

La qualité des eaux de l'Orge vue par Seneque

Jean-Marie Mouchel, Gilles Billen, Aurélie Maisans et Eva Fresneau-Mitrecey.

UPMC, UMR-Sispyhe, 4, place Jussieu, 75232 cedex 05

Contact : jean-marie.mouchel@umpc.fr

Comme site-atelier du programme PIREN-Seine dans sa phase 5, le bassin de l'Orge, y compris son affluent principal, l'Yvette, fait l'objet d'une attention particulière de la part des chercheurs. Dans le cadre du programme « Phyt'eaux Cités », piloté par le SÉDIF, un suivi longitudinal du niveau de contamination est entrepris par les équipes du PIREN, les données sont partagées avec « Phyt'eaux Cités » et un bilan commun est entrepris. Des expérimentations sur un bassin versant expérimental urbain vont être entreprises avec le SIVOA. Un suivi de la contamination par les micropolluant ayant un potentiel endocrinien a été réalisé, et mis en regard d'indicateurs biologiques de perturbation, ce travail doit être poursuivi en 2008. Par ailleurs, le projet « Petites Rivières Urbaines » qui traite du paysage de l'eau en milieu urbain, de sa perception et de ses fragmentations, s'est intéressé principalement à la Bièvre au cours de l'année 2007 et va s'intéresser également à l'Orge puis l'Essonne et le Grand Morin.

La convergence des efforts sur le bassin de l'Orge en particulier demande également de la part du PIREN une analyse approfondie du fonctionnement hydrologique et biogéochimique de ce bassin versant. Notre démarche consistera dans un premier temps à appliquer le modèle Seneque (Ruelland et al., 2007) au bassin versant de l'Orge. L'application du modèle demande une connaissance la plus approfondie possible des contraintes imposées au système (hydrologie, apports de contaminants, morphologie), elle donne donc l'occasion au programme PIREN-Seine de synthétiser les connaissances qu'ont les multiples acteurs de ce bassin. Cette synthèse du fonctionnement, et la représentation qu'en fera le modèle Seneque, sera utilisable par les chercheurs du programme dans le cadre des travaux cités au paragraphe précédent. Elle sera également utile aux gestionnaires du bassin qui trouveront dans cette application un outil capable de répondre à des questions relatives à l'orientation générale de l'aménagement du bassin.

Par ailleurs, l'application de Seneque à un relativement petit bassin versant d'une superficie d'un peu moins de 1000 km², fournit l'occasion de tester l'influence de la prise en compte de données détaillées locales sur les résultats fournis. Il s'agit de comparer une application à grande échelle (l'Orge tel que représenté comme une partie du bassin de la Seine) et une application d'échelle locale. Les différences entre les deux applications concernent d'une part la finesse du découpage hydrologique, d'autre part les bases de données concernant les apports au système et sa morphologie, la collaboration avec les acteurs locaux permettant d'accéder à des informations beaucoup plus détaillées que celles qui sont disponibles à l'échelle de tout le bassin de la Seine.

1. Le bassin de l'Orge

Il occupe une superficie de 936 km² (Tableau 1). L'Orge est un affluent rive gauche de la Seine, sa confluence est située à Athis-Mons, dans le département de l'Essonne, le bassin versant l'Orge couvre pour partie les départements de l'Essonne et des Yvelines. Il est fortement urbanisé dans sa partie la plus aval. Les secteurs les moins urbanisés du bassin s'étendent à l'Ouest et au Sud, avec le Parc Naturel Régional de la Haute-Vallée de Chevreuse à l'Ouest et le plateau de Beauce au Sud. Les secteurs moins urbanisés sont donc très différenciés, avec des boisements encore importants dans le Parc, et des grandes cultures presque exclusives sur le plateau de Beauce.

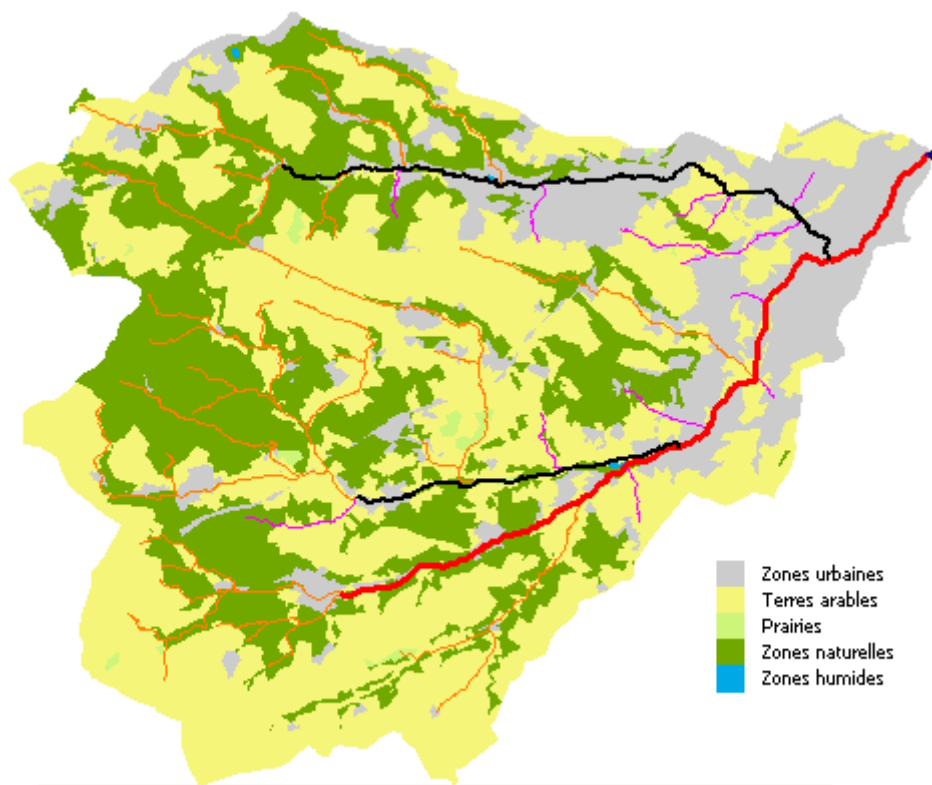


Figure 1: Usage du sol dans le bassin de l'Orge. Cette carte d'usage du sol est tirée de la base Corine LandCover de 2000. Quelques types d'usage du sol seulement ont été conservés : urbain (en grisé), terres arables (en beige), forêt en vert, quelques rares plans d'eau, visibles à cette échelle sont représentés en bleu. La rivière Orge est représenté en rouge sur cette carte, les deux affluents principaux, Yvette et Remarde, sont représentés en noir.

