

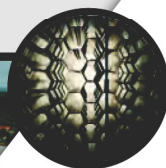
Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement

De 1970 à 2015

Ouvrage collectif

Coordinateurs
Vincent Rocher et Sam Azimi

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien




EDITIONS
JOHANET

Evolution de la qualité de la Seine en lien avec les progrès de l'assainissement de 1970 à 2015

Ouvrage collectif

Coordinateurs

Vincent Rocher et Sam Azimi

Avec le soutien

d'ARCEAU – Association Recherche
Collectivités dans le domaine de l'EAU

www.arceau-idf.fr



CHEZ LE MÊME ÉDITEUR

Le Lexique six Langues de l'Eau, collectif, 2001
Abécédaire de l'agronomie Champenoise, Jean-Louis-Pascal Ballif, 1997
Dynamique de l'eau et irrigation en Champagne, Jean-Louis-Pascal Ballif, 1998
Ruissellement et érosion en Champagne, Jean-Louis-Pascal Ballif, 1999
La nature juridique de l'eau, Arnaud Gaonac'h, 1999
La responsabilité pénale des élus locaux, Sophie Canadas-Blanc 1998
Planète Eau : repères pour demain, Jean-Luc Redaud, 2000
L'eau, ressource vitale, Jean-Louis-Pascal Ballif, 2001
Histoire illustrée de 5 000 ans d'hygiène publique, Maurice Paquier, 2001
L'industrie des carrières et le développement durable, collectif, 2002
Histoires d'eaux parisiennes, Maurice Paquier, 2004
Plages en Ville, baignades en Marne, Thomas Deschamps, 2004
L'eau en France : quelle stratégie pour demain ?, Jacques Oudin, 2004
La guerre de l'eau aura-t-elle lieu ?, Nguyen Tien-Duc, 2004
Les eaux pluviales, James Chéron, Alix Puzenat, 2004
L'eau potable et l'assainissement, Jean-Luc Martin-Lagardette, 2004
Environnement et politiques locales, un nouveau défi ? Régis Morvan, 2006
Les cours d'eau et le droit, Philippe Marc, 2006
Un nouveau rôle pour les agences de l'eau ?, Bernard Kaczmarek, 2006
Les agences de l'eau : quarante ans de politique de l'eau, Jean-Loic Nicolazo, Jean-Luc Redaud, 2007
L'eau dans son environnement rural, Jacques Bordet, 2007
L'eau... Une histoire peu ordinaire, Raoul Caruba, 2008
Le renouveau du droit public fluvial, Guy Arzul, 2008
La prise en charge des dettes d'eau des usagers démunis en France, Henri Smets, 2008
Le vade-mecum de l'eau, Jean-Luc Martin-Lagardette, 2009
De l'eau potable à un prix abordable, Henri Smets, 2009
Regard juridique sur la double nature de l'eau, Marie-Agnès Bordonneau, 2009
Les principes du droit et de l'administration des Eaux, Dante A. Caponera, 2010
L'accès à l'assainissement, un droit fondamental, Henri Smets, 2010
Le droit à l'eau : une urgence humanitaire, Bernard Drobenko, 2010
La mise en oeuvre du droit à l'eau : les solutions à Paris, Henri Smets, 2011
Le Conseil Mondial de l'Eau, René Coulomb, 2011
Théorie et pratique du droit de l'eau, Alan Saout, 2011
La tarification progressive de l'eau potable, Henri Smets, 2011
Dérèglement climatique et ressources en eau, Nguyen Tien-Duc, 2012
Le droit à l'eau potable et à l'assainissement en Europe, Henri Smets, 2012
Le droit à l'eau : une urgence humanitaire 2^{ème} édition, Bernard Drobenko, 2012
La protection juridique des cours d'eau, Aude Farinetti, 2012
La part fixe dans la tarification de l'eau des ménages, Henri Smets 2012
Les nouveaux tarifs de l'eau potable, Henri Smets 2013
La recherche des fuites d'eau, Alex Gaspar, 2013
Le code de l'eau, 4^{ème} édition, Bernard Drobenko, Jacques Sironneau, 2017
Les sources du droit à l'eau en droit international, Marie-Catherine Petersmann, 2013
Territoires, villes et campagnes face à l'étalement urbain et au changement climatique, collectif, 2013
L'eau, entre réglementation et marché, sous la coordination de Max Falque, 2014
Le filtre planté de roseaux, guide d'exploitation, 2014
La traversée de la pluie, Guy Bédiet, 2014
Introduction au droit de l'eau, Bernard Drobenko, 2014
L'accès à l'eau : un nouveau droit de l'Homme ? Franck Duhautoy, 2015
Le statut juridique de l'eau à l'épreuve des exigences environnementales, Julia Gudefin, 2015
Balade écologique au fil de la Seine, Bernard Vedry, 2015
La loi sur l'eau de 1964 : bilans et perspectives, Collectif, 2015
Le recouvrement des factures d'eau, Henri Smets, 2016
Qualité microbiologique des eaux en agglomération parisienne, Vincent Rocher, Sam Azimi, 2016
Histoires d'eau : le versant vert de l'eau française, André Paulus, 2016
La police de l'eau – Réglementer les usages des eaux : un défi permanent, Anthony Mergey et Frantz Mynard, 2017

