (en rouge) et pour la période 2009-2015 (en noir)

Le débit moyen pour l'année 2016 est de l'ordre de 1681 m³.s⁻¹ et la charge particulaire véhiculée par le Rhône est très élevée, de l'ordre 7.6.10⁶ T (Figure 4), dont plus de 50% transportés pendant les 2 épisodes de crue. Il est connu que les forts débits du fleuve accentuent le transport du matériel particulaire mais réduisent le transport des éléments dissous (Olivier et al., 2011)

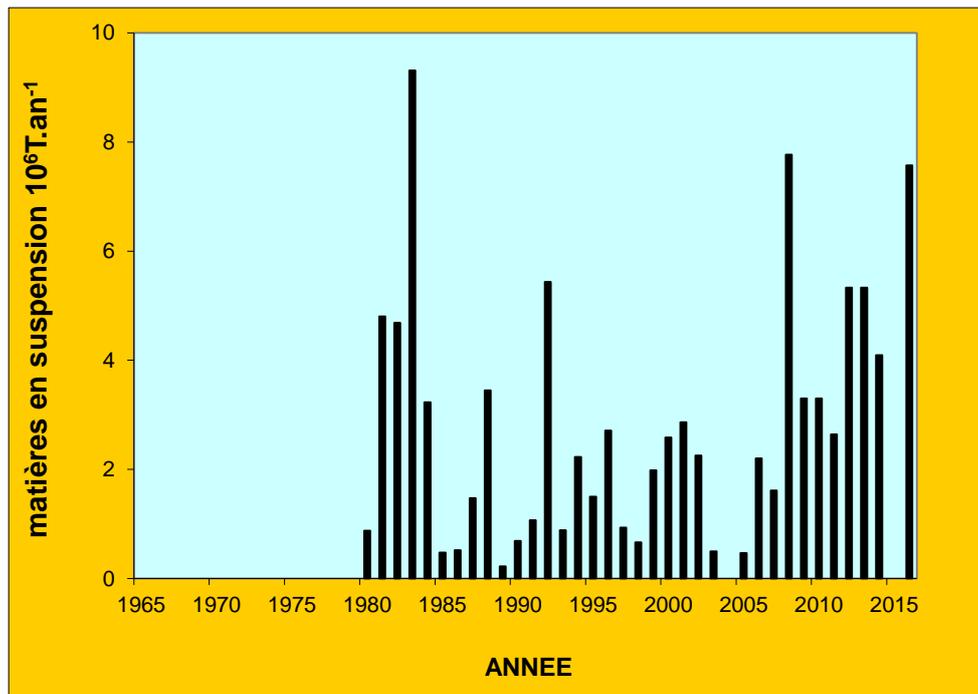


Figure 4: Bilan annuel des apports en MES entre 1980 et 2016

2) les concentrations en éléments dissous

2.1 Les concentrations en azote

L'observation des concentrations de nitrate confirme l'évolution saisonnière marquée de ce composé dans les eaux du Rhône. (Figure 5). Les concentrations les plus élevées sont mesurées en hiver, de novembre à mars, avec des valeurs moyennes de 120 – 150 μM (1.68 – 2.2 mg N.l^{-1}). Durant la période estivale, de mai à octobre, les concentrations sont de l'ordre de 60 - 80 μM (0.84 – 1.12 mg N.l^{-1}).

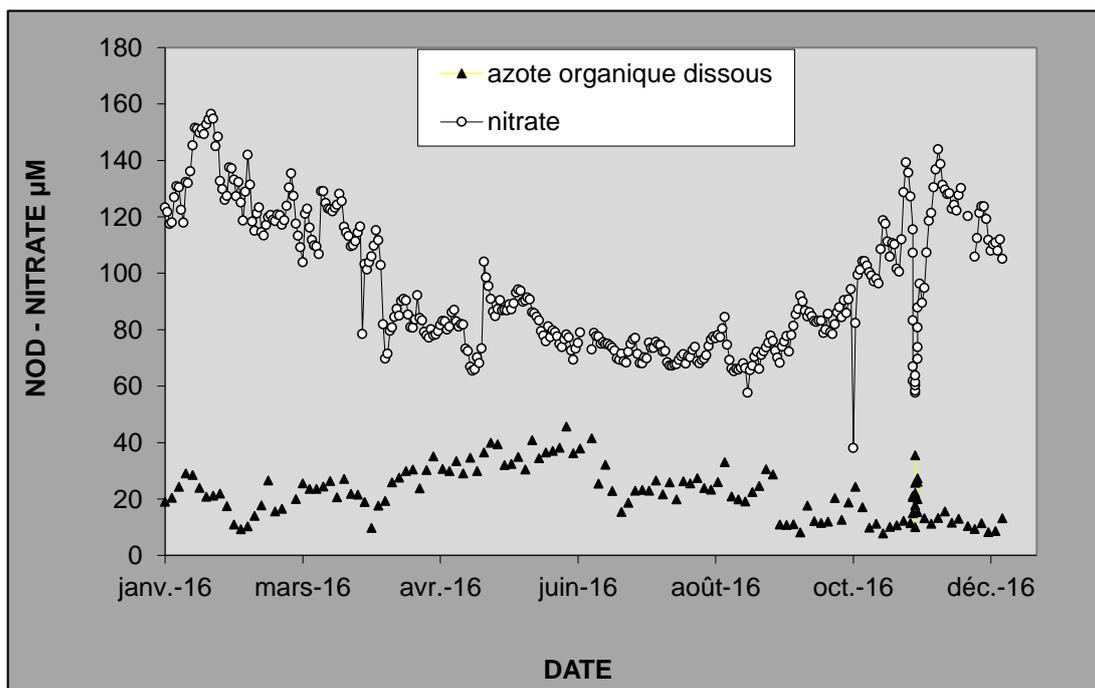


Figure 5 : Evolution des concentrations en nitrate, azote organique dissous en 2016

Le nitrate représentant plus de 70 % des formes azotées dissoutes dans les eaux du Rhône, l'évolution des teneurs en azote total suivent directement celle du nitrate. Le nitrite et l'ammonium (non représenté ici) ne représentent que moins de 3% de l'azote total.

