

## Premiers éléments sur l'impact de l'agglomération troyenne sur la Seine

**Jean-Marie Mouchel, Jérôme Dispan**, CEREVERE, ENPC

**Pierre Servais, Isabelle George**, GMMA, Université de Bruxelles

**Marie-Hélène Tusseau, Guillaume Le Réveillé**, Cemagref, QHAN

**Josette Garnier, Xavier Philippon, Sylvie Pinault**, UMR-Sisyphé, Université Paris 6

**Michel Poulin**, CIG, ENSMP

Le projet que nous avons mené autour de l'agglomération troyenne a pour objectif principal d'analyser l'impact d'une agglomération d'importance moyenne sur une rivière également d'importance moyenne. Au cours des premières phases du PIREN-Seine l'impact des milieux urbains dans le bassin de la Seine a été principalement étudié à la traversée de l'agglomération parisienne, qui rassemble les deux tiers de la population du bassin. L'importance de cette agglomération à l'échelle du bassin de la Seine et les problèmes de qualité que rencontre la Seine à sa traversée, justifiaient effectivement une série d'études très détaillées, et justifie encore la poursuite de certains travaux. Néanmoins, la démarche générale du programme PIREN-Seine est de développer des concepts et des outils généraux qui doivent pouvoir expliquer le fonctionnement de l'hydrosystème tout entier. Il a donc été décidé de travailler sur autre agglomération importante dans le bassin afin :

- d'identifier les processus de transformation de la qualité de l'eau les plus importants dans la rivière à la traversée et à l'aval de l'agglomération,
- et de valider les concepts biogéochimiques développés dans le cadre du programme PIREN-Seine ; ce qui peut conduire à une modélisation de la qualité de l'eau à la traversée de l'agglomération et à l'aval,
- d'envisager l'importance des rejets urbains de temps de pluie par rapport aux rejets de temps sec dans le contexte d'une grande agglomération dont le réseau soit à dominante séparative.

Nous avons choisi de nous intéresser à l'agglomération de Troyes après avoir examiné différentes autres possibilités dans le bassin de la Seine. Les critères qui nous ont amené à choisir étaient :

- un rapport suffisamment élevé entre la taille de l'agglomération et la taille de la rivière ;
- une agglomération d'une taille suffisante pour que les services techniques compétents y soient suffisamment développés, et qu'une instrumentation soit envisageable ;
- un réseau avec une dominance séparative, à la différence de l'agglomération parisienne dans laquelle la partie centrale du réseau, unitaire, est extrêmement importante ;
- une station d'épuration d'une génération récente ;
- une rivière non canalisée, pour se démarquer à nouveau des travaux accomplis dans l'agglomération parisienne en les complétant sur un site d'une morphologie différente.

Dans ce choix multi-critère, aucun site sur le bassin ne dominait les autres de tous les points de vue. Le site de Troyes l'a finalement emporté, avec néanmoins deux particularités hydrologiques significatives : (i) la présence de nombreux canaux à l'intérieur de l'agglomération et (ii) la présence du barrage-réservoir Seine. Chacune de ces particularités présente à la fois des avantages (bonne connaissance du système, voire régulation possible) et des inconvénients (complexité). On notera également que, dans la configuration recherchée, la problématique des rejets urbains de temps de pluie devient *a priori* essentielle.

Au cours de l'année 1999, nous avons procédé à deux campagnes de mesure, l'une par temps sec, au mois de mai, l'autre par temps de pluie au mois de septembre. La campagne de temps sec a permis une évaluation assez complète de la qualité de l'eau entre Troyes et Méry, la campagne de

temps de pluie a été réduite à une évaluation simplifiée de la qualité des eaux de la Noue Robert, un des principaux exutoires de l'agglomération troyenne en temps de pluie. Ce rapport synthétise les résultats obtenus, au cours de ces deux campagnes et met en évidence les points qui mériteraient un approfondissement.

## 1. Présentation du site

L'agglomération troyenne a une population d'environ 150000 habitants dont environ 70000 à Troyes. La station d'épuration, située sur la commune de Barberey (voire figure 3) a une capacité de 300000 équivalents-habitants ; elle fonctionne pratiquement à sa charge nominale, traitant les eaux domestiques de l'agglomération et une quantité importante d'effluents industriels. L'industrie textile occupe toujours une large place dans l'agglomération troyenne malgré un déclin certain de ce secteur et une diversification vers la métallurgie et la mécanique notamment. Quelques grands groupes tels que Michelin, Kléber ou Vachette ont également des installations dans l'agglomération. Seules quelques industries ont leur propre système d'épuration et ne sont pas raccordés au réseau de l'agglomération. La station d'épuration a été réhabilitée en 1992, à partir d'une station plus ancienne dont la capacité était largement dépassée. Elle dégrade les matières organiques, nitrifie l'ammonium mais n'est pas équipée d'un traitement spécifique pour éliminer le phosphore. On note également un problème d'origine industrielle de coloration des effluents.

Troyes est une ville d'eau, baignée par la Seine et les nombreux bras de dérivation qui y ont été construits. L'essor de l'architecture hydraulique à l'intérieur de Troyes est attribué aux comtes de Champagne (XI<sup>e</sup> au XIII<sup>e</sup> siècle). Six chutes d'eau avaient été créées, présentant une force motrice de plus de mille chevaux (Aufauvre, 1860). Aufauvre écrit encore : « *Leur œuvre subsiste dans toute son intégralité depuis 700 ans, et n'a pas cessé de donner le travail, la vie et la prospérité à la vieille capitale féodale* », et « *Sauf quelques exceptions dues à des barrages de construction moderne, la course des eaux n'est pas moins rapide dans la traversée de Troyes qu'en amont et en aval.* ». Aujourd'hui encore, le tracé des bras est sensiblement identique à ce qu'il était au Moyen Age, mais les ouvrages de régulation ont été considérablement modifiés à partir du XIX<sup>e</sup> siècle. La carte (figure 3) ne représente que le bras principal à la traversée de Troyes. Le cours naturel de la Seine contourne l'agglomération troyenne par la droite, où il reçoit l'apport du canal de décharge du barrage-réservoir Seine (Lac de la Forêt d'Orient). Le barrage fonctionne en mode remplissage jusqu'à la fin du mois de juin, puis en mode vidange à partir du début juillet, époque à partir de laquelle il contribue au soutien d'étiage jusqu'à la mer.

De nombreuses digues, et des ouvrages d'évacuation des eaux, protègent Troyes des inondations. Bien que celles-ci soient moins fréquentes depuis la construction du barrage-réservoir Seine, ce problème demeure d'actualité, comme en témoignent les études récemment commandées par la direction départementale de l'équipement.

Le réseau d'assainissement est réputé séparatif sauf dans sa partie centrale, appelée bouchon de champagne, et qui correspond à l'ancienne enceinte de la cité médiévale. Il couvre une superficie totale de 35 km<sup>2</sup> environ, dans laquelle le secteur unitaire couvre 1.5 km<sup>2</sup>. Les nombreux bras de la Seine reçoivent les eaux pluviales des différentes quartiers tout au long de leur traversée de l'agglomération. Les nombreux points de déversement du réseau pluvial en Seine ne peuvent pas être détaillés ici. Néanmoins, une mention particulière doit être faite de la Noue Robert, qui draine une très grande partie de l'agglomération, en rive gauche et dans sa partie aval. La bassin versant approximativement constitué des communes de Ste Savine, Les Noes-près-Troyes et La Chapelle-St-Luc, et de la partie Nord-Ouest de Troyes a pour exutoire la Noue Robert. On notera que dans ce bassin versant, la mise en séparatif du réseau est en cours, et pas totalement achevée. Les communes de St André-Les-Vergers, La Rivière-de-Corps, une partie de Ste Savine, et la partie Ouest de Troyes (bassin versant le la Vienne) ont pour exutoire la Noue Robert ou la Seine dans son cours urbain au Moulin de la Tour. C'est au niveau de la "bonde Gendret", à proximité du centre historique de Troyes que peut se faire le partage des eaux entre les deux exutoires possibles. Ainsi, le bassin versant de la Noue Robert varie de 13 à 20 km<sup>2</sup> selon que le bassin versant de la Vienne est ou non pris en compte.

A l'aval de Troyes la Seine a un lit majeur de la Seine d'une largeur de 1.5 à 2 km. Le bras principal court dans la partie gauche du lit majeur, alors que la bordure droite du lit majeur est parcourue par le Melda. Le Melda se sépare de la Seine dans l'agglomération de Troyes (déversoir de Champierre). Il n'est pas sous l'influence de la station d'épuration de Barberey, ni des bras artificiels de Seine qui traversent Troyes, mais sa qualité peut sans doute dans une faible mesure être influencée par des rejets urbains de temps de pluie de la partie est de l'agglomération. Le Melda rejoint la Seine quelques kilomètres à l'amont de St Mesmin. La Seine comme le Melda sinuent à travers le lit majeur, 22 km séparent la station de Barberey de Méry sur Seine à vol d'oiseau, environ 36 km en parcourant les méandres de la rivière. Entre ces deux bras de la Seine, le canal de la Haute Seine a été construit au XIX<sup>e</sup> siècle, il n'est plus en exploitation aujourd'hui, mais toujours alimenté par une prise d'eau située en rive droite, 200 mètres environ à l'aval du point de rejet de la station de Barberey. La prise d'eau est située dans la partie extérieure du premier méandre qui suit le rejet de la station (situé en rive gauche). Alors que le débit d'alimentation du canal est toujours sensiblement constant (de l'ordre de  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ), la quantité d'eau issue de la station qui pénètre dans le canal peut ainsi fortement varier en fonction du débit de la Seine et de la dispersion latérale qui en résulte.

## 2. Impact de l'agglomération troyenne en période de faible débit

La campagne a été organisée du 26 au 27 mai 1999, par un débit d'environ  $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  mesurés à Troyes ; le temps était ensoleillé et sec. Les débits étaient globalement en baisse durant le mois de mai, mais une légère augmentation, de  $2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , s'est produite durant la campagne. Cette incertitude sur le débit de l'ordre de 10% au cours de la campagne n'a pas de conséquence importantes sur l'utilisation que nous avons faite des données. Les débits augmentent de Troyes à Méry, il s'agit d'un effet de vidange des nappes avoisinantes vers la Seine, on note qu'il s'atténue très fortement courant juin.

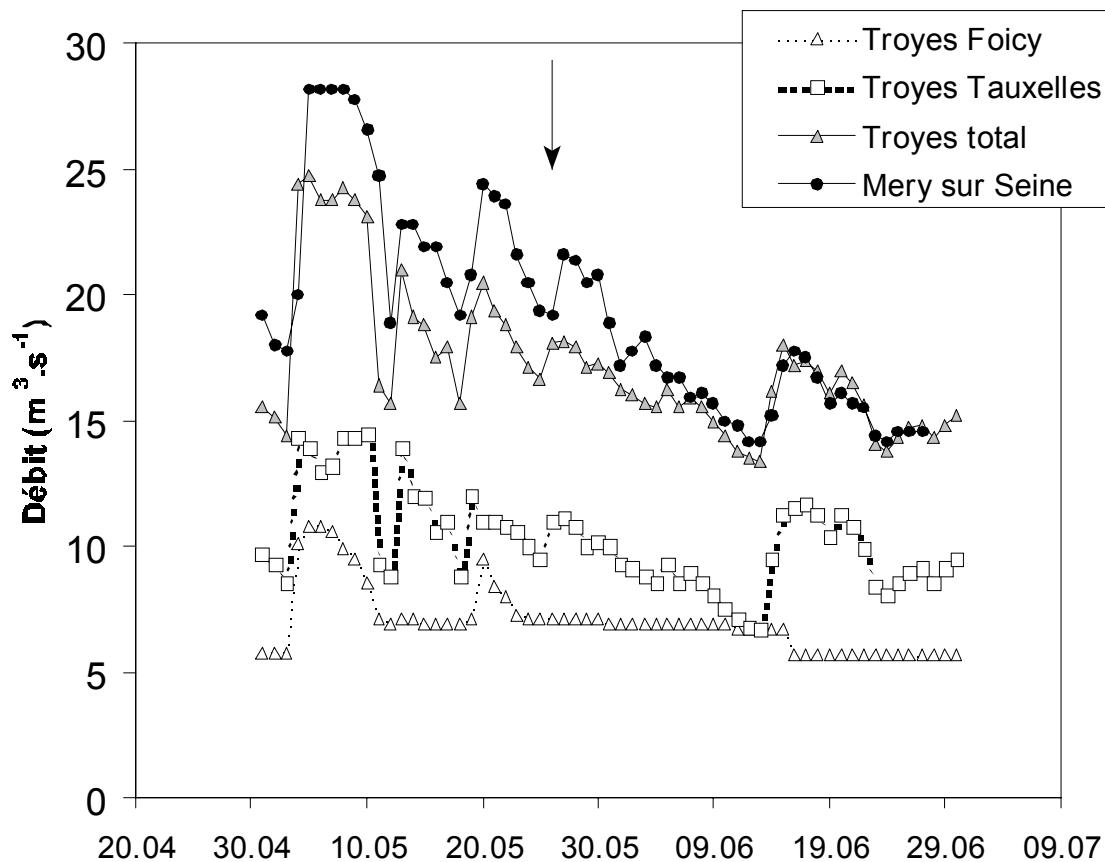
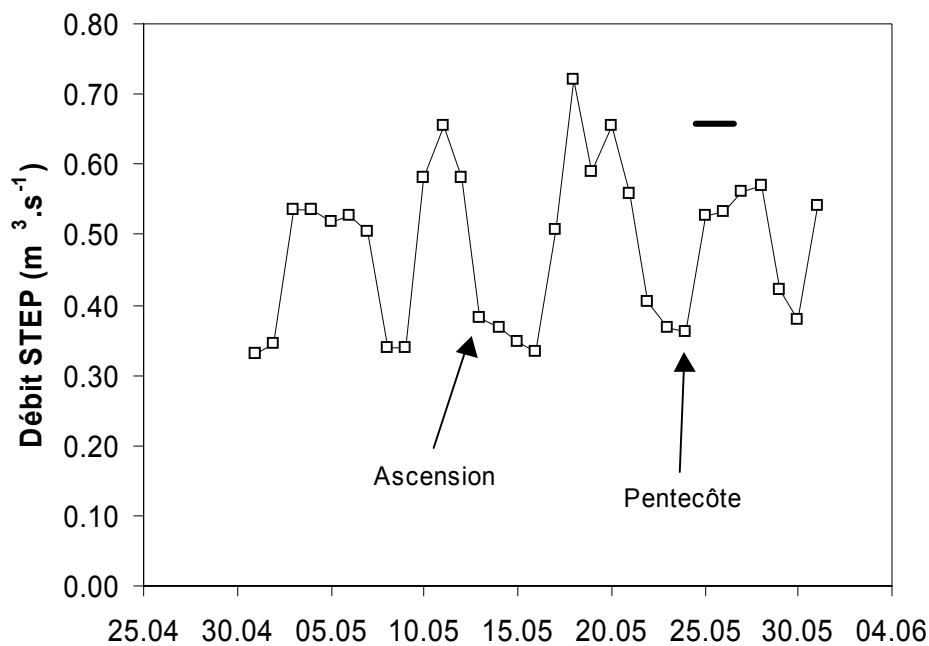