L'Orge a un affluent principal en rive gauche l'Yvette, qui draine également un secteur très urbanisé dans sa partie aval. Le plateau de Saclay est limité par les vallées de l'Yvette au sud de la Bièvre au Nord (hors du bassin de l'Orge). En outre la frange la plus au Nord Ouest de son bassin est influencée par la route nationale 10 et les communes se sont développées le long de cet axe routier majeur. La Remarde est plus rurale mais son bassin comprend néanmoins quelques agglomérations significatives comme celles de Sonchamp et Saint Arnoult en Yvelines.

1.1. Population du bassin et rejets de stations d'épuration

La population du bassin, estimée à partir des recensements communaux est de 887 000 habitants, elle est concentrée dans la partie aval du bassin. La carte des stations d'épuration municipales (figure 2) montre que les rejets d'eau usées après traitement sont situés dans la partie amont du bassin versant, alors que la partie aval du bassin, pourtant la plus peuplée est exempte de stations d'épuration. En effet, les communes de la partie aval du bassin sont desservies par un réseau d'assainissement séparatif dont l'exutoire est la station de traitement des eaux de Valenton, appartenant au SIAAP. Par contre il est avéré que des apports de temps de pluie ont lieu dans la partie aval de l'Orge et de l'Yvette. Il s'agit du ruissellement urbain pluvial *stricto sensu*, mais aussi d'apports dus à des débordements de certaines parties du réseau d'eaux usées dans le réseau pluvial. Une telle situation est hélas courante, dans les agglomérations péri-urbaines, et est souvent due à la présence de réseaux unitaires anciens, qui sont naturellement repris par le réseau d'eaux usées pour capter les eaux usées de temps sec. Ces derniers n'ayant pas la capacité hydraulique suffisante débordent en temps de pluie. Quelques points noirs de ce type sont notamment bien connus du SIVOA, le syndicat qui gère le secteur aval de l'Orge, rivière et réseau.

Le déséquilibre entre population et stations d'épurations est illustré par le tableau 2 qui présente les habitants recensés et les rejets de stations d'épuration, en équivalents-habitants, pour les différents ordres du bassin de l'Orge.

Tableau 1 : Superficie du bassin versant de l'Orge et des ses deux principaux affluents. Superficie et pourcentage du bassin occupé par de l'urbain ou de la forêt pour chacun de bassins et sous-bassins.

	Superficie (km ²)	Urbain (km ²)	Forêt (km ²)	Autres terres (km ²)
Orge	937	220 (23%)	292 (31%)	425 (45%)
Yvette	279	91 (33%)	80 (29%)	108 (39%)
Remarde	287	31 (11%)	129 (45%)	127 (44%)
Reste de l'Orge	371	98 (26%)	83 (22%)	190 (51%)

Tableau 2 : Population du bassin de l'Orge, en fonction des ordre de Strahler, et nombre d'équivalents-habitants raccordés à une station d'épuration (y compris les stations d'épurations industrielles). Les données utilisées sont celles des dernières estimations communales de l'INSEE, et chacune commune à été supposée appartenir intégralement au bassin versant du cours d'eau le plus proche de son centre de gravité.

Ordre	Population (milliers d'habitants)	Rejets nominaux (milliers d'équiv.-hab)
1	398	59
2	24	38
3	160	6.8
4	305	0.3
Total	887	104

Les données sur le fonctionnement des stations d'épuration, telles que centralisées par l'Agence de l'Eau ont été complétées à partir des relevés de contrôle réalisés par le SATESE de l'Essonne et des Yvelines. En plus d'un examen général du fonctionnement et d'une assistance pour la conduite du procédé, le SATESE réalise annuellement au moins un bilan de fonctionnement sur 24 heures dans chaque station, et procèdent à quelques visites supplémentaires plus légères. Il relève également le bilan de l'auto-contrôle lorsqu'il existe.

Cette série de données annuelles permet donc de mieux analyser les charges et performances réelles des stations, et donne une information sur la variabilité des charges et rejets. Nous interprétons ici les variations de charges et rejets observées dans les bilans 24 heures au cours de plusieurs années successives comme une image de la variabilité du fonctionnement journalier plutôt que comme une tendance inter-annuelle. Le parc des 40 stations d'épurations municipales du bassin de l'Orge traite 59000 équivalents-habitants, ses caractéristiques sont décrites sur le figure 2. On notera que les stations d'épuration du bassin de l'Orge sont nettement surdimensionnées en moyenne, puisque la capacité de traitement nominale totale de 104 000 habitants pour une charge traitée réelle de 59 000 équivalents-habitants.

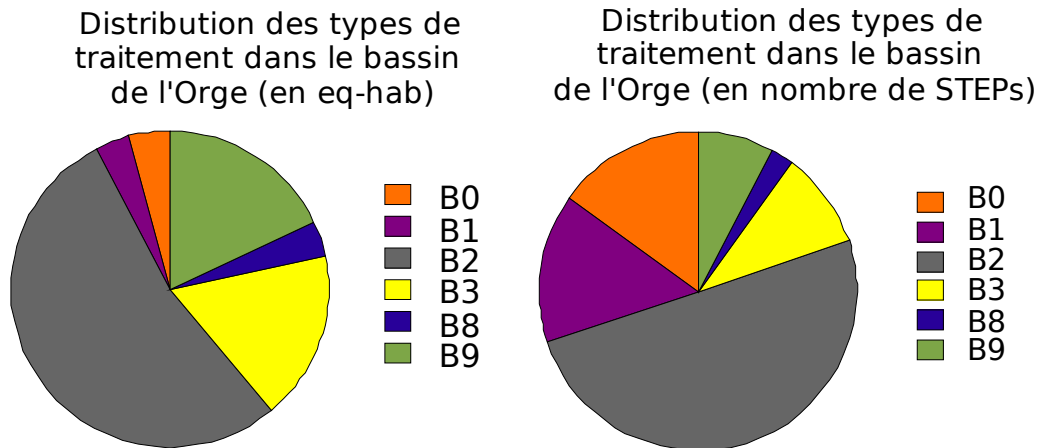


Figure 2 : Le parc des stations d'épuration municipales dans le bassin de l'Orge, selon la nomenclature de l'AESN : B0, traitement biologique classique ; B1: lagunage ; B2: traitement biologique + nitrification ; B3: traitement biologique + nitrification + dénitrification ; B8: traitement biologique + nitrification + dénitrification + déphosphatation biologique ; B9: traitement biologique + nitrification + dénitrification + déphosphatation physico-chimique