Périodiques :

L'eau, L'industrie, les Nuisances (mensuel)
Le Guide de l'Eau, collectif

ISBN : 979-10-91089-31-9

Copyright Éditions Johanet 2017, Paris

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage (Loi du 11 mars 1957) sans l'autorisation de l'éditeur ou du centre Français d'exploitation du droit de copie.

PRÉFACE

Depuis 1970, les équipes du SIAAP assurent chaque jour la dépollution des eaux usées domestiques, industrielles et pluviales de l'agglomération parisienne.

Opérant sur un territoire qui compte parmi les plus denses d'Europe avec 9 millions d'habitants, notre syndicat est en charge de l'épuration quotidienne de 2,5 millions de m³ d'eaux usées au sein de nos 6 usines.

Aujourd'hui, notre métier, ses objectifs et ses contraintes ont considérablement évolué. Il s'agit pour notre service public, de nous adapter à ces évolutions afin d'être en capacité de répondre aux nouvelles attentes des Franciliens tout en continuant à leur apporter le meilleur service au meilleur coût.

La prise de conscience, au sein des opinions publiques, de l'urgence environnementale bouleverse de manière inédite la vision que nous devons avoir des métiers de l'assainissement. Cette nouvelle conscience sur l'importance des enjeux environnementaux a radicalement transformé le regard que nous portons tous sur l'eau et son devenir.

Bien commun de l'Humanité, l'eau est aujourd'hui reconnue comme rare et fragile : sa protection et sa préservation doivent désormais être considérées comme des priorités absolues dans la perspective de garantir pour les générations futures un accès durable à cette ressource vitale.

La croissance urbaine de ces dernières années a transformé le visage des villes et a eu un impact majeur sur le milieu naturel, tant sur les eaux de surface que sur les eaux souterraines. Cette croissance crée un impératif nouveau de protection de la ressource qui devra nécessairement être partagé à l'échelle mondiale.

Fragilisé par l'augmentation de la population, l'imperméabilisation des sols et la multiplication des pollutions émergentes, le milieu naturel doit à tout prix faire l'objet d'une attention renforcée au sein du grand cycle de l'eau.

En présentant l'évolution des techniques d'assainissement et leur impact sur la qualité de l'eau de la Seine depuis 1970, cet ouvrage collectif raconte les grandes étapes du déploiement industriel de l'épuration en Ile-de-France. Il met également en lumière les profondes mutations du processus épuratoire et son adaptation permanente à une ambition toujours plus forte pour le SIAAP : réduire son empreinte carbone, protéger le milieu naturel et ainsi « reconquérir la Seine, la Marne et leurs affluents ». Au cœur de ces défis, les femmes et les hommes du SIAAP œuvrent chaque jour.

Bélaïde BEDREDDINE
Président du SIAAP

Jacques OLIVIER
Directeur Général du SIAAP

Liste des auteurs

Vincent Rocher. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Expertise et Prospective.

Sam Azimi. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Etudes Générales et Patrimoine.

Catherine Paffoni. SIAAP – Ingénieur hydrologue.

Olivier Rousselot. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Direction.

Jean-Pierre Tabuchi. SIAAP – Direction de la Stratégie Territoriale.

Jean Bernier. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Expertise et Prospective.

Sabrina Guérin-Rechdaoui. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Expertise et Prospective.

Romain Mailler. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Expertise et Prospective.

Sébastien Pichon. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Etudes Générales et Patrimoine.

Alexandre Gonçalves. SIAAP – Seine Aval – Unité de Production des Eaux et de l'Irrigation.

Clotilde Marcel. SIAAP – La Cité de l'Eau et de l'Assainissement.

Johnny Gasperi. Université Paris-Est Créteil – LEESU.

William Thomas. DRIEE – Service Police de l'Eau.

Remerciements aux équipes du PIREN-Seine pour leur contribution à ce projet :

Jean-Marie Mouchel. Université Pierre et Marie Curie – UMR METIS.