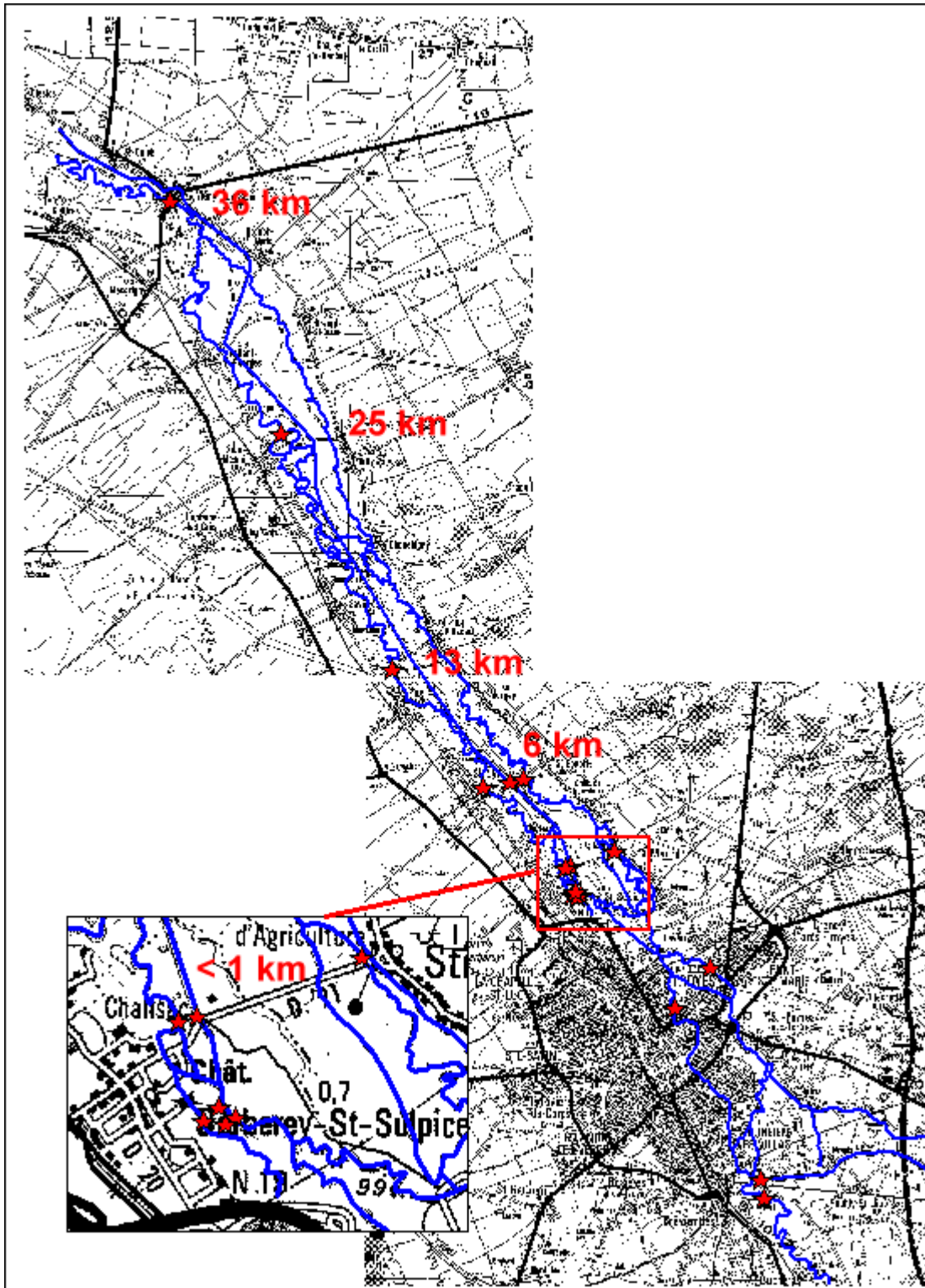
Figure 1. Débits à Troyes au cours des mois de mai et juin 1999, données transmises par la DDE de l'Aube.

La station d'épuration a un débit journalier variable en fonction de la pluviométrie sur le bassin versant et de l'activité de la population. On note en particulier sur la figure 2 que les débits moyens journaliers sont inférieurs à 40 m<sup>3</sup> durant les week-end et les jours fériés (ascension, lundi de pentecôte). Au cours de la campagne, soit après la pentecôte, ils étaient d'environ 53 m<sup>3</sup>. Comme pour toute station d'épuration, les débits traversiers de la station d'épuration de Troyes présentent des variations journalières importantes. Au cours de l'étude, comme le type d'analyses que nous avons réalisé nécessite un traitement rapide des échantillons, nous avons réalisé des échantillonnages instantanés. Nous n'avons pas procédé à un suivi détaillé dans le temps, ni à la collecte d'échantillons moyens journaliers, à chaque station suivie en Seine. Dans ce contexte, et comme le temps de transit précis des masses d'eau dans la Seine en fonction du débit ne sont pas connus, il n'était pas envisageable de traiter précisément des variations journalières des concentrations. Nous avons donc privilégié une approche spatiale, le long de la Seine d'amont en aval de Troyes.



**Figure 2.** Débits journaliers en sortie de la station d'épuration de Troyes, données transmises par la SOGEA

Les stations d'échantillonnage que nous avons choisies sont présentées sur la figure 3 et le tableau 1. Elle vont de l'amont de la ville de Troyes (seine et canal de restitution du barrage) jusqu'à Méry sur Seine. A la traversée de Troyes, nous avons échantillonné l'ancienne Seine et le bras canalisé dans Troyes, à l'aval immédiat de la ville. Un point de mesure a été placé à l'amont immédiat du rejet de la station, après la jonction des différents bras de Seine. A l'aval de Troyes, deux points de mesure ont été placés dans le canal de la Haute Seine et deux points dans le Melda, les autres stations sont placés sur la Seine jusqu'à Méry (5 stations). Tous les échantillons ont été collectés depuis des ponts. A la station d'épuration, en entrée et en sortie, et dans la Noue Robert qui constitue un exutoire pluvial important de l'agglomération troyenne, les échantillons ont été collectés à l'aide d'échantillonneurs réfrigérés sur 24 heures.



**Figure 3.** *Positionnement des stations d'échantillonnage. Les distances indiquées en rouge ont été calculées le long de la rivière, et non pas à vol d'oiseau.*

**Tableau 1.** Description des stations utilisés au cours de la campagne de temps sec.

1	Canal de restitution du barrage-réservoir	Amont Troyes
2, 2a	Seine à Villepart	Amont Troyes
3, 3a	Seine à Pont Ste Marie	A Troyes, ancienne Seine
4, 4a	Seine au Moulin St Quentin	A Troyes, bras de dérivation au centre ville
17, 17a	Seine, ancien pont canal	Amont immédiat de la STEP
9	STEP, entrée	Echantillonnage SOGEA, intégré 24 h, réfrigéré, 25 au 26 mai 9:00
10	STEP, sortie	Echantillonnage SOGEA, intégré 24 h, réfrigéré, 25 au 26 mai, 9:00
11	Noüe Robert	Au niveau de la STEP, 300 à l'amont de la confluence en Seine, intégré 24 h, réfrigéré, 26 au 27 mai 9:00
12	Seine, D91	Moins d'un kilomètre à l'aval de la STEP
13, 13a	Seine, St Lyé	6 km à l'aval, point RNB
14, 14a	Seine, Villacerf	13 km à l'aval
15, 15a	Seine, Courlanges	25 km à l'aval
16	Seine, Mery	36 km à l'aval
5	Melda, D91	
7	Melda, niveau St Lyé	
6	Canal de la Haute Seine, D91	
8, 8a	Canal de la Haute Seine, niveau St Lyé	

## 2.1. Suivi en continu à Barberey-aux-Moines

Un suivi continu de certaines variables a été mis en place à Barberey-aux-Moines (commune de St Lyé, environ 4 km à l'aval de la station), au moyen d'une sonde YSI 6920. C'est pour des raisons de sécurité d'implantation du matériel que la sonde a été placée 2 km à l'amont de la station RNB, échantillonnée par ailleurs. Les données recueillies figurent en annexe. Les hauteurs d'eau enregistrées (en relatif) suivent bien l'évolution journalière des débits avec une montée d'eau assez rapide au début de la campagne suivie d'une diminution plus lente (voir figure 1). On observe également des fluctuations presque périodiques d'une période approximative de 2 heures. Les fluctuations de débit (débit maxi – moins débit mini au cours d'une pseudo-période) correspondant à ces variations seraient un peu inférieures à  $1 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Elles sont très probablement dues à l'un des nombreux ouvrages de régulation répartis sur la Seine dans l'agglomération troyenne. A ce jour, nous n'avons pas identifié l'ouvrage en question.

Au cours des journées du 26 et 27 mai, la température de l'eau a varié entre 14.5 et 17.5 °C. On est dans un période d'augmentation des températures moyennes journalières, les différences de température entre le jour et la nuit sont d'environ 2 °C. L'oxygène dissous était sensiblement à saturation, avec un cycle jour-nuit bien marqué entre 90% et 110% de saturation. La conductivité montre des évolutions irrégulières, sur une échelle de 30 à 40  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Cet ordre de grandeur est très compatible avec les variations journalières attendues du débit de la station et la différence de conductivité entre la Seine et le rejet. Par contre, on notera que les périodes de conductivité forte, qui

correspondraient au plus forts débits de la station au cours de la journée, ne sont pas positionnés à la même heure tous les jours. Les variations probables du temps de transit de l'eau entre la Station de Barberey-aux-Moines dues au changements de débit de la Seine (de 16 à 18 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) ne suffisent pas à l'expliquer. Perturbée par d'autres facteurs, la conductivité n'est donc dans doute pas un bon traceur des eaux de la station.

## 2.2. Qualité des eaux à la station d'épuration

Les analyses réalisées sur les échantillons moyens 24 heures ont donné les résultats portés au tableau 2. Les cases en grisé correspondent à des analyses réalisées par la SOGEA dans le cadre du suivi journalier du fonctionnement de la station. Les nombres entre crochets sont la moyenne et l'écart-type de toutes les valeurs mesurées au mois de mai 1999. On note les très bons rendements obtenus sur cette station pour les matières solides, les matières organiques et l'azote réduit. La quantité de nitrates mesurée en sortie est assez faible (un tiers ou un quart respectivement) par rapport à la quantité d'azote total mesurée à l'entrée. Il est probable qu'une dénitrification importante s'est produite. Ce point cependant mérite confirmation, parce qu'il ne concerne qu'un échantillon, mais aussi parce que nous n'avons pas de garanties que la dénitrification ne s'est pas produite dans le flacon d'échantillonnage au cours des 24 heures de stockage réfrigéré. On notera que le rapport DCO/COT est de 3.8 en entrée de station, qui est une valeur élevée, mais déjà observée dans d'autres réseaux d'assainissement.