1.2. Apports par ruissellement et par les nappes

Parmi les composés simulés par Seneque, les eaux de ruissellement et les eaux de nappe apportent principalement des nitrates et de la silice. Azote organique et ammoniacal, matières organiques, et phosphore sont en général en teneurs très basses dans les eaux de nappes.

La base de données ADES (2008, Ministère de l'Environnement, BRGM) fournit quelques informations dans ce secteur, mais elles restent en nombre limité, et il est parfois difficile d'évaluer si la nappe dans laquelle a lieu le forage analysé est bien celle qui alimente le bassin de l'Orge.

Tableau 3 : Synthèse des teneurs en azote nitrique disponibles dans la base de données ADES. Certaines stations ne fournissent qu'une seule donnée et aucune fourchette ne peut être donnée. Quand plus de 8 données étaient disponibles, les extrêmes supérieurs et inférieurs ont été éliminés pour l'estimation de la fourchette. La période couverte est 1999-2005. Lorsque la masse d'eau était spécifiée dans la base ADES, elle a été reportée (TMH = Tertiaire du Mantois et du Hurepoix, CBL = Calcaire de Beauce libre). En fonction du pendage des couches dans la région, nous avons cherché à estimer l'aquifère concerné par le captage, ces hypothèses devront être vérifiées. Les nappes marquées d'une étoile sont protégées, et probablement n'alimentent pas les cours d'eau avoisinants.

	Fourchette de teneurs en N-NO ₃ (mg/L)	Altitude du point bas du captage (m)	Altitude des vallées proches (m)	Nappe
Les Essarts-le-Roi	3.7 – 3.9	79	110, Yvette	Craie*
La Celle Les Bordes	0.9 - 1.1	105	105-110, Aulne	TMH
Clairefontaine	0.6 - 1.5	73	100, Aulne	Craie*
St Martin Bréthencourt	4.1 - 6.9	92	110-115, Orge	Oligocène
Saint Arnoult	4.5	59	120, Rémarde	Oligocène
Rochefort	3.2	30	100, Rabette, Rémarde	Craie*
Saint Cyr-sous-	9 - 10.5	-10	80, Rémarde	Craie

Programme PIREN-Seine : La qualité des eaux de l'Orge vue par Seneque

Dourdan				
Longvilliers	4.3 - 5.4	59	90, Rémarde, Rabette	TMH
Villeconin	8 - 9	?	85, Renarde	?
Souzy-La-Briche	6.9 - 8.2	-1 (??)	85, Renarde	CBL
Corbreuse	3 - 8.4	91	90-100, Orge	CBL
Richardville	5.4	63	100, Renarde	<i>Oligocène</i>
Boissy-le-Sec	6.9 - 7.8	58	100, Renarde	CBL

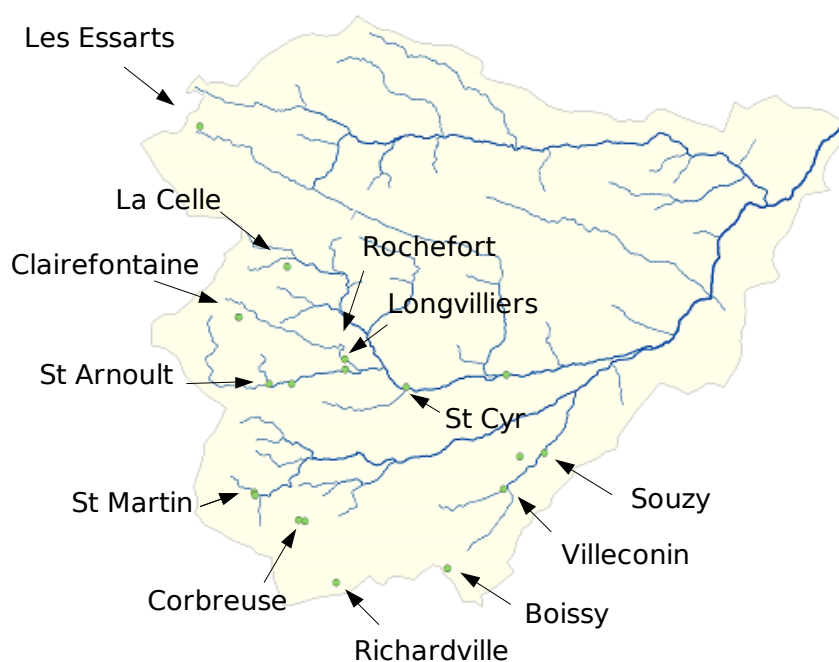


Figure 3 : Carte des points de forages de la base de données ADES sur le bassin de l'Orge (les captages dans l'albien sont exclus de cette représentation).

Plusieurs points de captage couvrent le secteur. Les données du tableau 3 sont extraites de la base ADES, la carte de la figure 3 positionne les forages. La figure 4 compare les estimations faites par Seneque et les données ADES. Il s'avère que les ordres de grandeur de concentration dans les nappes faites par Seneque sont tout à fait acceptables, étant données les différences d'échelles auxquelles réfèrent les données (point de forage versus bassin élémentaire). Les teneurs en nappe ont été estimées à partir d'une compilation des teneurs observées dans le bassin par grandes régions. Il est intéressant que cette méthode conduise à des estimations encore capable de simuler des variations réalistes à l'échelle d'un beaucoup plus petit bassin versant.