L'azote organique dissous (NOD) représente généralement entre 10 et 25 % des formes azotées, révélant une évolution saisonnière moins marquée mais opposée à celle des nitrates.

2.2 Les concentrations en phosphore

Contrairement au nitrate, la concentration en phosphore minéral dissous, ou orthophosphate, ne présente pas d'évolution saisonnière très marquée (Figure 6). Les teneurs varient tout au long de l'année, avec une valeur moyenne de l'ordre de 1.2 μM (0,04 mg P.l⁻¹) et pouvant atteindre 2 μM (0,06 mg P.l⁻¹). Par contre, les écarts à la moyenne sont importants, indiquant une plus grande hétérogénéité des sources de ce composé. En toute saison, des valeurs très faibles d'orthophosphate < 0.8 μM (<0,02 mg P.l⁻¹), sont souvent mesurées, généralement associées à une augmentation soudaine du débit. Si le compartiment azoté est largement dominé par la forme inorganique nitrate (plus de 80%), le compartiment phosphore est plus équilibré entre les formes organiques et inorganiques (50 -70 %).

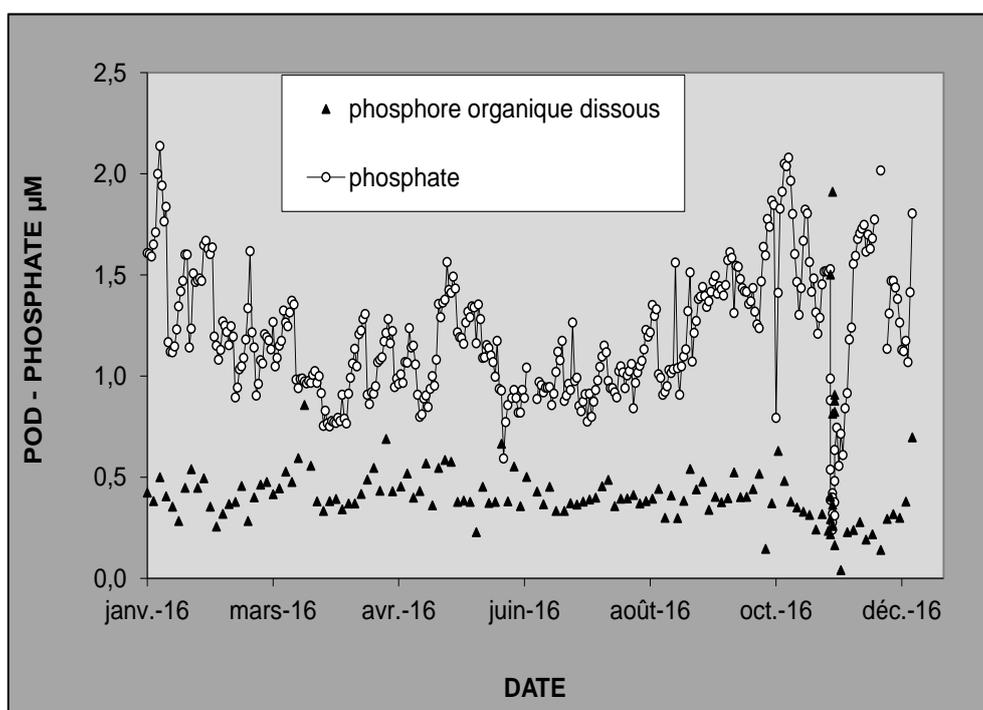


Figure 6 : Evolution des concentrations en phosphate et phosphore organique dissous au cours de l'année 2016

Le bilan du suivi haute fréquence réalisé depuis 2005 confirme la nette évolution saisonnière des teneurs en nitrate (figure 7). Aucune variation interannuelle n'est détectable. Les teneurs en phosphate révèlent également une évolution saisonnière légèrement décalée. En été les eaux du Rhône apparaissent appauvries en nitrate alors que les concentrations en phosphate sont maximales. Il est à noter les valeurs très faibles de phosphates (parfois proches de 0) en période de crue).