**Tableau 2.** *Echantillon journalier à la station de Troyes et dans la Noue Robert. Echantillons moyens 24h collectés de 9:00 à 9:00, du 25 au 26 mai à la station, et du 26 au 27 mai dans la Noue Robert. Entre crochets, la moyenne et l'écart-type des valeurs journalières mesurées au mois de mai. Entre parenthèses, le CODB, et COPB, fractions biodégradables du carbone organique.*

	In	Out	Rend <sup>t</sup>	Noue Robert
N-NH <sub>4</sub> (mg/l)	32	1.7	95	0.6
P-PO <sub>4</sub> (mg/l)	5	5	0	0.2
P-total (mg/l)	7.8	4.1	47	
COP (mg/l)	92	4.5 (1.5)	95	0.82
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	0	12.5	-	7.7
COD (mg/l)	58	7 (1.8)	88	3
MES (mg/l)	270	13.6	95	11.7
Bactéries fécales (UFC/100 ml)	3.4 10 <sup>7</sup>	4.7 10 <sup>5</sup>	99	5.7 10 <sup>4</sup>
DCO (mg/l)	612 [587±67]	64 [71±8]	90 [88±2]	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	255 [237±28]	7 [7±1.5]	97 [97±1]	
MES (mg/l)	194 [229±40]	16 [20±5]	92 [91±3]	
NTK (mg/l)	45 [46±4]	5 [5±2]	89 [89±4]	

## 2.3. Qualité de l'eau an Seine autour de l'agglomération troyenne

Les données sont représentées sur des diagrammes où sont regroupés les points amont, puis les valeurs mesurées à la station d'épuration et dans la Noue Robert, puis les données du canal et du Melda, et enfin les mesures réalisées en Seine à l'aval. La numérotation des stations est celle du

tableau 1. Dans beaucoup de cas, les résultats obtenus à la station et dans la Noue Robert sont hors échelle, ils ne figurent que pour mémoire sur les graphes. Parmi toutes les analyses effectuées, certaines ont été doublées par deux laboratoires ; nous présentons alors les deux valeurs obtenues. Certaines stations ont été échantillonnées deux fois, pour permettre la réalisation d'expériences complémentaires. Les résultats obtenus sont alors marqués d'un "a".

### 2.3.1. Carbone organique et bactéries hétérotrophes

Le COD est le premier exemple illustré par la figure 4. Un calcul de dilution, tenant compte d'un débit de Seine estimé à  $18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , d'un débit de  $0.53 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pour la STEP et d'une estimation de débit de  $0.5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pour la Noue Robert donne une augmentation de teneur en COD inférieure à  $0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ , en partant d'environ  $2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  à l'amont. Selon le laboratoire n°2, qui a produit le plus grand nombre d'analyses de COD, on passerait de  $1.8 \pm 0.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  en moyenne à l'amont à  $2.2 \pm 0.3 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  à l'aval en Seine. Ces évolutions sont compatibles avec le calcul de dilution, mais l'effet de l'agglomération est très limité. Les rapports CODB/COD varient de 16 à 25%.

On aboutit au même type de conclusion pour le COP (figure 5), le calcul de dilution aboutissant à une augmentation de  $0.6$  à  $0.7 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$  à la traversée de Troyes. La variabilité des teneurs en COP est cependant nettement supérieure à celle des teneurs en COD. Elle est en grande partie expliquée par la variabilité des MES, qui sont notamment plus élevées dans le canal de la Haute Seine que dans le Melda. De même, dans le secteur aval de la Seine la décroissance des teneurs en COP est sensiblement parallèle à celle des MES.

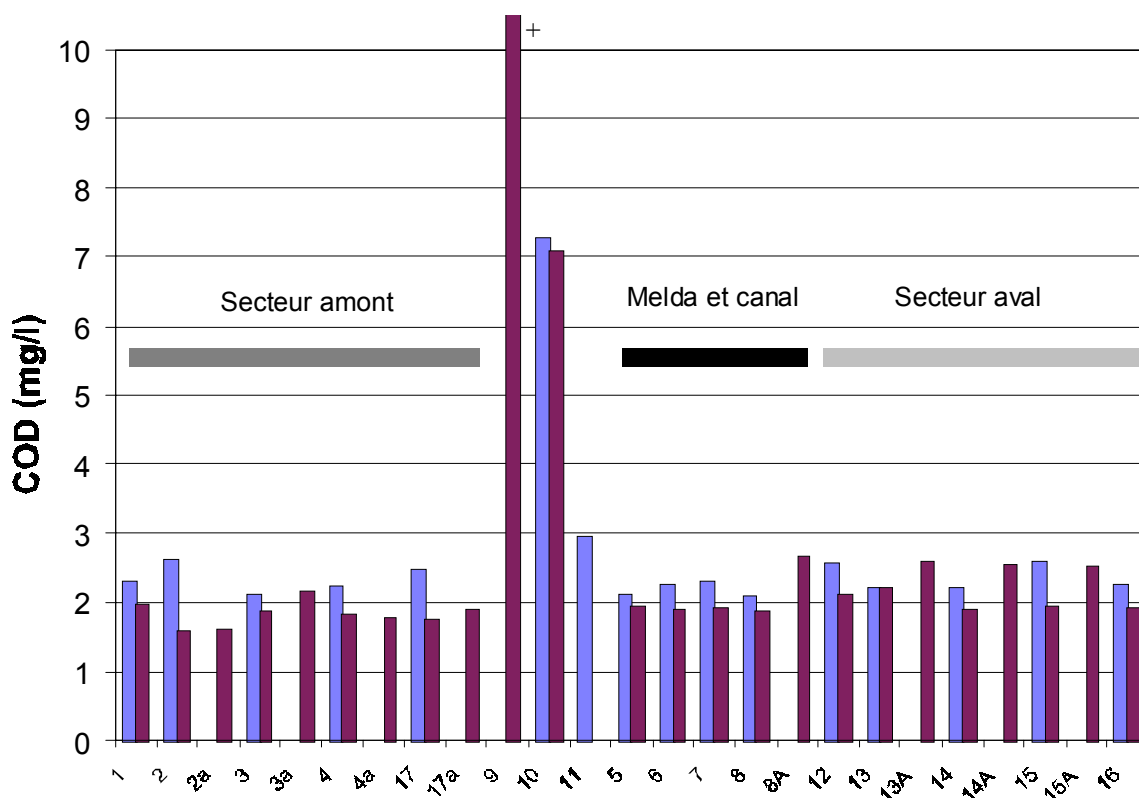
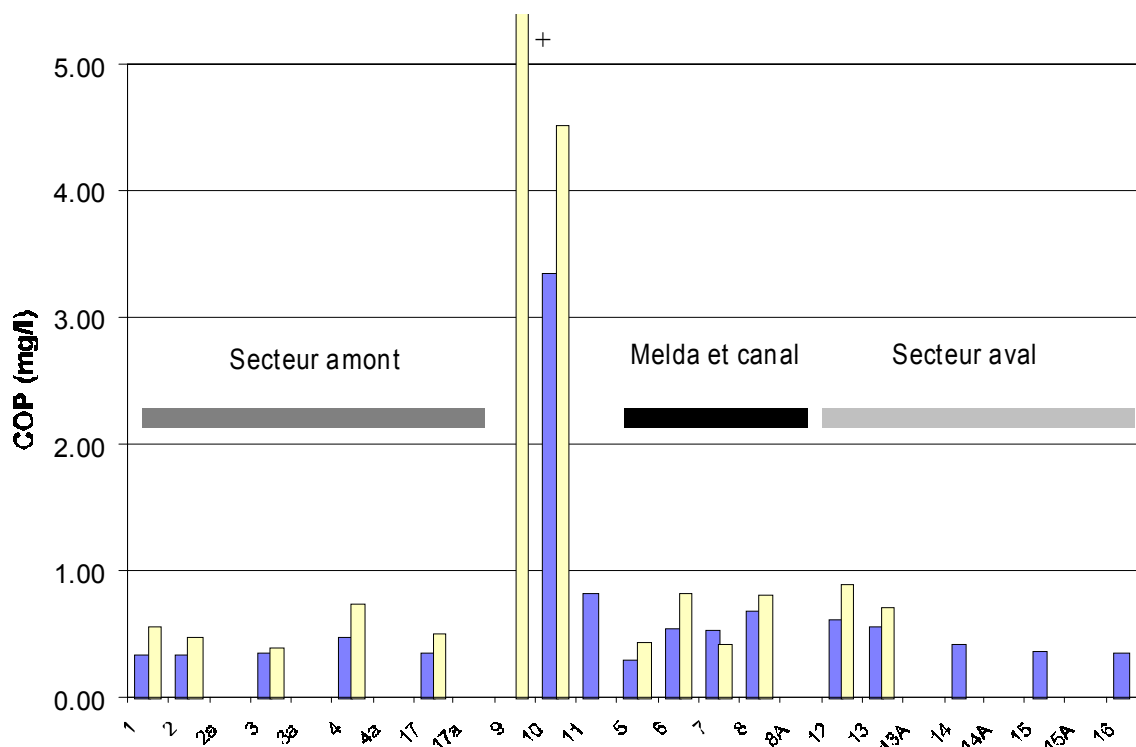


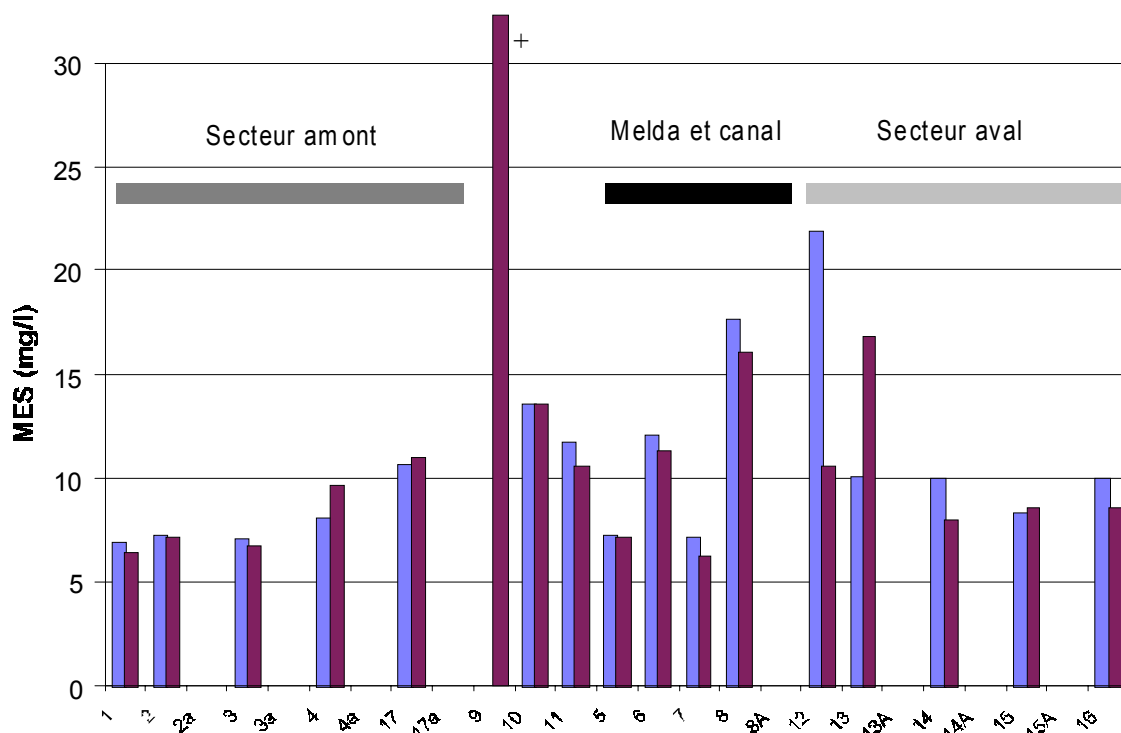
Figure 4. Evolution de la teneur en COD à la traversée de l'agglomération troyenne





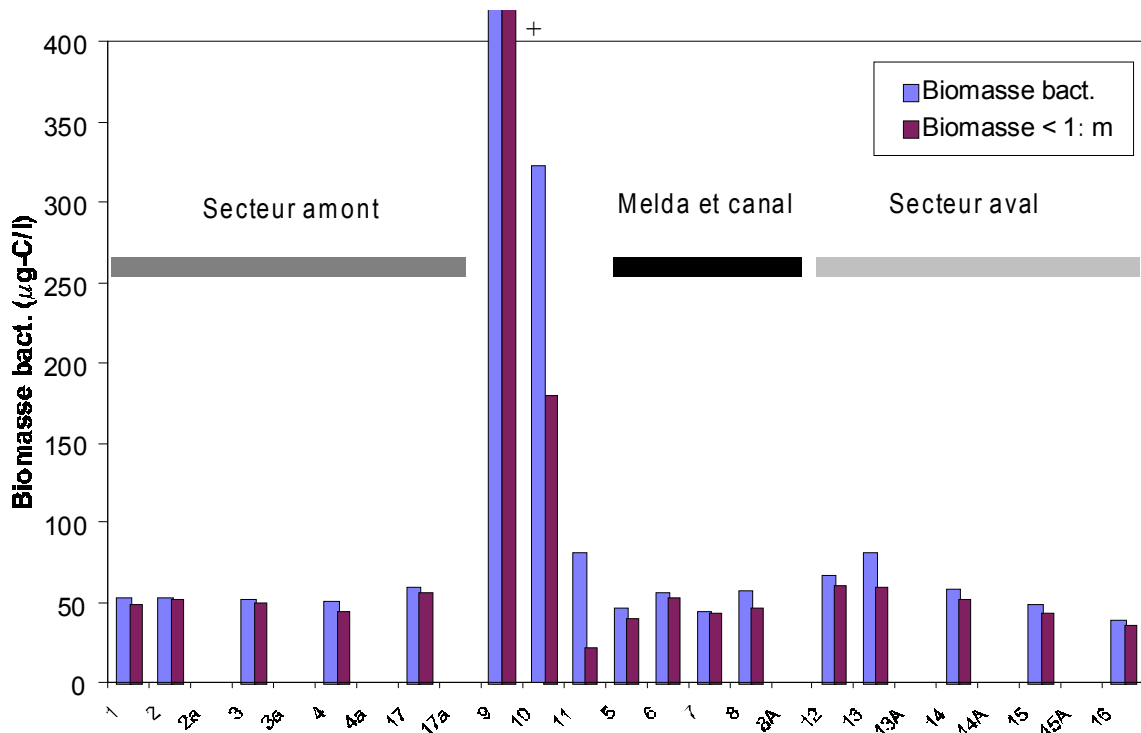
**Figure 5.** Evolution de la teneur en COP à la traversée de l'agglomération troyenne

La figure 6 montre globalement une augmentation des teneurs en MES à la traversée de l'agglomération, suivie d'une nouvelle diminution plus à l'aval. Pourtant, cette évolution ne peut pas être attribuée aux apports urbains recensés, qui sont négligeables par rapport aux flux venant de l'amont. Il faut imaginer que des apports locaux, sans doute par resuspension, suivis de nouvelles phases de dépôt plus à l'aval, ont lieu dans cette période de l'année. Il s'agit d'une forme d'impact urbain indirect dont l'explication physique reste à identifier parmi plusieurs hypothèses telles que l'évolution de la morphologie du lit à la traversée de l'agglomération, qui peut être plus ou moins favorable aux processus de dépôt/resuspension quelle que soit l'origine des particules, ou bien encore l'érosion progressive de dépôts d'origine urbaine. Comme pour le COP, on note de valeurs plus élevées dans la Seine et dans le Canal de la Haute Seine que dans le Melda.