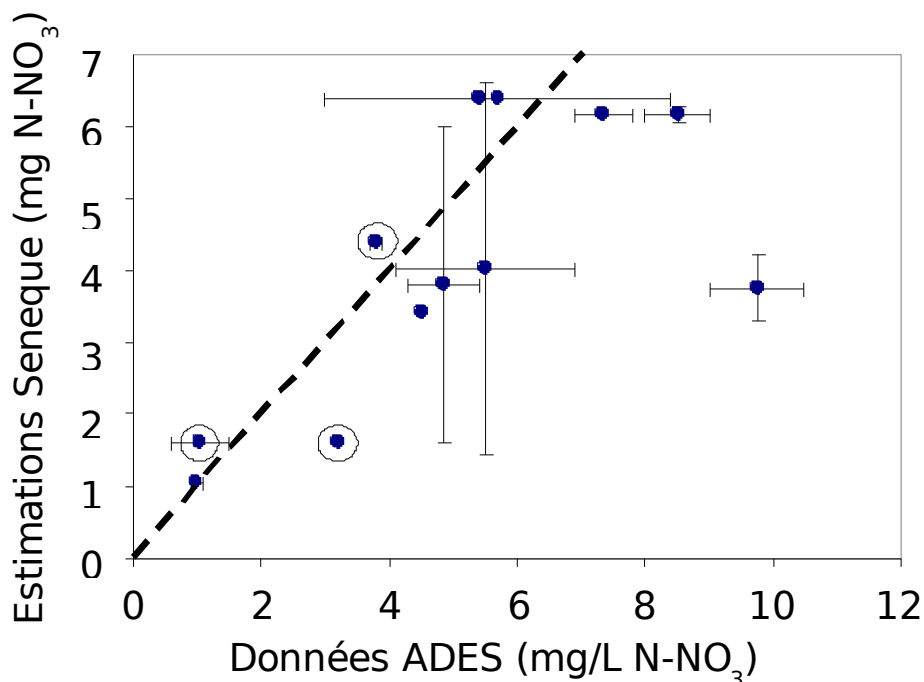


Figure 4 : Comparaison entre les données ADES et les estimations de teneurs en nitrates dans les nappes en fonction de l'usage du sol par Senèque. Les points cerclés sont ceux pour lesquels il n'est pas clair la nappe dans laquelle le forage est réalisé soit phréatique. Les écarts correspondant à des fourchettes de valeurs possibles, provenant (1) de la variabilité des données ADES (2) du fait que le point de forage est à cheval sur deux bassins élémentaires, ce qui ne permet pas de distinguer entre deux valeurs « Senèque » possibles. Les pointillés figurent la droite 1:1.

Le point « St Cyr sous Dourdan » sort de l'épure. C'est la plus forte valeur rapportée dans ADES, il s'agit d'un forage dans la craie étant donné sa profondeur, dans un secteur où la craie affleure en fond de vallée, et des interactions rivière-nappe sont possibles.

Malgré l'estimation tout à fait acceptable des teneurs en nitrates des nappes à partir de la base de données des usages du sol, les teneurs en nitrates simulées par Senèque dans les parties amont du bassin (sur l'Orge, la Rémarde et l'Yvette) sont fortement surestimées. C'est vérifié en toutes saisons, en période hivernale quand les eaux du sol, plus chargées en nitrates sont apportées aux cours d'eau, mais aussi en période estivale quand les apports par les nappes sont dominants.

En fonction de la typologie des vallées, Senèque propose une élimination riparienne significative dans le bassin de l'Orge, d'environ 40%. L'application de cette option réduit effectivement les teneurs en nitrate dans l'Orge et la Rémarde, mais reste insuffisante pour simuler les teneurs observées dans l'Yvette. En forçant l'élimination riparienne à 90%, les teneurs dans l'Yvette restent surestimées, les raisons de cette particularité ne sont pas bien cernées à ce jour.

Pour compléter la simulation des nitrates, il est nécessaire de compléter les apports des stations d'épuration en azote. A la différence d'autres sous-bassins versants du bassin de la Seine, ces apports pourront avoir une influence dès les petits ordres, étant donnée la répartition très particulière du parc des stations dans le bassin de l'Orge. Les rejets de nitrates par les STEPs n'étant en général pas mesurés, Senèque applique des concentrations estimées à chacun des rejets, en fonction du type de traitement. Ajoutant un apport de nitrate en période de bas débit, la prise en compte des rejets de stations atténue les diminutions estivales des teneurs en nitrates, et ce faisant améliore le rendu saisonnier des simulations avec de plus faibles différences entre été et hiver. Elle réhausse également le niveau moyen, suggérant une compensation par une élimination riparienne plus importante encore. Le tableau 4 montre pour l'année 2003, l'importance relative des apports de nitrates par les STEPs, par les nappes (écoulement de base) et les écoulements hivernaux.

N-NO3	(T/an-2003)
STEPs	123
Ec. Base (nappes)	342
Ec. Surface	739

Tableau 4 : Bilan des apports d'azote nitrique dans le bassin de l'Orge, les apports par les écoulements de bases et les écoulements de surface n'ont pas été corrigés d'une éventuelle (ou probable) élimination par les zones ripariennes

La figure 5 présente les résultats de plusieurs scénarios pour les nitrates estivaux (juin à septembre) pour trois points du bassin de l'Orge suivis dans le cadre du RNB. Elle compare des situations avec élimination riparienne estimée initialement par Seneque, élimination maximale (correspondant à la classe de vallée éliminant le plus de nitrates) et élimination minimale. Des situations avec et sans apports urbains sont également présentées afin d'évaluer leur importance.