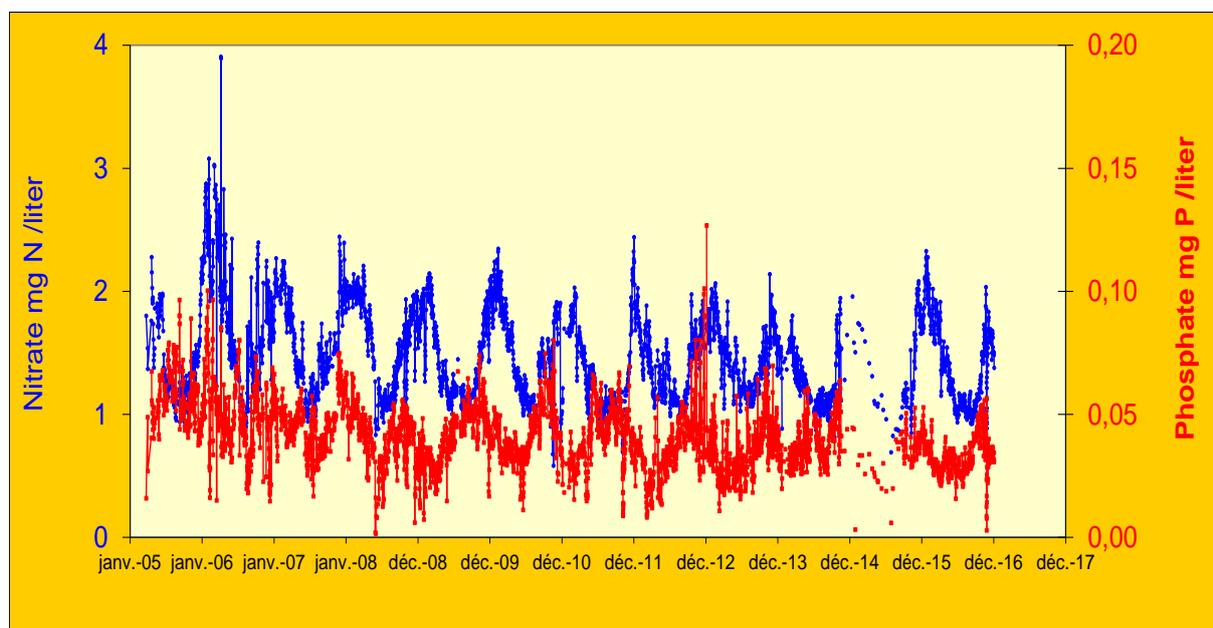


Figure 7 : Evolution des concentrations en nitrate et phosphate depuis 2005

2.3 Les concentrations en silicate et chlorophylle

Comme pour le phosphate minéral dissous, les concentrations en silicate présentent d'importantes fluctuations à court terme, et l'évolution saisonnière est assez marquée (Figure 8). Les concentrations sont généralement comprises entre 50 et 120 μM (1 et 2.5 mg Si.l^{-1}). Les augmentations de débit et les épisodes de crues (décembre) ont tendance à être caractérisées par des valeurs élevées. Le ruissellement conduit à une importante augmentation des teneurs en silicate, alors que le nitrate et le phosphate auraient tendance à diminuer. Par contre le printemps a été caractérisé par une nette diminution des concentrations en silicates, qui a pu être associée à un processus biologique liée au développement de populations de diatomées comme le soulignent l'évolution des teneurs en chlorophylle.

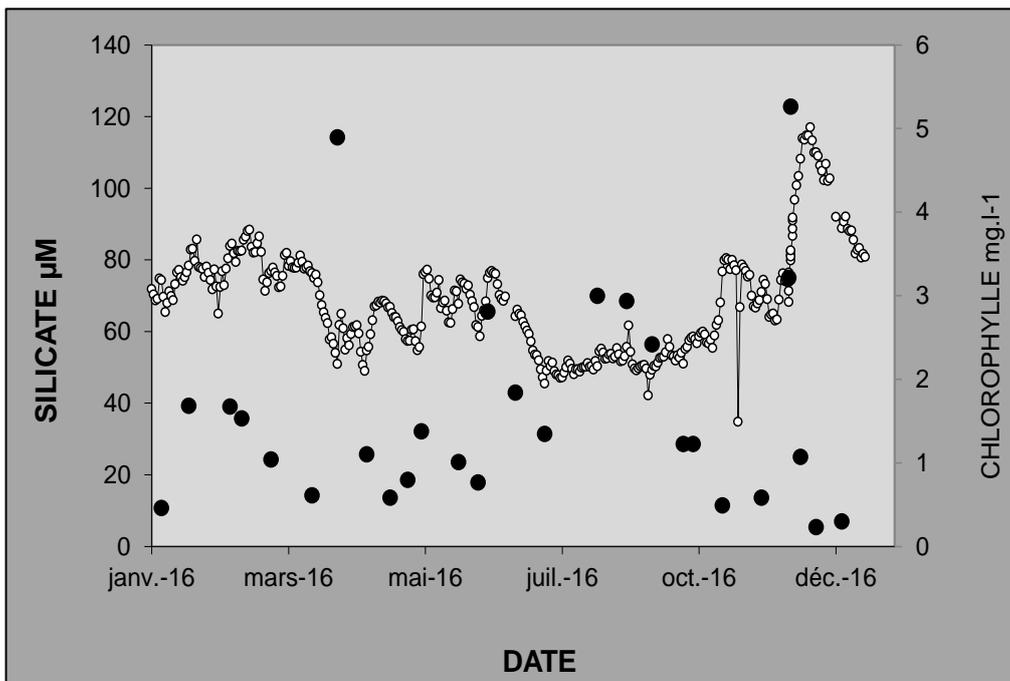


Figure 8 : Evolution des concentrations en silicate et de la chlorophylle pour l'année 2016

Le suivi haute fréquence des concentrations en silicate réalisé depuis 2005 (figure 9) ne révèle pas de tendance significative sur le long-terme. L'évolution saisonnière est nette avec une diminution des concentrations au printemps et en été. Les teneurs minimales sont toujours de l'ordre de 40 $\mu\text{moles.l}^{-1}$; les maximales peuvent dépasser 120 $\mu\text{moles.l}^{-1}$. Contrairement à d'autres fleuves d'Europe (Danube) qui subissent une diminution des teneurs en silicate liée à l'augmentation du nombre de barrages, le Rhône montre une relative stabilité (Cozzi et al., soumis).

