

Evolution prospective de la qualité des eaux de surface.

Scénario tendanciel de la Directive Cadre Européenne

de l'agglomération parisienne à l'estuaire.

Michel Poulin¹, Stéphanie Even¹, Bénédicte Thouvenin²

¹ENSMP, Fontainebleau, ²IFREMER Toulon

Michel.Poulin@ensmp.fr, Stephanie.Even@ensmp.fr,

Benedicte.Thouvenin@ifremer.fr

Evolution prospective de la qualité des eaux de surface.....	1
Scénario tendanciel de la Directive Cadre Européenne	1
de l'agglomération parisienne à l'estuaire.	1
1. Introduction.....	2
2. Les contraintes ou « pressions » et les situations hydrologiques	4
3. Les modèles	6
3.1. Le modèle PROSE	6
3.1.1 Le schéma conceptuel	7
3.1.2 Mise en œuvre du modèle ProSe.....	8
3.2. Le modèle SiAM-1D.....	8
3.2.1 Le schéma conceptuel	8
3.2.2 Conditions de mise en œuvre	9
4. Résultats.....	10
4.1. Validation.....	10
4.1.1 Oxygène dissous	10
4.1.2 Autres variables	15
4.2. Prospective 2015	15
4.2.1 Profils en long.....	15
4.2.2 Evolutions annuelles aux limites de masses d'eau.....	18
5. Conclusion et perspectives.....	22
6. Annexes	22

1. Introduction

L'horizon 2015 représente à la fois le terme de certains investissements en cours en matière de grandes infrastructures d'assainissement ou de traitement dans le bassin et l'échéance à laquelle la nouvelle Directive Cadre Européenne impose d'avoir rétabli le « bon état écologique » des masses d'eau.

Le modèle PROSE développés dans le cadre du programme PIREN-Seine et le modèle SiAM-1D développé dans le programme SEINE-AVAL, ont été utilisés pour simuler l'état de l'hydrosystème Seine en 2015 de Paris à Poses, d'une part, et de Poses à Honfleur, d'autre part.

Les contraintes appliquées à l'hydrosystème Seine en 2015 ont été déterminées par extrapolation des contraintes anthropiques actuelles en tenant compte des travaux relatifs à l'épuration des eaux usées de temps sec et de temps de pluie, en cours ou prévu. Ce travail d'élaboration de scénarios et d'hypothèses a été réalisé en collaboration avec l'équipe de prospective de la DEPEE de l'AESN, la DIREN Ile de France et le bureau d'étude ECODECISION. Le scénario de base appelé « poursuite » a été complété par diverses hypothèses issues des ateliers de prospective réunis à l'initiative de l'AESN et de la DIREN de Bassin auxquels le PIREN-Seine a participé. Deux situations hydrologiques ont été envisagées, une année sèche telle que 1996 et une année humide telle que 2001.

Les résultats correspondant à chacun de ces scénarios permettent d'estimer l'évolution sur une année de la qualité en 2015 des diverses masses d'eau et ainsi, pour chacune d'elles, le « risque de non atteinte du bon état écologique ».

Le modèle SENEQUE, dans sa version 3.1, a été utilisé pour les bassins de l'Oise, de la Marne, de la Seine amont et de l'Eure. Ce modèle fournit les informations relatives à la qualité de l'eau à l'entrée de l'agglomération parisienne. Il est ensuite relayé par le modèle PROSE. Ce travail est décrit au chapitre précédent de cette partie du rapport 2003.

Le présent rapport décrit la méthodologie et les résultats obtenus avec ProSe pour la Seine de Paris à Poses et quelques résultats préliminaires obtenus avec SiAM-1D développé dans le cadre du programme SEINE Aval relatif à l'estuaire de la Seine.

Le modèle PROSE, dans sa version 3.4, a permis de simuler la qualité de l'eau des masses d'eau de la Seine et la Marne, depuis l'amont de l'agglomération parisienne jusqu'à l'entrée de l'estuaire à Poses. Le traitement des eaux usées de temps sec et des eaux de ruissellement par temps de pluie constitue un enjeu majeur pour l'agglomération parisienne. Un inventaire des Rejets Urbains de Temps de Pluie a été réalisé. Les données disponibles ont permis de simuler une distribution temporelle et spatiale réaliste des déversements en terme de flux hydrique et polluant.

Le modèle SiAM-1D reçoit les informations relatives à la qualité des eaux à Poses et calcule, en tenant compte des cycles de marée, la qualité de l'eau dans les différentes masses d'eau de l'estuaire, l'estuaire étant soumis aux apports amont, aux apports internes ainsi qu'aux contraintes spécifiques liées à son débouché dans la Baie de Seine.

Enfin, le modèle SiAM/ELISE d'IFREMER permet de simuler les floraisons algales (diatomées et dinoflagellés) en Baie de Seine. Ce travail est décrit au chapitre suivant de cette partie du rapport 2003 et dans la partie « fonctionnement écologique du continuum aquatique ».

Cette chaîne de modèle couvre ainsi l'ensemble du bassin de la Seine, des secteurs amont à dominante rurale soumis aux apports diffus, au fleuve Seine dont la qualité des eaux est fortement contrainte par l'agglomération parisienne, jusqu'à son débouché dans l'estuaire et la Baie. La réussite du couplage de cet ensemble de modèles en parfaite cohérence conceptuelle sur un domaine aussi vaste présente un caractère exceptionnel. Ce travail d'équipes regroupant des scientifiques et les principaux acteurs de la gestion de l'environnement du bassin a d'ores et déjà permis d'obtenir de précieuses informations sur les impacts attendus des investissements engagés pour améliorer la qualité des eaux de la Seine. Ce travail, qui peut être poursuivi pour simuler les conséquences de diverses

hypothèses de gestion, devrait contribuer à mettre en perspective les améliorations réalistes à attendre des efforts consentis par la collectivité et les contraintes de la Directive Cadre Européenne.

La Marne aval constitue une masse d'eau. La Seine de l'agglomération parisienne à Honfleur (Figure 1) a été découpée en masses d'eau fluviales dont les limites aval sont les suivantes : amont de la confluence Seine - Oise, amont de la confluence Seine – Mauldre, Poses ; puis, pour la partie estuarienne, en masses d'eau de transition que nous avons choisi de caractériser par des résultats à La Bouille et à Caudebec.



Figure 1 : Domaine d'étude et masses d'eau : Marne aval, Seine et estuaire de la Seine

2. Les contraintes ou « pressions » et les situations hydrologiques

Aux limites amont du système modélisé les variables d'état sont fournies par SENEQUE. Ces limites correspondent approximativement aux entrées de l'agglomération parisienne. Le modèle SENEQUE permet de simuler l'ensemble des variables d'état de la Marne et la Seine avant leur entrée dans l'agglomération parisienne en tenant compte des « pressions » agricoles, urbaines et industrielles qui s'exercent sur les bassins versant de l'amont.

Sur son parcours de l'agglomération parisienne à Honfleur, la Seine reçoit principalement des apports urbains et industriels.

La définition et l'évolution de ces contraintes ou « pressions » a fait l'objet de travaux de prospectives organisés par l'AESN, la DIREN Ile de France assistés du bureau d'étude ECODECISION. Le détail de ces travaux fera l'objet de publications et rapport édité par l'AESN. Les bases de données utilisées pour constituer les fichiers d'entrée des modèles ont été élaborées par le bureau d'étude ECODECISION avec l'aide de l'Ecole des Mines (CIG) pour ce qui concerne les rejets de temps de pluie.

Le scénario principal appelé « H1 » ou « de poursuite » s'appuie sur les travaux de prospective évoqués ci-dessus. Les grands traits de l'évolution globale du bassin de la Seine de l'actuel à 2015 peuvent être résumés très sommairement ainsi : poursuite d'une croissance modérée globale et particulièrement de la région Ile de France, investissement des collectivités en matière de traitement des eaux usées au rythme prévu, poursuite de l'homogénéisation des régions agricoles, poursuite de l'investissement des grandes entreprises en matière d'épuration des rejets. L'hypothèse appelée « H2 » constitue une variante de H1. Elle s'en distingue en considérant un développement renforcé des secteurs périphériques, en dehors de l'Ile de France (Reims...).

Les graphiques que nous présentons en annexe permettent de comparer les impacts respectifs sur le milieu naturel de H1 et H2. Pour les secteurs que nous étudions, les écarts simulés sont en général très faibles. Ce point n'est pas surprenant dans la mesure où nous nous situons à l'aval du système. Les pressions globales sont alors peu différentes. Seule leurs répartitions spatiales diffèrent sur l'amont du bassin. Des différences locales sensibles ne pourront être observées que sur les résultats obtenus avec SENEQUE pour les secteurs amont.

Les impacts des pressions anthropiques sur les cours d'eau varient fortement en fonction des capacités de dilution de ces cours d'eau. Le fonctionnement écologique d'un réseau hydrographique est le résultat d'une situation hydrologique (pluies et débits), climatique (température, rayonnement...) et des apports diffus et ponctuels (d'origine naturelle, géologie, pédologie ou d'origine anthropiques, les « pressions ») qui y parviennent. Deux situations hydrologiques contrastées ont été envisagées correspondant respectivement à une année sèche, 1996, et à une année humide, 2001. Pour ces deux années il était possible de rassembler un ensemble de données, observations, mesures, apports ponctuels, qui permettait la validation des modèles.

De plus l'agglomération parisienne, par sa taille et par la densité de sa population, constitue un défi particulier en matière d'assainissement. En temps sec la collecte des effluents domestiques est totalement assurée et les flux d'eaux usées sont acheminés vers un ensemble distribué de stations d'épuration dont le niveau de traitement est en amélioration rapide. Pour le temps de pluie la taille et l'imperméabilisation des sols de l'agglomération parisienne pose un problème spécifique. Les flux de temps de pluie sont en partie stockés dans des bassins à surface libre (ruissellement de chaussées), dans les secteurs périphériques de la banlieue parisienne, dans des bassins enterrés, en zone urbaine plus dense, ou encore dans les grands collecteurs par la mise en place d'une gestion dynamique des flux. Ces flux parviennent ainsi de manière différée aux stations d'épuration et sont totalement ou partiellement traités selon l'intensité de la pluie. Au delà d'une certaine intensité de pluie et selon la distribution spatiale de ces pluies, les réseaux de collecte, communaux, départementaux et interdépartementaux peuvent déborder et apporter au milieu naturel des RUTP, rejets urbains de temps de pluie. Ces RUTP apportés aux cours d'eau par des ouvrages spécifiques appelés déversoirs d'orage

ou DO sont inventoriés (Figure 2). Les plus importants sont équipés d'instruments de mesure de débit et de qualité des eaux. Connaissant les flux cumulés déversés pour chacun de ces ouvrages et l'évolution temporelle de ces déversements pour les ouvrages principaux nous avons reconstitué les apports de temps de pluie de l'agglomération parisienne pour les années 1996 et 2001. Ce travail a été réalisé en collaboration avec le SIAAP et l'AESN.

La simulation en régime transitoire des impacts des RUTP en Seine et en Marne nous permet de représenter de manière réaliste le fonctionnement écologique de ces cours d'eau et ainsi d'obtenir des statistiques sur les pourcentages de temps où la situation est dégradée du fait entre autre de ces RUTP.

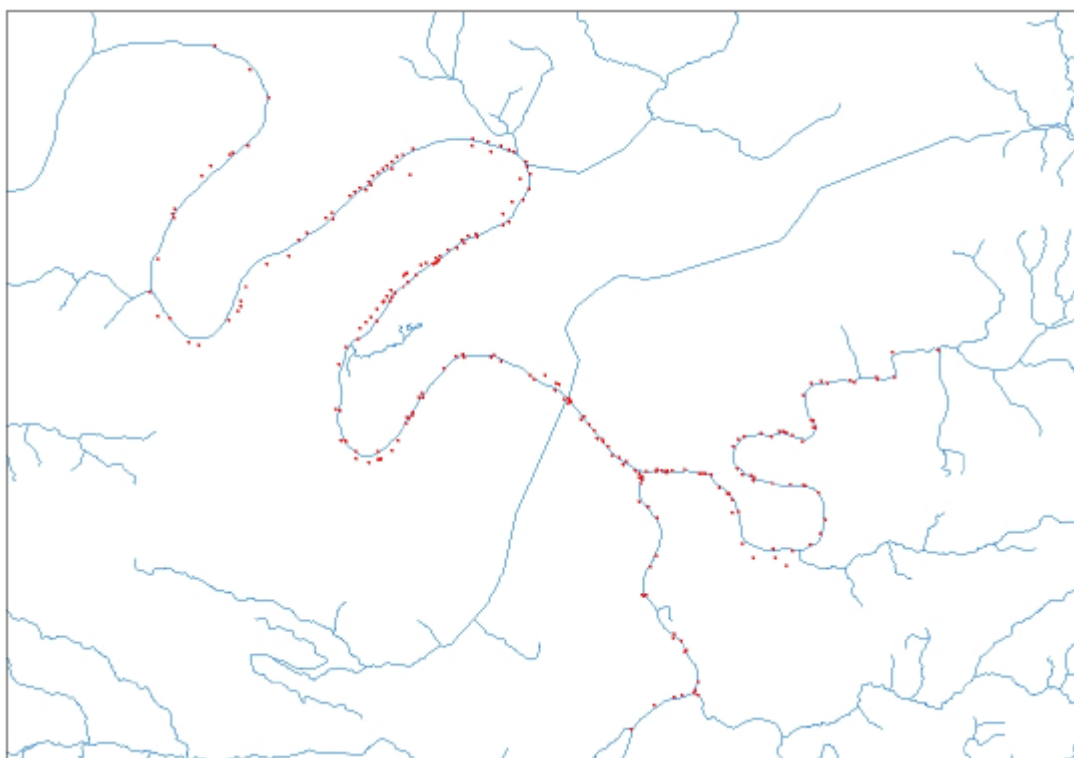


Figure 2 : Situation des apports de temps de pluie dans l'agglomération parisienne

3. Les modèles

Les modèles biogéochimiques développés dans le cadre du PIREN Seine (SENEQUE, PROSE, ...) utilisent le même schéma conceptuel biologique, RIVE. Les différentes validations sur le bassin de la Seine ont montré la capacité de ces modèles à représenter de manière satisfaisante les processus importants dans la colonne d'eau à partir d'un jeu de paramètres uniformes. Cette approche a été reprise et poursuivie dans le cadre du programme SEINE AVAL avec le couplage du modèle RIVE aux modèles hydrosédimentaires de l'IFREMER, SiAM-1,2,3D. Pendant la première phase du programme SEINE AVAL, l'accent a porté sur la modélisation de l'estuaire amont jusqu'à Caudebec où se déroule essentiellement la nitrification de l'ammoniaque apporté par la station d'épuration d'Achères. A cette fin le modèle SiAM-1D a été utilisé. Il a pu être validé sur les années 1995, 1996, 1997 et 2001. Sa limite aval, située à Honfleur ne permettait cependant pas d'obtenir de résultats fiables au-delà de Caudebec. Pendant la deuxième phase du programme SEINE AVAL, le couplage avec SiAM-3D a été réalisé en étendant le maillage à la baie. Ce modèle est en cours de validation. Il permettra à terme de représenter les processus de transformation dans l'ensemble de l'estuaire et de déterminer les flux d'éléments exportés en Baie de Seine.

Le travail avec SiAM-3D n'étant actuellement pas complètement abouti, nous avons réalisé les travaux de simulation dans l'estuaire avec le modèle SiAM-1D.

Dans chacun des logiciels, le modèle RIVE a été couplé à différents modèles de description de la physique des milieux (forçages). Nous ne décrivons ici que les modèles PROSE et SiAM-1D ayant servi respectivement à simuler l'axe Seine depuis Paris jusqu'à Poses, d'une part, et l'estuaire amont jusqu'à Caudebec, d'autre part.

3.1. Le modèle PROSE

Le modèle PROSE est destiné à simuler l'impact de tout type de pollution anthropique sur une large gamme de systèmes. Par pollution anthropique, nous entendons des pollutions quasi permanentes, comme par exemple les rejets de station d'épuration, ou fortement transitoires, tels que les rejets urbains de temps de pluie. Ce modèle permet en outre de simuler l'impact de pollutions ponctuelles ou diffuses.

Pour répondre à ces objectifs, des choix conceptuels ont été réalisés afin de pouvoir représenter le plus correctement possible les échelles temporelles et spatiales fines (phénomènes transitoires de temps de pluie, champ proche des rejets), tout en couvrant correctement le domaine, parfois assez étendu, d'impact des pollutions étudiées.

Les données intégrées dans le modèle permettent donc de traiter des échelles de temps de quelques minutes à la journée, et d'espace depuis quelques mètres jusqu'au kilomètre. Les simulations réalisées avec le logiciel concernent généralement des années entières et des domaines d'étude de plusieurs dizaines, voire centaines de kilomètres.

3.1.1 Le schéma conceptuel

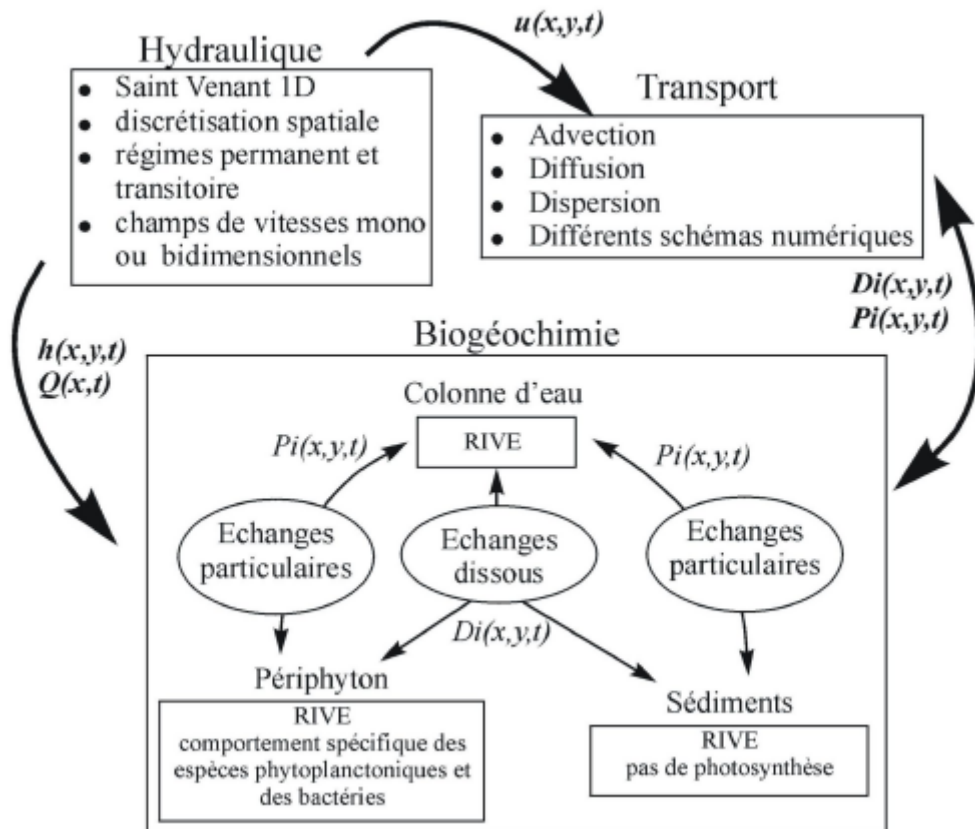


Figure 3: Les différents modules du modèle ProSe

Le modèle PROSE comporte 3 modules (Figure 3) :

- un module hydraulique résolvant les équations monodimensionnelles de SAINT-VENANT : à partir de la description de la géomorphologie de la rivière (profils transversaux), de la connaissance des points singuliers (barrages, zones de difffluence, confluence) et de leur fonctionnement (lois d'écoulement au-dessus des seuils), des débits amont et des apports latéraux, ce module permet de calculer les variables hydrauliques en chaque maille de calcul (hauteur d'eau, débit, vitesse, section mouillée). Il permet de représenter des situations permanentes et transitoires (variations du débit, mouvements de seuils).

- un module de transport dans la colonne d'eau représentant d'une part le transport à la vitesse de l'eau (convection) et le transport dispersif (incluant les différents processus de mélange). Dans la version monodimensionnelle, seule la dispersion longitudinale est représentée. La dispersion intègre la turbulence et la convection différentielle. Les résultats d'un modèle monodimensionnel sont valides lorsque le mélange transversal est complet. En Seine la distance de mélange est de l'ordre de plusieurs kilomètres. Dans la version de PROSE à tubes de courant les processus de dispersion longitudinale et transversale sont représentés. La dispersion longitudinale ne recouvre alors pas les mêmes réalités que dans le cas d'un modèle monodimensionnel, la convection différentielle étant explicitement représentée.

- un module de transport sédimentaire. Une fraction très significative des constituants biochimiques est contenue dans le compartiment particulaire. Le schéma conceptuel a été élaboré à la suite d'observations concernant des radionucléides et de micropolluants. Ces observations, réalisées en Seine, ont permis de montrer, pour des périodes d'étiage, une alimentation continue de la colonne d'eau par des suspensions ayant sédimenté lors d'évènements pluvieux (utilisation de traceurs des rejets). Ces observations ont mis en évidence l'existence de processus «continus» de remise en

suspension. Les travaux menés dans le cadre du PIREN Seine (Martin L., 2001, Thèse ENSMP) ont permis de montrer que la navigation était à l'origine des resuspensions observées en période d'étiage. Le schéma conceptuel de transport sédimentaire adopté dans PROSE considère à chaque instant les échanges entre la colonne d'eau et une couche de vase, par sédimentation et par érosion, dans la mesure de stocks disponibles au fond. Le concept de capacité de transport a été utilisé. Cette approche s'intéresse à la fraction de particules transportées dans la colonne d'eau à l'équilibre. A chaque débit correspond une capacité de transport de l'écoulement, définissant une concentration en matière en suspension totale pouvant être transportée par l'eau. Le système, à débit donné, évolue vers une situation d'équilibre. Les situations transitoires (variation du débit, apport latéral) correspondent à des variations des flux nets de dépôt ou d'érosion jusqu'à atteindre le nouvel équilibre. La turbulence supplémentaire induite par la navigation est intégrée sous la forme d'un terme constant, représentant un effet moyen du passage des bateaux.

- un module biogéochimique. Ce module s'appuie sur le schéma conceptuel RIVE (Billen G. et al., 1995) décrivant de façon déterministe les processus biologiques des activités bactériennes hétérotrophes et autotrophes, phytoplanctoniques et zooplanctoniques. Il simule l'impact de ces processus sur les teneurs en carbone, azote, phosphore et oxygène. Le schéma conceptuel (Figure 3) se fonde sur la description de processus appréhendés par l'expérience et décomposés en étapes élémentaires dont le moteur est la croissance de microorganismes. Les variables de la colonne d'eau sont également présentes dans les sédiments (sédimentation des variables particulières, échanges des espèces dissoutes par diffusion à l'interface). Les mêmes processus biologiques que dans la colonne d'eau s'y déroulent.

3.1.2 Mise en œuvre du modèle ProSe

Le modèle PROSE a été mis en œuvre depuis Choisy le Roi (Seine), Neuilly sur Marne et Méry sur Oise, jusqu'à Poses. Les trois points amont correspondent aux stations de prélèvement de la CGE, sites pour lesquels nous disposons de mesures suffisantes pour initialiser le modèle à l'amont. De plus, les points de Choisy le Roi (Seine), Neuilly sur Marne permettent de remonter respectivement à 13 Km et 37 Km en amont de la confluence Seine - Marne et d'intégrer ainsi les points de rejets majeurs situés en amont de Paris (le Fresnes Choisy et la STEP de Valenton pour la Seine, la STEP de Noisy et de nombreux déversoirs de temps de pluie pour la Marne). Les mailles ont une longueur variable de 100 mètres (dans Paris) à 500 mètres, le pas de temps de calcul est de 5 mn. La version monodimensionnelle du logiciel a été utilisée.

3.2. Le modèle SiAM-1D

Le modèle hydrosédimentaire SiAM-1d a été développé par l'IFREMER. Il permet de simuler le comportement hydrodynamique, selon l'axe longitudinal d'un estuaire, en tenant compte des marées. Le modèle SiAM-1D permet de simuler le transport dans la colonne d'eau de constituants dissous et particuliers, de faire intervenir des réactions biogéochimiques entre les différents constituants. Les équations du modèle RIVE ont ainsi été intégrées au modèle SiAM-1D. SiAM-1D et PROSE s'appuient tous deux sur une description aussi déterministe que possible de la physique du système.

3.2.1 Le schéma conceptuel

Les équations hydrodynamiques résolues par le modèle SiAM-1D sont les équations de SAINT-VENANT.

Dans SiAM-1D, le calcul du dépôt et de l'érosion fait intervenir des contraintes critiques. Ainsi le dépôt n'a lieu que pour des contraintes au fond inférieures à la contrainte critique minimale. Dans le cas contraire on suppose que la turbulence est telle que le dépôt n'est plus possible. Les contraintes critiques doivent être calées ainsi que le flux total maximal érodable. La sédimentation est par ailleurs fonction du produit de la vitesse de chute et de la concentration de matières en suspension dans l'eau.

La vitesse de sédimentation est variable en fonction de la salinité et de la concentration en MES. La floculation est prise en compte. Compte tenu du dépôt et de l'érosion, le modèle SiAM-1D calcule des stocks de variables particulières au fond. On distingue la vase non consolidée ou crème de vase, ayant des échanges directs avec la colonne d'eau, de la vase consolidée, alimentée par la crème de vase, dont on considère qu'une fraction est compactée en 24 heures (Figure 4). Deux types de particules solides ont été introduits :

- Les particules lourdes constitutives du bouchon vaseux, ayant une vitesse de chute de l'ordre de 1,6 mm/s.
- Les particules fines ayant des vitesses de chute plus faibles, de l'ordre de 0,01 à 0,05 mm/s, dont la concentration décroît relativement lentement dans la partie amont de l'estuaire.

Un certain nombre de réactions biochimiques sont programmées dans le logiciel SiAM-1D, permettant de représenter les réactions entre les variables dissoutes, particulières et forçantes dans la colonne d'eau, mais également dans les sédiments. Les variables d'état prises en compte, le type de réaction entre les variables ainsi que les paramètres correspondant sont conformes au schéma conceptuel de RIVE. Un certain nombre de variables du modèle RIVE sont particulières et des vitesses de chute spécifiques à chaque variable sont données. La condition limite amont est calculée sous forme d'un flux entrant dans la première maille, résultant de la concentration et du débit fixés en amont. La détermination de la condition limite aval est plus problématique surtout pour le flot. Elle est calculée à partir d'une concentration limite fixée très au large et de la concentration connue dans la dernière maille en fin de jusant. Une extrapolation à l'aide d'un polynôme du troisième degré est effectuée. Pendant le jusant, elle résulte d'un bilan de flux entre le flux arrivant de l'amont et le flux sortant au large.

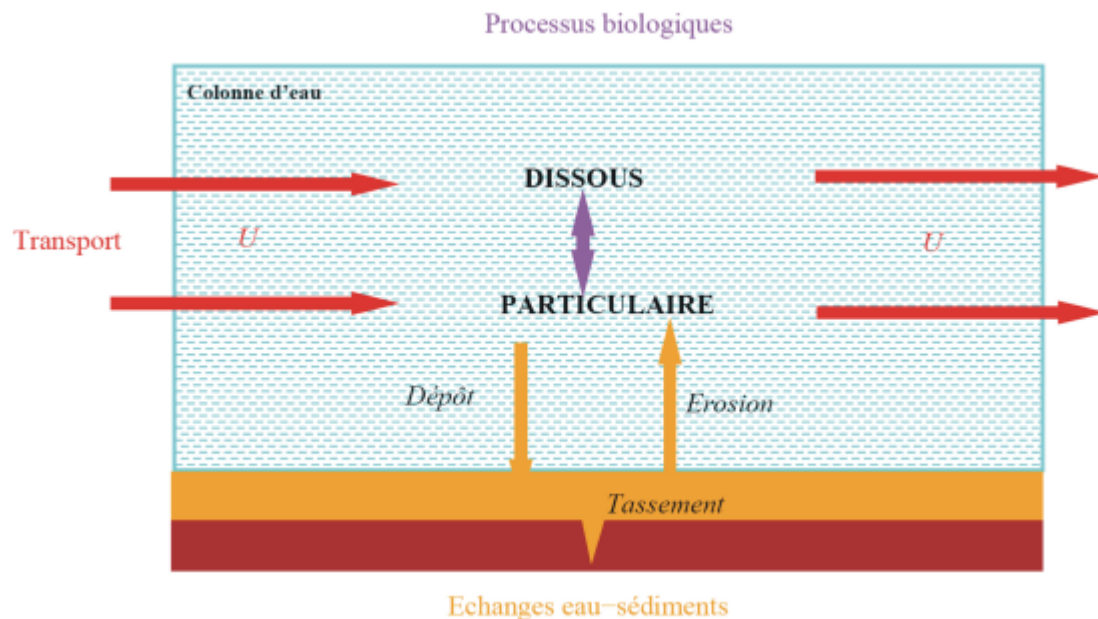


Figure 4: Schéma des processus pris en compte par le modèle SiAM-1D.

3.2.2 Conditions de mise en œuvre

Le modèle SiAM-1D est mis en œuvre sur 150 Km entre Poses et Honfleur. Les mailles ont une longueur de 4 Km, le pas de temps de calcul est 10 mn. L'utilisation du modèle est limitée aux débits entrant à Poses inférieurs à 1000 m³/s.

4. Résultats

Les résultats, consistant en un grand nombre de graphes, sont regroupés en annexe à ce rapport. Nous nous limiterons ici à donner les clés au lecteur pour explorer cette annexe selon ses intérêts propres. Ces résultats concernent en majeure partie la Seine de Paris à Poses. Quelques résultats préliminaires concernant l'estuaire sont également intégrés. Les travaux de simulations prospectives pour l'estuaire feront prochainement l'objet d'un rapport spécifique.

L'annexe regroupant les résultats est structurée logiquement comme suit :

- Validation pour une année sèche type, 1996,
- Validation pour une année humide type, 2001,
- Simulations prospectives, profils en long, évolutions annuelles aux limites de masses d'eau pour une année sèche puis pour une année humide.

4.1. Validation

La validation des modèles consiste à comparer les évolutions des variables d'état calculées sur des années complètes en tous les points où nous disposons de mesures. Les cours d'eau, et a fortiori l'estuaire, étant des systèmes fortement transitoires nous privilégions les variables et les sites où nous disposons de mesures au pas de temps fin. Nous représentons l'intégralité de ces mesures qui montrent toute la gamme de variation réelles. Pour l'oxygène dissous, par exemple, les mesures sont réalisées à un mètre de profondeur. Elles montrent par conséquent le cycle nyctéméral de la photosynthèse et de la respiration. La concentration moyenne en oxygène dissous de toute la colonne d'eau, plus conforme à ce que calcule le modèle, monodimensionnel, serait moins variable.

4.1.1 Oxygène dissous

L'évolution des concentrations en oxygène dissous intègre un grand nombre de processus : passage de blooms algaux provenant de l'amont de Paris, autoépuration des rejets permanents, impacts des déversements de temps de pluie, minéralisation de la matière organique, nitrification, échanges colonne d'eau – sédiments... La concentration en oxygène dissous est une variable intégratrice qui présente de plus l'intérêt de pouvoir être mesurée en continu de manière automatisée. La validité des calculs doit être jugée pour chacune des situations hydrologiques, sèche en 1996 et humide en 2001. De plus il est nécessaire de parcourir d'amont en aval l'ensemble des stations de mesure disponibles : Issy les Moules, Suresnes, Asnières, Colombes, Chatou, Bougival, Sartrouville, Meulan, Poses, Rouen, La Bouille, Caudebec. Ces mesures, d'une qualité exceptionnelle, nous ont été communiquées par le SIAAP et le SNS, Bougival et Rouen, partenaires du PIREN Seine et du programme SEINE Aval.

Nous donnons ici deux exemples de ces évolutions annuelles pour les stations de mesure de Colombes et Bougival en 1996 (Figures 5a et 5b) et 2001 (Figure 6a et 6b).

Les résultats obtenus avec le modèle ProSe sont plus proches des mesures en 2001 qu'en 1996. Cette meilleure qualité des résultats s'explique par le fait qu'en 2001 nous disposons d'une quantité d'informations beaucoup plus importantes qu'en 1996, en particulier, les teneurs observées en Chlorophylle, qui nous renseignent sur la présence de phytoplancton, et les déversements de temps de pluie dans l'ensemble de l'agglomération parisienne. En effet de nombreux déversoirs d'orage sont maintenant instrumentés tant pour ce qui concerne les débits rejetés que pour ce qui concerne la qualité de ces rejets.

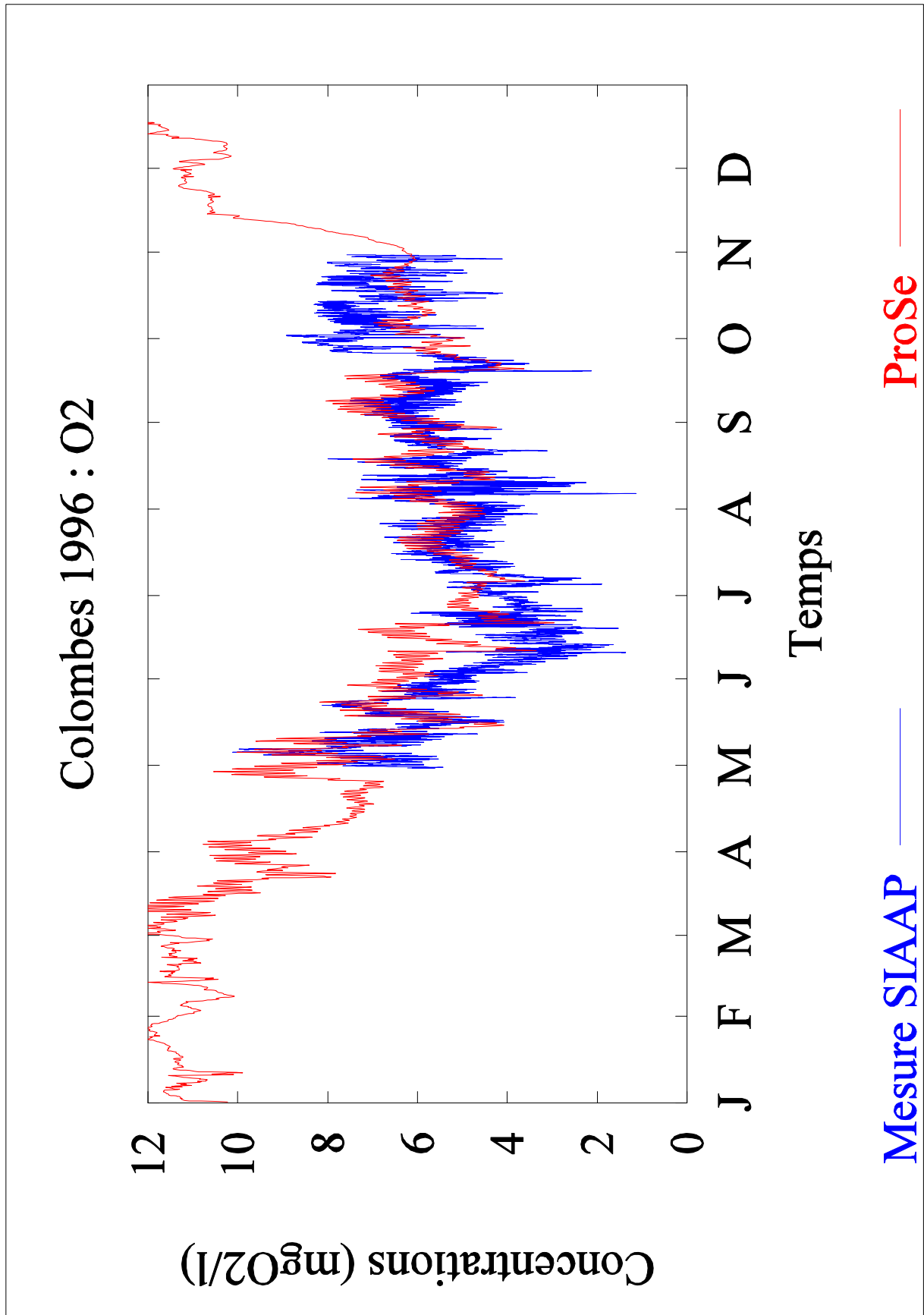


Figure 5a : 1996, oxygène dissous mesuré à Colombes et résultats de ProSe

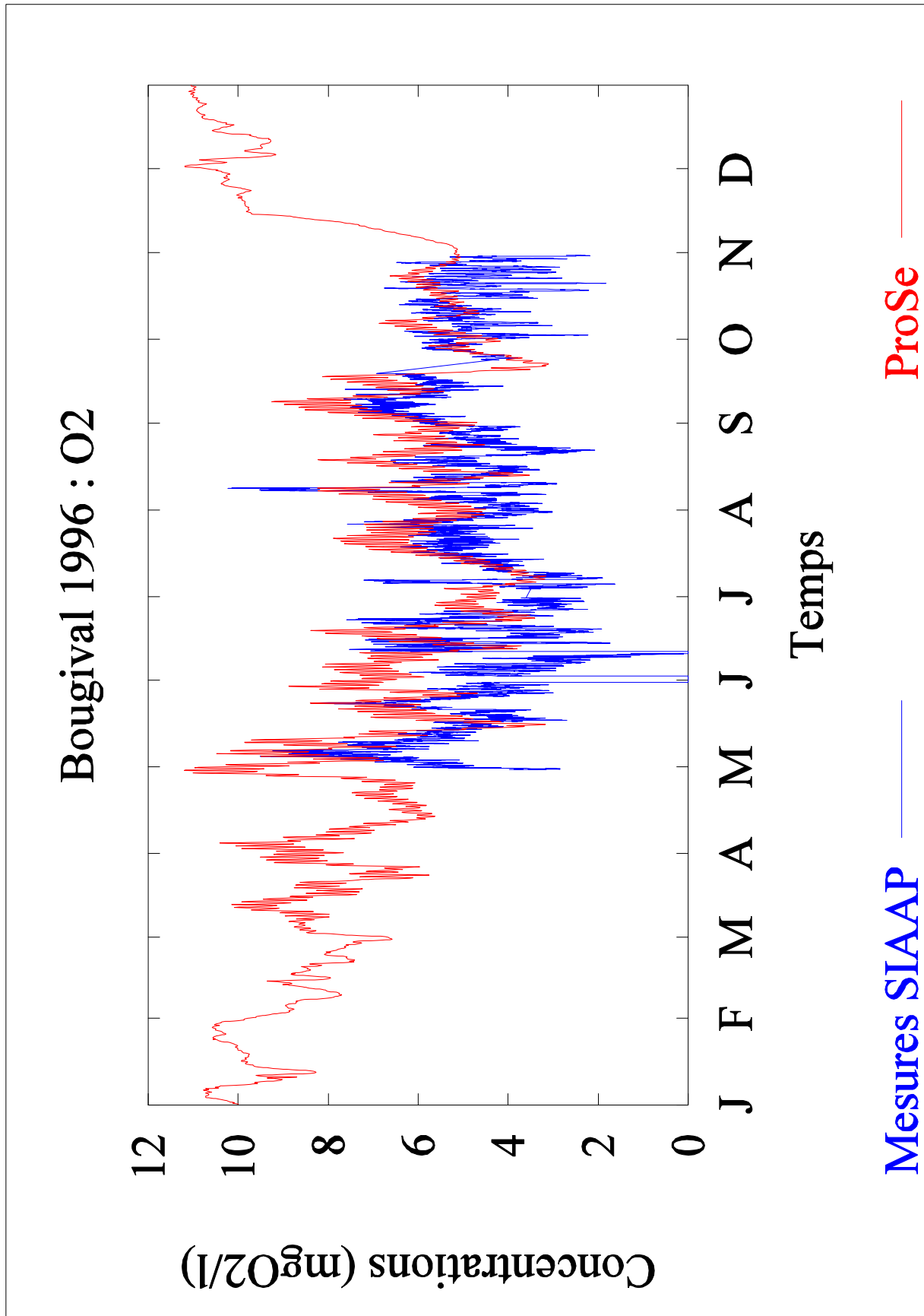


Figure 5b : 1996, oxygène dissous mesuré à Bougival et résultats de ProSe

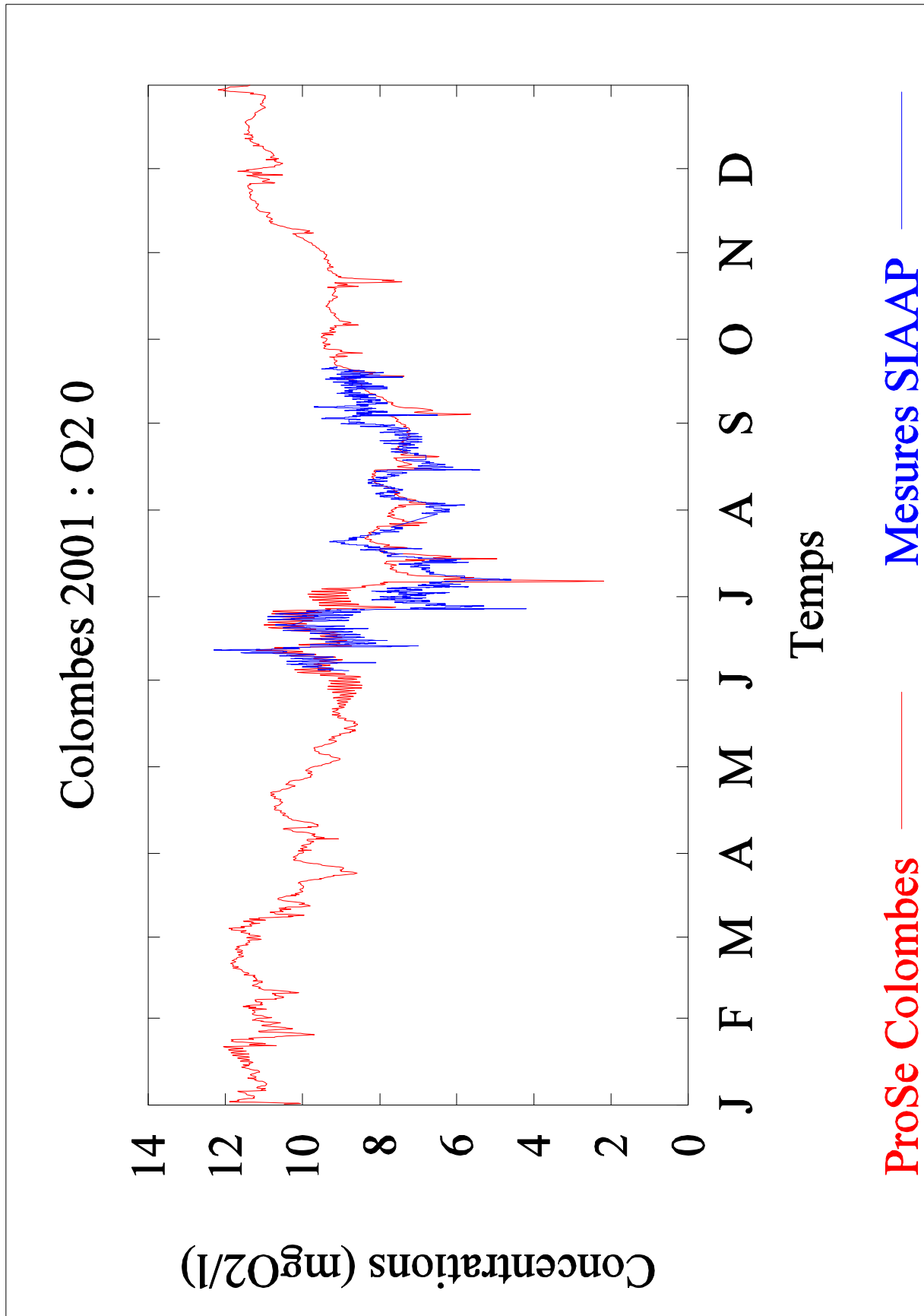


Figure 6a : 2001, oxygène dissous mesuré à Colombes et résultats de ProSe

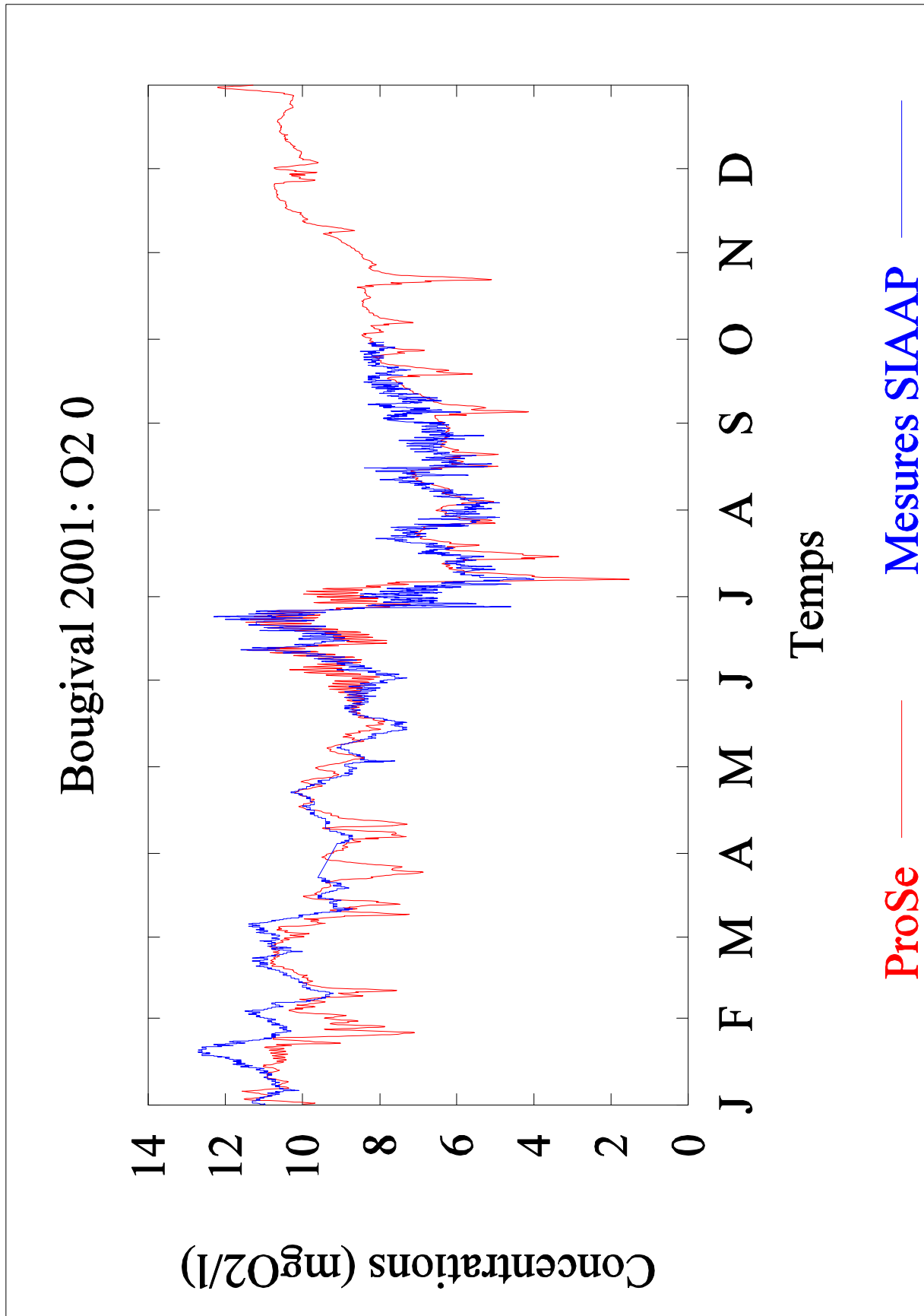


Figure 6b : 2001, oxygène dissous mesuré à Bougival et résultats de ProSe

4.1.2 Autres variables

En parcourant l'annexe de ce document, on pourra également juger de la qualité des résultats obtenus aux différentes stations de mesure pour les variables d'état suivantes : Chl-a (Chlorophylle a), N-NH₄ (ammonium exprimé en azote), N-NO₃ (nitrate), P-PO₄ (orthophosphate exprimé en phosphore), MES (matières en suspension), MOP (matière organique particulaire), MOD (matière organique dissoute).

4.2. Prospective 2015

Les résultats présentés en annexe sont de deux types : des profils en long des différentes variables simulées par le modèle pour une seule date, fin Juillet, pour les deux situations hydrologiques, année sèche et année humide, d'une part, et, d'autre part, des évolutions temporelles sur une année entière, sèche ou humide, aux différentes limites de masse d'eau, confluences Seine-Marne, Seine-Oise et Seine-Mauldre, Poses, La Bouille et Caudebec.

4.2.1 Profils en long

Un profil en long représente une vision instantanée de la Seine. Nous avons choisi de représenter la situation de fin Juillet, période estivale critique (Figures 7 et 8) pour l'oxygène dissous et les nitrates.

L'examen du profil en long de la figure 7 montre que pour les 6 masses d'eau simulées, à l'intérieur de chacune d'elles, les évolutions longitudinales des concentrations d'oxygène dissous calculées sont fortement variables. Ainsi la concentration simulée à la Bouille est la valeur minimale calculée pour la masse d'eau de transition qui s'étend de Poses à La Bouille.

Les limites de classe du SEQ-Eau (système d'évaluation de la qualité de l'eau) ont été indiquées sur les figures 7 et 8.

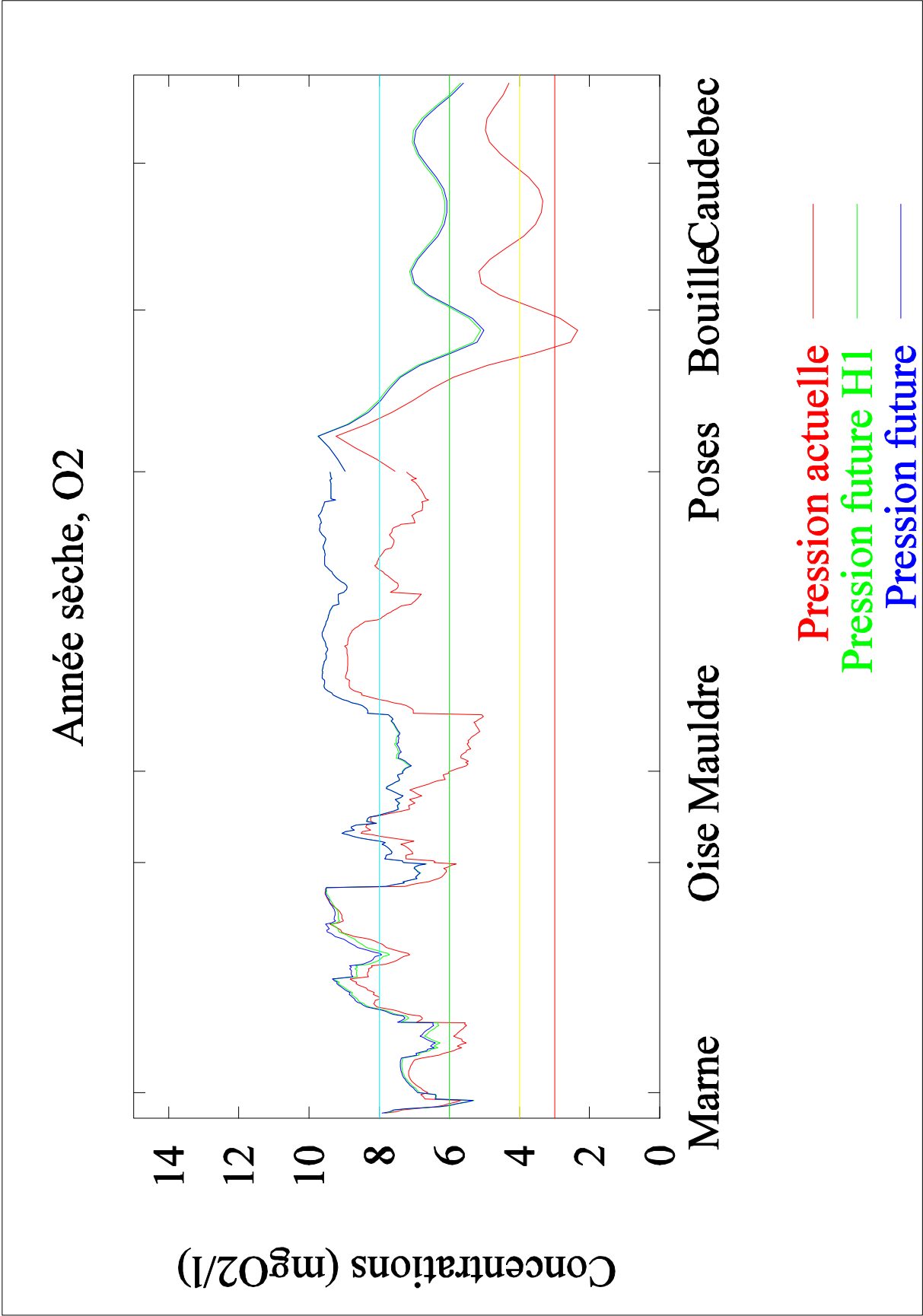


Figure 7 : Profil en long d'oxygène dissous, fin Juillet 1996 et fin Juillet 2015

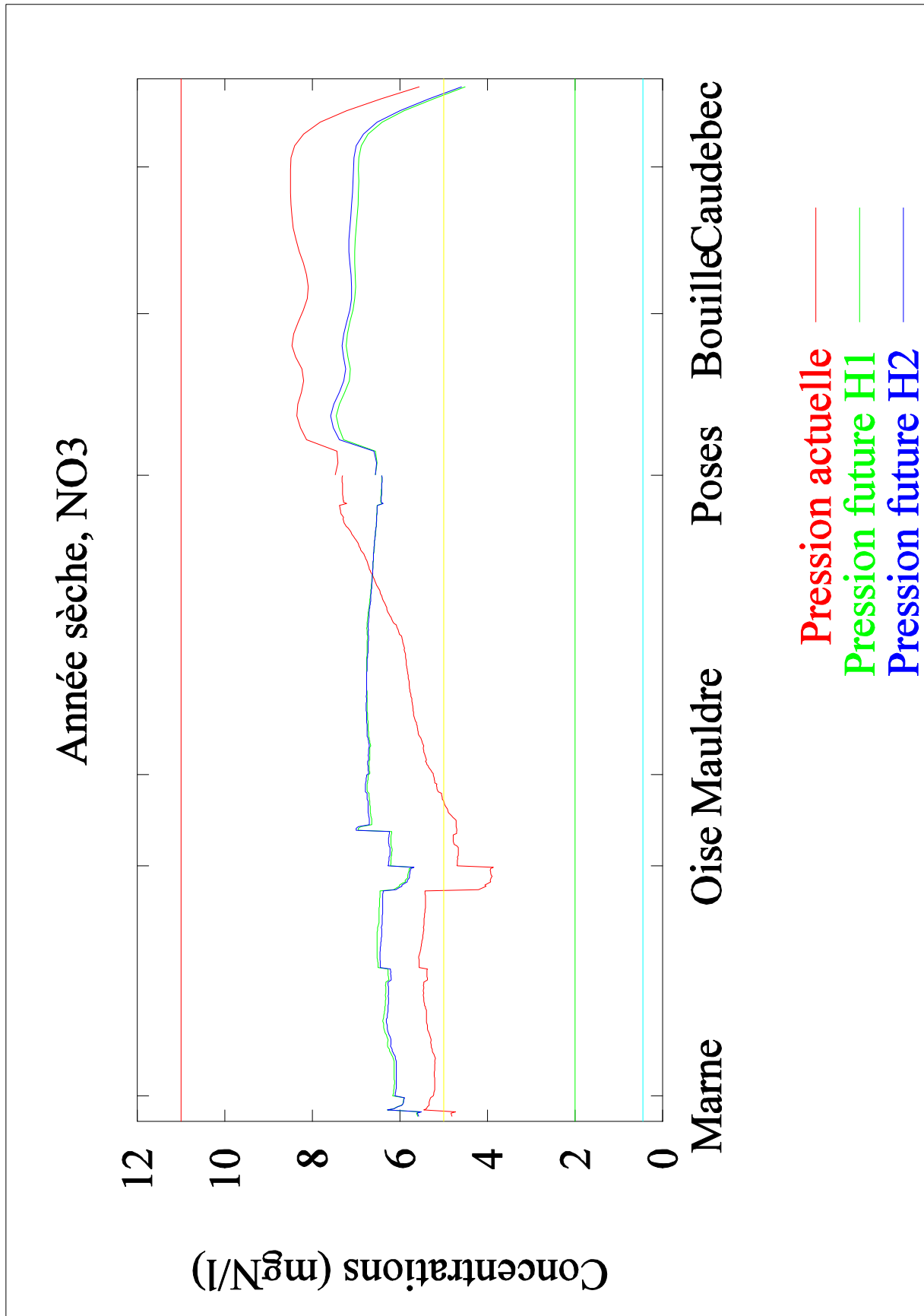


Figure 8 : Profil en long de nitrates, fin Juillet 1996 et fin Juillet 2015

4.2.2 Evolutions annuelles aux limites de masses d'eau

Nous avons choisi de représenter les résultats relatifs à l'oxygène dissous (Figure 9), aux nitrates (Figure 10) et aux orthophosphates (Figure 11) à Poses.

Sur chacune des figures sont représentées les limites du SEQ-Eau.

Pour l'oxygène dissous, en année sèche, en période estivale, le gain obtenu en 2015 par rapport à la situation actuelle est considérable. Les situations de crise dont le pourcentage d'occurrence en 1996 est très supérieur à 10 % contribuent à déclasser fortement la masse d'eau. En situation future, à l'échéance 2015, la masse d'eau gagnerait 3 catégories.

En revanche, pour les nitrates (Figure 10), bien que le gain atteigne 2 mg/l en période estivale, la masse d'eau reste de qualité médiocre. La dénitrification totale à Achères, que nous avons supposée ici égale à 75%, ne permettrait vraisemblablement pas un gain suffisant pour que la masse d'eau change d'une catégorie. Cependant toute amélioration permettrait de diminuer les flux apportés à la zone littorale et à la Mer du Nord.

Pour les orthophosphates (Figure 11), le gain est très sensible, d'un facteur 2, mais les flux exportés restent très importants.

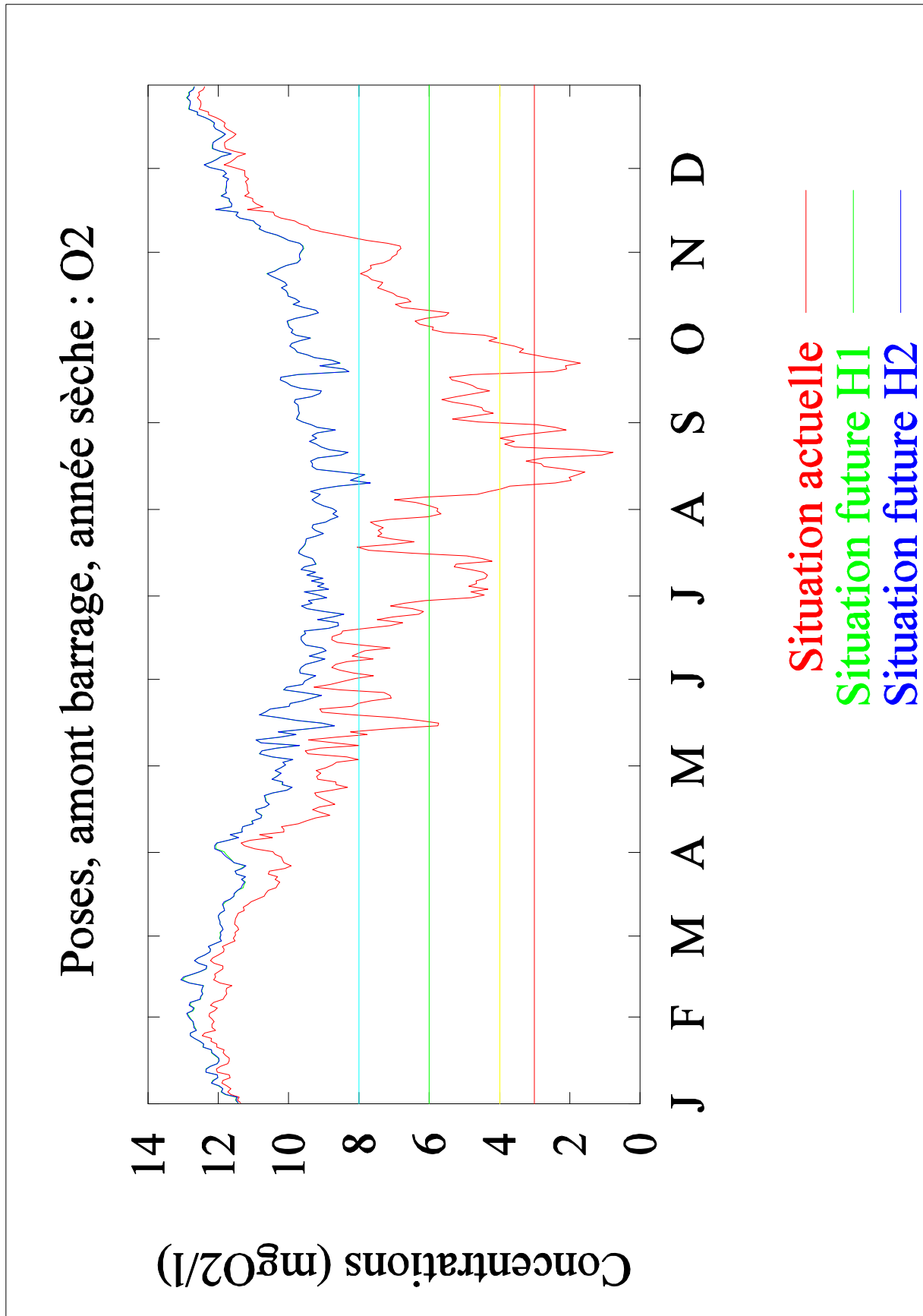


Figure 9 : Oxygène dissous à Poses en 1996 et 2015

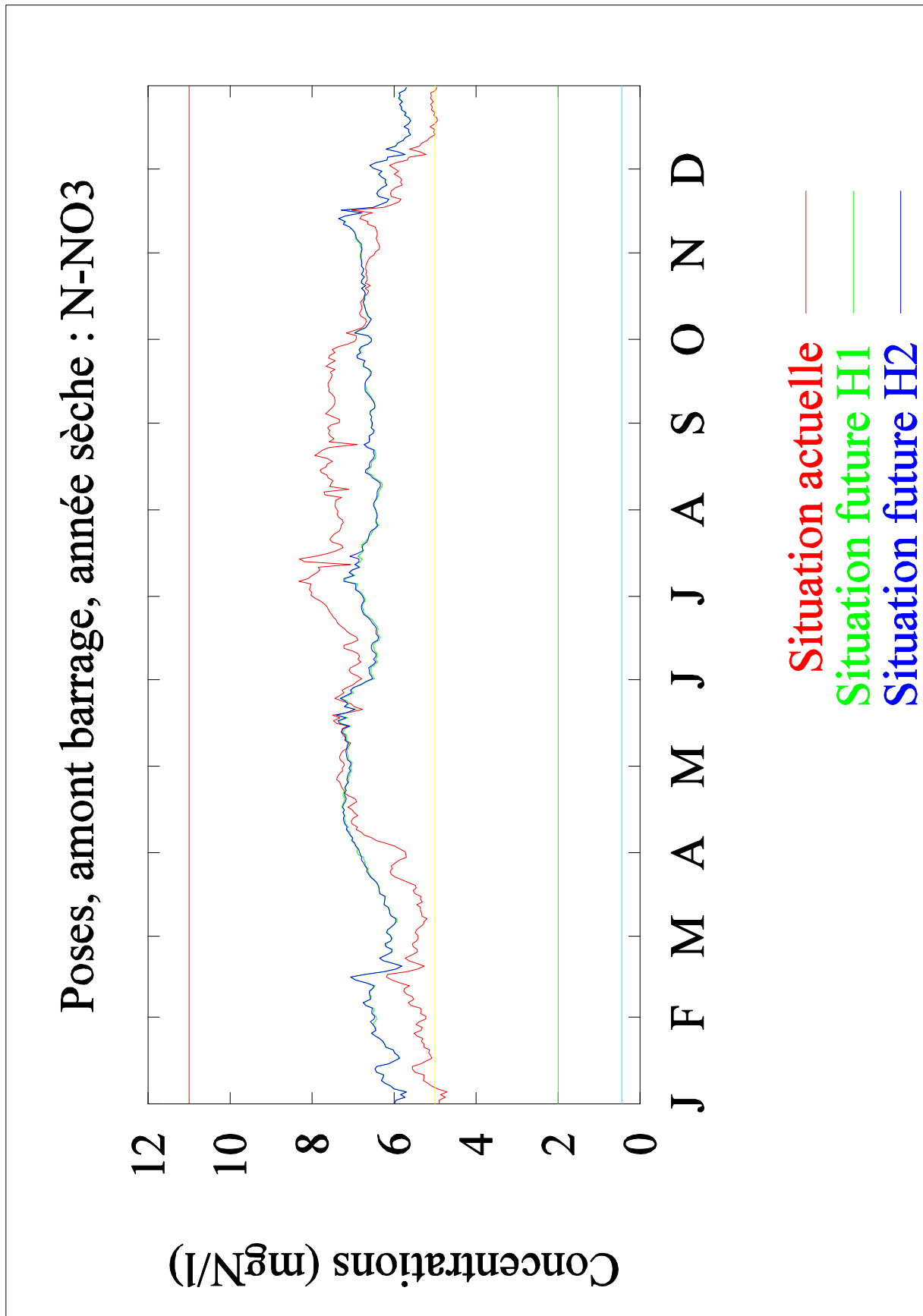


Figure 10 : Nitrates à Poses en 1996 et 2015

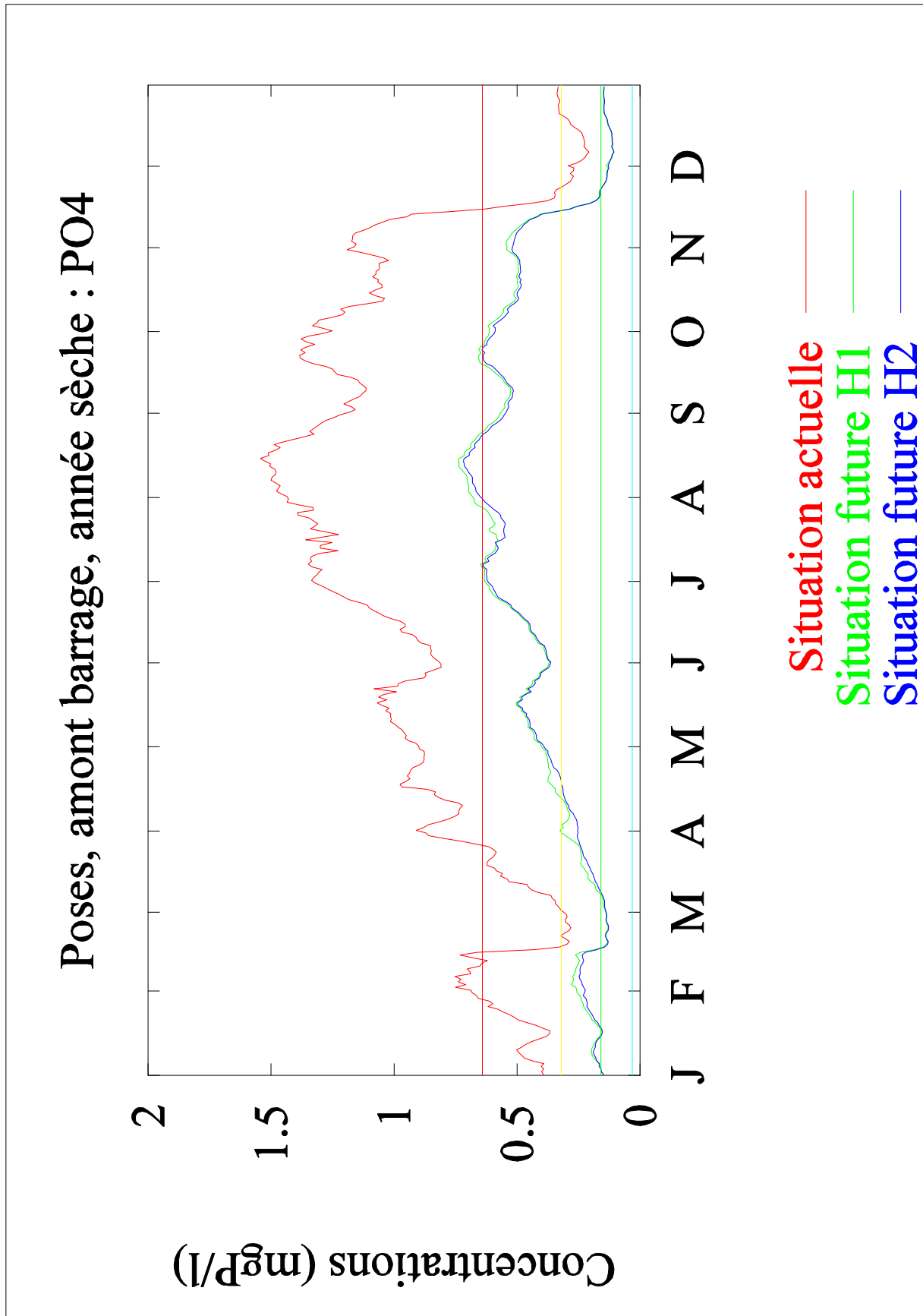


Figure 11 : Orthophosphates à Poses en 1996 et 2015

5. Conclusion et perspectives

Pour ce qui concerne la Seine de Paris à Poses, le modèle Prose est maintenant disponible pour simuler des situations correspondant à de nouvelles hypothèses. Les mesures en continu et la surveillance accrue du milieu par les différents utilisateurs du milieu naturel (SIAAP, SAGEP, SEDIF, Eau et Force...) ont permis d'améliorer au fil des années la précision des simulations. La validité des simulations s'est accrue sensiblement avec l'amélioration récente de la connaissance des déversements en quantité et en qualité dans l'ensemble de l'agglomération parisienne. Nous avons également effectué des traitements des résultats obtenus pour calculer des pourcentages d'occurrence de niveaux de qualité de l'eau par variable d'état simulée (déciles du SEQ-Eau).

Pour l'estuaire, un rapport détaillé sera publié prochainement à l'achèvement des travaux de simulation. Le secteur Caudebec Honfleur fera l'objet de simulations ultérieures, des recherches étant actuellement menées sur ce secteur dans le cadre du Programme de recherche SEINE Aval (plan d'actions 2004).