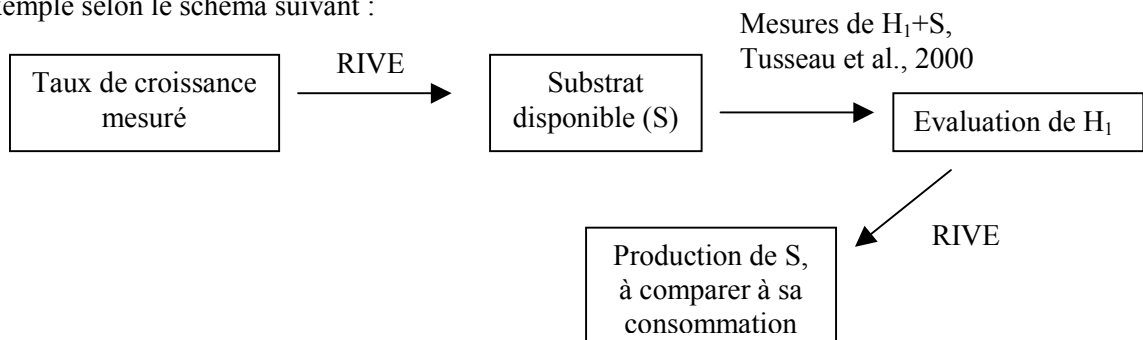
**Figure 6.** Evolution des teneurs en MES dans la Seine autour de l'agglomération troyenne

Un des facteurs d'explication de l'évolution des teneurs en carbone organique est également l'activité des bactéries hétérotrophes, qui pourraient s'attaquer aux fractions dégradables du COD et du COP. Leurs biomasses et leurs taux de croissance sont portés sur les figures 7 et 8. On note une corrélation positive entre les biomasses hétérotrophes et les teneurs en carbone organique. Les petites bactéries dominent la population dans les rivières et dans le canal, alors que les plus grosses bactéries comptent pour une part importante de la biomasse au niveau de la station d'épuration. On notera que les plus grosses bactéries sont également dominantes dans la Noue Robert, ce qui témoigne d'un fonctionnement écologique fort différent de celui d'une rivière pour ce cours d'eau très urbanisé. Le Melda, comme la stations amont, et comme la station de l'ancienne Seine (station 3) ont les teneurs en biomasse hétérotrophe les plus faibles, alors que toutes les stations sous influence urbain directe (i.e., la station 4 à la traversée de Troyes, les stations aval et la canal de la haute Seine) ont des teneurs plus élevées. La similitude de comportement des bactéries hétérotrophes du COP et des MES à la traversée de l'agglomération est troublante, la plupart des bactéries hétérotrophes n'étant pas fixées sur des MES en rivière, en dehors d'impact urbains très évidents (Garnier et al., 1992, Seidl et al., 1998). Or, les bactéries de la Seine, même à l'aval sont petites, donc caractéristiques d'eau de rivière naturelle plutôt que d'eaux urbaines. En termes de dilution, l'apport par la STEP et la Noue Robert correspondrait à une faible augmentation de 50 à 60  $\mu\text{g.l}^{-1}$  de carbone bactérien.



**Figure 7.** Biomasses bactériennes estimées par épifluorescence. Selon la méthodologie développée par le PIREN-Seine, on distingue entre les petites (<1 µm) et les grosses (> 1µm) bactéries.

Les taux de croissances des bactéries ont été mesurés par incorporation de Leucine tritiée selon la méthodologie proposée par Servais et Garnier (1993). La technique n'a pas donné de résultats satisfaisants dans les eaux de la station d'épuration (substrat non-saturant), il n'est donc pas possible d'y calculer un taux de croissance. L'ordre de grandeur des productions bactériennes en Seine est de  $1 \mu\text{g-C.l}^{-1}\text{.h}^{-1}$  (1.2 en moyenne), d'où des taux de croissance spécifiques de l'ordre de  $0.02 \text{ h}^{-1}$ . Toutes les données acquises peuvent être combinées pour valider les concepts développés par le PIREN-Seine, par exemple selon le schéma suivant :

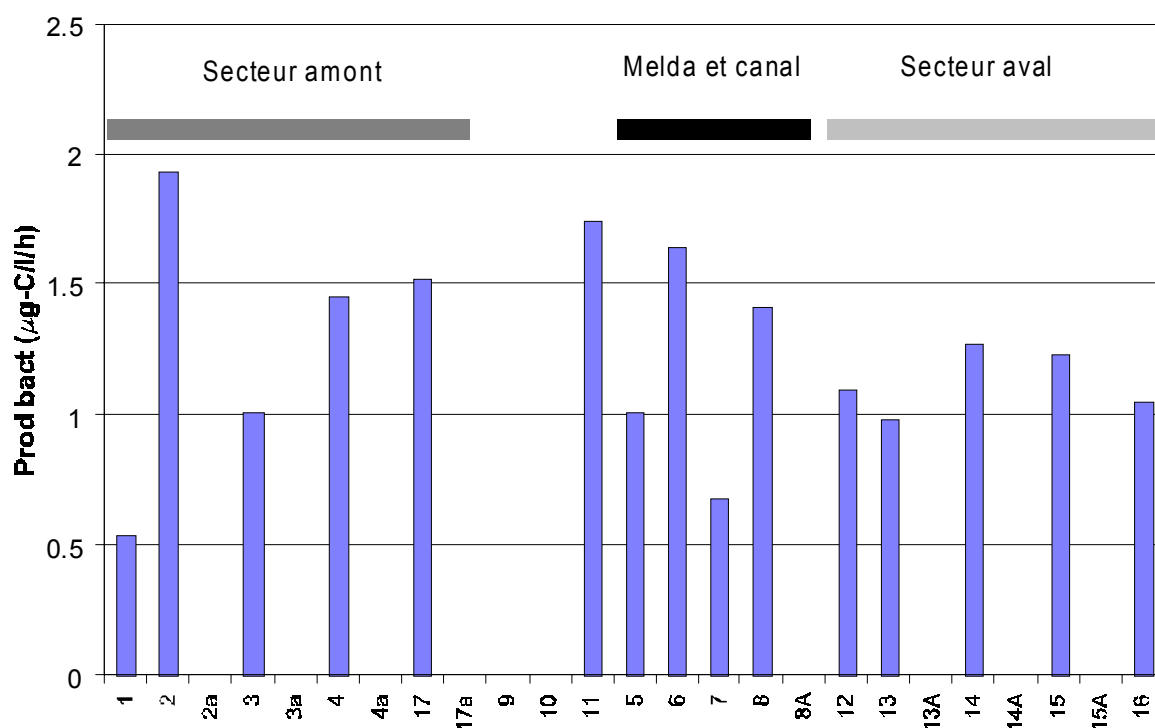


Selon le modèle RIVE, utilisé dans le PIREN-Seine pour simuler les activités biologiques dans tout le bassin de la Seine, le taux de croissance maximal des petites bactéries hétérotrophes serait de  $0.035 \text{ h}^{-1}$  à  $17^\circ\text{C}$  (Billen et al., 1999). La différence entre les deux vitesses devrait être expliquée par une limitation par le substrat directement assimilable, qui devrait être de  $0.13 \text{ mg.l}^{-1}$  étant donnée la constante de demi-saturation également proposée par RIVE. Tusseau et al. (2000) donnent des ordres de grandeur d'environ  $0.3 \text{ mg-C.l}^{-1}$  pour le carbone rapidement dégradé, soit  $H_1 + S$ , selon la dénomination des variables utilisées dans RIVE.,  $H_1$  serait donc d'environ  $0.17 \text{ mg-C.l}^{-1}$ , soit une production de S à partir de  $H_1$ , calculée selon RIVE, de  $0.018 \text{ mg-C.l}^{-1}\text{.h}^{-1}$ . La consommation de substrat par les bactéries n'étant que de  $0.0048 \text{ mg-C.l}^{-1}\text{.h}^{-1}$  (croissance mesurée des bactéries divisée par leur rendement de croissance), on aurait une accumulation de substrat rapidement assimilable qui

devrait se traduire par une augmentation rapide, en quelques heures, des taux de croissances des bactéries jusqu'à leur taux de croissance maximal. De fait, le taux de croissance des bactéries augmente dans la partie aval, mais trop lentement. Pour que l'évolution observée des taux de croissance soit totalement compatible avec RIVE, il faudrait que le carbone rapidement dégradable soit de  $0.2 \text{ mg-C.l}^{-1}$  et non pas  $0.3 \text{ mg-C.l}^{-1}$ , soit encore que les expériences de respiration décrites dans Tusseau et al. (2000) surestiment  $H_1 + S$ . Etant donné les incertitudes qui existent encore à propos de cette nouvelle méthodologie, une telle hypothèse ne peut encore être exclue.

L'ensemble des données acquises concernant les formes de carbone en Seine, les biomasses bactériennes hétérotrophes et leurs taux de croissances sont donc bien compatibles avec la description générale de l'écosystème Seine proposée dans RIVE..

**Figure 8.** Taux de croissance des bactéries autour de l'agglomération de Troyes.

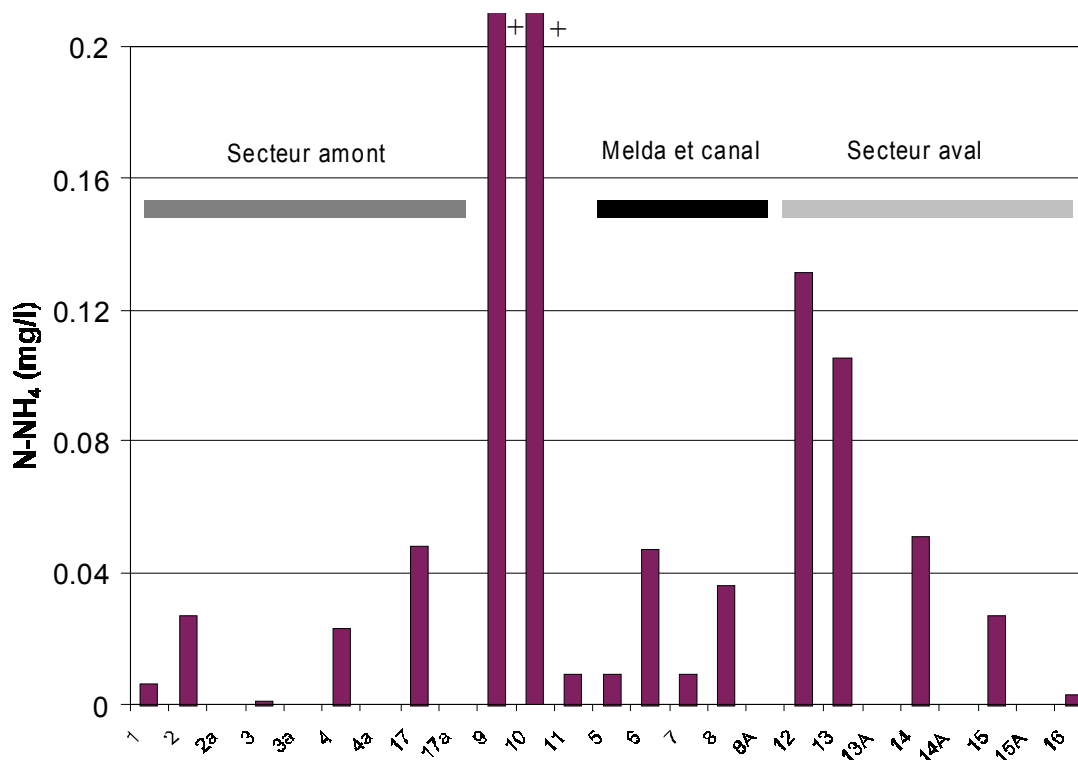


### 2.3.2. Azote et phosphore

Les bactéries nitrifiantes sont un autre type de micro-organismes très importants dans un écosystème fluvial. On observe (figure 9) une augmentation des teneurs en ammonium à la traversée de l'agglomération (station 17), l'ordre de grandeur mesuré à la station 17 se retrouve dans le canal (stations 6 et 8), mais pas dans le Melda, ce qui confirme qu'il n'est que peu influencé par la traversée de l'agglomération troyenne. A l'aval de la STEP, les teneurs en ammonium augmentent fortement (tout en restant dans une plage raisonnable selon les grilles de qualité en cours). Le calcul de dilution prévoit une augmentation de  $0.05$  à  $0.11 \text{ mg-N.l}^{-1}$  (figure 9), ce qui est tout à fait compatible avec l'évolution observée, étant donnée l'incertitude sur le débit instantané de la station. Cette valeur est également compatible avec les mesures RNB réalisées à la station de St Lyé ( $0.1$  à  $0.2 \text{ mg-N-NH}_4.\text{l}^{-1}$  en 1997). On observe après le rejet une forte diminution des teneurs qui pourrait être due à un processus de nitrification ou encore de consommation par le phytoplancton. L'activité des bactéries nitrifiantes a été mesurée en plusieurs stations selon la méthodologie mise au point par Brion et Billen (1998), elle est de l'ordre de  $0.1 \text{ mg-C.l}^{-1}.\text{h}^{-1}$ , soit en fonction du rendement de ces organismes, une consommation d'ammonium de  $25 \text{ µg-N-NH}_4.\text{l}^{-1}.\text{j}^{-1}$ . La diminution observée est nettement supérieure, pour un temps de transit que nous estimons à une journée environ entre la STEP et Méry à partir d'estimations de vitesse en différents points, et des résultats d'une campagne de mesure réalisée en 1989 pour un débit de  $19 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$ . Une croissance du phytoplancton de  $10$  à  $15 \text{ µg-Chla.l}^{-1}$  suffirait à