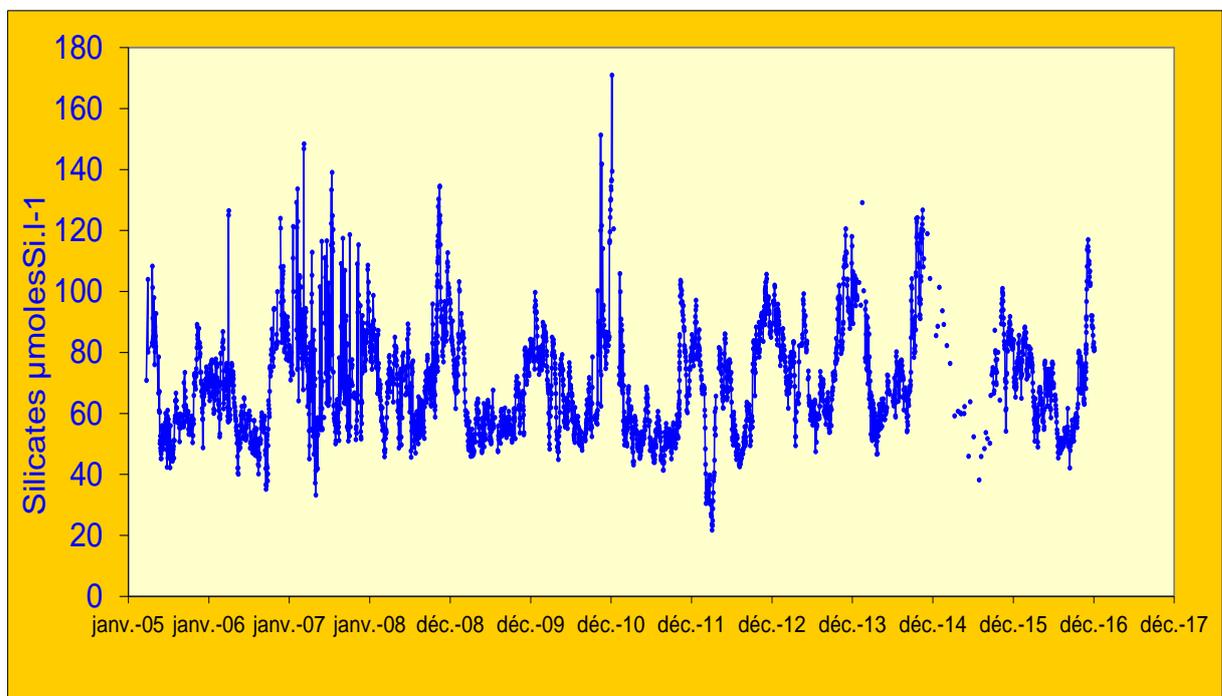


Figure 9 : Evolution des concentrations en silicate depuis 2005

3) EVOLUTION A LONG TERME DES NUTRIMENTS

L'évolution temporelle des flux annuels d'azote sous forme de nitrate (figure 10) montre d'importantes oscillations depuis 1968 et sans réelle tendance sur le long terme. Les flux de nitrate ont considérablement augmenté entre 1968 et 1988, passant de 40×10^3 tonnes à 80×10^3 tonnes. L'année 1979 présente le plus fort apport au cours de cette période, dépassant 100×10^3 tonnes. Entre 1980 et 1988, les flux ont continué à augmenter mais de manière plus variable.

Depuis 1988, les flux de nitrate varient entre des valeurs faibles de l'ordre de $50-60 \cdot 10^3$ Tonnes d'azote par an (1989 - 1990 – 1999 – 2005 - 2011) et des valeurs élevées supérieures à $80 \cdot 10^3$ Tonnes d'azote par an (1992- 1993- 2001- 2002- 2006 – 2013). Aucune tendance sur le long-terme ne peut être mise en évidence.

Les années 1986-1988 présentent également des flux extrêmement élevés, succédés par une chute brusque en 1989 et une nouvelle augmentation jusqu'en 1996. En 2005, on peut remarquer un retour à des valeurs proches de 40×10^3 tonnes. Il est difficile de relier ces variations aux seules variations interannuelles des débits. En 1976 (année très sèche) et 1977 (année très pluvieuse), les flux de nitrate ont été « normaux » (50×10^3 tonnes). Au contraire, les faibles flux de 1989 et 1990 sont bien dus à des débits réduits non compensés par une augmentation de la concentration en nitrate. Par contre, les débits étant beaucoup plus faibles en été qu'en hiver, les quantités totales de nitrate transportées par le Rhône varient donc énormément d'une saison à l'autre. Elles sont de l'ordre de 200 à 500 t.j^{-1} en hiver, alors qu'en été les flux ne dépassent pas 100 t.j^{-1} . L'année 2013 est caractérisée par un flux de nitrate très élevé