6. Annexes

Sommaire

I Validation 1996	3
1 L'oxygène	5
2 Chlorophylle <i>a</i>	13
3 Ammoniaque	21
4 Nitrates	27
5 Phosphore	31
6 Matières en suspension totales	35
7 Matière organique particulaire	41
8 Matière organique dissoute	47
9 Biomasses bactériennes	51
II Validation 2001	53
10 L'oxygène	55
11 Chlorophylle <i>a</i>	65
12 Ammoniaque	73
13 Nitrates	79
14 Orthophosphates	85
15 Matières en suspension totales	91

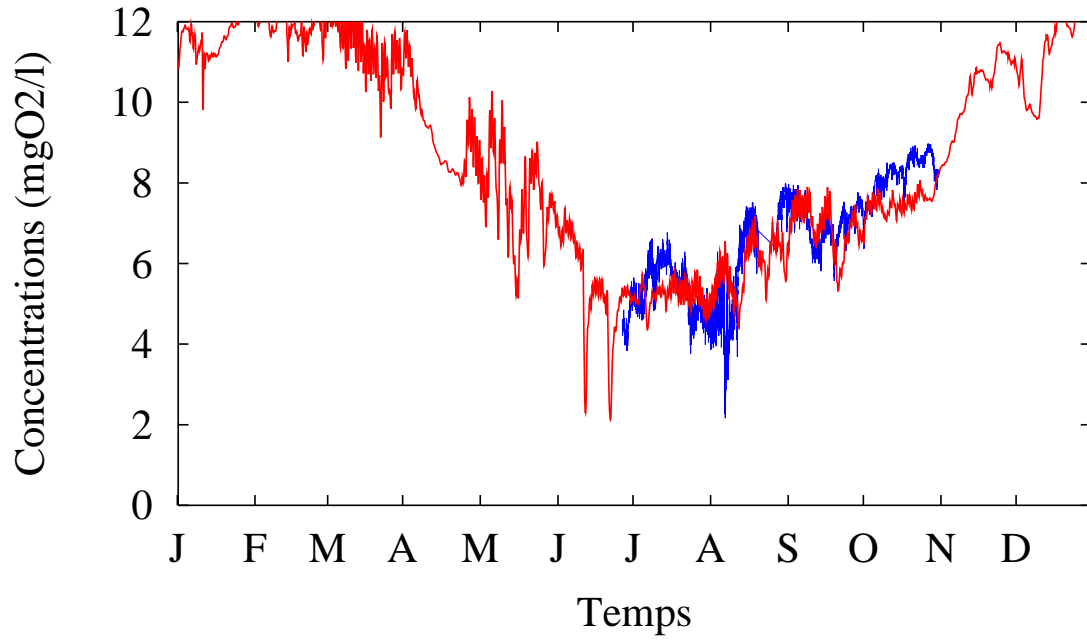
16	Matières organique	99
III	Prospective : Année sèche	105
17	L'oxygène	107
18	Chlorophylle <i>a</i>	113
19	Ammoniaque	119
20	Nitrates	125
21	Orthophosphates	131
22	Matières en suspension totales	137
23	Carbone organique total	143
24	Carbone organique total biodégradable	149
IV	Prospective : Année Humide	155
25	L'oxygène	157
26	Chlorophylle <i>a</i>	163
27	Ammoniaque	169
28	Nitrates	175
29	Orthophosphates	181
30	Matières en suspension totales	187
31	Carbone organique total	193
32	Carbone organique total biodégradable	199

Annexe I

Validation 1996

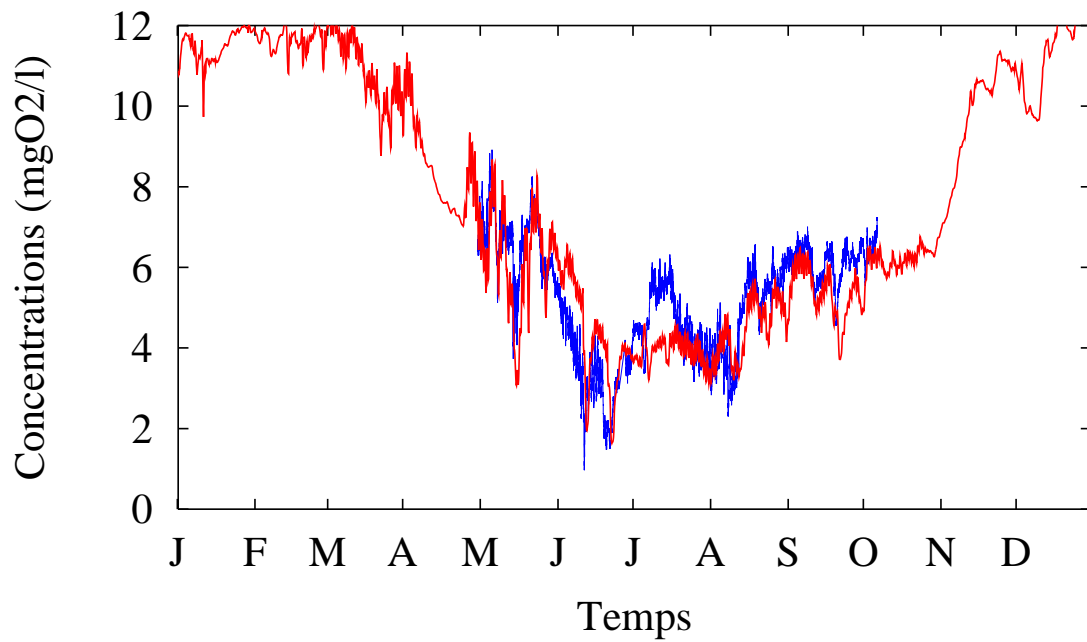
Chapitre 1

L'oxygène

Issy 1996 : O₂

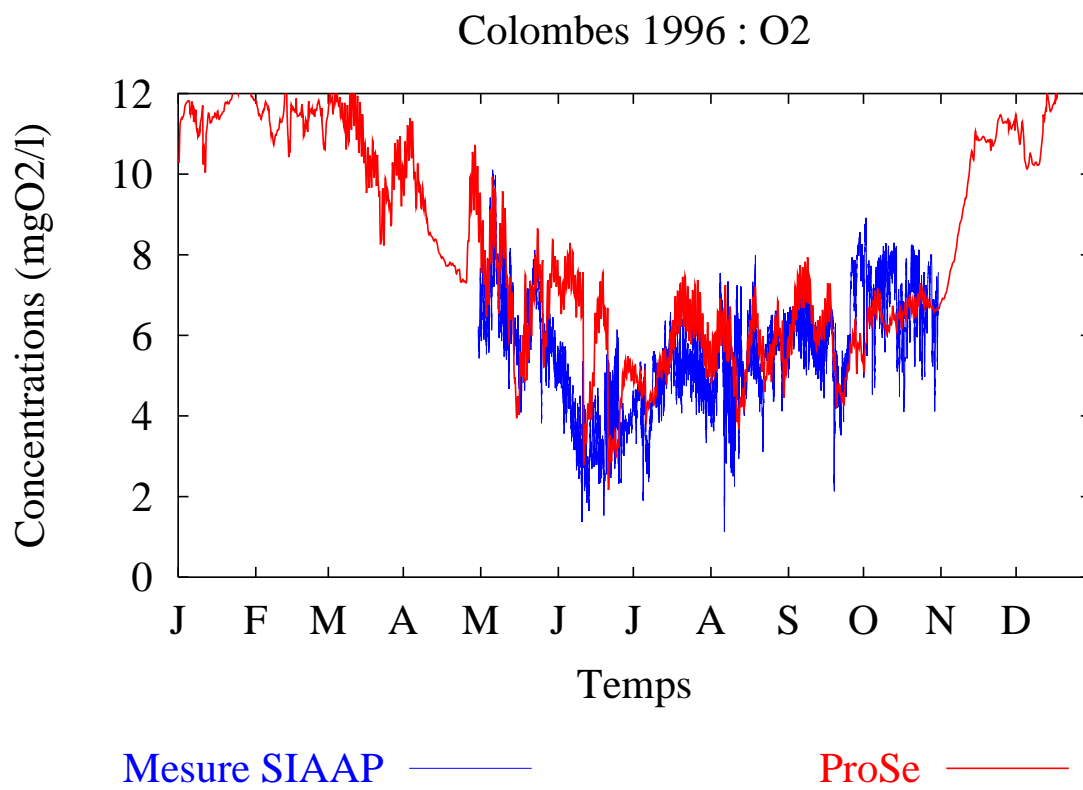
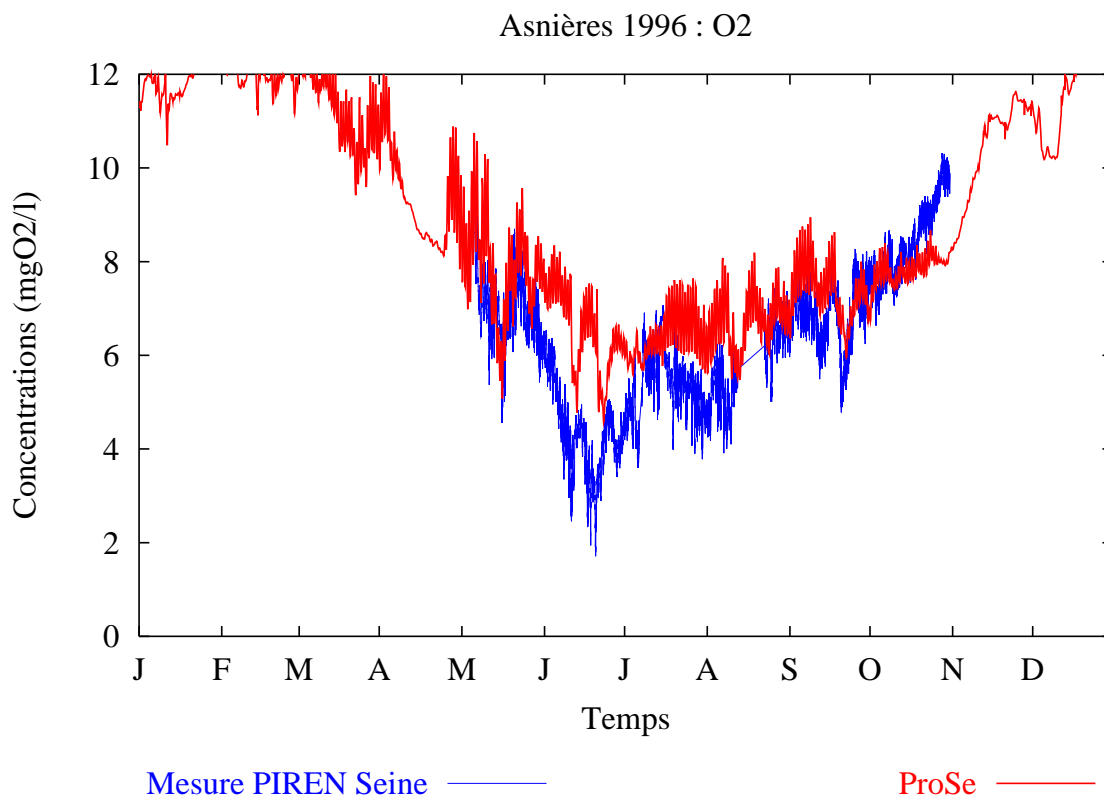
Mesure SIAAP ———

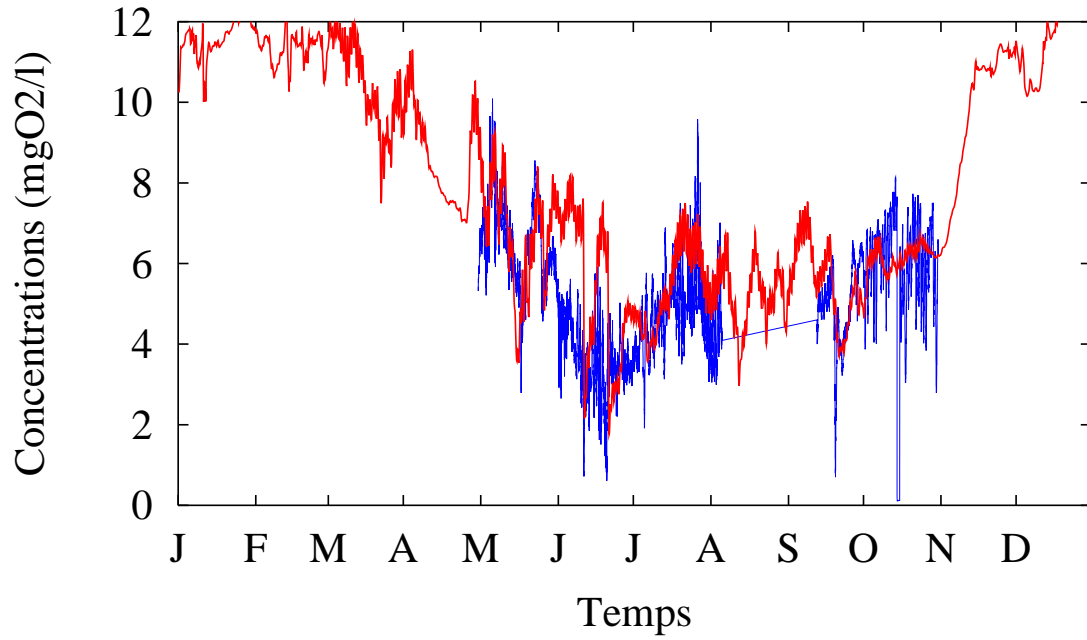
ProSe ———

Suresnes 1996 : O₂

Mesure SIAAP ———

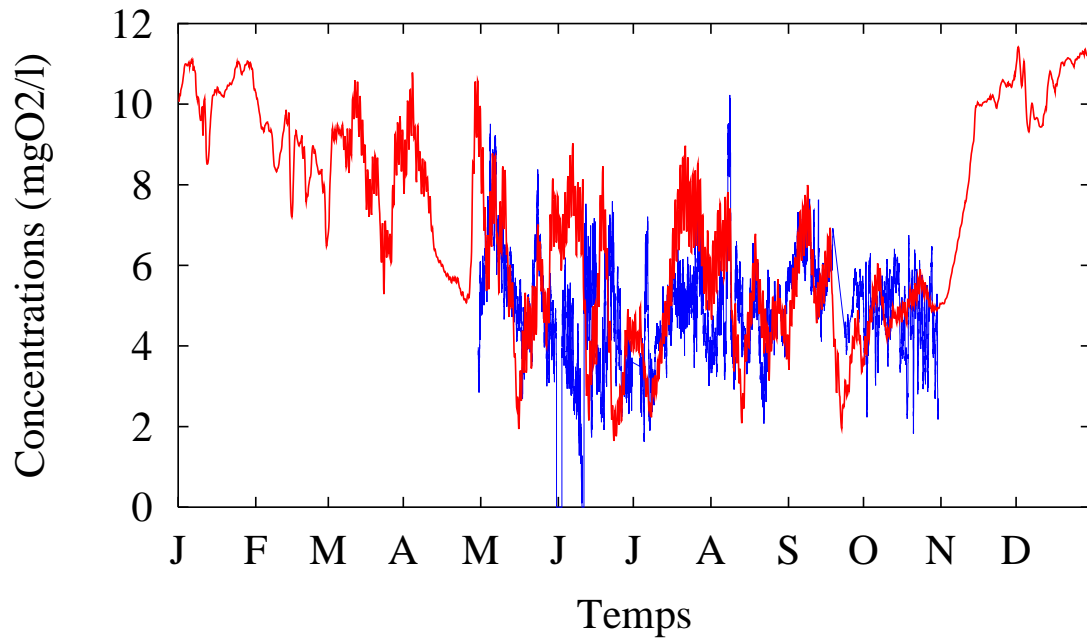
ProSe ———



Chatou 1996 : O₂

Mesures SIAAP ———

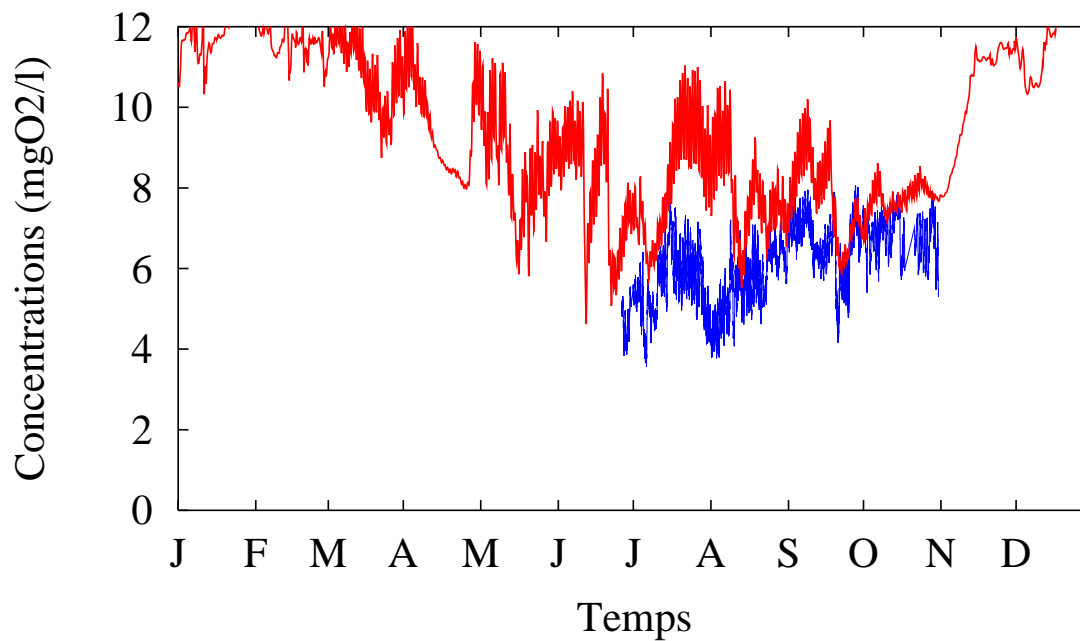
ProSe ———

Bougival 1996 : O₂

Mesures SIAAP ———

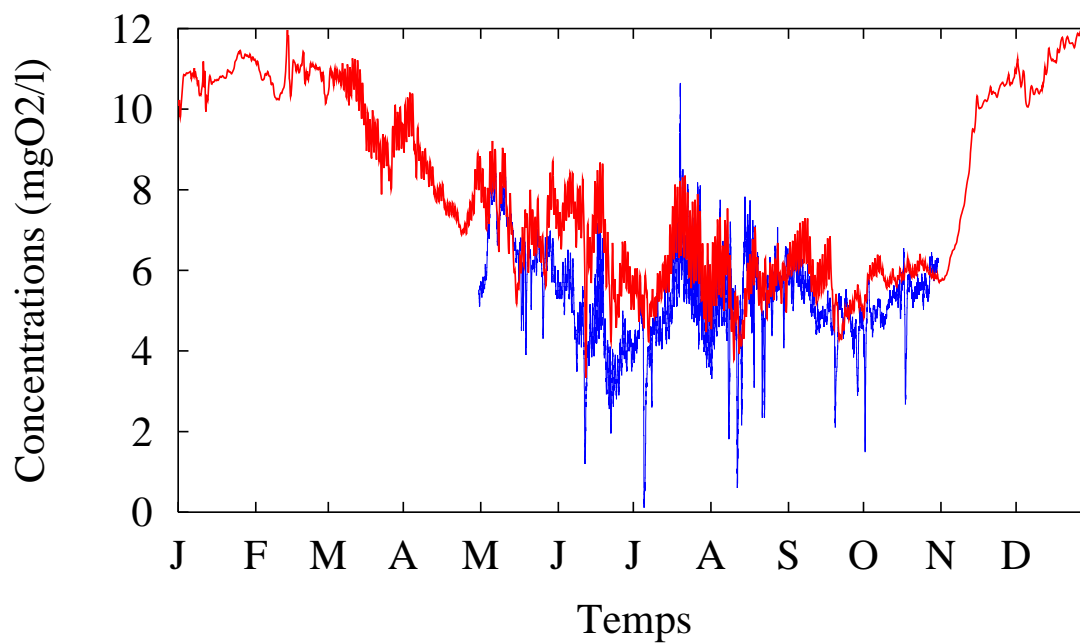
ProSe ———

Sartrouville 1996 : O2

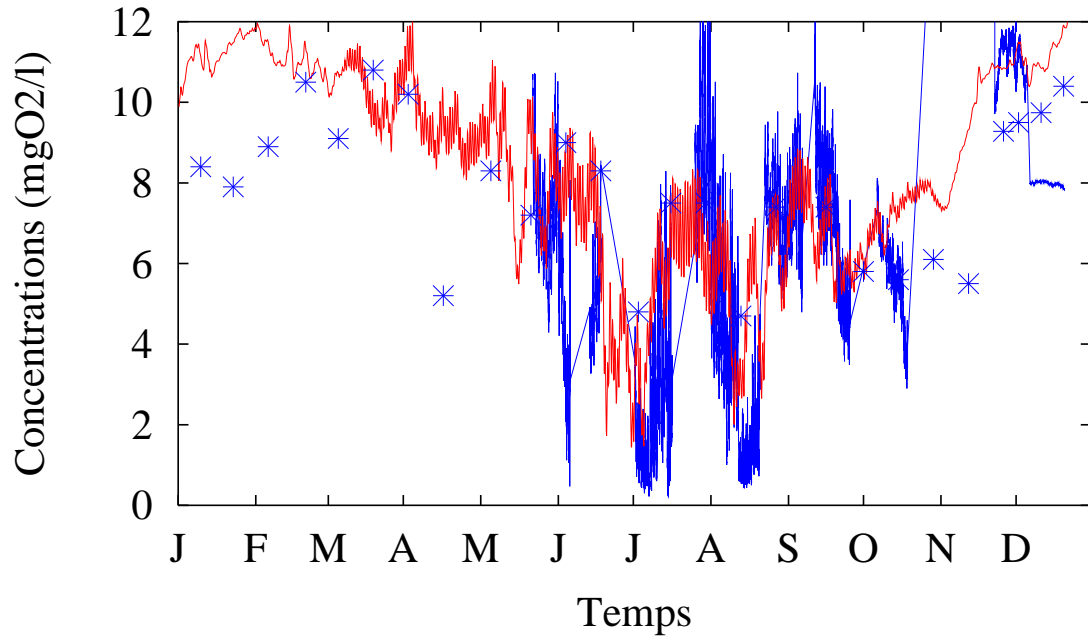
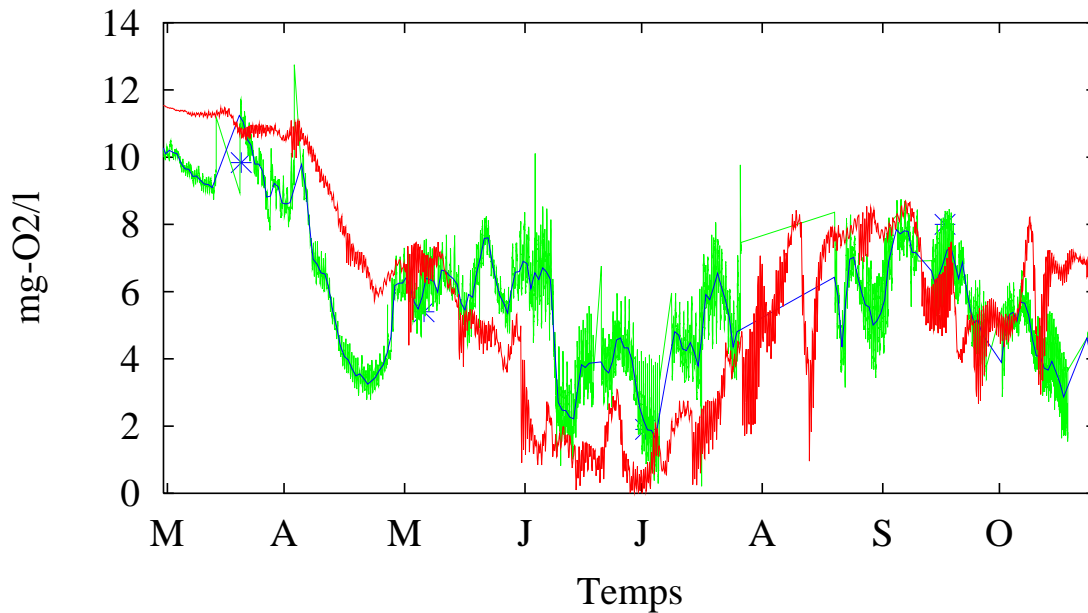


Mesures SIAAP ——— ProSe ———

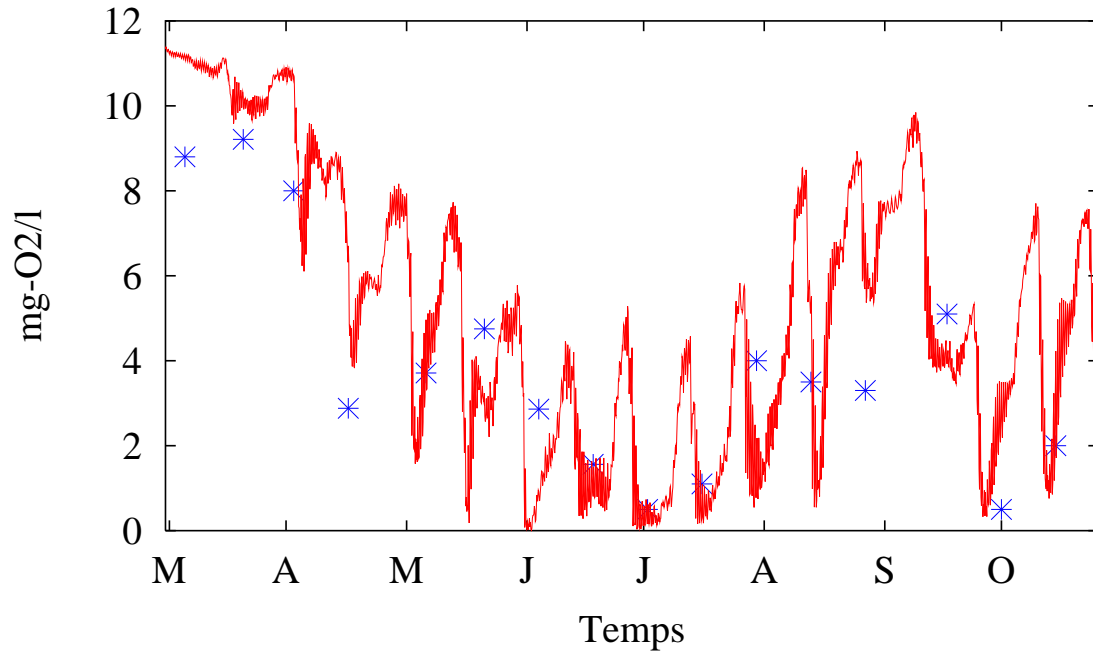
Meulan 1996 : O2



Mesure SIAAP ——— ProSe ———

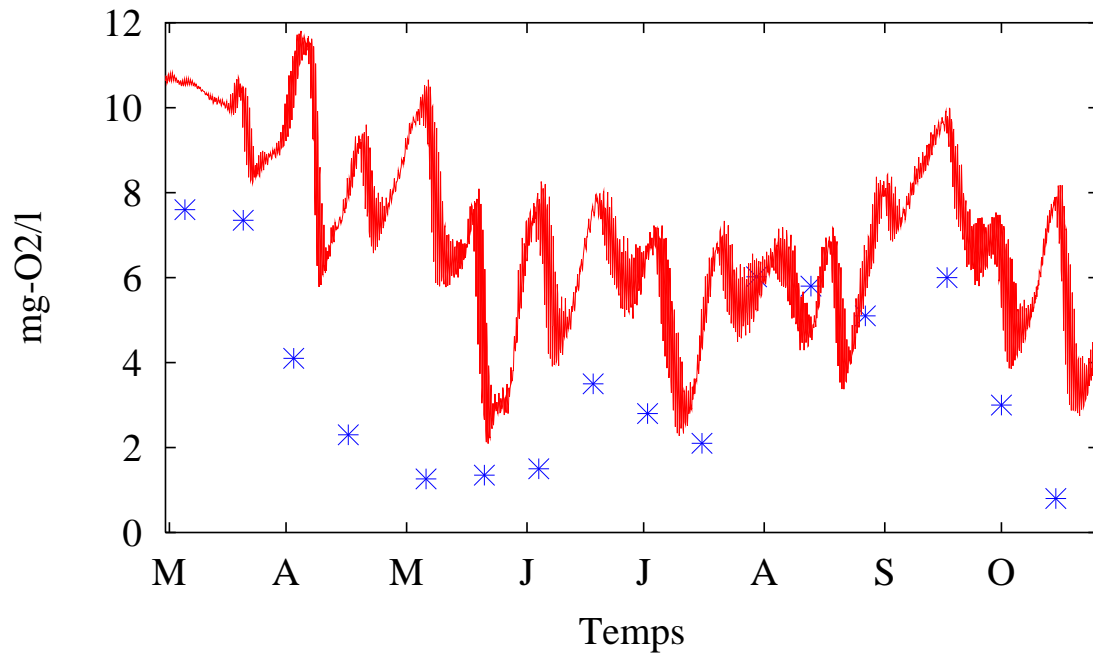
Poses 1996 : O₂Rouen (PK 243) : O₂

La Bouille (PK 260) : O2



Mesures SNS * SiAM 1D —

Caudebec (PK 310) : O2

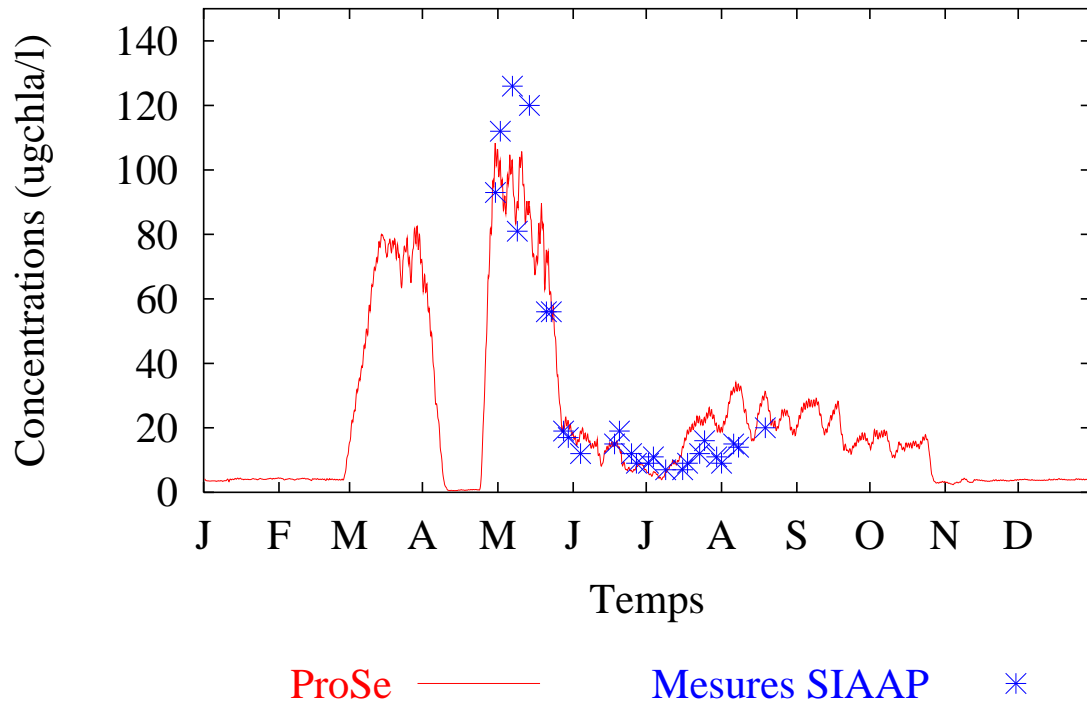


Mesures SNS * o2 simule —

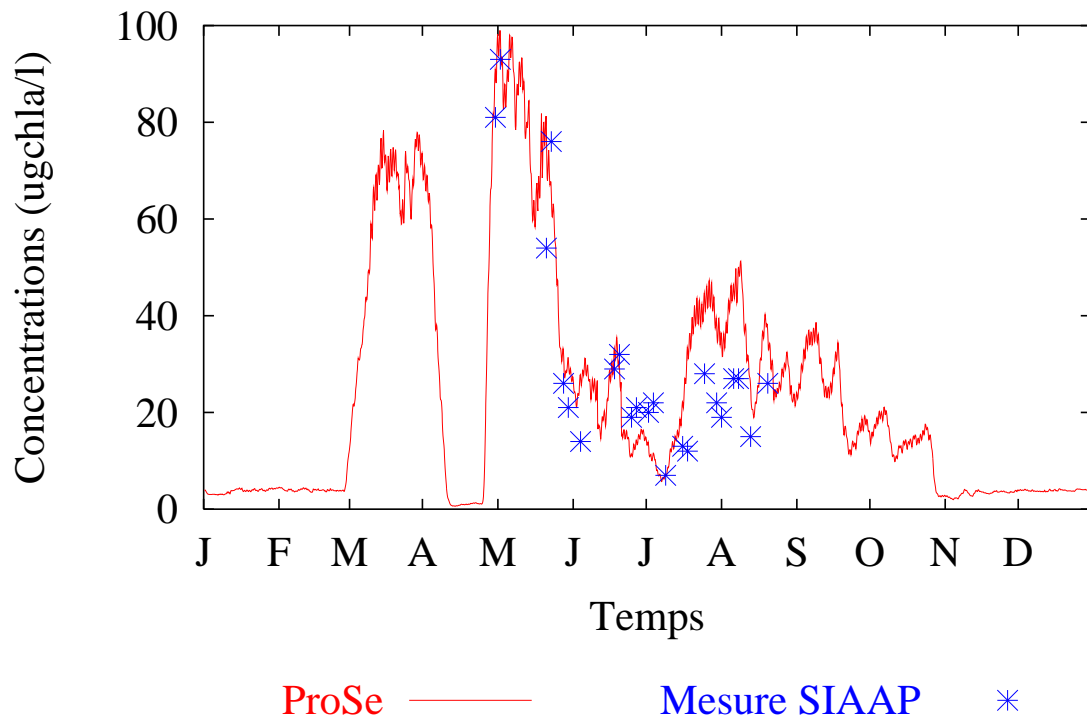
Chapitre 2

Chlorophylle *a*

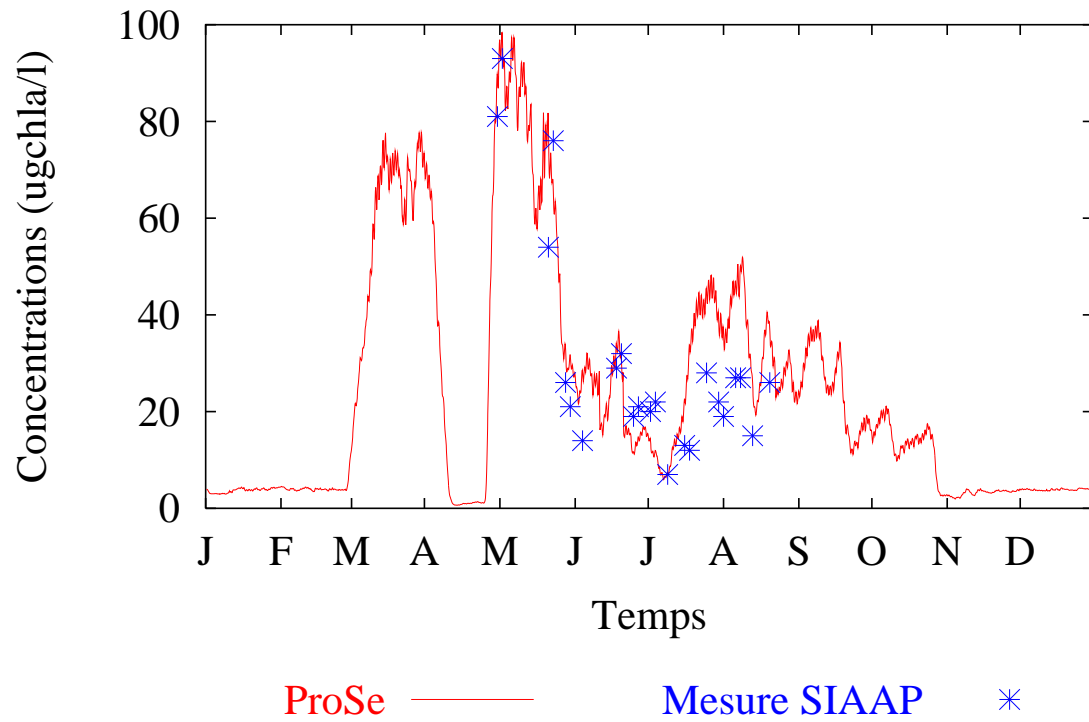
Suresnes 1996 : phy



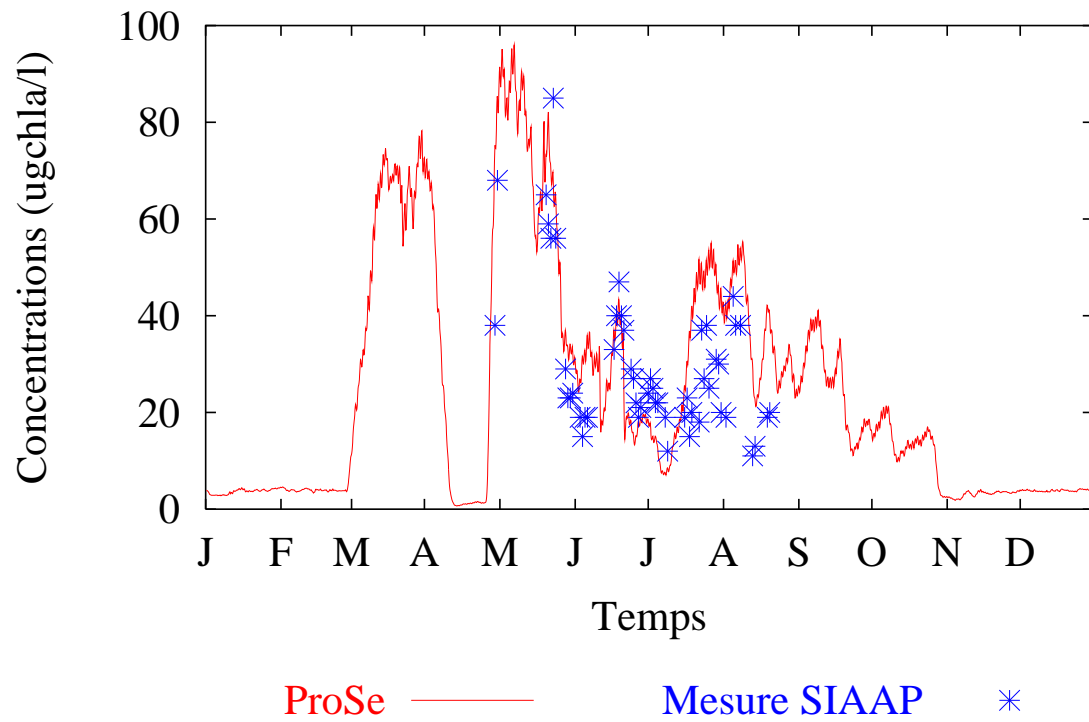
Argenteuil 1996 : chla

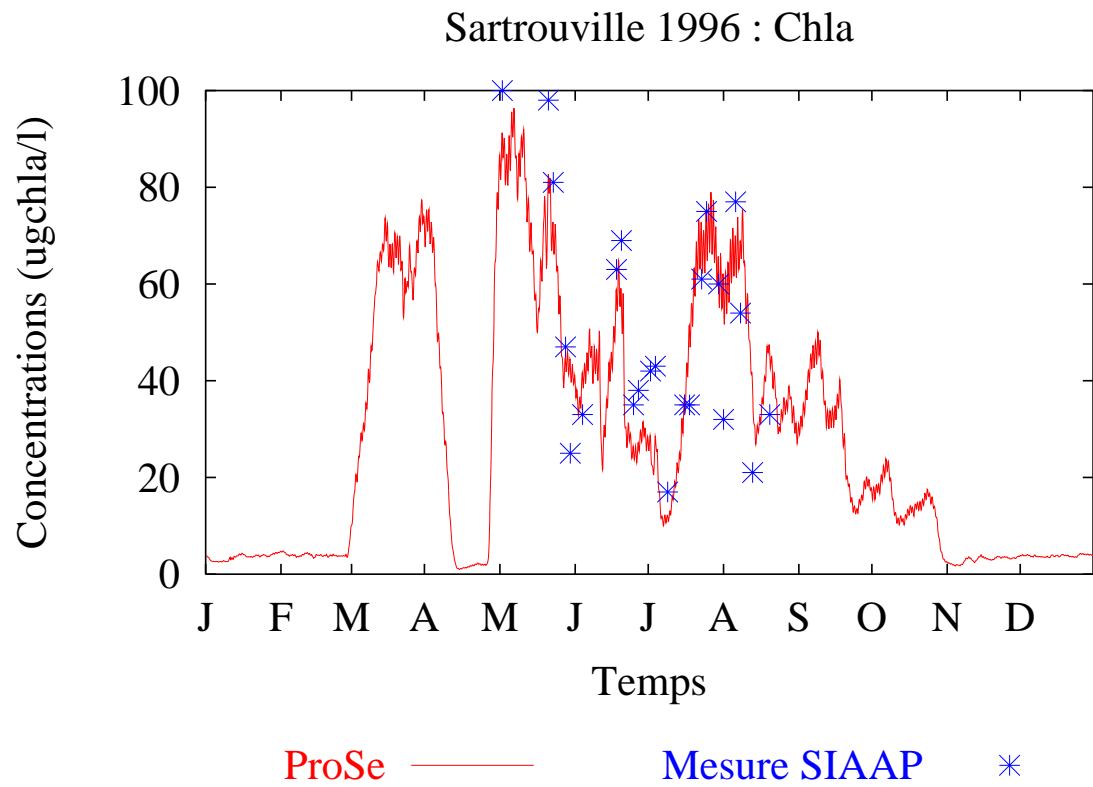
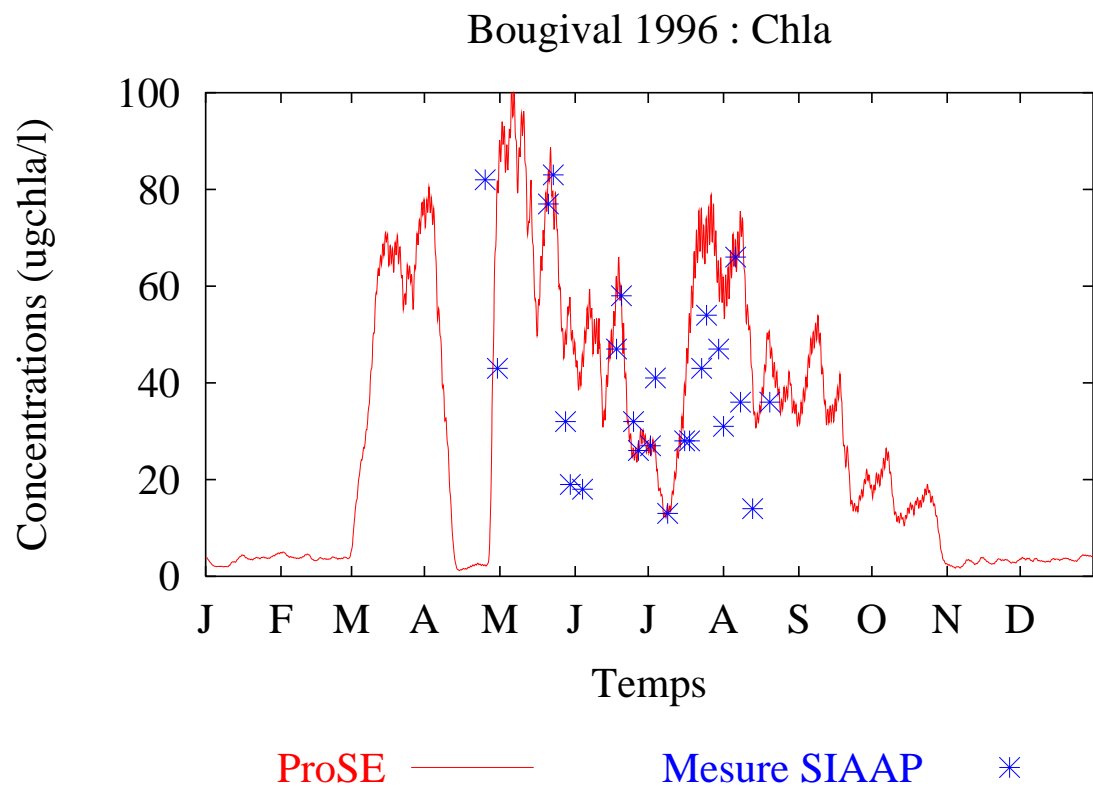


Colombes 1996 : chla

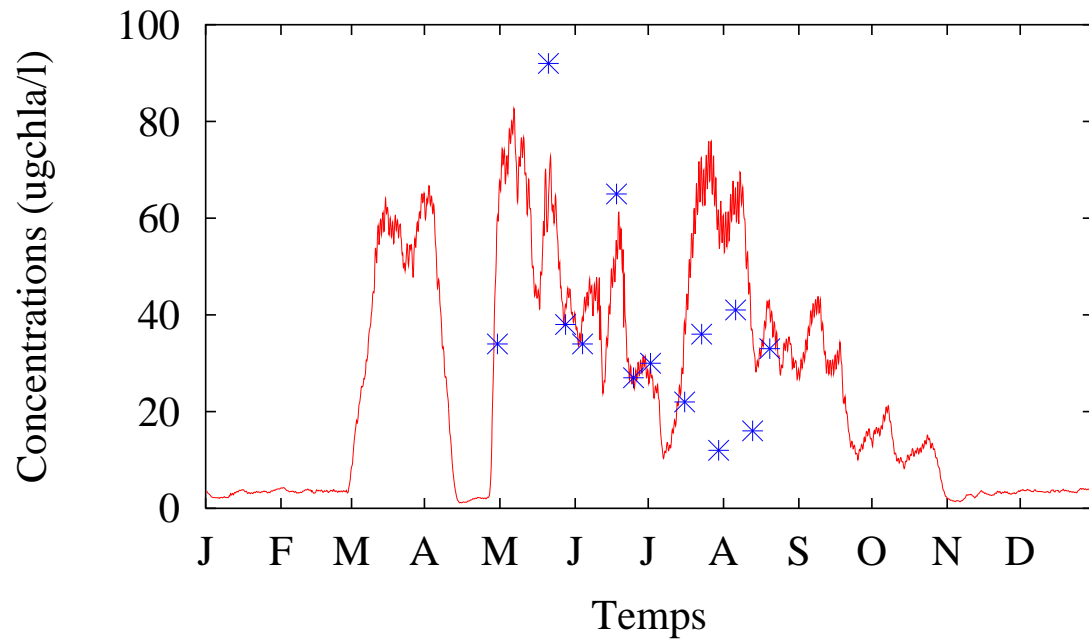


Chatou 1996 : Chla

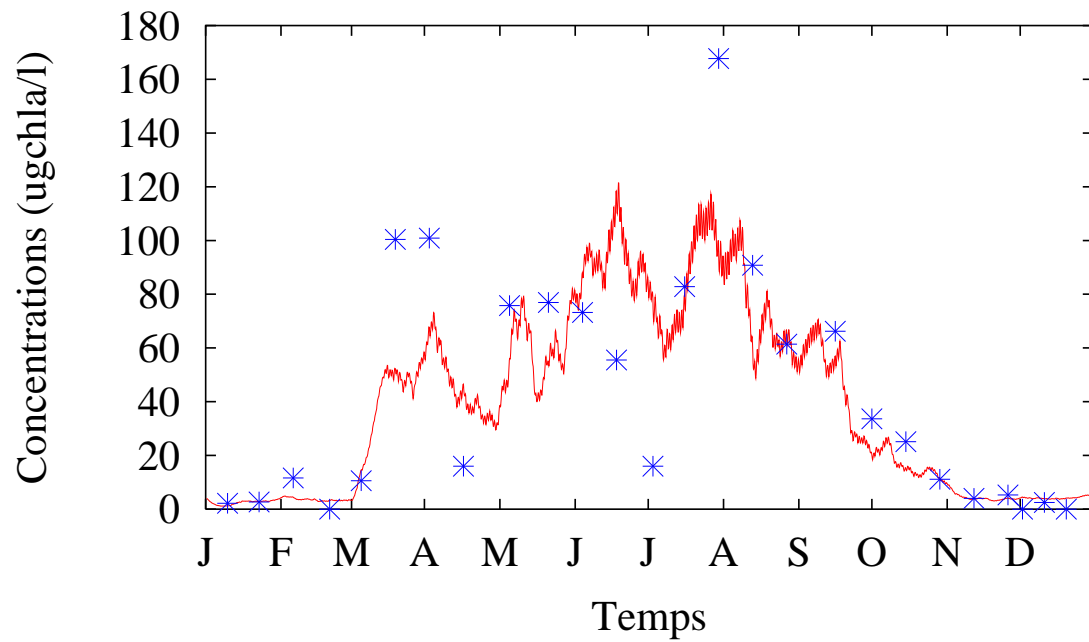


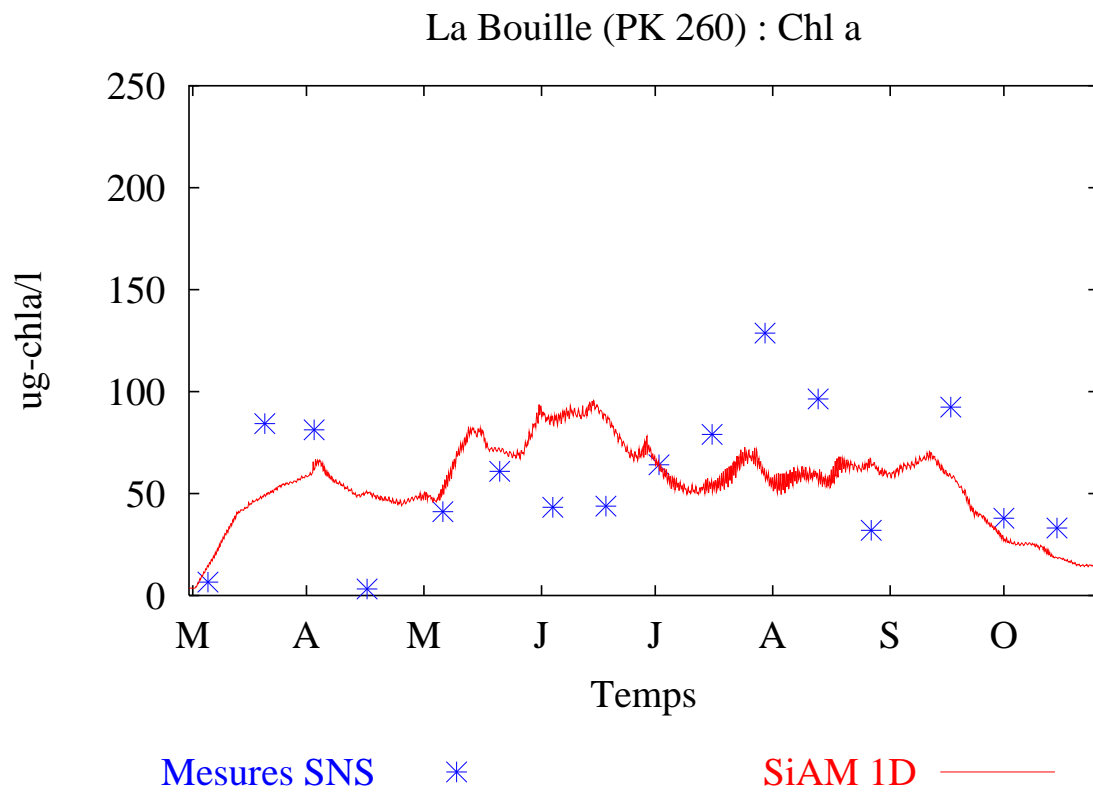
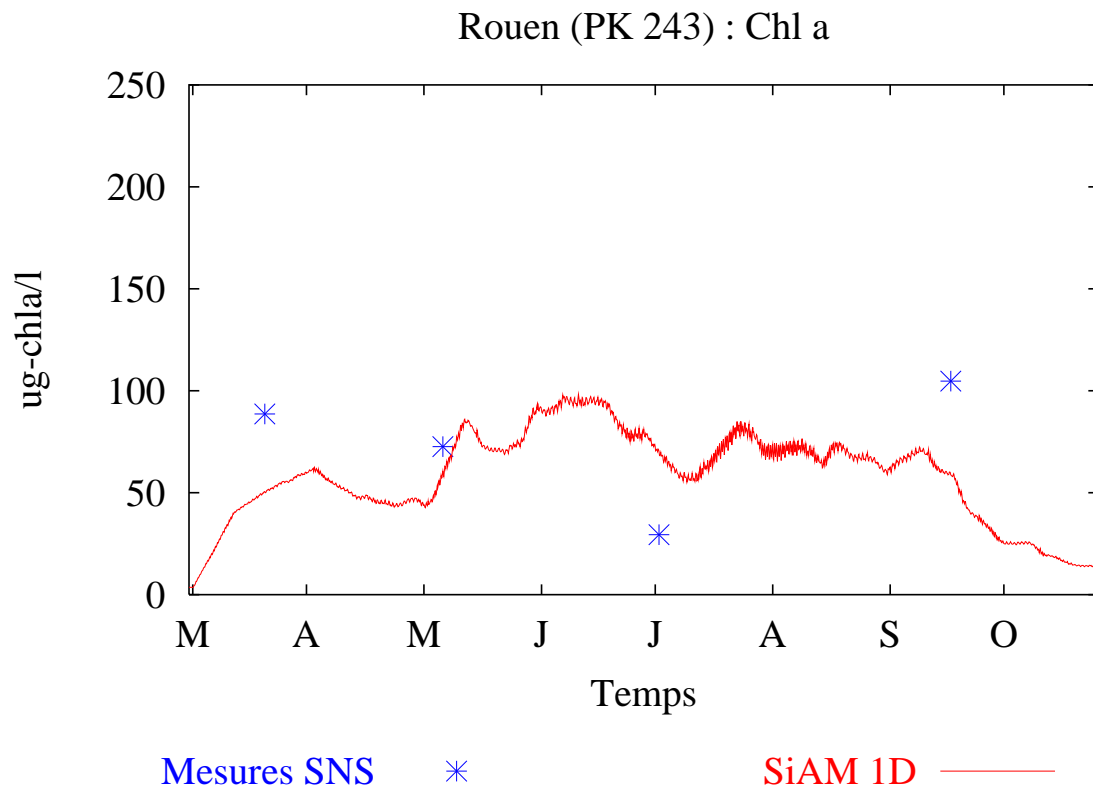


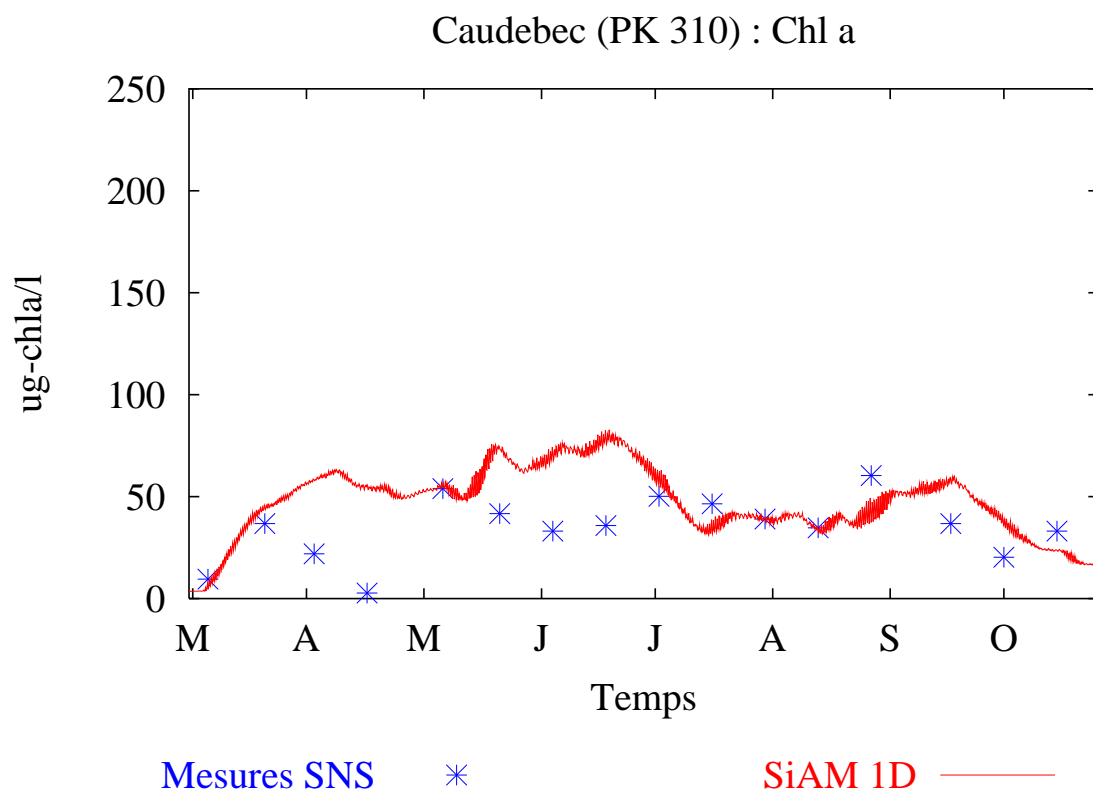
Conflans 1996 : Chla



Poses 1996 : Chla

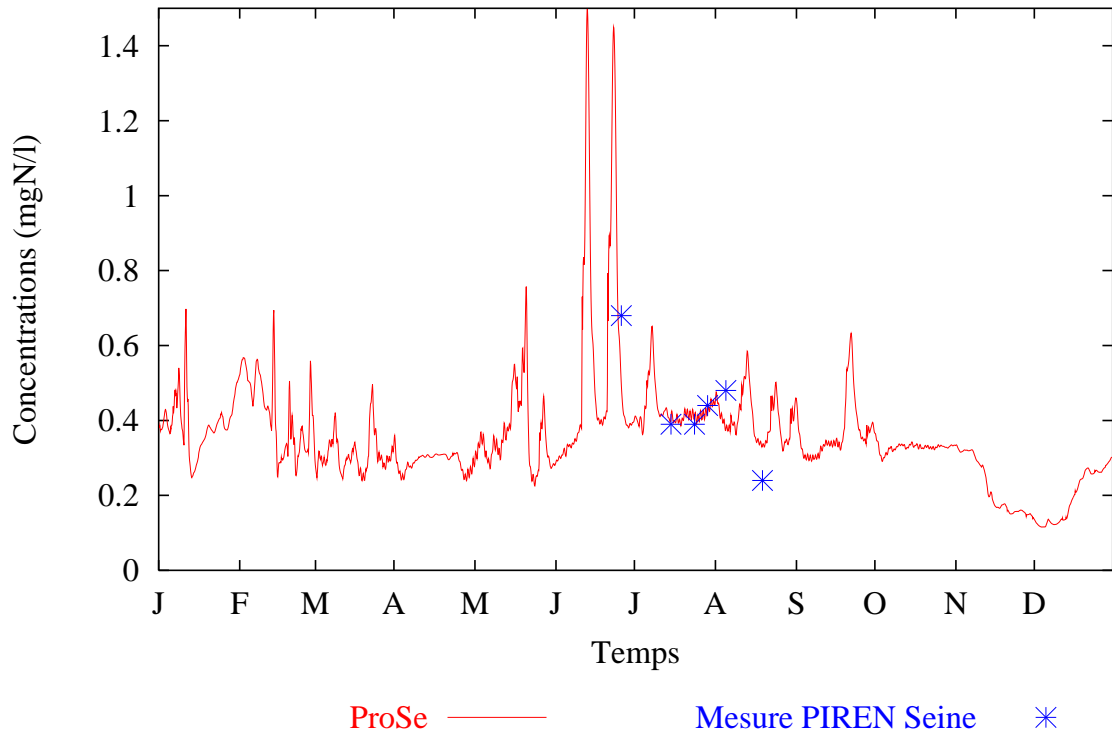
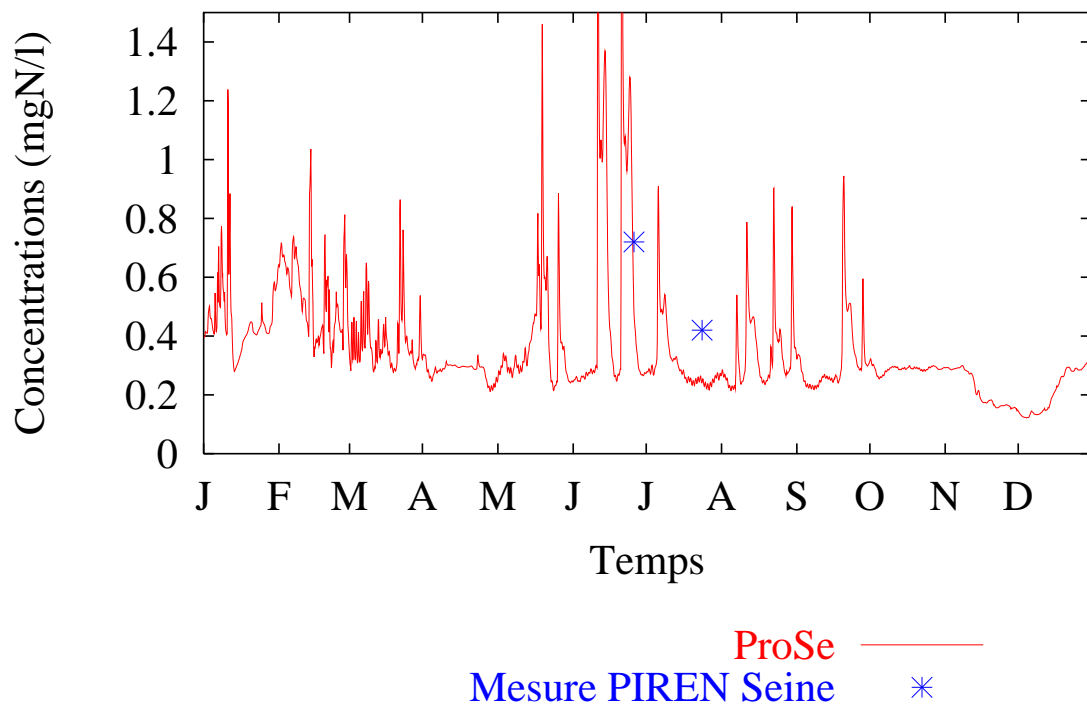


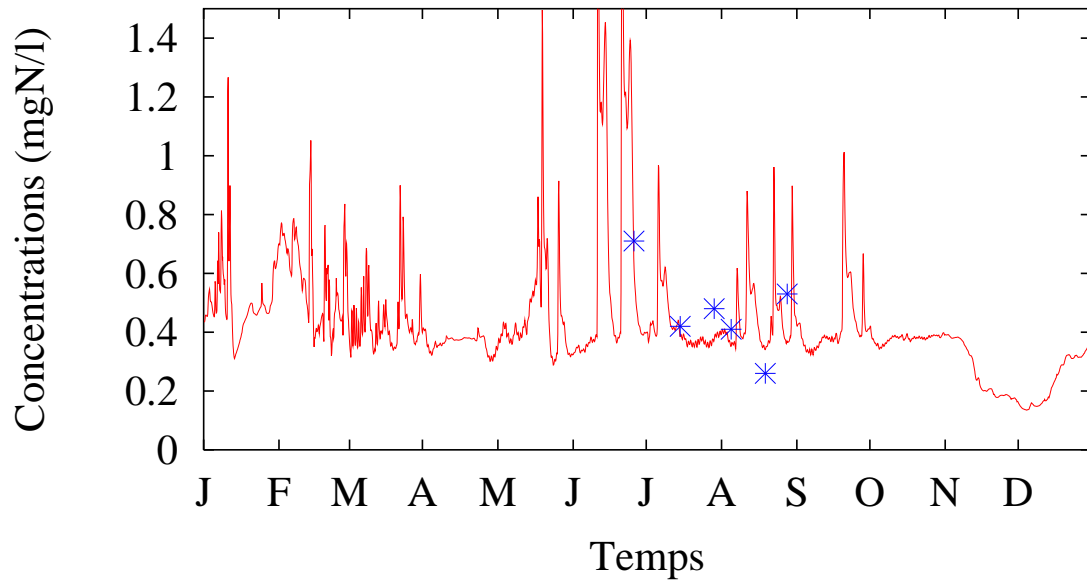




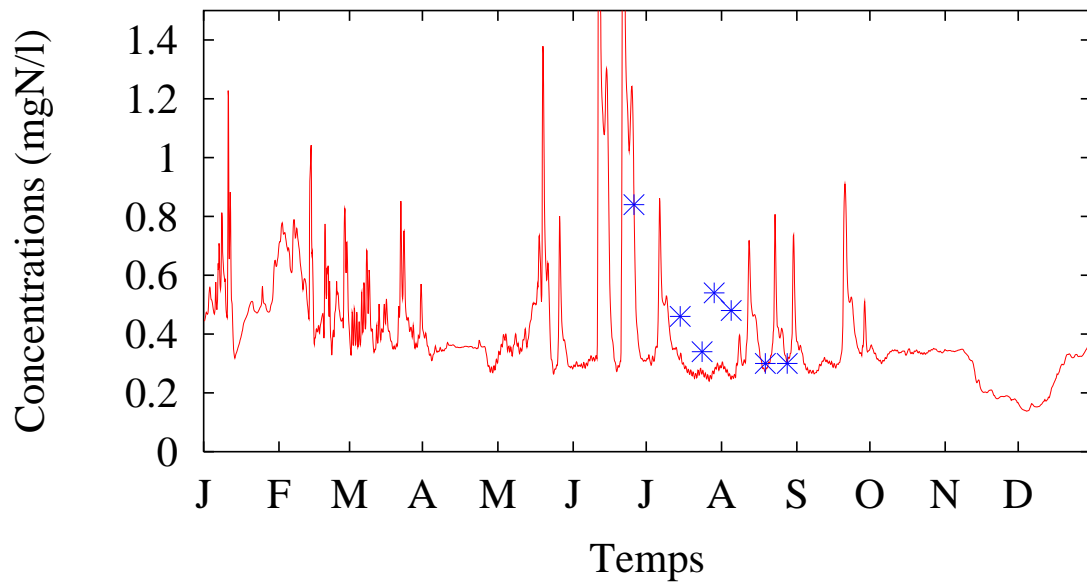
Chapitre 3

Ammoniaque

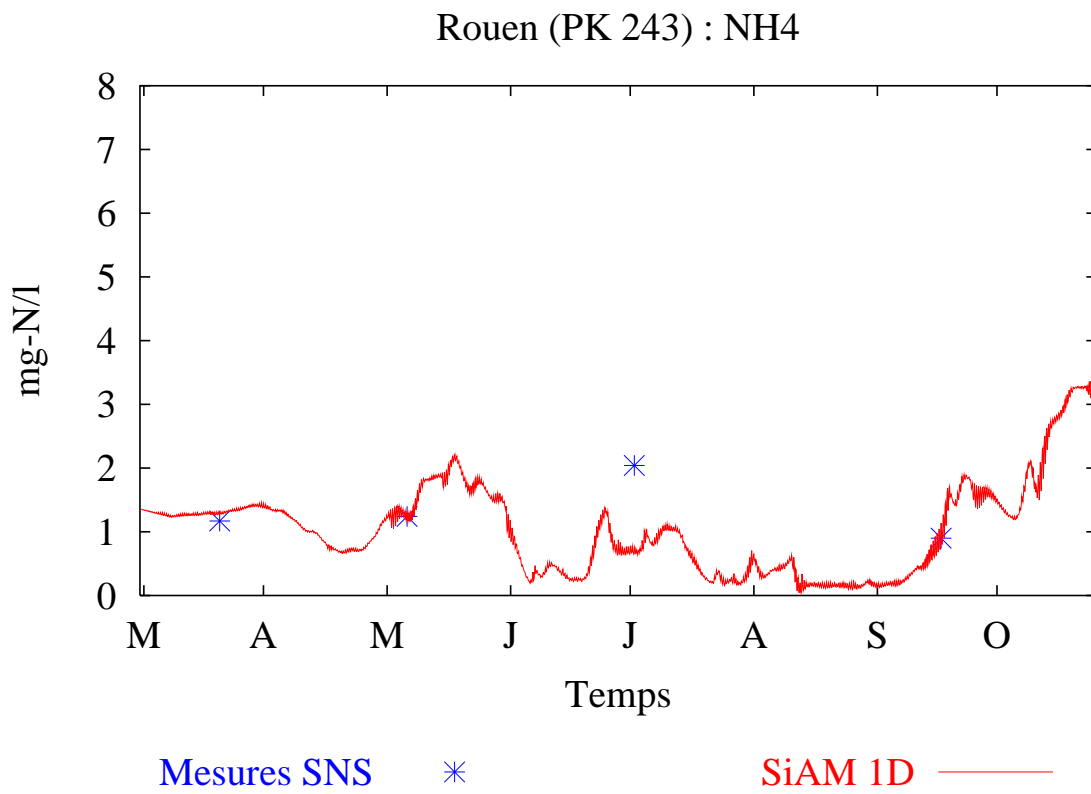
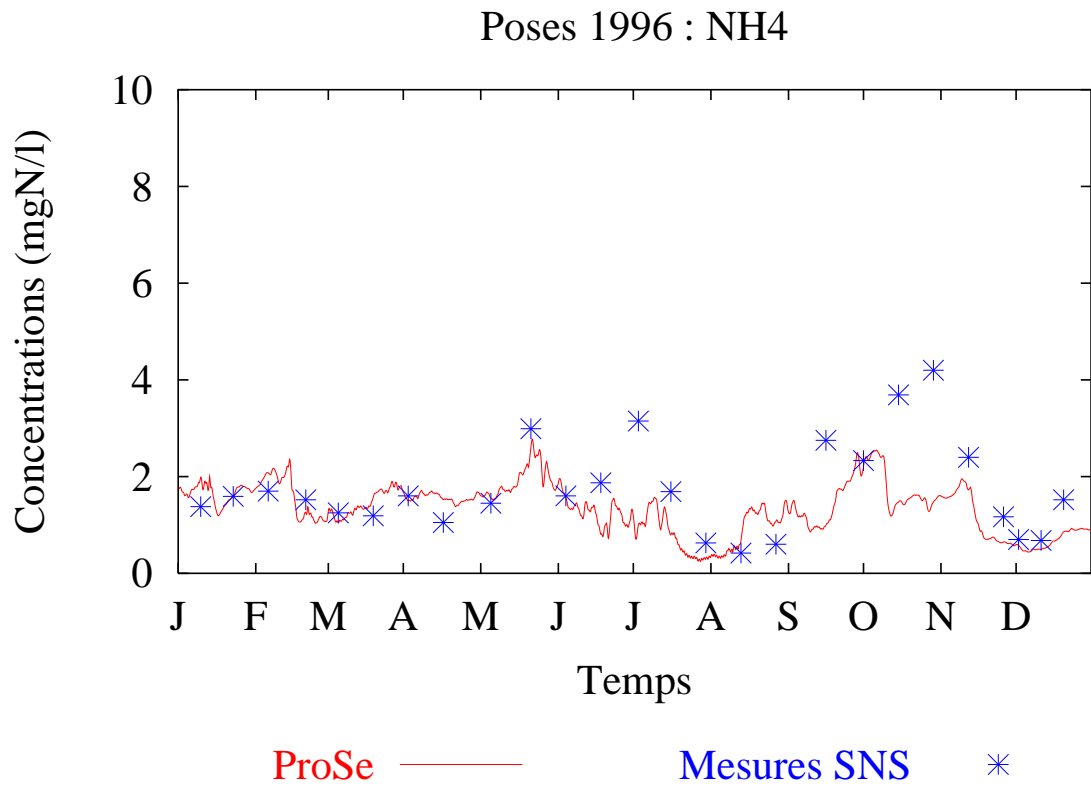
Asnières 1996 : NH₄Argenteuil 1996 : NH₄

Colombes 1996 : NH₄

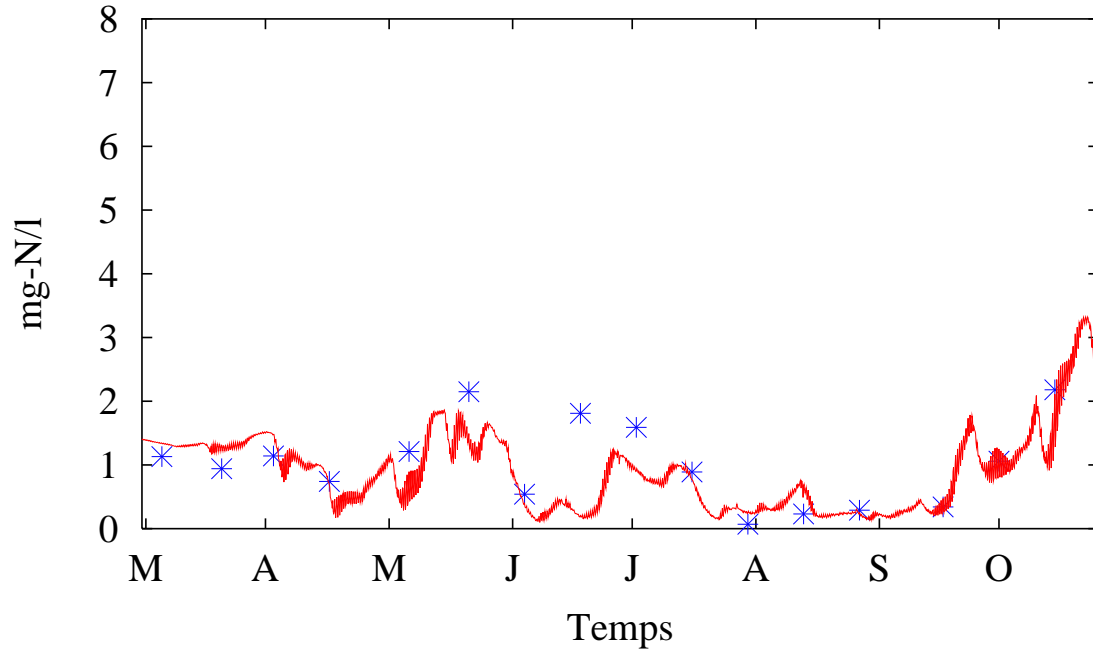
ProSe ———
Mesure PIREN Seine *

Chatou 1996 : NH₄

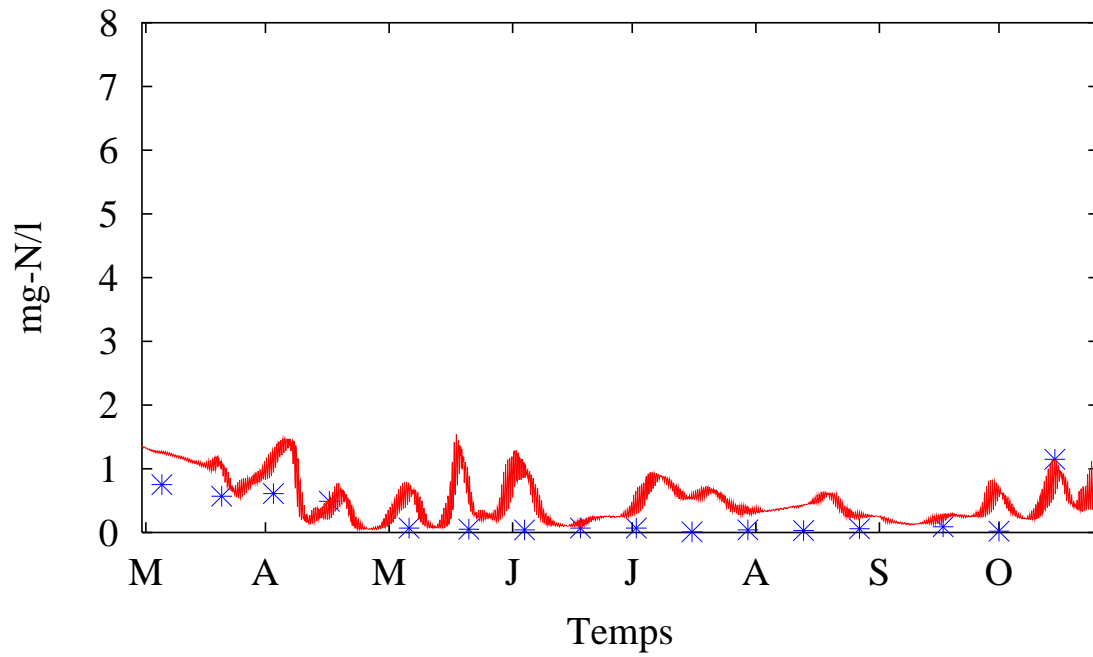
ProSe ———
Mesure PIREN Seine *



La Bouille (PK 260) : NH4

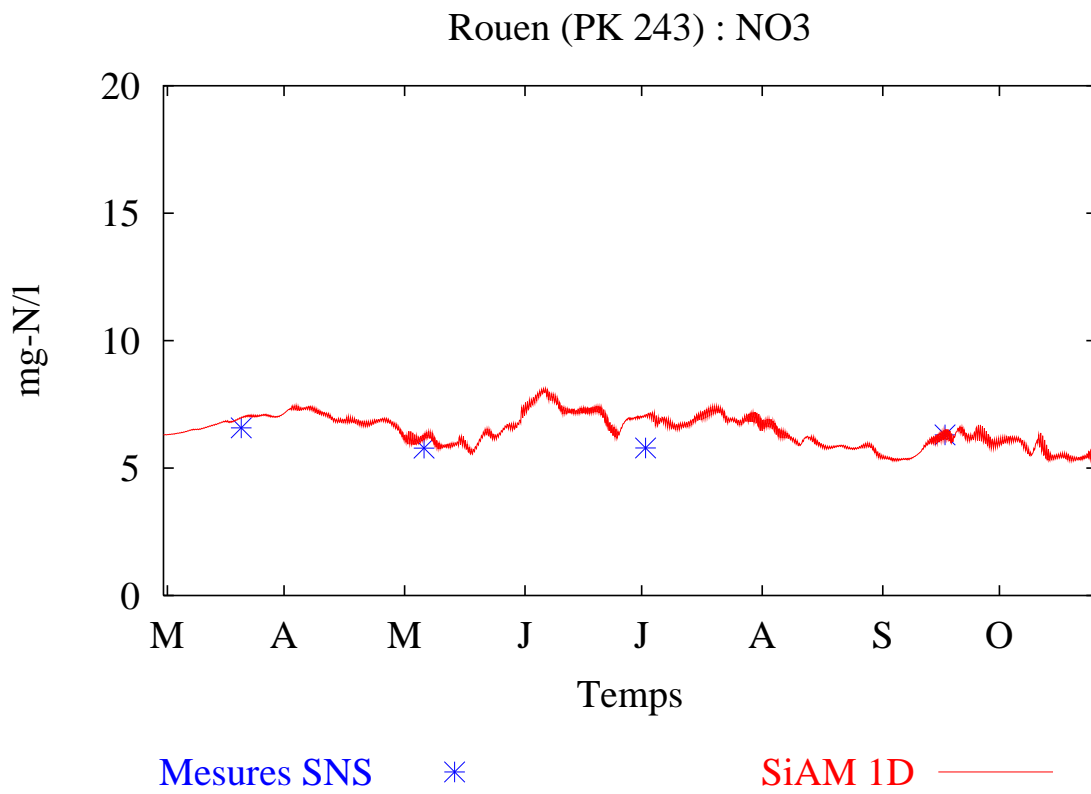
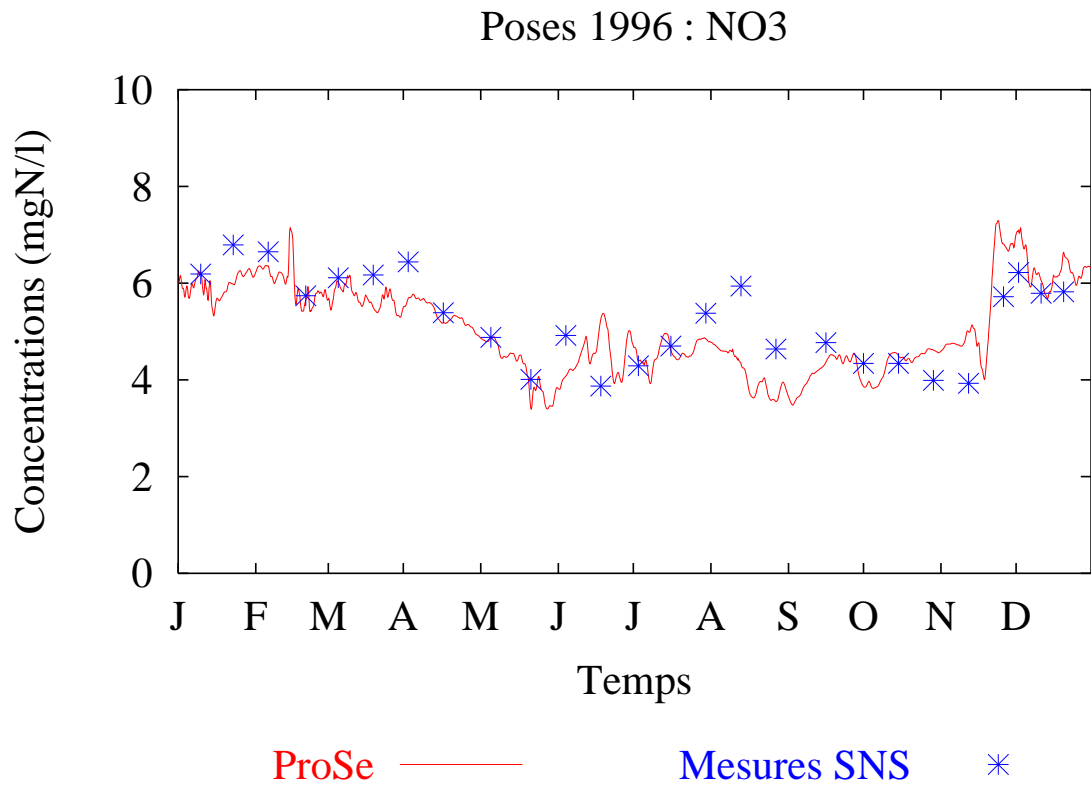


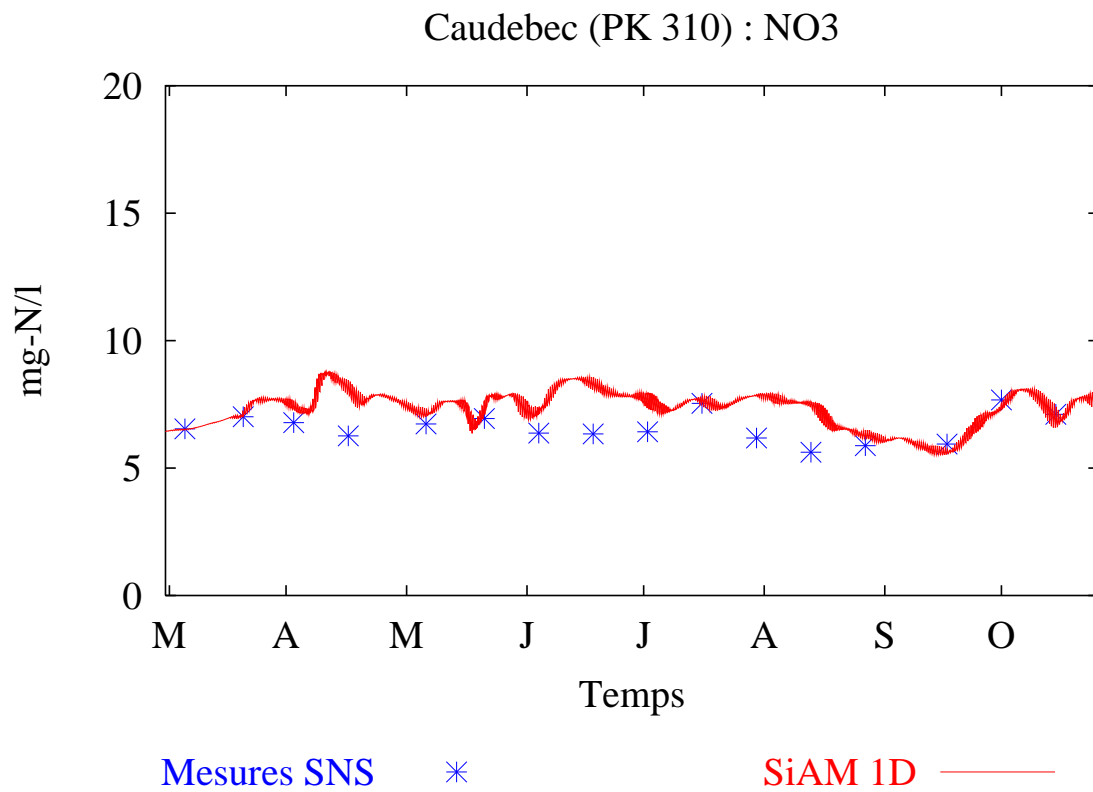
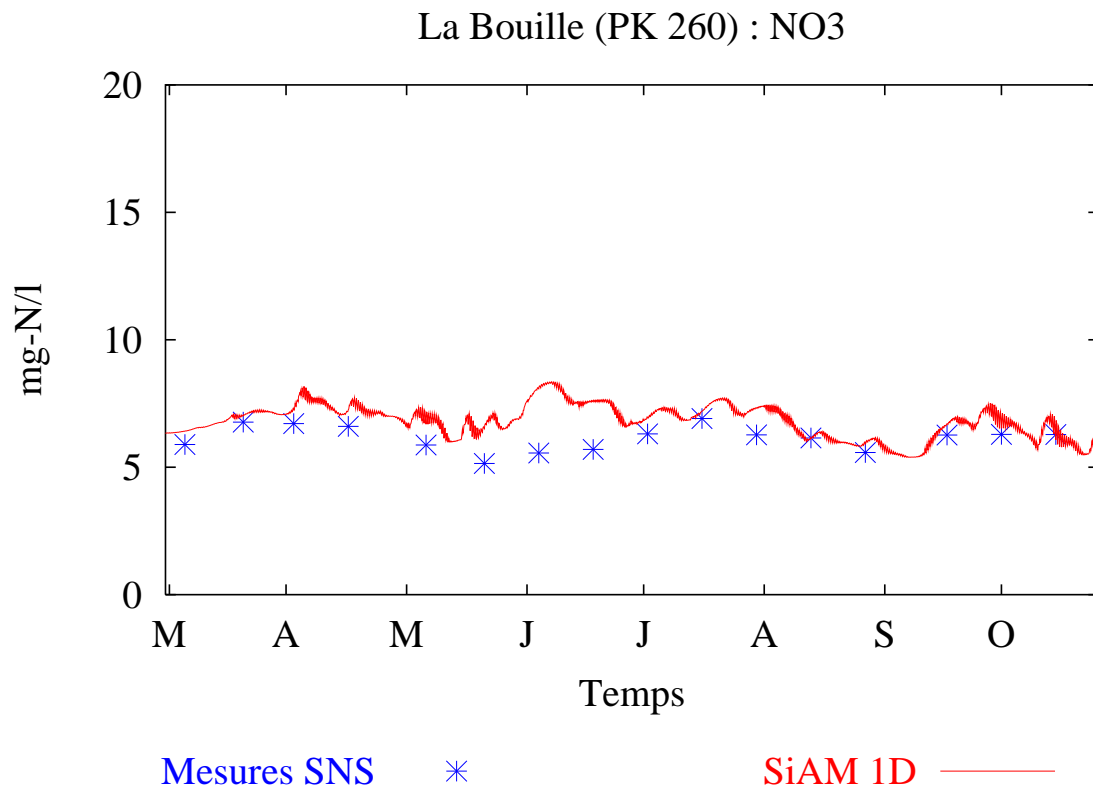
Caudebec (PK 310) : NH4