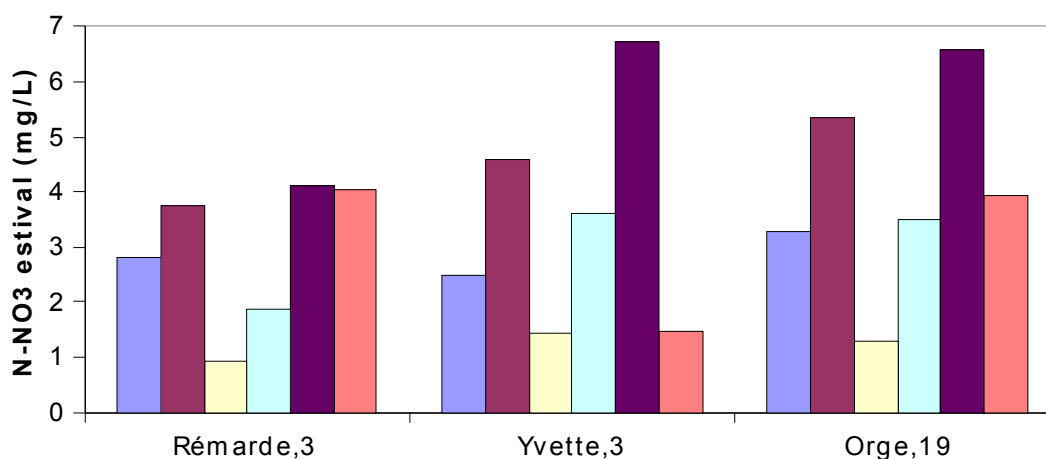


Figure 5 : Nitrates estivaux (année 2001). Les points sélectionnés sont la Rémarde à l'ordre 3 (vers St Cyr les Dourdan), l'Yvette au pK3 (selon le découpage utilisé, à l'amont du bassin, vers St Rémy les Chevreuse) et l'Orge au pK19 (aval d'Arpajon). Chaque barre correspond à un scénario: 1(bleu)=forte élimination riparienne et STEP; 2(violet)=élimination riparienne standard et STEP; 3(jaune)= forte élimination riparienne sans STEP; 4(vert)= élimination riparienne standard sans STEP; 5(mauve)= faible élimination riparienne sans STEP; 6(rose)=données RNB.

L'utilisation de Seneque comme outil de synthèse des connaissances (Billen et Garnier, 1999) permet d'analyser conjointement les différents apports de nitrates au bassin versant. L'analyse des apports d'azote dans la bassin de l'Orge montre la grande importance des apports urbains dès l'amont en période estivale. Elle montre également que l'élimination riparienne est significative dans ce bassin versant, et probablement supérieure à l'ordre de grandeur de 40% estimé par Seneque à partir d'une analyse à grande échelle des rétentions dans le bassin de la Seine. Etant données les incertitudes concernant les apports de nitrates par les STEP, il est difficile à ce stade de s'aventurer à proposer un taux d'élimination. Elle met également en évidence une particularité du bassin de l'Yvette, avec de très faibles teneurs en nitrates.

2. Scénarios d'épuration

2.1. Variabilité et réactivité

Les rejets des stations d'épuration jouent un rôle significatif sur les teneurs en nitrates dans le bassin de l'Orge, on doit donc s'attendre, à ce qu'elles jouent également un rôle important sur des paramètres d'autres variables habituellement plus sensibles aux contaminations urbaines comme l'ammonium ou les phosphates.

Dans son application à l'échelle de tout le bassin de la Seine, Seneque utilise les bases de données collectées par l'agence de l'eau. Ces bases de données décrivent, pour chaque station d'épuration, la capacité nominale, les flux journaliers entrant de MES, MO¹, N-réduit et phosphore, et les rendements de la station pour chacun de ces flux. Dans le cadre d'un travail plus détaillé sur un plus petit bassin, nous sommes en mesure de remonter à des sources plus détaillées auprès du SATESE qui est en charge de ces mesures. Le SATESE intègre également les données d'auto surveillance lorsqu'elles sont disponibles (SATESE Yvelines-Essonnes, 2003, 2004, 2005, 2006). L'existence d'une expertise indépendante à côté de l'auto-surveillance est une garantie de qualité de l'ensemble des données.

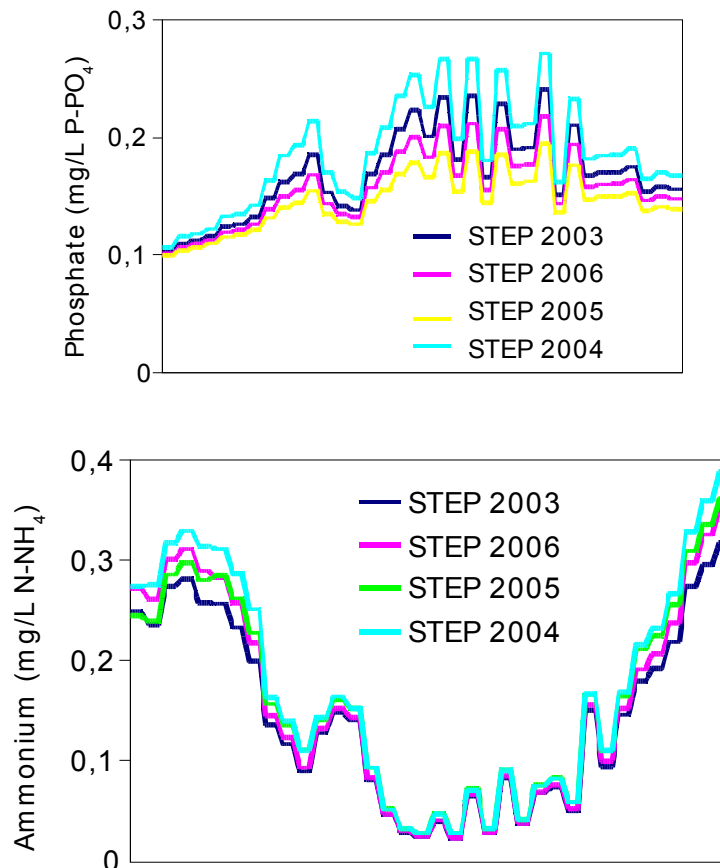


Figure 6 : Variation simulée des teneurs en N-NH₄ et en P-PO₄ au point aval du bassin de l'Orge au cours d'une année (1^{er} janvier au 31 décembre). Toutes les simulations ont été réalisées avec l'hydrologie de l'année 2003. Les bilans journaliers disponibles auprès du SATESE (une visite par an et par STEP) ont été utilisés pour simuler différentes situations possibles, et référencés par l'année au cours de laquelle les bilans journaliers ont été faits.