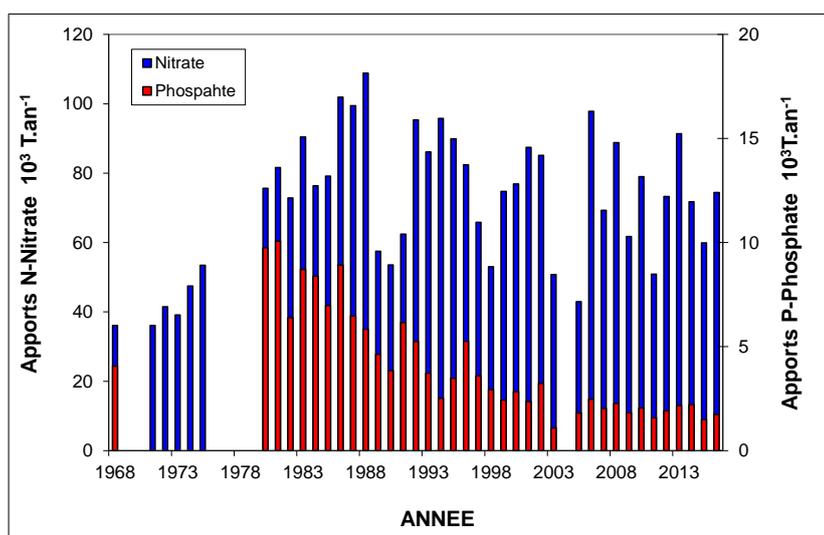


Figure 10: Evolution temporelle des flux nitrate et de phosphate transporté par le Rhône.

Il a été également observé une forte augmentation des flux de phosphate avant 1980 (figure 10), dans le Rhône comme dans l'ensemble des fleuves européens. Cette augmentation a d'ailleurs été souvent plus prononcée que celle du nitrate. Par contre, les

flux de phosphate ont régulièrement et fortement diminué au cours des vingt dernières années. Les valeurs sont restées constantes (de l'ordre de 8 à $10 \cdot 10^3$ tonnes par an) dans les années 1980-1990, puis diminuent rapidement depuis 1992. Les flux les plus faibles ont été obtenus en 2003 ($1.1 \cdot 10^3$ tonnes par an) et 2005 ($1.8 \cdot 10^3$ tonnes par an). Malgré une concentration constante des teneurs en phosphate (figure 7), les apports à la mer diminuent, notamment en 2001 à cause du faible débit du Rhône. Les apports en phosphates sont relativement stables depuis 2005, bien que les valeurs obtenues en 2015 ($1.5 \cdot 10^3$ T/an) et 2016 ($1.7 \cdot 10^3$ T/an) soient parmi les plus faibles jamais enregistrées.

Ces évolutions opposées des flux de nitrate et de phosphate ont une répercussion sur le rapport élémentaire azote/phosphore de la matière minérale apportée en mer (Figure 10). Jusqu'en 1992, ce rapport était de l'ordre de 20, c'est-à-dire proche de la valeur de 16 considérée comme « idéale » pour la croissance du phytoplancton marin. Depuis 1992, le rapport entre les éléments nutritifs majeurs est rarement inférieur à 40 et présente même des valeurs supérieures à 80 en 1995, 2001 et 2003. La composition relative de l'apport nutritif ayant une influence sur la production organique, la diminution de la fraction de phosphate immédiatement disponible pourrait être à l'origine d'un déséquilibre nutritif (dystrophie) dans le milieu marin.

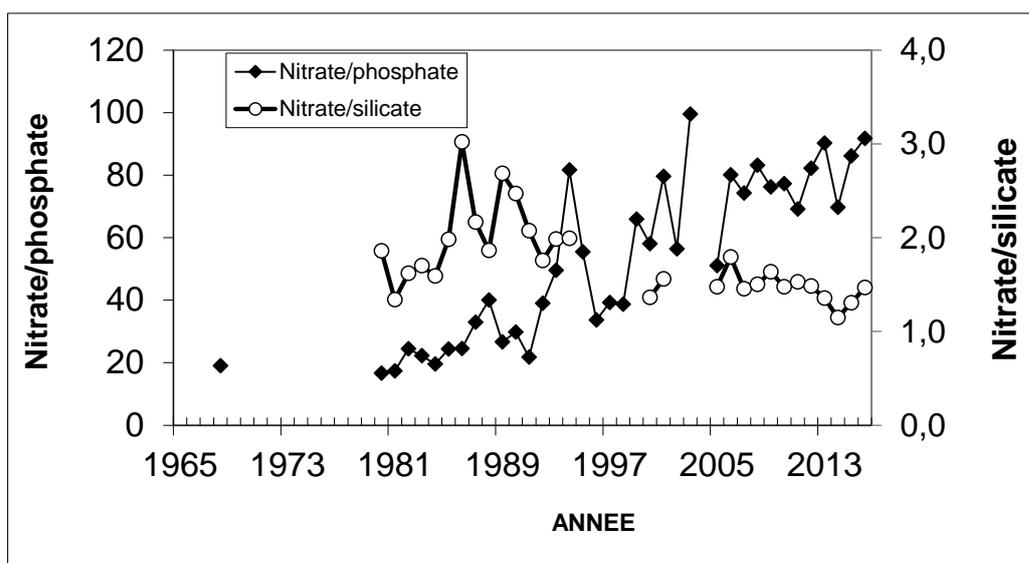


Figure 11: Evolution des rapports Nitrate/phosphate et Nitrate/silicate dans les eaux du Rhône.