Laurence Lestel. Université Pierre et Marie Curie – UMR METIS.

Remerciements aux équipes du SIAAP pour leur contribution à ce projet :

Véronique Brémont. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Etudes Générales et Patrimoine.

Erwan Garcia-Gonzalez. SIAAP – Direction Innovation Environnement – Service Expertise et Prospective.

Table des matières

Introduction générale	10
Les grandes étapes de l'assainissement	14
I. Du traitement agricole au traitement industriel (1875-1970) ..	14
II. Montée en puissance du traitement industriel (1970-2015) ..	28
II.1. Les grandes étapes du déploiement industriel.....	28
II.2. Quarante ans de diminution des flux rejetés.....	35
II.2.1. Illustration de la montée en puissance du traitement industriel [1970-1980].....	40
II.2.2. Illustration du tournant dans l'assainissement parisien [1980-1990].....	41
II.2.3. Illustration de l'évolution des traitements des nutriments azotés et phosphorés et de la gestion efficace des eaux de temps de pluie [1990-2015].....	42
II.2.4. Corollaire de l'évolution du traitement des nutriments azotés et phosphorés et de la meilleure gestion des eaux de temps de pluie [1990-2015].....	50
La reconquête de la Seine	56
I. Evolution de la qualité physico-chimique de la Seine en quarante ans.....	57
I.1. De quelle qualité parlons-nous ?.....	57
I.2. Une qualité plus que médiocre en 1970.....	61
I.3. Amélioration de la qualité suite à la montée en puissance de l'assainissement parisien (1970-1990)	62
I.4. Une Seine reconquise suite à la généralisation des traitements poussés (C/N/P) sur les stations (1990-2015)	63
II. Evolution de la qualité bactériologique (10-15 ans).....	66
III. Evolution de la biodiversité (25 ans).....	68
Conclusion générale	72
Bibliographie	76

Liste des figures

- Figure 1. Evolution des volumes d'eaux usées collectés dans les réseaux et traités, via l'épandage agricole ou les traitements centralisés en station d'épuration, de 1875 à 2015 15
- Figure 2. Les grandes étapes de l'évolution de l'assainissement parisien : (1970-1980) la montée en puissance des traitements centralisés, (1980-1990) le tournant de l'assainissement parisien et (1990-aujourd'hui) la généralisation des traitements de l'azote et du phosphore et la prise en charge des rejets urbains de temps de pluie..... 28
- Figure 3. Evolution des volumes d'eau (a) collectés dans les réseaux et déversés sans traitement et (b) admis et traités sur les stations d'épuration ou les champs d'épandage (1955 à 2015)..... 36
- Figure 4. Evolution des flux de matière organique [DBO₅] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015) 37
- Figure 5. Evolution des flux d'azote [azote Kjeldahl] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015)..... 38
- Figure 6. Evolution des flux de phosphore total [Pt] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015) 39
- Figure 7. Evolution de la composition des eaux usées de 1990 à 2015 au travers de l'évolution de l'équivalent-habitant en (a) azote et en (b) phosphore..... 43
- Figure 8. Evolution des volumes d'eau déversés par les principaux déversoirs d'orage du SIAAP (Clichy, La Briche et La Frette) de 1996 à 2015 46
- Figure 9. Evolution des abattements moyens en bactéries indicatrices de contamination fécale (BIF) pour trois filières de traitement des eaux usées : 1- traitement par épandage (1897 – 1901, n=79), 2- traitement du carbone (cas de l'usine Seine Aval, 2004 – 2005, n=59) et 3- traitement complet du carbone, de l'azote et du phosphore (2011 – 2015, n=305) 51
- Figure 10. Evolution des flux [(a) en NPP/an et (b) en unité logarithmique] de bactéries indicatrices de contamination fécale (cas d'*Escherichia coli*) collectés dans les réseaux à l'échelle de l'agglomération parisienne et rejetés de 1955 à 2015..... 53

Figure 11. Evolution des concentrations en pollution carbonée (DBO ₅), azotée (ammonium) et phosphorée (ortho-phosphates) dans la Seine en zone centrale en 1971-1972, 1985-1986 et 2012-2013.....	60
Figure 12. Evolution des concentrations en oxygène dissous dans la Seine en zone centrale en 1921, 1971-1972, 1985-1986 et 2012-2013.....	60
Figure 13. Evolution des concentrations médianes en (a) <i>Escherichia coli</i> et (b) entérocoques intestinaux dans la Seine en agglomération parisienne en 1999-2001, 2004-2005 et 2011-2015	66
Figure 14. Nombre d'espèces et d'individus recensés en Seine par année de pêche et cumul sur la période de suivi (1990-2015).....	69
Figure 15. Distribution de la présence des individus selon leur habitat (limnophile/rhéophile) et alimentation (omnivore/carnivore).	69
Figure 16. Intégration du compartiment « rivière » dans le système de gestion de l'assainissement francilien de demain	73