Chapitre 4

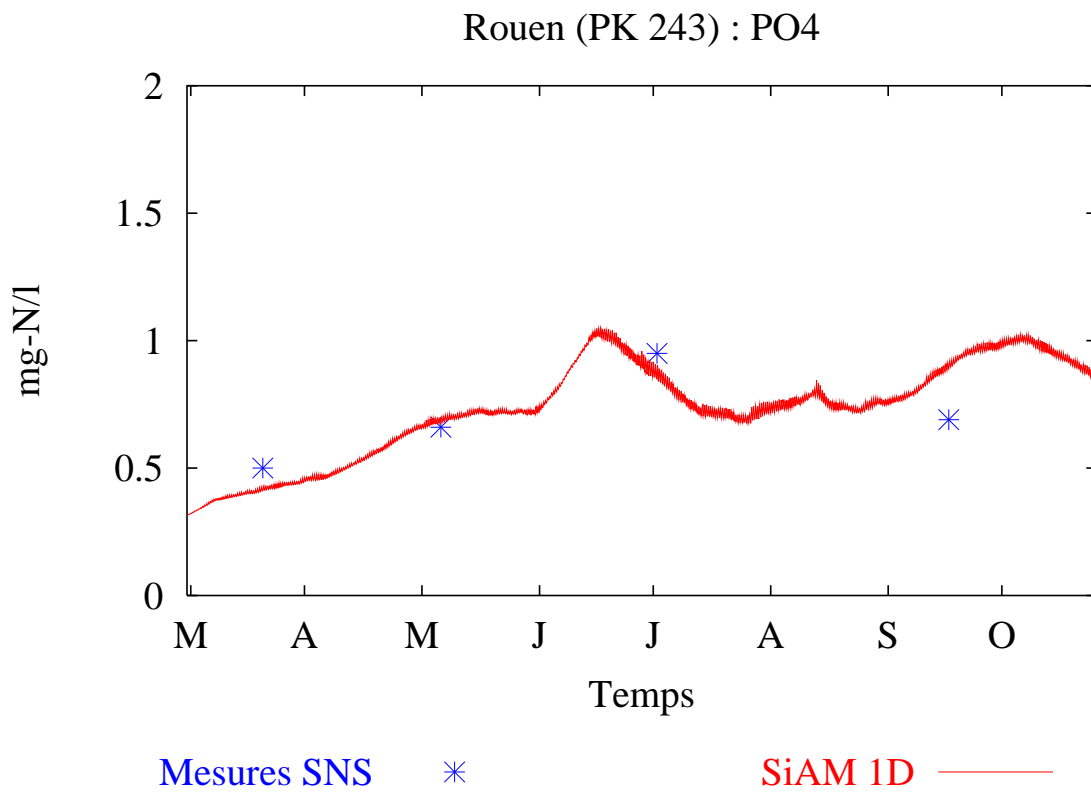
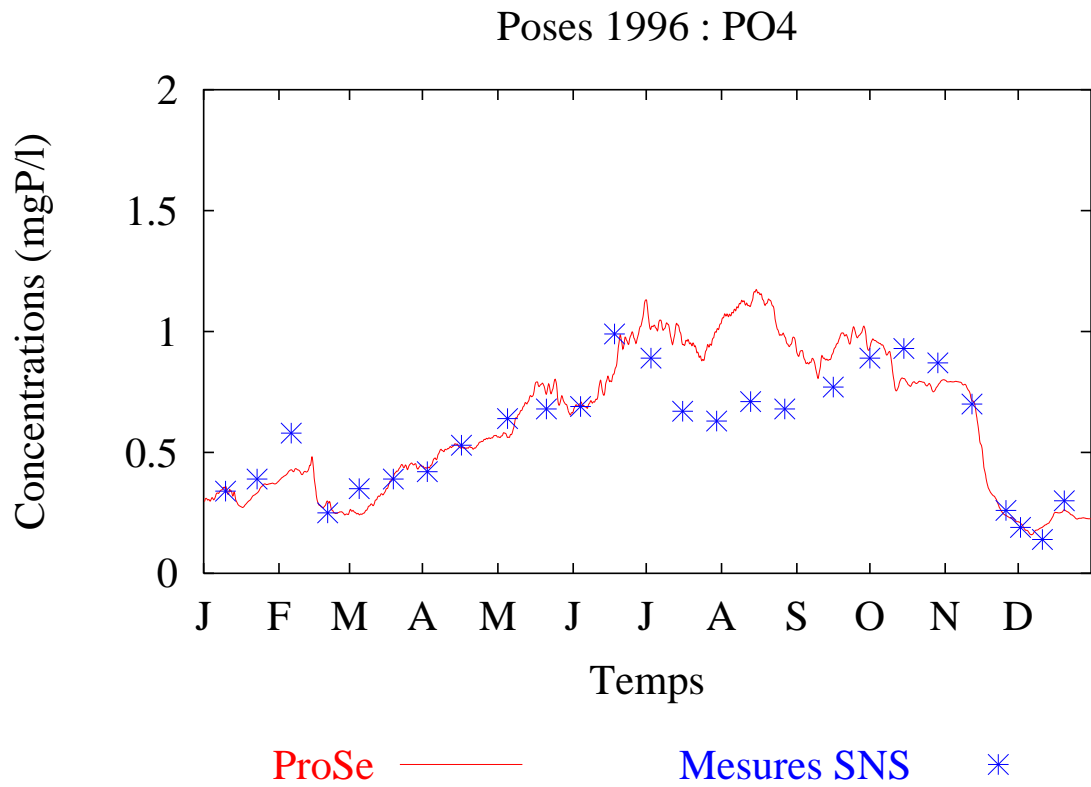
Nitrates

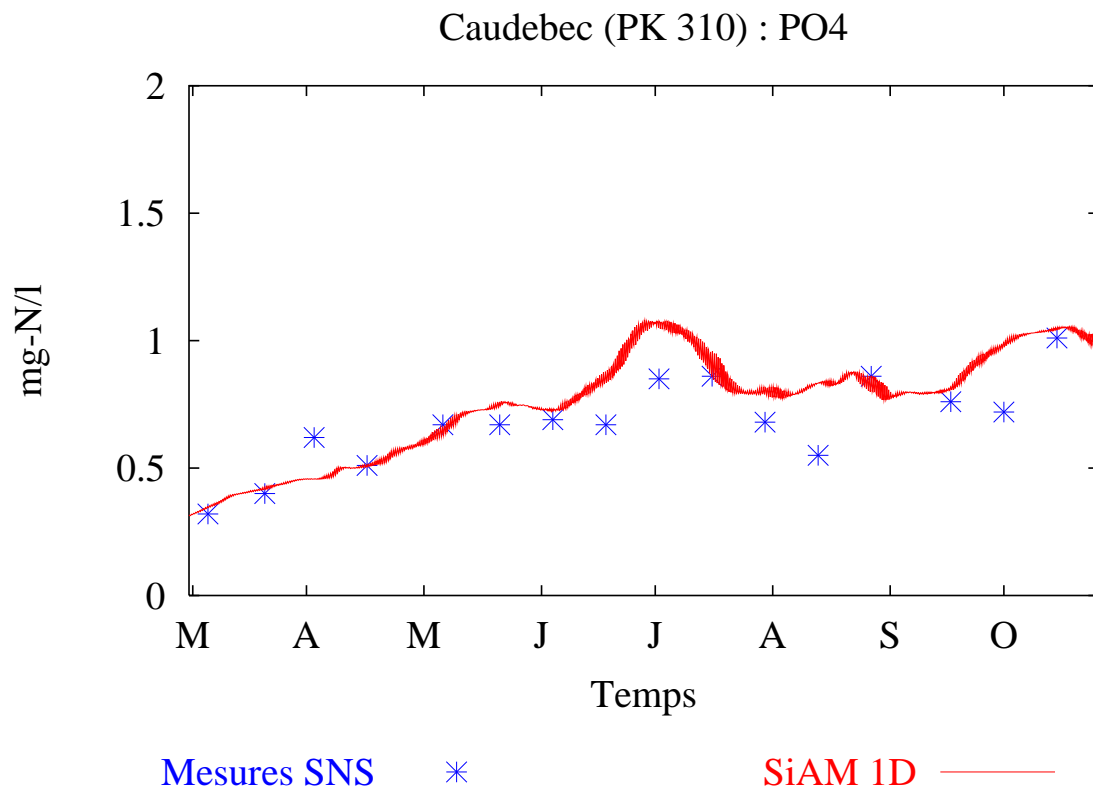
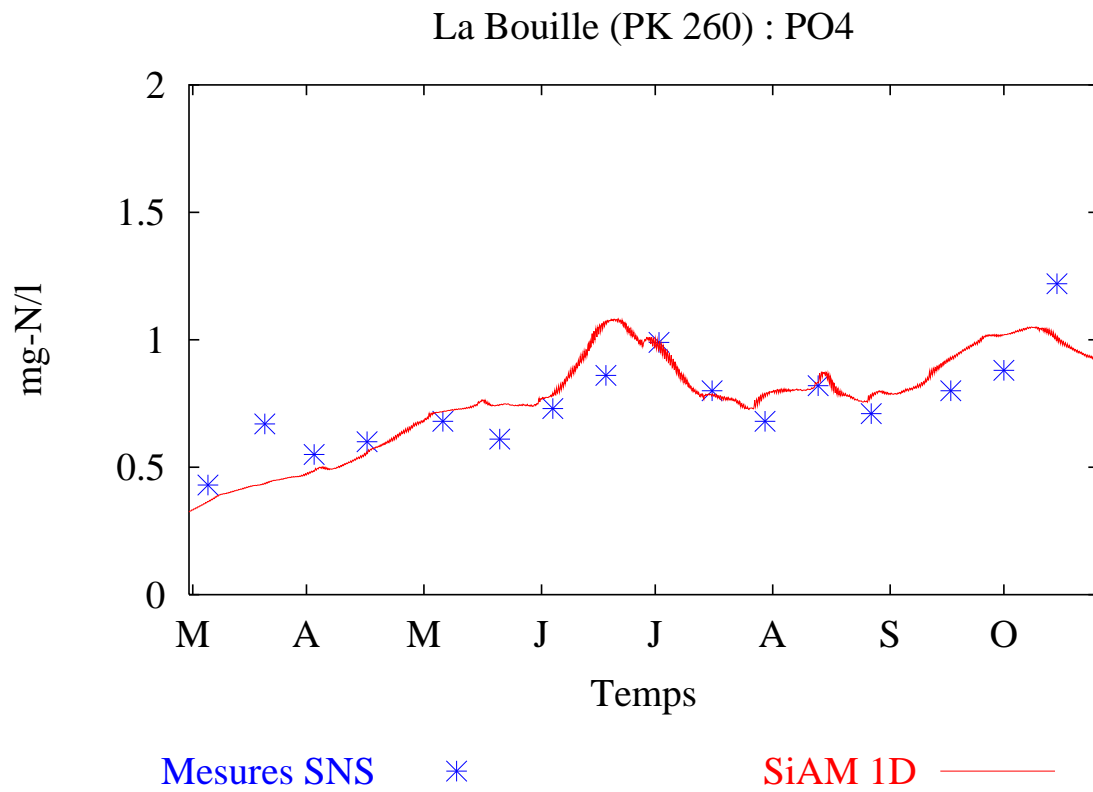




Chapitre 5

Phosphore

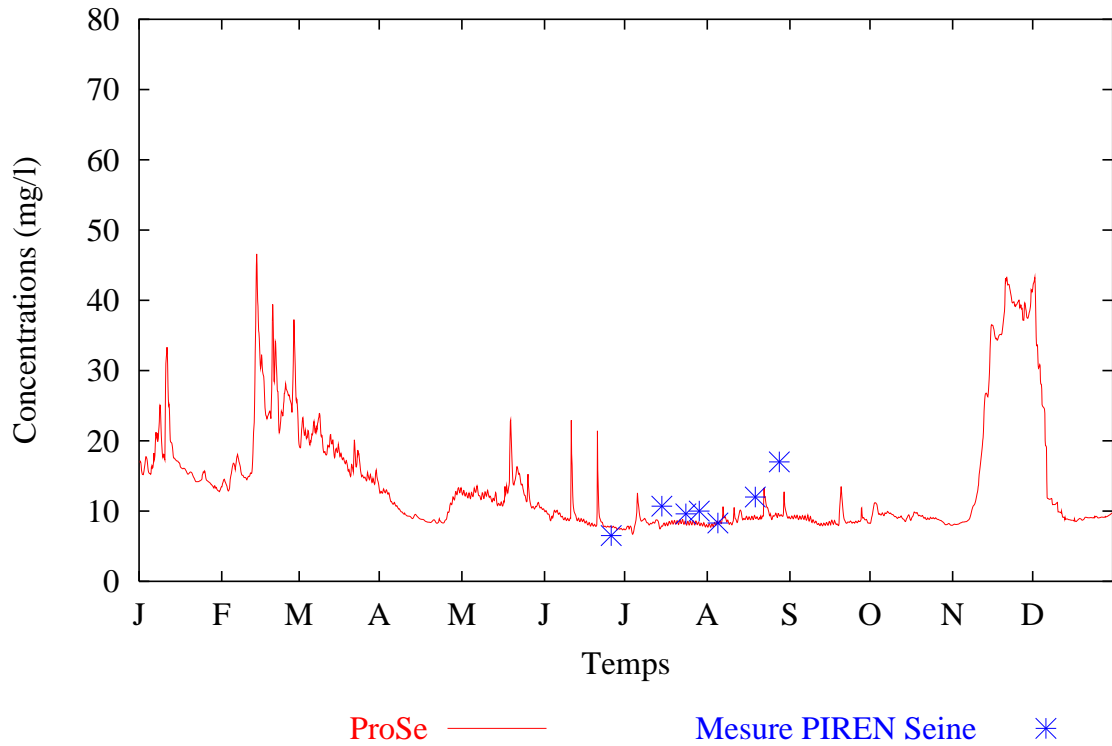




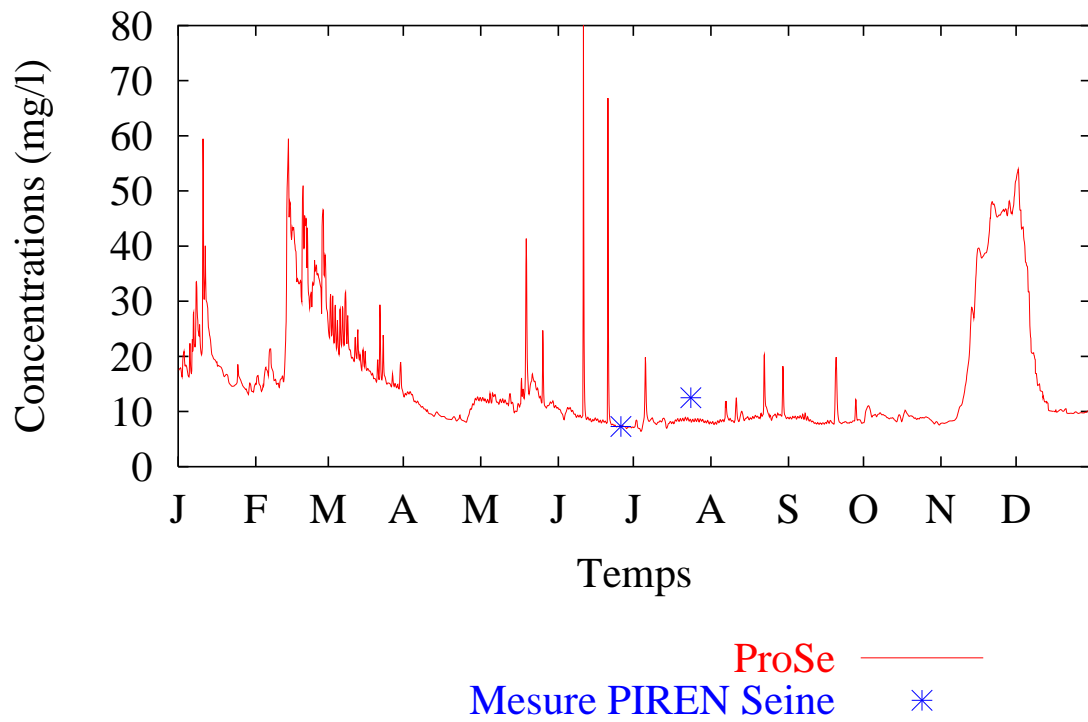
Chapitre 6

Matières en suspension totales

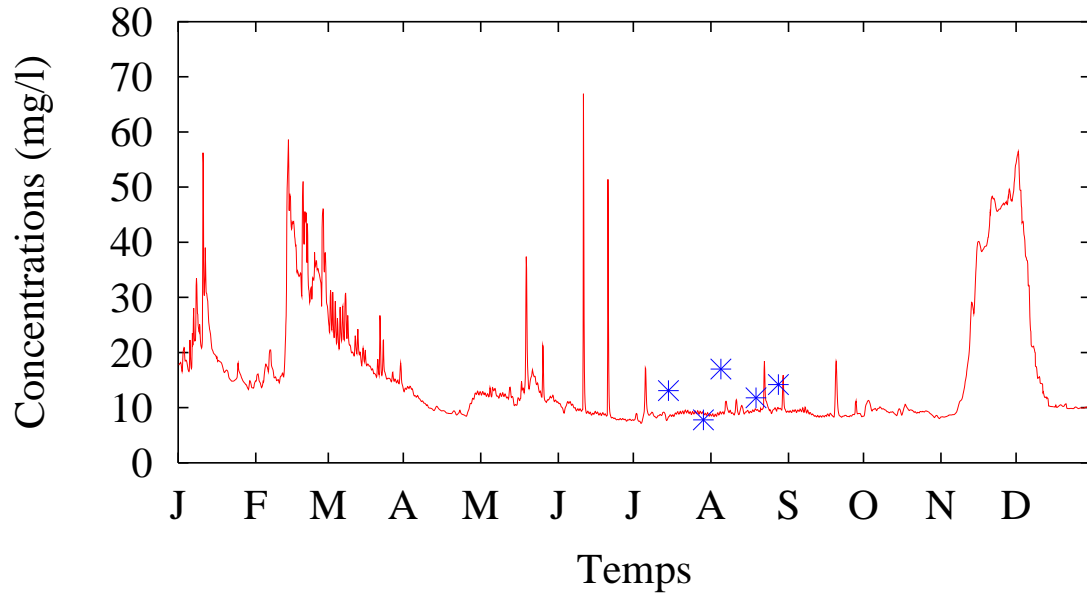
Asnières 1996 : MESTot



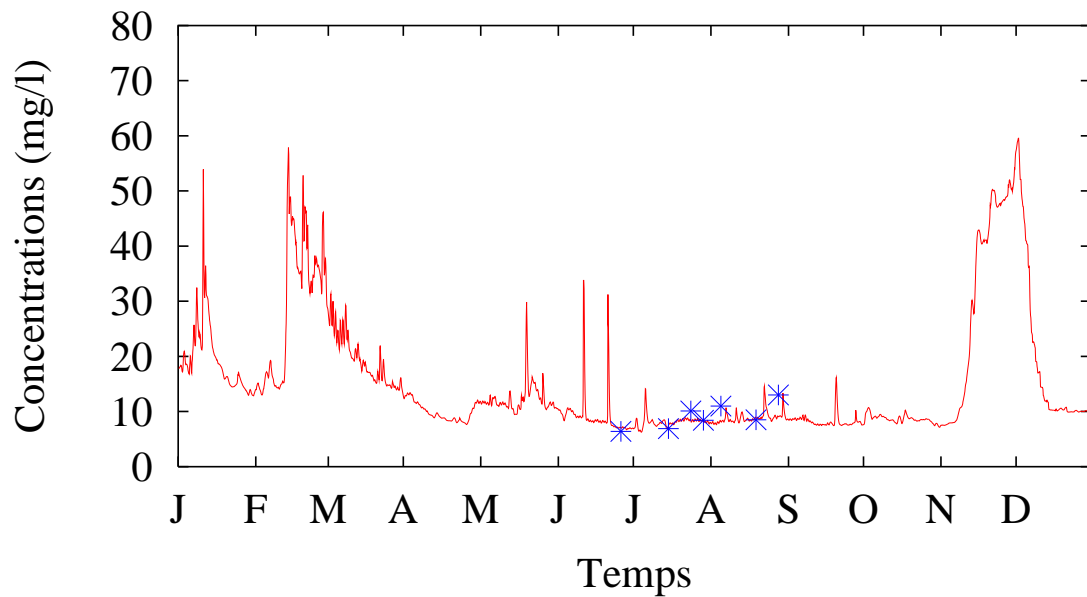
Argenteuil 1996 : MESTot



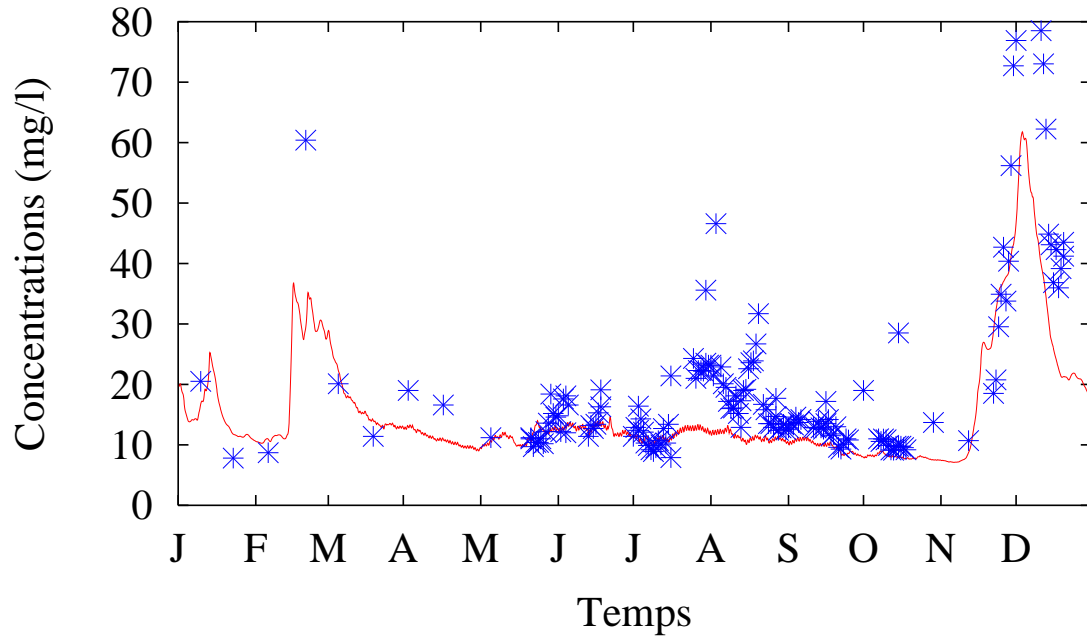
Colombes 1996 : MESTot



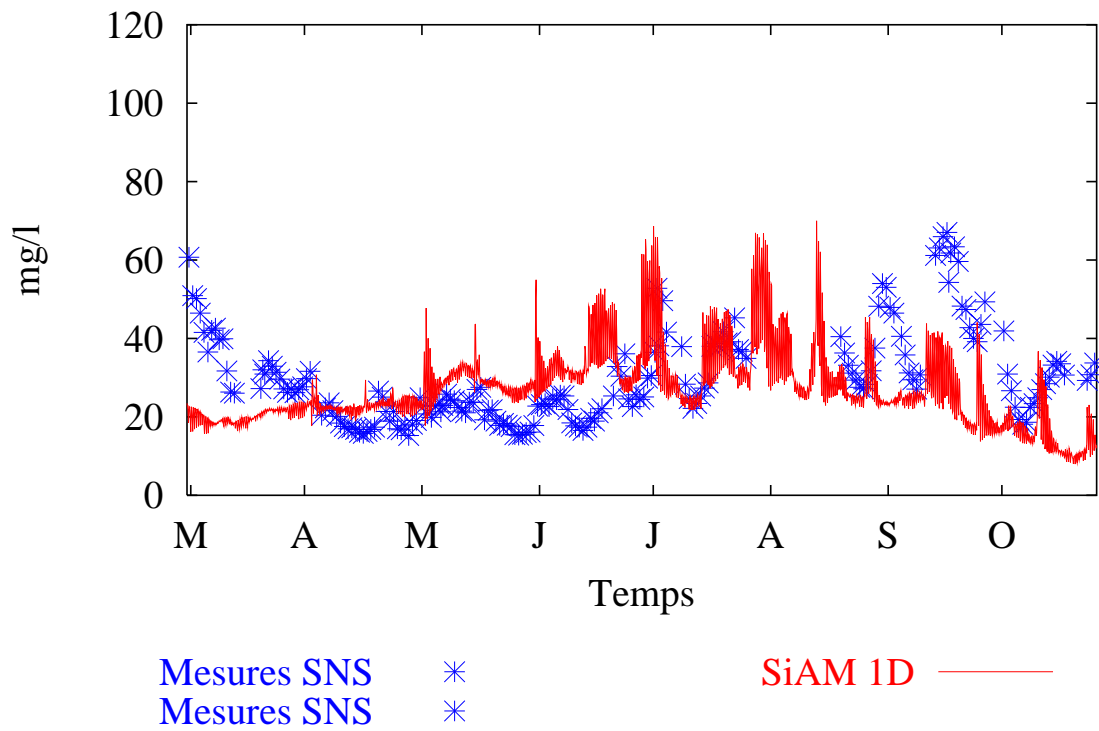
Chatou 1996 : MESTot



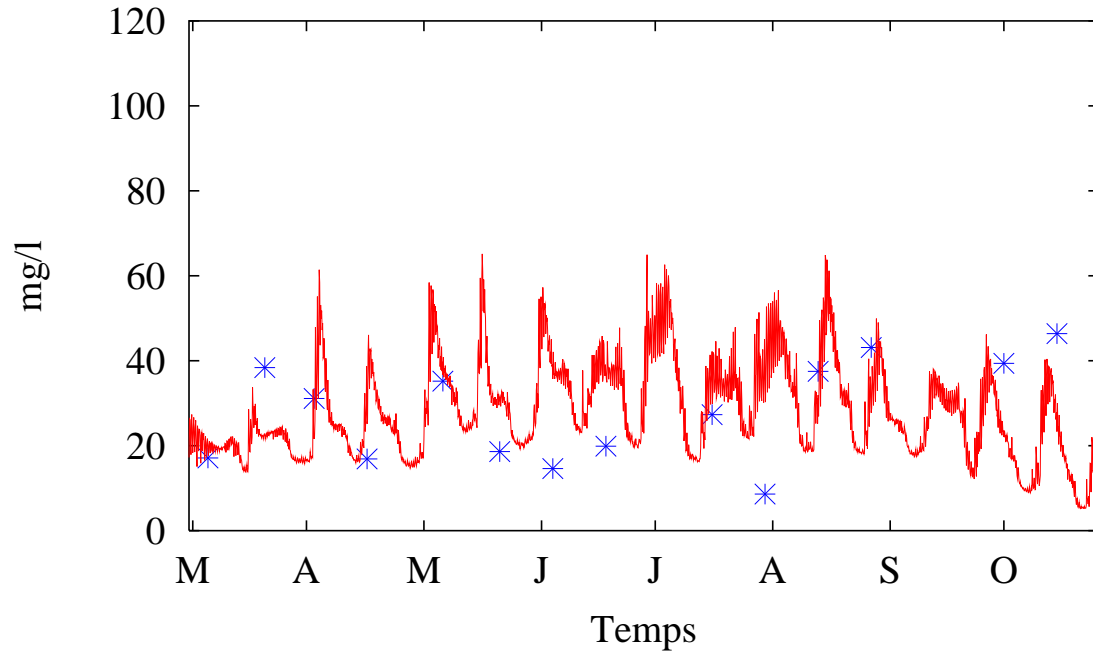
Poses 1996 : MESTot



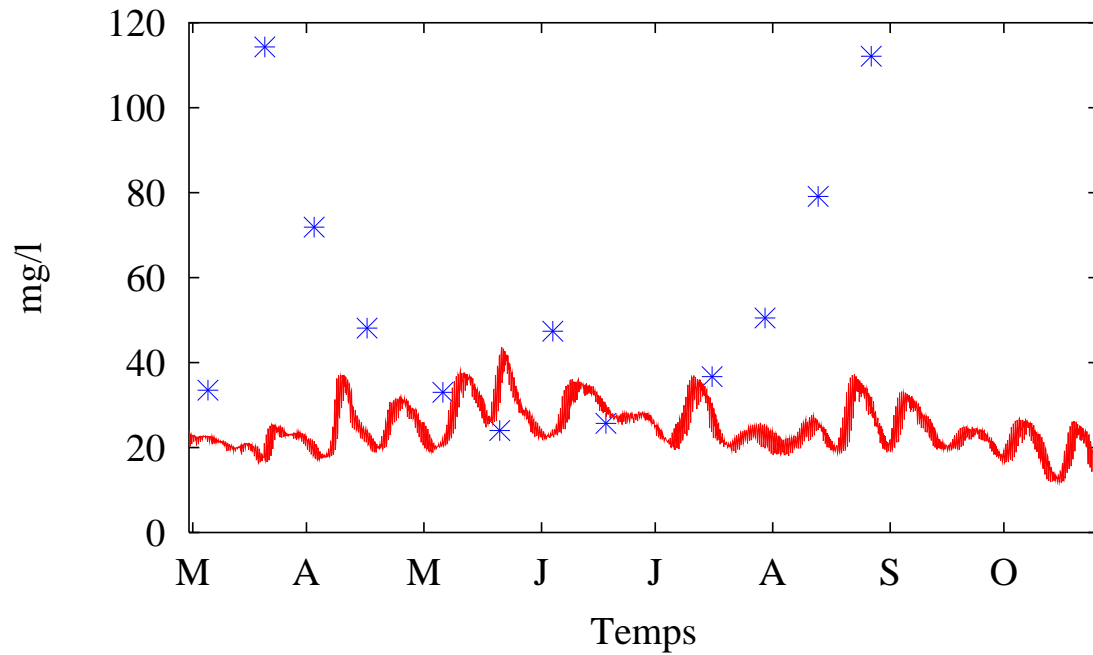
Rouen (PK 243) : MES



La Bouille (PK 260) : MES



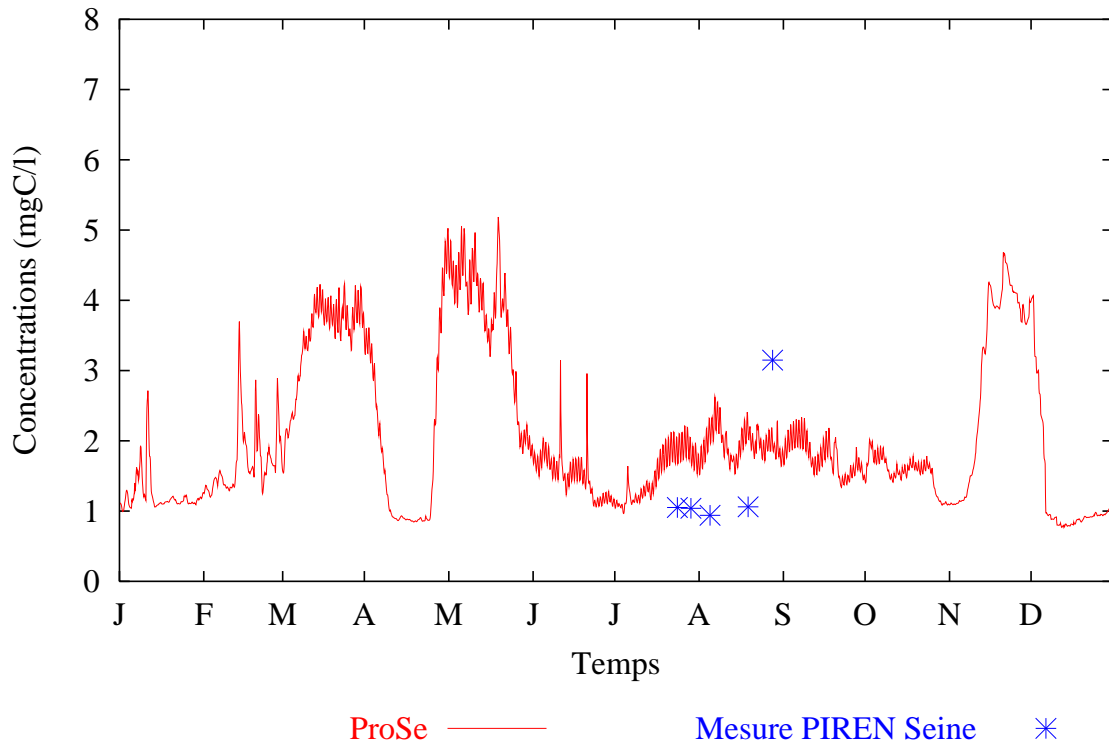
Caudebec (PK 310) : MES



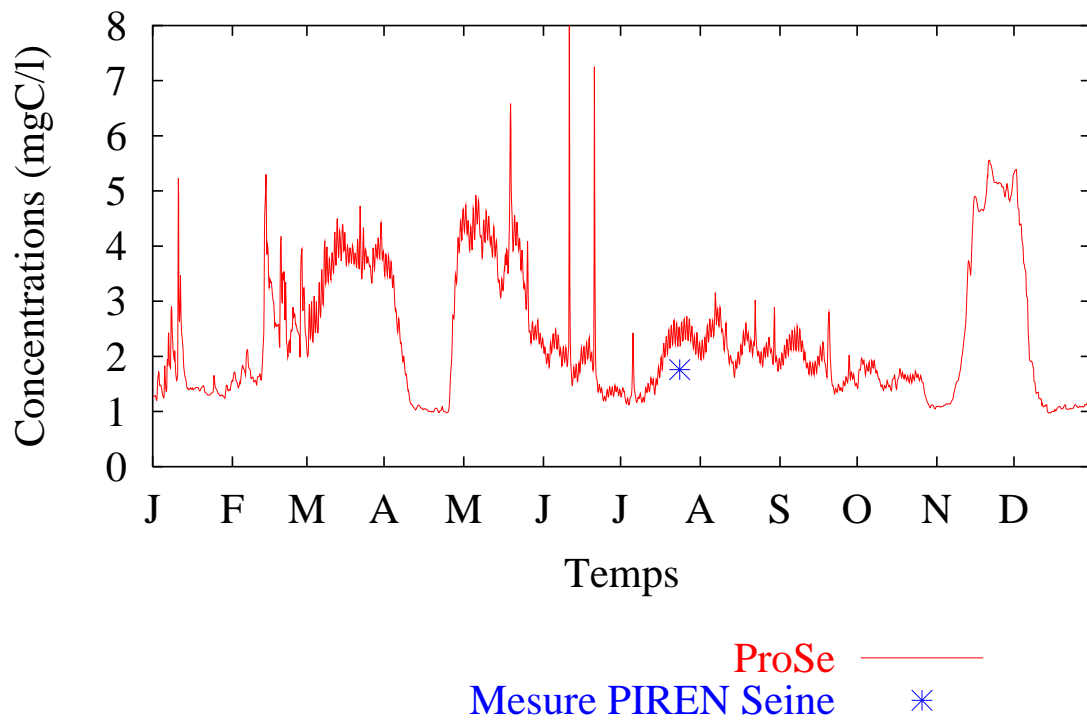
Chapitre 7

Matière organique particulaire

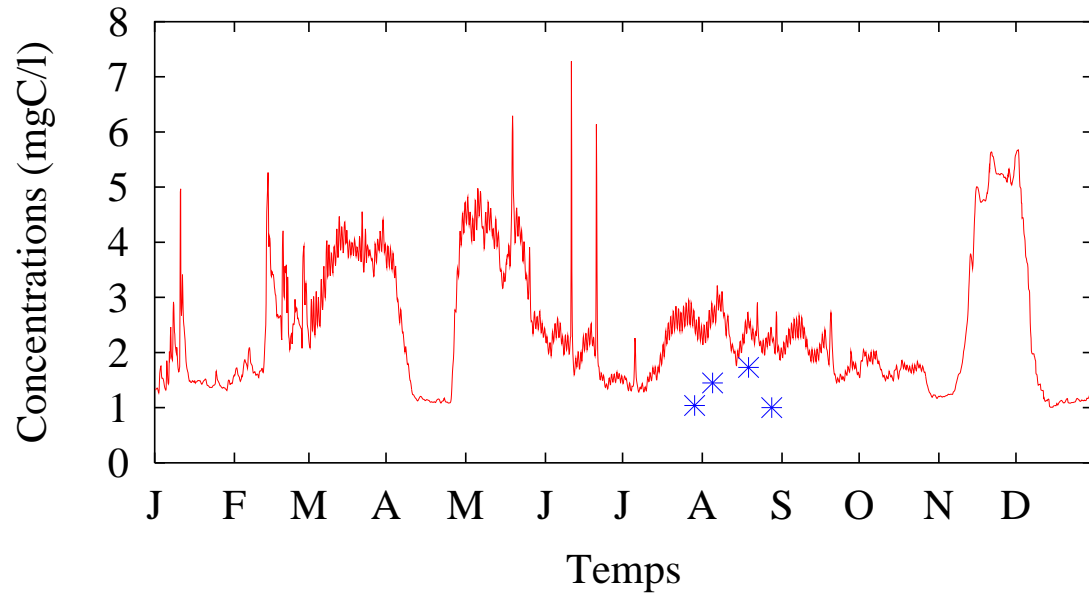
Asnières 1996 : MOP



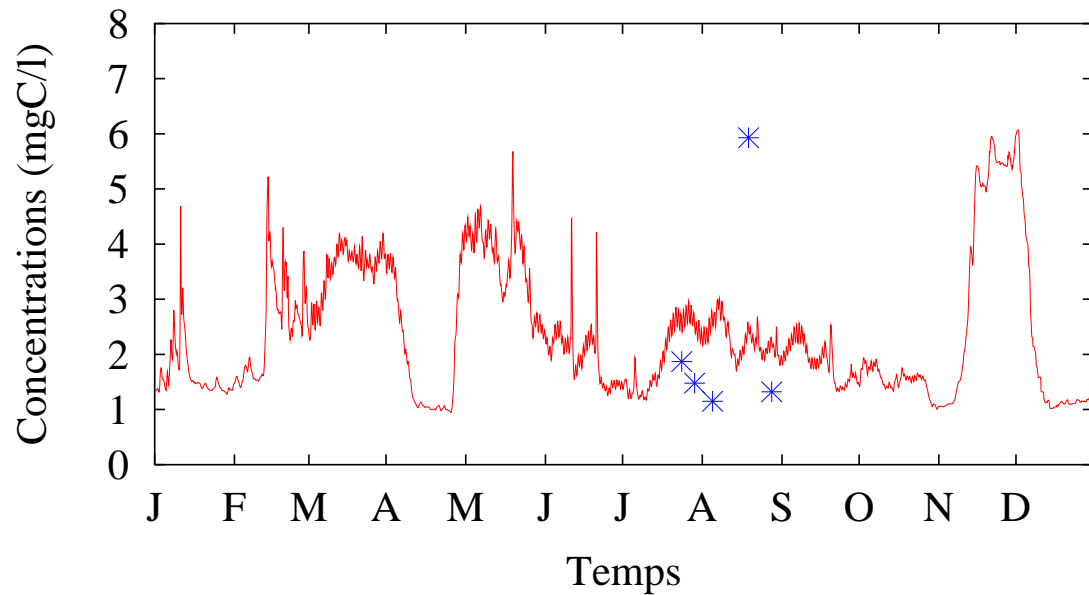
Argenteuil 1996 : MOP



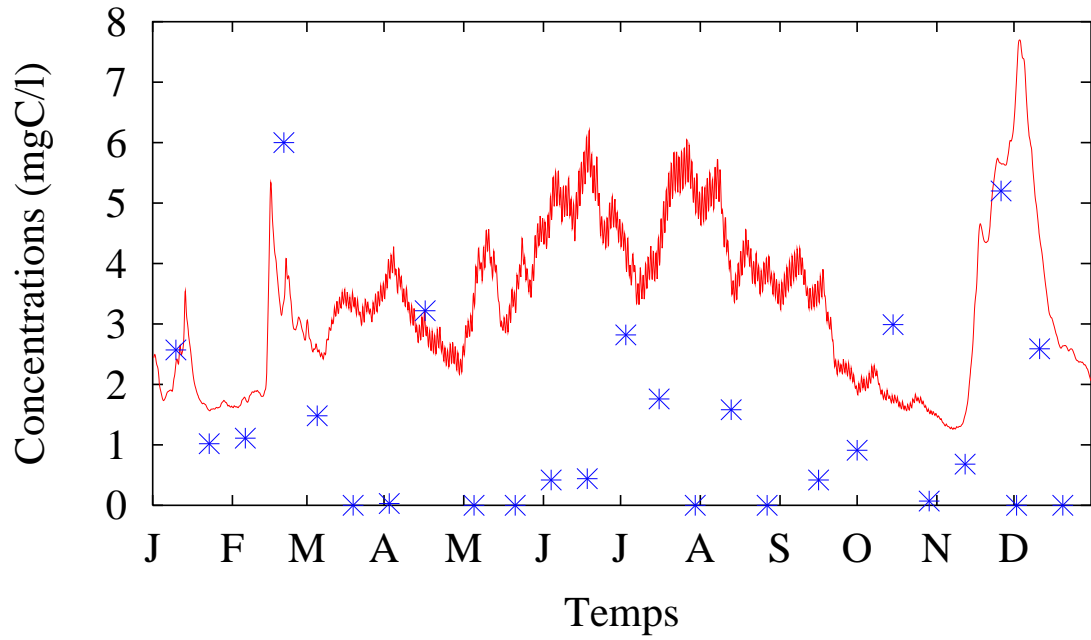
Colombes 1996 : MOP



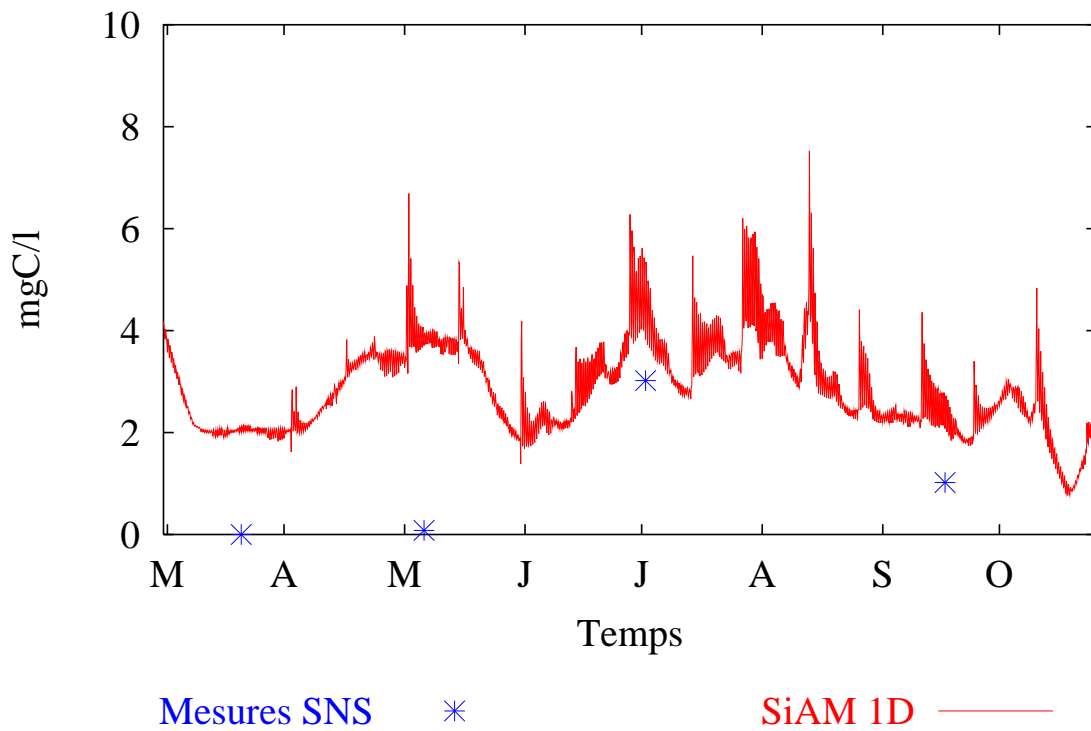
Chatou 1996 : MOP



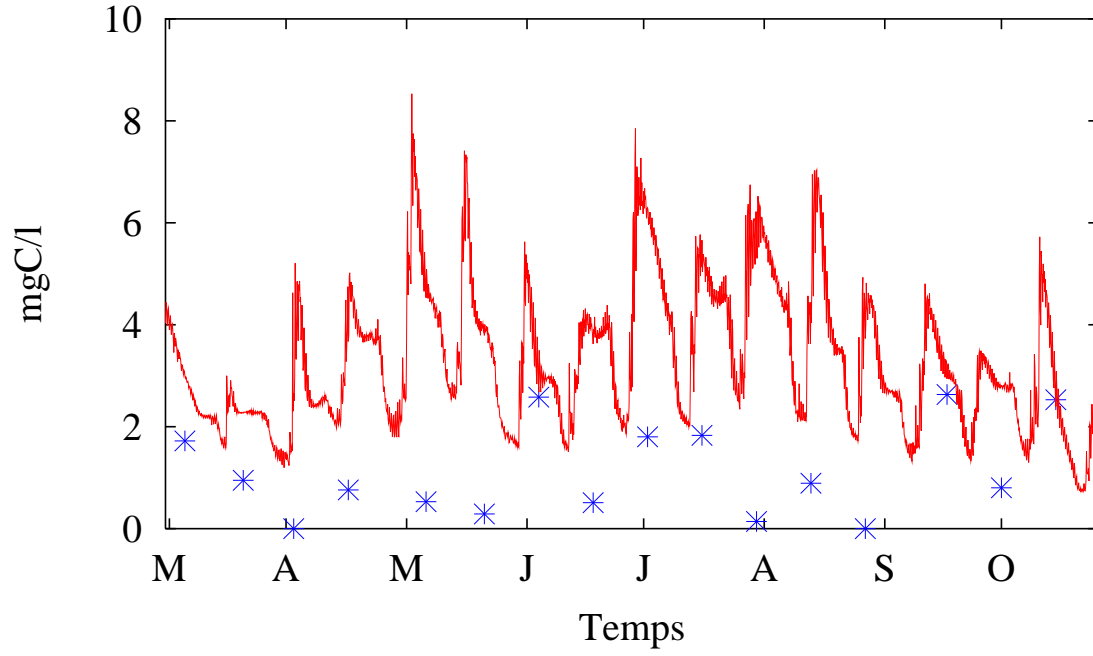
Poses 1996 : MOP



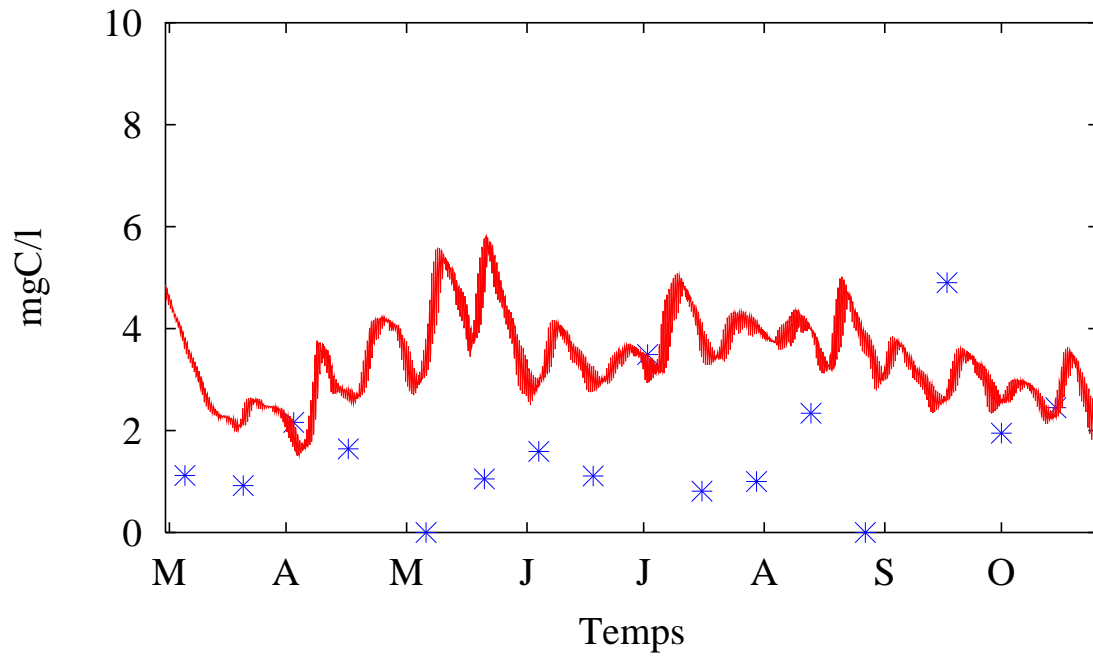
Rouen (PK 243) : COP



Bouille (PK 260) : COP

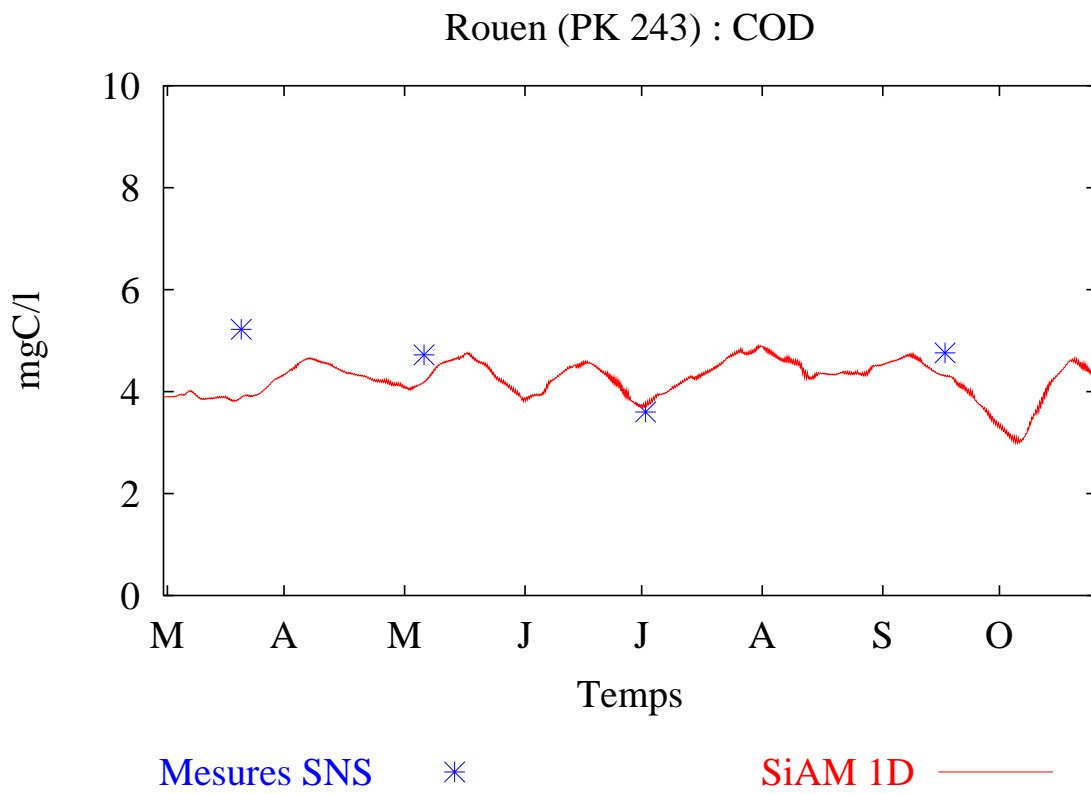
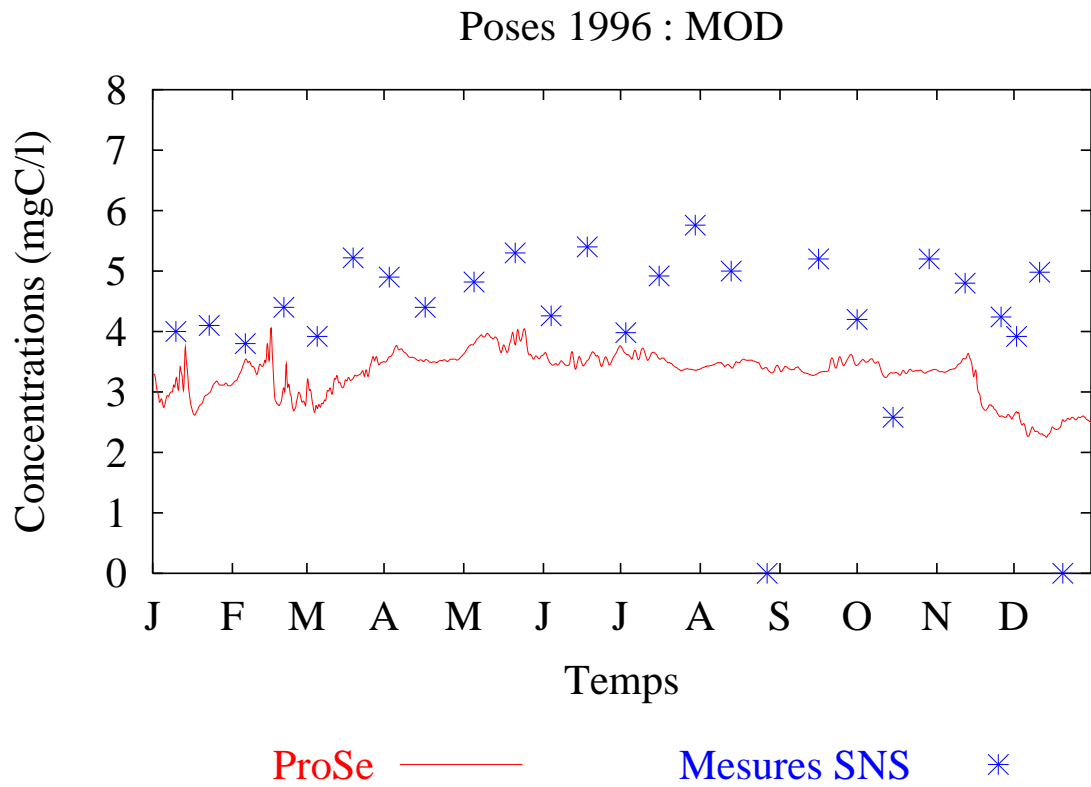


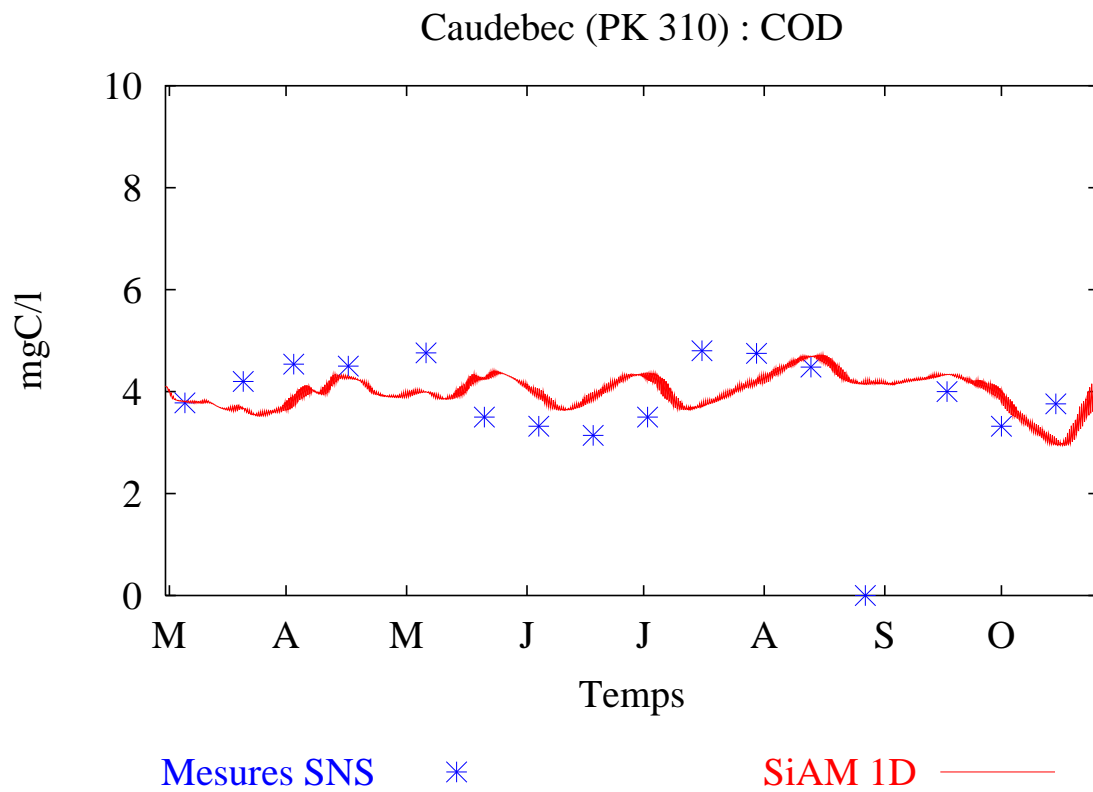
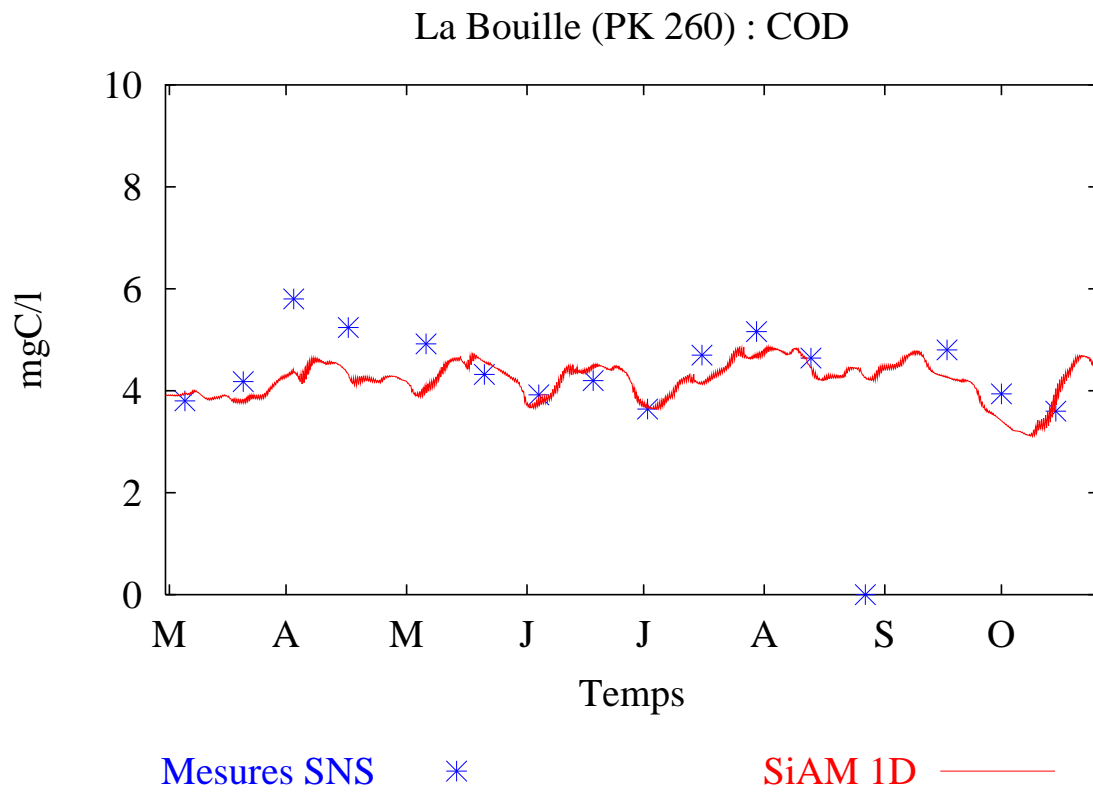
Caudebec (PK 310) : COP



Chapitre 8

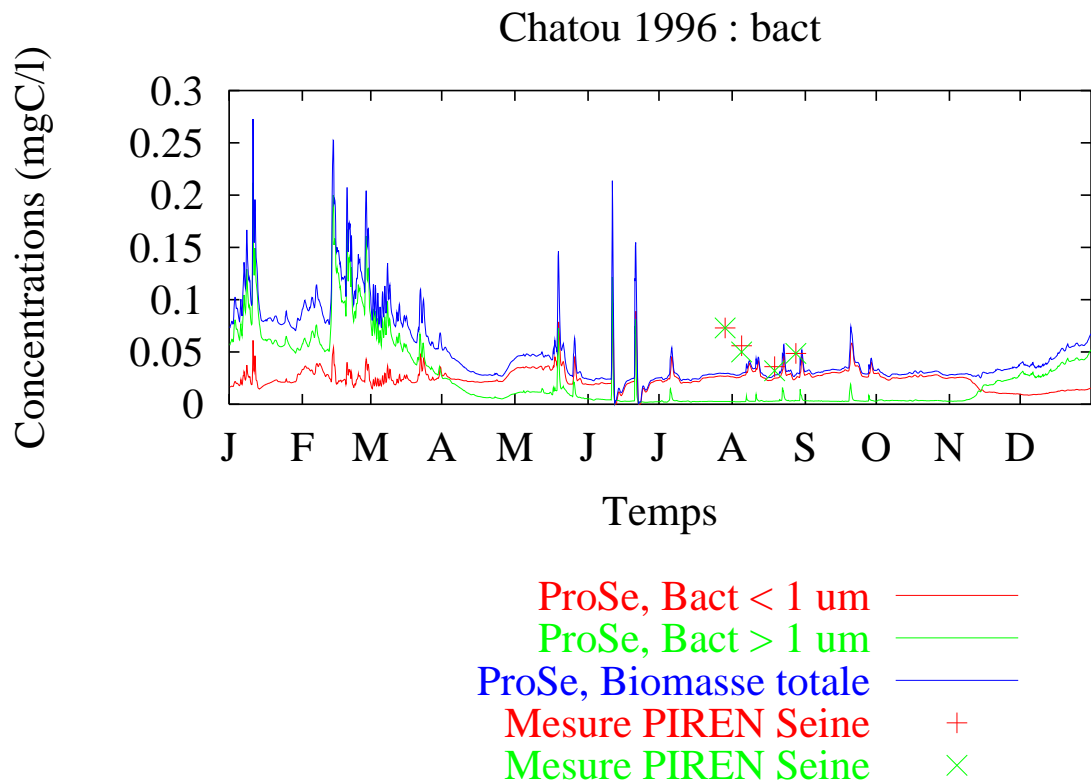
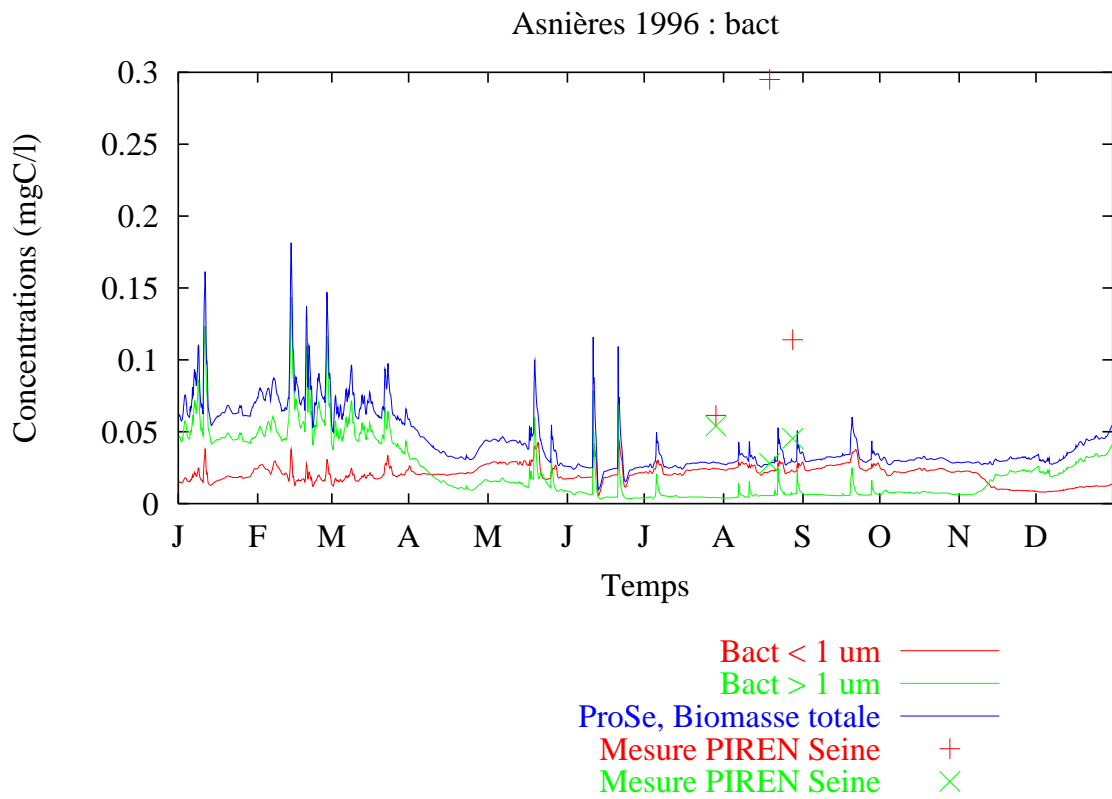
Matière organique dissoute





Chapitre 9

Biomasses bactériennes



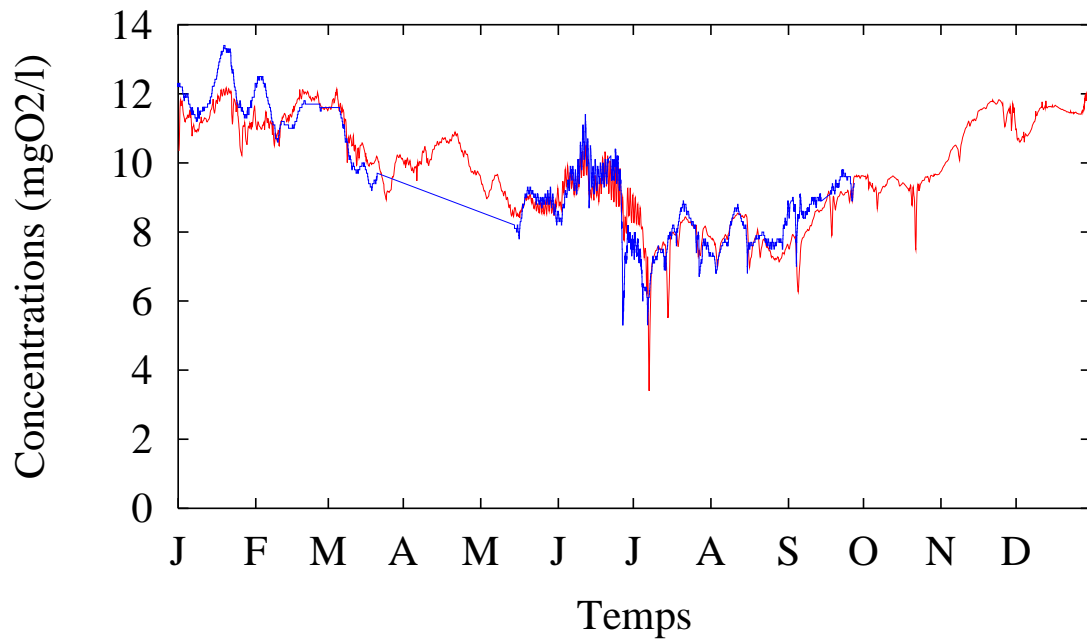
Annexe II

Validation 2001

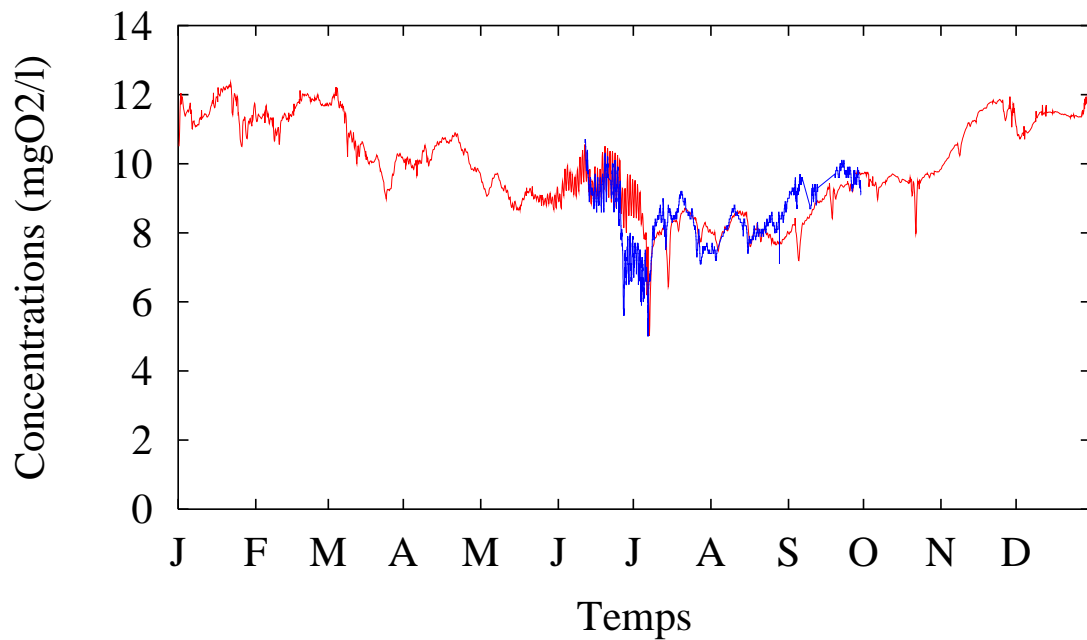
Chapitre 10

L'oxygène

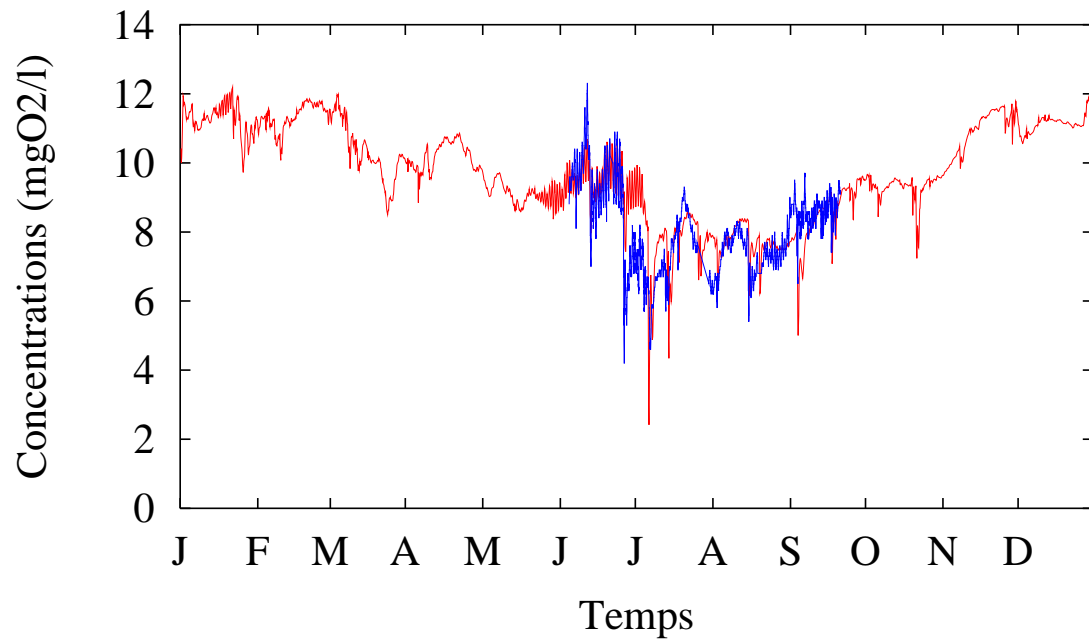
Suresnes 2001 : O2



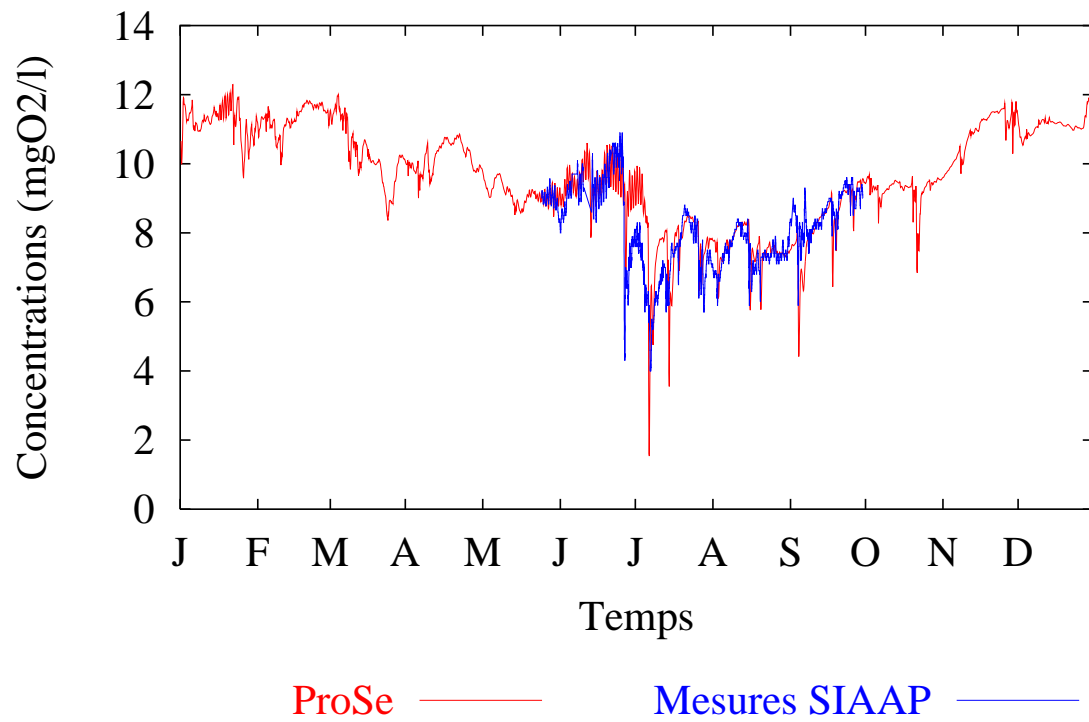
Asnières 2001 : O2



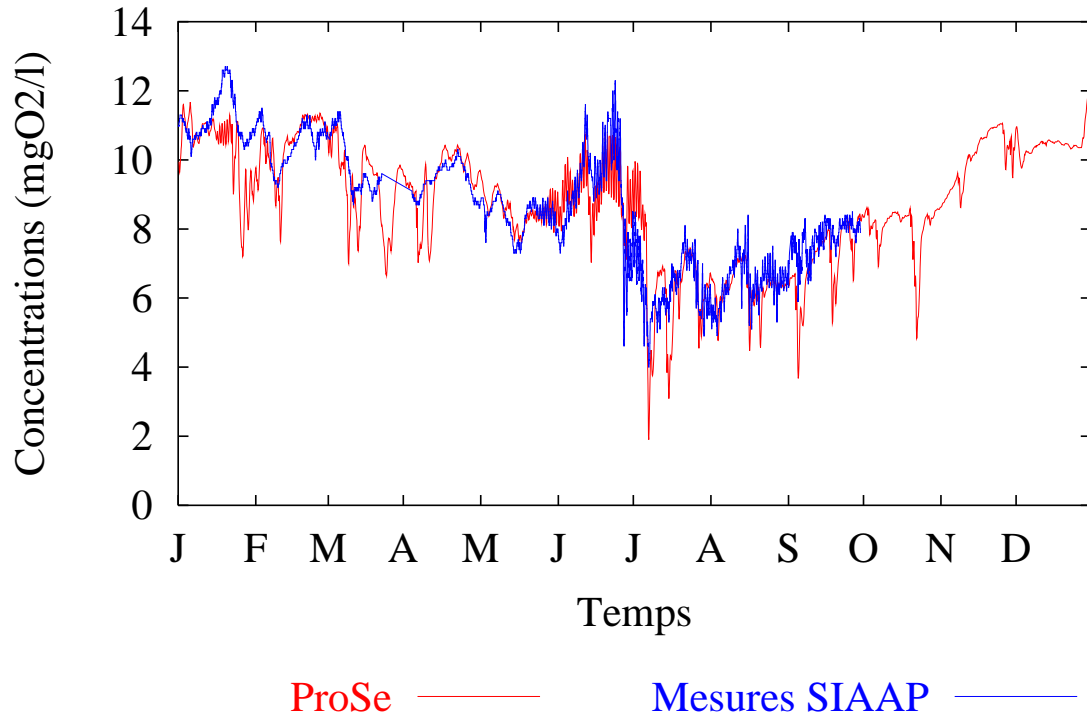
Colombes 2001 : O2 0



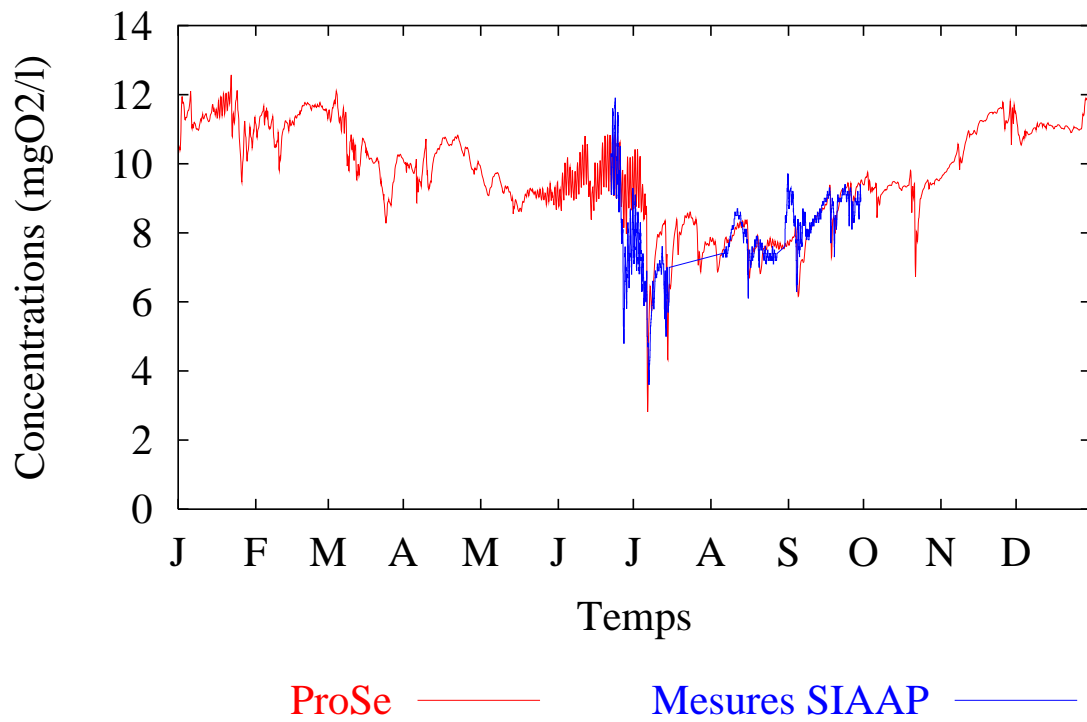
Chatou 2001 : O2 0



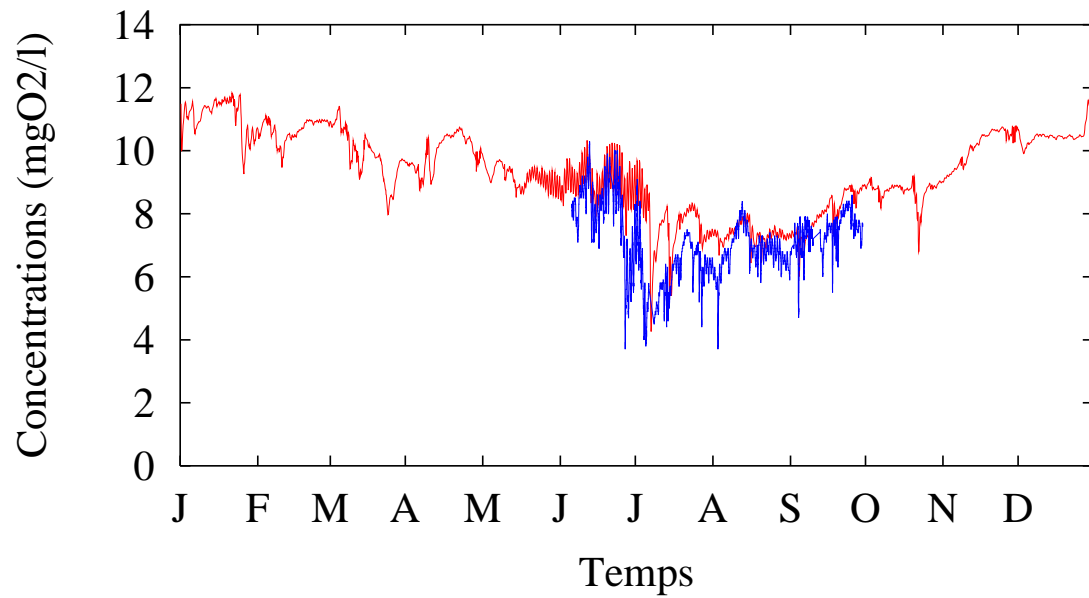
Bougival 2001: O2 0



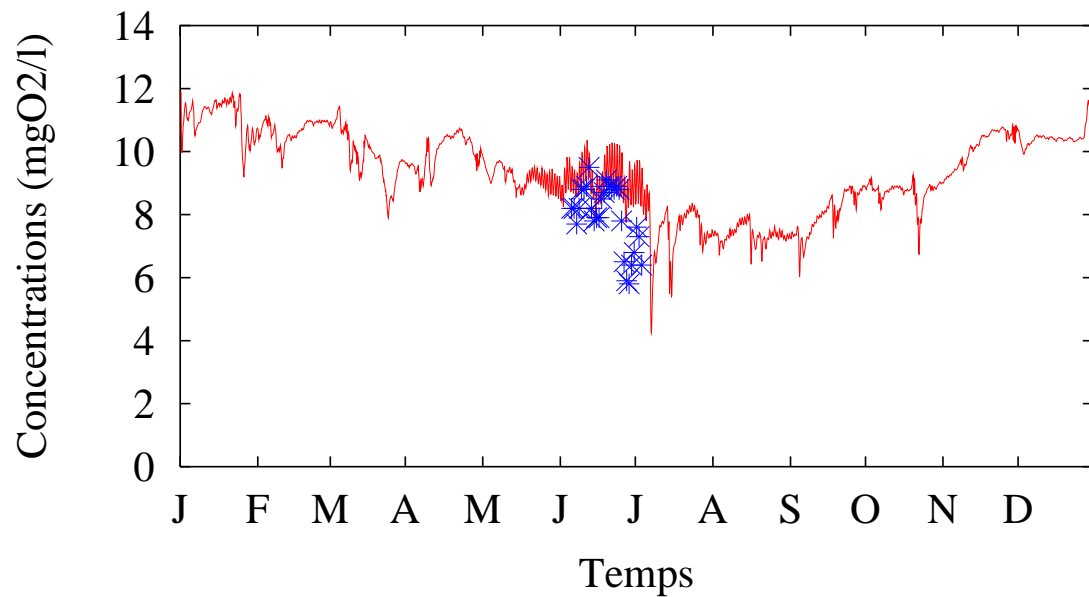
Sartrouville 2001 : O2

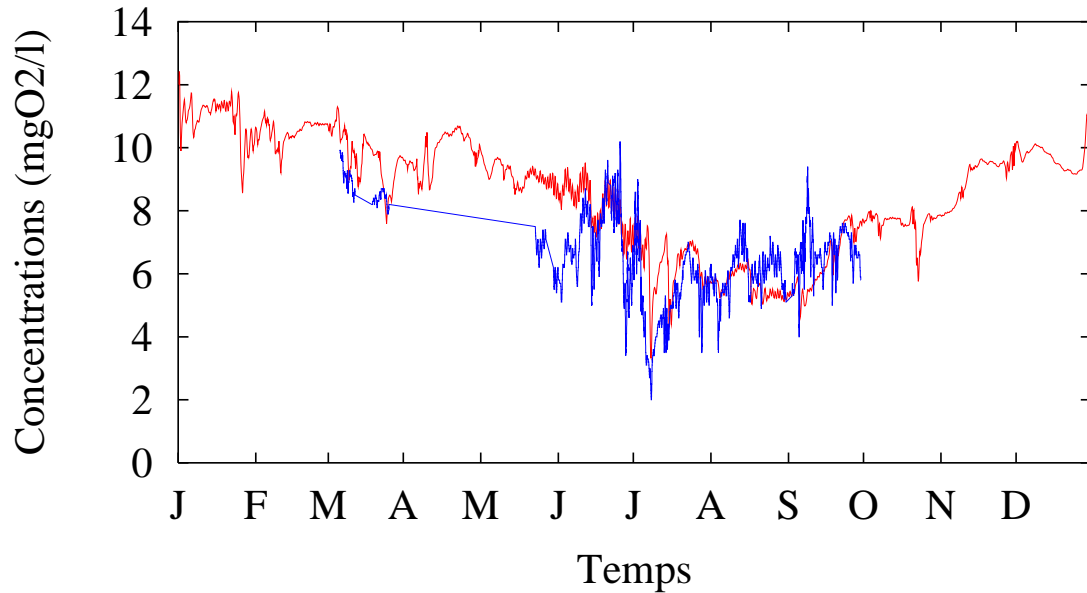
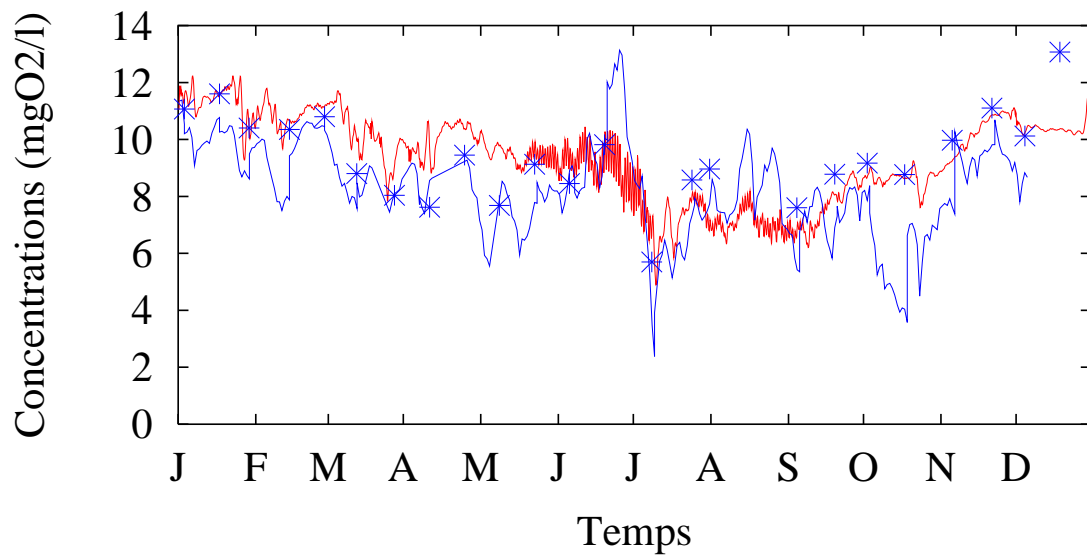