Les données ont été intégrées dans 2 articles récemment soumis pour publication :

Cozzi S., Ibáñez C., Lumineta L., Raimbault P., Giani M. Oscillations and trends of freshwater and nutrient discharged by the largest South European rivers in coastal waters of Mediterranean and Black Sea. Soumis à *Estuaries and Coasts*.

Copard Y, Eyrolle-Boyer F, Radakovitch O, Poirel A, Raimbault P, Gairoard S, Di-Giovanni C. Badlands as a hot spot of petrogenic contribution to riverine particulate Organic Carbon of the Rhone and Durance rivers (France) to the Gulf of Lion (NW Mediterranean Sea). Soumis à *Global Biogeochem. Cycles*.

4) Suivi de la nappe de dilution en mer

Les zones côtières sont particulièrement exposées aux effets des modifications environnementales induites par le changement global combinant les modifications climatiques à une échelle planétaire et les impacts locaux des activités humaines. La gestion durable de ces systèmes ne peut être envisagée que sur la base d'une bonne compréhension de leur état, de leur fonctionnement et de leur sensibilité aux pressions climatiques et anthropiques. Le site marseillais est caractérisé par une grande métropole à laquelle sont associées des activités portuaires, industrielles et touristiques. Le littoral marseillais est un territoire où les pressions anthropiques sont exacerbées et qui subit une évolution climatique déjà notable. Ces différents forçages se traduisent par des modifications de fonctionnement à toutes les échelles de temps et d'espace.

Le fonctionnement de l'écosystème de la baie de Marseille est complexe et fortement affecté par l'hydrodynamique et les apports terrestres. Les épisodes de vents nombreux et intenses dans la région constituent le moteur principal de la circulation des masses d'eau de surface dans la zone littorale marseillaise et notamment des eaux dessalées en du Rhône. En effet, généralement dévié vers l'ouest dès sa sortie à l'embouchure à cause de la force de Coriolis, le panache du Rhône peut, dans des conditions de débit et de vent particulières, être poussé vers l'est en direction de la baie de Marseille. Lorsque le vent est faible, la force de Coriolis entraîne le panache d'eau douce vers l'ouest de l'embouchure le long de la côte. Le mistral, quant à lui, permet le décollement du panache de la côte vers le large et un vent de sud-sud-est concentre les eaux fluviales près de l'embouchure avec une extension vers le large beaucoup plus faible. Ainsi, l'influence du Rhône se fait sentir jusqu'en baie de Marseille, où des eaux dessalées provenant du fleuve peuvent être retrouvées dans la baie durant plusieurs jours (persistant dans le cas de crues), ou plus sporadiques dans le cas du décalage du panache vers l'Est sous l'effet du vent ou de tourbillons. Ces panaches de dilution riches en sels nutritifs sont à l'origine d'une intense floraison phytoplanctonique au printemps.

Si la quantification des apports du Rhône est indispensable pour déterminer leur influence sur le milieu marin, la connaissance de la dynamique au niveau du pro delta est nécessaire à la compréhension et la modélisation des processus gouvernant le fonctionnement de l'écosystème. Ainsi, en complément de la station d'Arles, située en eau douce à 40 km de la mer, des capteurs de température, salinité et de pression (sonde STPS de marque NKE) ont été installés en sub-surface sur des bouées de signalisation sur le littoral entre la bouée Roustan (embouchure du Rhône) et la baie de Marseille. Les données issues de ce réseau de STPS fournissent une image nouvelle sur la dérive en surface des

eaux du Rhône et notamment sur l'amplitude temporelle des panaches d'eau dessalés qui peuvent atteindre la baie de Marseille.

Des capteurs de température, de salinité et de pression (sonde STPS de marque NKE) ont été installés en sub-surface sur des bouées de signalisation sur le littoral entre la bouée Roustan (embouchure du Rhône) et la baie de Marseille (figure 12).

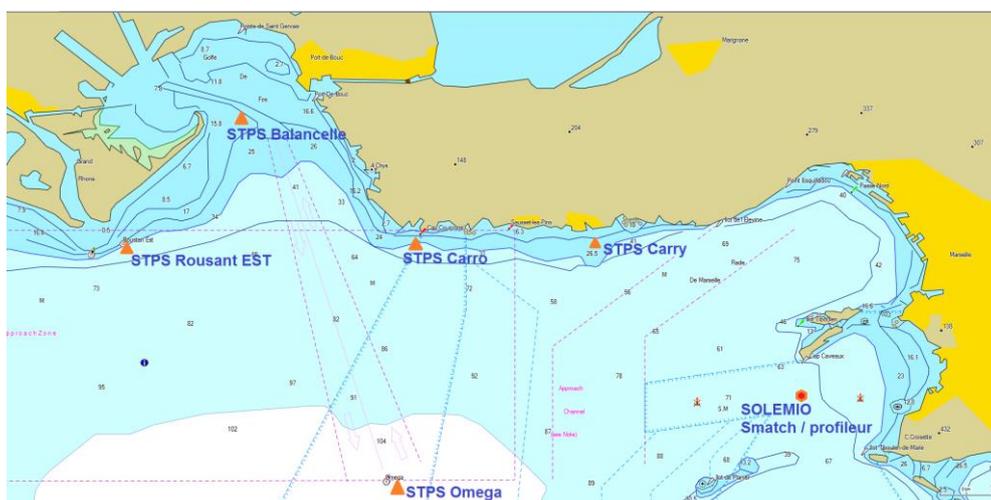


Figure 12: Carte indiquant la position des sites équipés 1) pour quantifier les apports du Rhône (SORA) et 2) pour suivre la nappe de dilution du Rhône à l'aide de sondes automatiques installées entre la bouée Roustan (équipée de capteurs dans le cadre du programme MESURHO de l'IFREMER) et la baie de Marseille échantillonnée dans le cadre du programme National SOMLIT.