Liste des Tableaux

Tableau 1. Limites des classes de qualité DCE des paramètres physico-chimiques généraux	58
---	----

Liste des photos

Photo 1. Pétition des habitants « malheureux » de Bougival (1905)....	18
Photo 2. Essais d'épuration biologique par (a) lit de séchage (Mont-Mesly, 1906), (b) lit biologique (Fond de Vaux, 1909), (c) filtres biologiques (Colombes, 1916), (d) boues activées (Colombes, 1921).....	22
Photo 3. Station Hygea Simplex (Colombes, 1937).....	22
Photo 4. Vue aérienne de la station d'épuration d'Achères en 1940 (1 ^{ère} tranche).....	25

Photo 5. Construction de l'émissaire Sèvres-Achères (1954) pour alimenter la station d'épuration d'Achères	26
Photo 6. Vue d'ensemble de la station d'épuration d'Achères en 1967 (1 ^{ère} et 2 ^{ème} tranche).....	27
Photo 7. Vue aérienne de la station d'épuration d'Achères en 1978 (4 tranches : AI [1940], AII [1966], AIII [1972] et AIV [1978])..	30
Photo 8. Vue aérienne de la station d'épuration de Valenton (1987)...	31
Photo 9. Vue aérienne de l'unité de traitement de l'azote par biofiltration intégrée dans la file de traitement des eaux de la station d'Achères (Seine Aval)	33

Liste des cartes

Carte 1. Localisation des champs d'épandage alimentés par l'aqueduc d'Achères (1908).....	17
Carte 2. Localisation des champs d'épandage en 1926.....	20
Carte 3. Réseau d'émissaires prévu au programme général d'assainissement de 1935.....	24
Carte 4. Localisation des réseaux d'assainissement endommagés suite aux bombardements de la seconde guerre mondiale	26
Carte 5. Evolution de la qualité de la Seine appréciée sur le linéaire allant de Méry-sur-Seine à Oissel	59

Liste des encarts

Encart 1. Une recherche prolifique pour accompagner les évolutions de l'assainissement parisien des 30 dernières années	34
Encart 2. Focus sur l'évolution des flux de carbone, azote et phosphore apportés à la Seine par le SIAAP entre 1997 et 2014	48
Encart 3. Un SAMU pour les poissons.....	64

Introduction générale



Introduction générale

Au début du 19^{ème} siècle, l'assainissement de la Ville de Paris est rudimentaire. Les égouts étant très peu nombreux, ce sont principalement les bras de la Seine qui assurent l'évacuation des eaux insalubres. Cet assainissement balbutiant combiné à une forte croissance démographique engendre une dégradation de la qualité sanitaire des eaux. Les maladies hydriques se propagent alors au sein de Paris. Face à cette situation, la Ville de Paris favorisera d'abord l'évacuation des eaux sales vers la Seine avant de privilégier leur épandage sur les terres agricoles ; cette solution préservant la qualité de la Seine tout en apportant de la matière organique aux sols.

Au début du 20^{ème} siècle, l'objectif du « tout-à-l'égout, rien au fleuve, tout à la terre » est atteint pour la Ville de Paris. Cependant, la solution apportée par l'épandage ne permet pas de faire face à l'augmentation des volumes d'eaux usées générés par la ville et, durant la première partie du 20^{ème} siècle, la qualité de la Seine se détériore. Des méthodes alternatives aux champs d'épandage sont recherchées. Les traitements centralisés, utilisant les biomasses épuratrices d'ores et déjà étudiées en Angleterre, se dessinent alors comme la solution à mettre en œuvre à l'échelle parisienne. Dès 1940, la première installation permettant le traitement biologique des eaux sera mise en eau sur le site d'Achères (Yvelines, 78). Mais c'est la construction, entre 1954 et 1972, de grands émissaires capables de transporter des volumes importants d'eaux usées jusqu'à la station d'épuration d'Achères qui marquera le passage vers l'ère du traitement centralisé. Cependant, en 1970, la situation n'est pas encore satisfaisante. Plus de la moitié des eaux usées produites par l'agglomération parisienne est déversée sans traitement dans la Seine. La qualité du fleuve est plus que médiocre, notamment en aval de l'agglomération parisienne où le niveau d'oxygénation est extrêmement faible.