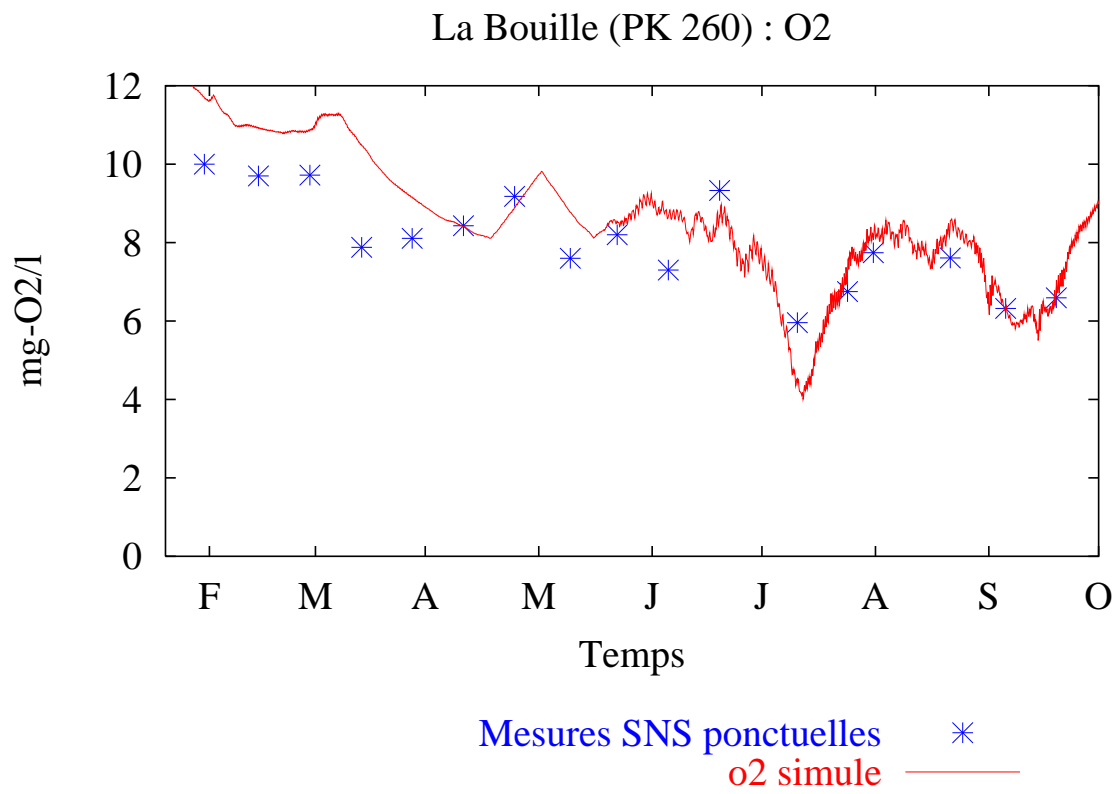
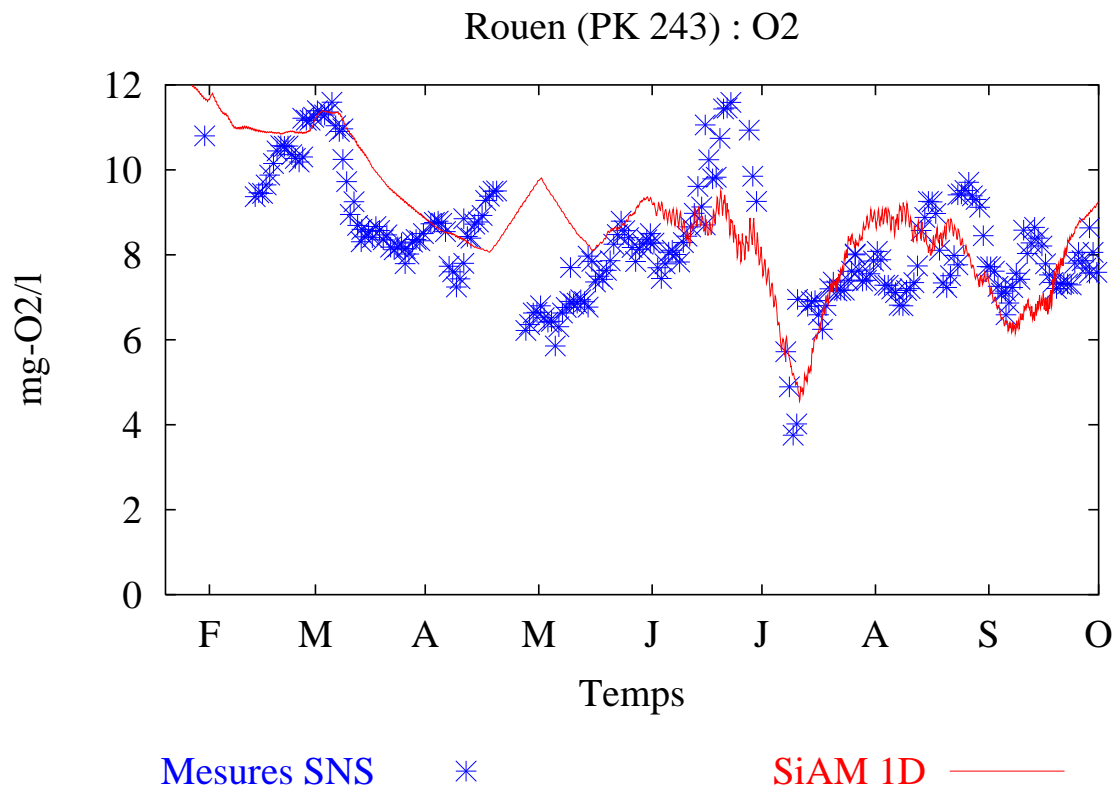
Meulan 2001 : O2

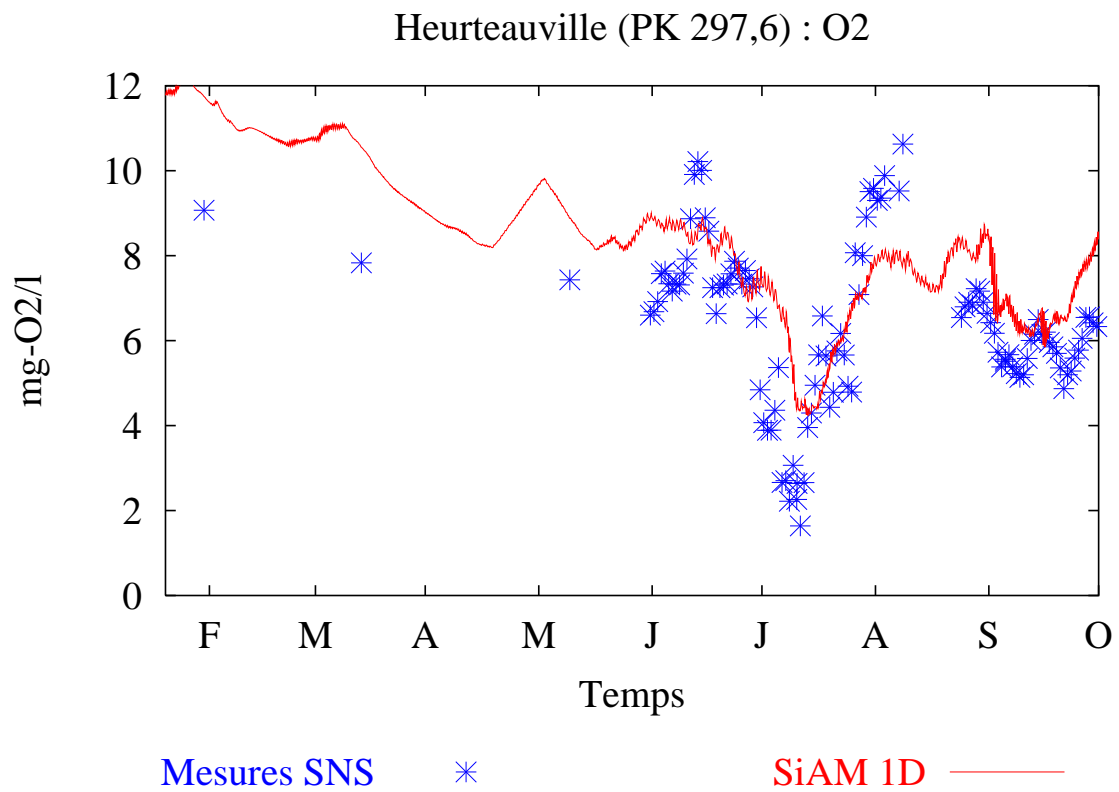
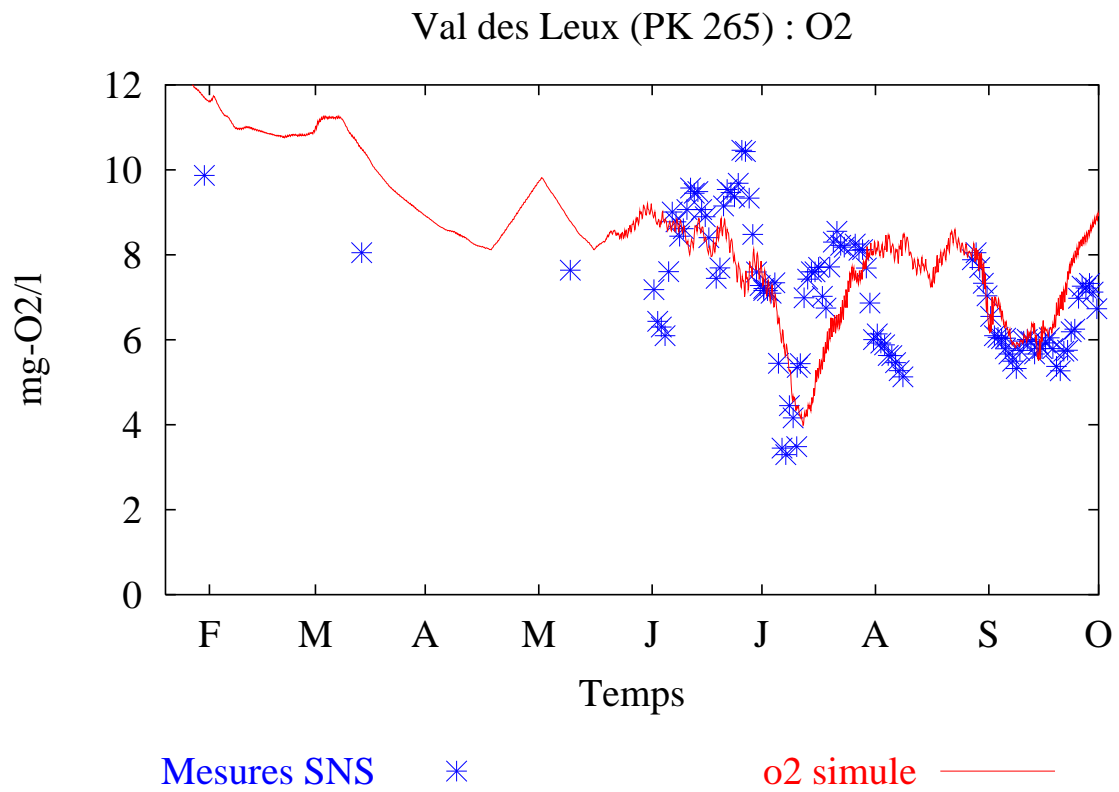


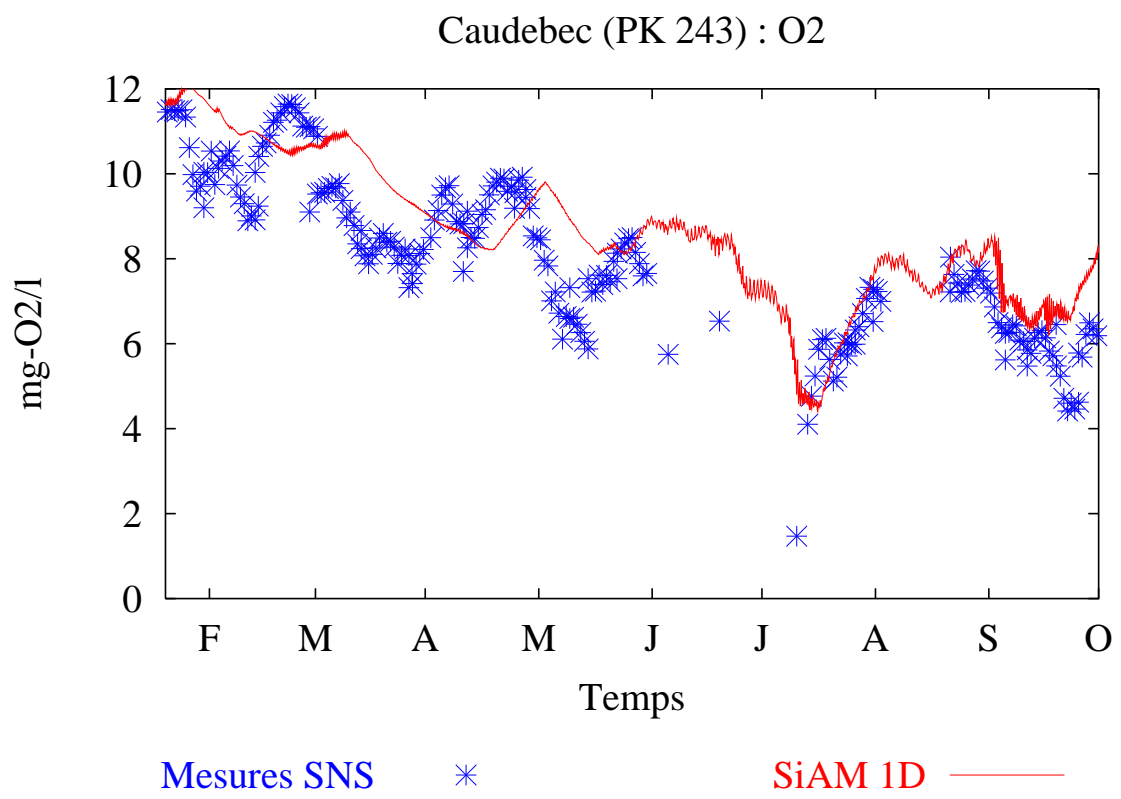
Mureaux 2001 : O2



Méricourt 2001 : O₂ 0Poses 2001 : O₂ 0

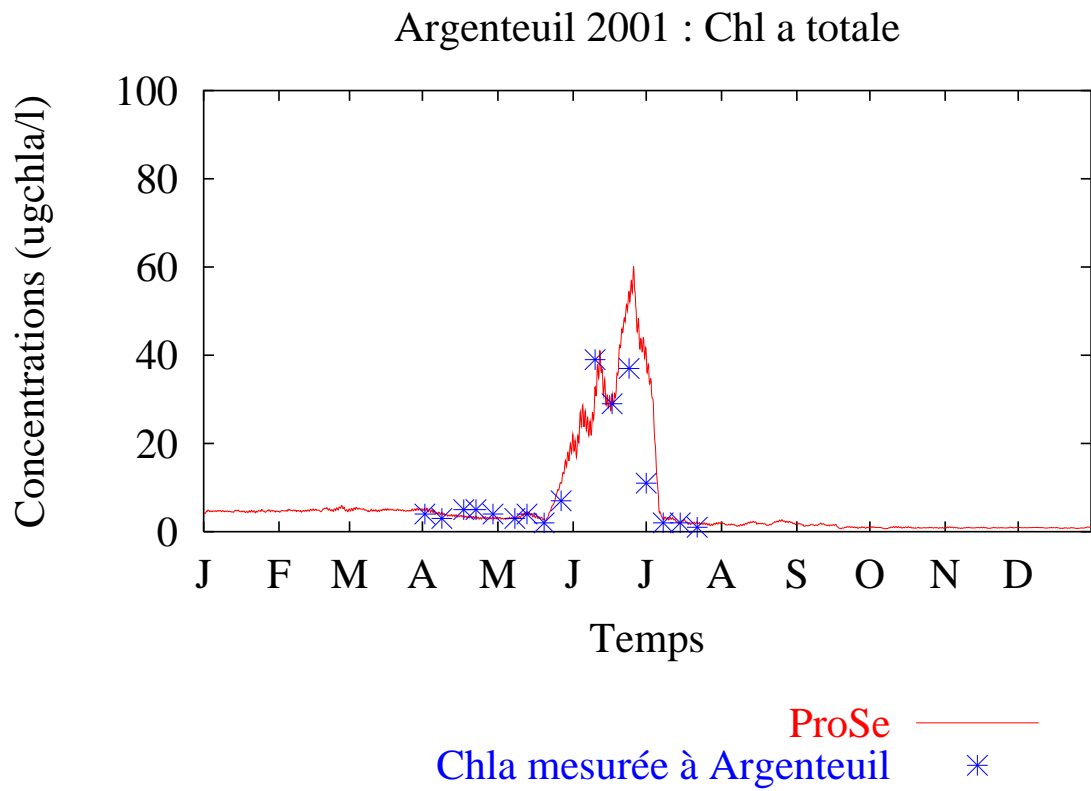
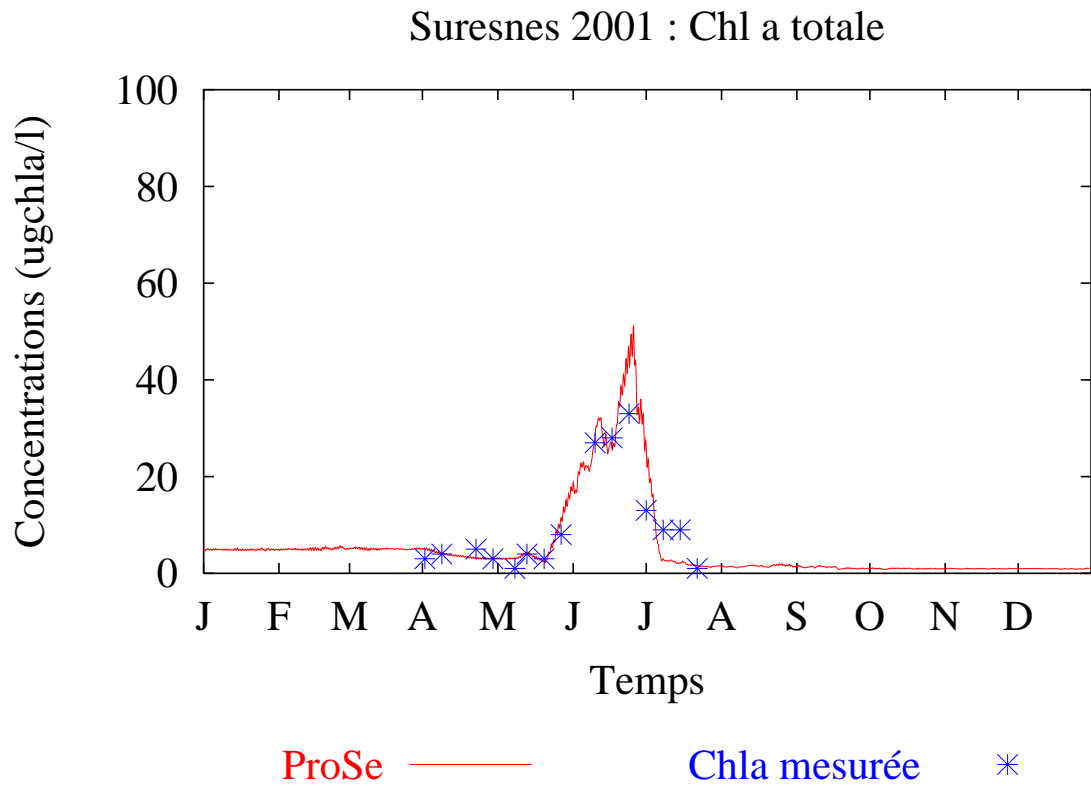


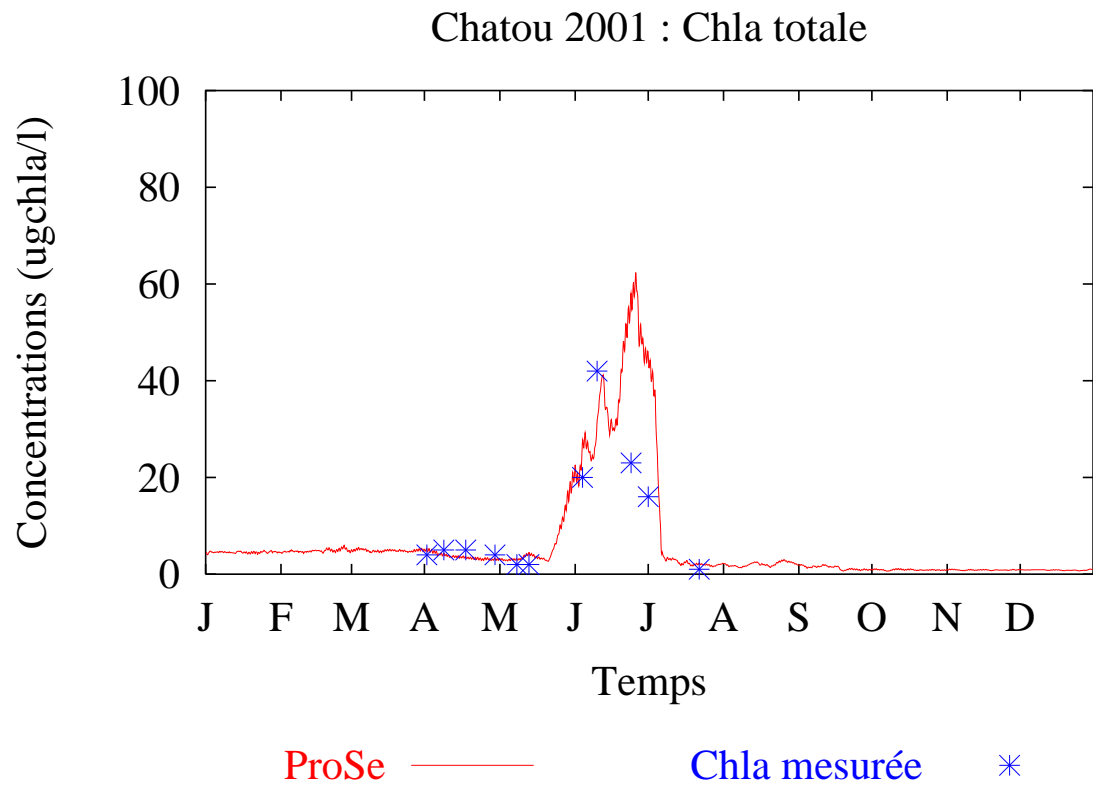
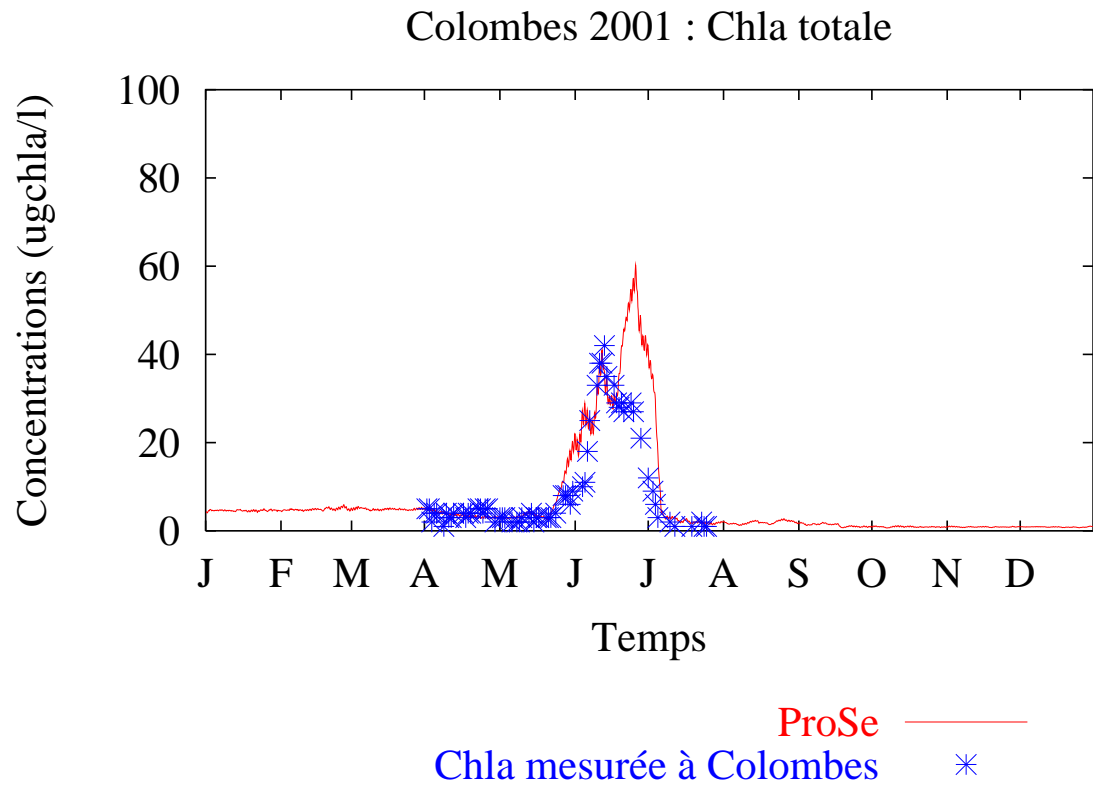


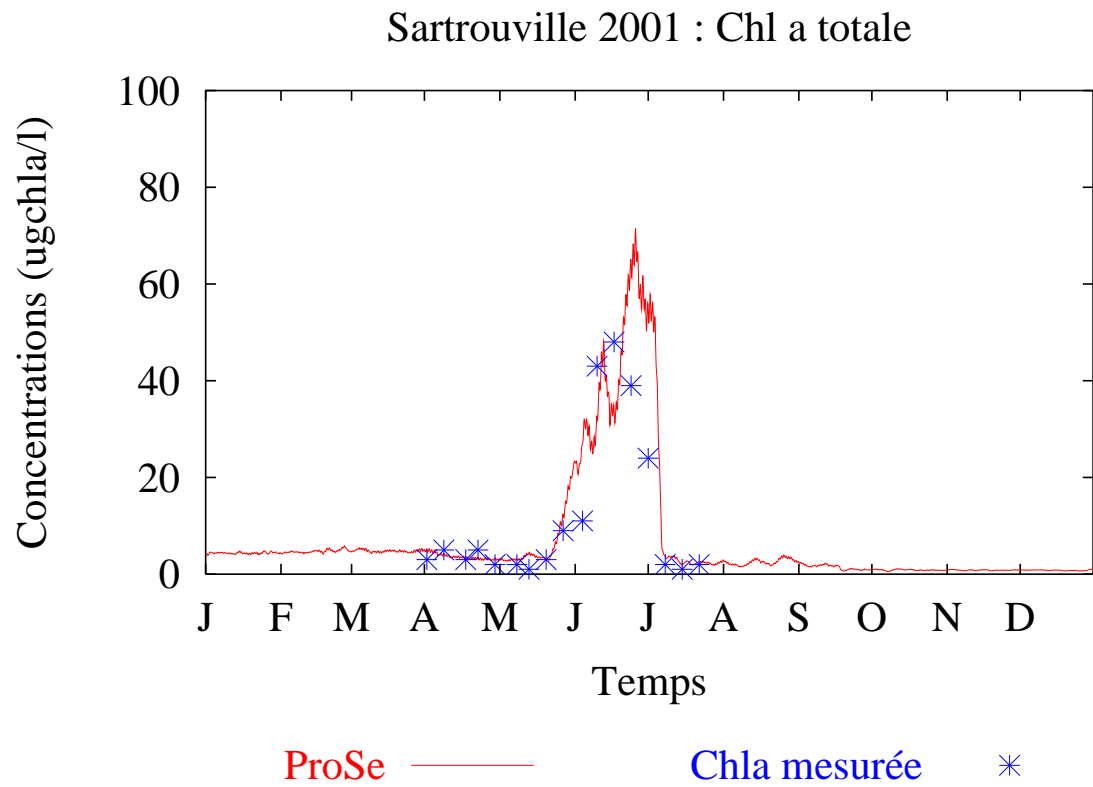
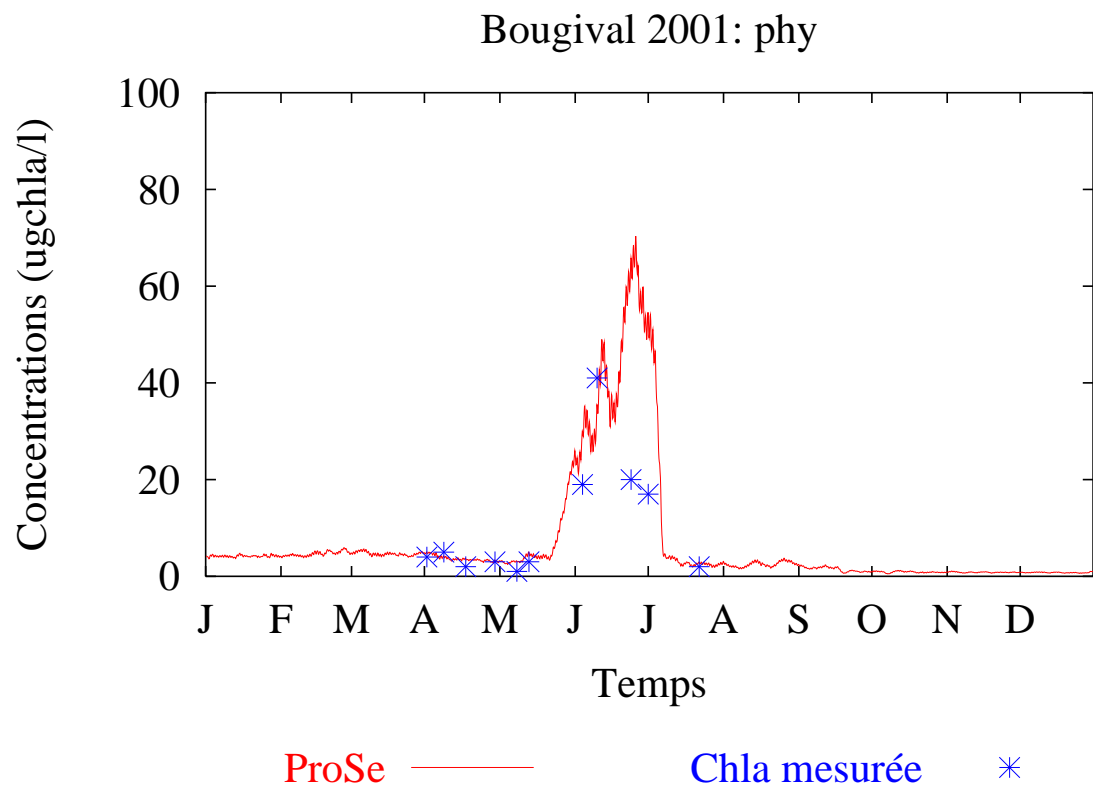


Chapitre 11

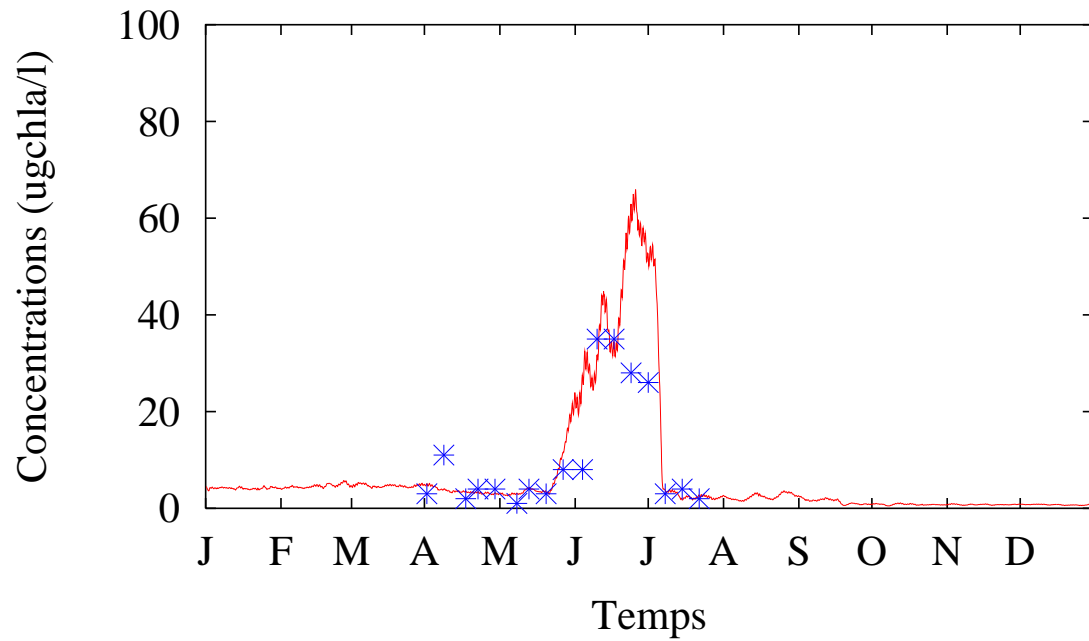
Chlorophylle *a*



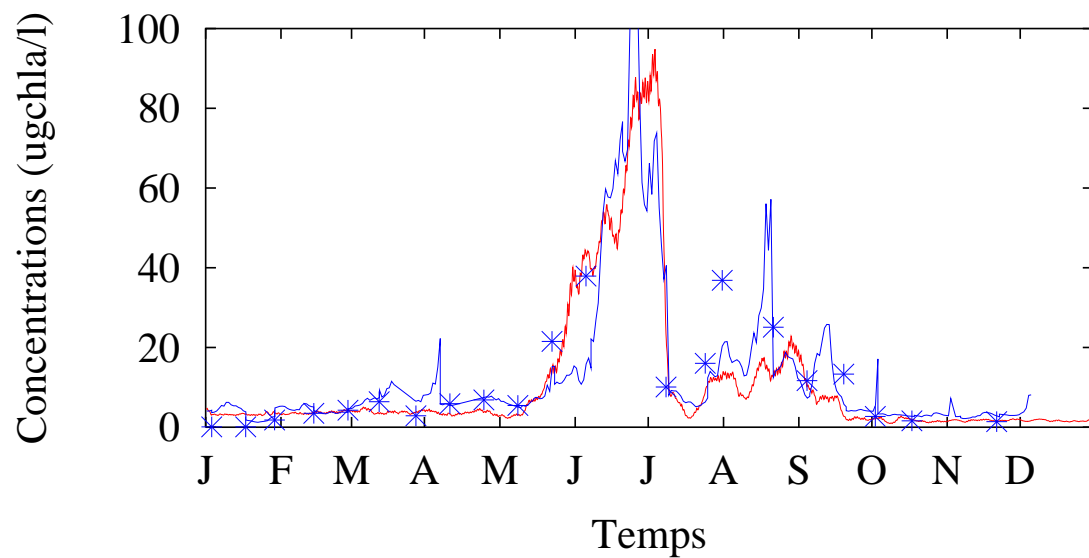


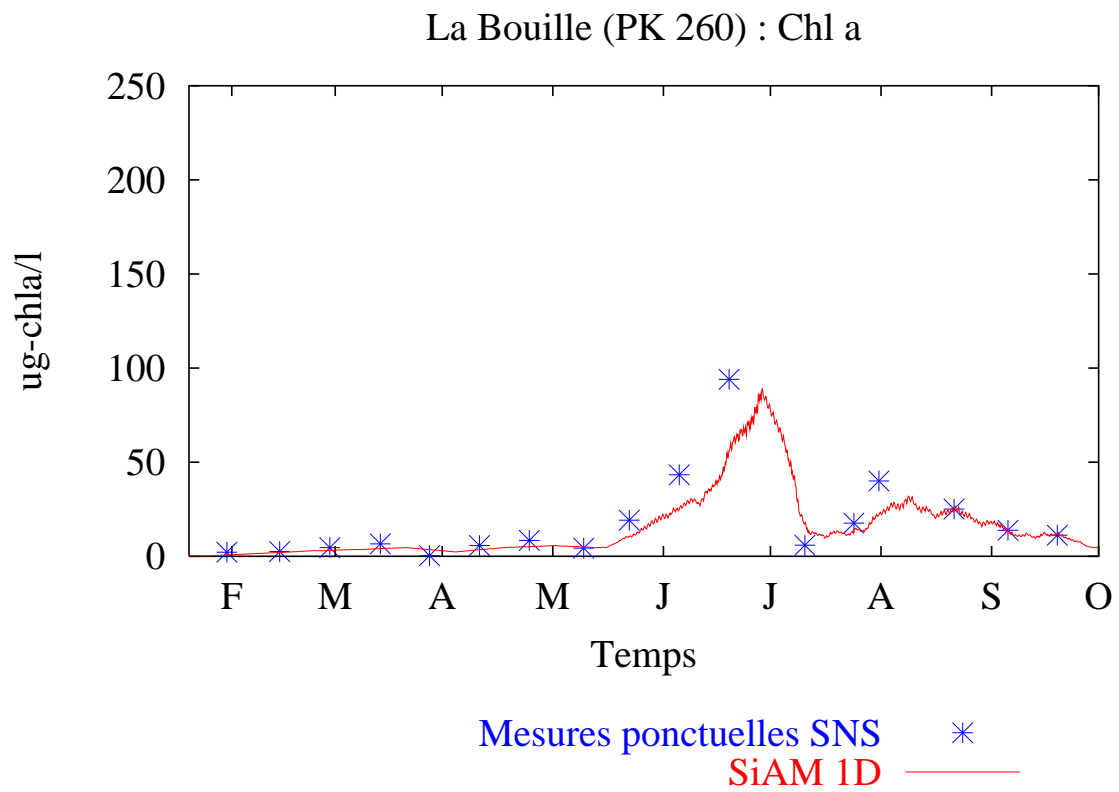
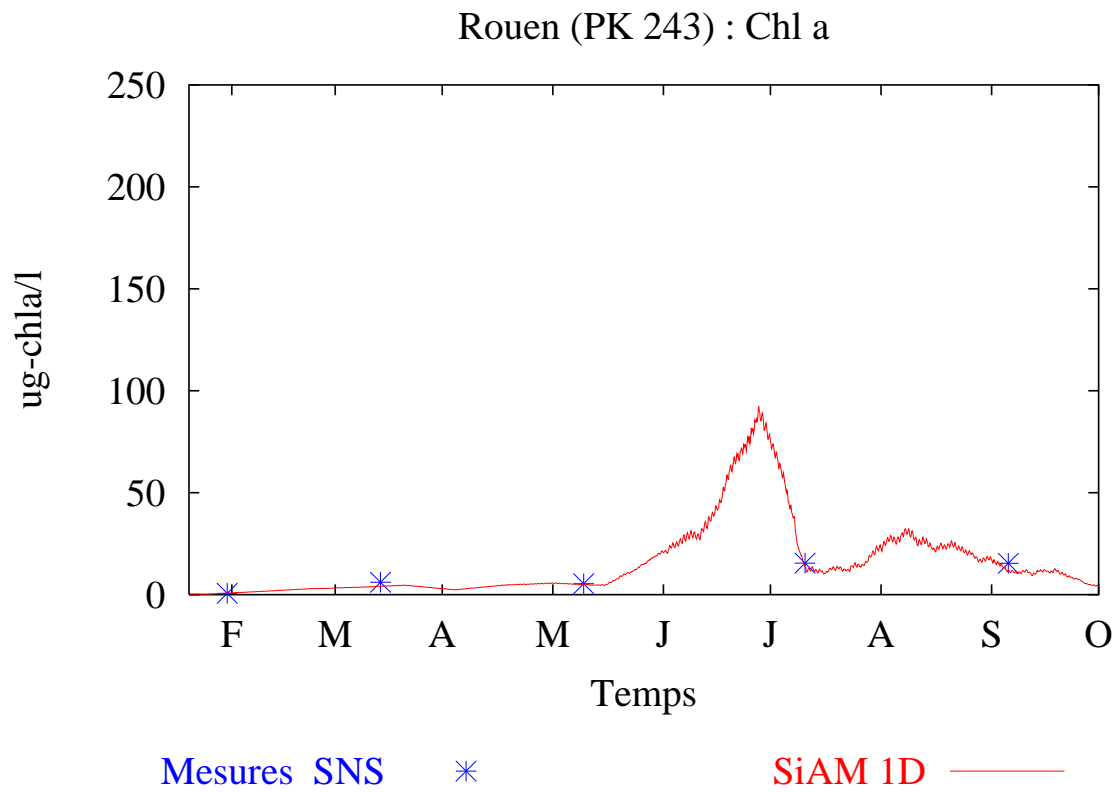


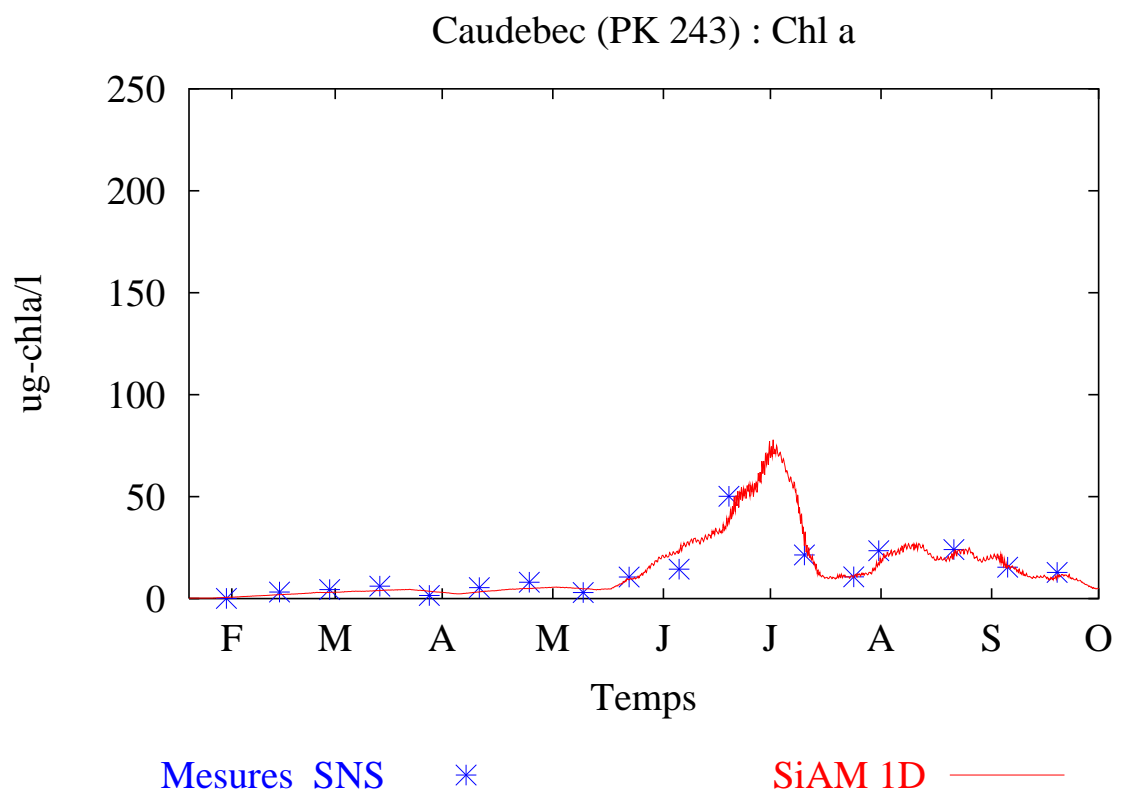
Conflans 2001 : Chl a totale



Poses 2001 : Chl a totale

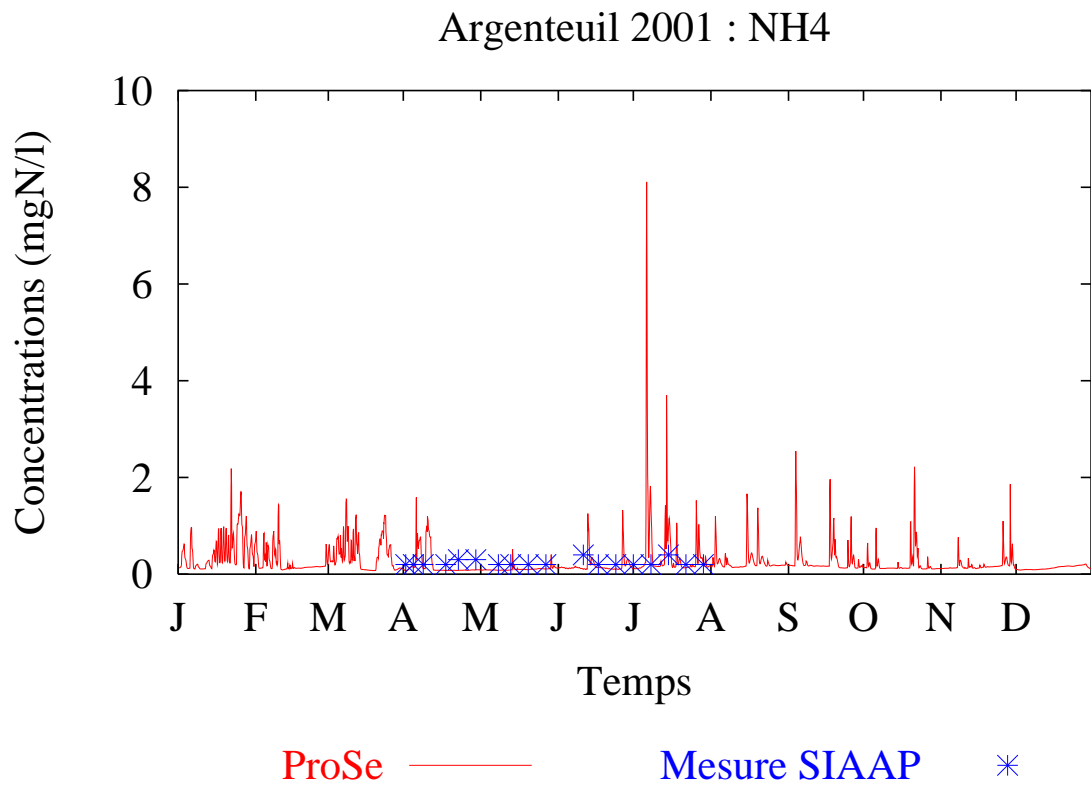
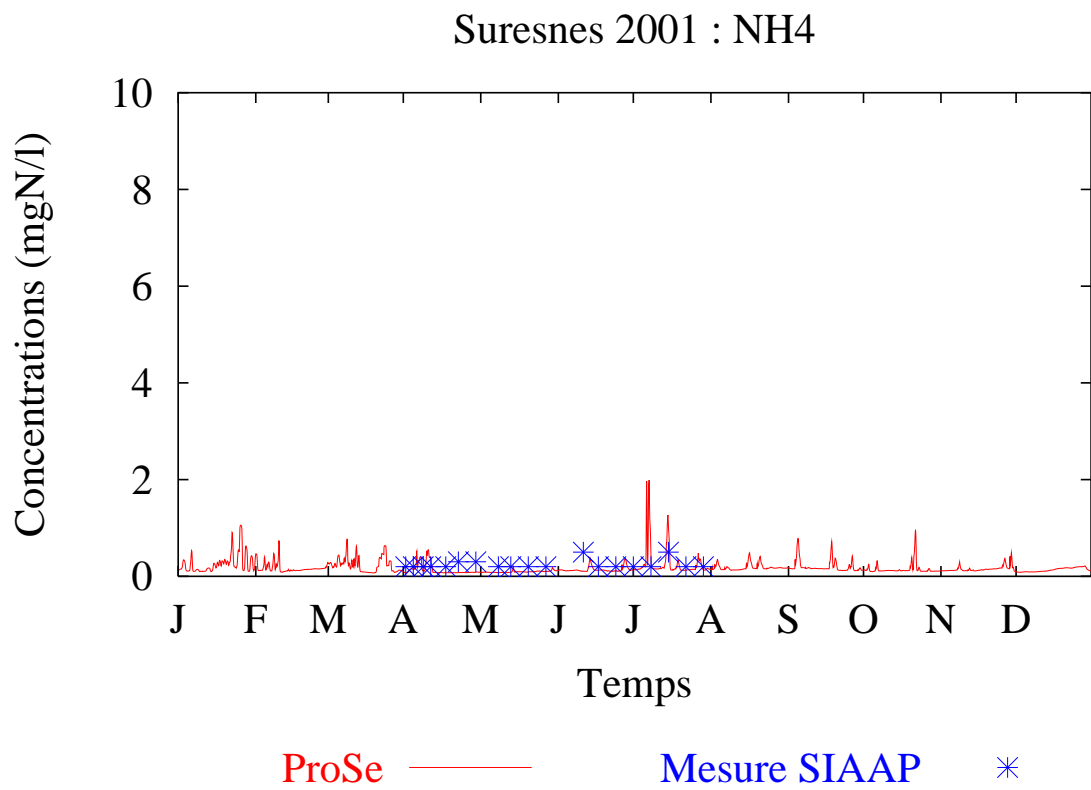




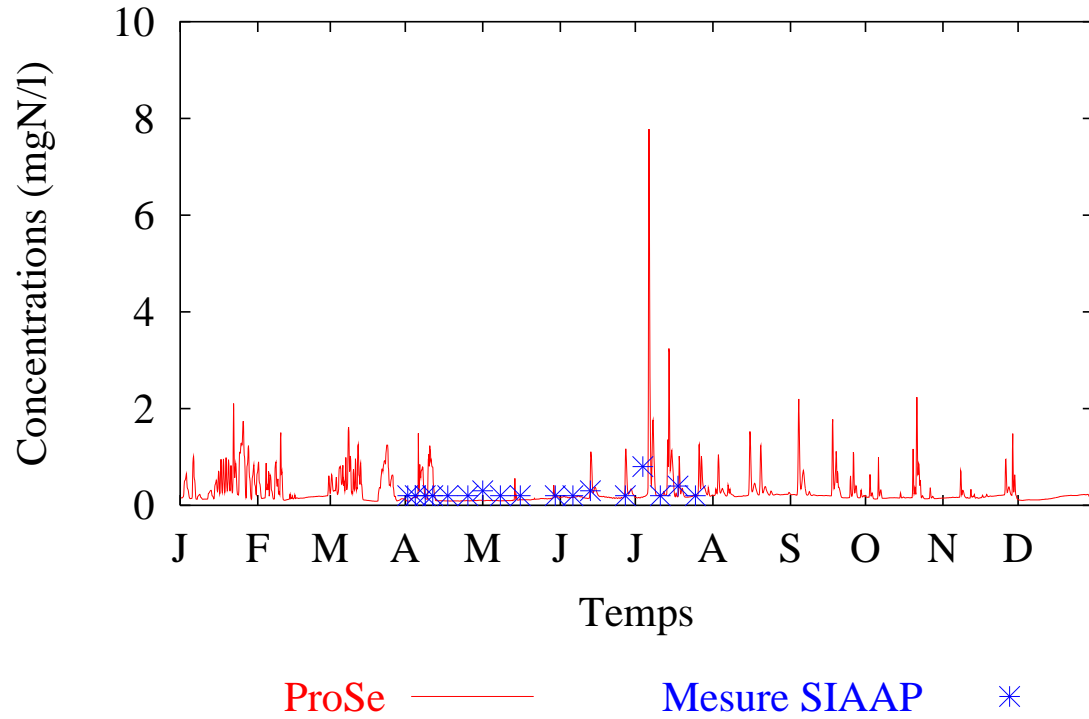


Chapitre 12

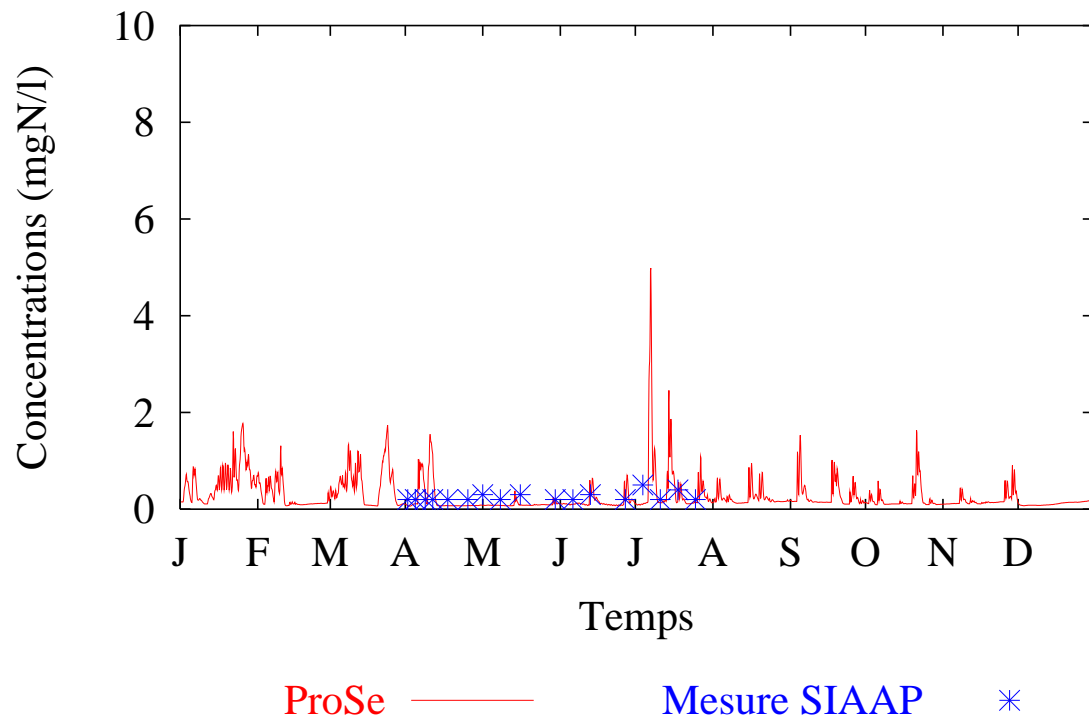
Ammoniaque

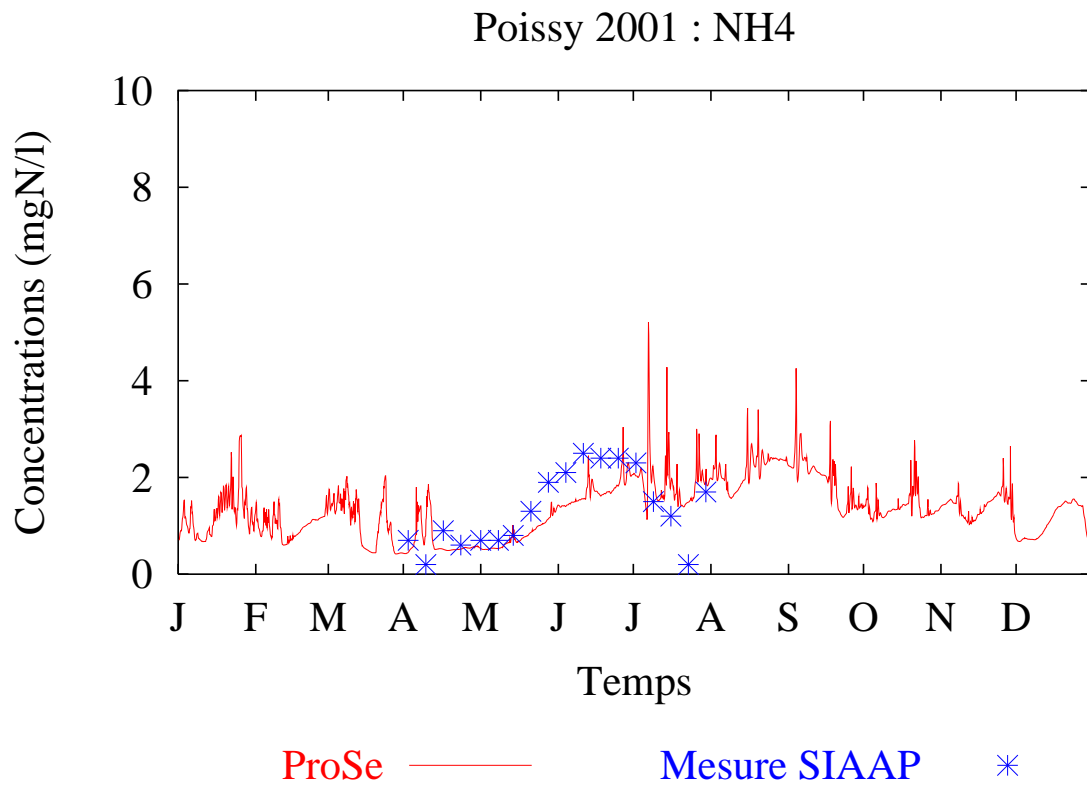
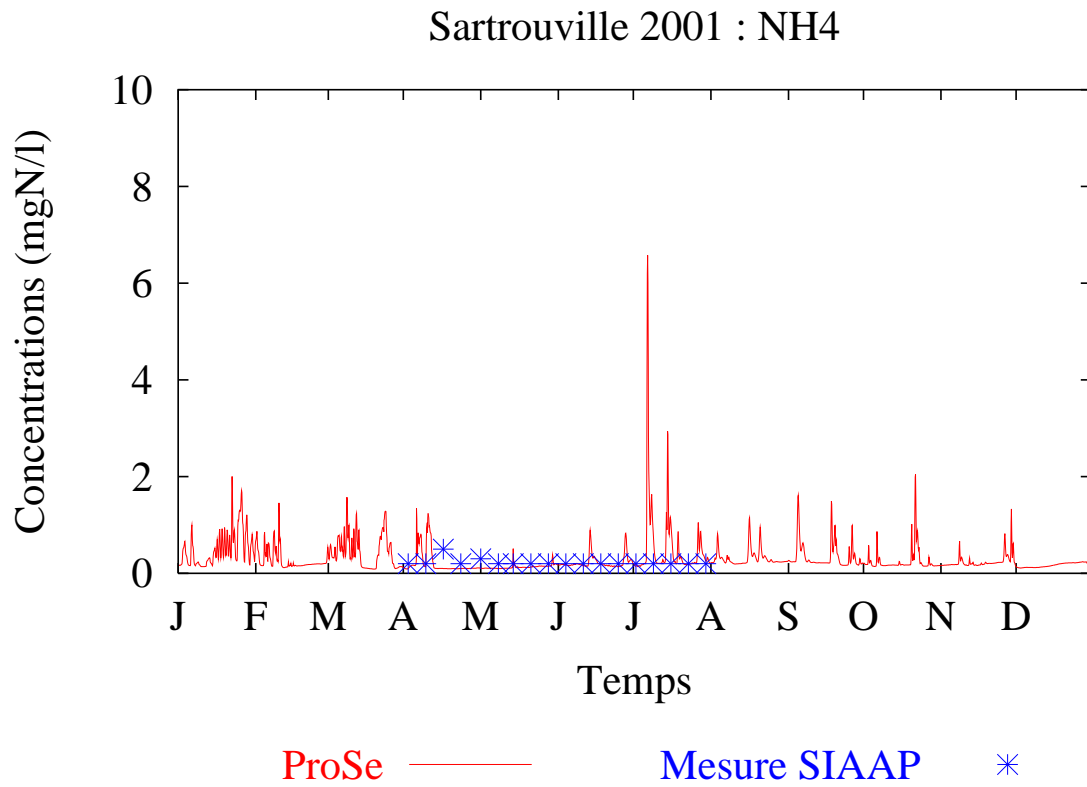


Chatou 2001 : NH4

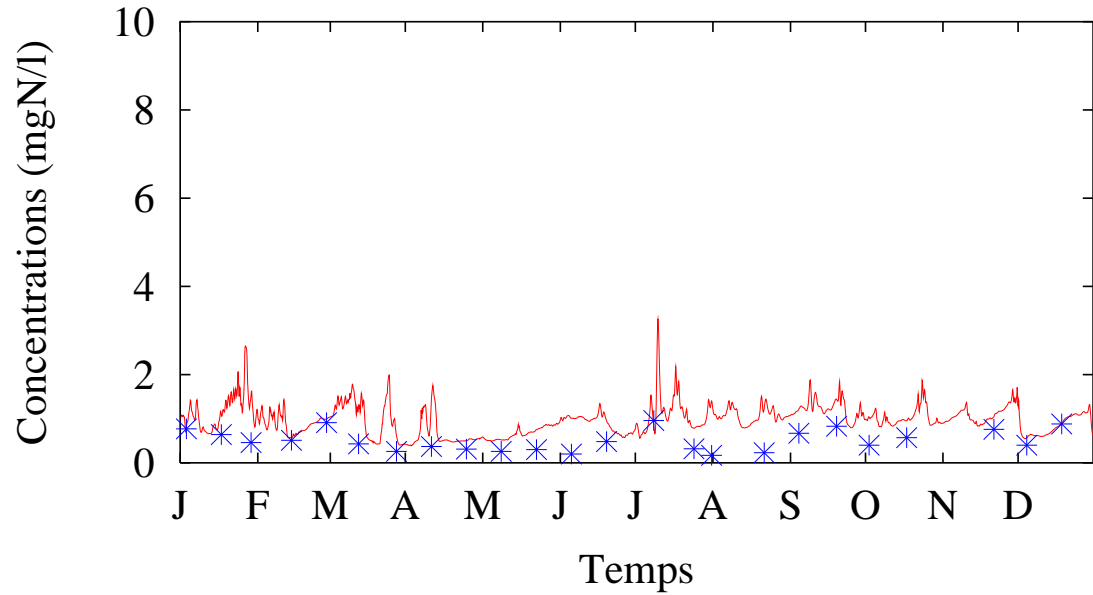


Bougival 2001: NH4

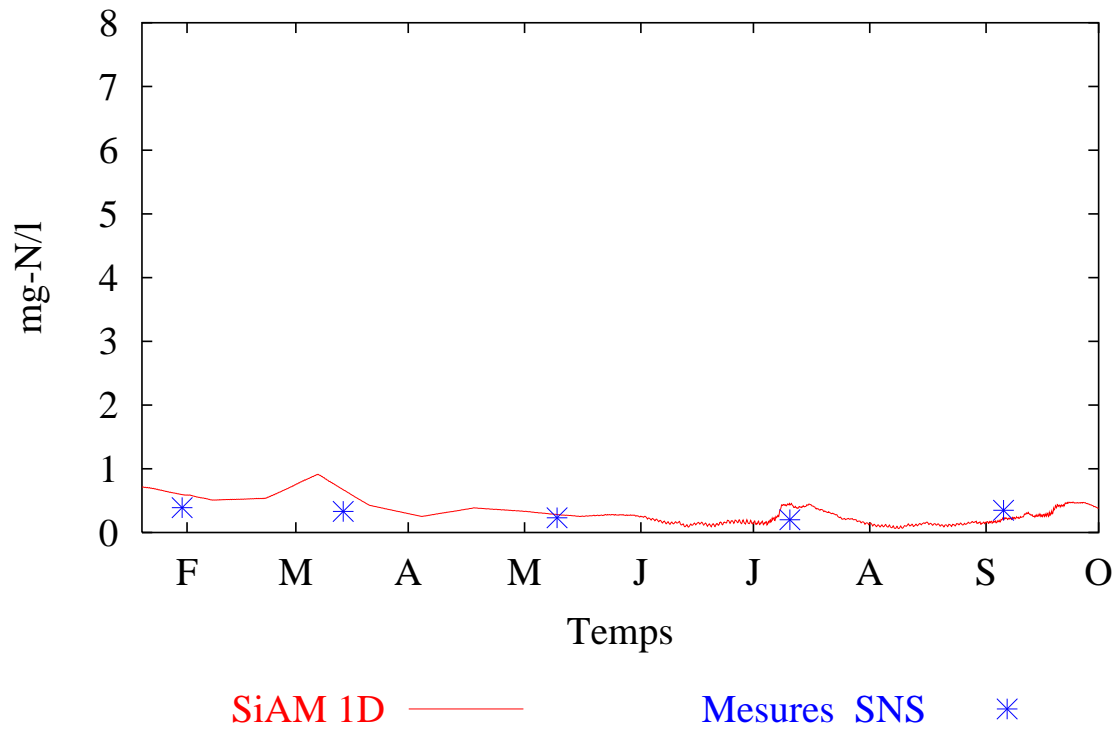


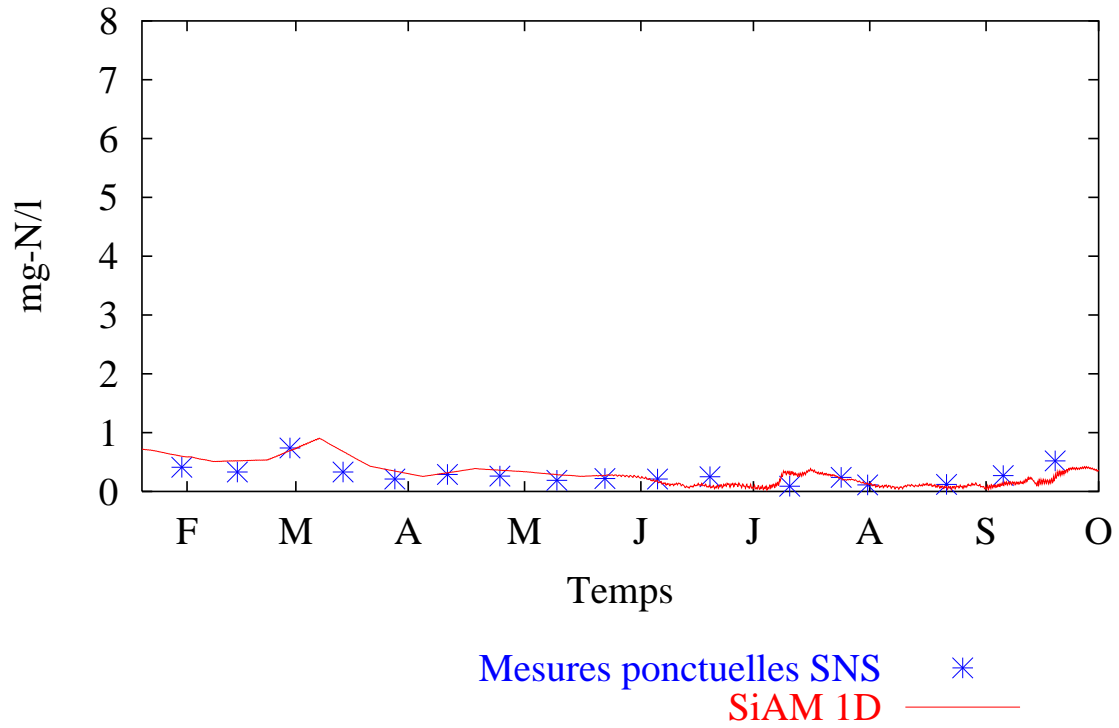
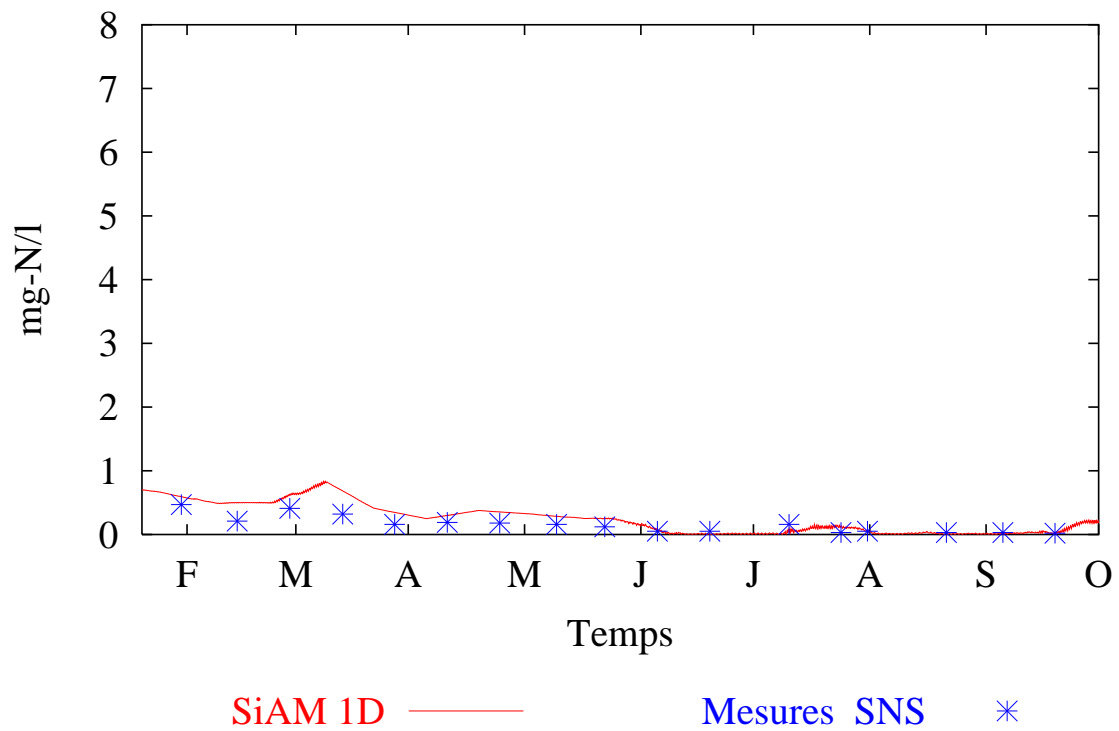


Poses 2001 : NH4



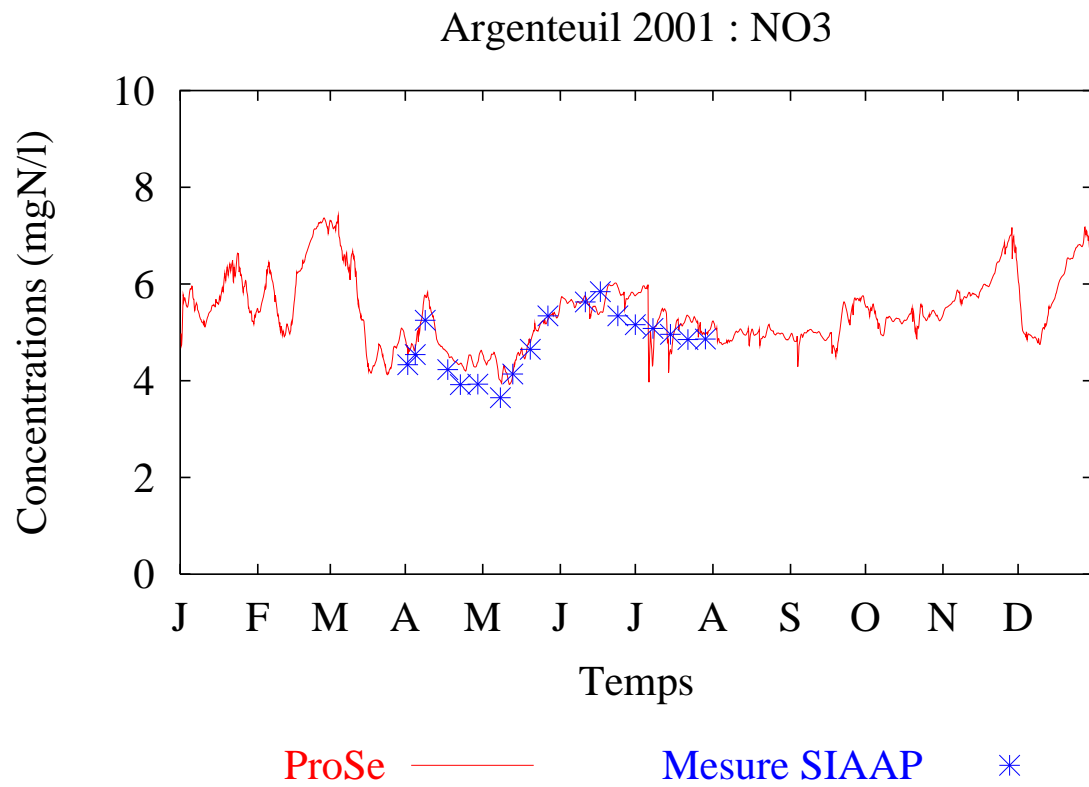
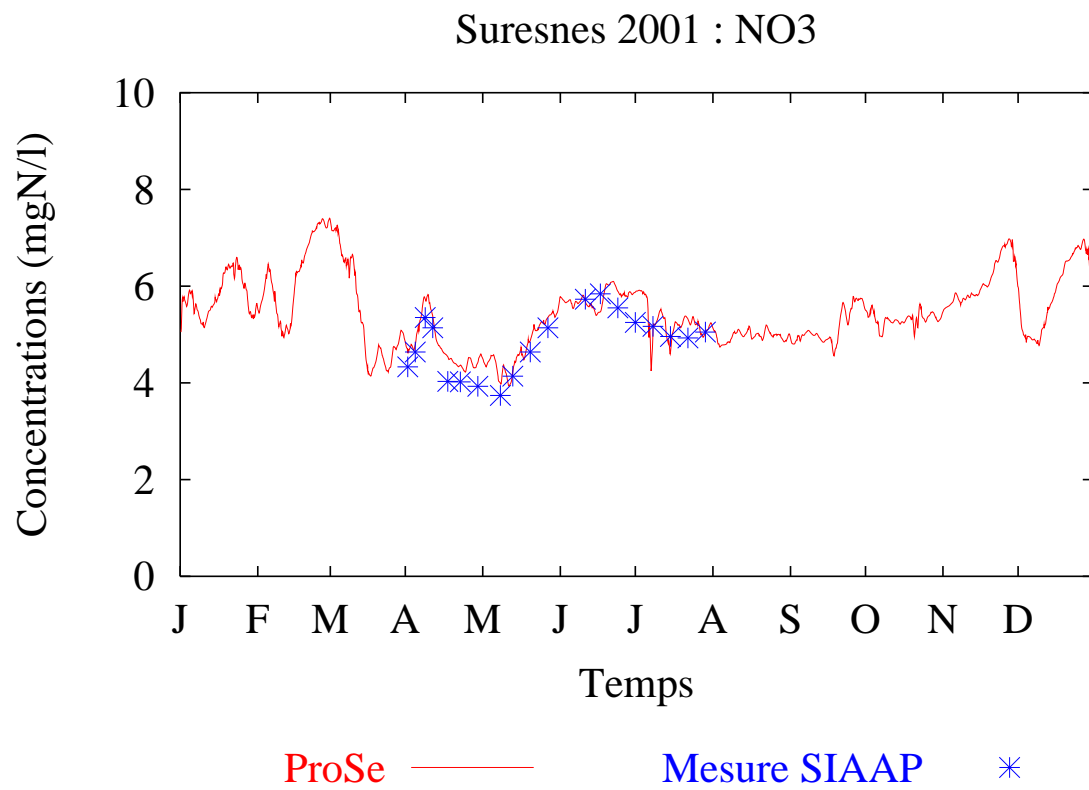
Rouen (PK 243) : NH4