Les données issues de ce réseau de STPS fournissent une image nouvelle sur la dérive en surface des eaux du Rhône et notamment sur l'amplitude temporelle des panaches d'eau dessalés qui peuvent atteindre la baie de Marseille. La séquence de mesures reproduite sur la figure 13 montre de nombreux épisodes de dessalure le long de la côte provençale caractérisés par des salinités très basses (souvent inférieures à 25 psu). Ce sont donc des eaux du Rhône très peu diluées qui se propagent loin vers l'est souvent « plaquées » le long de la côte, comme le révèle les faibles valeurs de salinité observées à Carro et à Carry. Ce panache d'eau dessalée s'étend très souvent jusqu'au centre de la baie de Marseille, au niveau du site SOLEMIO également équipé d'un capteur de subsurface (voir ci-après).

Le site de balancelle dans le golfe de Fos est clairement le plus impacté par la nappe du Rhône. Mais l'impact est surtout marqué au cours du premier semestre de l'année. La côte Bleue a également subi des influences rhodaniennes fréquentes et marquées surtout entre janvier et juin 2016. Les salinités de surface peuvent être inférieures à 20psu pendant de longues périodes. Au cours de la période estivale les intrusions d'eau rhodaniennes se font plus rares, sans doute à cause du faible débit du fleuve. Le site de Carry a été très faiblement impacté au cours de l'été avec des salinités toujours supérieures à 35psu. Par contre le site du large, OMEGA, est fortement impacté par les eaux du Rhône de manière assez régulière tout au long de l'année. Mais c'est au début de la période estivale que l'influence rhodanienne est la plus marquée avec des salinités de surface inférieures à 10psu

Il est à noter que de juin à août les salinités mesurées site OMEGA étaient de l'ordre de 35psu indiquant une influence rhodanienne permanente au cours de cette période estivale.

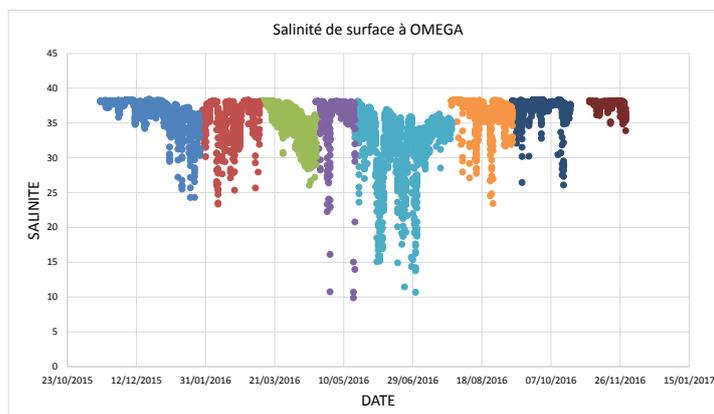
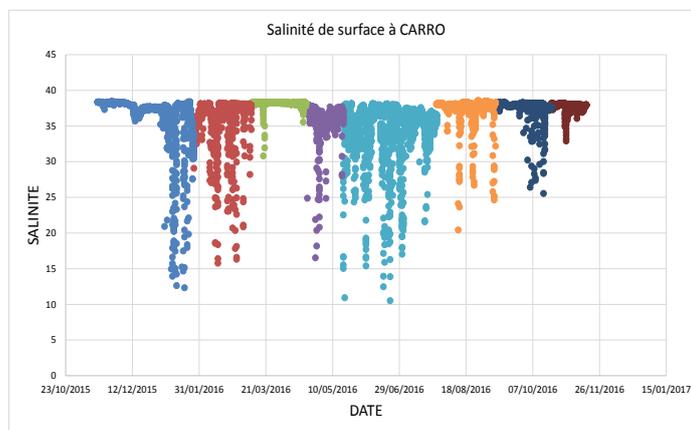
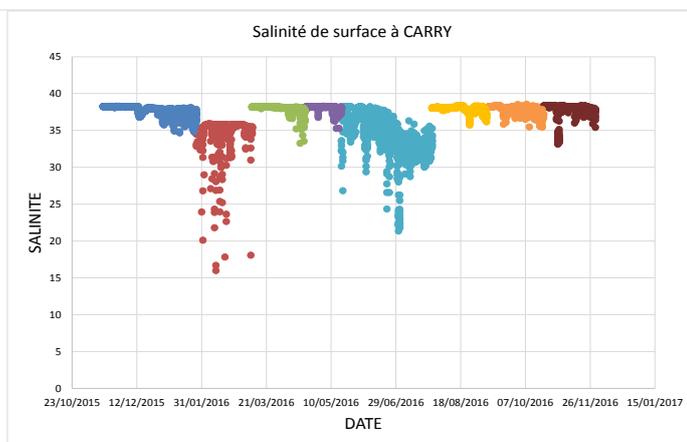
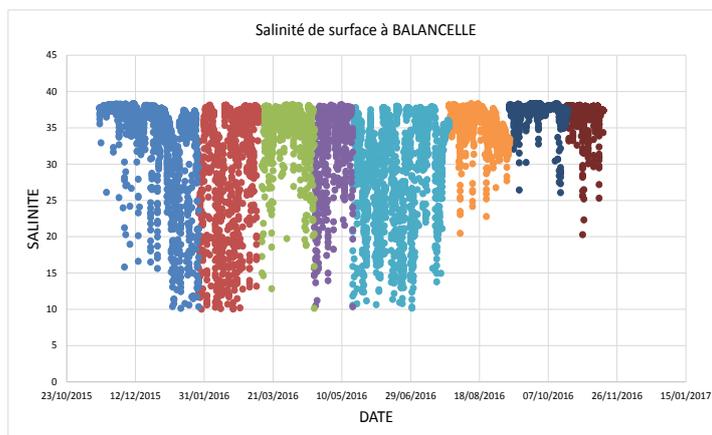