Plus de quarante années seront nécessaires, de 1970 à aujourd'hui, pour changer radicalement le visage de l'assainissement francilien. Cette mutation du système d'assainissement francilien va s'opérer en trois grandes étapes. Entre 1970 et 1980 aura lieu une véritable **montée en puissance du traitement industriel**, principalement avec l'augmentation forte de la capacité de traitement de la station d'Achères. La période 1980-1990 est, quant à elle, considérée comme une **période charnière dans l'assainissement parisien**. Cette décennie permettra de poursuivre l'augmentation de la capacité de traitement globale, par la construction d'autres stations d'épuration, mais surtout de préparer,

par une recherche expérimentale active, **la mutation des stations d'épuration**. Cette mutation qui s'opérera en plus de 25 ans, de 1990 à aujourd'hui, consistera à améliorer la qualité du traitement réalisé sur les usines d'épuration, en passant d'un traitement unique de la pollution carbonée à un traitement complet du carbone, de l'azote et du phosphore, et en privilégiant le déploiement de traitement par culture fixée (biofiltres) dans une recherche de compacité des installations.

Cette évolution de l'outil industriel a conduit à une réduction spectaculaire des flux de polluants introduits dans la Seine. Cette réduction des flux a permis la restauration de la qualité physico-chimique de la Seine et l'amélioration de sa qualité microbiologique (Rocher et Azimi, 2016). Aujourd'hui, le niveau d'oxygénation du fleuve est élevé et les concentrations en nutriments azotés et phosphorés beaucoup plus faibles. Le retour d'une importante diversité piscicole dans la rivière constitue d'ailleurs le meilleur témoin de la restauration de la qualité de la Seine ; 32 espèces différentes de poissons sont recensées aujourd'hui dans la Seine francilienne contre 3 en 1970 (Azimi et Rocher, 2016).

Cet ouvrage vise à mettre en lumière **le lien entre les grandes étapes de l'assainissement parisien et l'évolution de la qualité de la Seine**, fleuve récepteur de la plupart des eaux traitées en agglomération parisienne. Il s'agit de s'appuyer sur quelques indicateurs clés, tels que les concentrations en oxygène dissous, en carbone organique, en azote, en phosphore ou en bactéries indicatrices de contamination fécale, pour montrer l'amélioration de la qualité de la Seine induite par la mutation de l'assainissement conduite ces 40 dernières années.

Le premier chapitre, intitulé « Les grandes étapes de l'assainissement », présente les étapes du déploiement industriel depuis le début du 20^{ème} siècle, en se focalisant particulièrement sur les quarante dernières années durant lesquelles l'assainissement francilien a opéré sa véritable mutation. Les vagues de travaux et d'aménagement conduites depuis 1970 y sont décrites et traduites en termes de réduction des flux de pollution introduits dans la rivière. Le second chapitre, intitulé « La reconquête de la Seine », discute de l'amélioration de la qualité de la Seine entre 1970 et aujourd'hui. L'évolution de la qualité est discutée en observant un long linéaire de Seine, allant de Méry-sur-Seine, 210 km en amont de Paris, jusqu'à Oissel, situé 230 km après la sortie de Paris.

Les grandes étapes de l'assainissement



Les grandes étapes de l'assainissement

I. Du traitement agricole au traitement industriel (1875-1970)

Au début du 19^{ème} siècle, l'assainissement au sein de la Ville de Paris n'est que très peu développé. Les égouts sont peu nombreux et représentent un linéaire de moins de 50 kilomètres. C'est principalement un bras de la Seine, aujourd'hui sous les Grands Boulevards, qui assure l'évacuation des eaux insalubres. Durant la même période, un phénomène d'exode s'amorce et Paris voit sa population augmenter de 650 000 à près de 2 millions d'habitants, ce qui dégrade fortement la qualité sanitaire de l'eau et génère un grand nombre d'épidémies. La grande épidémie de choléra de 1832 et les 18 000 morts qui y ont été recensés engendrent alors, pour la première fois depuis la période romaine, une prise de conscience de la nécessité de maîtriser la qualité des eaux. La Ville de Paris entreprend une grande opération d'alimentation des logements en eau et favorise l'évacuation des déchets par un courant d'eau coulant vers la Seine. Ce procédé améliore la qualité de vie des habitations mais a un grand impact sur les volumes de déchets et d'eaux usées envoyés vers la rivière. L'épandage des eaux brutes apparaît alors comme une solution au problème de la pollution grandissante de la Seine, mais également comme une solution au déficit de matières organiques dont souffrent les terres agricoles.