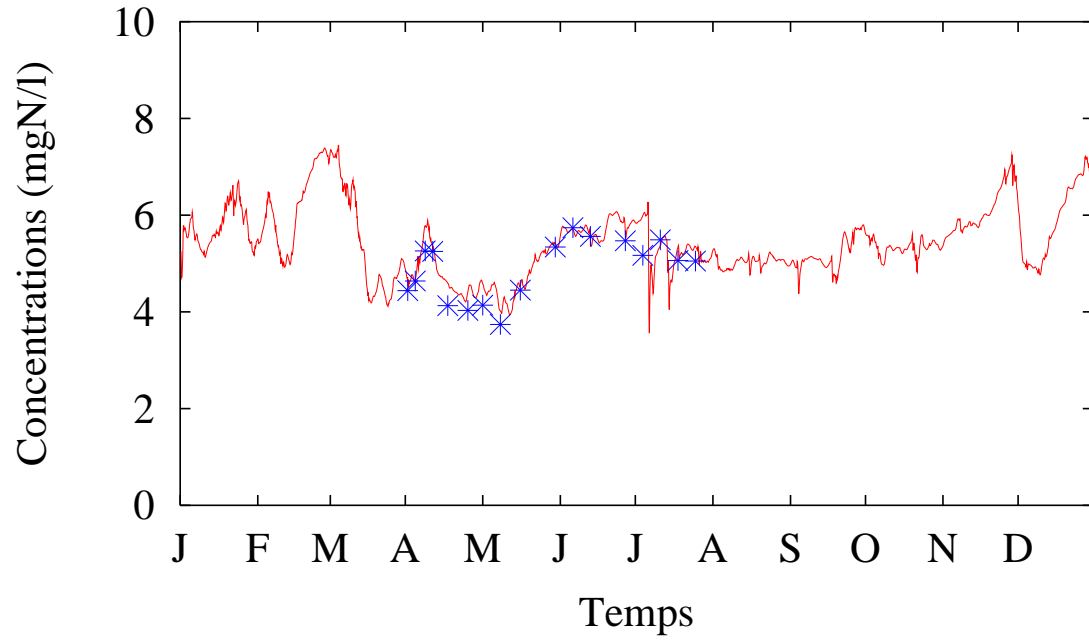
La Bouille (PK 260) : NH₄Caudebec (PK 243) : NH₄

Chapitre 13

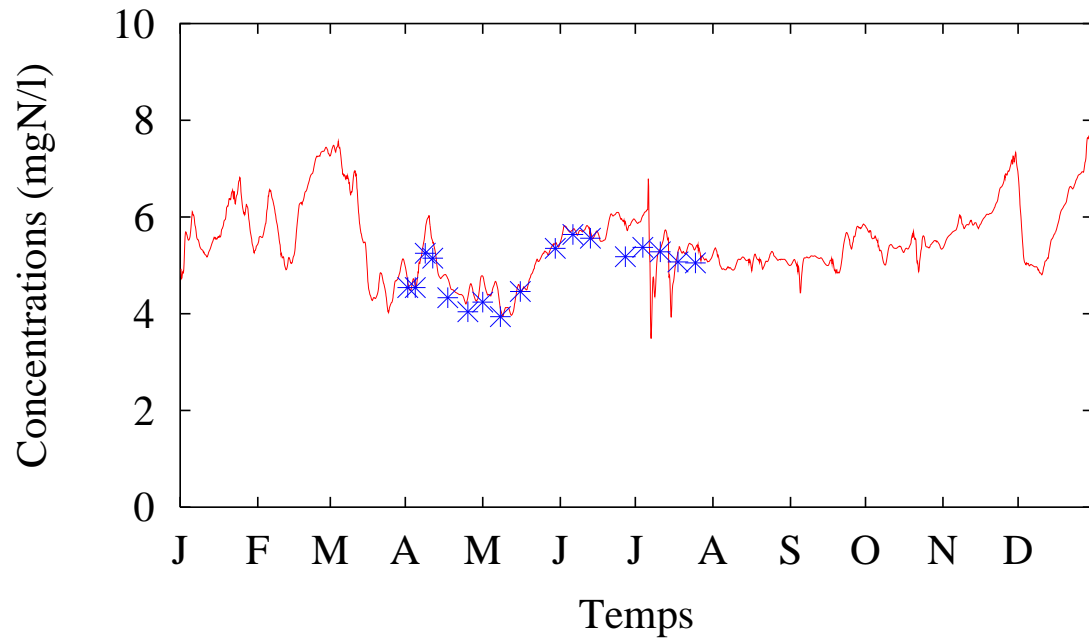
Nitrates

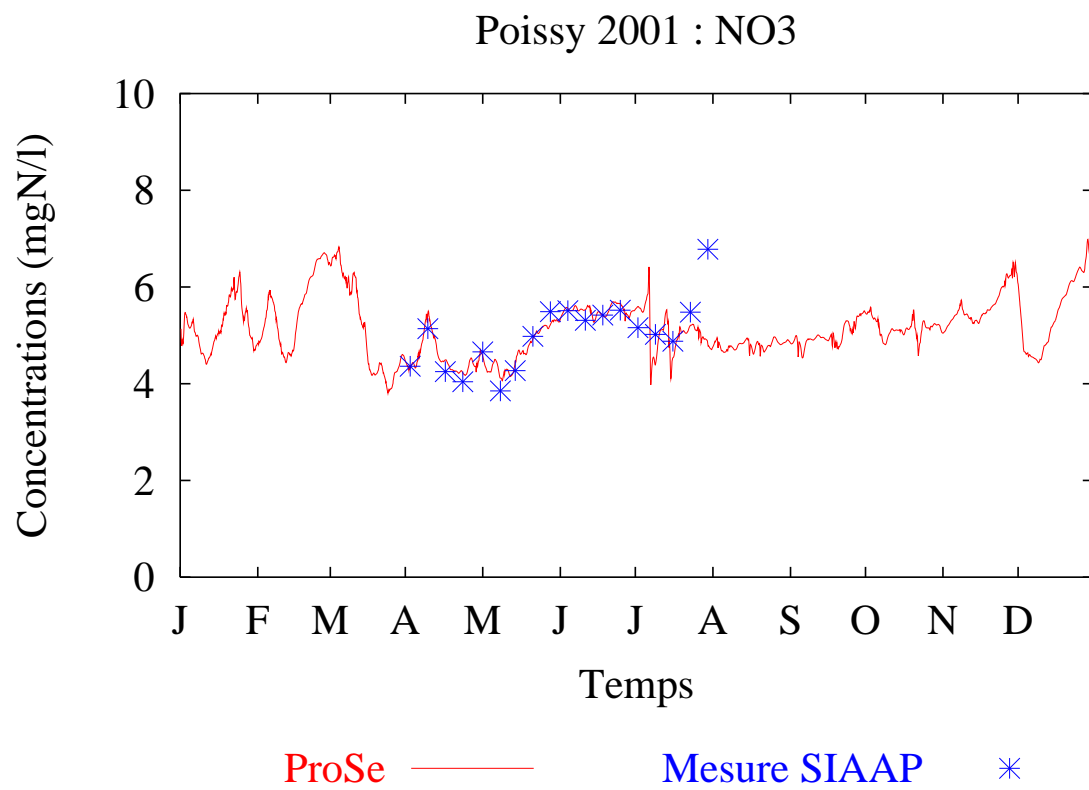
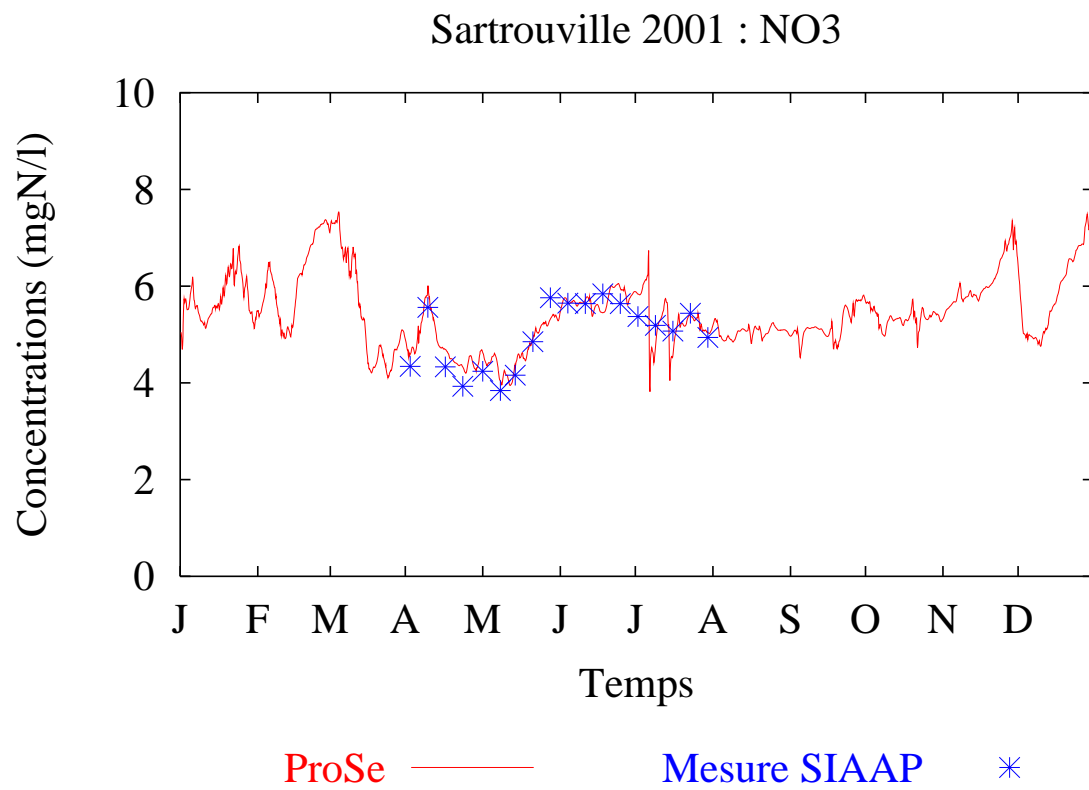


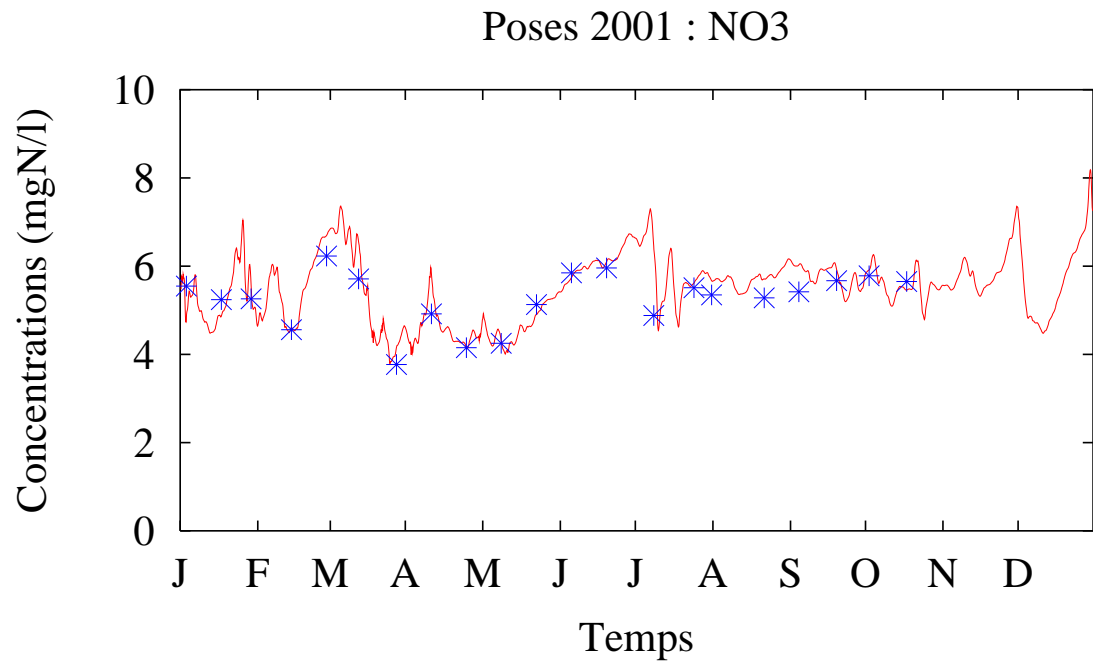
Chatou 2001 : NO3



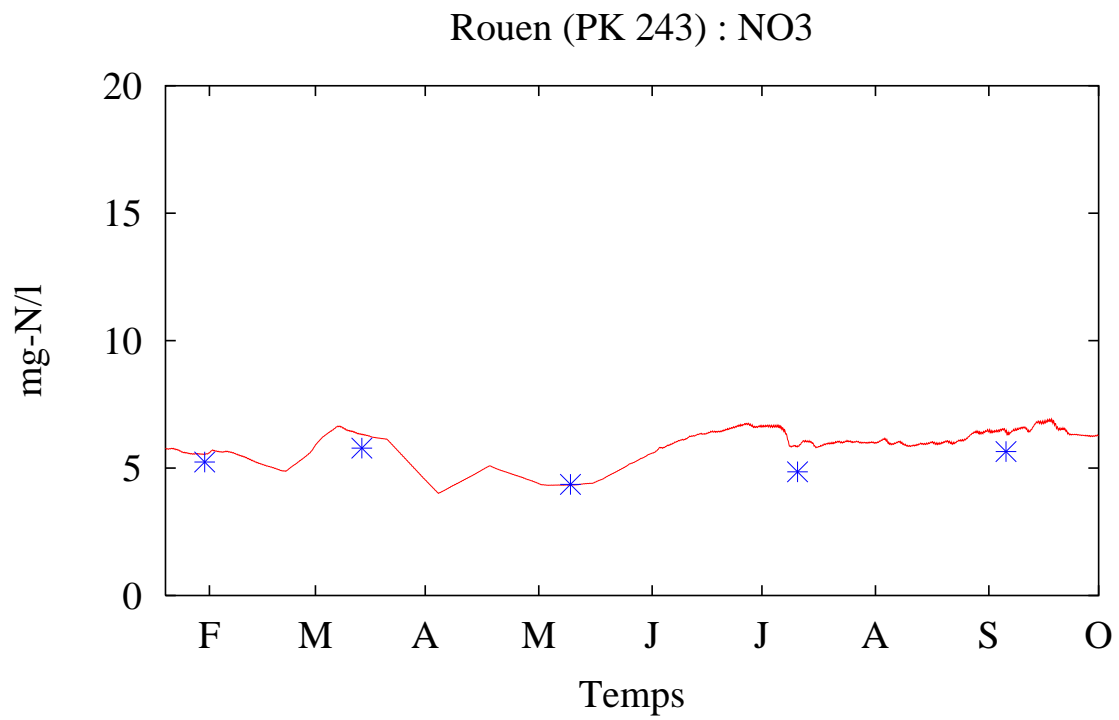
Bougival 2001: NO3



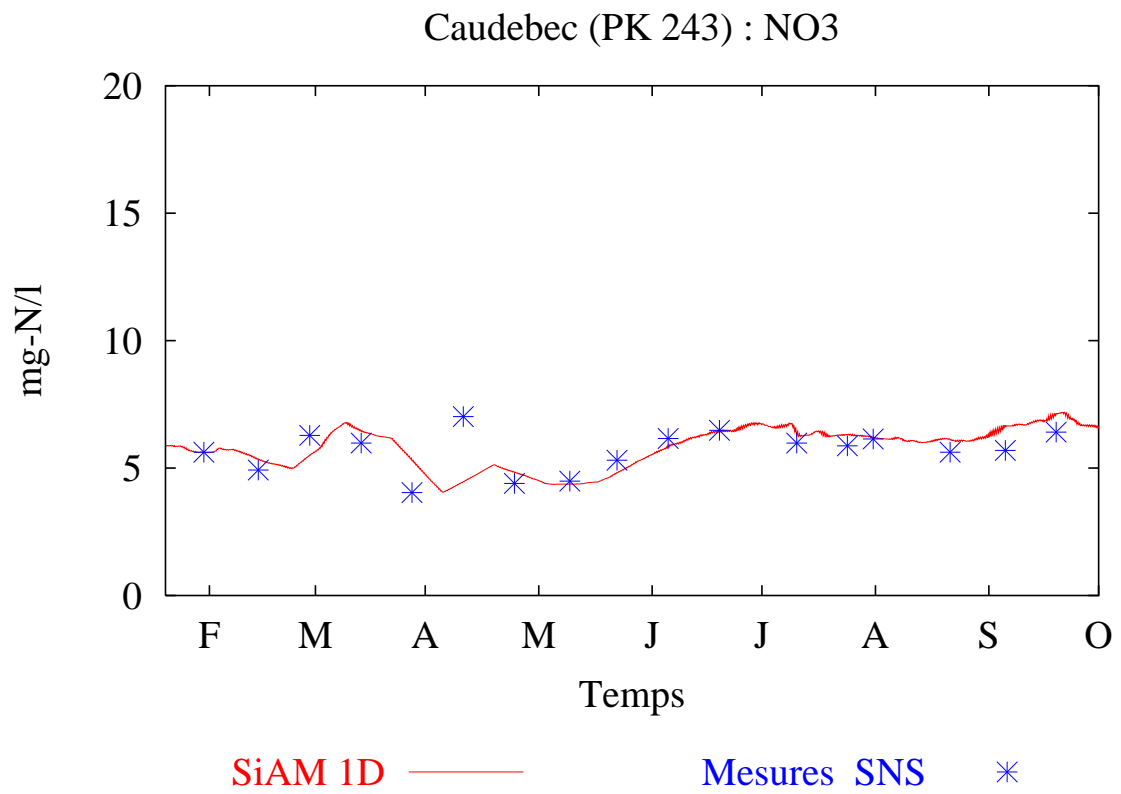
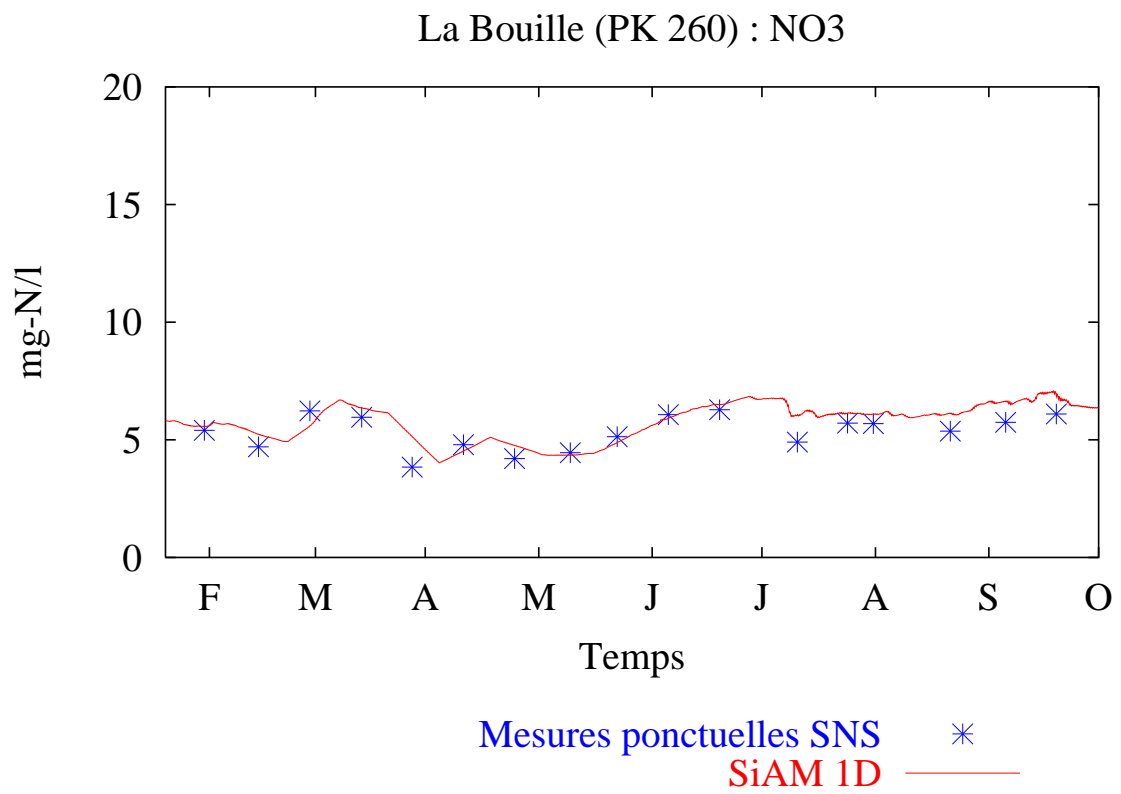




ProSe ———
Mesures SNS ponctuelles *

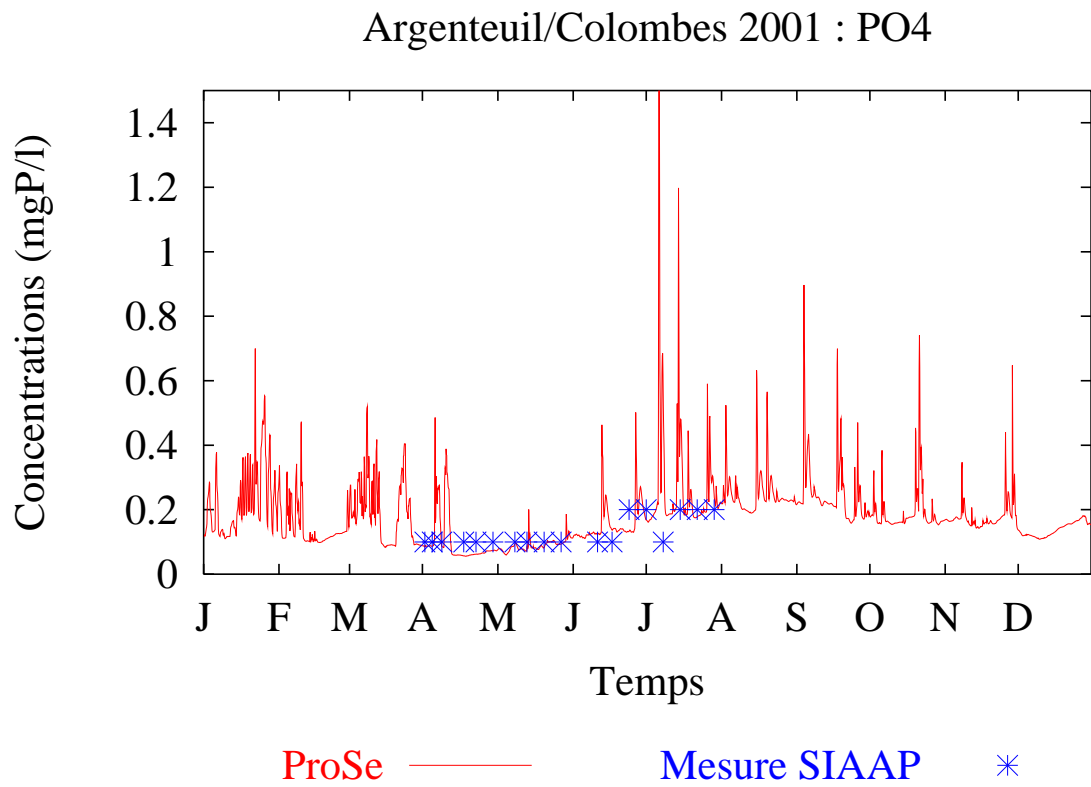
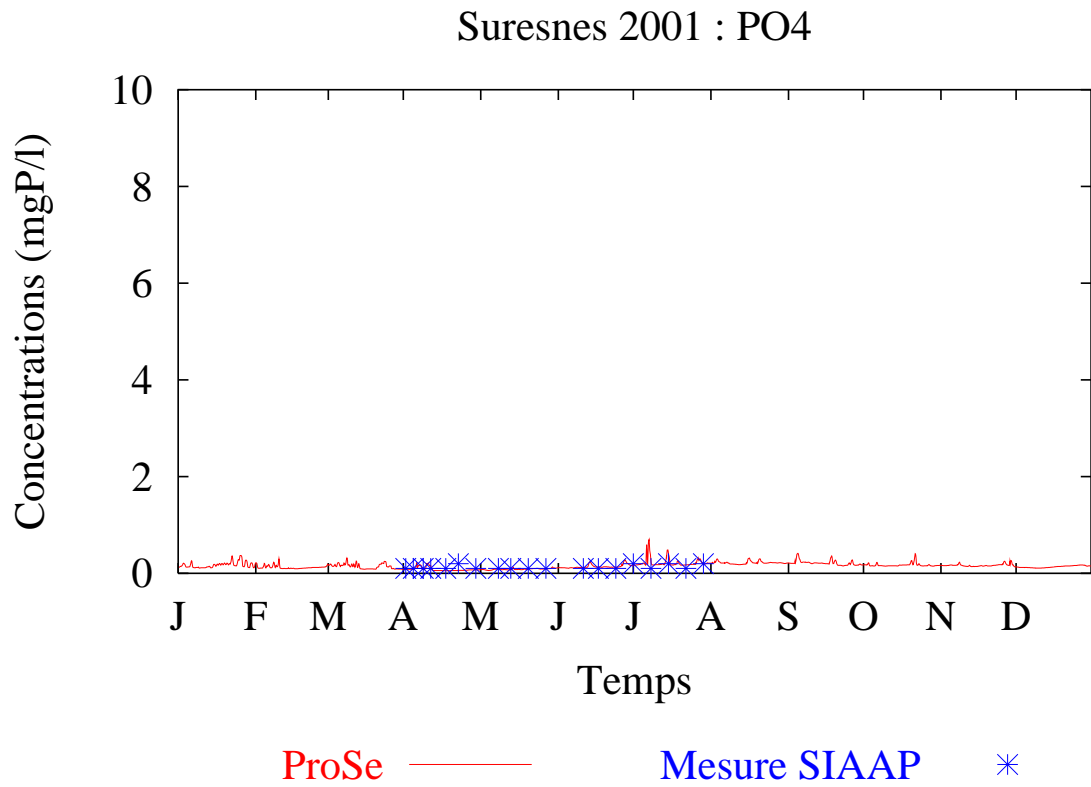


SiAM 1D ——— Mesures SNS *

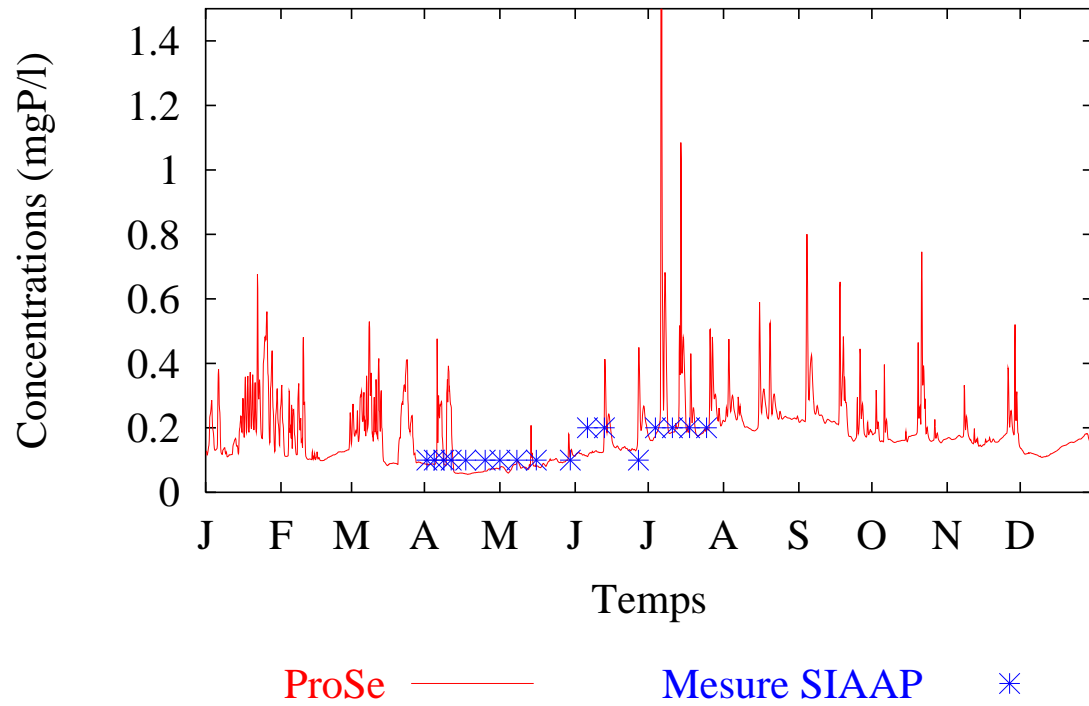


Chapitre 14

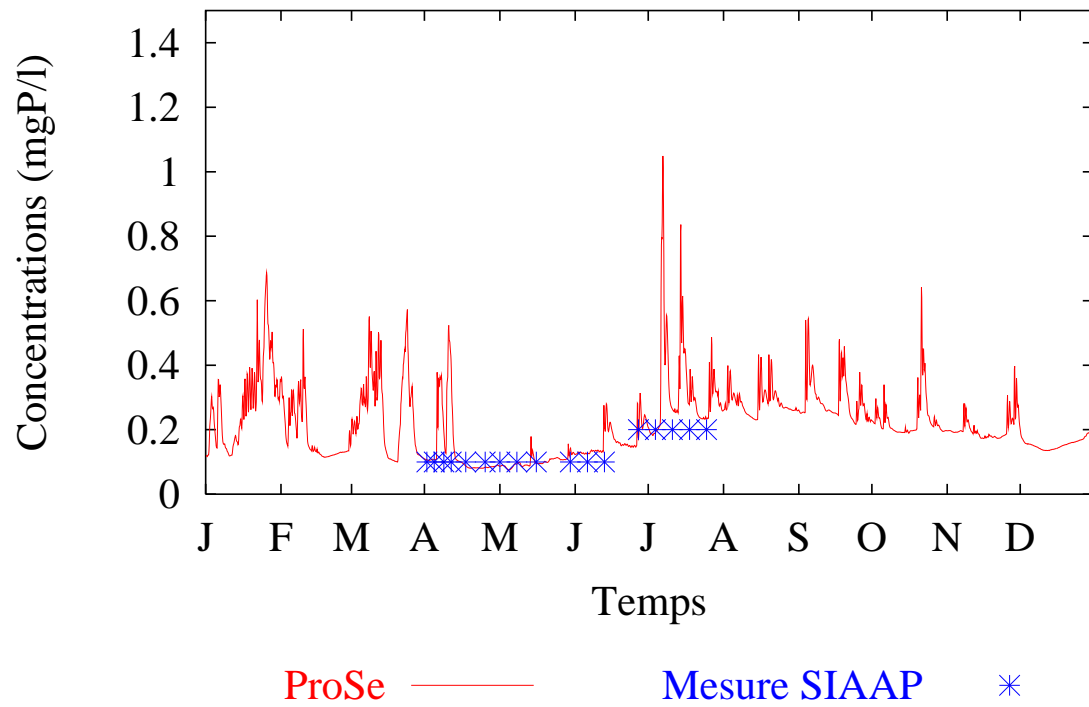
Orthophosphates



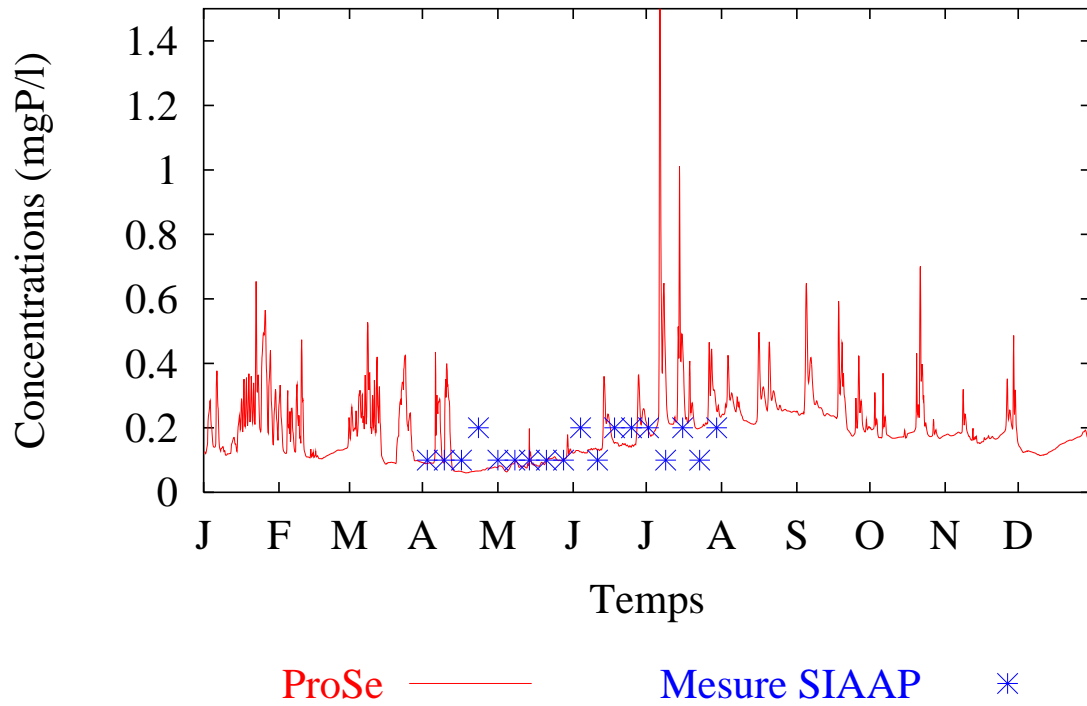
Chatou 2001 : PO4



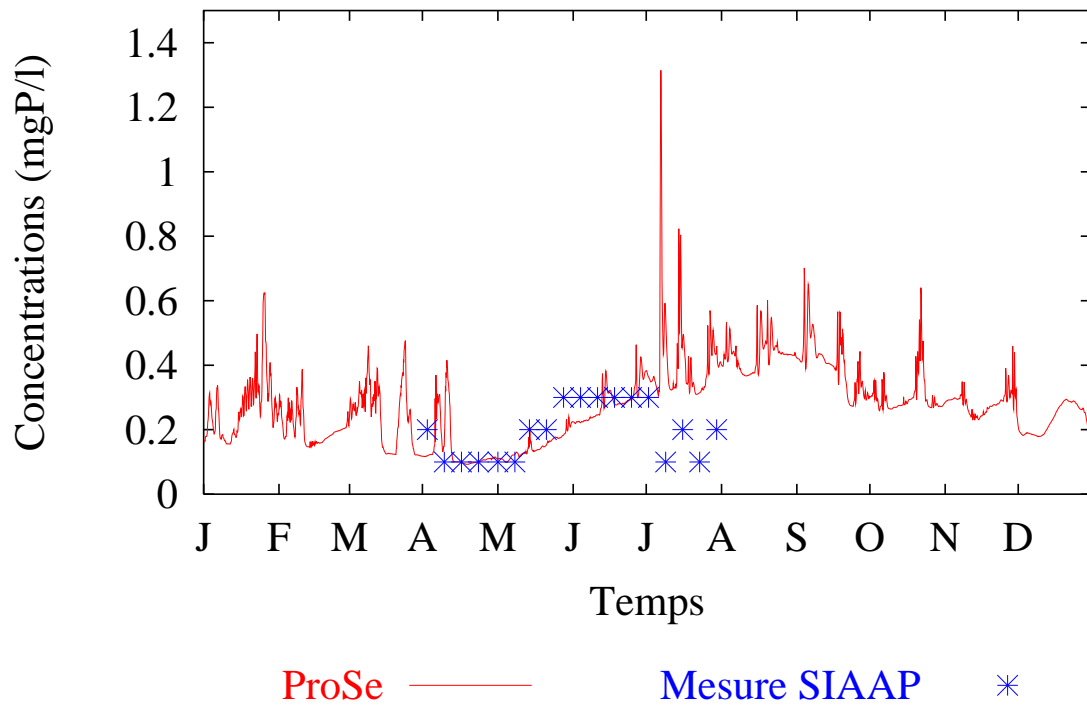
Bougival 2001: PO4



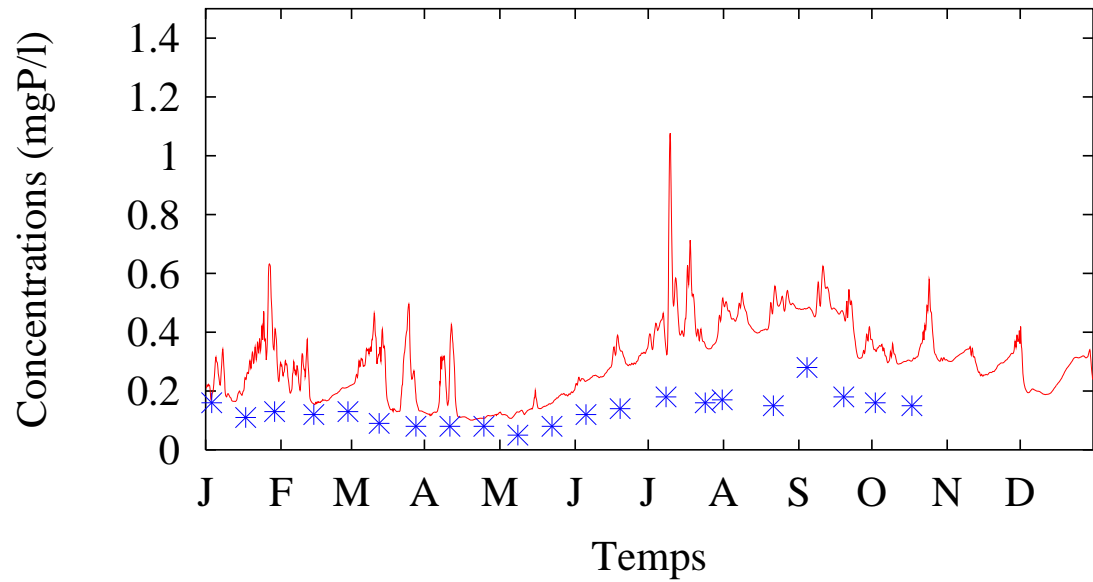
Sartrouville 2001 : PO4



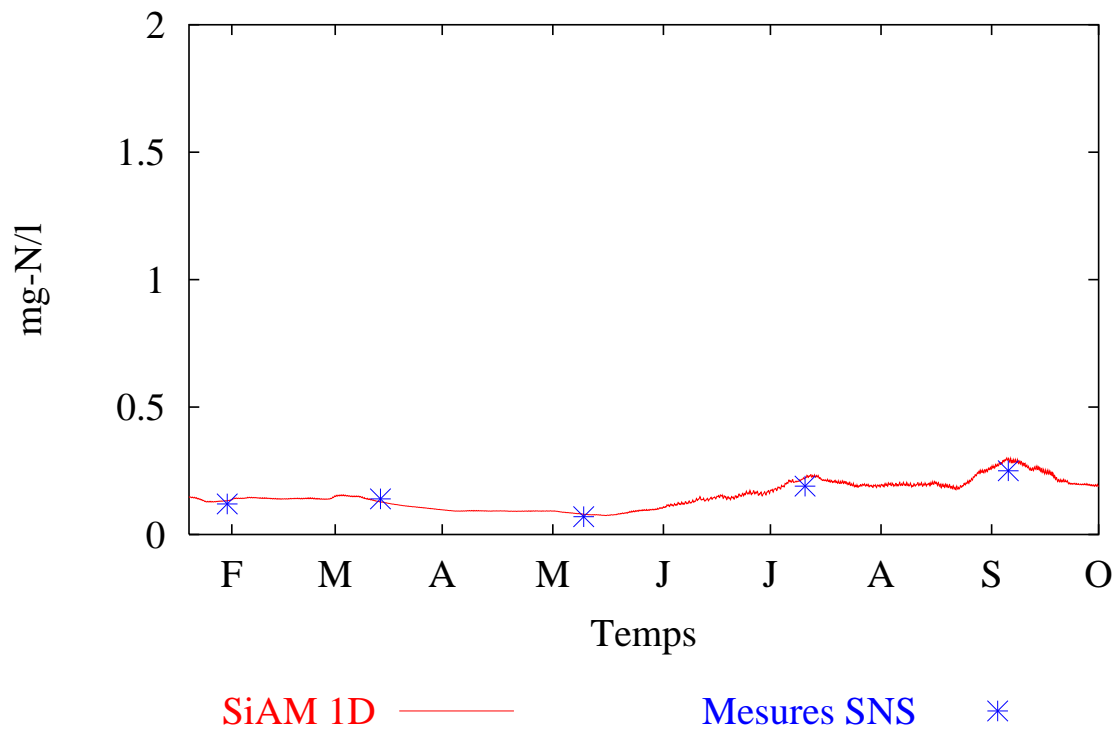
Poissy 2001 : PO4

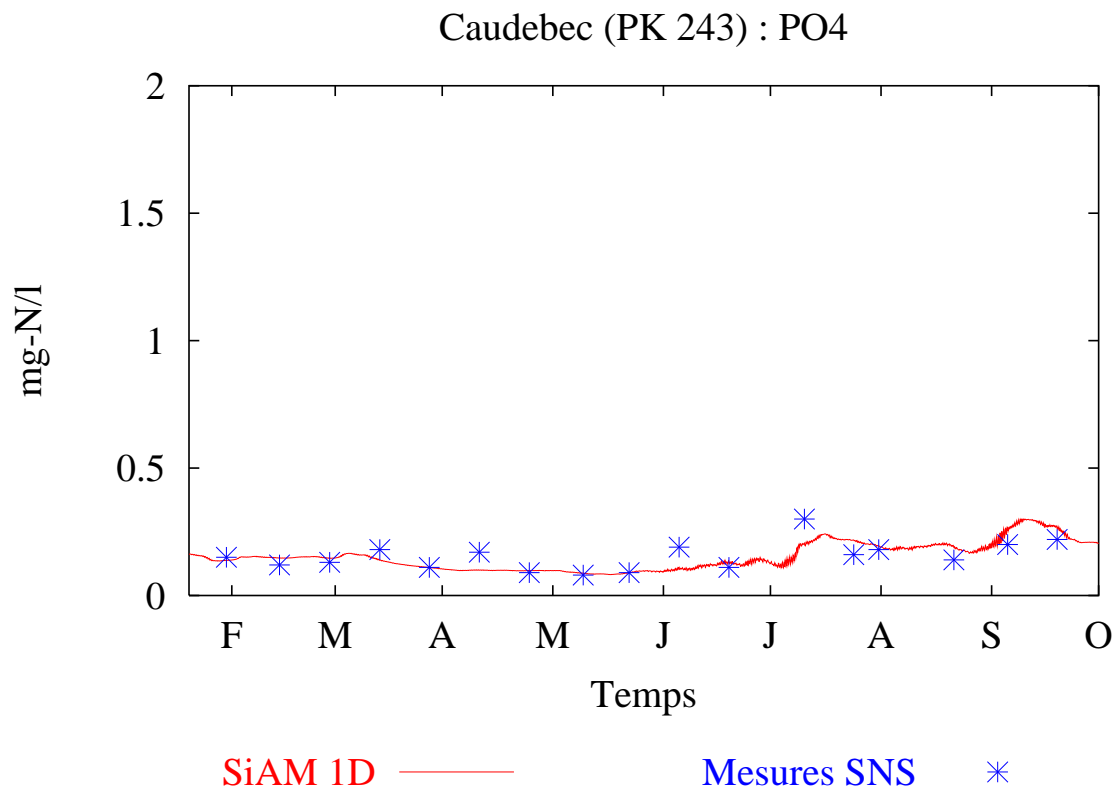
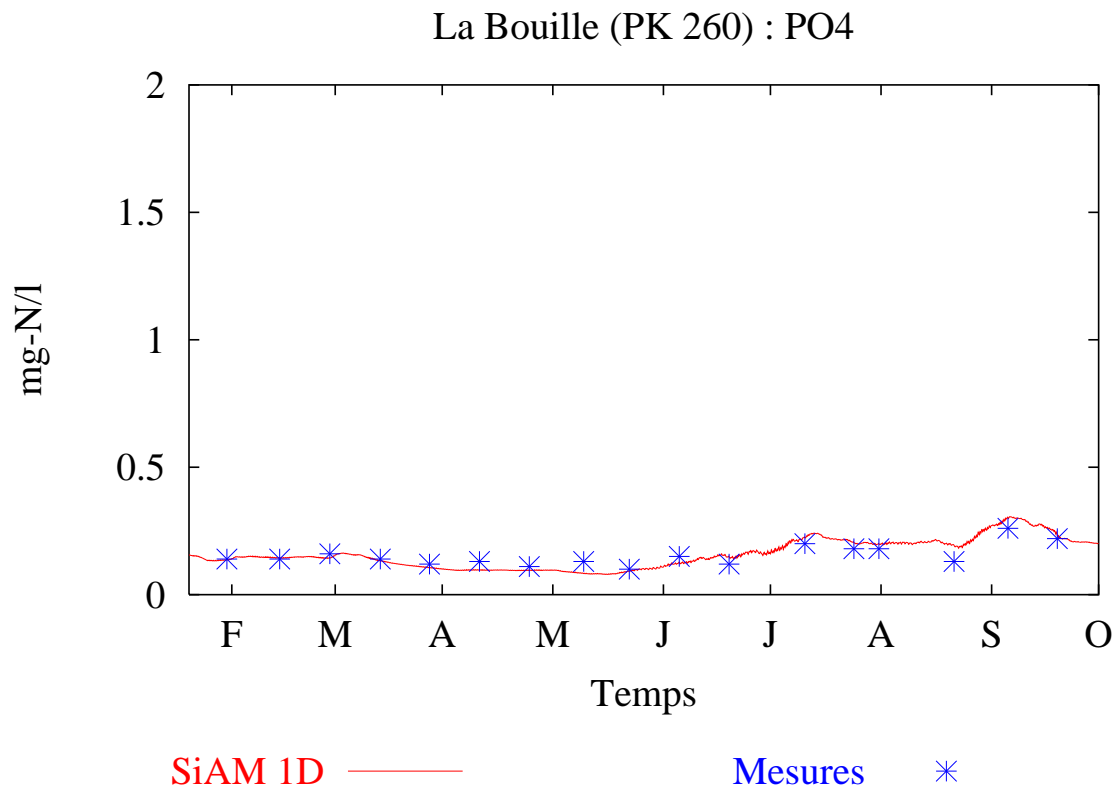


Poses 2001 : PO4



Rouen (PK 243) : PO4

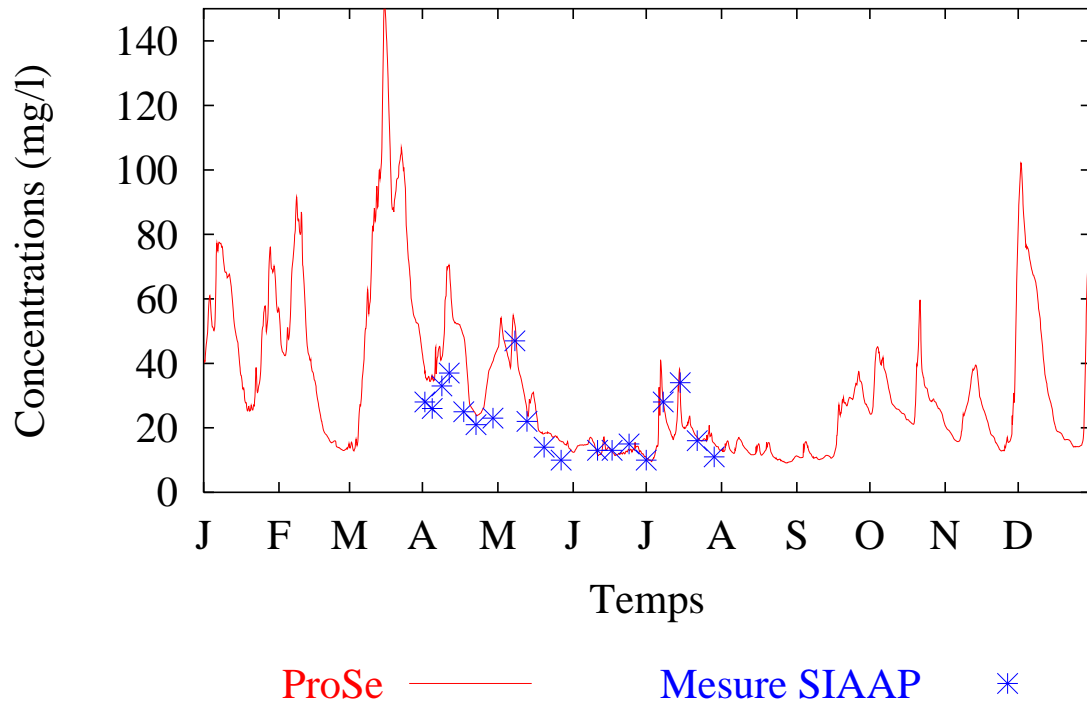




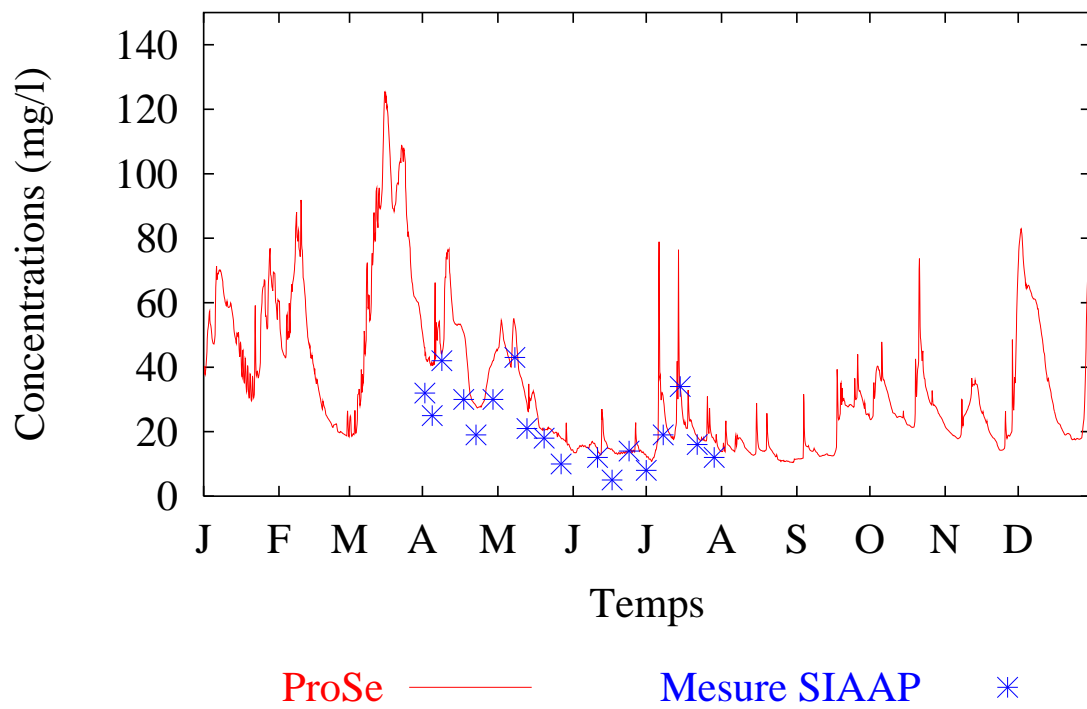
Chapitre 15

Matières en suspension totales

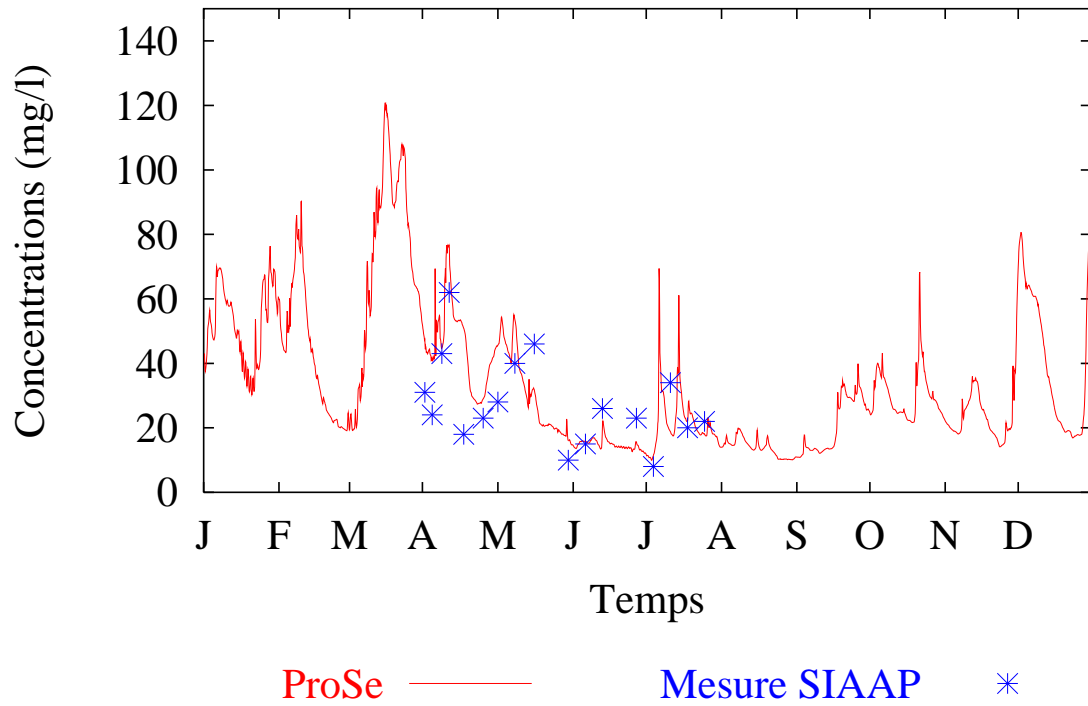
Suresnes 2001 : MESTot



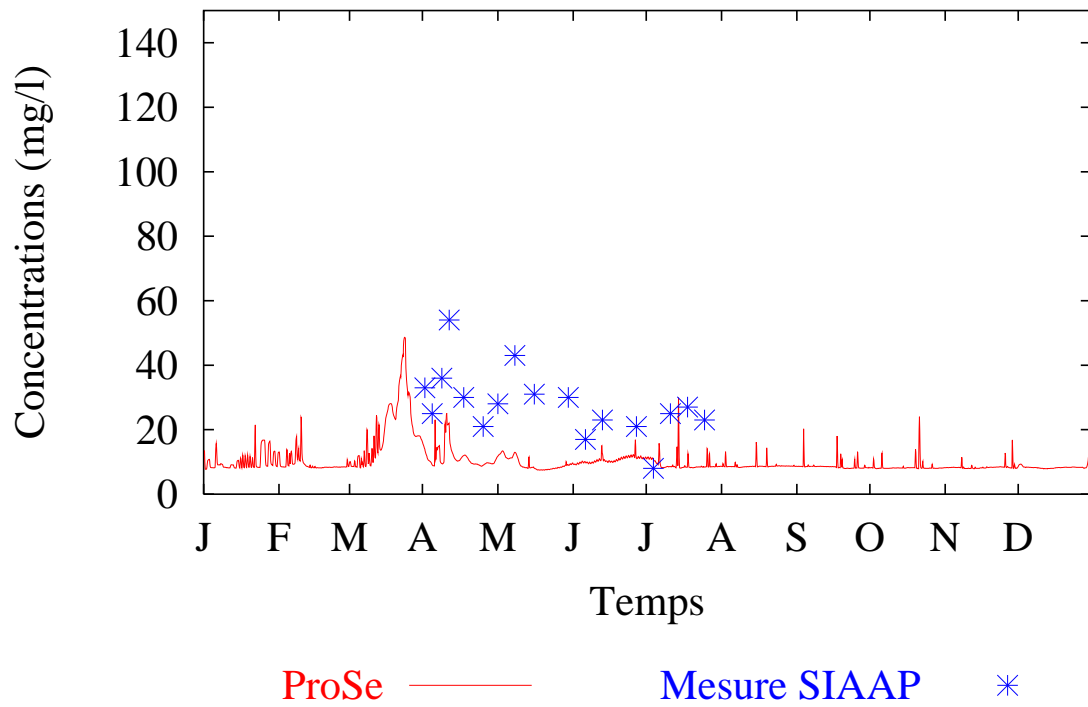
Argenteuil 2001 : MESTot



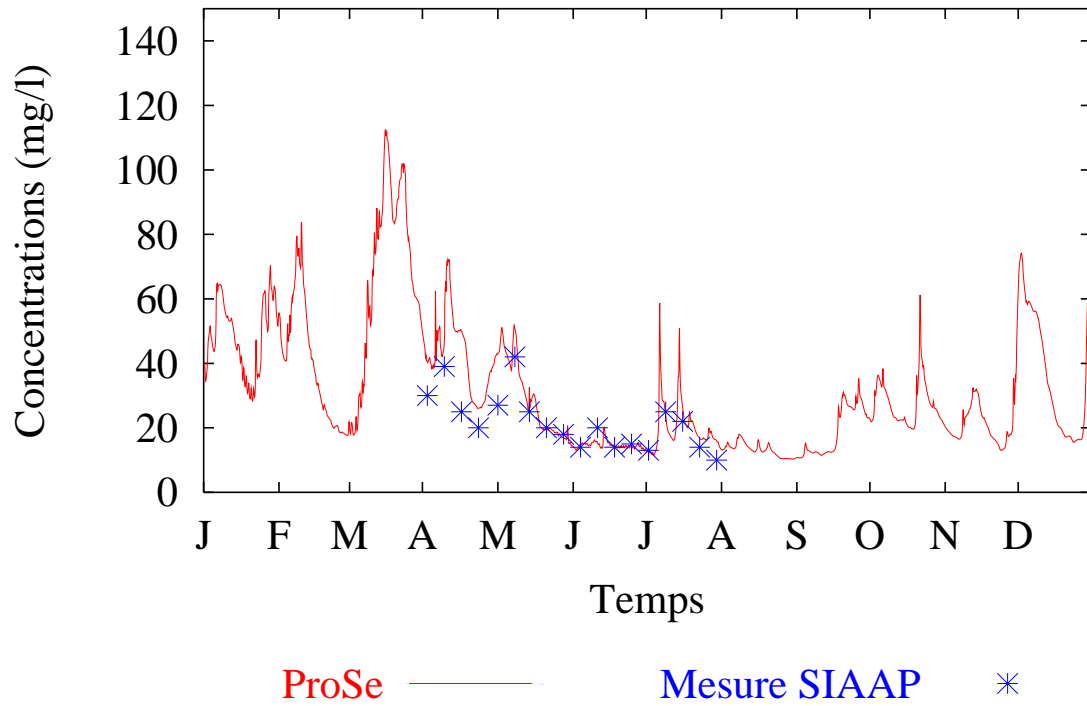
Chatou 2001 : MESTot



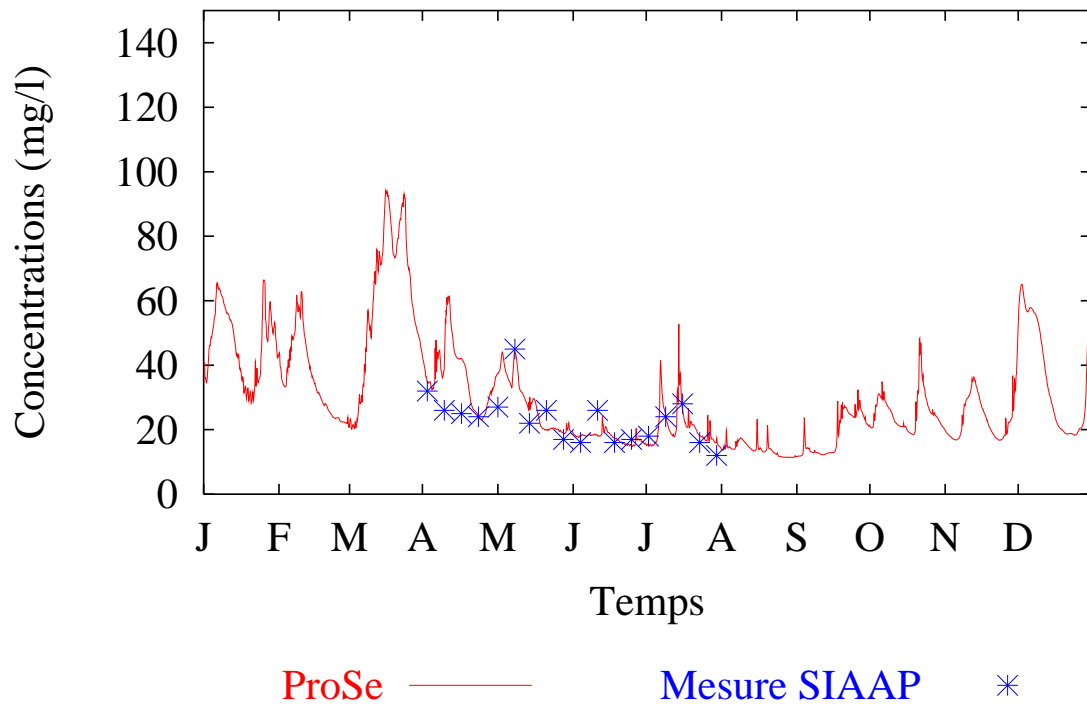
Bougival 2001: MESTot



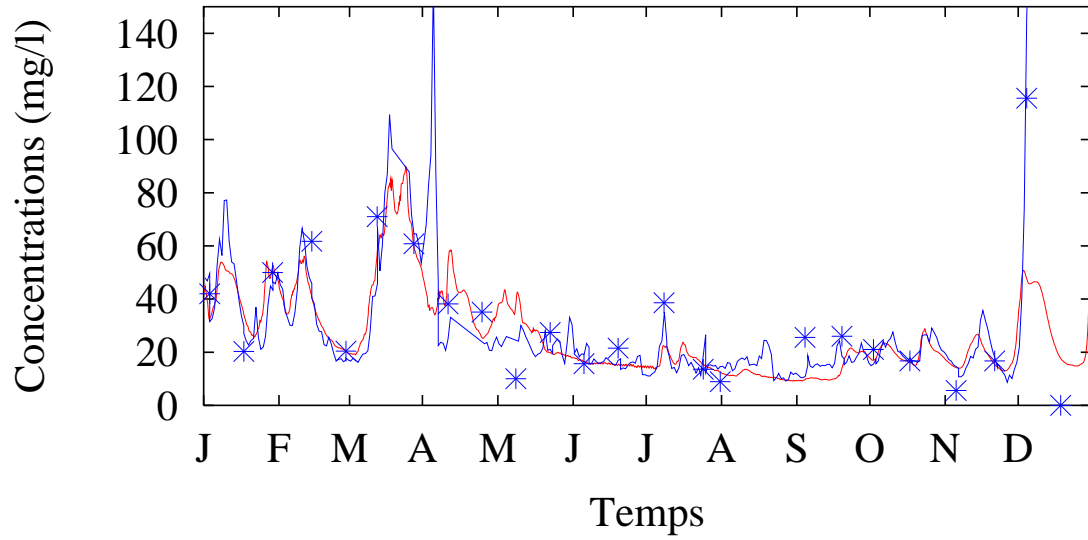
Sartrouville 2001 : MESTot



Poissy 2001 : MESTot

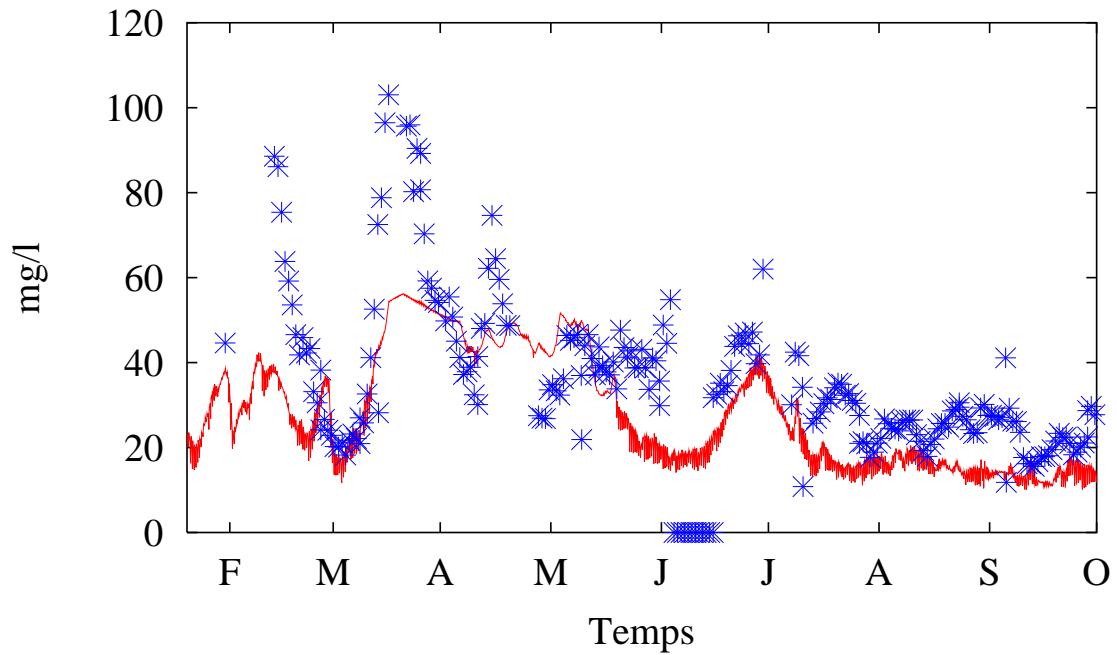


Poses 2001 : MESTot



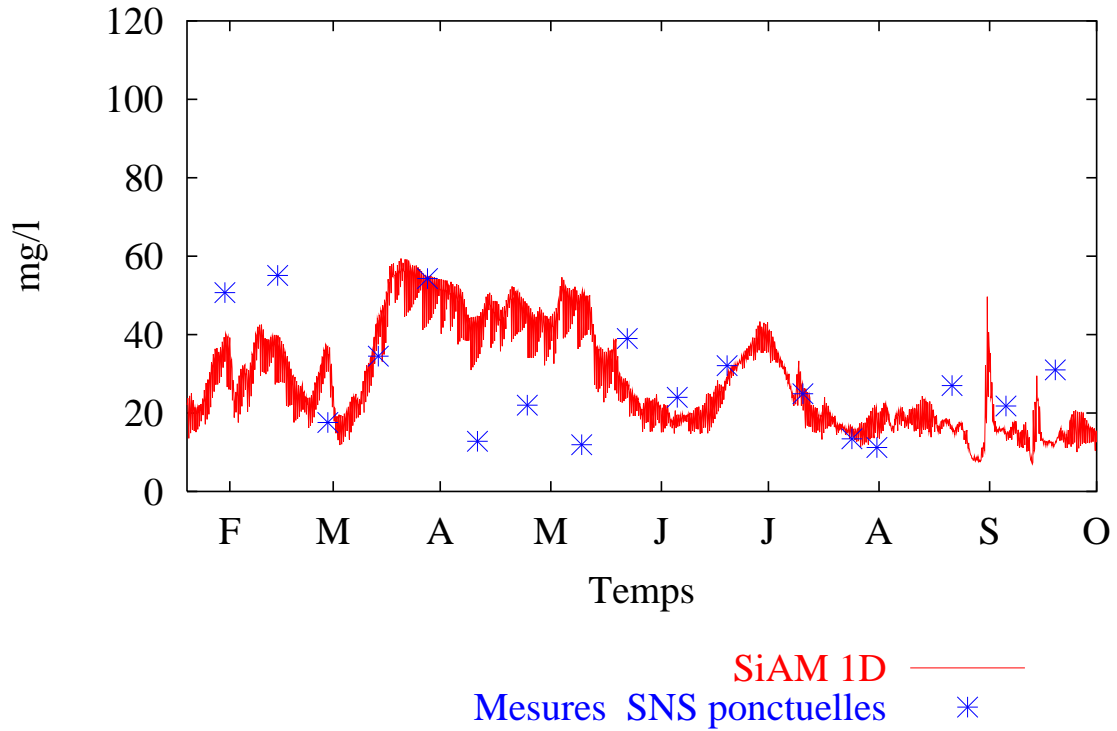
ProSe ———
 Mesures sonde SNS moyennes ———
 Mesures SNS ponctuelles *

Rouen (PK 243) : MES

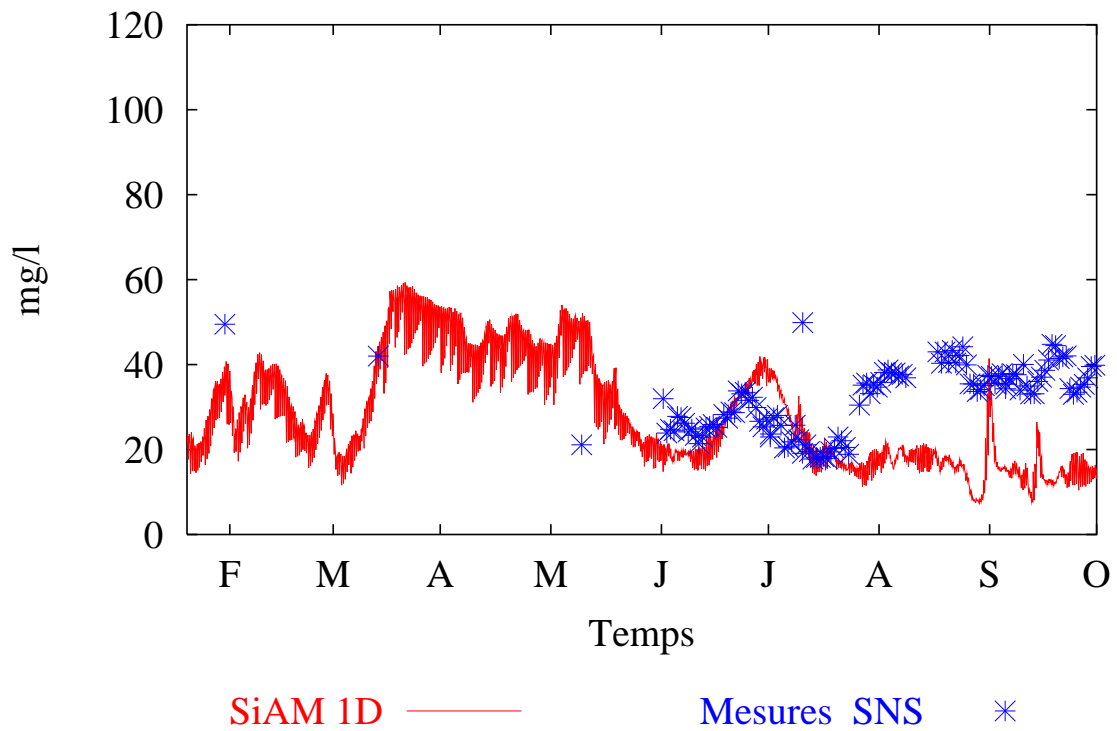


SiAM 1D ——— Mesures SNS *

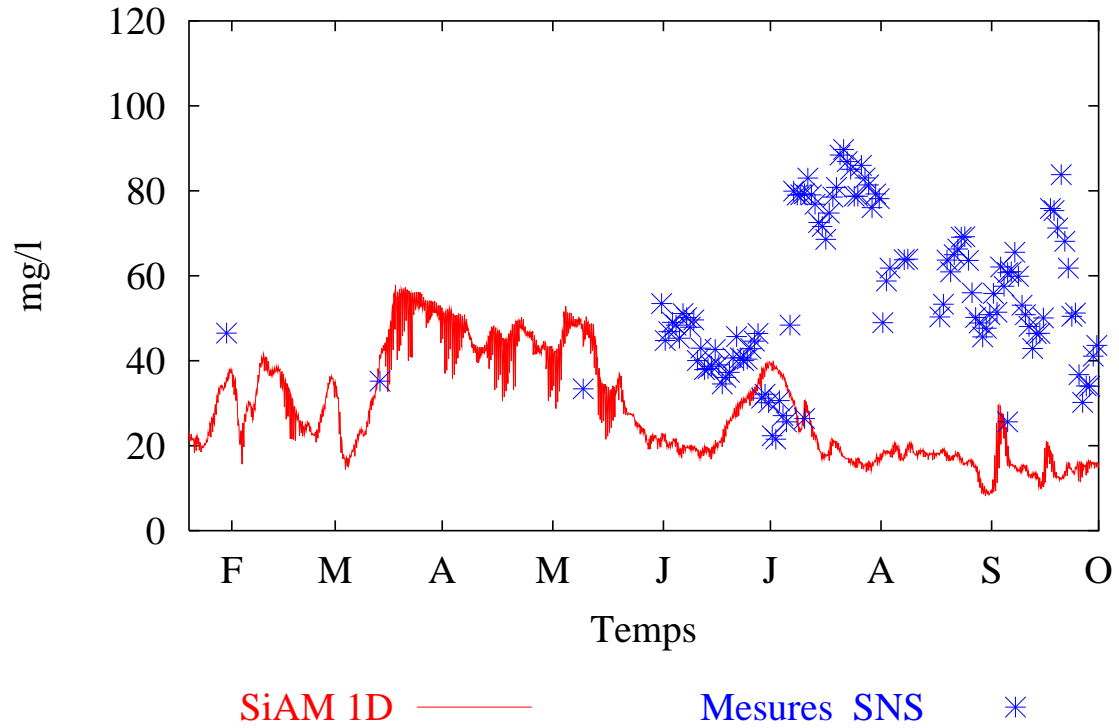
La Bouille (PK 260) : MES



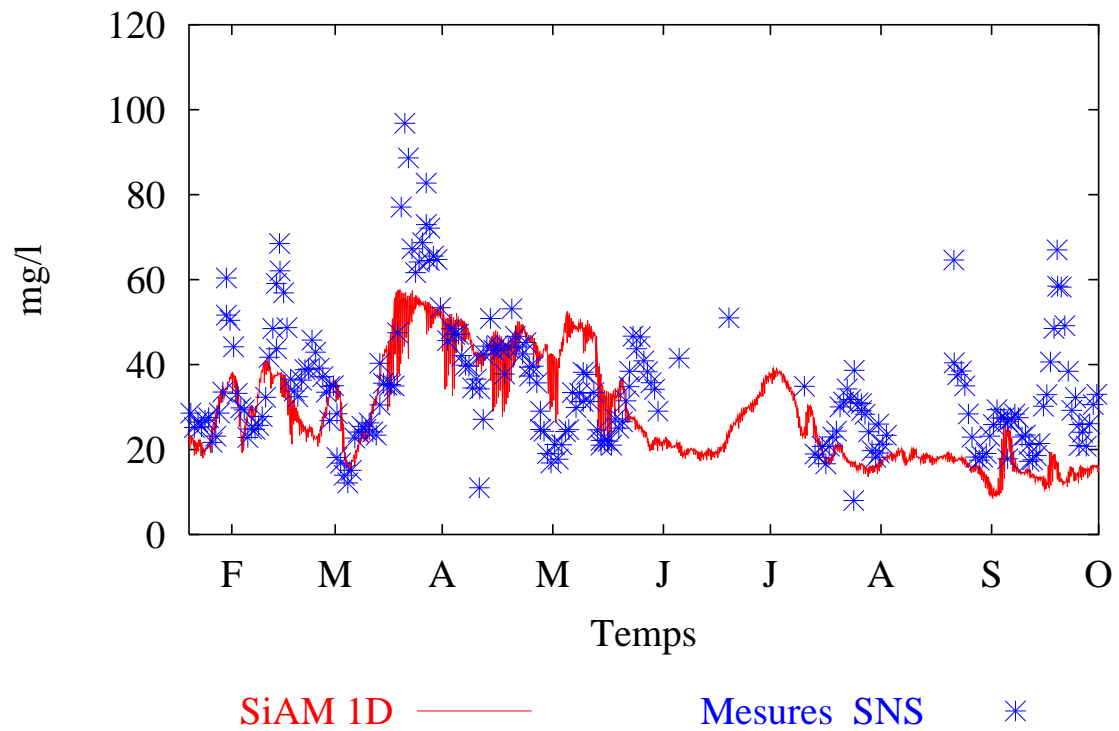
Val des Leux (PK 265) : MES



Heurteauville (PK 243) : MES



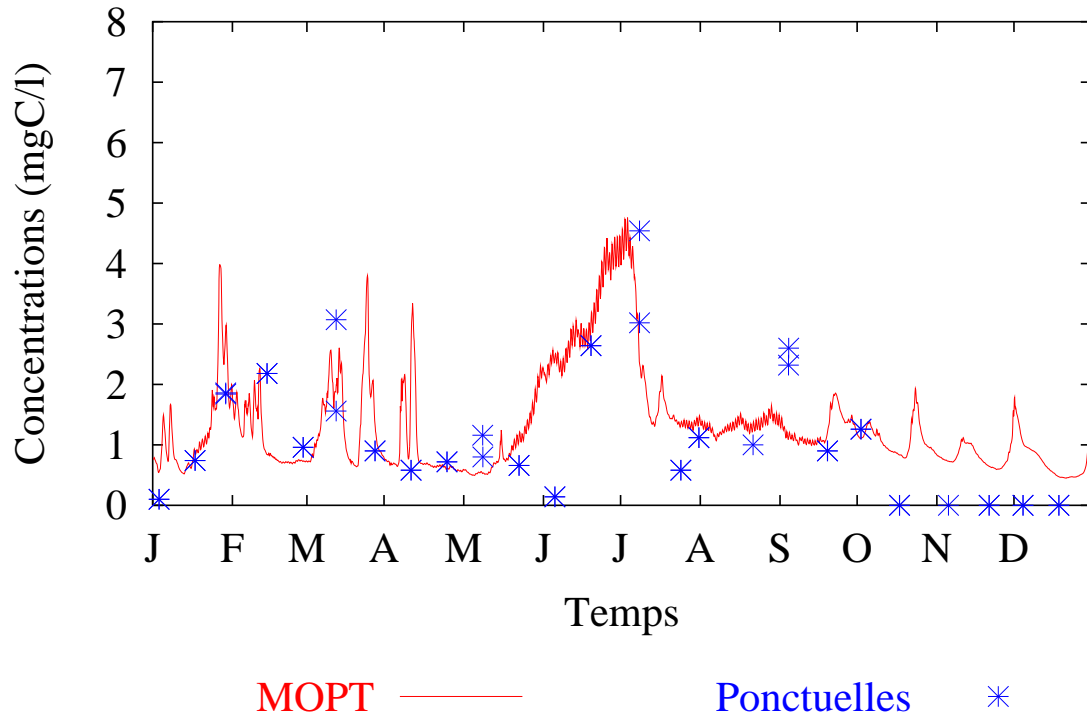
Caudebec (PK 243) : MES



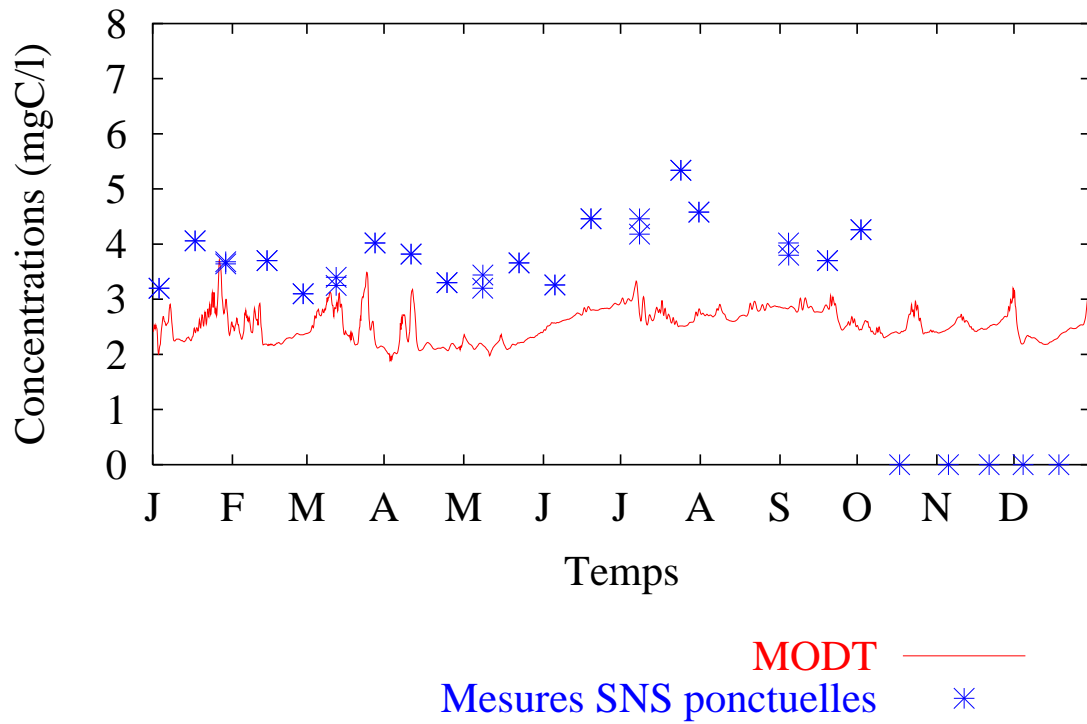
Chapitre 16

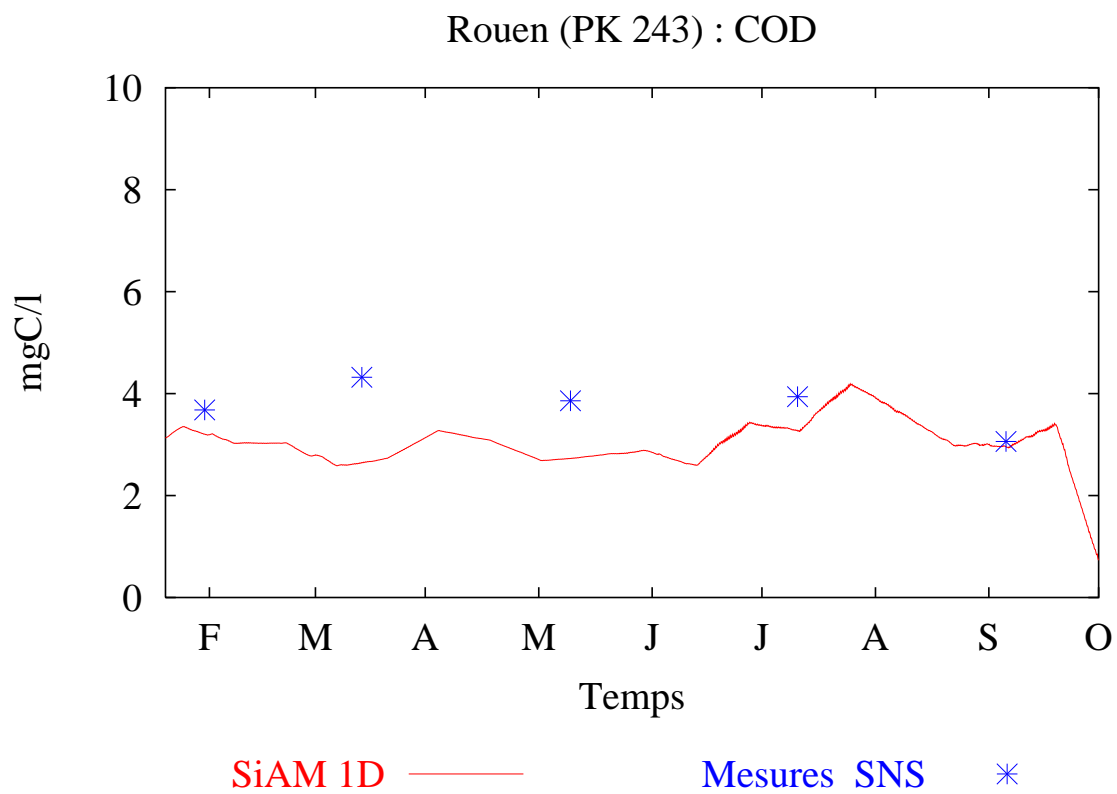
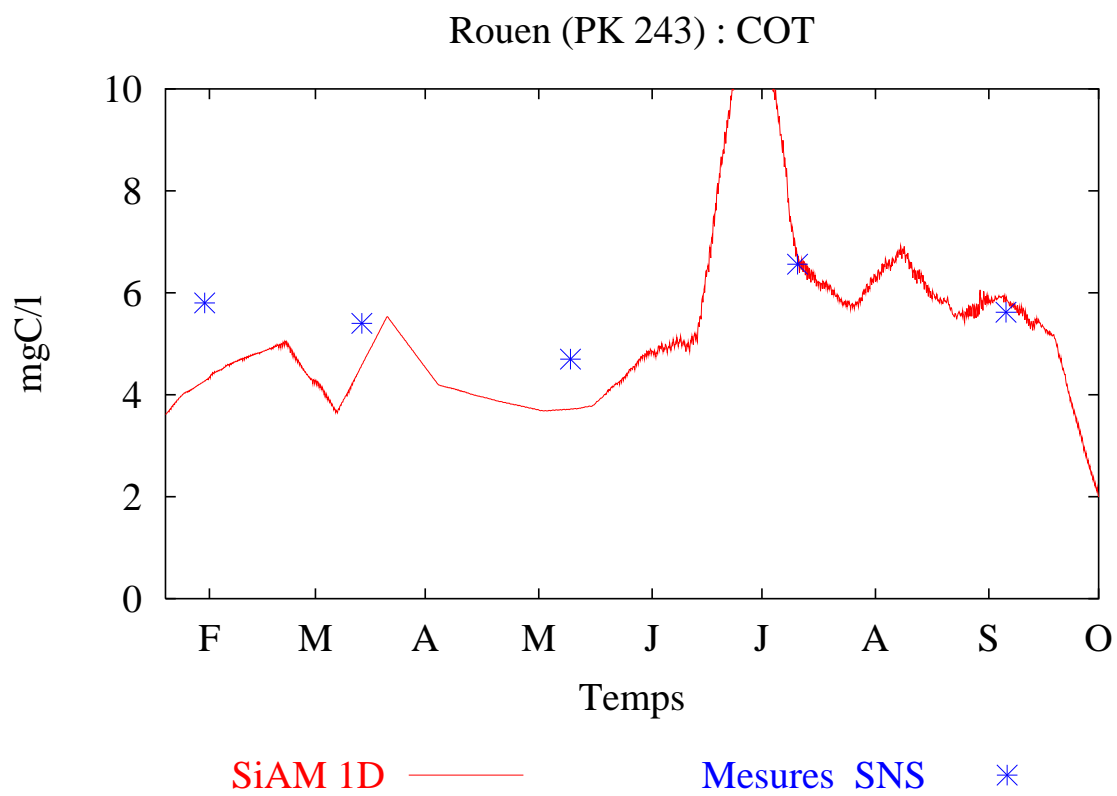
Matières organique