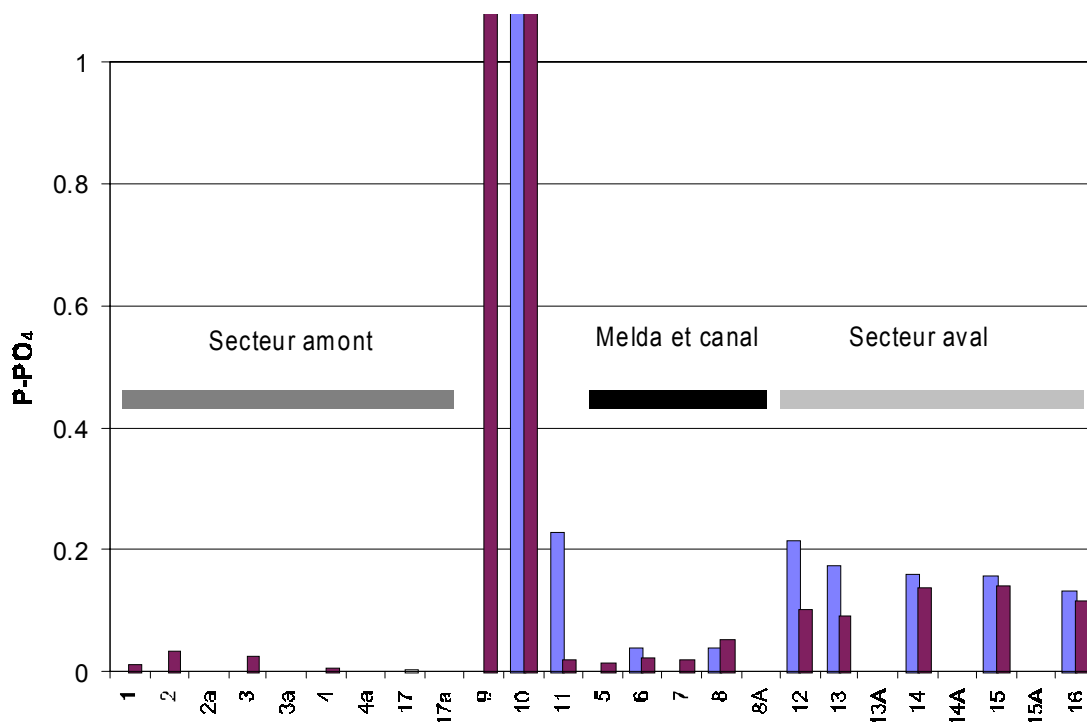
expliquer la disparition observée d'ammonium, par incorporation dans le biomasse, mais les variations de débit en sortie de station peuvent également expliquer une partie des variations observées.

Les teneurs en nitrates restent dans la fourchette de 4 à 5 mg-N.l<sup>-1</sup> sur tout le secteur d'étude.



**Figure 9.** Teneurs en ammonium en Seine autour de l'agglomération troyenne

L'évolution des teneurs en phosphates (figure 10) est tout à fait caractéristique de l'impact de la STEP, exutoire principal du réseau. Les teneurs en phosphates sont très faibles à l'amont de Troyes, ainsi que dans l'agglomération, elles restent dans la gamme 0.01 à 0.03 mg.l<sup>-1</sup>. Dans la partie aval, les teneurs sont toujours très faibles dans le Melda (environ 0.015 mg.l<sup>-1</sup>) mais augmentent dans le canal (environ 0.035 mg.l<sup>-1</sup>) et enfin, le plus fort impact se produit à l'aval de la STEP (qui n'est pas équipée pour traiter le phosphore) où des teneurs de 0.10 à 0.15 mg.l<sup>-1</sup> sont atteintes. Pour mémoire, la dilution théorique moyenne des eaux de la STEP devrait provoquer une augmentation de 0 à 0.15 mg.l<sup>-1</sup>. Les données de phosphore confirment donc le schéma général par lequel les eaux du canal étaient sous une légère influence de la STEP (les eaux du canal seraient composées de 0.5 % d'eaux issues de la STEP contre plus de 3 % dans la Seine). Les eaux du canal sont par ailleurs influencés par l'agglomération troyenne d'une manière plus générale, ce qui se traduit par exemple par une certaine contamination en ammonium, qu'on ne retrouve pas dans le Melda, principalement alimenté par le bras de l'ancienne Seine qui contourne Troyes.



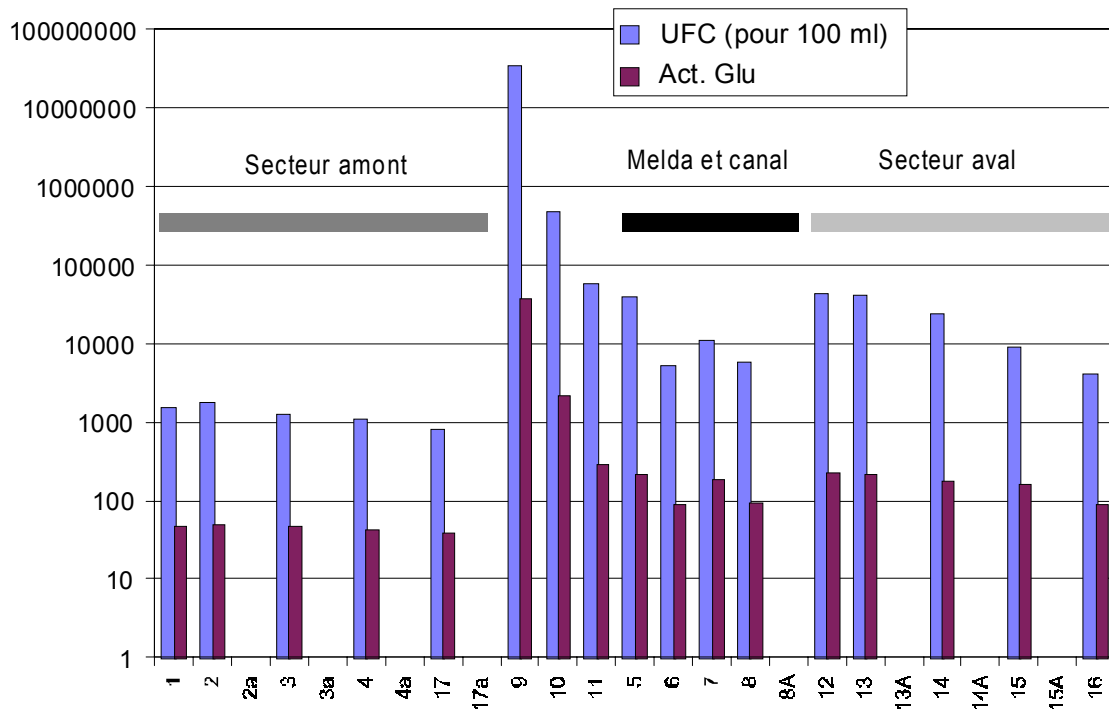
**Figure 10.** Evolution des teneurs en phosphates autour de l'agglomération troyenne

### 2.3.3. Bactéries indicatrices de pollution fécale

L'impact le plus évident de l'agglomération troyenne sur la Seine concerne les coliformes fécaux. Un calcul de dilution à partir des rejets de la STEP donne une augmentation de 1000 à 15000 UFC et de 50 à 120 en activité glucuronidase. Pour chacune des deux méthodes, l'impact de la station d'épuration est considérable : en particulier, les normes de baignade sont dépassées à l'aval de la STEP alors qu'elles restaient juste acceptable à l'amont. Le canal de la Haute Seine et le Melda sont tous deux également fort dégradés, alors que l'impact d'autres pollutions urbaines restait très modéré (phosphates, ammonium) par rapport à l'impact mesuré en Seine. Quelle que soit la méthode employée, le Melda est de plus mauvaise qualité que le canal, à la différence de ce qui avait été observé pour d'autres pollutions d'origine urbaine. On peut envisager l'existence de sources locales de pollution dans le Melda.

Par rapport aux calculs de dilution, les résultats obtenus en Seine à l'aval de la STEP par chacune des deux méthodes sont trop élevés, d'un facteur inférieur à 2 pour la technique enzymatique, d'un facteur presque 3 pour la technique de mise en culture. Le même type de question se pose en ce qui concerne les eaux du canal, qui semblent surcontaminées par rapport à la dilution que nous avons pu estimer à partir des données de phosphates. Ici encore, l'effet de surcontamination est plus net lorsque qu'est utilisée la méthode classique par dénombrement de bactéries cultivables. Enfin, on note encore, dans la partie aval de la Seine, un phénomène déjà observé dans la Seine à l'aval de l'agglomération parisienne, mais avec des niveaux de contamination plus élevés à savoir que les mesures par culture donnent une décroissance plus rapide que les mesures par activité enzymatique, ce qui laisse entendre une perte de cultivabilité des bactéries alors même qu'elles sont encore actives.

Au delà des problèmes méthodologiques relatifs aux facteurs de dilution, qui pourraient en partie être expliqués par la variabilité journalière du débit de la station, mais qui restent plus fort pour la méthode classique (UFC) que pour la méthode enzymatique directe, ces résultats démontrent le très fort impact de l'agglomération troyenne sur la contamination fécale en Seine.



**Figure 11.** Evolution des teneurs en coliformes fécaux autour de l'agglomération troyenne. On notera que les échelles sont logarithmiques. En bleu clair, les teneurs en coliformes fécaux cultivables mesurés selon la norme en vigueur (unités formant colonie pour 100 ml), en brun plus sombre, les coliformes fécaux mesurés selon la méthodologie développée dans le cadre du PIREN-Seine, basée sur une évaluation directe d'activité enzymatique, ils sont exprimés en activité glucuronidase en  $\text{pmol} \cdot \text{min}^{-1}$  pour 100 ml.

### 3. Qualité de l'eau de la Noue Robert par temps de pluie.

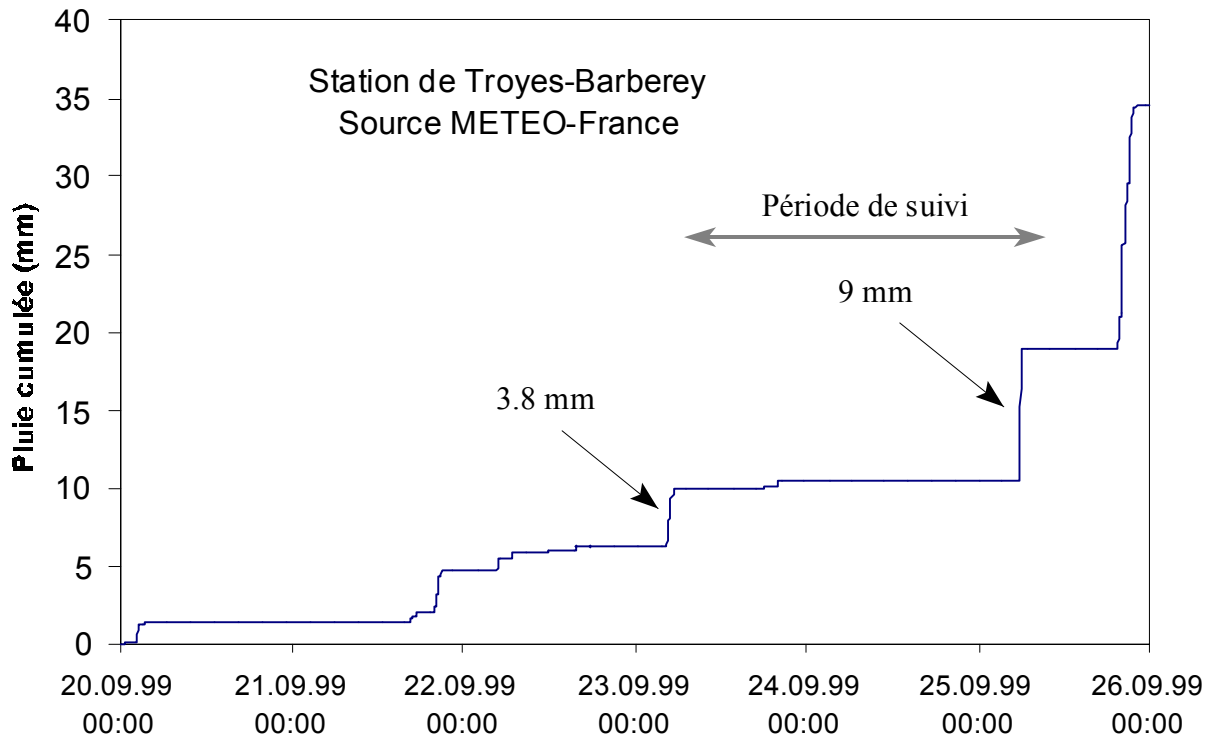
Dans de nombreuses agglomérations munies d'une station d'épuration efficace, les rejets par temps de pluie deviennent une cause très importante de dégradation du milieu récepteur. A l'intérieur de l'agglomération troyenne, la Noue Robert est l'exutoire d'un bassin versant important, qui couvre près du tiers de l'agglomération. Il était important de recueillir des éléments sur l'évolution de la qualité de ses eaux en période de pluie.