1 MO, les matières oxydables. Calculées comme la somme pondérée (DCO+2*DBO₅)/3

Ainsi les données annuelles de fonctionnement des STEPs peuvent être utilisées comme autant de scénarios différents et plausibles. Nous simulons donc des scénarios identifiés comme « STEP NNNN »..., dans lesquels les rejets mesurés au cours de l'année NNNN sont appliqués comme rejets-types durant toute une année hydrologique. Les scénarios ont été réalisés à partir de l'année hydrologique 2003.

On s'intéressera principalement à l'ammonium et au phosphore, dont l'origine urbaine est avérée, et qui sont des paramètres potentiellement déclassants dans un contexte DCE.

Tableau 5 : Teneurs moyennes estivales en N-NH₄ et en P-PO₄ au point aval Orge (Athis-Mons) et à la station de Saint Cyr sous Dourdan dans la partie amont du bassin, sur la Remarde.

	Saint Cyr sous Dourdan		Athis-Mons	
	N-NH ₄ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
Rejets 2003	0.202	0.347	0.047	0.207
Rejets 2004	0.157	0.276	0.053	0.232
Rejets 2005	0.147	0.192	0.054	0.171
Rejets 2006	0.285	0.305	0.047	0.189

La figure 6 représente les teneurs simulées en N-NH₄ et en P-PO₄ pour les quatre rejets-types, au point le plus aval, l'Orge à Athis-Mons. Elle montre que la variabilité due aux rejets est importante, en particulier pour le phosphore. Dans le cas d'une application standard de Seneque, les rejets des stations d'épuration sont simulés comme constants au cours de l'année. Dans la réalité bien entendu ils ne le sont pas. Si on accepte l'hypothèse que la variabilité évaluée grâce aux évolutions inter-annuelles des bilans journaliers est représentative de la variabilité des bilans journaliers au cours d'une année (à échelle de quelques années, le mode de fonctionnement des STEPs évolue peu), l'enveloppe des courbes obtenues représente une marge d'erreur plausible autour des résultats de simulation. On voit qu'elle est assez forte pour le phosphore, notamment en période estivale.

Le cas de l'ammonium est très différent, puisque les teneurs les plus faibles sont obtenues en été. Les simulations réalisées avec Seneque proposent une diminution progressive des teneurs en N-NH₄ le long de l'Orge, qui aboutit aux faibles teneurs mesurées en aval en été. En hiver les activités biologiques sont moindres et les processus consommateurs d'ammonium, probablement benthiques, sont limités, d'où des concentrations plus élevées alors que les processus de dilution devraient au contraire les limiter. Les données mesurées donnent des concentrations d'ammonium beaucoup plus élevées, les flux mesurés étant environ 4 fois plus importants que les flux simulés par Seneque en bas débit (environ 42 kg/j contre 12 seulement pour Seneque, à l'été 2003, et 110 kg/j d'azote réduit apporté par les STEPs). Nous verrons plus loin qu'une meilleure prise en compte de la morphologie permet d'expliquer pour partie le phénomène. Cependant, une analyse plus poussée des apports d'ammonium, même intermittents par temps de pluie doit être menée, de même qu'une évaluation du comportement des sédiments, qui peut être perturbé par le fonctionnement des ouvrages.

La forte réactivité de l'ammonium peut encore être mise en évidence dans un secteur amont, mais avec une dynamique inversée. Au niveau de la station de Saint Cyr sous Dourdan sur la Rémarde, soit dans un ordre 3 avec un bassin versant relativement forestier, les flux d'azote ammoniacal mesurés sont d'environ 2 kg/j, contre 12 kg/j simulés par Seneque et 44 kg/j apportés par les STEPs. La réactivité est encore là, mais Seneque semble la sous-estimer cette fois.

Par contre, les ordres de grandeur des flux de phosphates émis par les stations, exportés par l'Orge et simulés par Seneque sont similaires.

2.2. Influence du parc des STEPs

Après implémentation et validation sur le bassin de l'Orge, Seneque permettrait facilement de tester des scénarios d'épuration. Pour l'exemple, nous pouvons tester des scénarios extrêmes. Le premier consisterait à enlever toutes les stations d'épuration du bassin, en pensant à des solutions d'assainissement autonome ou une centralisation complète de l'épuration à l'aval, le second consisterait à équiper chaque commune d'une station d'épuration en décentralisant donc fortement le traitement et les rejets afférents. Les deux situations sont complètement irréalistes, elles sont simplement présentées comme exemples techniquement faisables (du point de vue de la simulation !).

Les différentes communes ont été raccordées au cours d'eau le plus proche (le plus proche de leur centre de gravité), et des niveaux de traitement différent ont été testés. Le niveau B2, le niveau B9 et un niveau B10 correspondant à des traitements très poussés limitant les teneurs en N-NH₄ et en P-PO₄ à 0.5 mg/L en sortie, et 15 mg/L de N-NO₃. C'est ainsi 800 000 habitants dont les eaux usées viendraient rejoindre de bassin de l'Orge après traitement.

Comme précédemment, les résultats sont présentés sous forme des teneurs moyennes en période estivale à Athis-Mons, pour les 4 scénarios (tableau 6). Le paramètre ammonium est déclassant vis à vis de la DCE (Cirulaire DCE 2005/12) sauf pour le mode de traitement le plus drastique.

En se basant sur cette procédure, toutes les combinaisons de schéma d'assainissement peuvent être simulées. L'exercice présenté ici reste cependant académique, nous tenons à rappeler ici que d'une part, ces scénarios sont des hypothèses extrêmes et irréalistes, et d'autres part que les teneurs estivales en ammonium ne sont pas bien simulées dans l'état actuel de développement de l'application sur l'Orge (voir plus haut).

Tableau 6 : Teneurs estivales moyennes simulées à Athis-Mons pour trois scénarios d'assainissement extrêmes et irréalistes. Voir la figure 2 et le texte pour la description des types de STEPs.