Poses 2001 : MOP

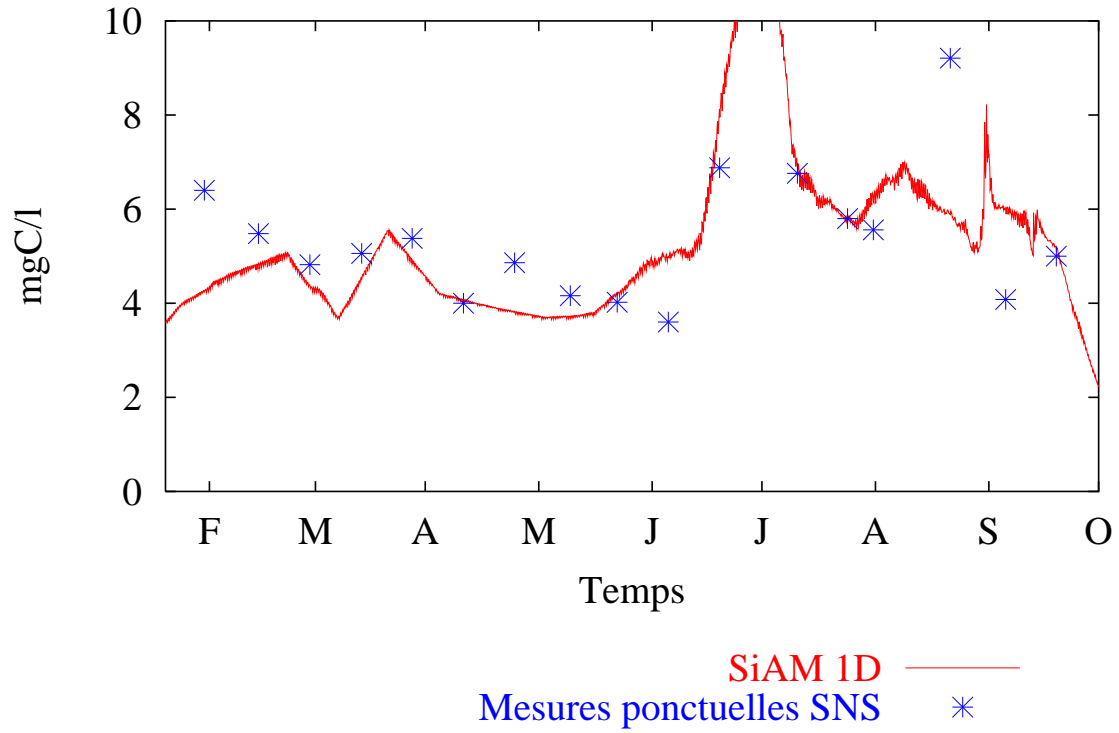


Poses 2001 : MOD

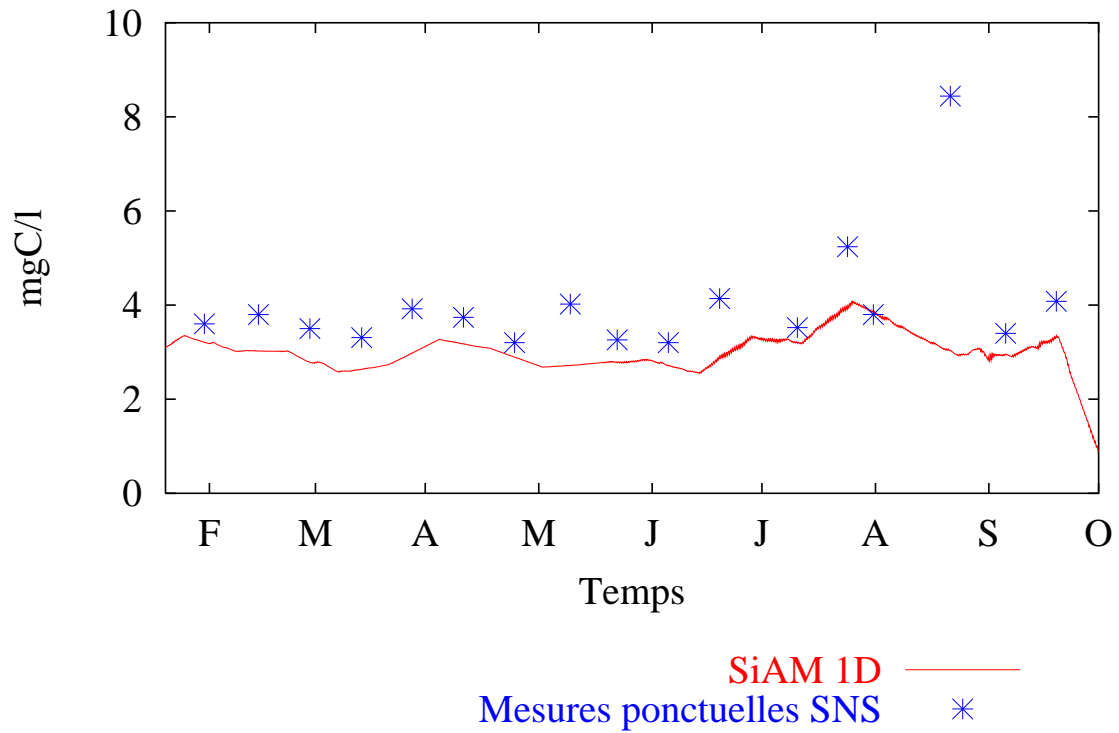


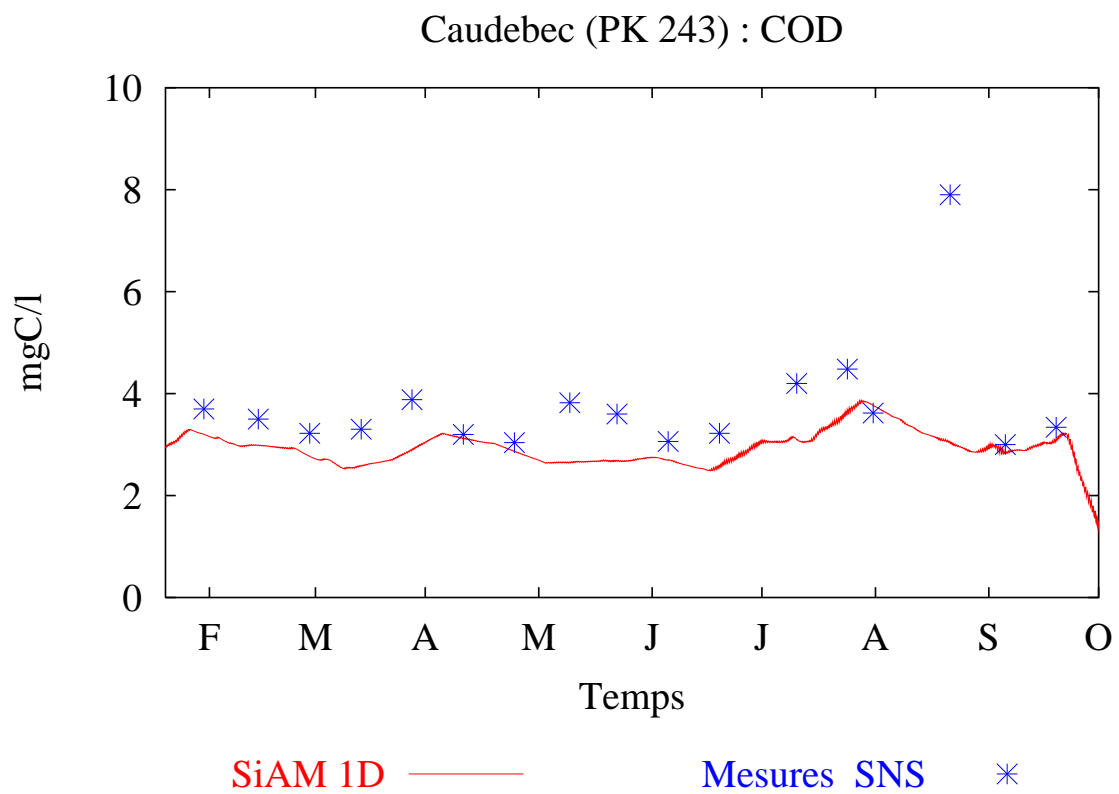
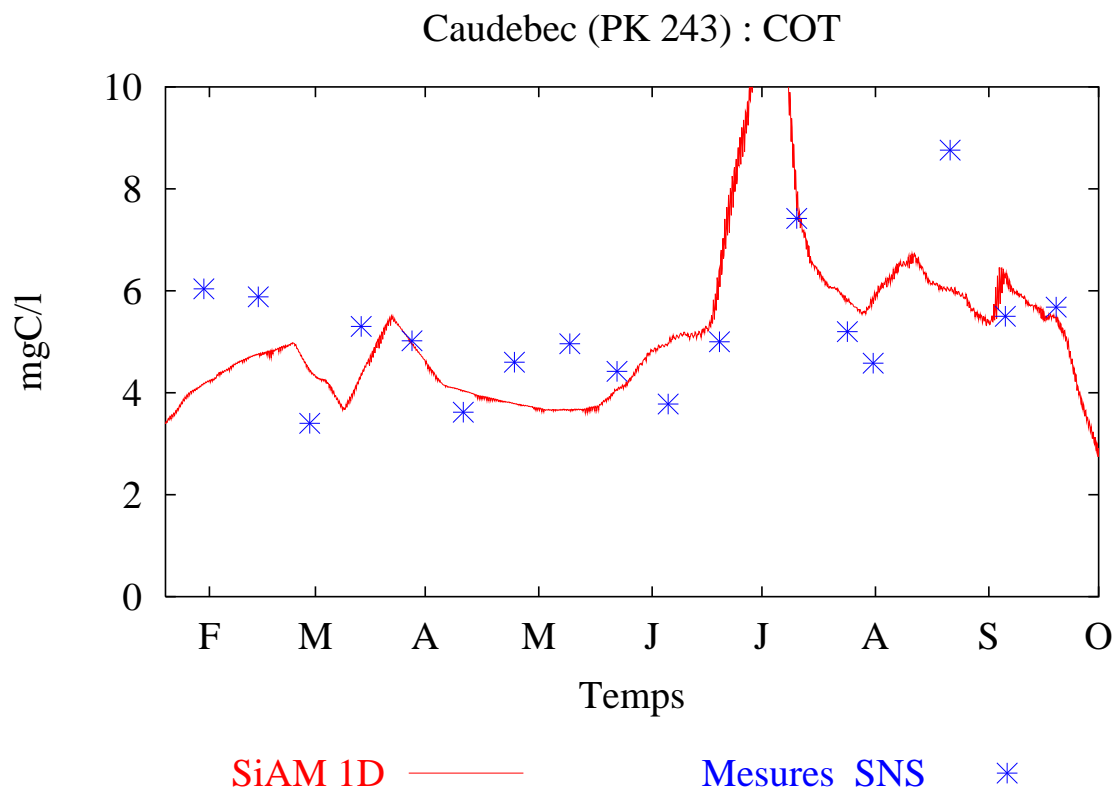


Bouille (PK 260) : COT



La Bouille (PK 260) : COD



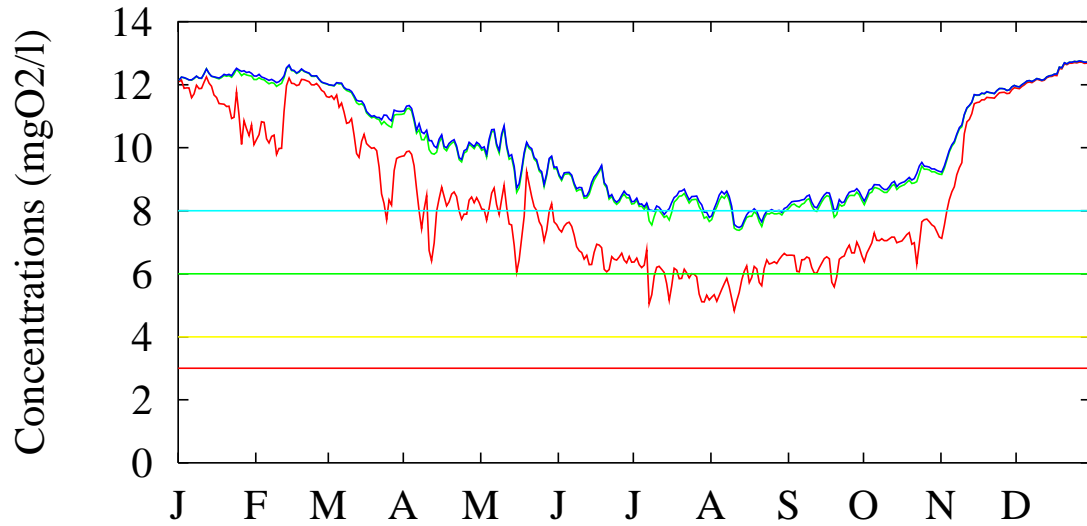


Annexe III

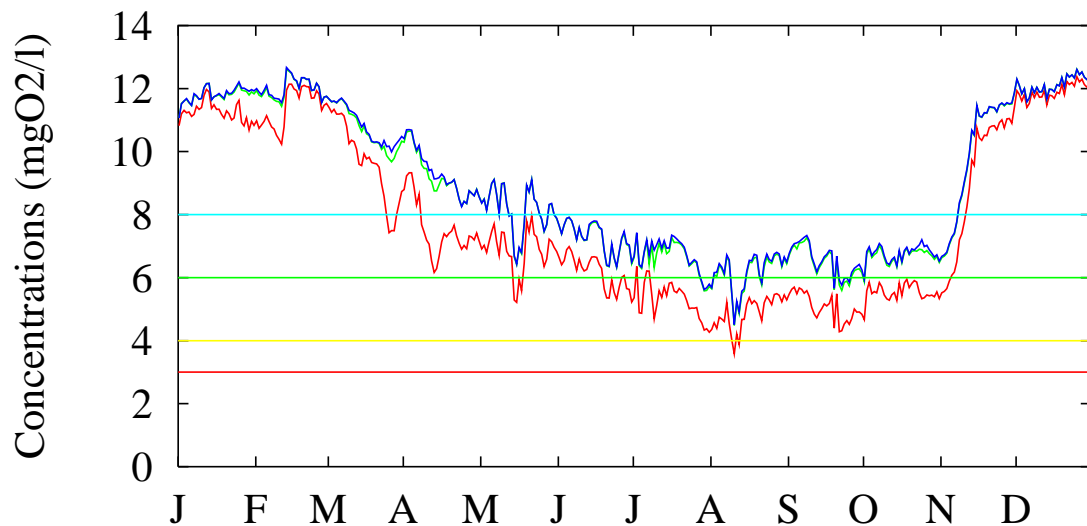
Prospective : Année sèche

Chapitre 17

L'oxygène

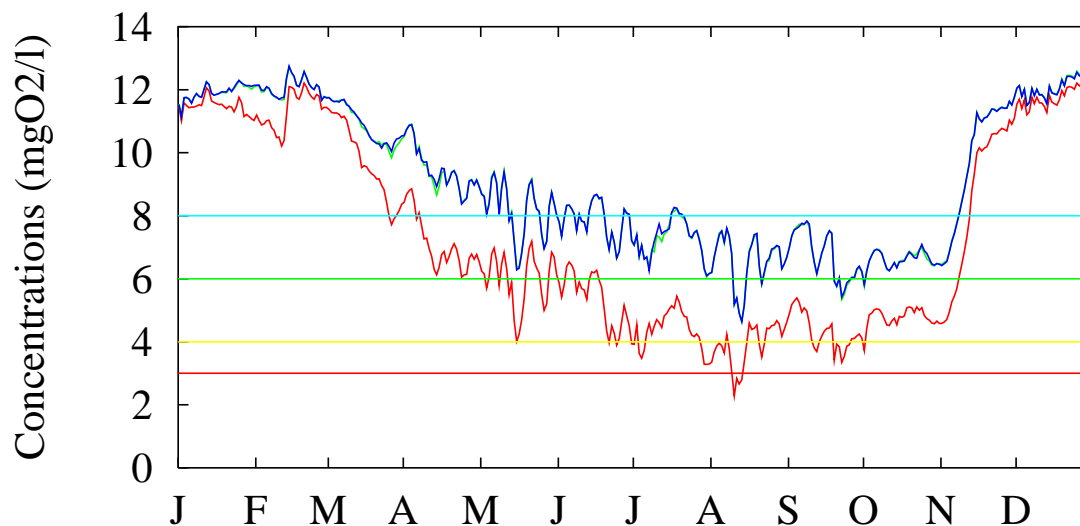
Marne, amont confluence, année sèche : O₂

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : O₂

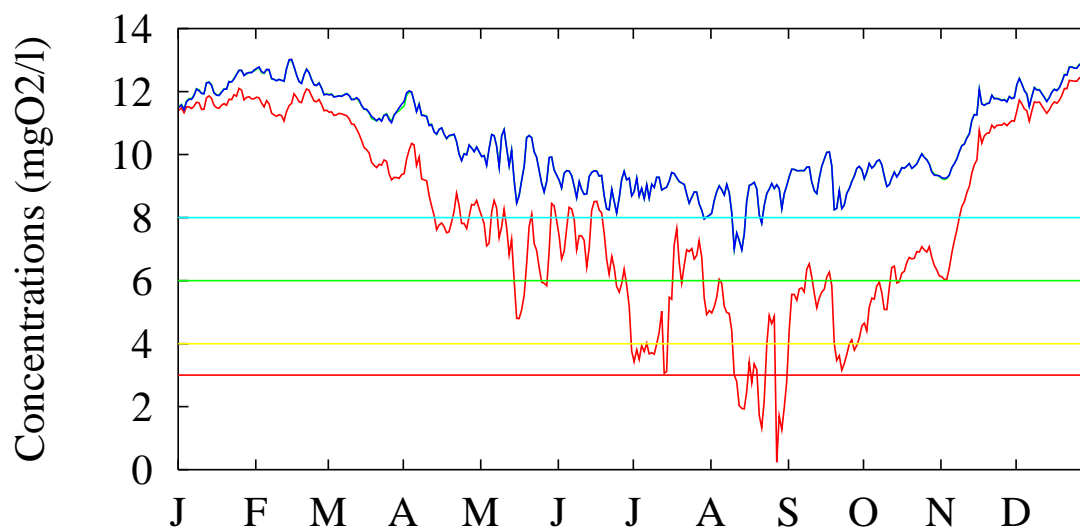
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : O2

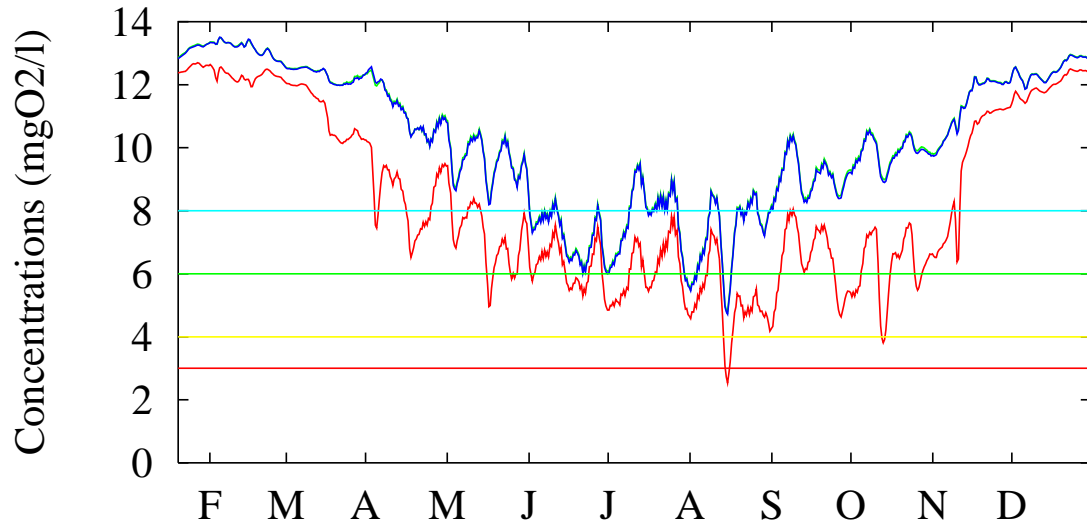


Situation actuelle —
 Situation future H1 —
 Situation future H2 —

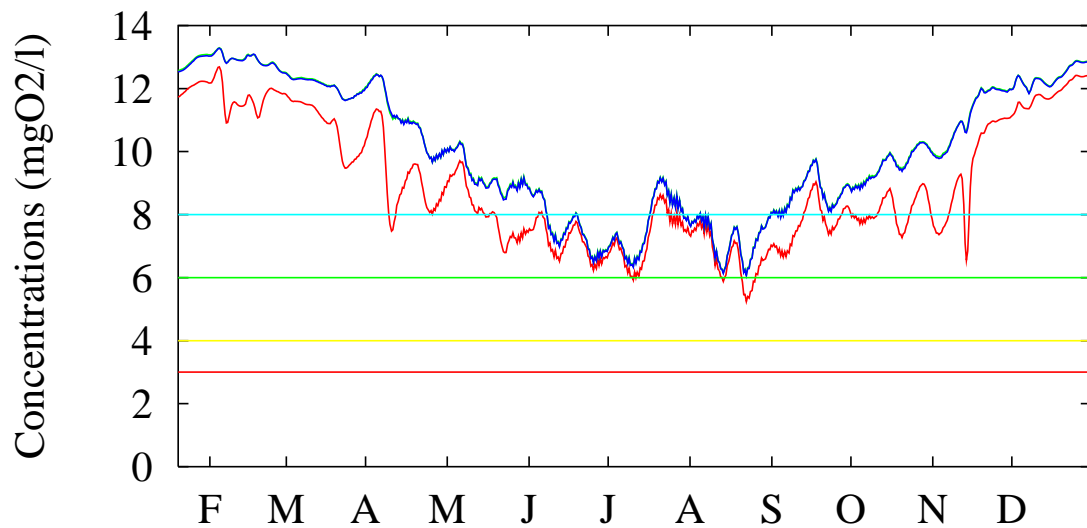
Poses, amont barrage, année sèche : O2



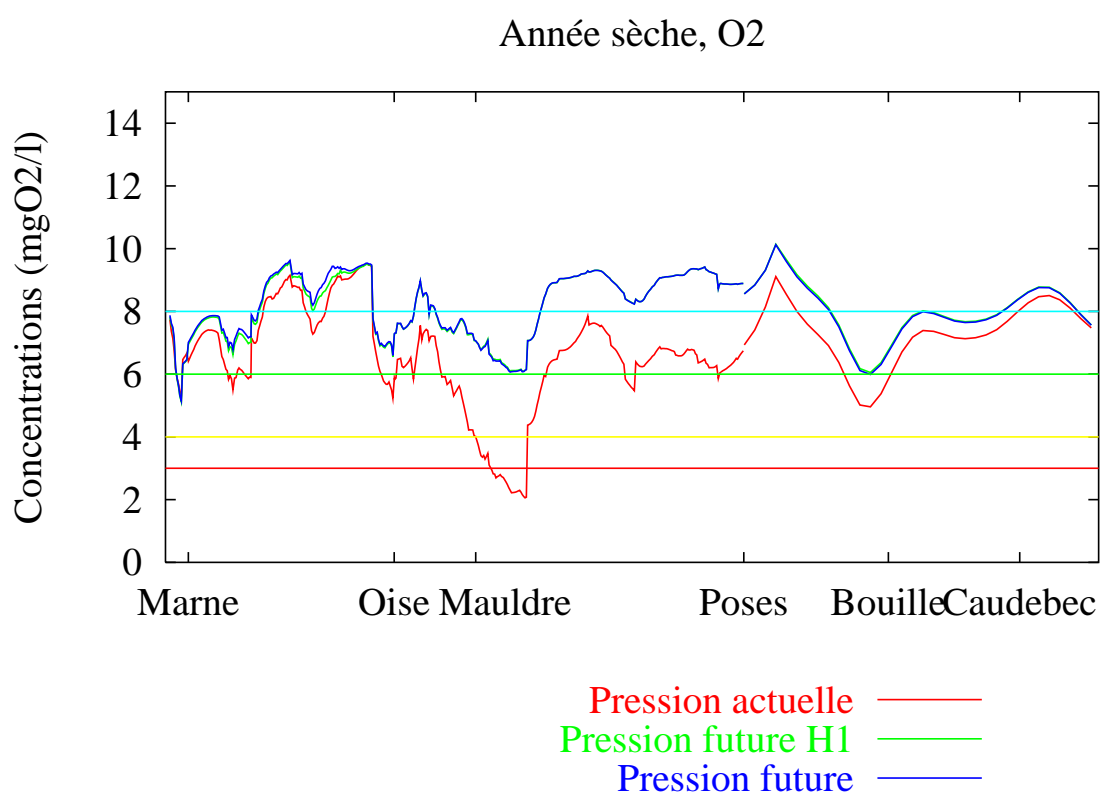
Situation actuelle —
 Situation future H1 —
 Situation future H2 —

La Bouille, année sèche : O₂

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Caudebec, année sèche : O₂

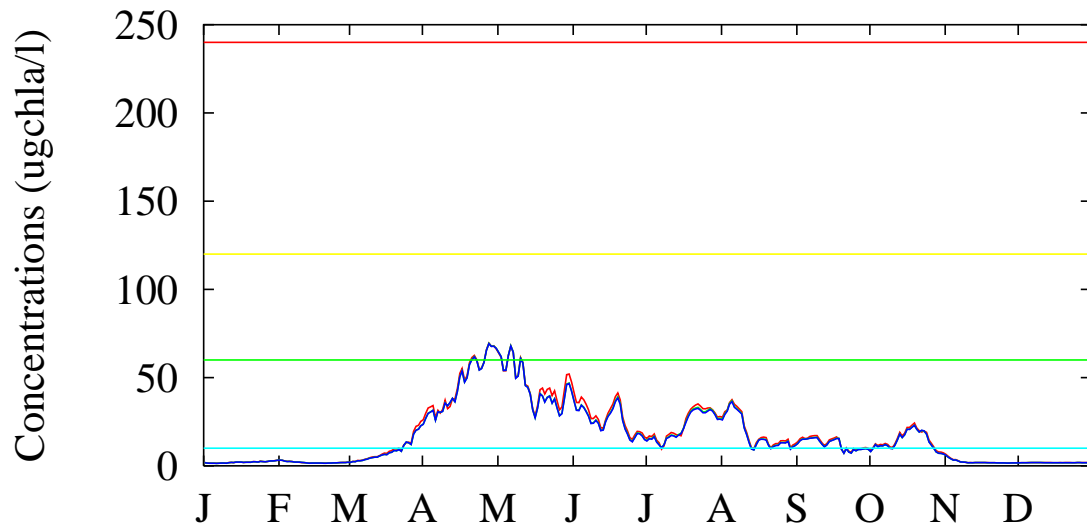
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —



Chapitre 18

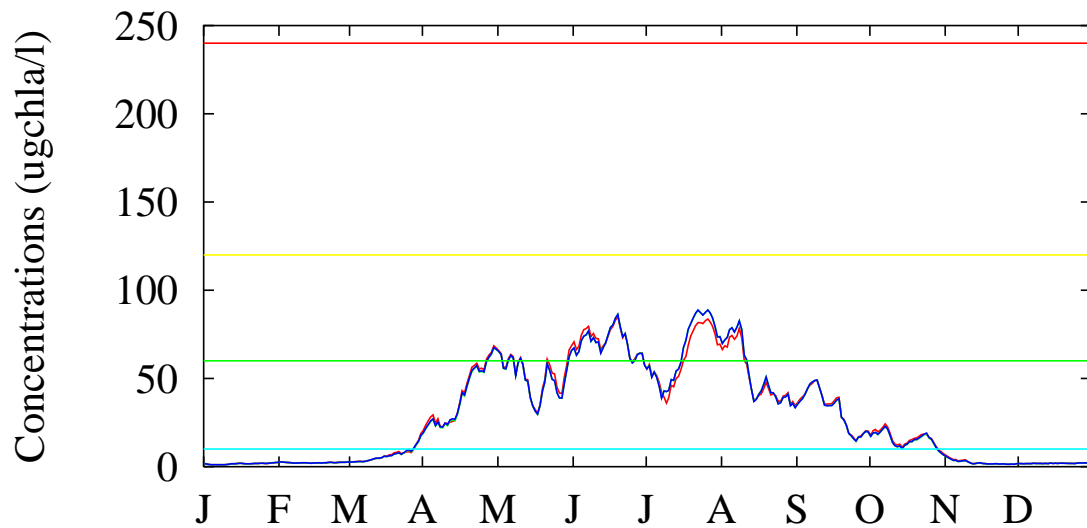
Chlorophylle *a*

Marne, amont confluence, année sèche : Chla



Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : Chla



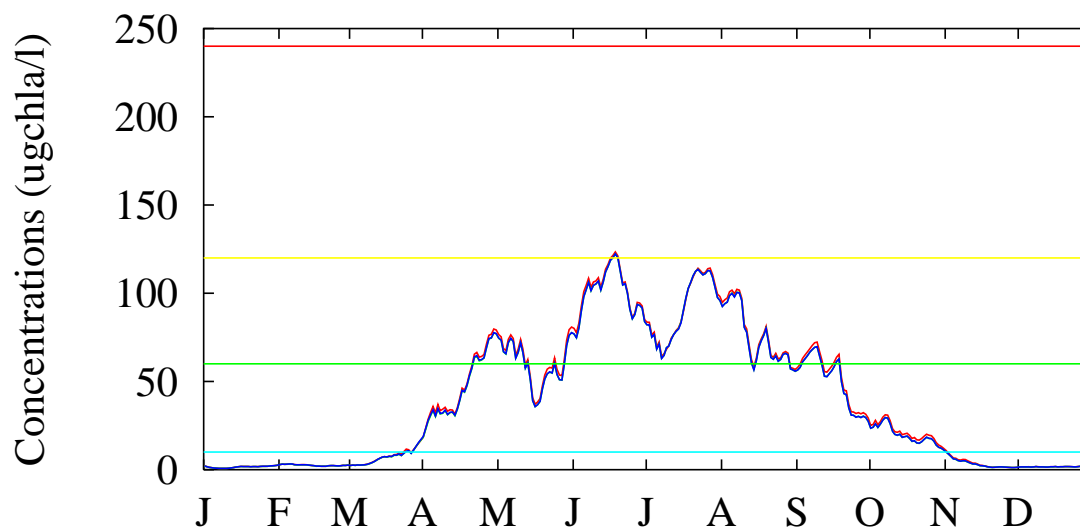
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : Chla



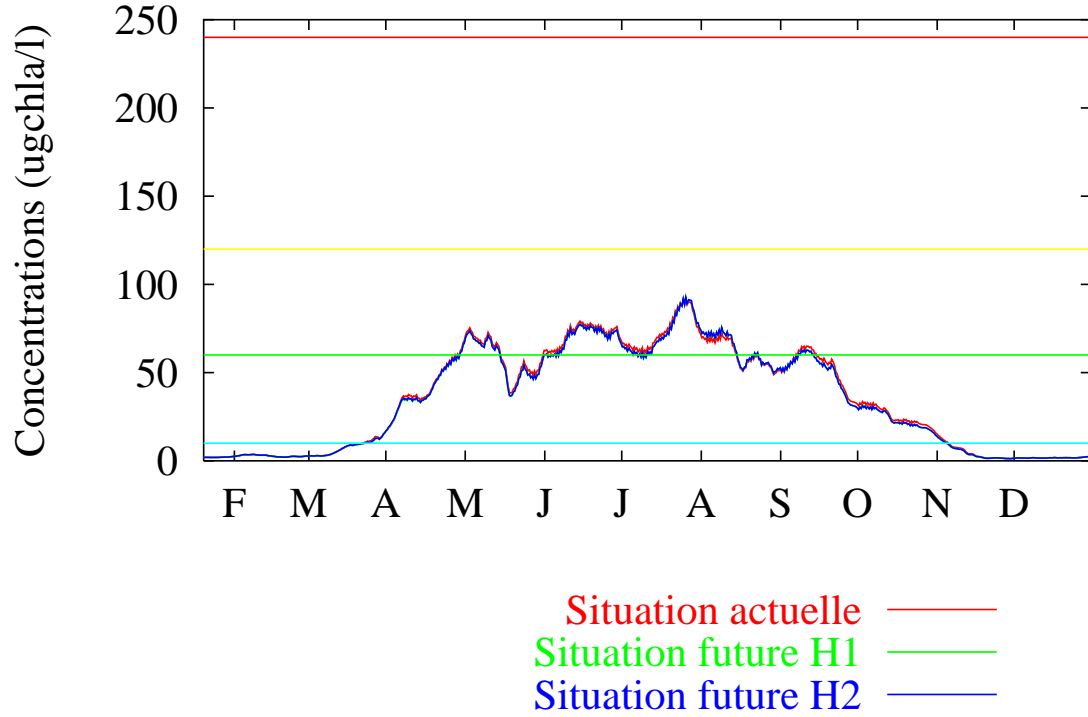
Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future H2 ———

Poses, amont barrage, année sèche : Chla

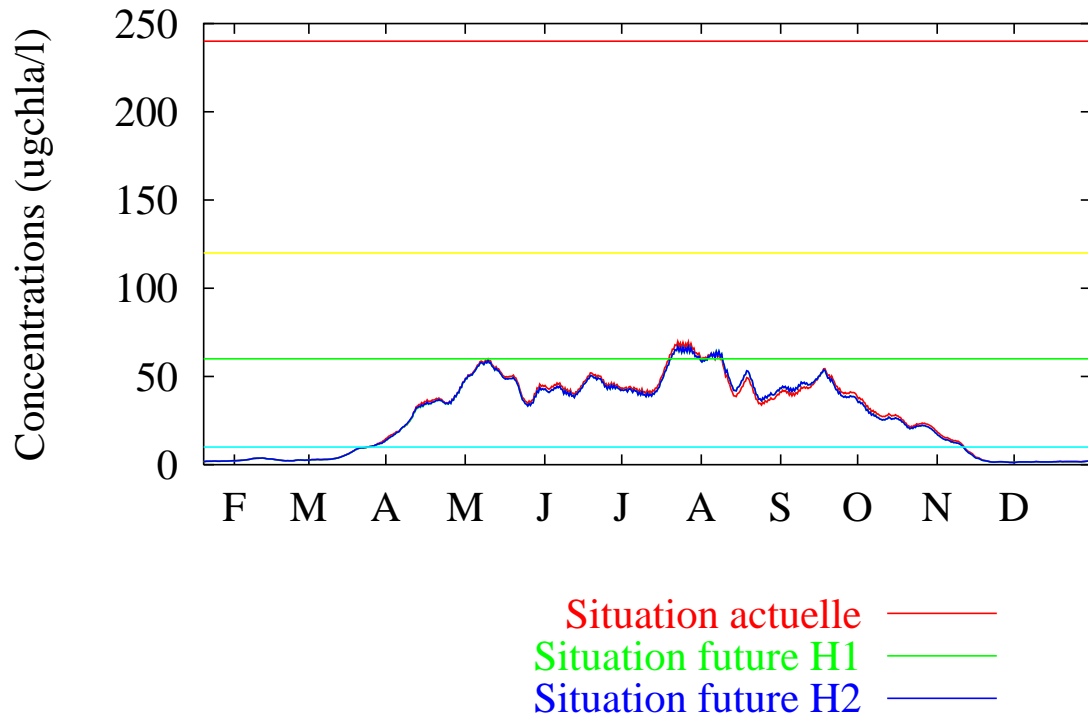


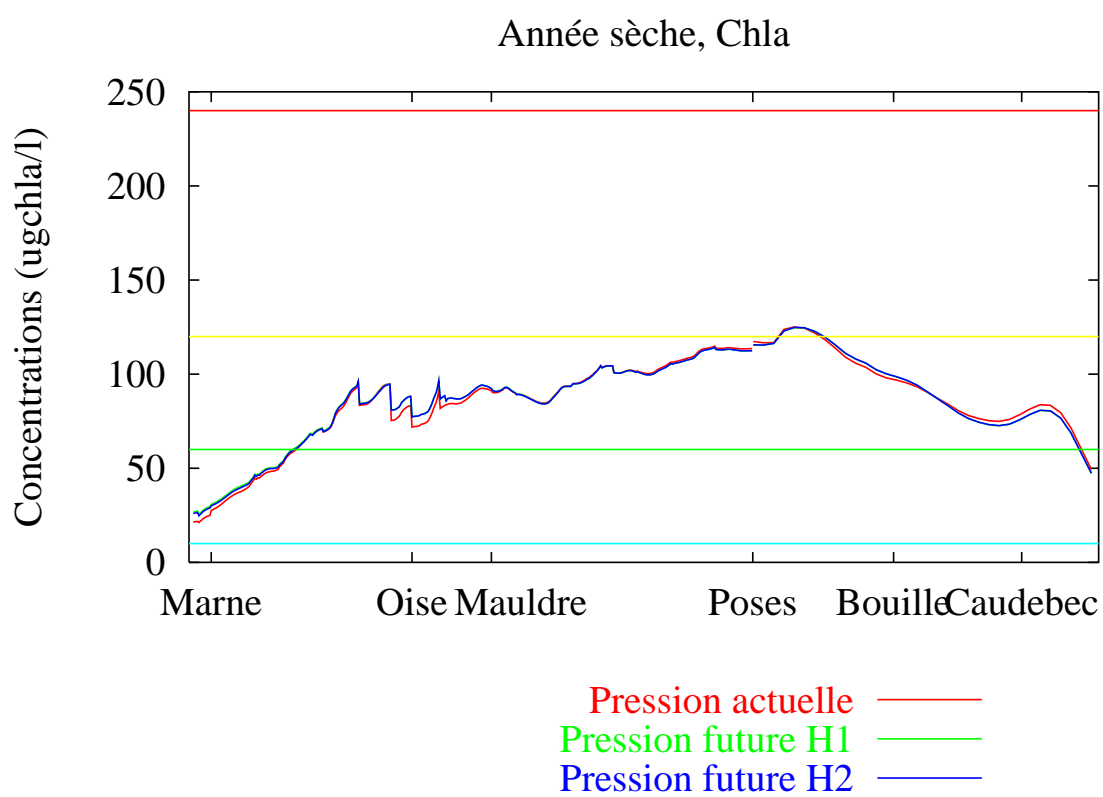
Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future H2 ———

La Bouille année sèche : Chla



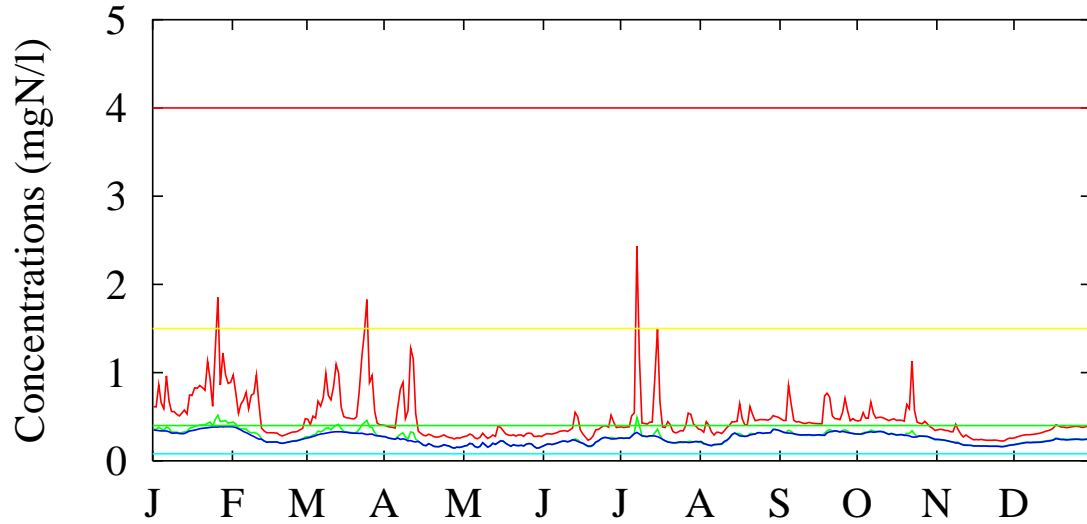
Caudebec année sèche : Chla



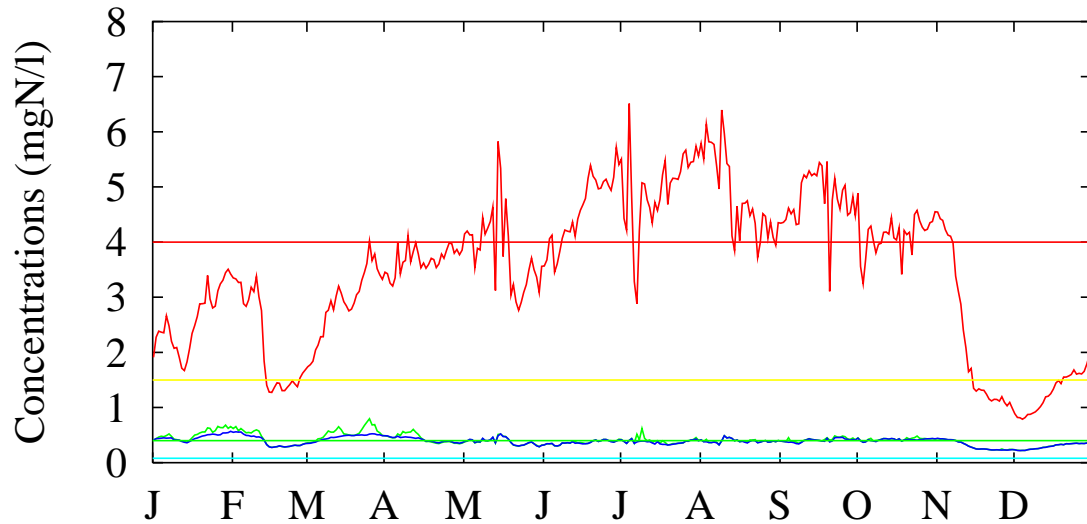


Chapitre 19

Ammoniaque

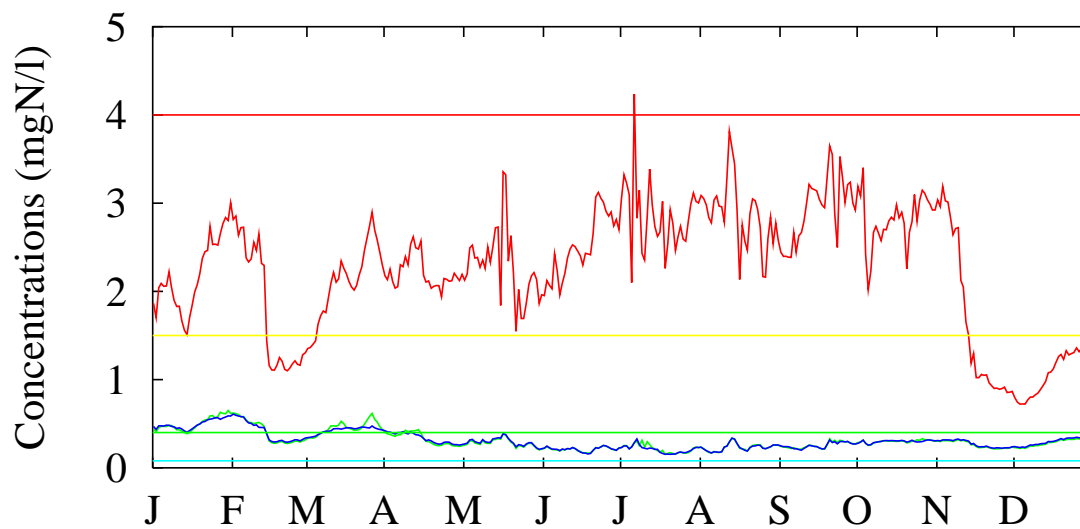
Marne, amont confluence, année sèche : NH₄

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : NH₄

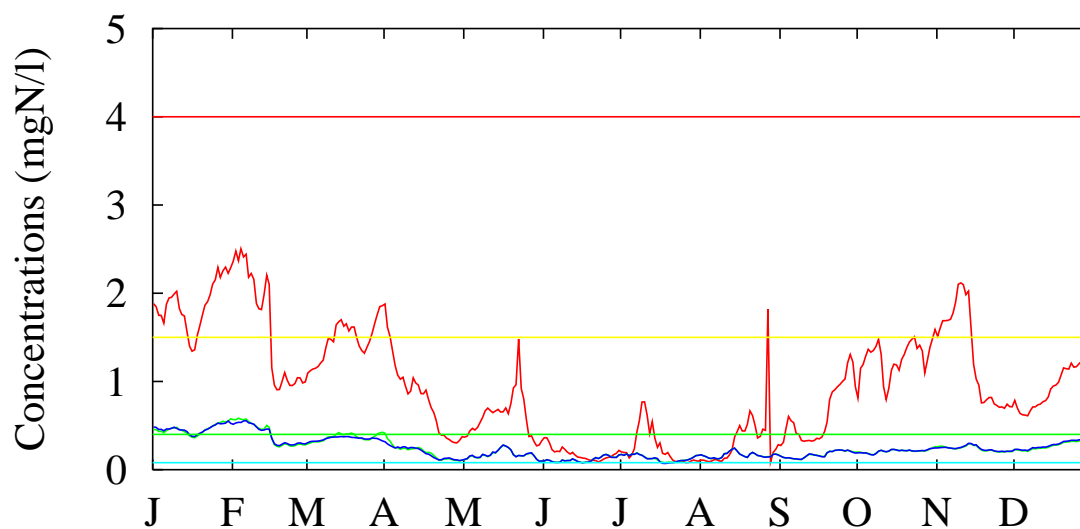
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : NH4

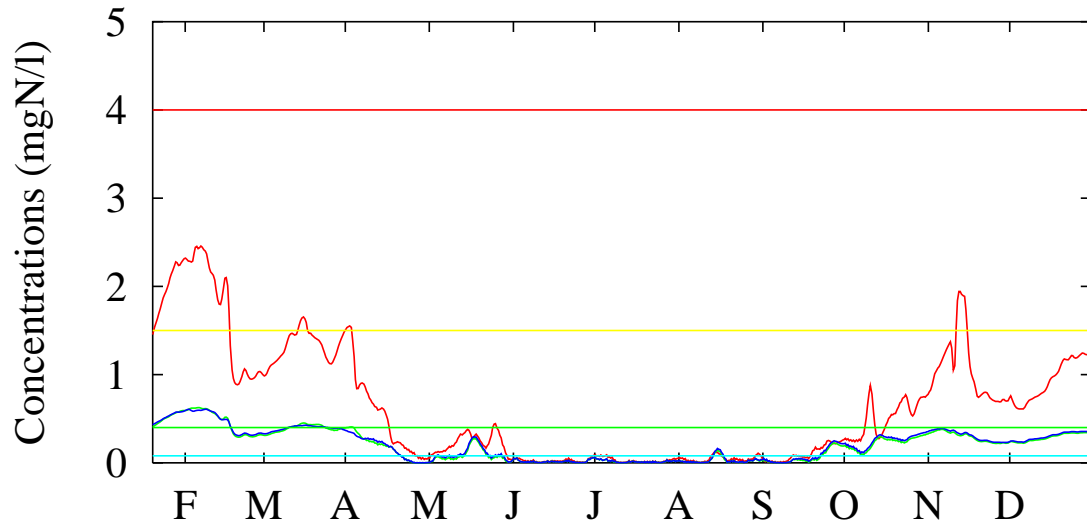


Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future —

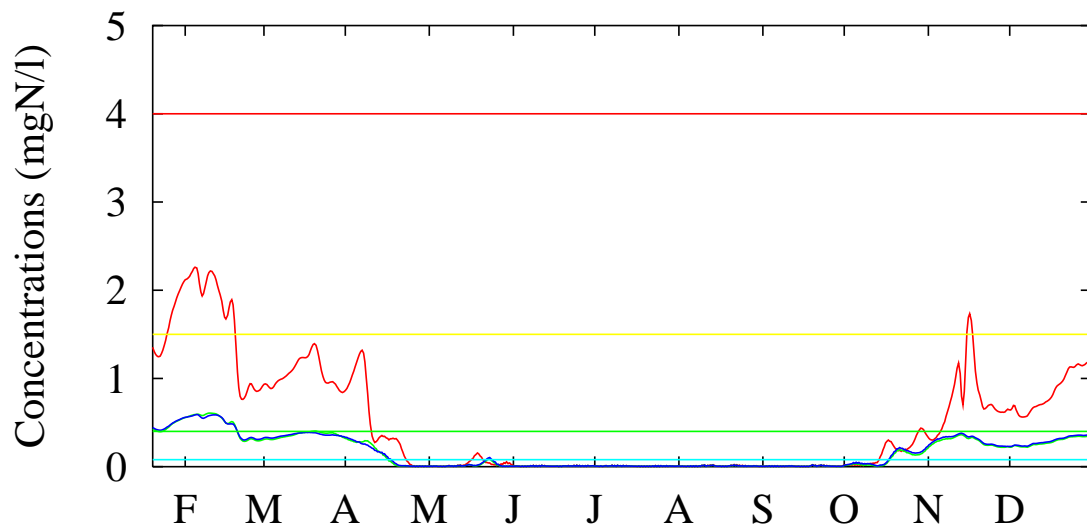
Poses, amont barrage, année sèche : NH4



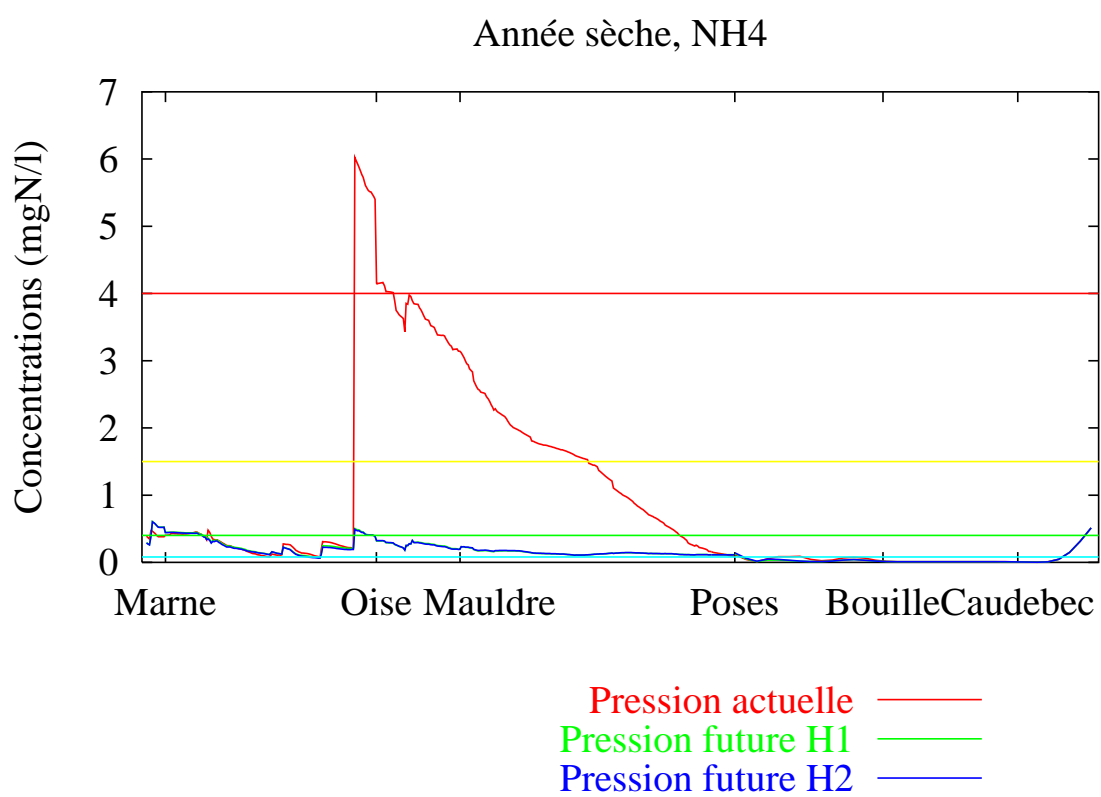
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future —

La Bouille, année sèche : NH₄

Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

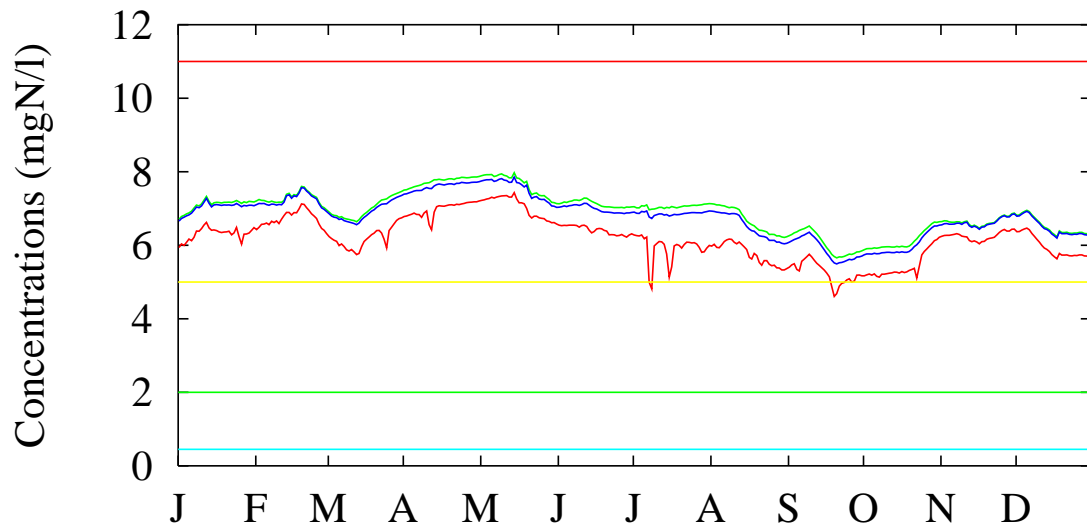
Caudebec, année sèche : NH₄

Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

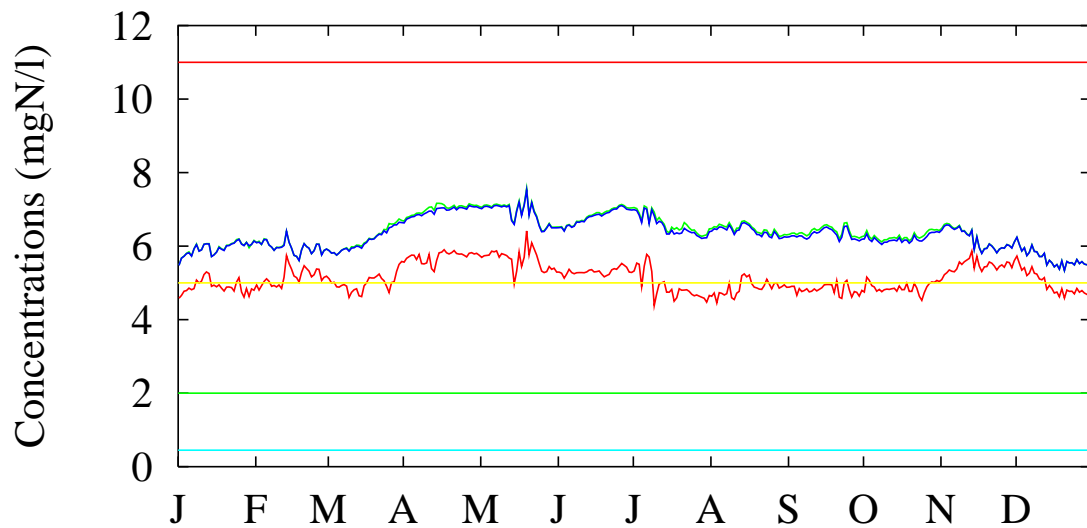


Chapitre 20

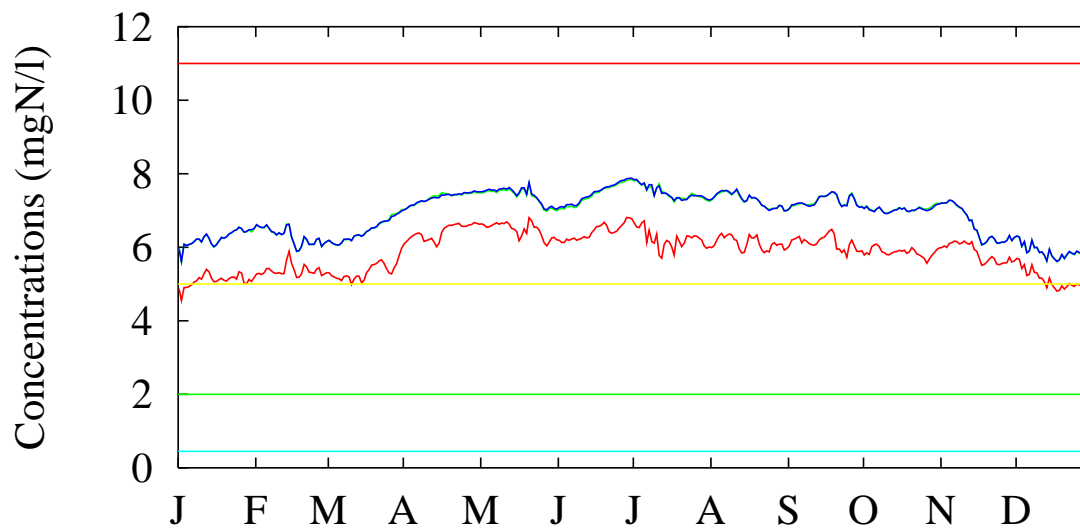
Nitrates

Marne, amont confluence, année sèche : N-NO₃

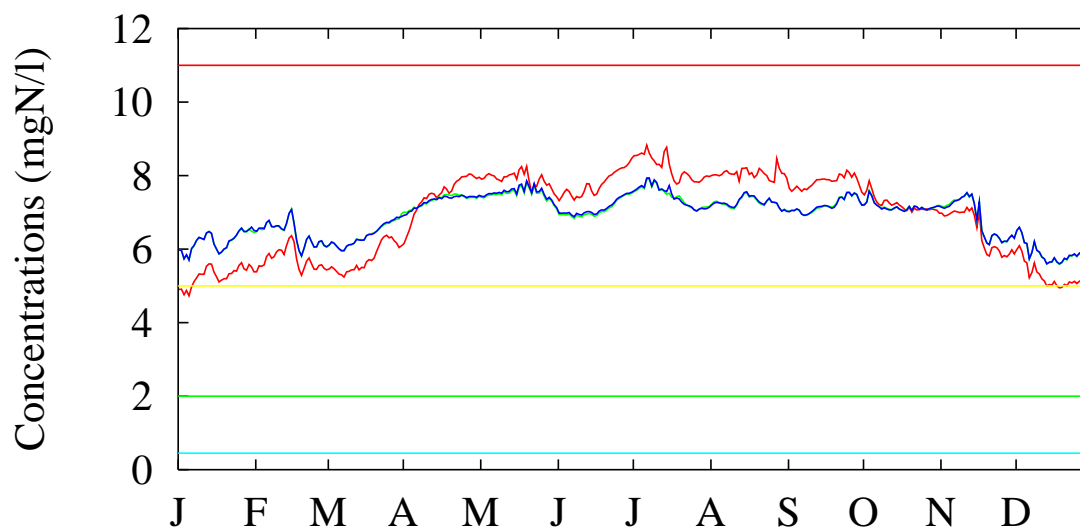
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : N-NO₃

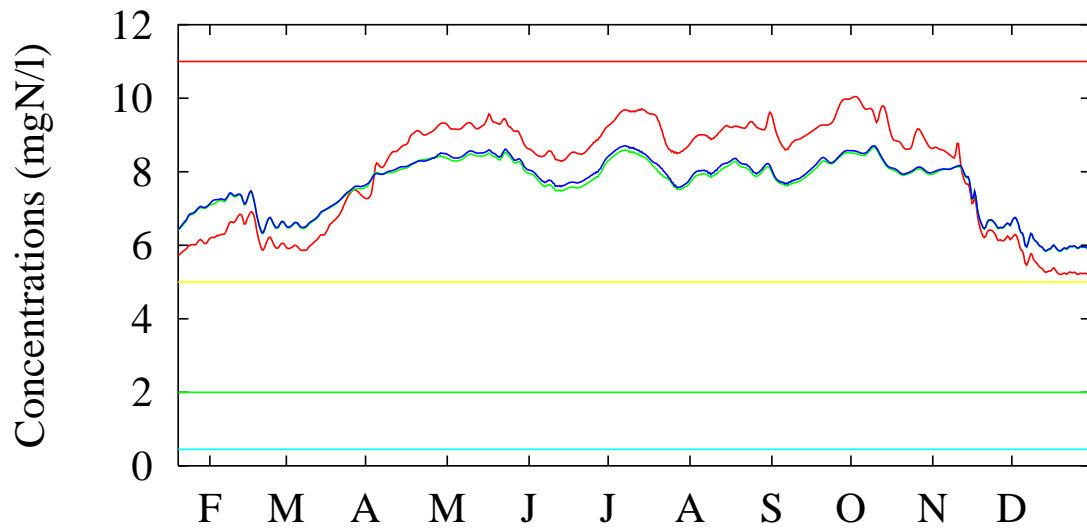
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : N-NO₃

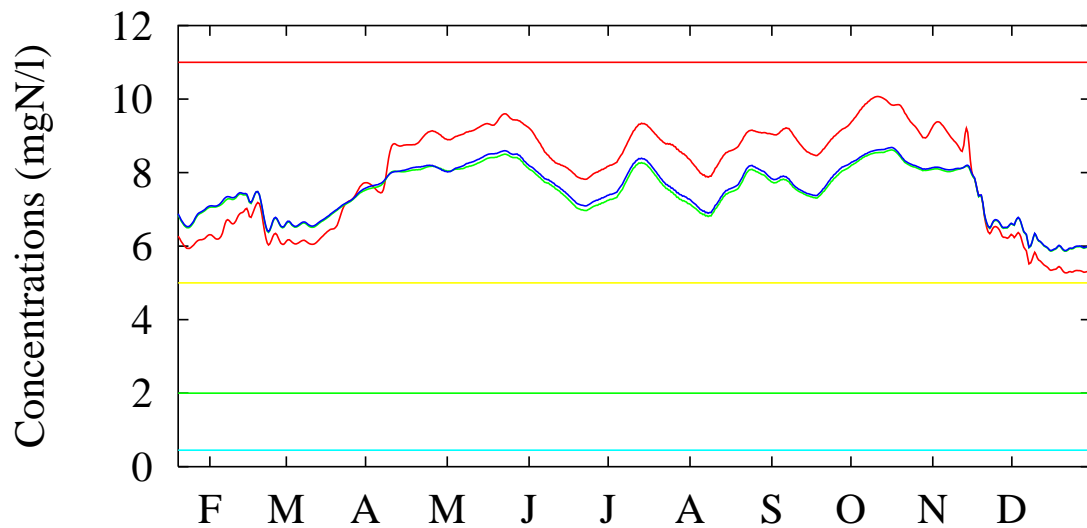
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année sèche : N-NO₃

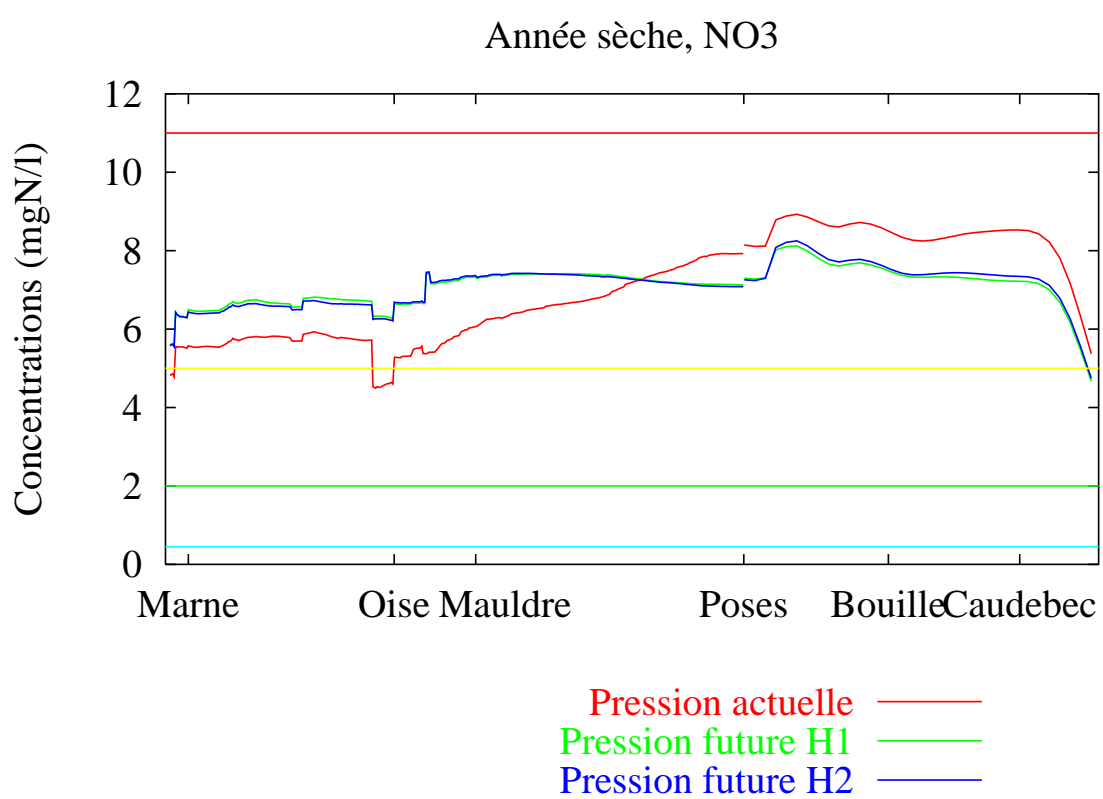
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année sèche : N-NO₃

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Caudebec, année sèche : N-NO₃

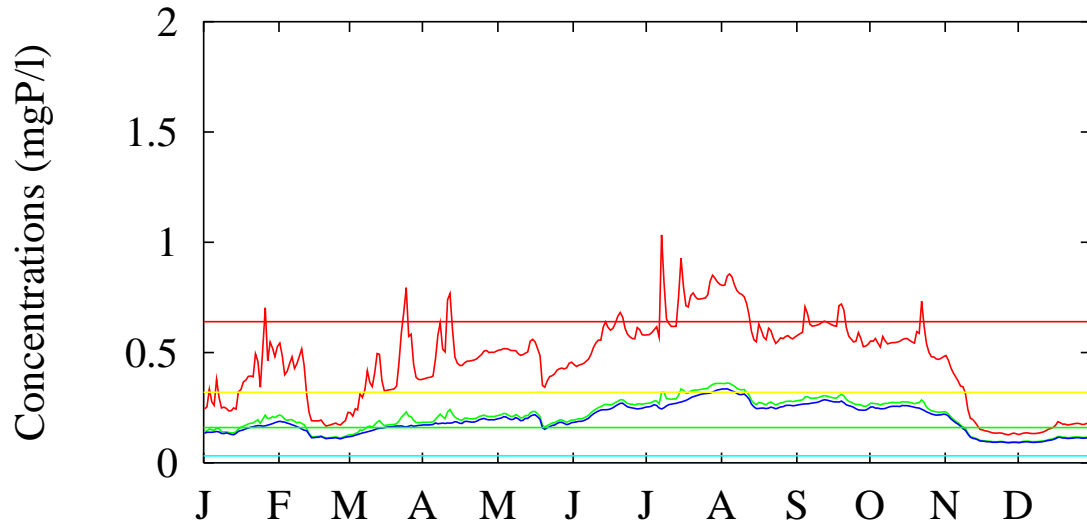
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —



Chapitre 21

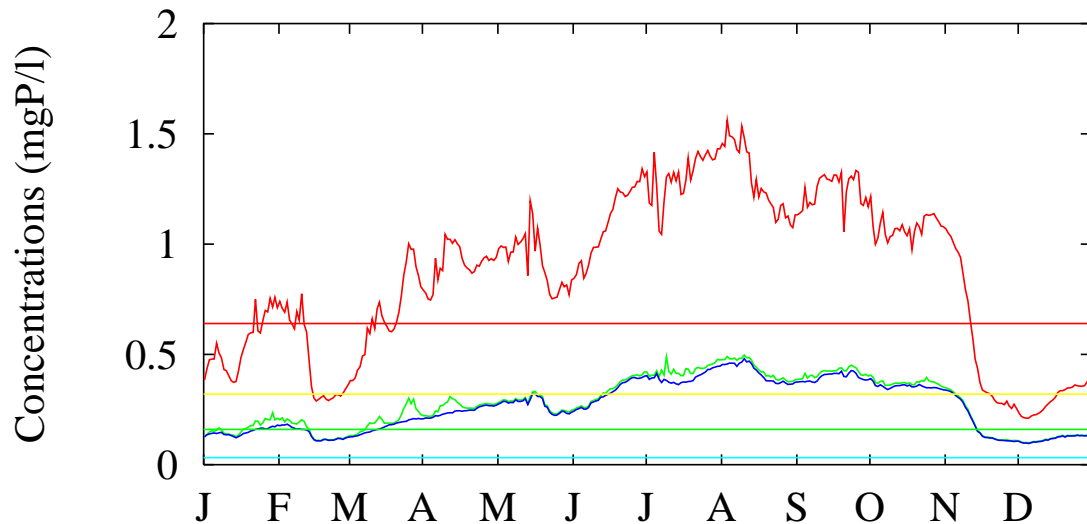
Orthophosphates

Marne, amont confluence, année sèche : PO4



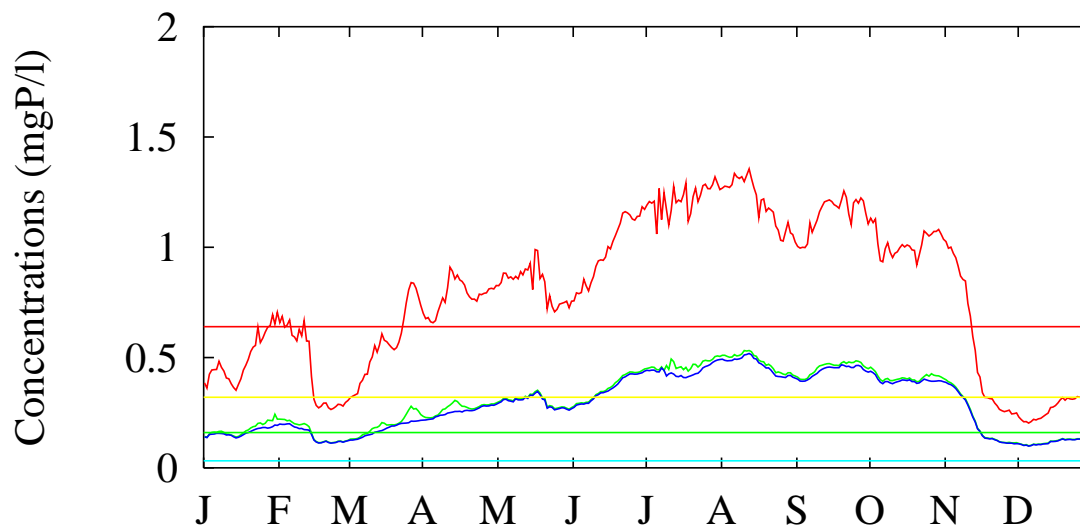
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : PO4



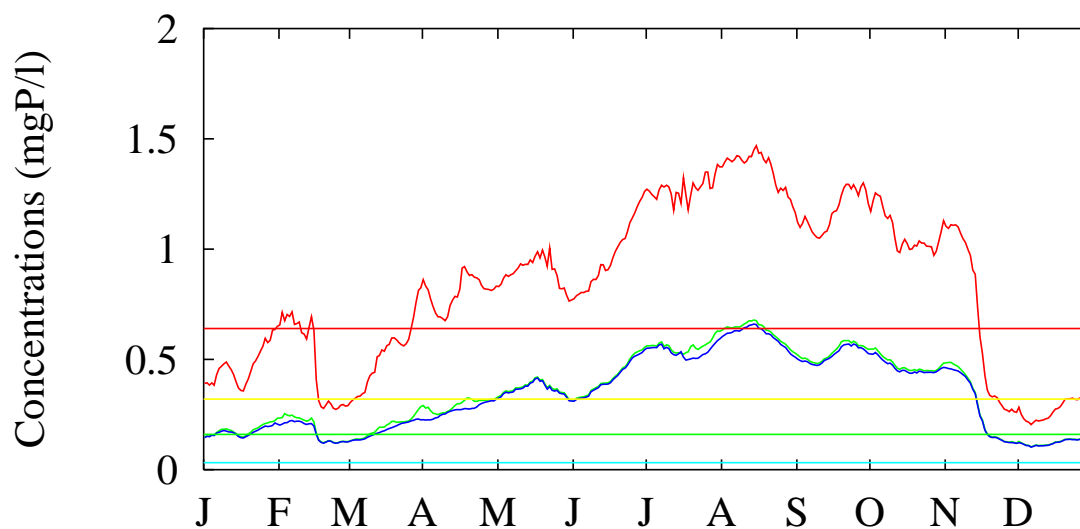
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : PO4