Figure 13: Evolution temporelle des salinités de surface en 4 points de la côte de l'embouchure du Rhône à la baie de Marseille pour l'année 2016

L'évolution de la salinité en baie de Marseille est fournie sur la figure 14. L'influence rhodanienne est moins marquée que sur les sites de la côte bleue, mais 8 épisodes d'intrusions assez intenses sont notés au cours au début et à la fin du premier semestre, de manière similaire à ce qui a été observé sur la côte bleue; notamment en mai-juin avec des salinités inférieures à 35‰. Il est à noter que chaque épisode d'intrusion est associé à une augmentation de la fluorescence indiquant un impact direct du Rhône sur le niveau trophique de l'écosystème côtier. Cet épisode rhodanien accentué, visible sur l'ensemble de la côte entre l'embouchure du Rhône et Marseille, mais également au large jusqu'à au site OMEGA, peut être associé à un débit relativement élevé du fleuve, de l'ordre de $3\,500\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ à la mi-juin. Les conditions météorologiques particulières en période estivale permettent le maintien de l'intégrité de la nappe de dilution en surface sur de longue distance. Par contre il n'y a pas eu d'influence notable du Rhône au cours de l'été 2016, contrairement aux années précédentes. Au cours du second semestre une seule intrusion est observée en début novembre, associée à la crue intense du Rhône dont le débit a atteint $6000\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

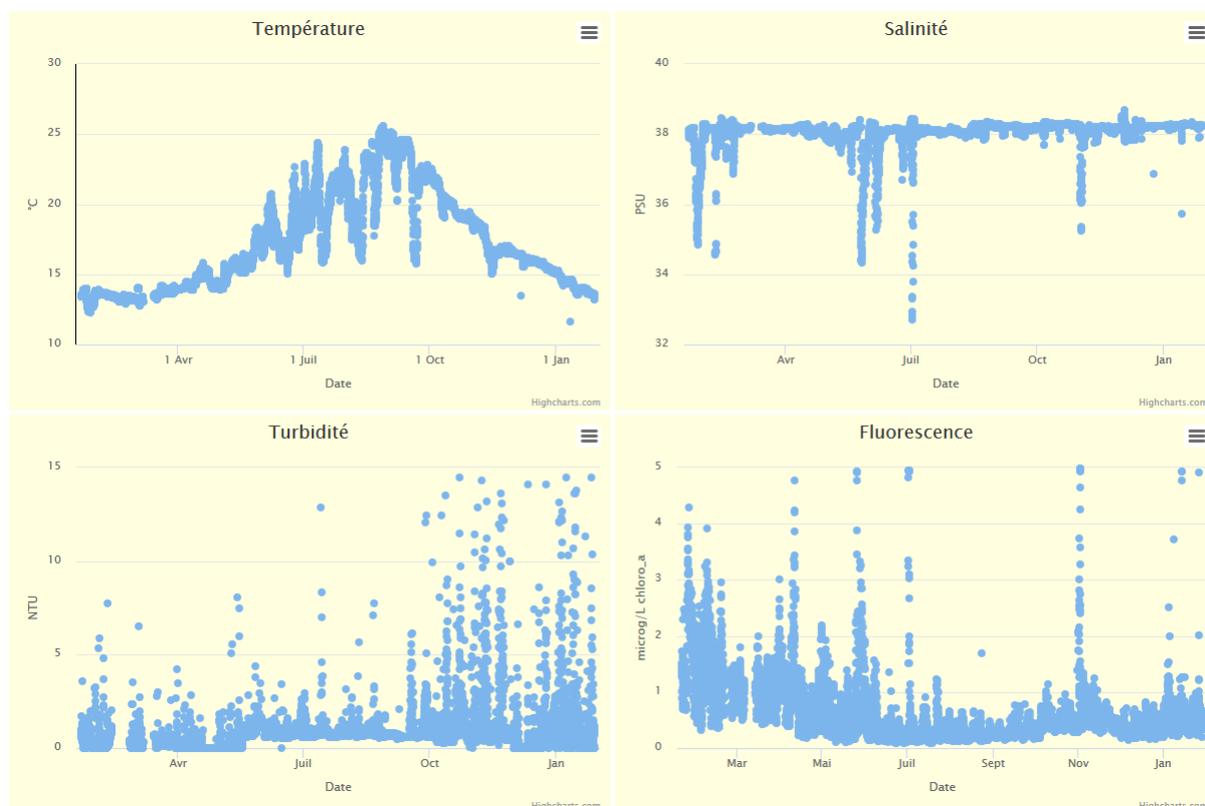


Figure 14: Evolution temporelle de la température, salinité, turbidité et fluorescence chlorophyllienne en baie de Marseille pour l'année 2016