Sans équipement spécifique, il est difficile d'appréhender une notion telle que la qualité des eaux de temps de pluie, parce qu'elle est extrêmement variable. Sans éléments sur les risques que font courir les rejets de temps de pluie sur le milieu récepteur, il est difficile de décider de la mise en place des équipements (limnigraphes, échantillonneurs....) nécessaires à une bonne appréhension de la qualité. Pour aller de l'avant, une première étape consiste à collecter quelques données de qualité en temps de pluie, afin d'évaluer l'importance potentielle des rejets. Nous avons procédé à ces mesures entre le 23 et le 25 septembre 1999. La chance nous a permis de recueillir des informations sur deux événements représentatifs.

Deux événements pluvieux ont pu être saisis, l'un de 3.8 mm à Barberey, l'autre de 9 mm (figure 12). Le diagramme donné en annexe (figure 23) montre que ces événements sont loin d'être exceptionnels mais sont au contraire représentatifs d'averses courantes. On notera que le premier événement n'a été précédé que d'une courte période de temps sec. A partir du calcul des surfaces des bassins versants, et pour un coefficient d'imperméabilisation de 25%, nous avons estimé la quantité totale d'eau apportée à la Noue au cours de chacun des deux événements. Les deux volumes pour chacune des deux averses correspondent aux deux hypothèses minimaliste et maximaliste, selon le fonctionnement de la bonde Gendret. Les volumes d'eau supplémentaires déversés par la Noue au cours de ces averses ne sont pas négligeables par rapport au volume d'eau journalier traité à la station par temps sec.

**Tableau 3.** Estimation des volumes d'eau urbaine rejetées en Seine par la Noue Robert pour les deux événements pluvieux

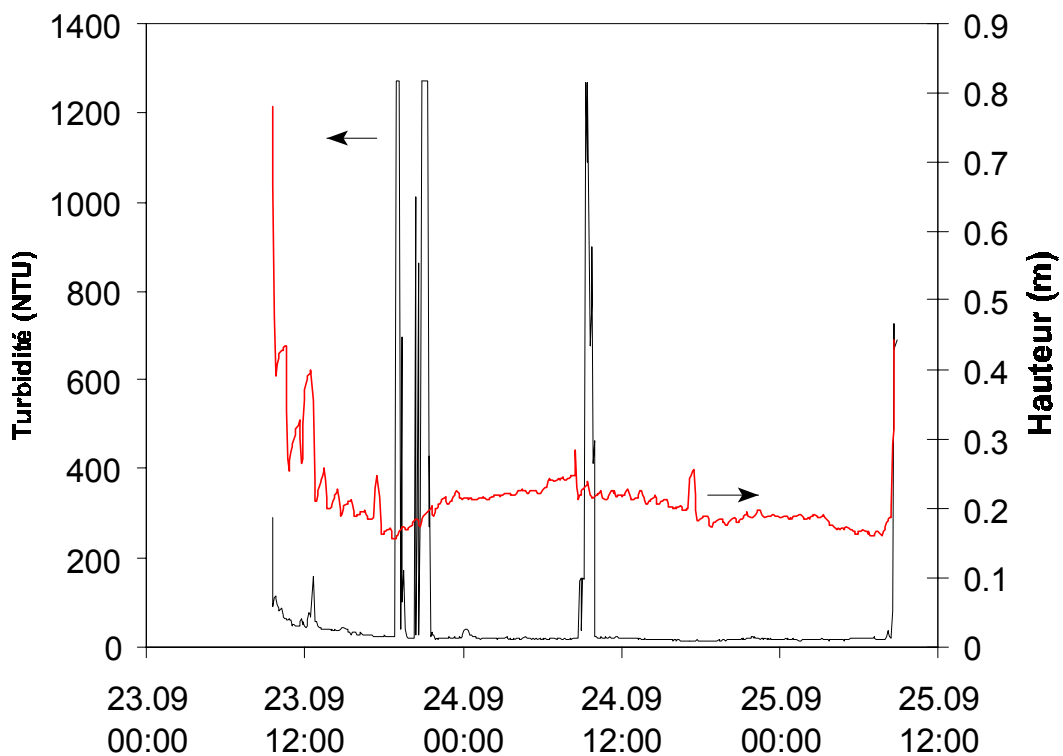
3.8 mm	11000 à 17000 m <sup>3</sup>
9 mm	27000 à 40000 m <sup>3</sup>
STEP	46000 m <sup>3</sup> .j <sup>-1</sup>



**Figure 12.** *Lame d'eau cumulée à la station de Barbercy.*

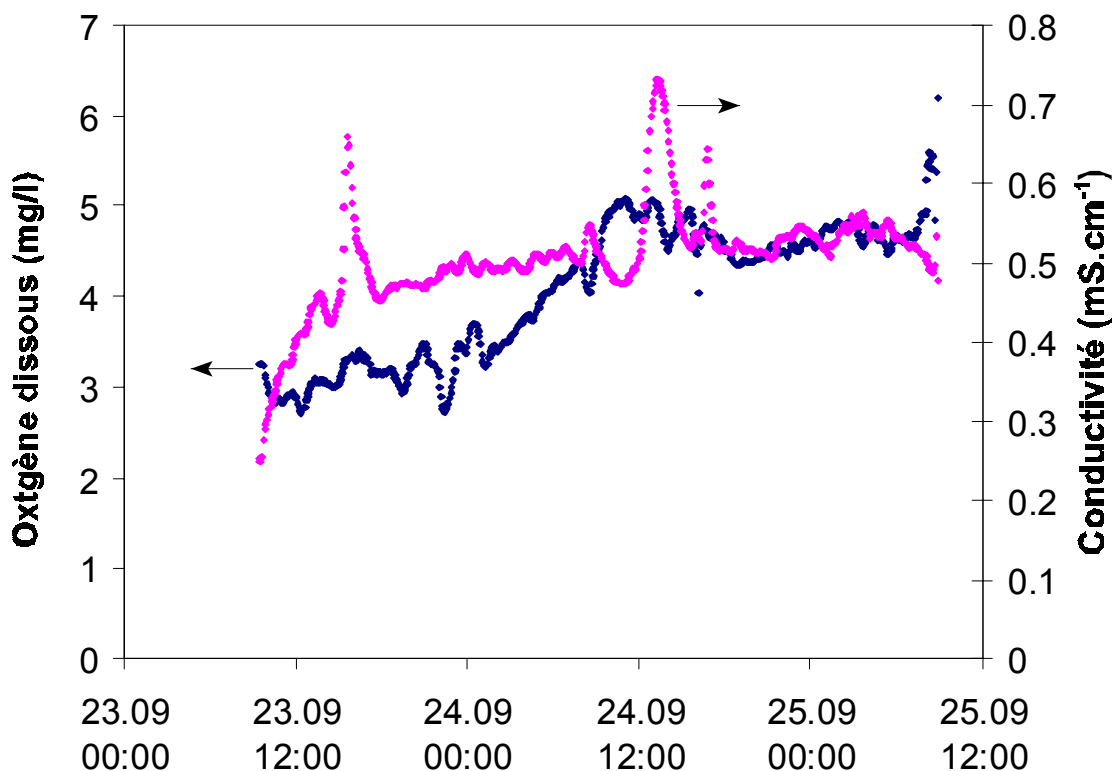
Conductivité, température, teneur en oxygène dissous et turbidité ont été suivis en continu au cours des deux journées. L'examen de hauteurs d'eau montre que nous avons assisté à la fin du passage des eaux issues de la première pluie, et au tout début du passage des eaux de la deuxième pluie. Les turbidités étaient en phase de décroissance après la première pluie, et une très forte et très rapide augmentation de la turbidité est également visible au moment de la montée des eaux due à la deuxième pluie en fin de période. On observe des périodes de saturation du signal de turbidité (supérieure à 1200 NTU) en milieu de période : ces épisodes nous semblent dus à des algues filamenteuses venues obstruer le capteur optique. Un minimum d'aménagement pour l'installation d'un contrôle en continu des eaux de la Noue permettrait d'éviter ces problèmes.





**Figure 13.** *Hauteurs d'eau et turbidité du 23 au 25 septembre 1999 dans la Noue Robert*

Les teneurs en oxygène dissous sont peu élevées, entre 3 et 5 mg.l<sup>-1</sup>. La conductivité nous montre plusieurs éléments intéressants. D'une part, les conductivités diminuent en début de période et en fin de période, ce qui témoigne du mélange avec les eaux de pluie, moins chargées en sels. D'autre part, des pics de conductivité sont très visibles chaque jour vers midi. De tels pics sont fréquents dans un réseau d'assainissement, ils peuvent correspondre à de multiples activités sur la bassin (purges de chaufferie, vidanges de saumures....), dont on peut se demander s'ils sont légitimes dans la Noue Robert.



**Figure 14.** *Teneurs en oxygène dissous et conductivité entre le 23 et le 25 septembre 1999 dans la Noue Robert*

Quelques échantillons ont pu être prélevés dans la Noue durant la période d'étude, ainsi que deux échantillons de référence en Seine. L'ammonium révèle des concentrations toujours très faibles en Seine, mais nettement plus élevées dans la Noue Robert par temps sec ( $0.2$  à  $0.3 \text{ mg.l}^{-1} \text{ N-NH}_4$ ), à la différence de ce qui avait été mesuré en mai, sur un échantillon moyen journalier. Une valeur beaucoup plus forte a été observée au cours de la première pluie. L'échantillonnage de la deuxième pluie étant beaucoup plus réduit (seul le tout début de la montée a été échantillonné), on ne peut exclure d'éventuelles concentrations plus élevées durant cette deuxième pluie également. Le carbone organique est plus élevée dans la Noue au moment des pluies également ( $6$  et  $4 \text{ mg.l}^{-1}$ , contre environ  $2 \text{ mg.l}^{-1}$  en temps sec, comme en mai). Il est remarquable que les échantillons de temps de pluie, avec une forte teneur en carbone organique dissous ont également de plus fortes teneurs en carbone organique dégradable, en pourcentage du carbone dissous total. Conjointement à l'ammonium, ceci témoigne probablement de la présence d'eaux usées dans la Noue en temps de pluie.