La figure 1 permet d'apprécier l'évolution des volumes d'eaux usées collectés et traités en agglomération parisienne des années 1870 à 2015. Les volumes collectés par les réseaux d'assainissement sont représentés par la courbe marron et les volumes traités par la courbe bleue. La ligne rouge pointillée indique le pourcentage d'eau traitée par rapport au débit total collecté. La courbe verte indique, quant à elle, les volumes traités naturellement via l'épandage des eaux usées sur les champs agricoles.

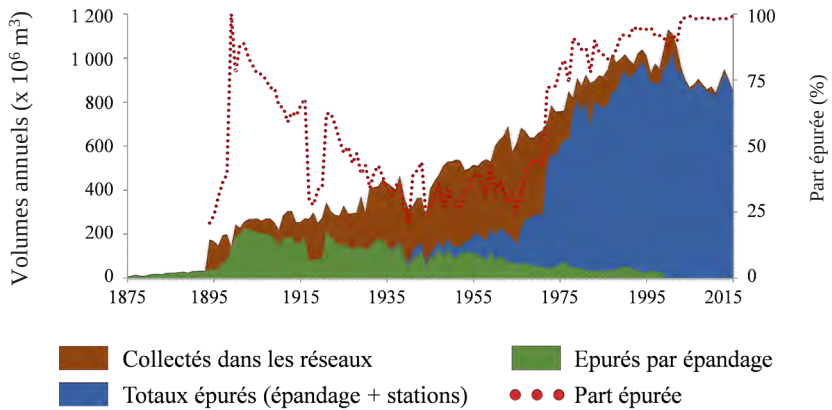


Figure 1. Evolution des volumes d'eaux usées collectés dans les réseaux et traités, via l'épandage agricole ou les traitements centralisés en station d'épuration, de 1875 à 2015

Apogée et insuffisance des champs d'épandage [1875-1930]. Au début des années 1870, alors qu'il n'existe aucun mode de gestion des eaux usées, les ingénieurs de la Ville de Paris, Adolphe Mille et Alfred Durand-Claye, initient le processus visant à promouvoir l'épandage des eaux usées sur les sols agricoles. Leur projet prévoit alors d'épandre les eaux sur une surface irrigable de plus de 1 000 hectares, avec une dose d'épandage importante comprise entre 50 000 et 100 000 m³/ha/an. Ce projet se concrétisera sous l'impulsion de la **loi du 4 avril 1889**. Ce texte autorise la construction de l'aqueduc d'Achères, inauguré en 1895, qui transporte les effluents parisiens vers 800 ha de terrains domaniaux, situés dans la presqu'île de Saint-Germain. Elle prévoit également les modalités de la pratique des irrigations à l'eau usée, en fixant la dose d'épandage à 40 000 m³/ha/an. Cette loi consacre définitivement le principe de l'épandage agricole mais s'écarte du projet initial qui prévoyait une utilisation plus importante de l'irrigation (*Rapport Robaglia présenté au Conseil municipal de Paris, 1913*). L'extension des surfaces d'épandage de la Ville de Paris, nécessaire à l'exécution du projet initial d'Adolphe Mille et d'Alfred Durand-Claye, sera autorisée suite à la promulgation de nouvelles lois, et en particulier celle du **4 juillet 1894**. Ce texte consacre le principe du "tout-à-l'égout" et impose à la Ville de Paris de mettre fin aux déversements en Seine par l'épandage de la totalité de ses eaux d'égout ; un délai de 5 ans étant accordé à la Ville de Paris pour la réalisation de ces travaux d'aménagements. Une commission

de surveillance des champs d'épandage est également mise en place pour veiller à ce que les prescriptions de la loi relative à l'utilisation agricole des eaux d'égouts de Paris et à l'assainissement de la Seine soient respectées. Cette évolution des pratiques et du mode de gestion des eaux usées suscitent néanmoins quelques craintes, notamment au sein de la communauté des hygiénistes de l'ère pasteurienne qui exprime son opposition à la pratique de l'épandage. Un suivi épidémiologique est d'ailleurs assuré dans les communes où se pratique l'épandage.