	N-NO ₃ (mg/L)	N-NH ₄ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)
zéro rejets	3.54	0.03	0.10
STEPs B2	16.1	3.0	3.26
STEPs B9	9.3	1.8	0.4
STEPs B10	7.6	1.0	0.4

3. Effet de la morphologie

La morphologie du système fait partie des caractéristiques physiques qui sont dessinées à grands traits pour l'application de Seneque à l'échelle du bassin de la Seine. Une application plus locale doit permettre de mieux apprécier des paramètres de forme tels que les pentes, les largeurs et les profondeurs des cours d'eau. En particulier, au passage d'un milieu urbanisé la rivière est considérablement modifiée. Son cours est général plus étroit et elle est souvent approfondie par la présence de seuils divers.

Dans le cadre du SAGE de l'Orge, un travail cartographique considérable a été réalisé pour l'acquisition d'une cartographie complète du système et de ses usages (GEOHYD, 2005). Nous avons pu tirer de cette base de données des éléments plus précis concernant les pentes, les largeurs et les profondeurs. L'exercice consiste à évaluer l'influence d'une prise en compte de ces nouveaux éléments. On pourrait également penser à tester d'autres éléments morphologiques tels que la présence d'arbres comme facteurs limitant la photosynthèse (ombrage).

Des données de largeur et de profondeur ont été introduites dans les bases de données décrivant la morphologie du bassin de l'Orge, réalisées pour la mise en place du SAGE. Le système Geoportail de l'IGN

(2008) a permis de valider les valeurs fournies pour quelques tronçons. Les largeurs de cours d'eau de la base de données du bassin de la Seine ont été estimée par calage d'une relation entre des mesures de largeur sur le terrain et des paramètres physiques uniformément disponibles tels que la pente, et la surface du sous-basins versant. La figure 7 montre l'importance de ces modifications pour une application à plus petite échelle. Un travail similaire a été fait pour les profondeurs d'eau, qui sont représentées sous formes de classes dans la base de données de l'ensemble du bassin.

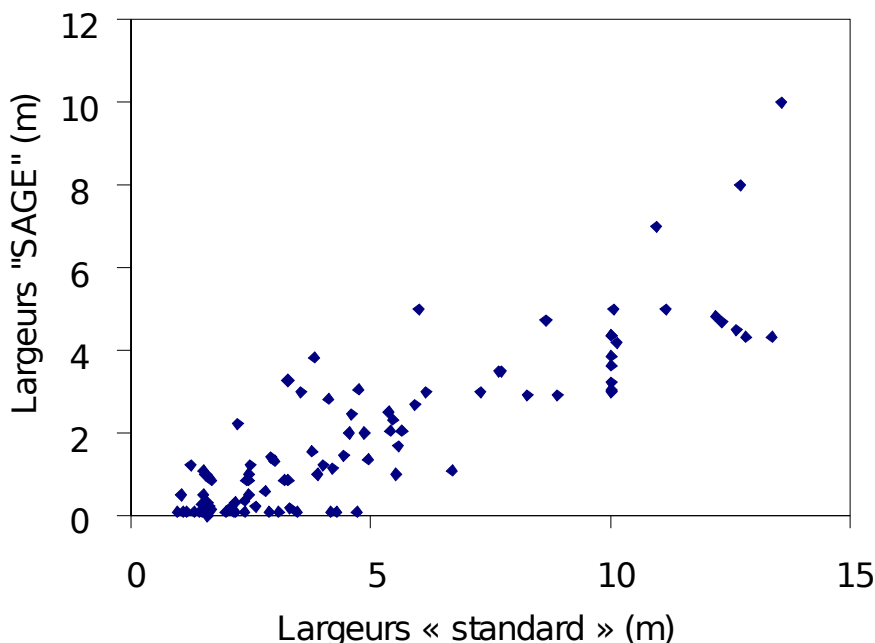
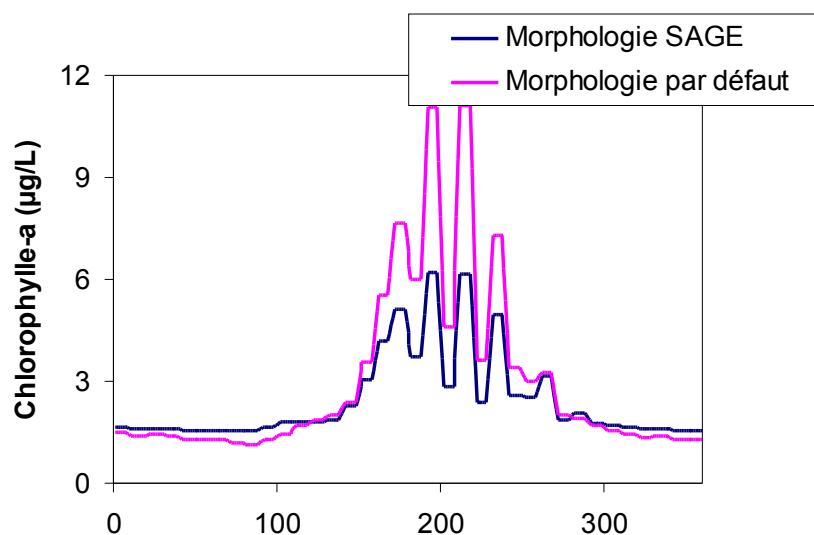
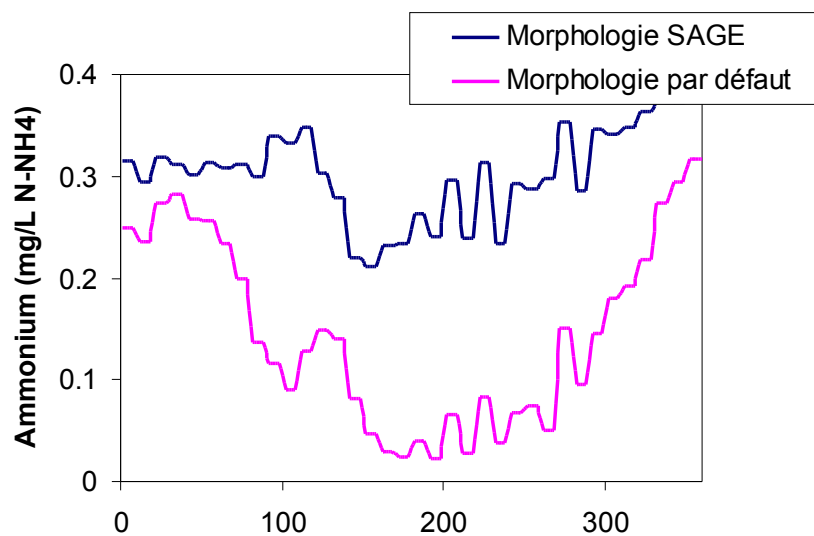


Figure 7 : Les largeurs des cours d'eau mesurées au cours des études préparatoires au SAGE, et validées grâce à Géoportail, comparées au calage à l'échelle du bassin de la Seine.