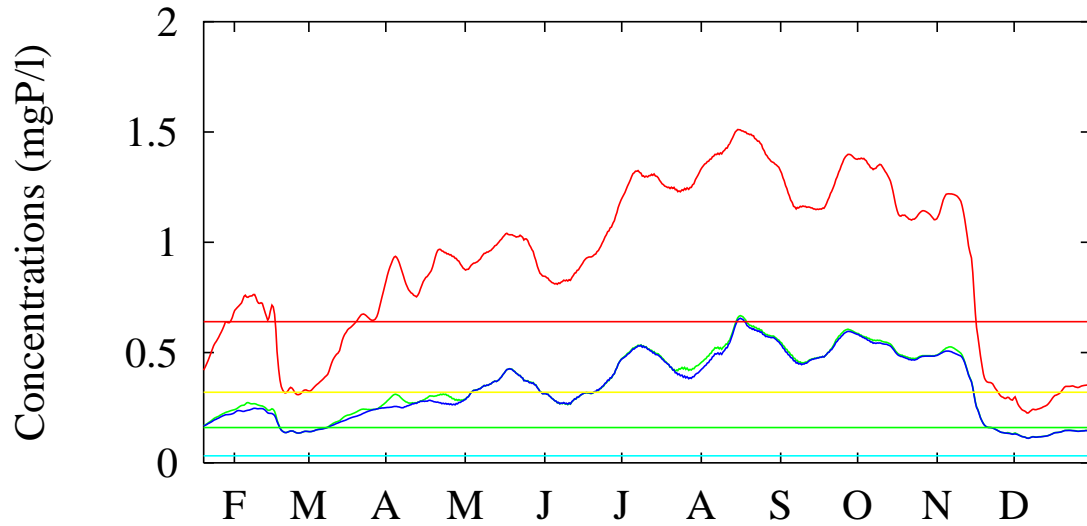
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année sèche : PO4



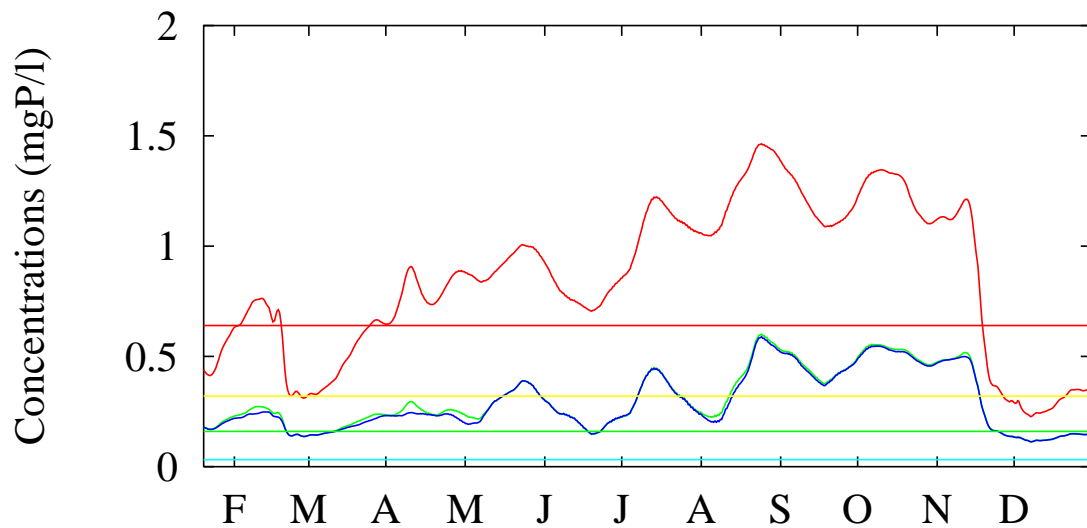
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année sèche : PO4

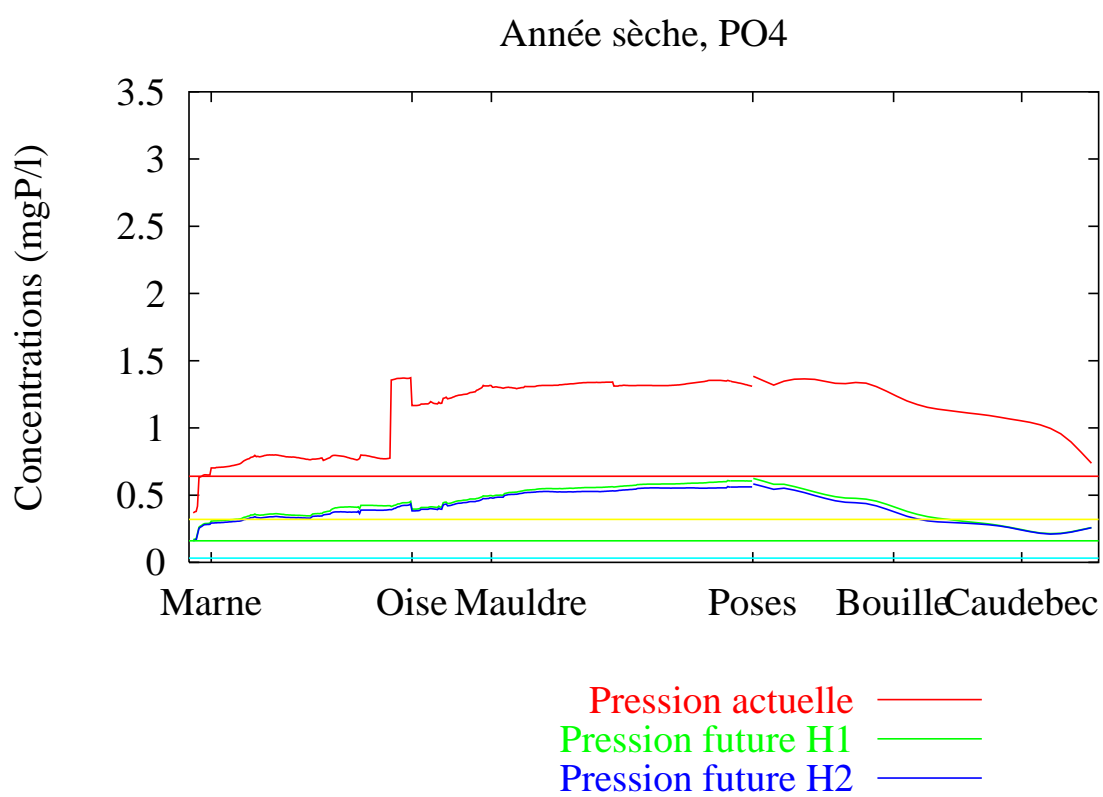


Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future H2 ———

Caudebec, année sèche : PO4

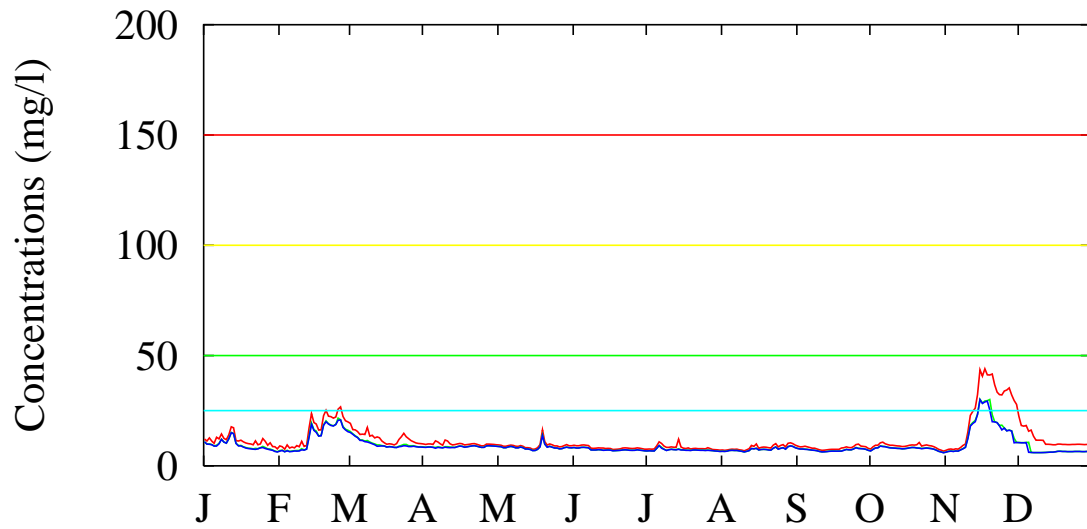


Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future H2 ———

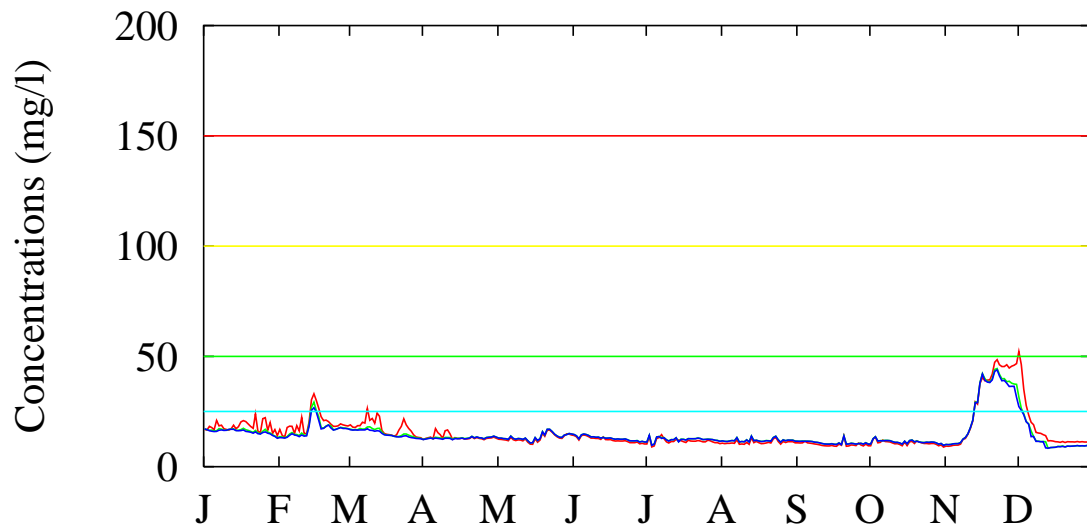


Chapitre 22

Matières en suspension totales

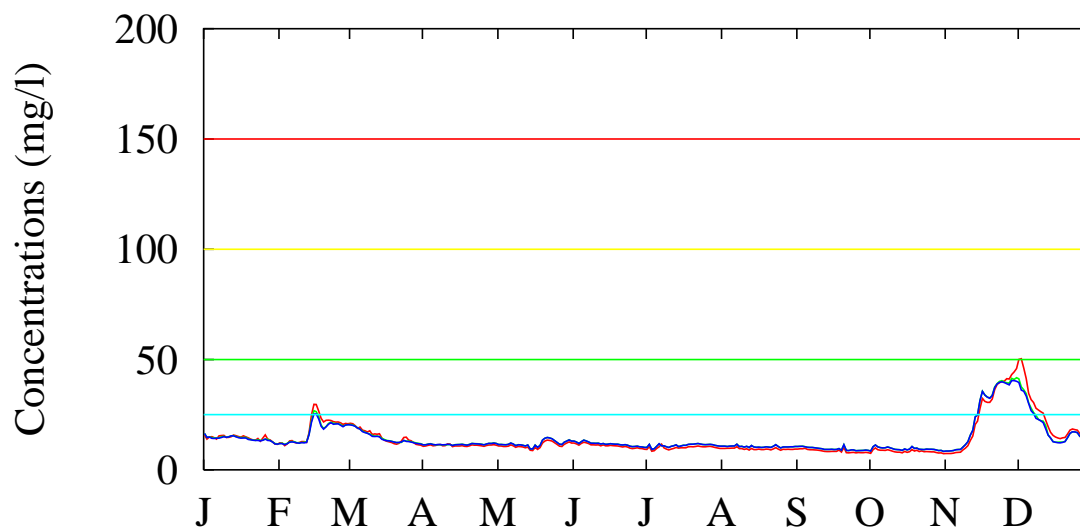
Marne, amont confluence, année sèche : MES_{tot}

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : MES_{tot}

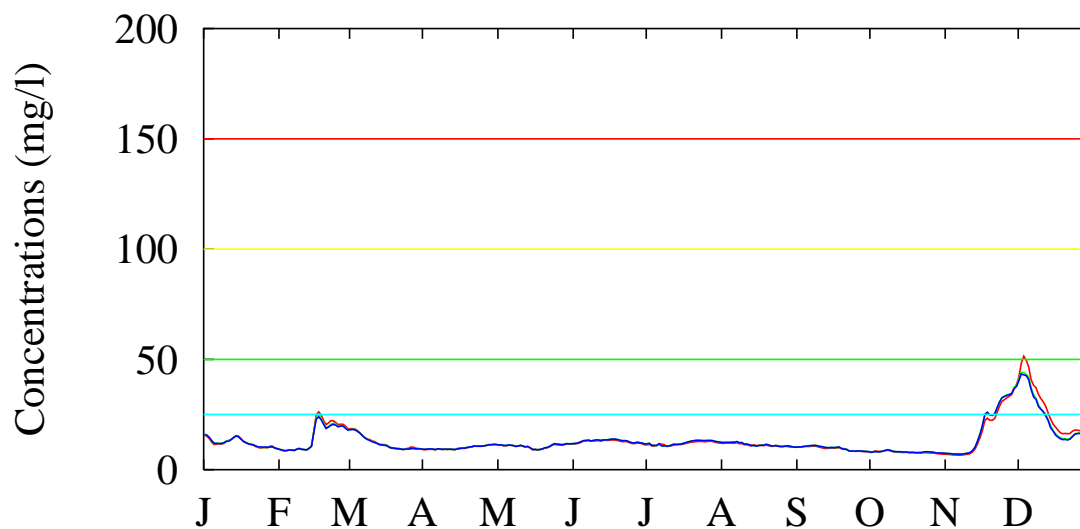
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : MESTot



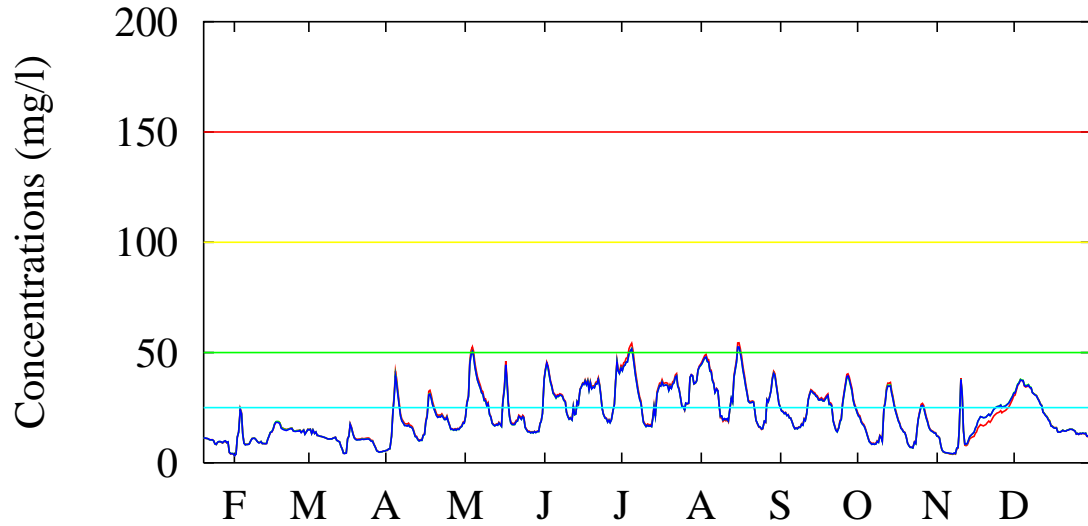
Situation actuelle —
 Situation future H1 —
 Situation future —

Poses, amont barrage, année sèche : MESTot



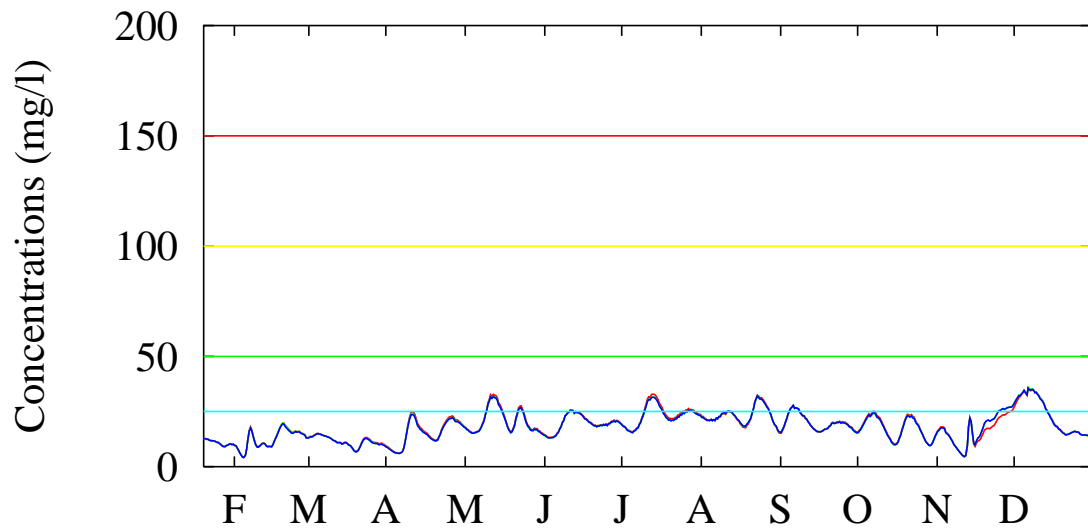
Situation actuelle —
 Situation future H1 —
 Situation future H2 —

La Bouille, année sèche : MESTot

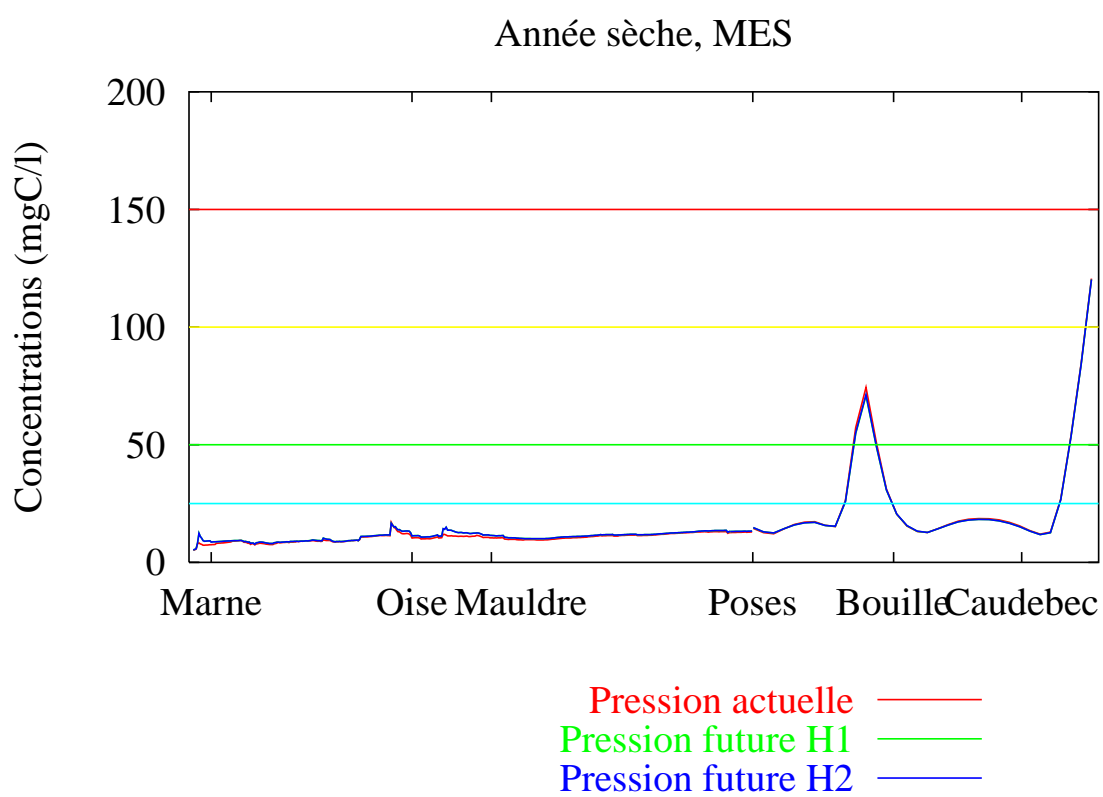


Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Caudebec, année sèche : MESTot



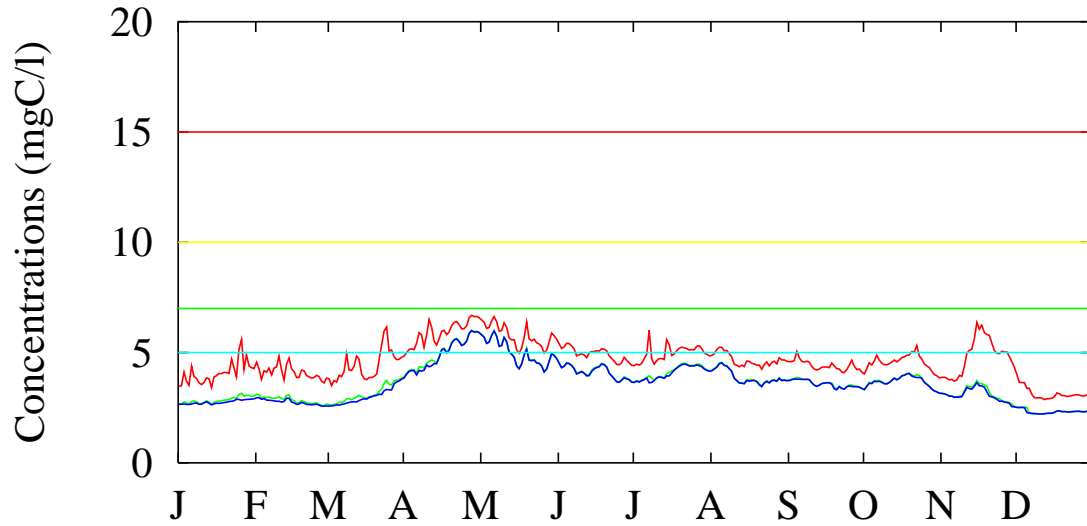
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———



Chapitre 23

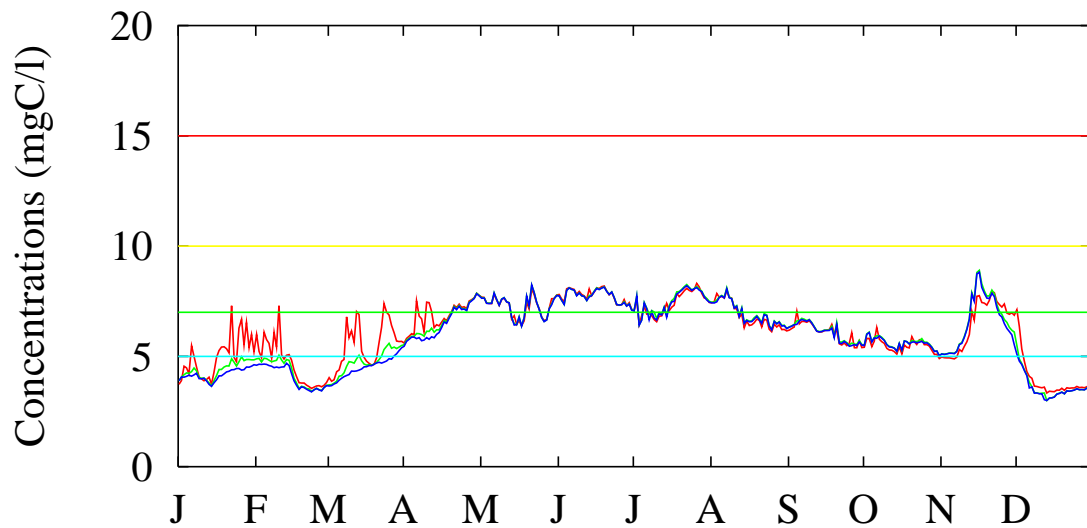
Carbone organique total

Marne, amont confluence, année sèche : COT



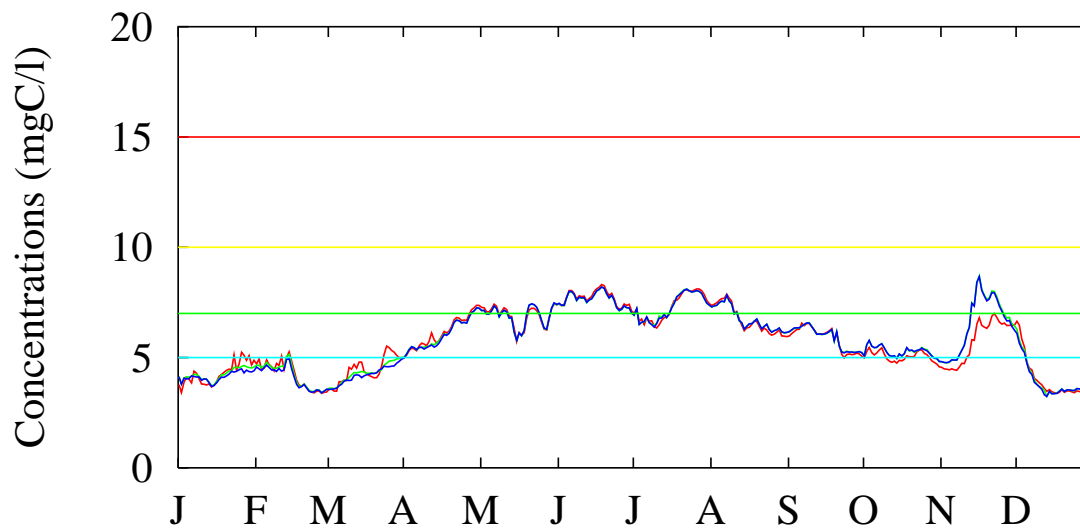
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : COT



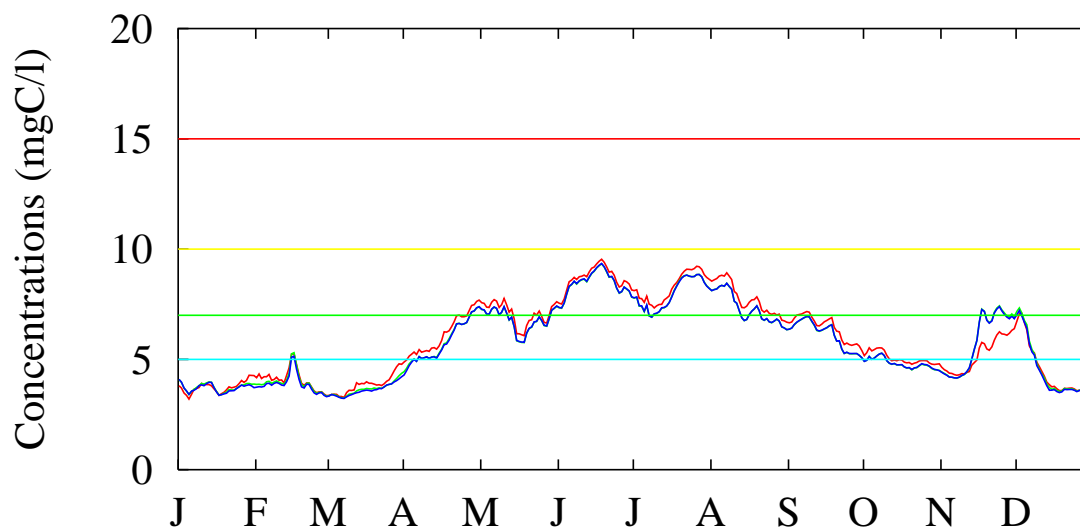
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : COT



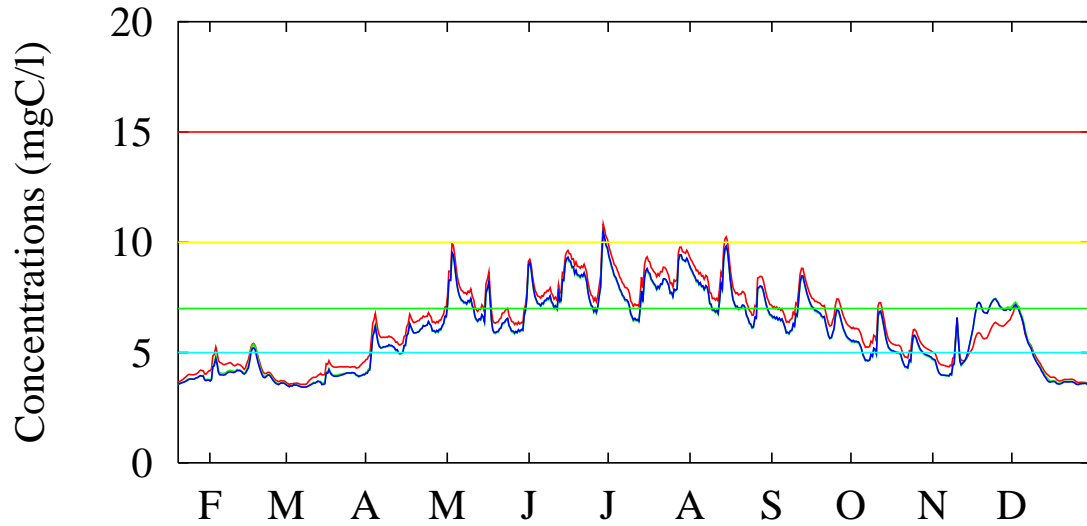
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année sèche : COT



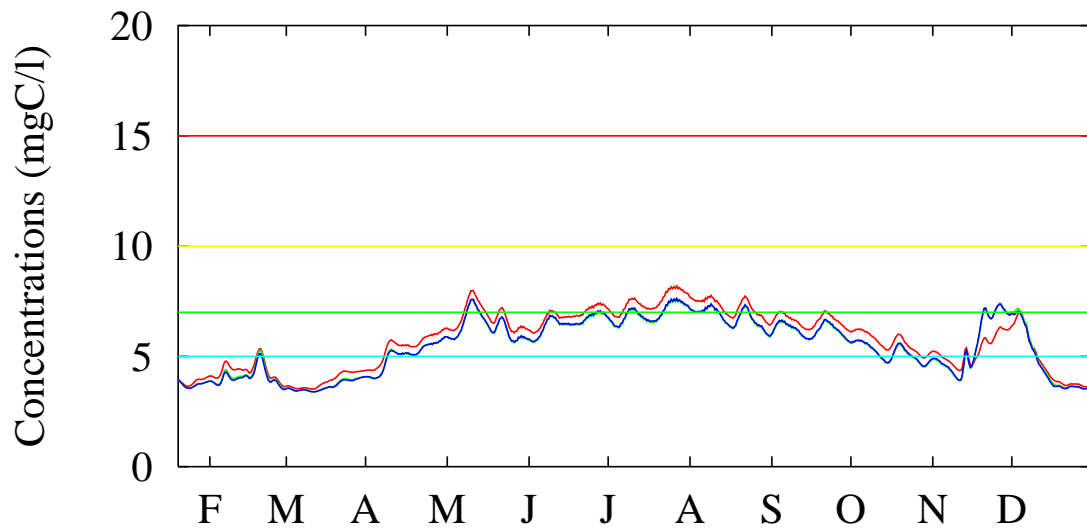
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année sèche : COT

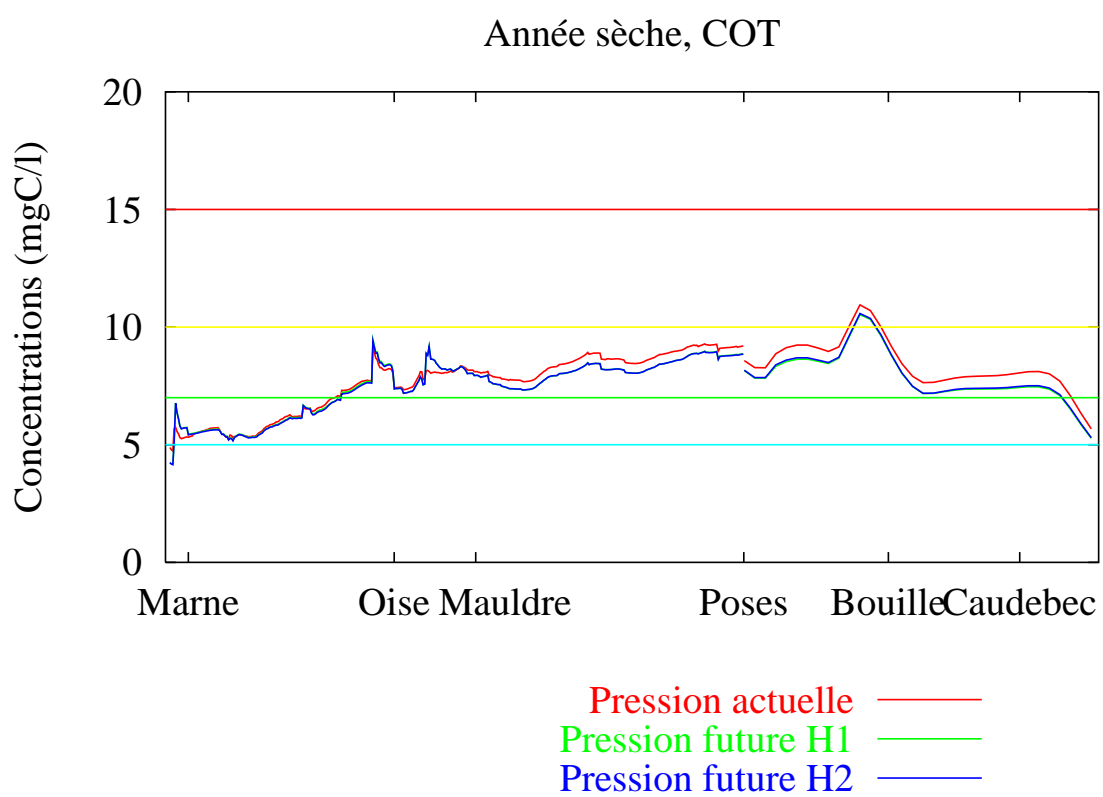


Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Caudebec, année sèche : COT



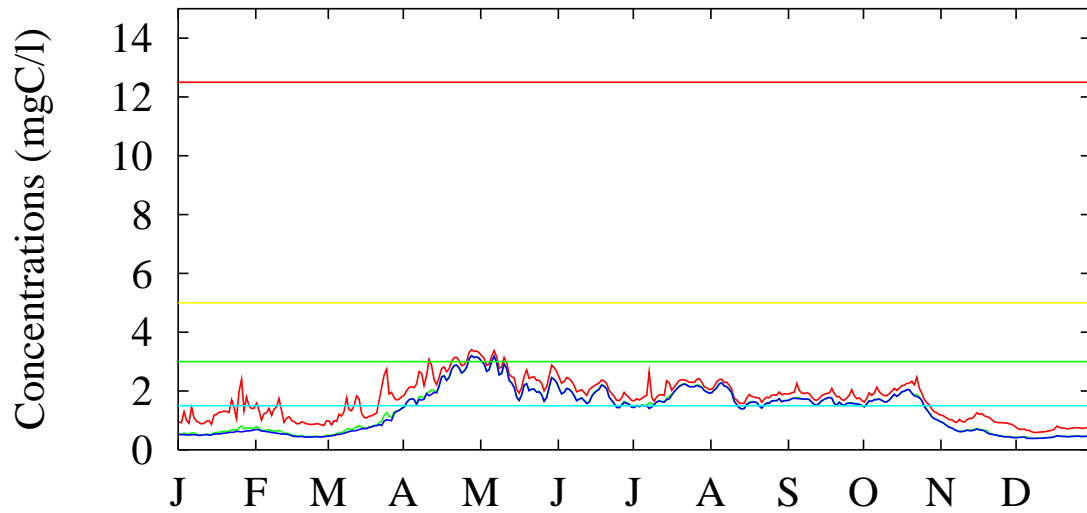
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —



Chapitre 24

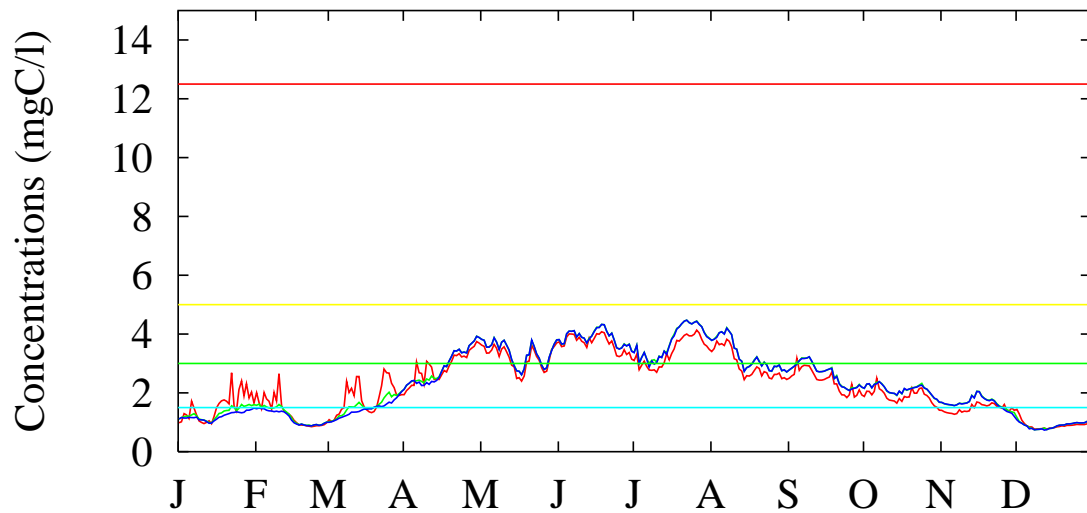
Carbone organique total biodégradable

Marne, amont confluence, année sèche : COTB



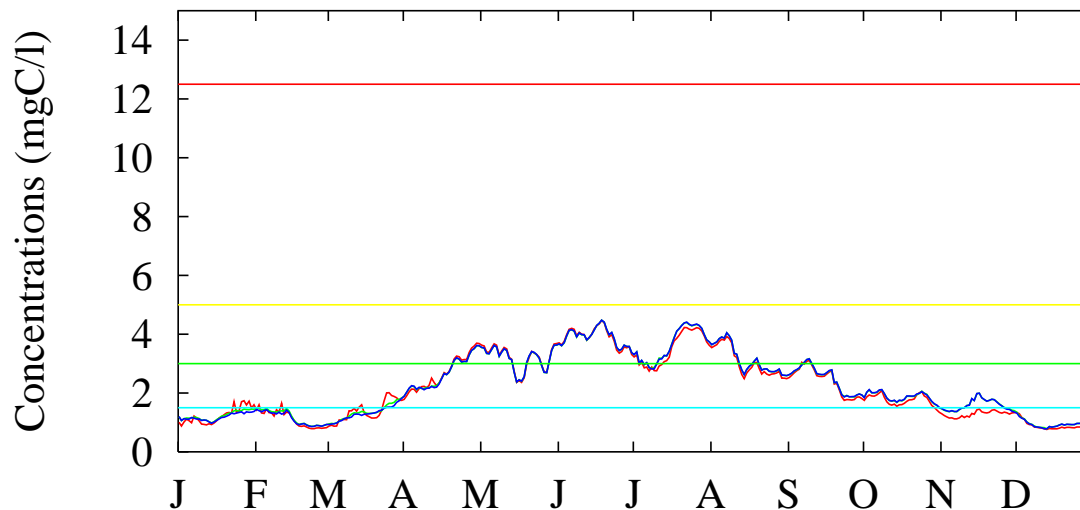
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année sèche : COTB



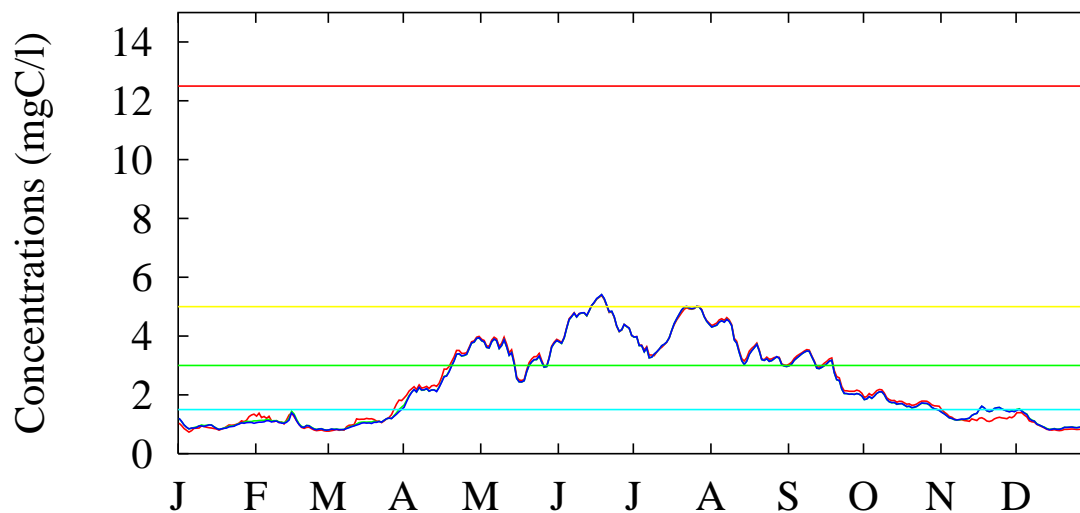
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année sèche : COTB



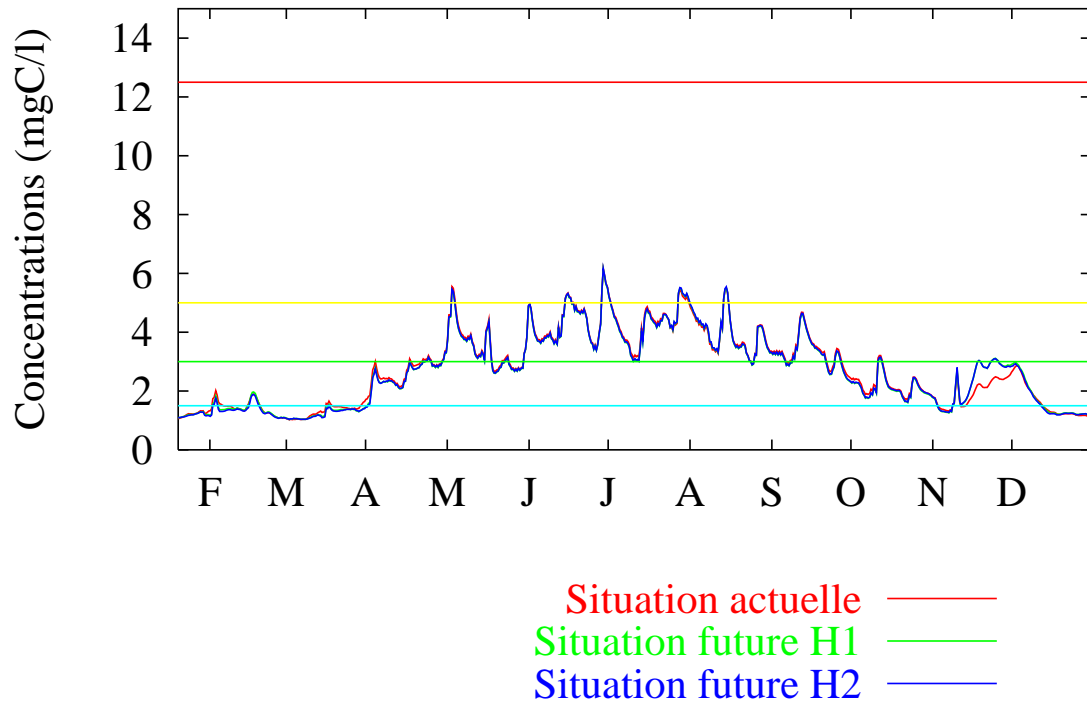
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année sèche : COTB

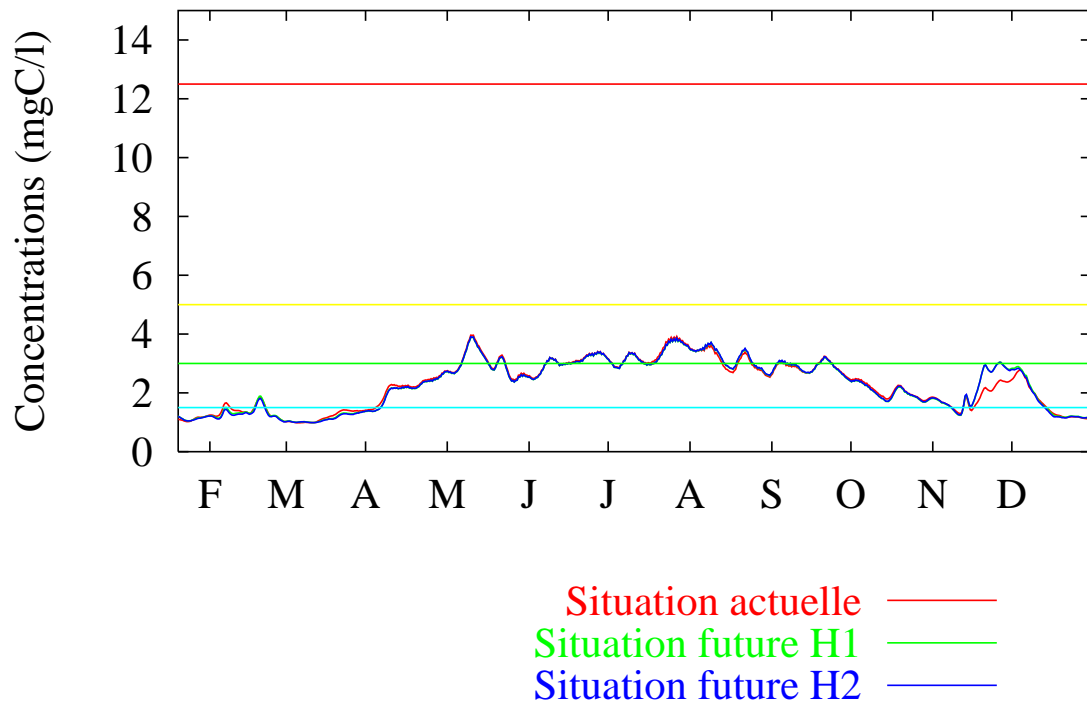


Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

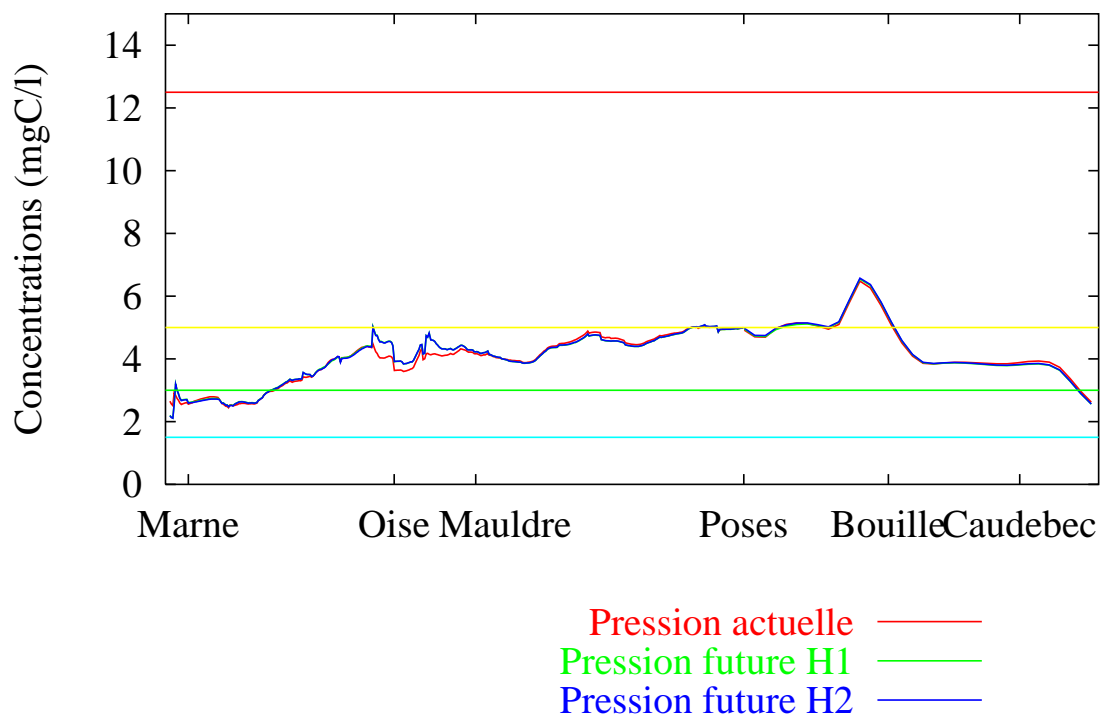
La Bouille, année sèche : COTB



Caudebec, année sèche : COTB



Année sèche, COTB

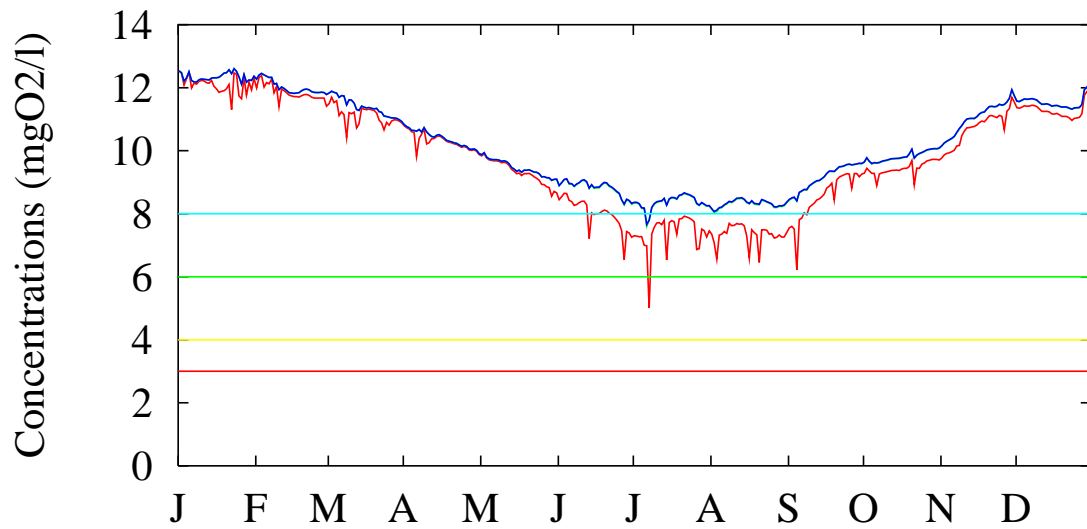


Annexe IV

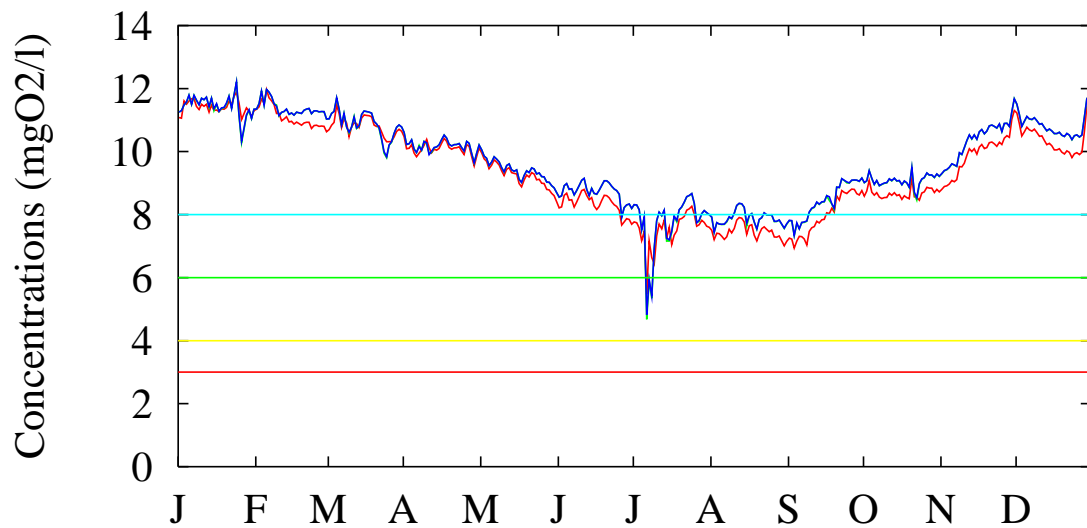
Prospective : Année Humide

Chapitre 25

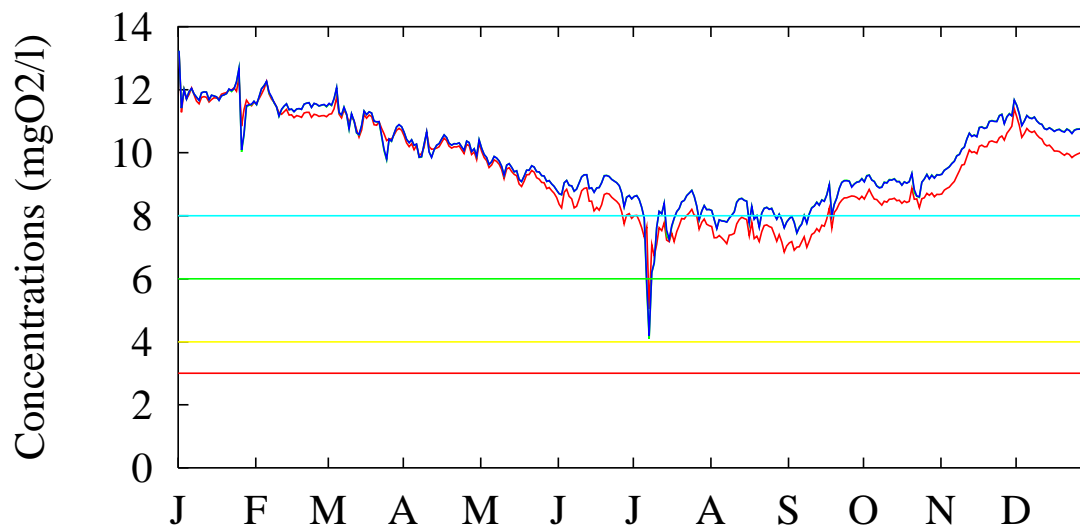
L'oxygène

Marne, amont confluence, année humide : O₂

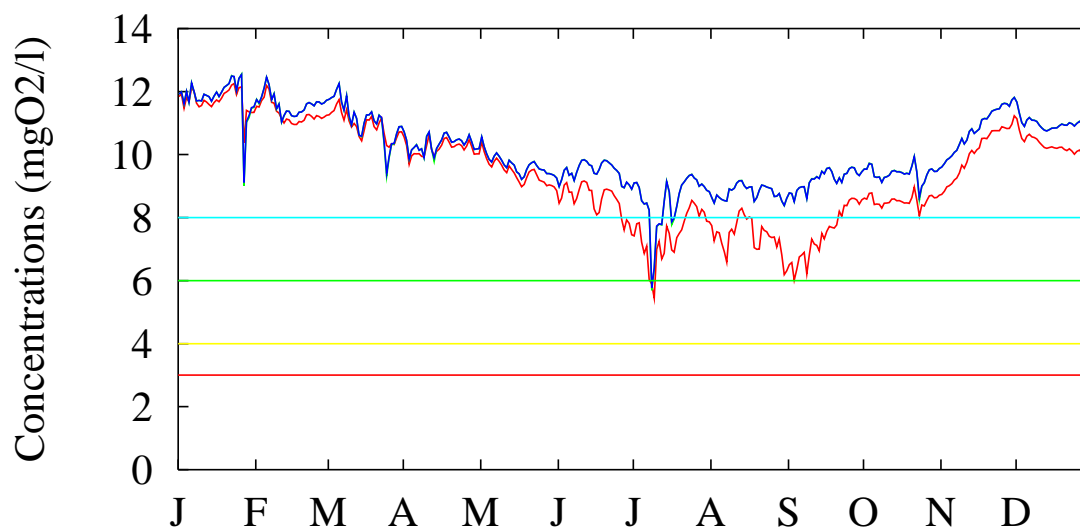
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année humide : O₂

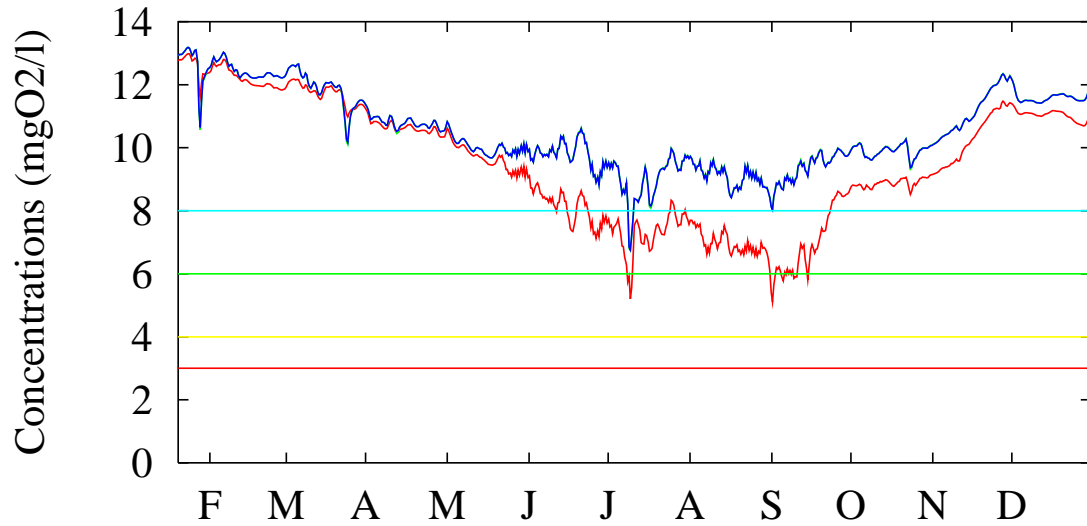
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année humide : O₂

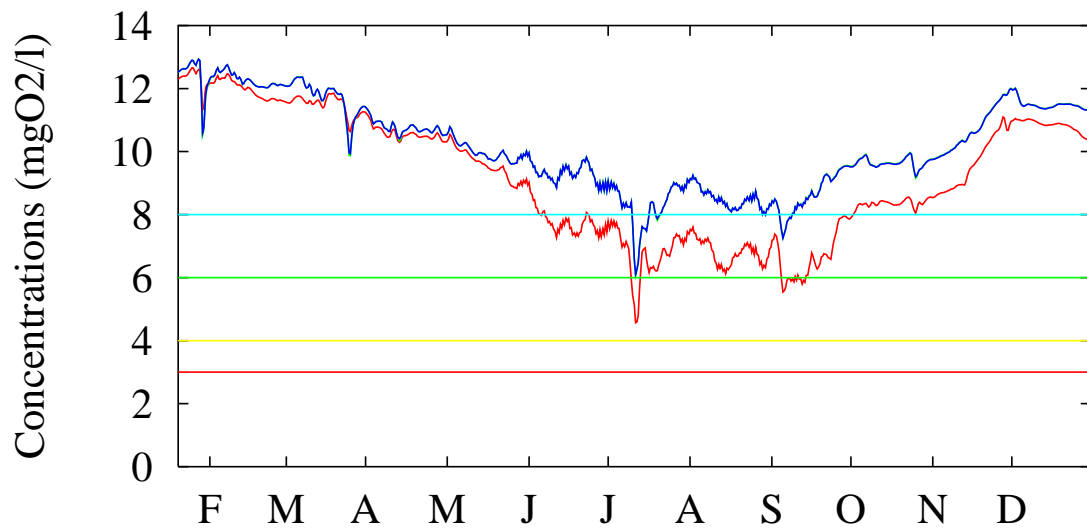
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : O₂

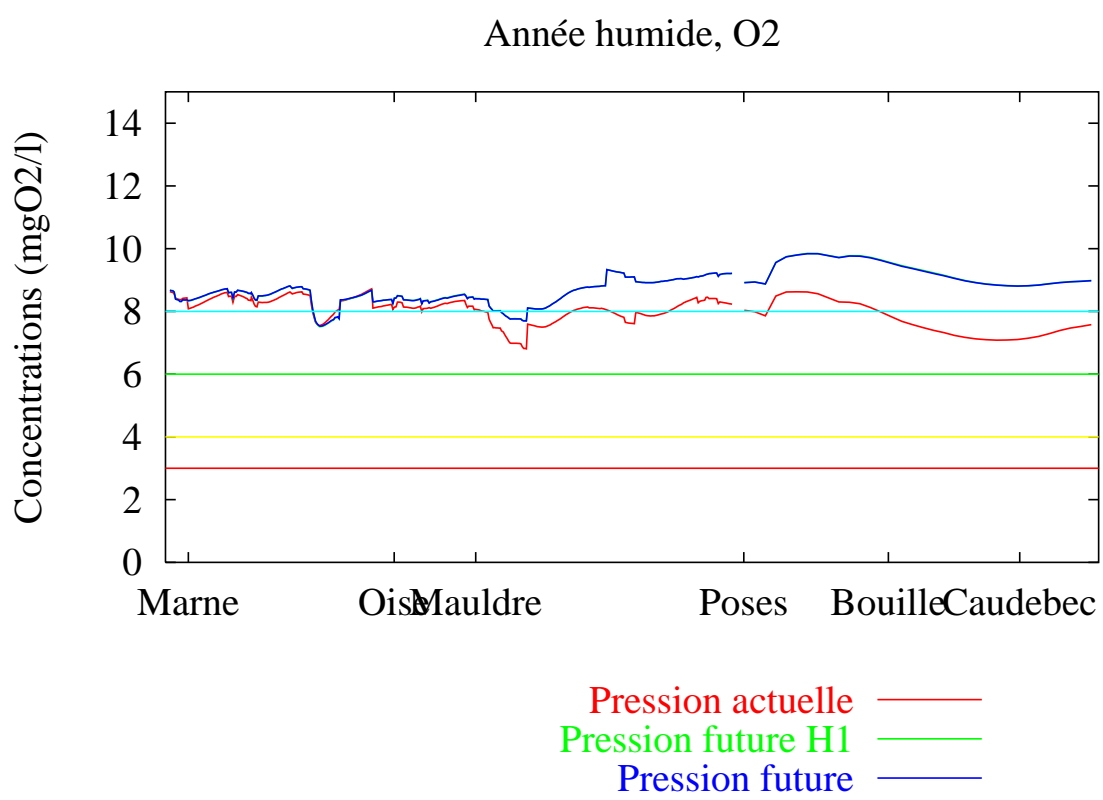
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année humide : O₂

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Caudebec, année humide : O₂

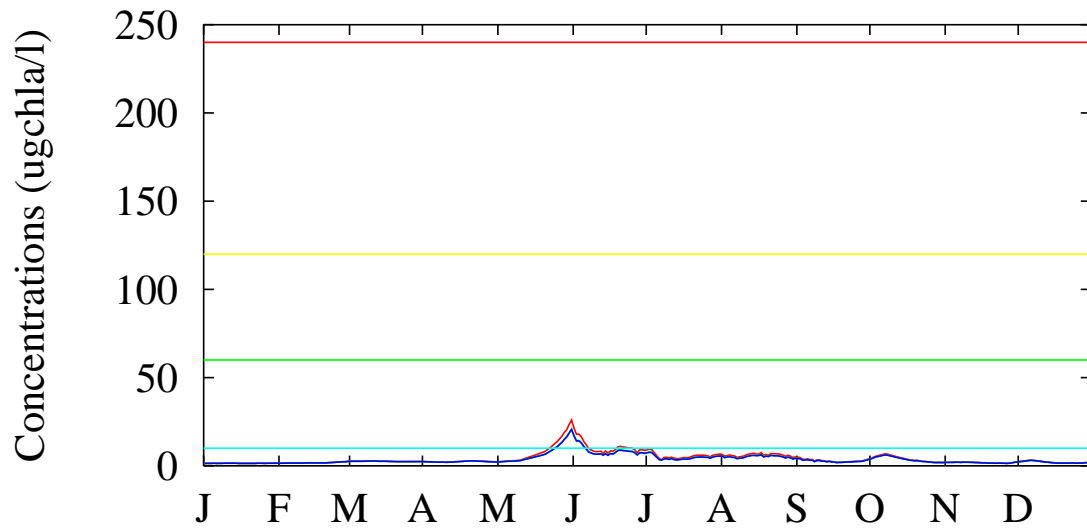
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —



Chapitre 26

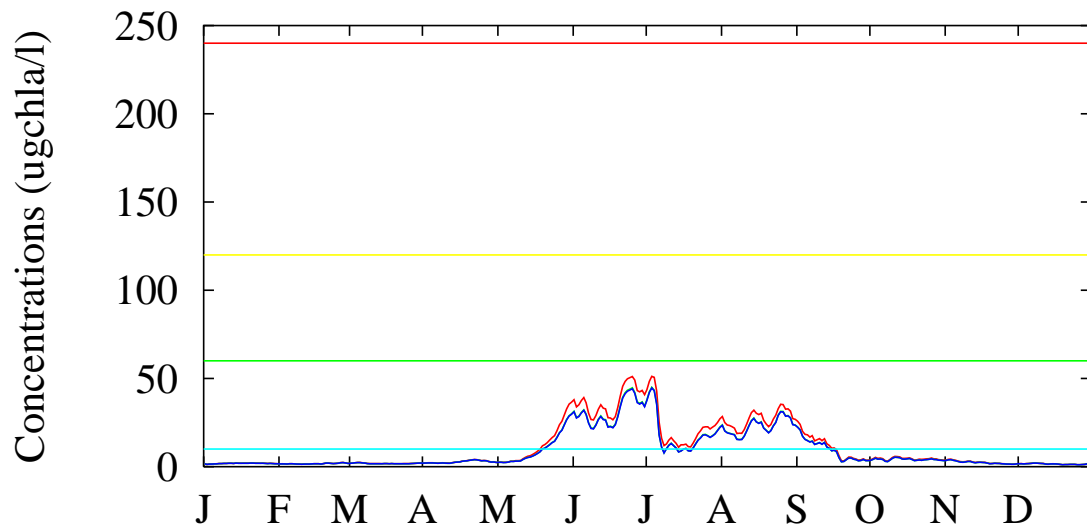
Chlorophylle *a*

Marne, amont confluence, année humide : Chla



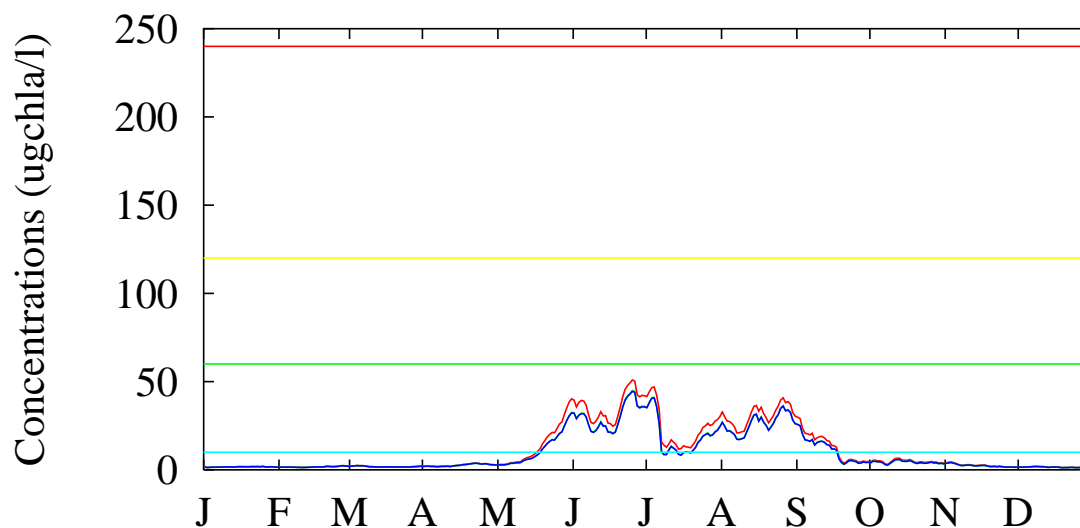
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année humide : Chla



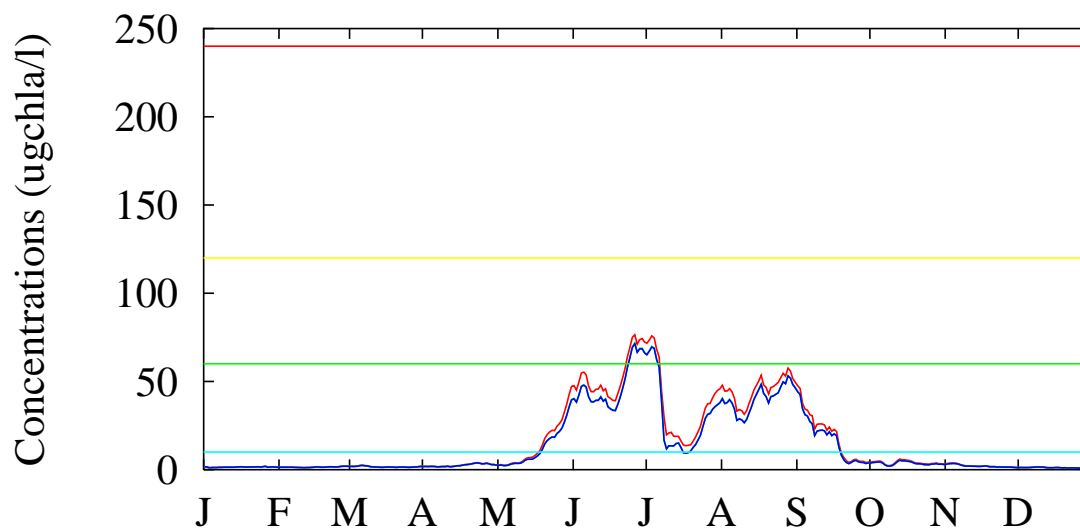
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année humide : Chla



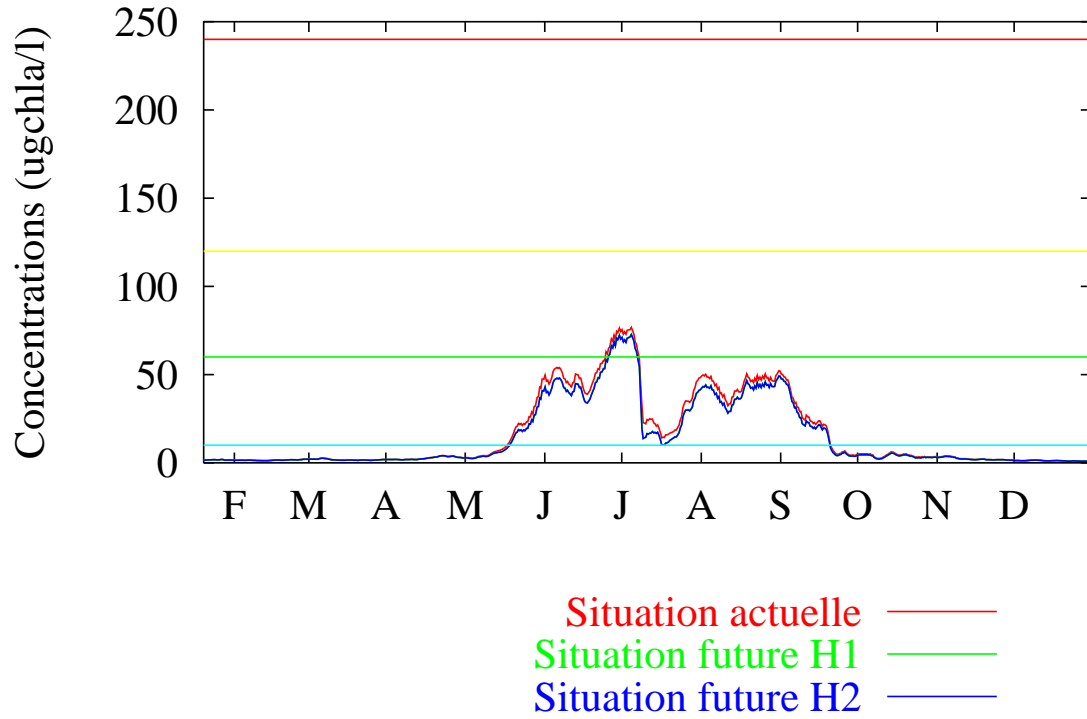
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : Chla

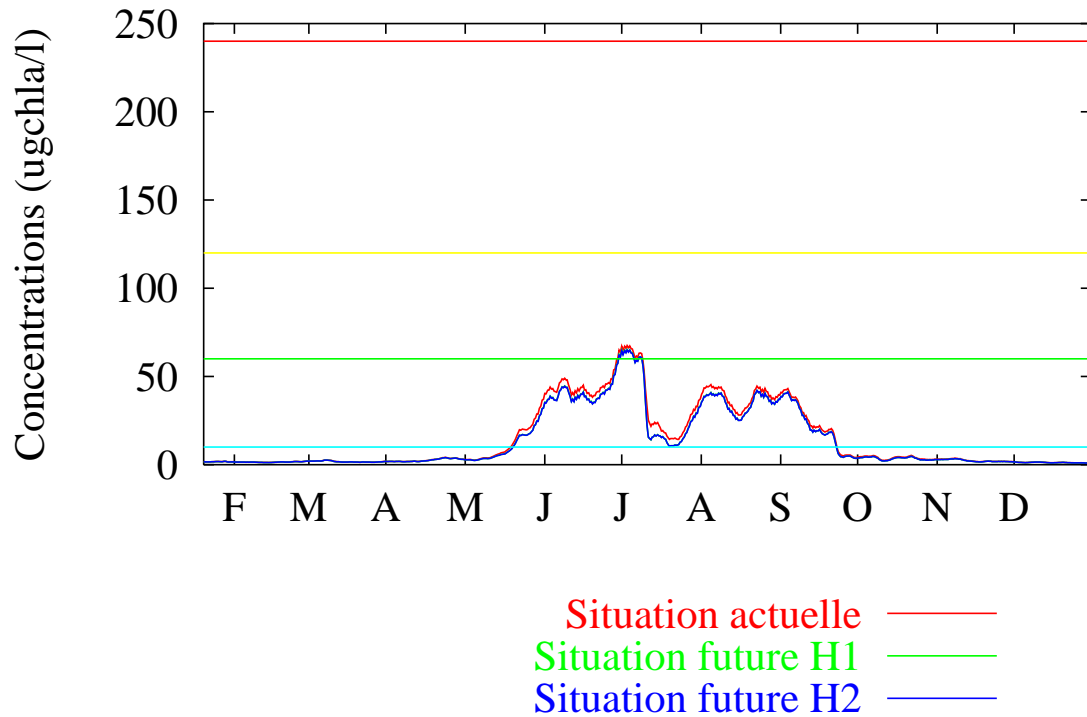


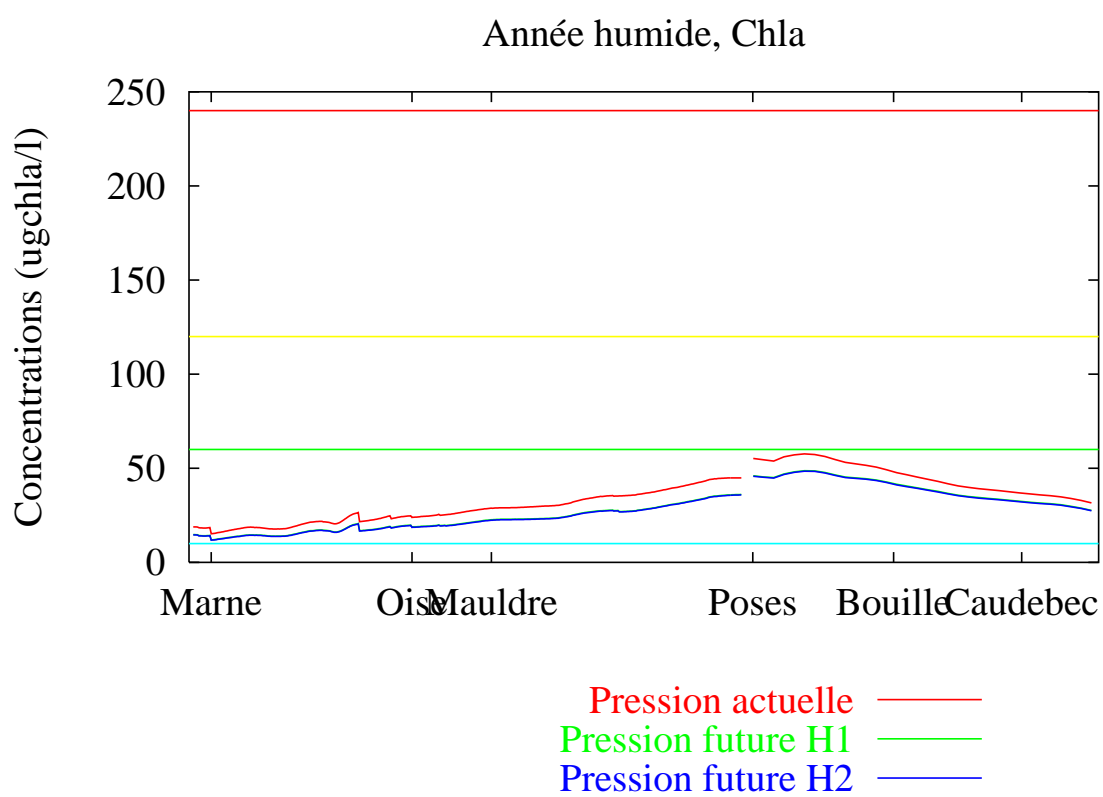
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille année humide : Chla