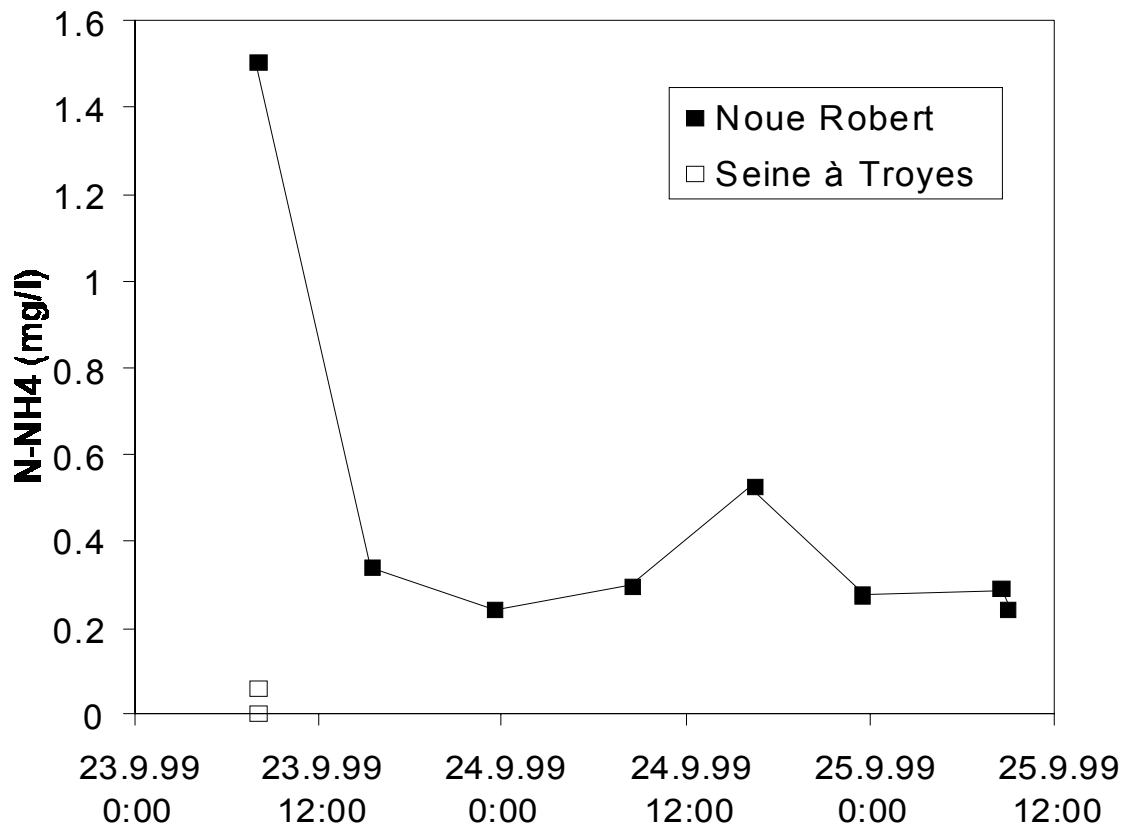


Figure 15. Teneurs en ammonium dans la Noue Robert en période pluvieuse

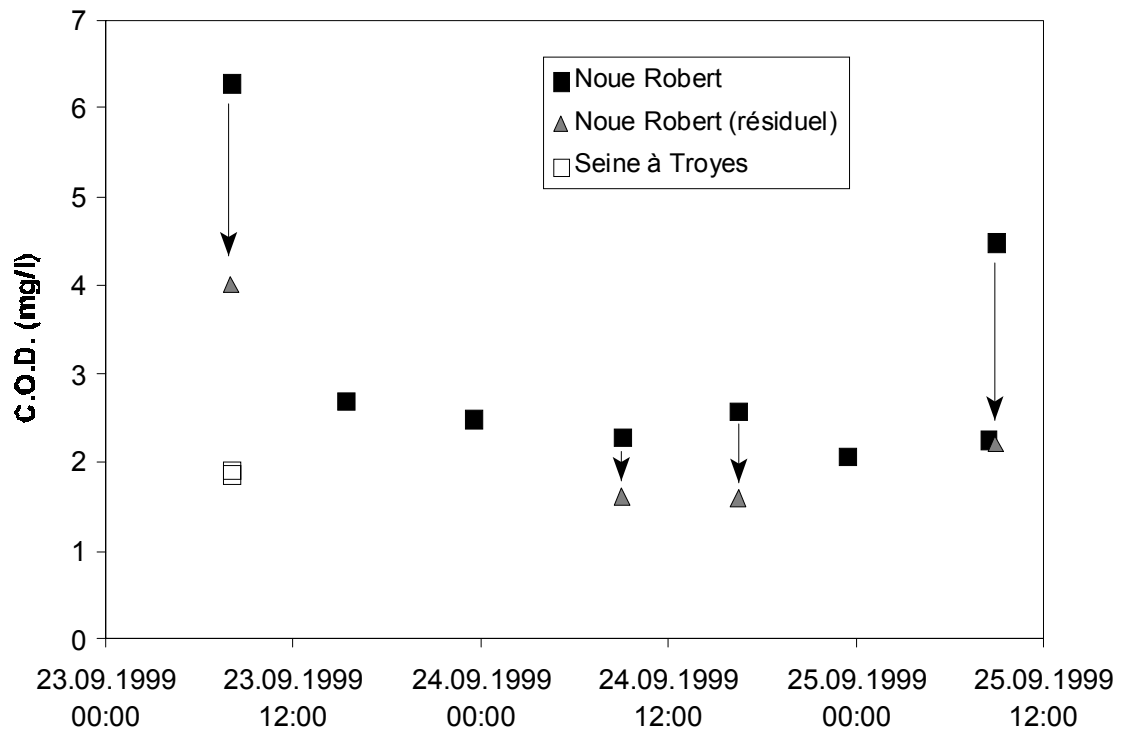
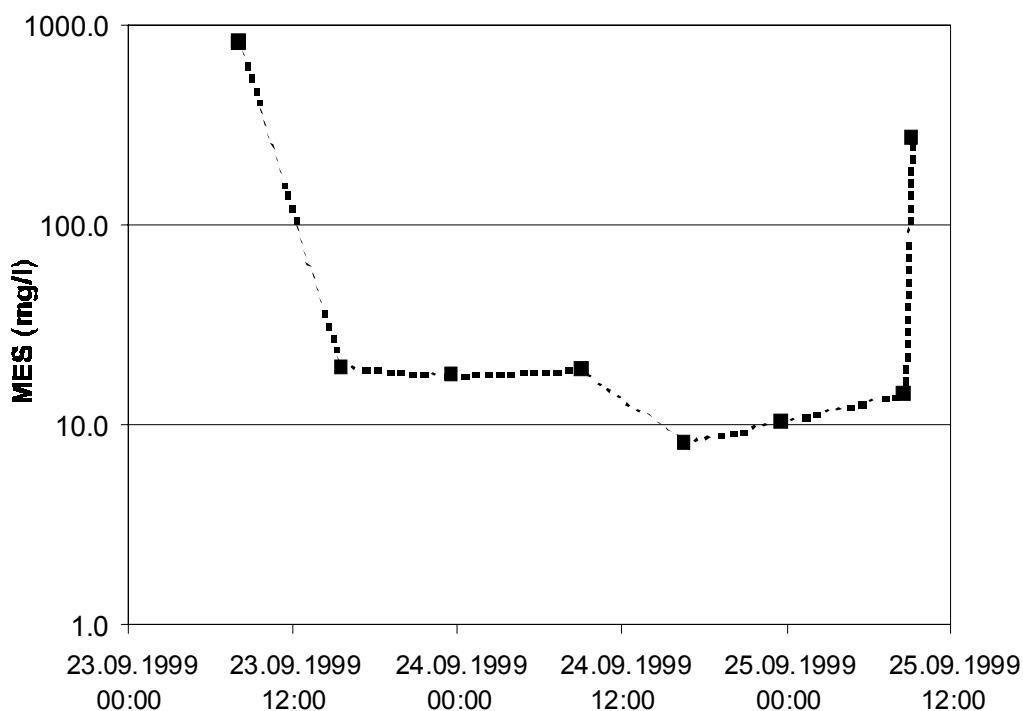


Figure 16. Teneurs en carbone organique dissous, et carbone organique dissous biodégradable dans la Noue Robert en période pluvieuse

L'évolution des teneurs en MES est beaucoup plus significative que celle des composés dissous (figure 17). En effet, s'ajoute à l'apport d'eaux pluviales éventuellement souillées un phénomène d'érosion des dépôts dans le lit de la Noue extrêmement important. Les deux mesures que nous avons en temps de pluie donnent des teneurs de 1000 et 300 mg.l<sup>-1</sup> environ, alors que l'évolution des turbidités en continu suggère que nous n'avons pas échantillonné les pics. Comme pour les composés dissous, on note un retour rapide à des valeurs plus basses. Dans tous les échantillons collectés dans la Noue, le COP varie de 7 à 15% des MES, les pourcentages de COP les plus forts sont obtenus lorsque les teneurs en MES sont les plus faibles, en temps sec et en temps de pluie. A la différence du COD, les échantillons de COP collectés en temps de pluie ont des pourcentages dégradables nettement plus faibles (6 et 11 %) que les échantillons collectés en temps sec (23 à 36%) ce qui témoigne une fois de plus de l'érosion massive d'un matériel déposé, plus ancien et déjà dégradé (tableau 4).



**Figure 17.** Evolution des teneurs en MES dans la Noue Robert en période pluvieuse

**Tableau 4.** Teneurs en COP et en COP réfractaire dans la Noue Robert en période pluvieuse

		COP/MES total	COP/MES Refractaire	%refract.
Ecrevolles (Seine)	23.09 08:00	6.9%		
Fouchy (Seine)	23.09 08:00	8.0%		
N.Robert	23.09 08:00	8.0%		
N.Robert	23.09 08:00	8.9%	8.3%	94.0%
N.Robert	23.09 15:30	10.5%	6.6%	63.0%
N.Robert	23.09 23:30	12.1%		
N.Robert	24.09 09:00	10.2%	7.9%	77.2%
N.Robert	24.09 16:30	15.9%	11.7%	73.4%
N.Robert	24.09 23:30	10.6%		
N.Robert	25.09 08:30	10.8%		
N.Robert	25.09 09:00	7.3%	6.5%	89.2%

Simplement pour donner un ordre de grandeur, on peut chercher à extrapoler les flux exportés par Noue Robert et les comparer à ceux de la STEP après traitement. Il est évident que les valeurs que nous allons présenter sont basées sur un bien trop faible nombre de points de mesure pour pouvoir être considérées comme des extrapolations fiables. Elles ont pour objectif de poser les problèmes.

Pour la journée du 25.9, en estimant le volume total rejeté à partir de la pluviométrie et d'un coefficient d'imperméabilisation a priori les flux exportés par la Noue apparaissent plus importantes que les rejets journaliers moyens de la STEP (tableau 5)

**Tableau 5.** Estimation des flux exportés par la Noue et par la STEP le 25 septembre.

	Noue Robert	STEP
MES	20 Tonnes	0.6 Tonnes
COP	1.6 Tonnes	0.2 Tonnes
COD	200 kg	300 kg

A l'échelle annuelle, l'extrapolation est encore plus audacieuse, mais la Noue reste en tête devant la STEP en ce qui concerne les exportations de MES (1500 tonnes pour 250 tonnes). Or, on peut s'attendre, étant donnée l'occupation du sol très industrielle dans le bassin versant, à ce que les particules de la Noue portent des quantités significatives de micro-polluants industriels.

#### 4. Conclusions

Il ressort de nombreux éléments importants de cette première approche de la qualité de la Seine à la traversée de l'agglomération troyenne.

En temps sec, les phosphates et les coliformes fécaux sont clairement les deux indicateurs les plus déclassants à la traversée de l'agglomération. La Seine était à la limite de la baignabilité à l'amont au mois de mai, la norme est largement dépassée à l'aval. Comme pour l'ammonium, on note une contribution de l'ensemble de l'agglomération, et pas seulement du rejet de la STEP, alors que la très grande majorité du phosphore exporté par l'agglomération passe par la station. A l'aval de Troyes, les phosphates ne sont plus limitants pour la croissance du phytoplancton alors qu'ils l'étaient partiellement à l'amont.

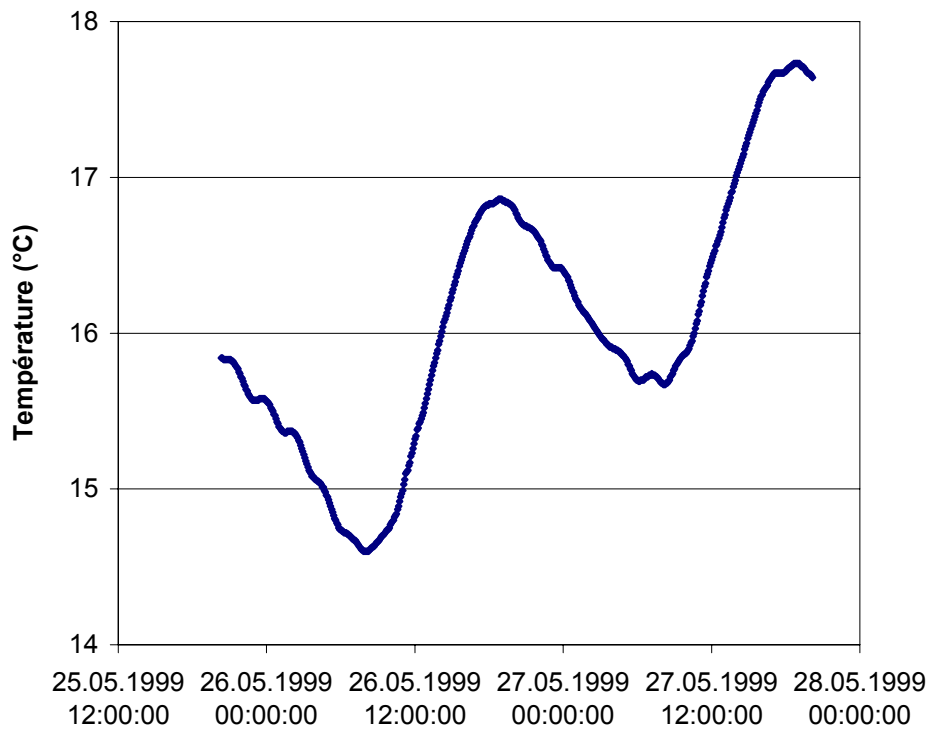
En termes de fonctionnement de la rivière, et notamment de croissances des bactéries hétérotrophes et de dégradation des matières organiques, les données acquises à l'aval de Troyes confirment l'applicabilité du modèle RIVE développé par le PIREN-Seine.

En temps de pluie, quelques éléments ont pu être collectés sans mise en place d'équipement particulier. Ces données mettent en évidence un comportement particulière dégradé de la Noue, avec notamment des teneurs en MES extrêmement fortes. A l'arrivée en Seine, ces apports de MES provoquent probablement des bouchons de pollution qui peuvent dans doute en partie décanter mais dont il serait important de mesurer l'impact.

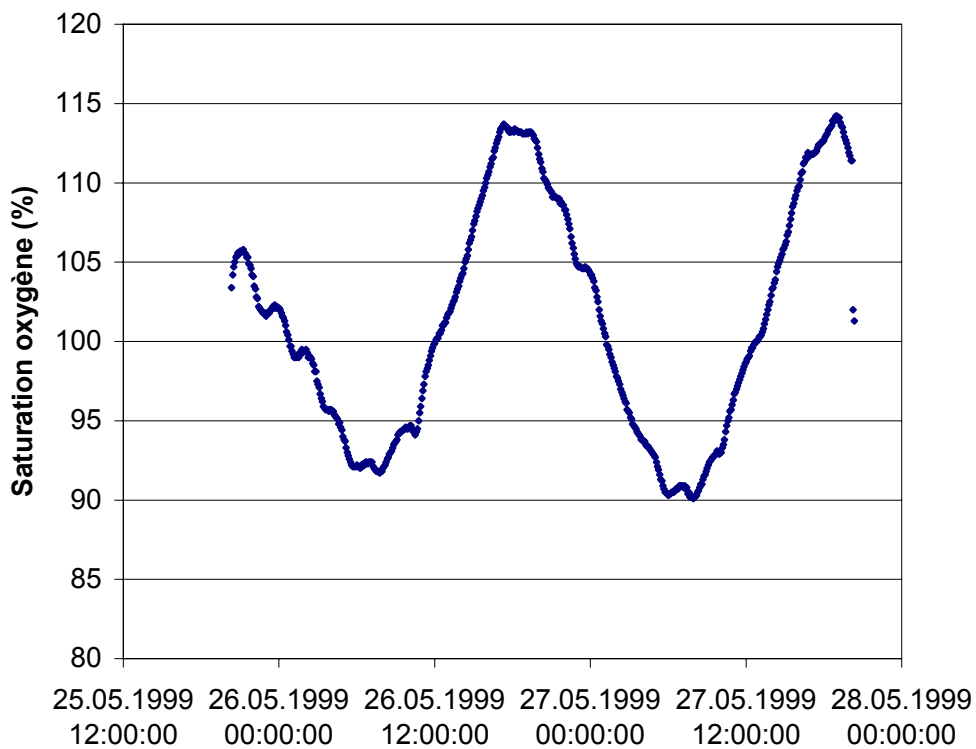
Nous remercions particulièrement la commune de St Lyé et la SOGEA qui nous accueillis au cours de ces campagnes de mesure.