Début 1900, et suite à ce long processus d'aménagement, l'objectif du « tout-à-l'égout, rien au fleuve, tout à la terre » est atteint pour la Ville de Paris. La quasi-totalité des eaux produites et collectées par la Ville de Paris est traitée. Les eaux usées sont alors transportées par l'aqueduc d'Achères et épandues sur près de 5 300 ha de champs agricoles (Carte 1). Les volumes d'eaux usées rendus à la Seine sans traitement sont minimes et l'infection de la Seine s'atténue. Mais, si l'amélioration de la qualité de la rivière est indéniable, la Seine reste très fragile et les événements rapportés en 1900 témoignent de cette fragilité. Alors que l'été de cette année est particulièrement chaud et que le débit d'étiage est faible, de nouvelles plaintes des riverains s'élèvent au sujet de nombreuses mortalités de poissons et d'une contamination insoutenable de la Seine en aval de Paris. L'ingénieur ordinaire Pigeaud du Service de la Navigation de la Seine et des Ponts de Paris indiquera alors que la Ville de Paris est hors de cause mais qu'il y a lieu de réclamer énergiquement son concours pour débarrasser le lit de la rivière des dépôts plus ou moins anciens qui sont une des sources de l'infection. Les volumes d'eaux usées importants déversés par le département de la Seine et les communes riveraines, estimés à environ 200 000 m³/jour, seront également identifiés comme une source de l'infection (*Rapport de l'ingénieur ordinaire Pigeaud - Service de la Navigation de la Seine et des Ponts de Paris, 21 septembre 1900*). Cet épisode de mortalité piscicole de l'été 1900 sera suivi d'autres épisodes. Durant l'été 1904, plusieurs pétitions de pêcheurs, bateliers et restaurateurs seront même lancées pour empêcher le retour des infections et des mortalités estivales de poissons consécutives au « sans-gêne véritablement criminel de la Ville de Paris » (*Délibération du Conseil général du département de la Seine et Oise, 1904*). En 1905, ce sont les habitants de Bougival qui se plaindront auprès du préfet d'être empoisonnés par les odeurs du fleuve (Photo 1). Ces mauvaises odeurs étaient principalement dues à la papeterie de la Seine, située à Nanterre, qui déversait des « liqueurs noires » chargées en soufre.



Carte 1. Localisation des champs d'épandage alimentés par l'aqueduc d'Achères (1908)

PRÉFECTURE DE LA SEINE
DIRECTION ADMINISTRATIVE
DES TRAVAUX DE PARIS
SERVICE TECHNIQUE

ARCHIVES (N° 329)

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
LIBERTÉ - ÉGALITÉ - FRATERNITÉ

Section
N°

Paris, le

ARRAINDISSEMENT DE LA SEINE
Bureau de l'Ingénieur
Carton N° 111
Dossier N° 150

A-327

Monsieur le Préfet

Les riverains de la Seine depuis Nanterre sont déjà empoisonnés par l'odeur du fleuve. Les lachures sont permanentes à l'estime de Colombes; les poissons meurent en masse et remontent le ventre en l'air. La V de P va encourir une terrible responsabilité et les Communes, victimes vont se lever en masse, car la typhoïde a fait son apparition sur tous les points contaminés. Il vous appartient, Monsieur le Préfet, de signaler nettement aux Ingénieurs du service compétent d'interdire ces épouvantables lachures au moins pendant les mois de juillet et août.

30 Juin 1905
Les malheureux habitants de Bougival

Pour Copie Conforme
PARIS, le 21 Juillet 1905
l'Ingénieur de l'arrondissement de la Seine

Photo 1. Pétition des habitants « malheureux » de Bougival (1905)

Jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle, la situation va encore se dégrader. Paris (intramuros) atteint son maximum démographique en 1930 avec près de 3 millions d'habitants (Mossé R., 1934). Cette augmentation de population générera logiquement l'augmentation des volumes d'eaux distribués, situation qui va conduire à un accroissement des volumes collectés (Figure 1, courbe marron).

Dans le même temps, la pression urbaine accrue combinée à des difficultés d'exploitation des champs d'épandage, liées notamment à des relations conflictuelles entre agriculteurs et concessionnaires, va induire une diminution des volumes d'eaux traités par épandage (Figure 1, courbe verte). Ainsi, bien que la surface des champs disponibles ait été augmentée depuis 1895, pour atteindre rapidement une surface totale de 5 300 ha en 1926 (Carte 2), cette solution de traitement ne suffit plus à gérer les eaux usées générées par la Ville de Paris.

Dès lors, les déversements directs en Seine augmentent d'une façon excessive. A titre d'illustration, de 1900 à 1950, le pourcentage d'eau traitée passera de près de 90% à moins de 30% (Figure 1, ligne rouge pointillée). Ce pourcentage est particulièrement faible durant la grande guerre de 1914 car le charbon réservé en priorité à l'effort de guerre est rationné et l'usine de Colombes, qui alimente les champs d'épandage, ne refoule que l'été pour assurer la production agricole de Paris (Diénert, *La Technique sanitaire et municipale*, 1920). Face à cette situation, seule une nouvelle augmentation de la surface d'épandage, une rationalisation des épandages ou la création d'un exutoire régulateur peuvent apporter une réponse.