Les caractéristiques morphologiques des cours d'eau peuvent largement influencer de nombreux processus. Elles influent sur les temps de transit des masses d'eau, et donc sur le développement de tous les processus à cinétique relativement lente à l'échelle du temps de transit global dans le bassin (croissance algale, croissances bactériennes). Ils influent également sur les vitesses d'eau et donc sur les processus de sédimentation et resuspension et sur tous les processus biogéochimiques benthiques. Ils influent enfin sur les hauteurs d'eau et donc sur les processus de croissance algale.

Les résultats d'une simulation avec la morphologie standardisée « bassin de la Seine » et une morphologie détaillée sont présentés sur la figure 8 pour l'année 2003, les concentrations moyennes estivales simulés à l'aval du bassin de l'Orge. Les flux à bas débit d'ammonium sont en ce point de 62 kg/j, ce qui nous rapproche des 42 kg/j environ estimés à partir des mesures. A l'aval du bassin de la Remarde, les flux journaliers simulés en périodes estivales en 2003 sont de 28 kg/j avec la morphologie « SAGE » contre 2 kg/j mesurés. Ils ne seraient plus que de 12 kg/j avec les rejets de STEPs de 2004. La variabilité des rejets n'est donc pas susceptible d'expliquer les écarts observés, bien que les STEPs soient en plus faible nombre et de plus petite taille. La question du comportement de l'ammonium dans de très petits cours d'eau presque totalement forestiers reste donc une question ouverte. De fait, les données montrent qu'il est extrêmement bien éliminé.

Enfin, la simulation d'un abaissement généralisé des lignes d'eau a été faite (toutes les lignes d'eau de base en débit minimal ont été limitées à 0.3 m dans l'ensemble du bassin). Les résultats montrent un effet sur la chlorophylle au point le plus aval (tableau 8). La diminution observée est probablement piloté par la diminution des temps de transit.



	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	Chla (µg/L)
Morphologie « standard »	0.05	4.79	0.21	5.12
Morphologie « SAGE »	0.26	4.84	0.21	3.04
Morphologie « SAGE » avec abaissement des lignes d'eau aval	0.26	4.86	0.21	1.96

Tableau 8 : Simulation des variations saisonnières de l'ammonium et de la chlorophylle et valeurs moyennes estivales, pour l'année 2003, pour diverses représentations de la morphologie.

4. Conclusions

Ce travail d'application de Seneque au bassin de l'Orge répondait à deux objectifs, l'un opérationnel et l'autre un peu plus théorique.

D'un point de vue opérationnel, les applications réalisées ici illustrent la faisabilité d'un travail de modélisation à cette échelle, et l'existence de jeux de données qui permettent d'atteindre assez aisément une utilisation plus précise que ce qui peut être fait à l'échelle de tout le bassin de la Seine. Nous avons cependant mis en évidence différents points qui mériteraient une attention particulière comme la faiblesse des teneurs en nitrate à l'amont de l'Yvette (bassin d'alimentation mal identifié, rôle tampon particulièrement efficaces ?), ou la teneur en ammonium dans un bassin très forestier comme la Remarde dans sa partie amont. De cette façon, Seneque est utilisé pour identifier des questions d'importance significative pour la qualité de l'eau dans le bassin.

D'un point de vue plus théorique, ce travail nous a permis de mettre en évidence plusieurs points importants pour les applications localisées du modèle initialement développé pour tout le bassin de la Seine. D'une part la méthodologie d'évaluation des teneurs dans les nappes s'est avérée robuste à cette échelle. C'est un point positif qui ne peut cependant être généralisé qu'avec grande prudence à d'autres bassins versants. Nous avons aussi montré la grande importance de la variabilité effective des apports des STEP pour certains paramètres (P-PO₄ notamment), l'accès aux données de bilans journaliers produites et synthétisées par le SATESE a été un élément majeur de cette partie du travail. Enfin, si l'influence de la morphologie (largeurs et profondeurs, les pentes et longueurs de tronçons étant bien connues) étaient attendue compte-tenu de son influence sur de nombreux processus physiques et biologiques, l'amplitude des spécificités morphologiques dans le bassin et de leurs conséquences sur l'ammonium en particulier étaient inattendus. Il reste à déterminer si cette morphologie inhabituelle dans le bassin de la Seine est d'origine naturelle ou humaine de l'amont à l'aval du bassin.

5. Références

ADES (2008), Accès aux Données sur les Eaux Souterraines, <http://www.adeseaufrance.fr/>, consulté en janvier 2008.

Billen G. et Garnier J. (1999). Nitrogen transfers through the Seine drainage network : a budget based on the application of the Riberstrahler model. *Hydrobiologia*, 410:139-150.

GEOHYD (2005). Etude du milieu physique à l'échelle du lit majeur sur le bassin versant Orge-Yvette. Etude réalisée pour la Commission Locale de l'Eau Orge-Yvette.

Géoportail, Institut géographique national. <http://www.geoportail.fr>, consulté en janvier 2008.

Ruelland D., Billen G., Brunstein D. et Garnier J. (2007). A multi-scaling GIS interface to the Riverstrahler model of the biogeochemical functioning of river systems. *The Science of the Total Environment*, 375(1-3):257-273.

SATESE Yvelines-Essonnes. Bilans techniques 2003. Annexes techniques Essonne et Yvelines.

SATESE Yvelines-Essonnes. Bilans techniques 2004. Annexes techniques Essonne et Yvelines.

SATESE Yvelines-Essonnes. Bilans techniques 2005. Annexes techniques Essonne et Yvelines.

SATESE Yvelines-Essonnes. Bilans techniques 2006. Annexes techniques Essonne et Yvelines.