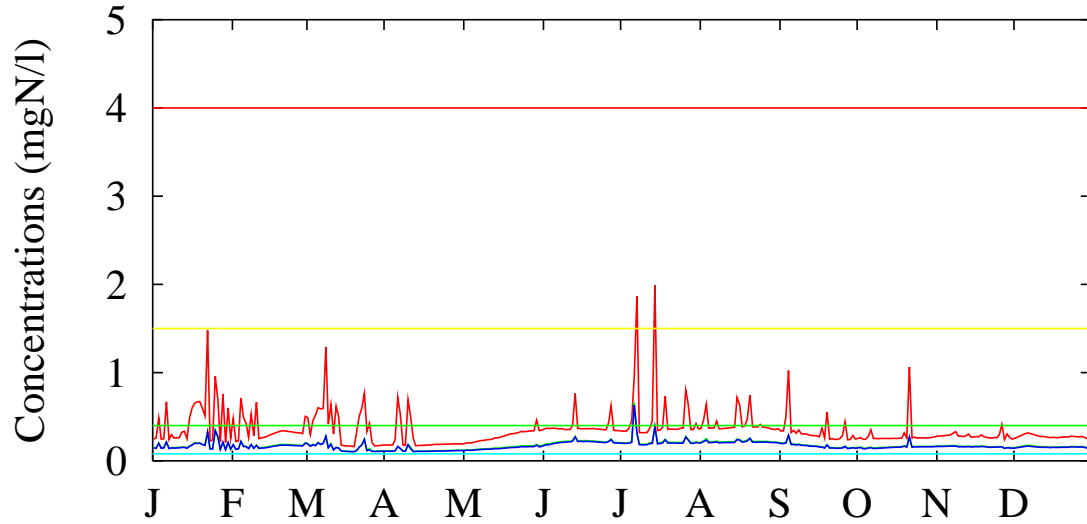
Caudebec année humide : Chla



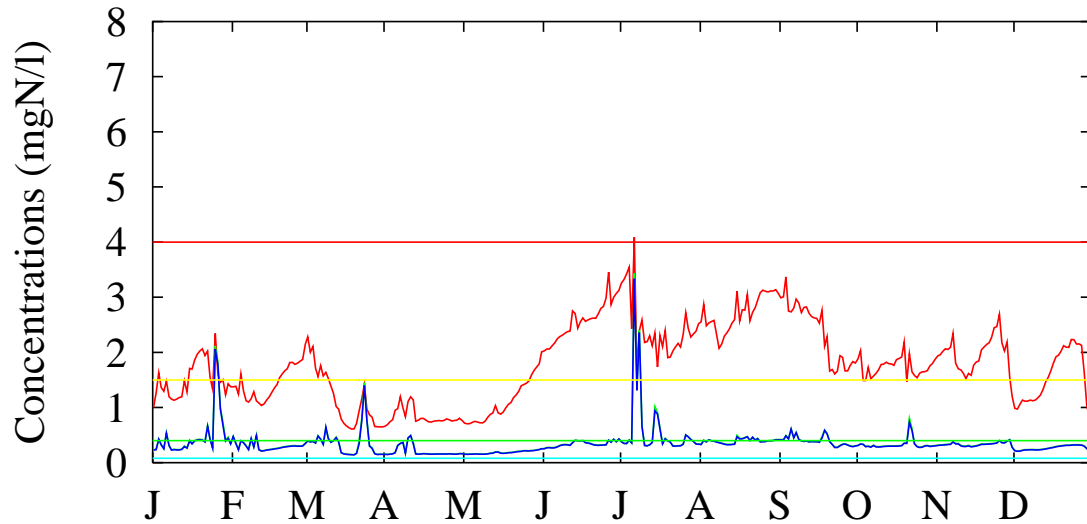


Chapitre 27

Ammoniaque

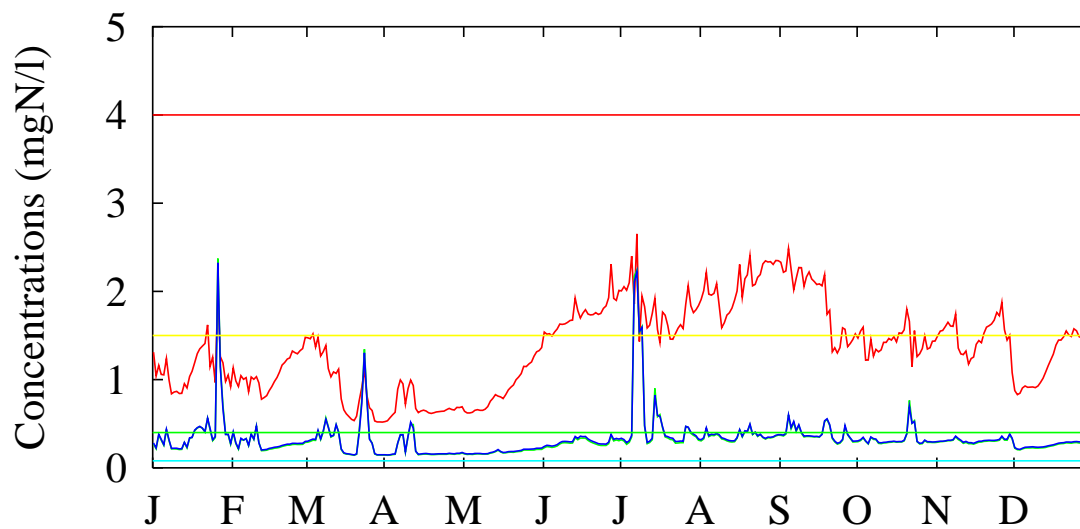
Marne, amont confluence, année humide : NH₄

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année humide : NH₄

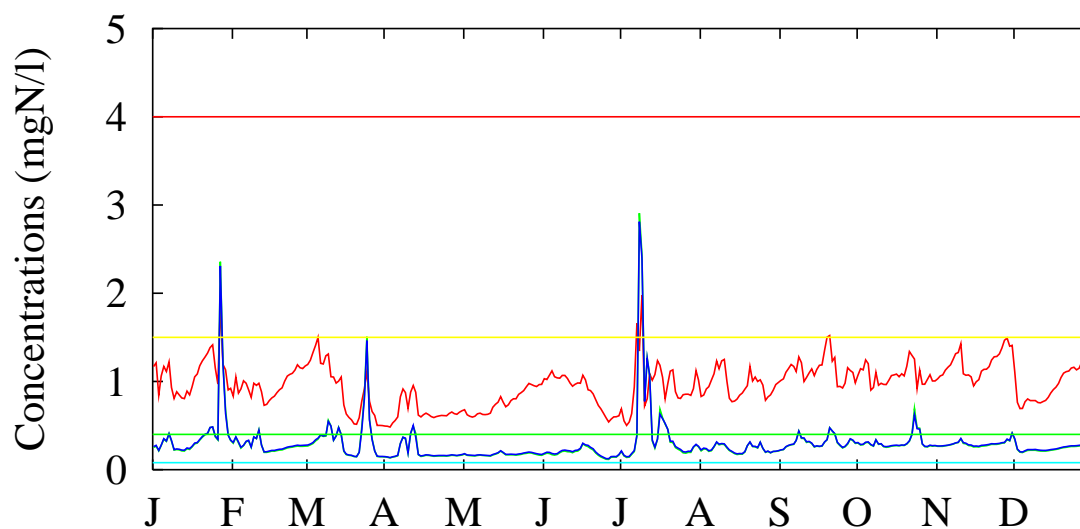
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année humide : NH4

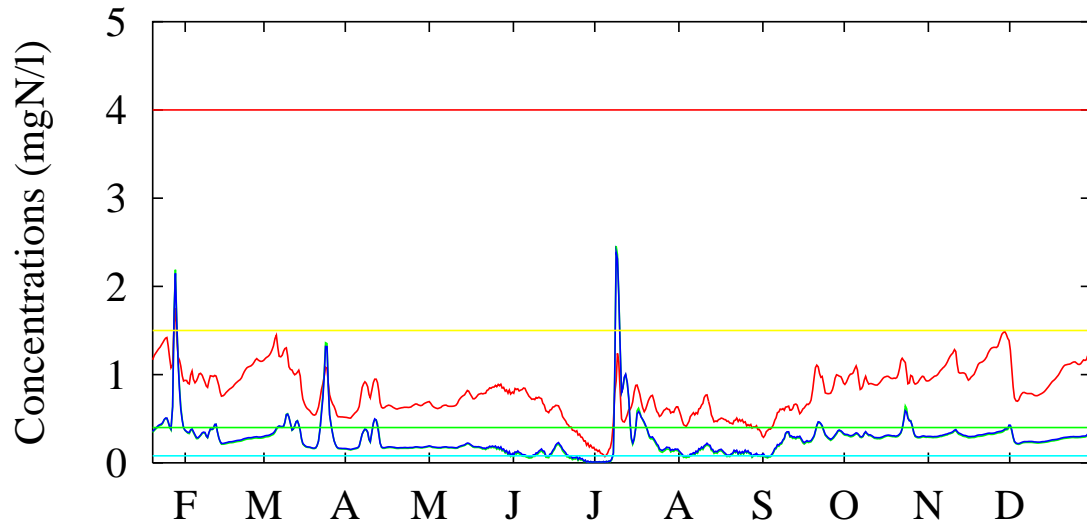


Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future ———

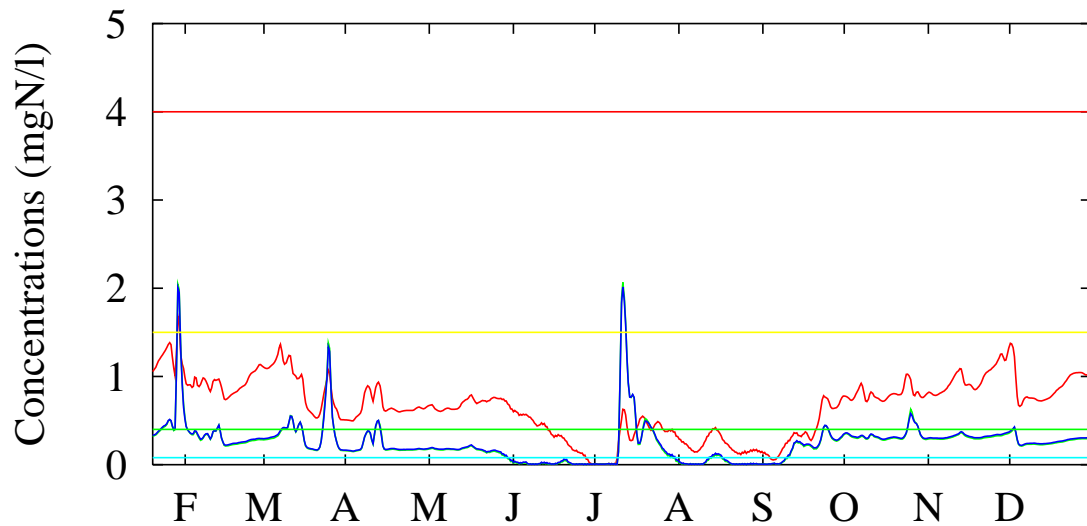
Poses, amont barrage, année humide : NH4



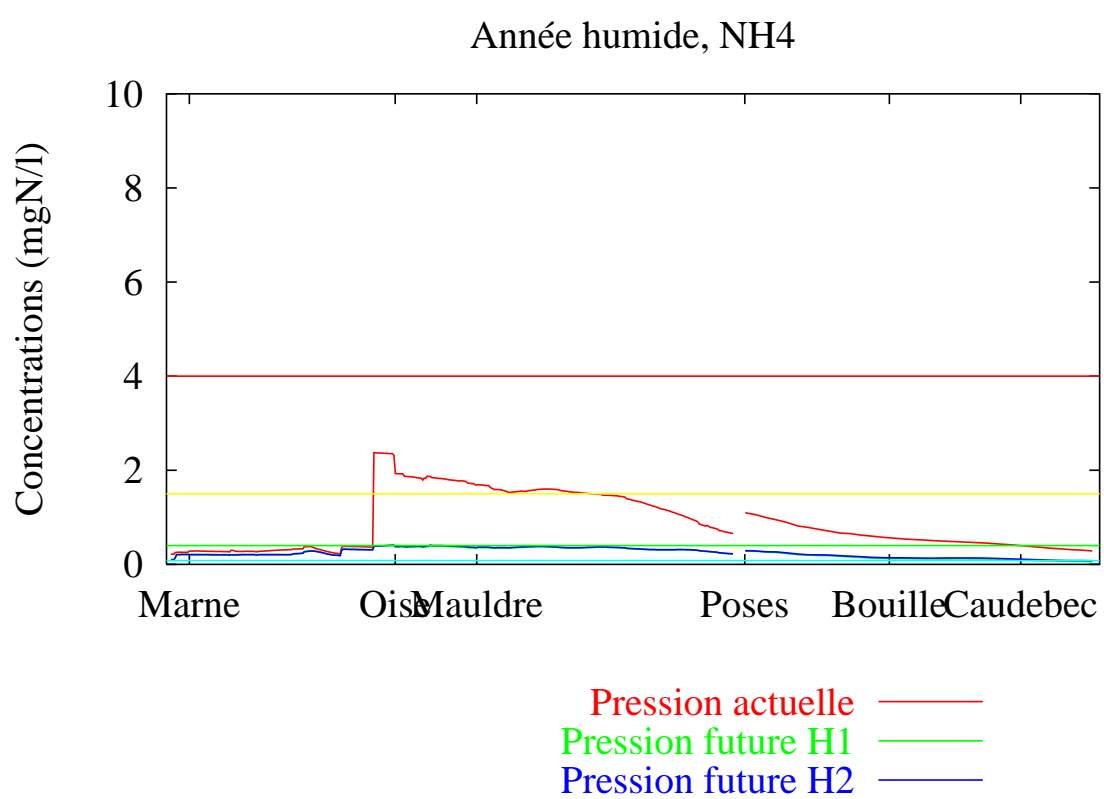
Situation actuelle ———
 Situation future H1 ———
 Situation future ———

La Bouille, année humide : NH₄

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

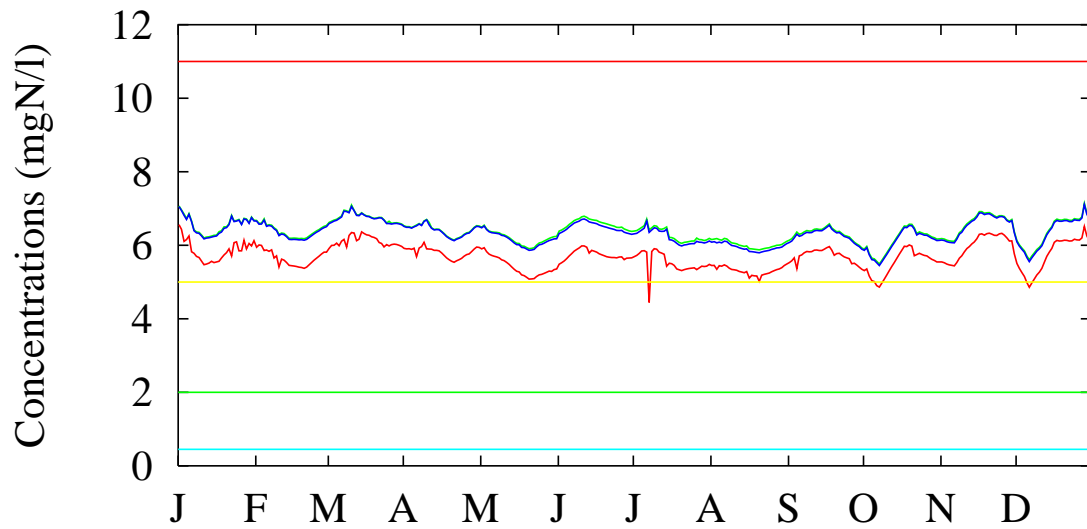
Caudebec, année humide : NH₄

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

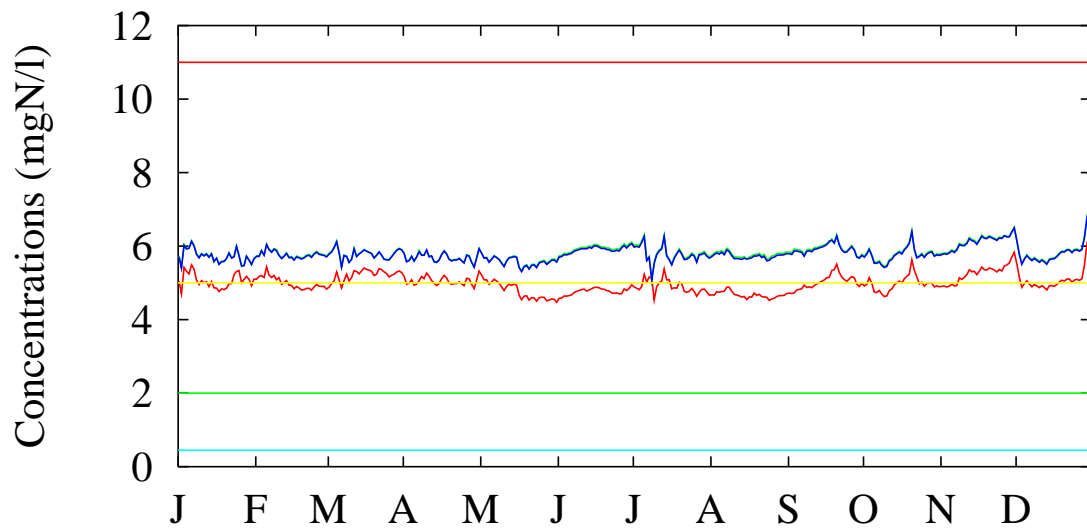


Chapitre 28

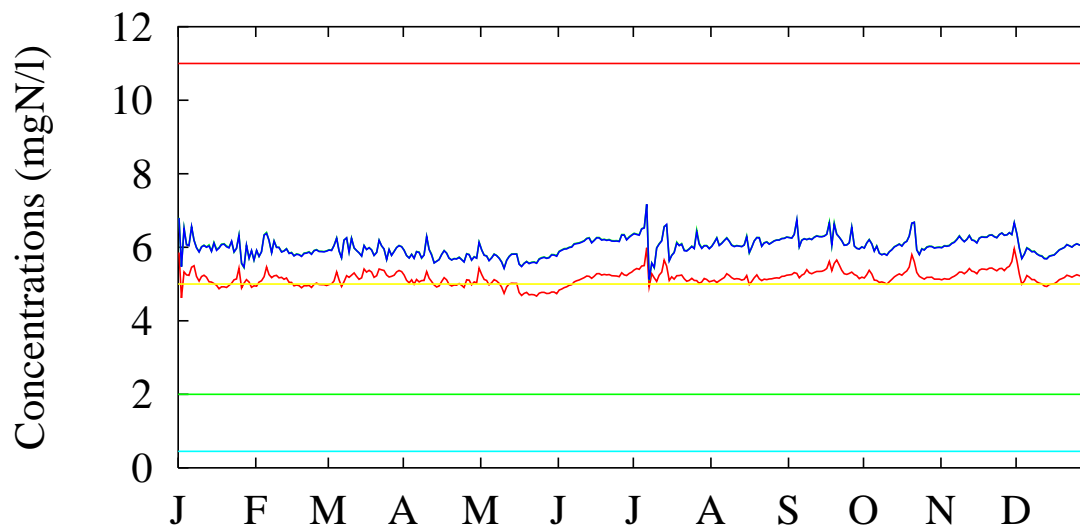
Nitrates

Marne, amont confluence, année humide : N-NO₃

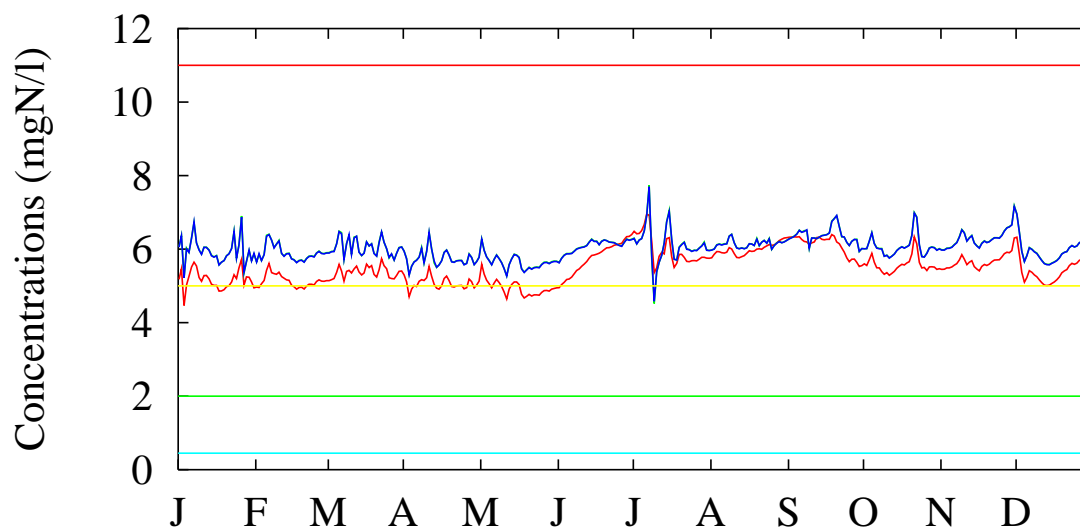
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année humide : N-NO₃

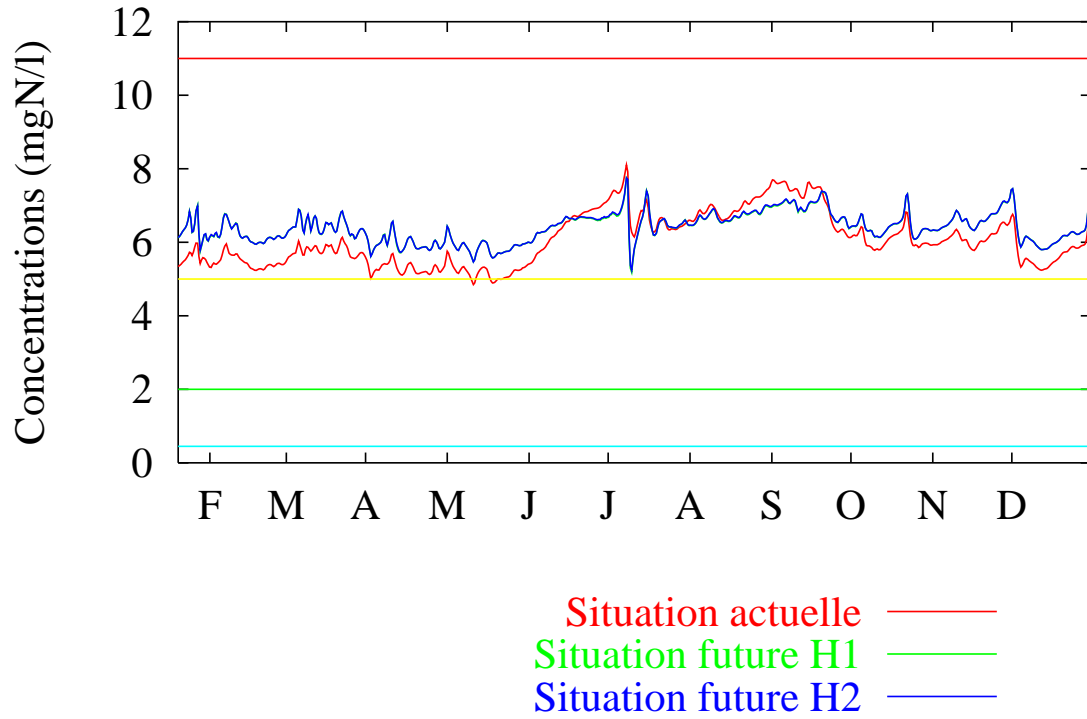
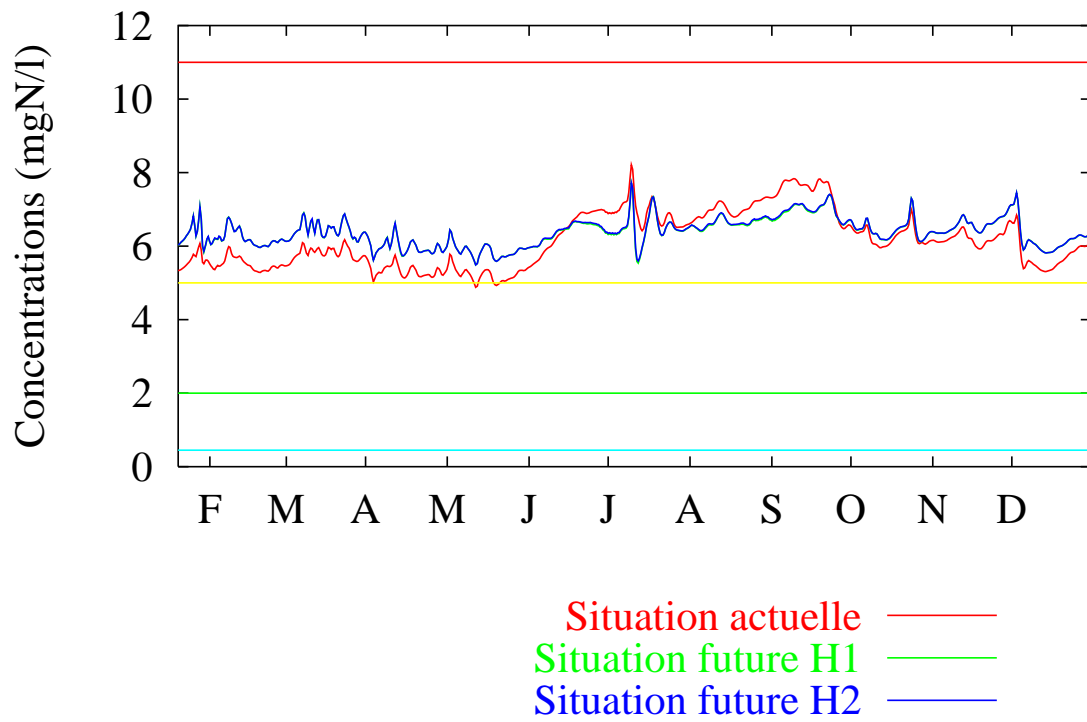
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

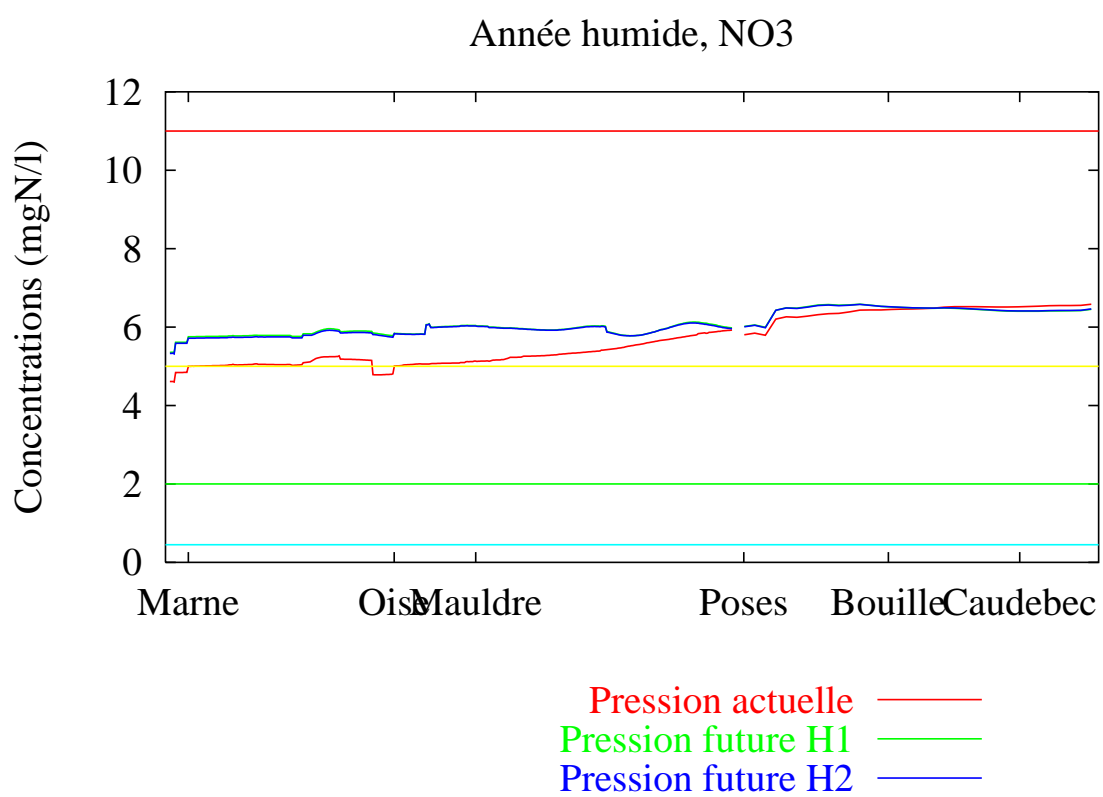
Mauldre, amont confluence, année humide : N-NO₃

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : N-NO₃

Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

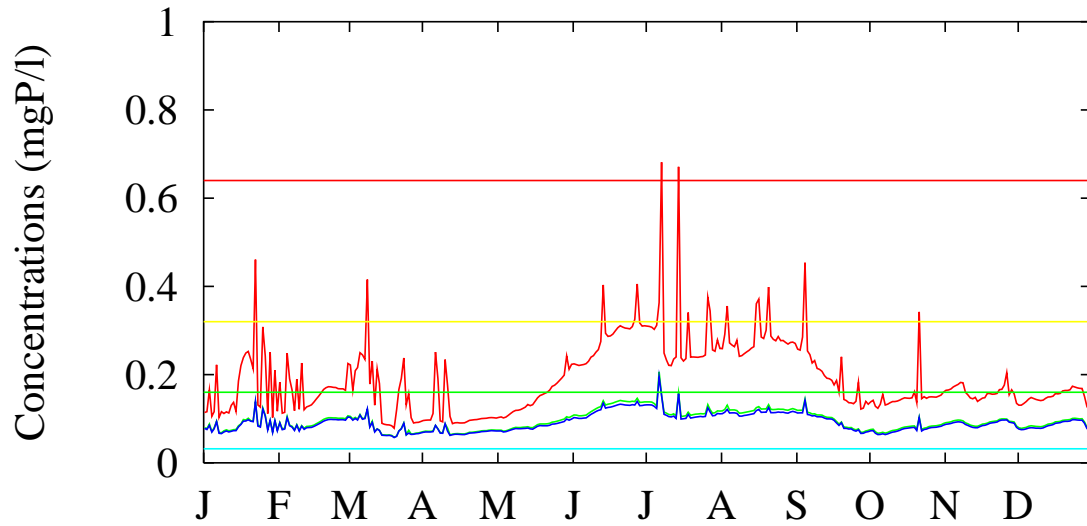
La Bouille, année humide : N-NO₃Caudebec, année humide : N-NO₃



Chapitre 29

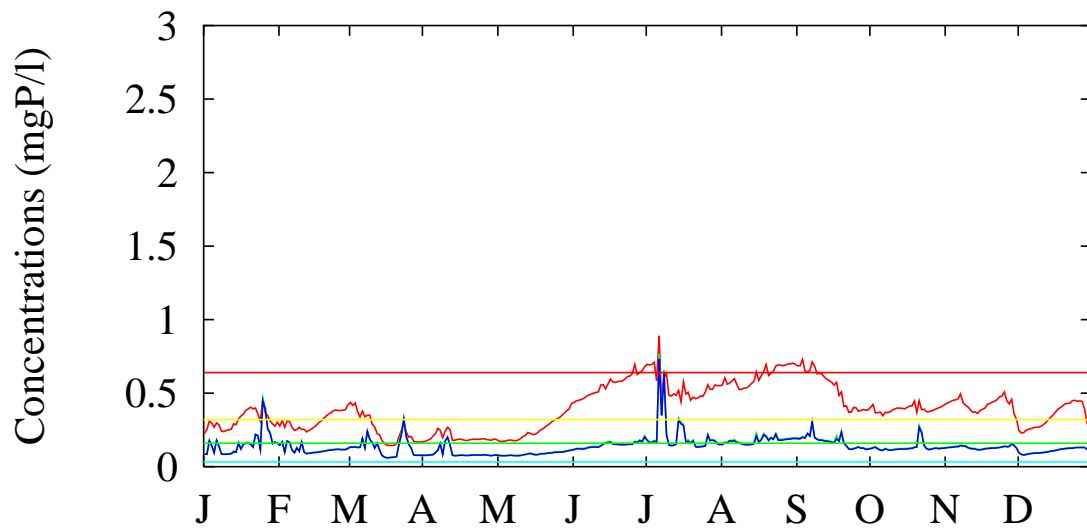
Orthophosphates

Marne, amont confluence, année humide : PO4



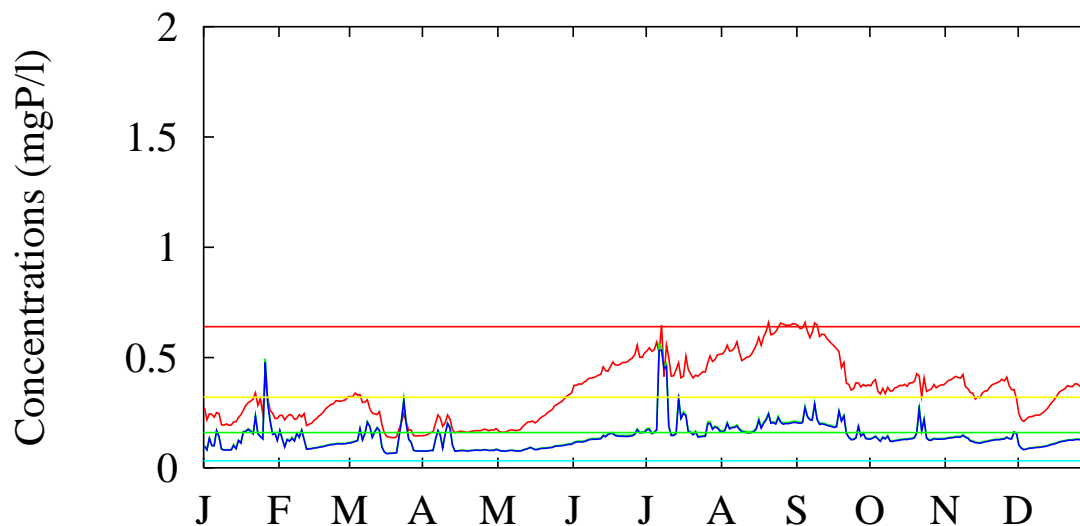
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Conflans, amont confluence, année humide : PO4



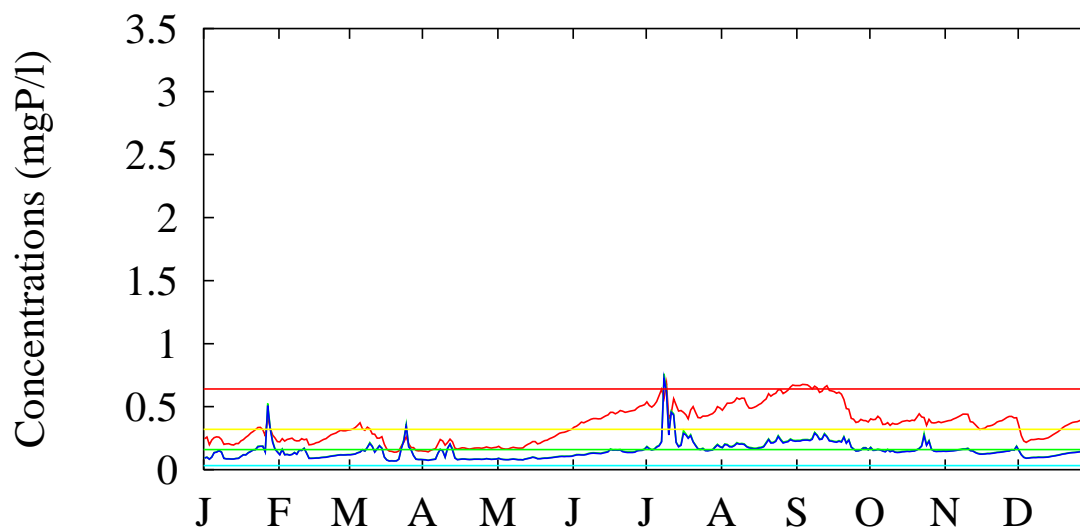
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Mauldre, amont confluence, année humide : PO4

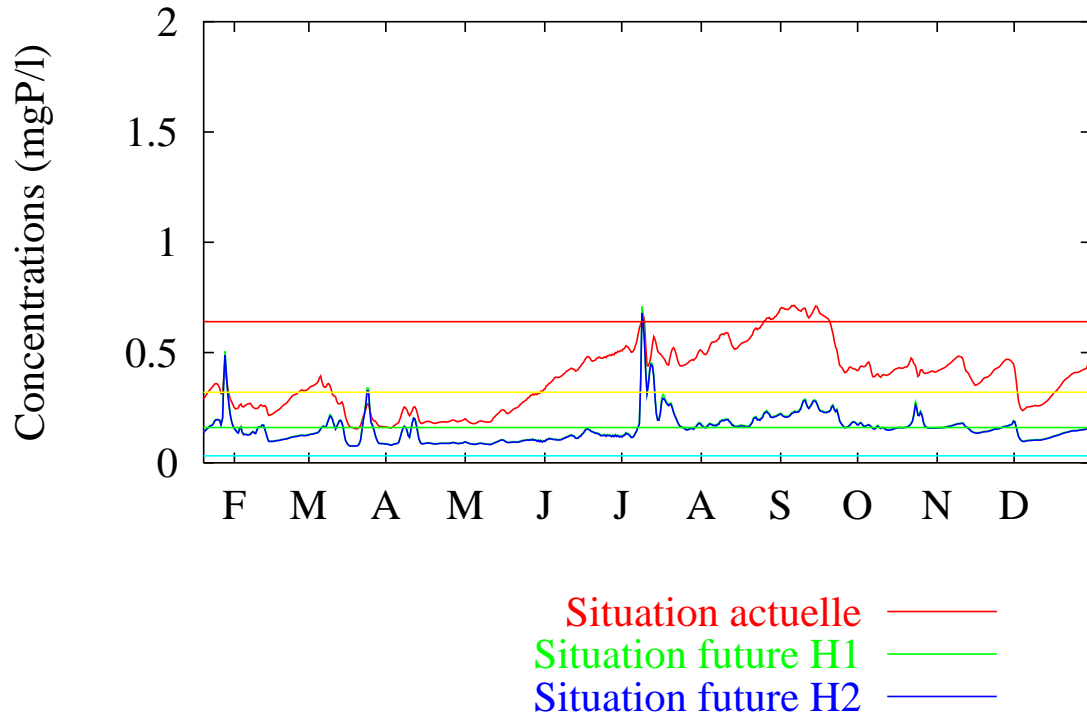
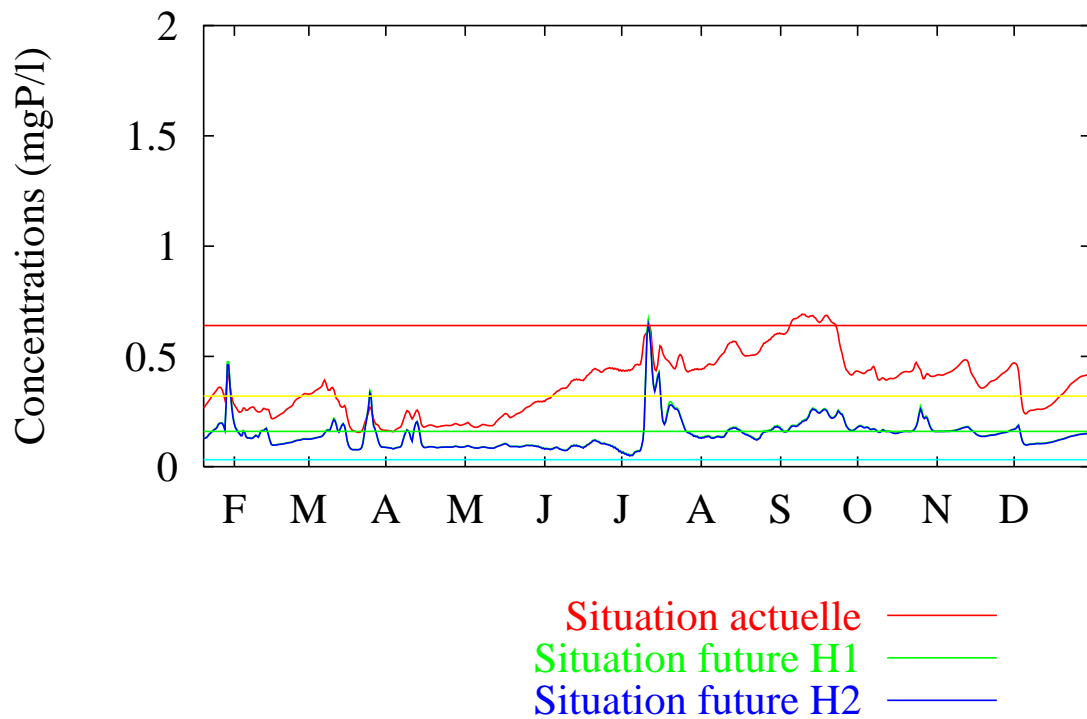


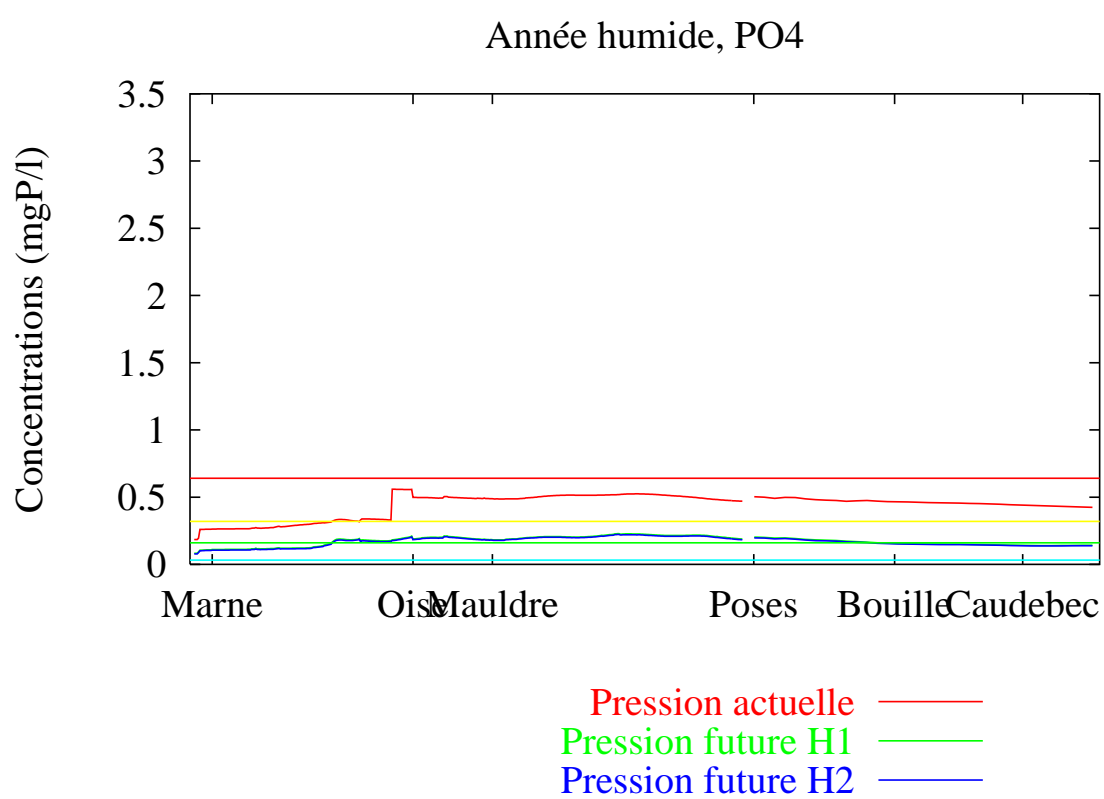
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : PO4



Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

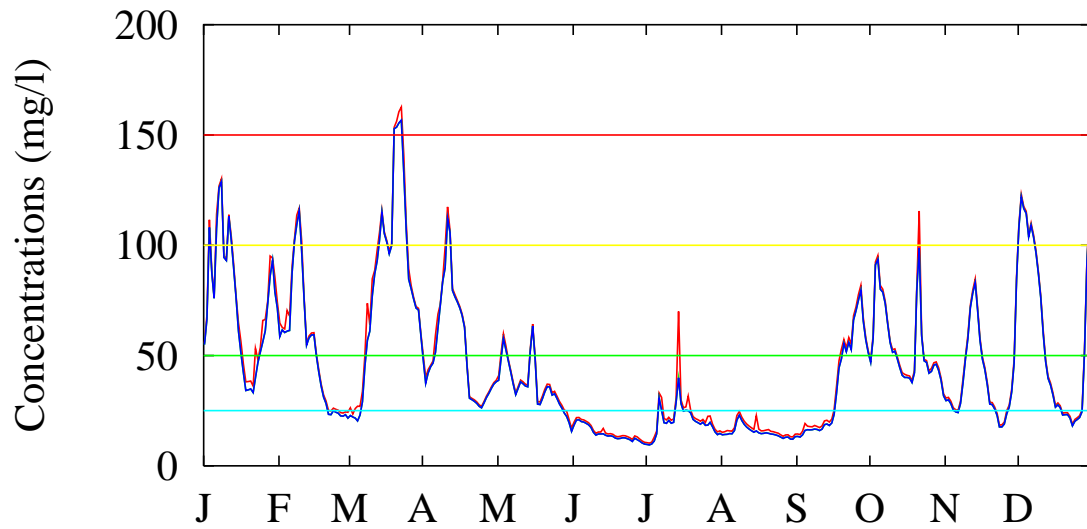
La Bouille, année humide : PO₄Caudebec, année humide : PO₄



Chapitre 30

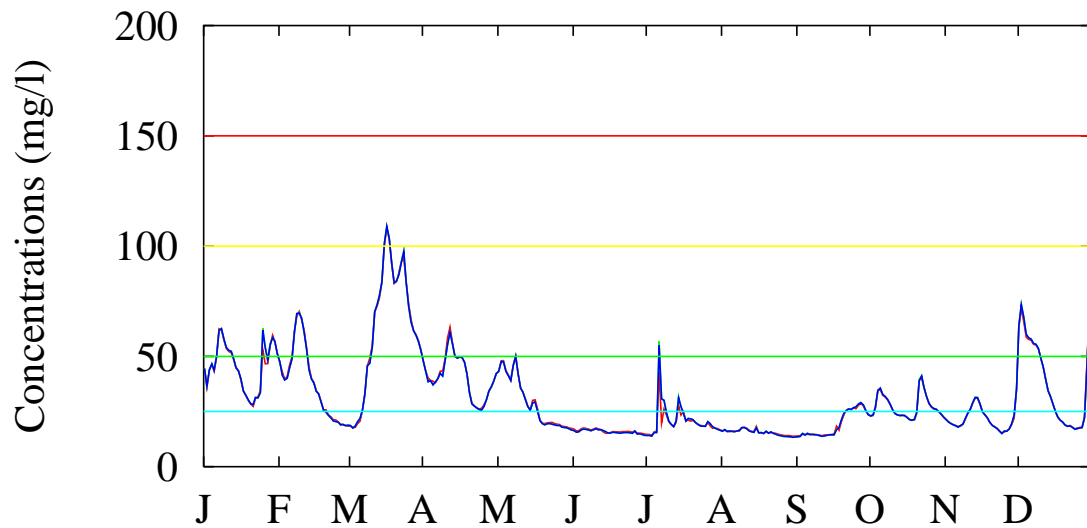
Matières en suspension totales

Marne, amont confluence, année humide : MESTot



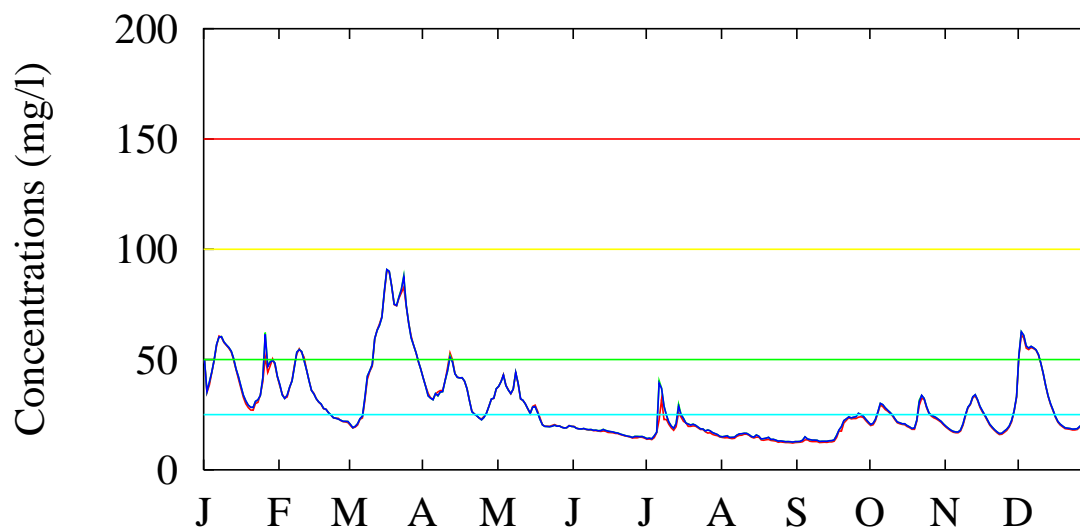
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Conflans, amont confluence, année humide : MESTot



Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Mauldre, amont confluence, année humide : MESTot

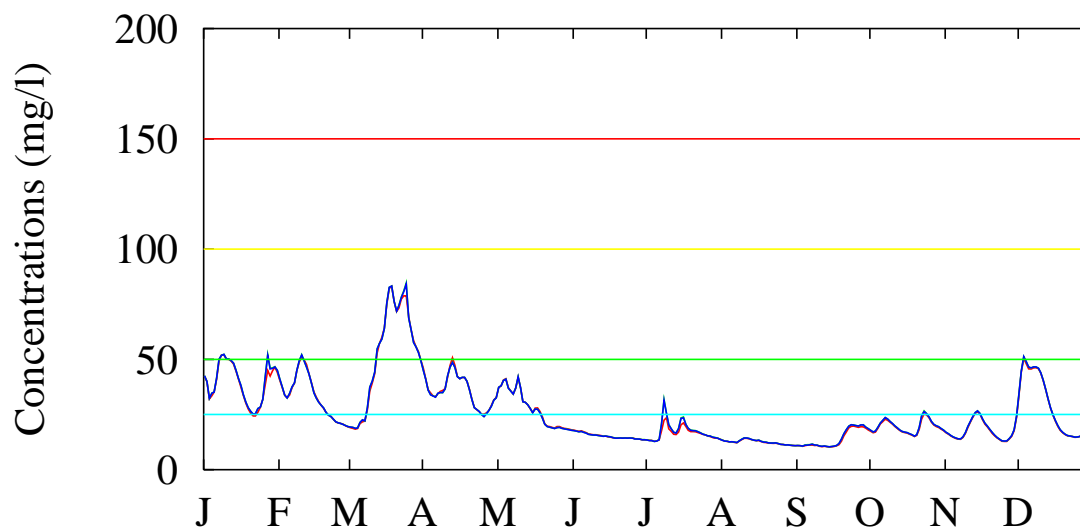


Situation actuelle ———

Situation future H1 ———

Situation future ———

Poses, amont barrage, année humide : MESTot

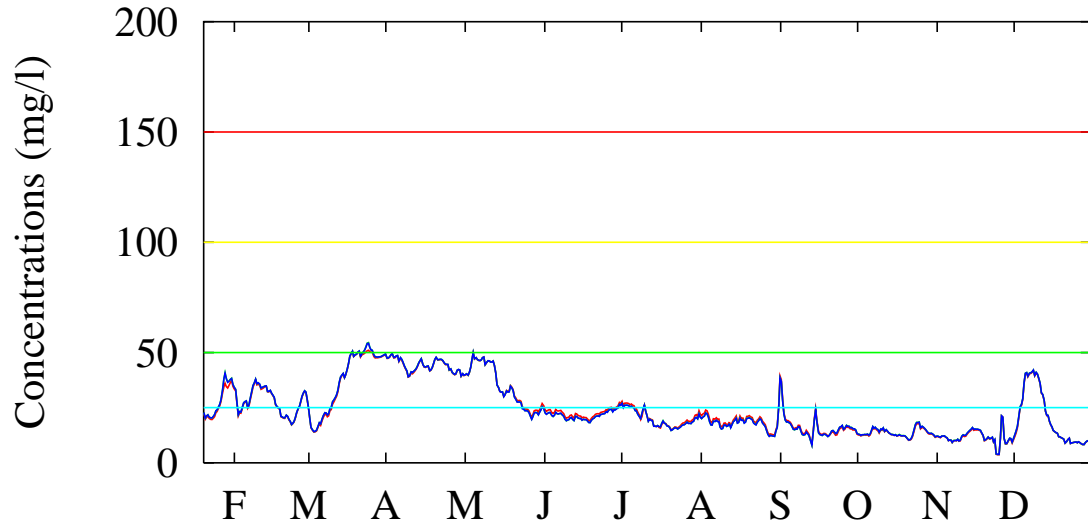


Situation actuelle ———

Situation future H1 ———

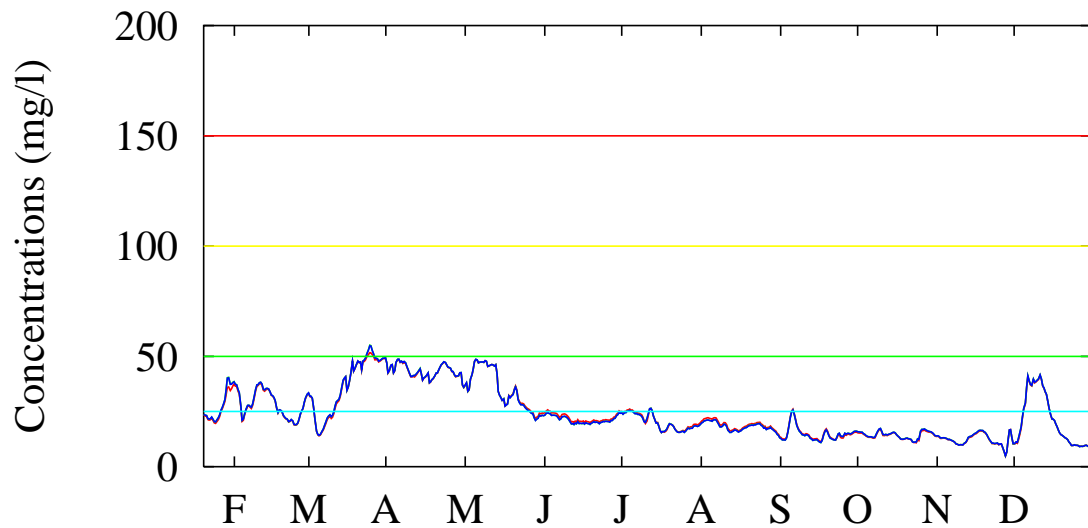
Situation future H2 ———

La Bouille, année humide : MESTot

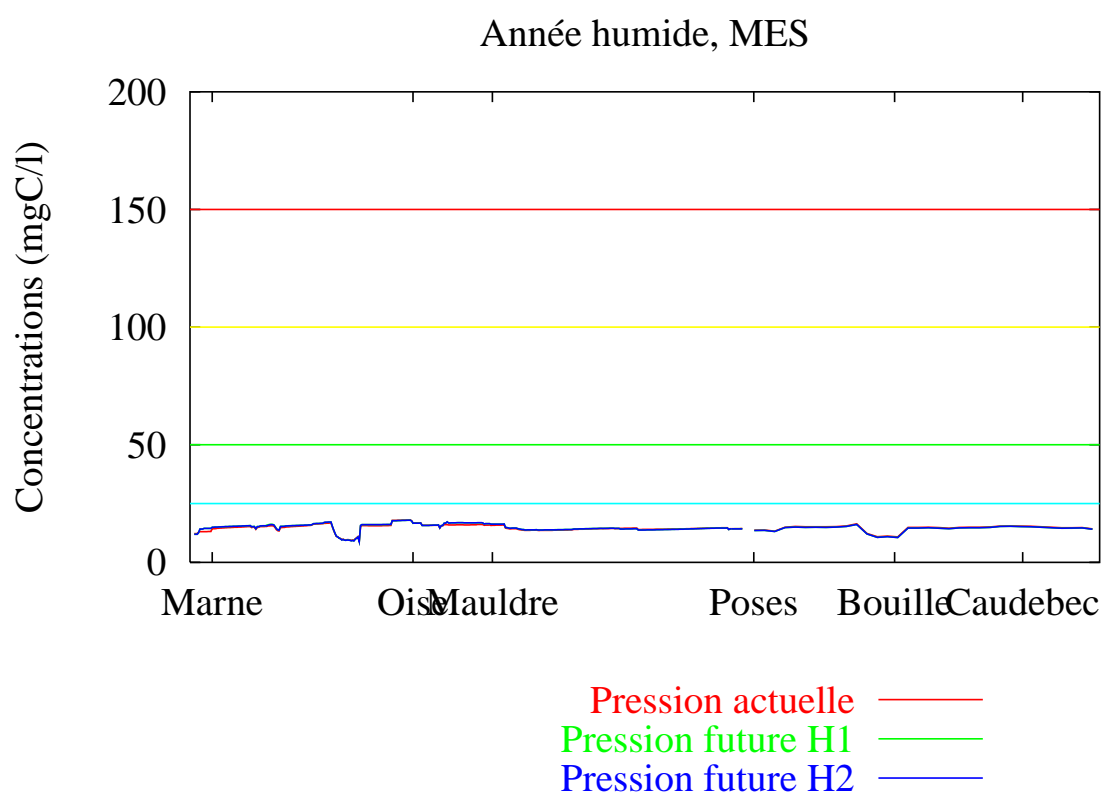


Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Caudebec, année humide : MESTot



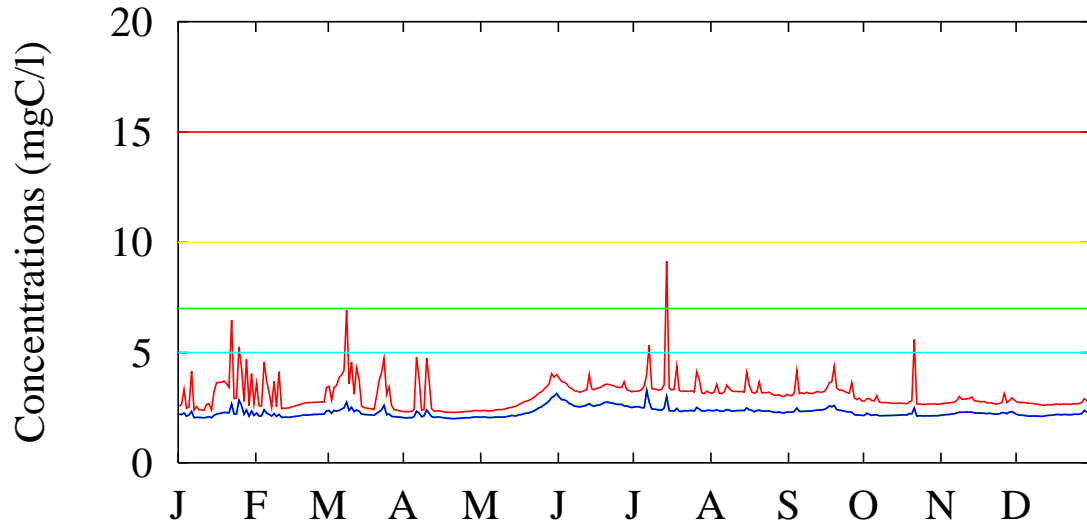
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———



Chapitre 31

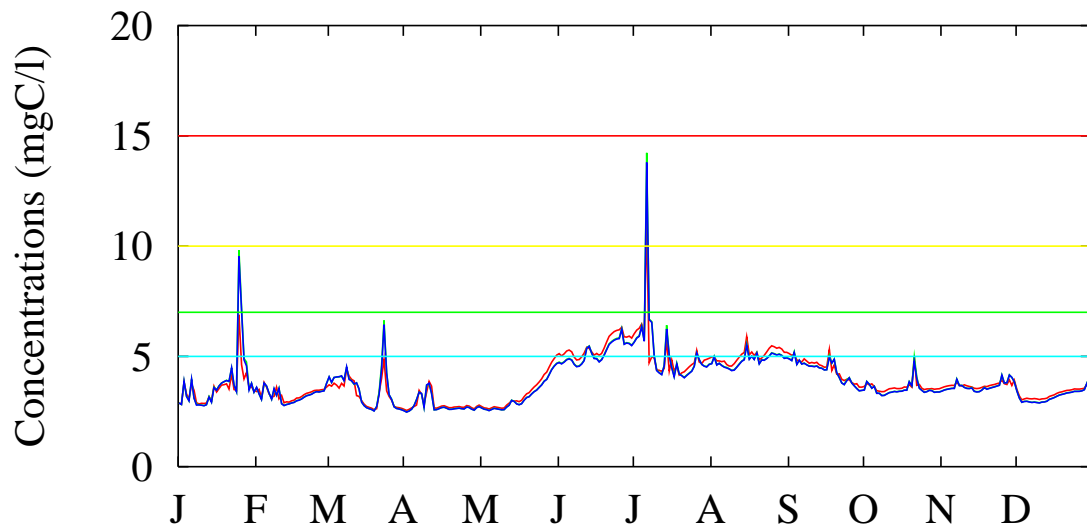
Carbone organique total

Marne, amont confluence, année humide : COT



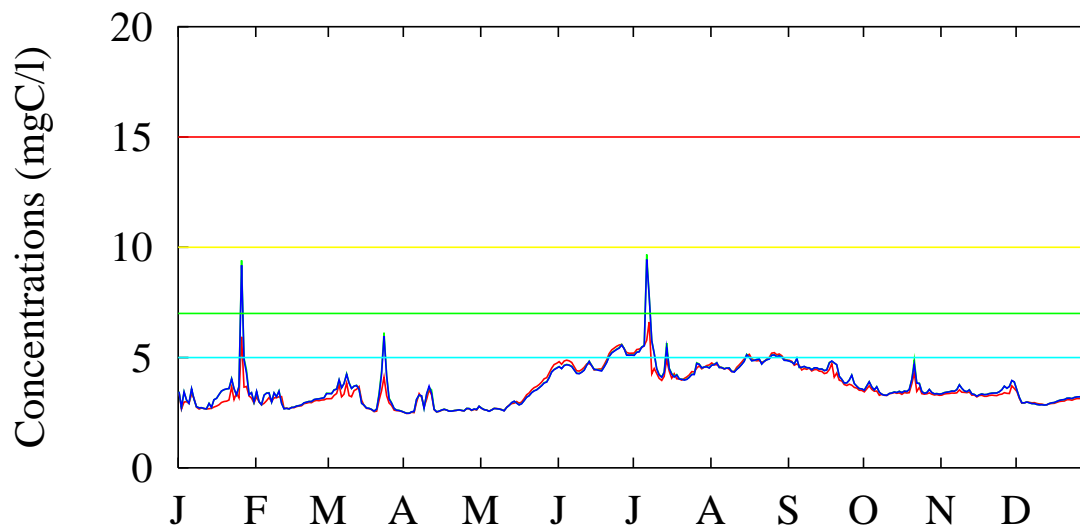
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Conflans, amont confluence, année humide : COT



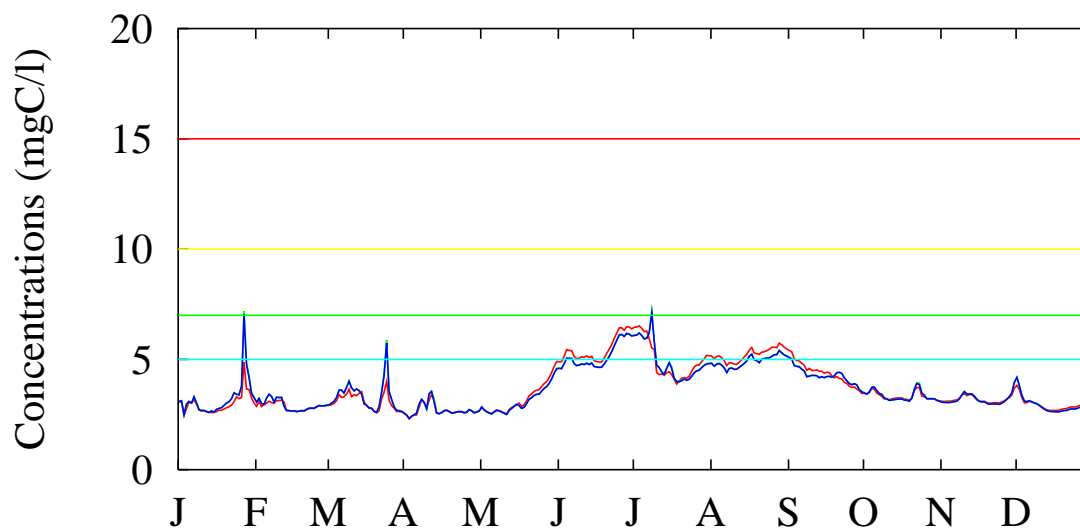
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Mauldre, amont confluence, année humide : COT



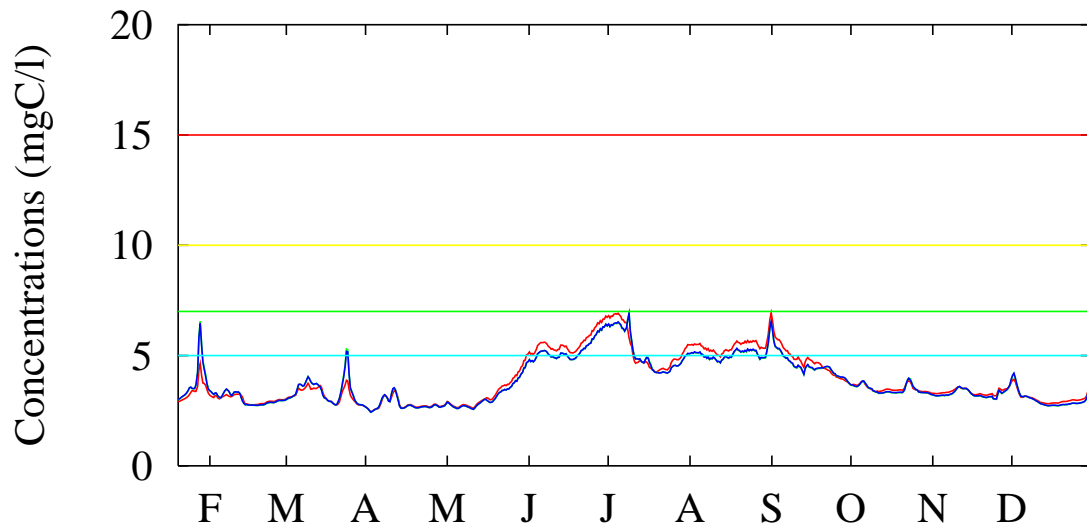
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : COT



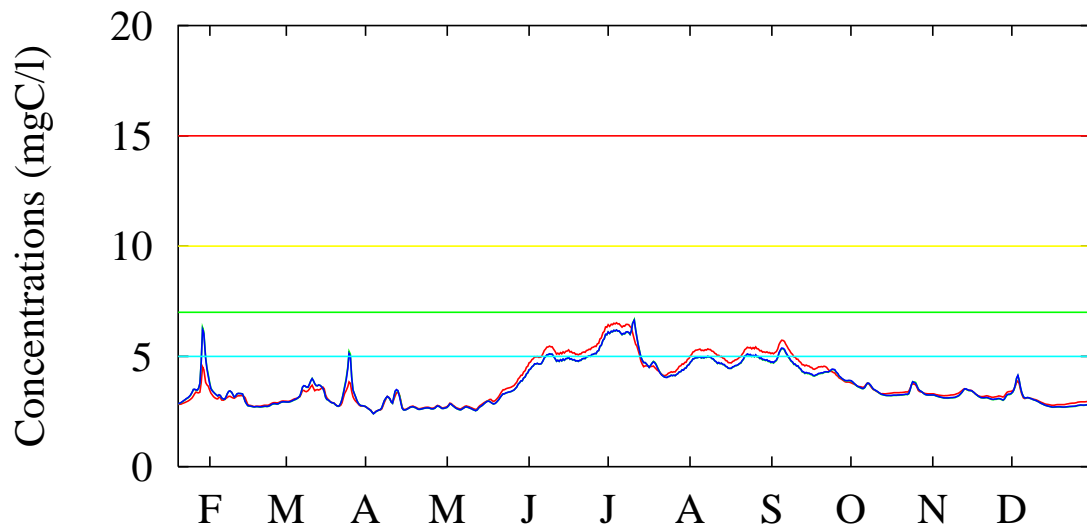
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année humide : COT

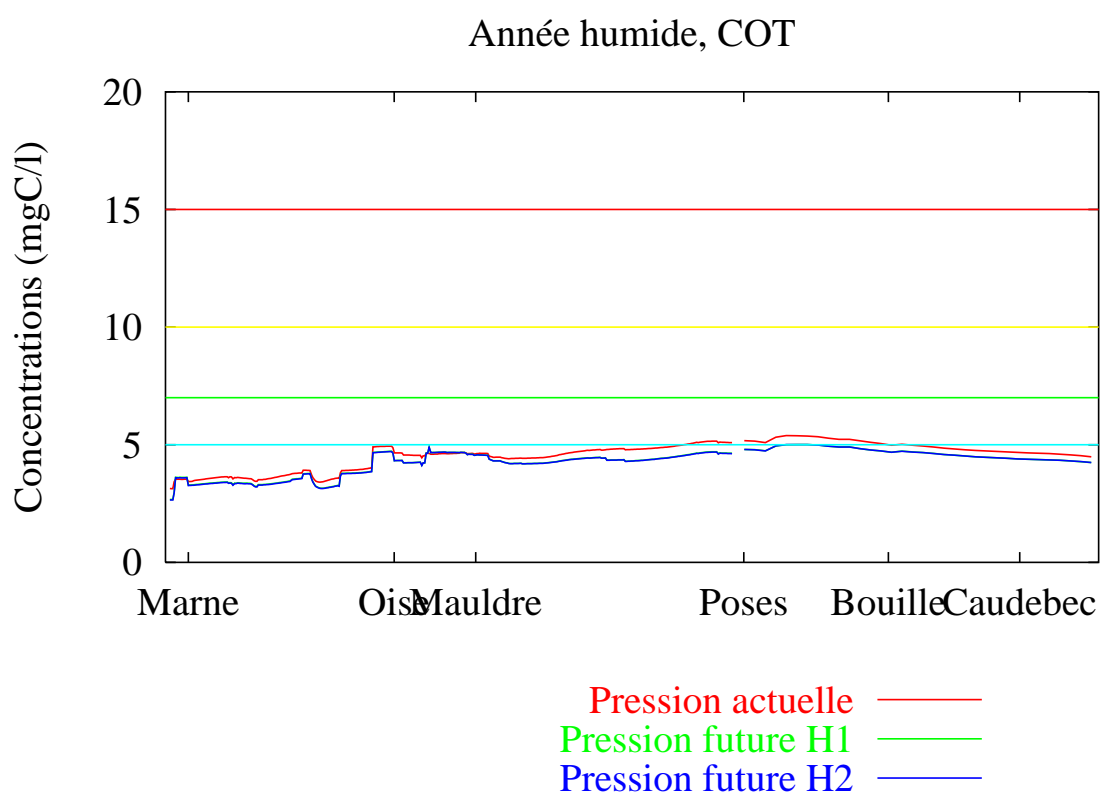


Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Caudebec, année humide : COT



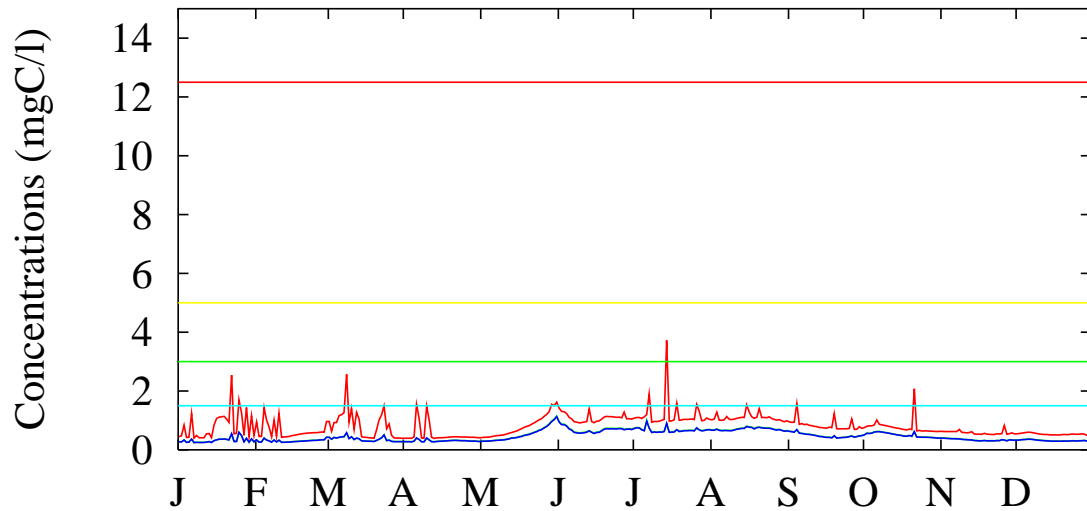
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —



Chapitre 32

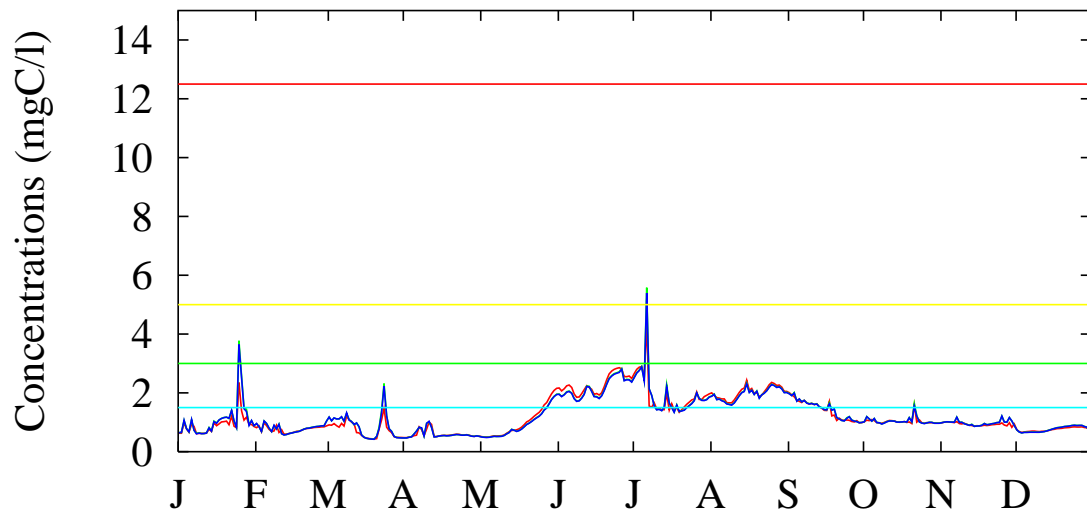
Carbone organique total biodégradable

Marne, amont confluence, année humide : COTB



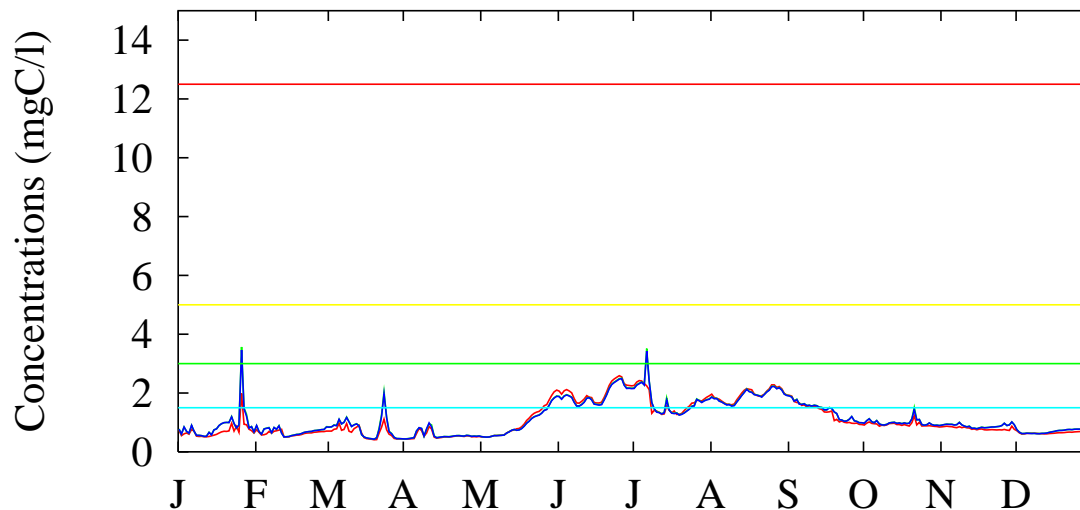
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Conflans, amont confluence, année humide : COTB



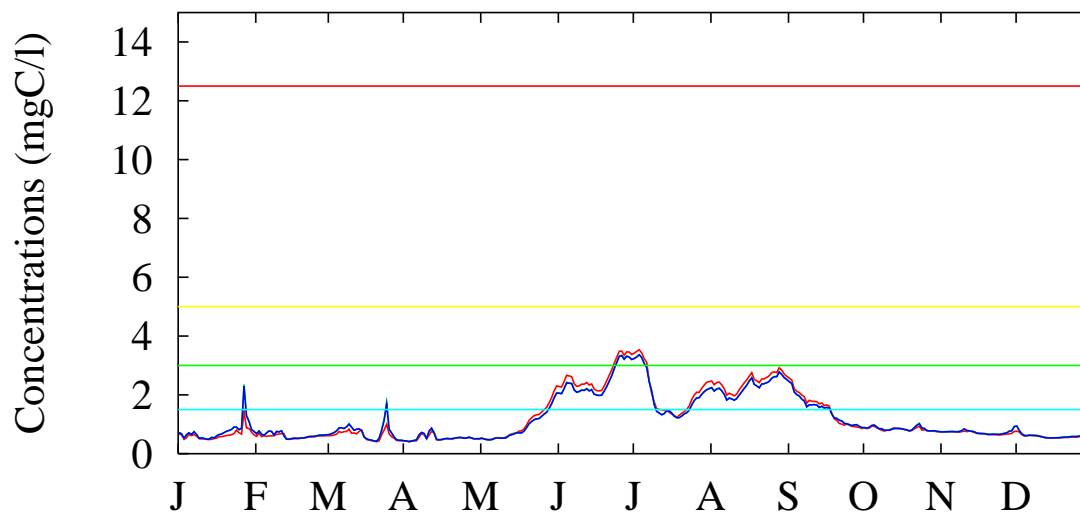
Situation actuelle ———
Situation future H1 ———
Situation future H2 ———

Mauldre, amont confluence, année humide : COTB



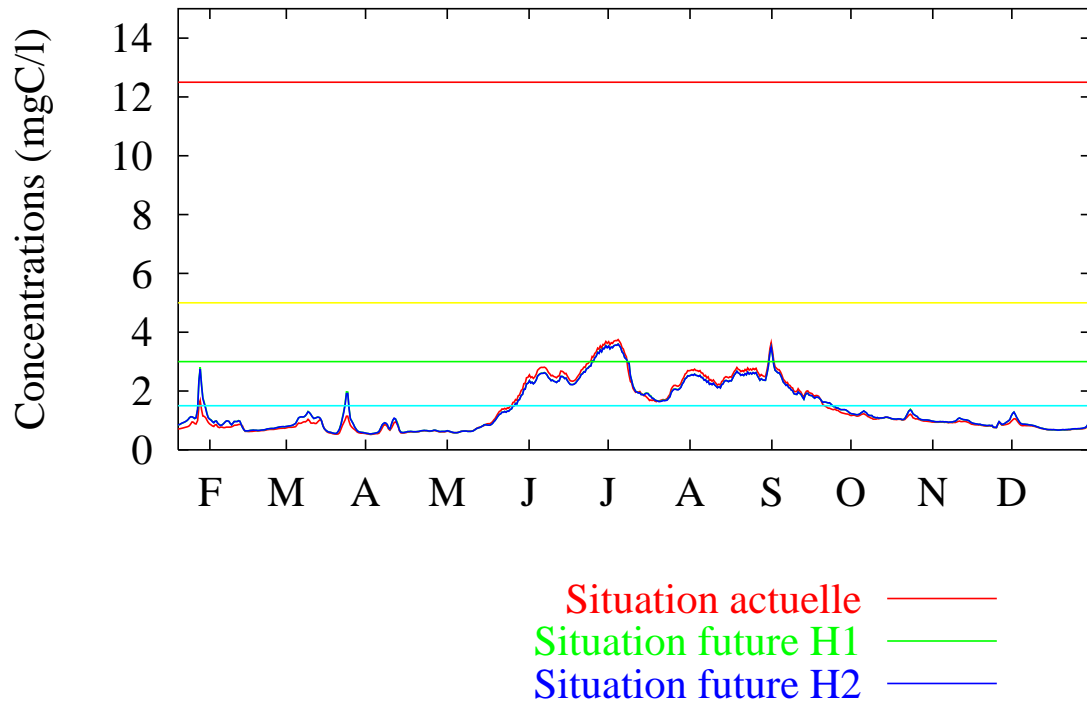
Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

Poses, amont barrage, année humide : COTB



Situation actuelle —
Situation future H1 —
Situation future H2 —

La Bouille, année humide : COTB



Caudebec, année humide : COTB