## **5. Références.**

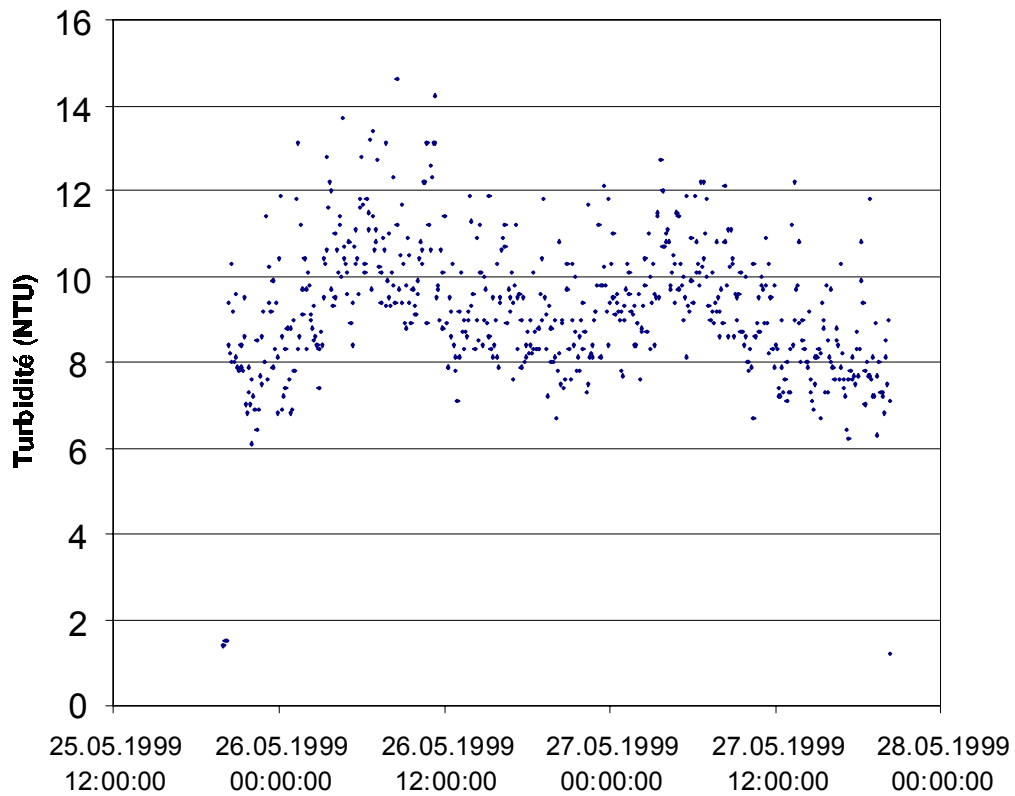
- Aufauvre A., 1860. Troyes et ses environs, guide historique et topographique. Les éditions du bastion. Réédité en 1996. pp 264.
- Billen G., Garnier J., LeGuern G., 1999. Seneque 1.3, Notice d'utilisation. in Rapport PIREN-Seine, 1998.
- Brion N., Billen G., 1998. Une ré-évaluation de la méthode de mesure de l'activité nitrifiante autotrophe par la méthode d'incorporation de bicarbonate marqué au  $^{14}\text{C}$  et son application pour estimer les biomasses de bactéries nitrifiantes. *Revue des Sciences de l'Eau*, 11:283-302.
- Garnier J., Billen G., Servais P., 1992. Physiological characteristics and ecological role of small and large sized bacteria in a polluted river (Seine river, France). *Ach. Hydrobiol. Beih*, 37:83-94.
- George I., Petit M., Servais P., 1999. Nouvelles méthodes pour l'étude des bactéries fécales appliquées au bassin de la Seine. Rapport PIREN-Seine 1998, thème Bactéries et matière organique.
- Seidl M., Servais P., Mouchel J.M., 1998. Organic transport and degradation in the river Seine (France) after a combined sewer overflow. *Water Research*, 32(12):3569-3580.
- Servais P., Garnier J., 1993. Contribution of heterotrophic bacterial production to the carbon budget of river Seine (France). *Microbial Ecology*, 25:19-33.
- Tusseau-Vuillemin M.H., Le Réveillé G., Mouchel J.M., Dispan J., Delbec M., Servais P., 2000. Biodégradabilité de la matière organique en sortie de station d'épuration. Rapport PIREN-Seine 1999.



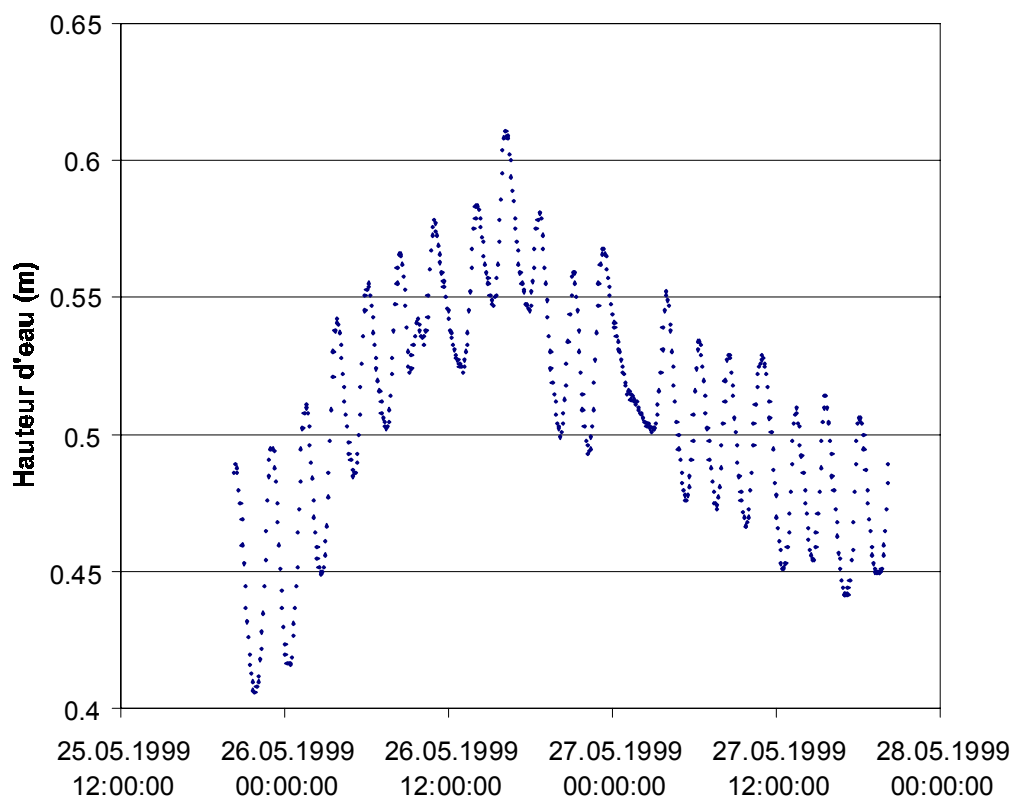
**Figure 18.** Evolution de la température à Barberey-aux-Moines du 25 au 27 mai 1999.



**Figure 19.** Evolution de la saturation en oxygène dissous à Barberey-aux-Moines



**Figure 20.** *Evolution de la turbidité à Barberey-aux-Moines*



**Figure 21.** *Evolution de la profondeur (pression) à Barberey-aux Moines*



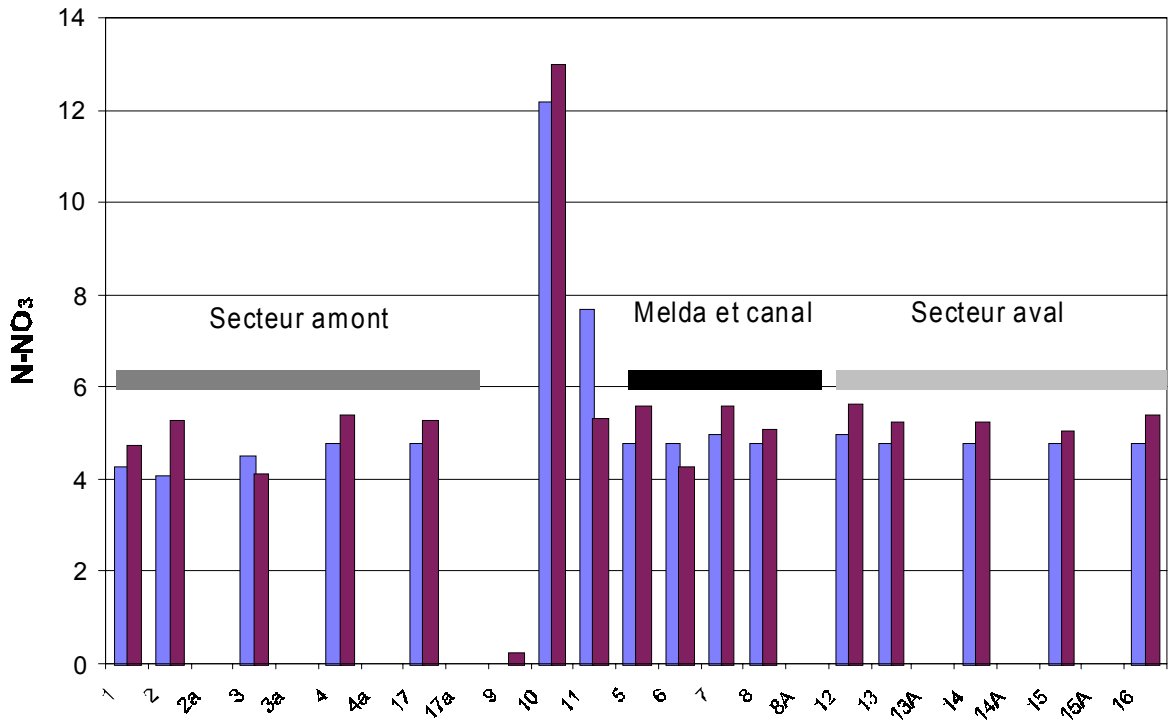


Figure 22. Nitrates autour de l'agglomération troyenne les 26 et 27 mai 1999

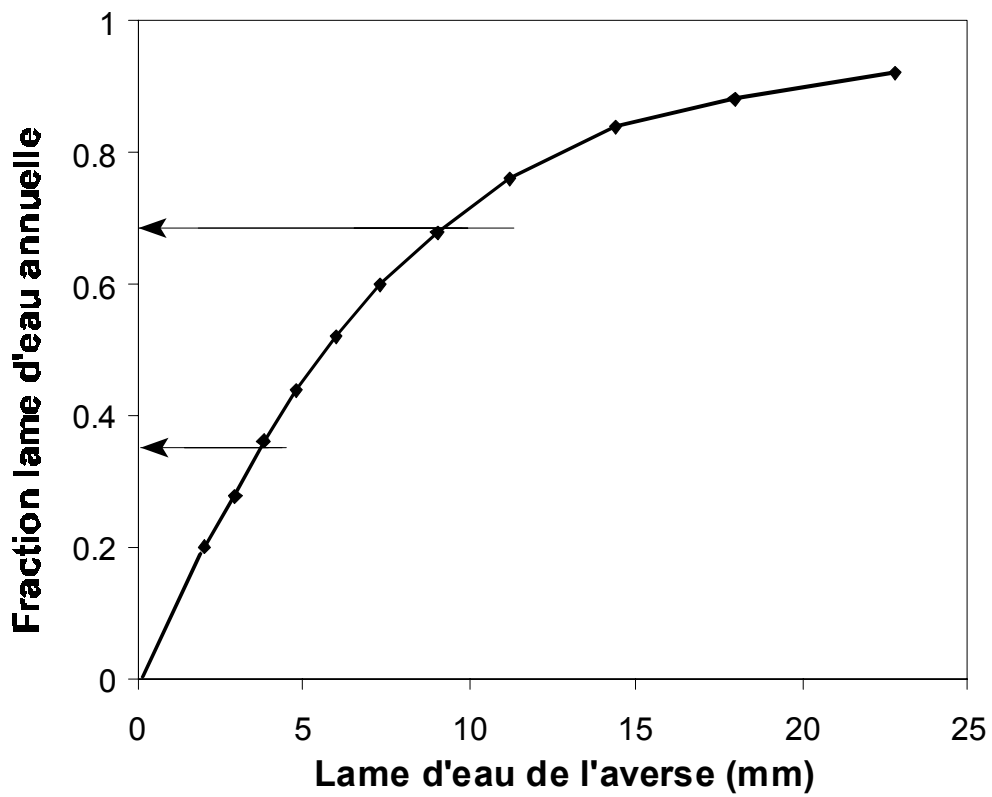


Figure 23. Représentativité des averses échantillonnées dans la Noue Robert du 23 au 25 septembre 1999