La recherche de méthodes alternatives aux champs d'épandage [1900-1930]. Dès 1901, au jardin modèle d'Asnières, la Ville de Paris a entrepris des essais de procédés industriels à l'aide de produits chimiques susceptibles de remplacer les champs d'épandage. Ils se poursuivront par des essais d'épuration biologique des eaux d'égout sur sol artificiel (lits de séchage et lits bactériens) à Mont-Mesly à Créteil et au Fond de Vaux à Pierrelaye (Photos 2a et 2b). Ces installations, de faible capacité, constituent en quelque sorte un régulateur des irrigations en tant qu'équipements d'appoint. Toutefois les coûts de traitement demeurent élevés et la résolution de problèmes techniques, tels que le choix des matériaux support, le colmatage, et l'évacuation des boues, incertaine. Ainsi, à la veille de la guerre, en 1913, la Ville de Paris considère l'épandage comme la seule méthode d'épuration possible, la méthode des lits bactériens étant difficilement applicable à grande échelle (*Journal Officiel de la République Française*, 15 juin 1902). En Angleterre, la nature des terrains se prête mal à l'épandage avec ou sans utilisation agricole. Une nouvelle technique d'épuration émerge alors vers 1915 : le traitement par boues activées, décrit dans les travaux scientifiques d'Andern et Lockett (1914). Les techniciens hygiénistes de la Ville de Paris génèrent alors une abondante littérature scientifique sur le principe de ce procédé. Parmi eux, l'ingénieur F. Diénert évoque des expérimentations menées durant la 1^{ère} guerre mondiale à Colombes dans un article de la revue *Technique Sanitaire Municipale* (1920) et dit « *en construisant l'installation de Colombes nous avons cherché à décanter les eaux d'égout. [...] la préoccupation était de rejeter ces eaux aussi décantées qu'on pouvait l'obtenir. Nous avons installé une soufflerie dans ce bassin. C'est ainsi que nous avons été amenés à nous occuper des boues activées* ». Dès lors, de nombreux essais expérimentaux débiteront à Mont-Mesly puis seront repris sur le site de Colombes qui dispose de la force motrice nécessaire (Photos 2c et 2d). Le **Centre Expérimental de la Ville de Paris** voit alors le jour. Créé sur les terrains attenants à l'usine de Colombes, ce centre expérimental a pour but, à une échelle intermédiaire entre le laboratoire et l'échelle définitive de réalisation, d'expérimenter les procédés modernes de traitement des eaux usées et d'effectuer des recherches sur la récupération des sous-produits (Photo 3). Il est équipé d'un laboratoire et est organisé pour tester rationnellement et simultanément divers procédés français et étrangers à une échelle industrielle. A la suite de ces essais, la redoutable efficacité des boues activées laisse envisager la possibilité d'un traitement centralisé sur une surface réduite.

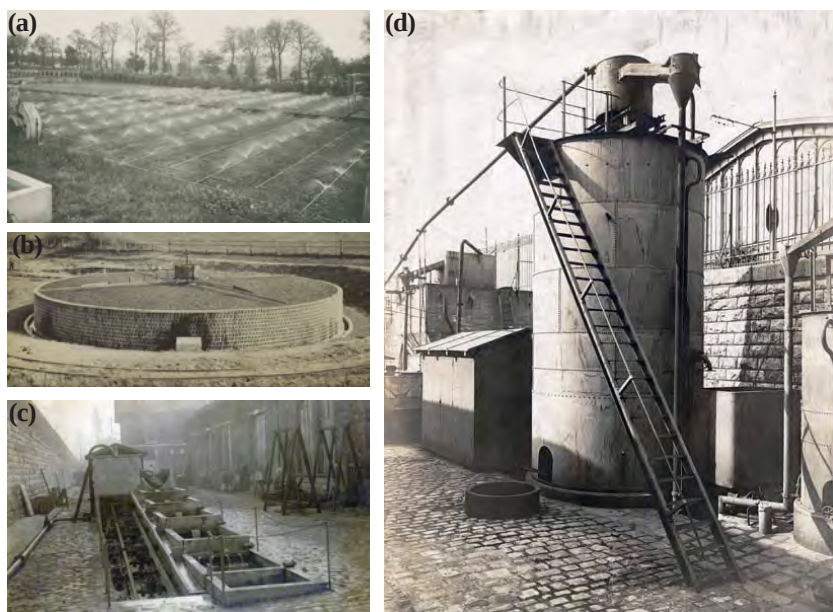


Photo 2. Essais d'épuration biologique par (a) lit de séchage (Mont-Mesly, 1906), (b) lit biologique (Fond de Vaux, 1909), (c) filtres biologiques (Colombes, 1916), (d) boues activées (Colombes, 1921)

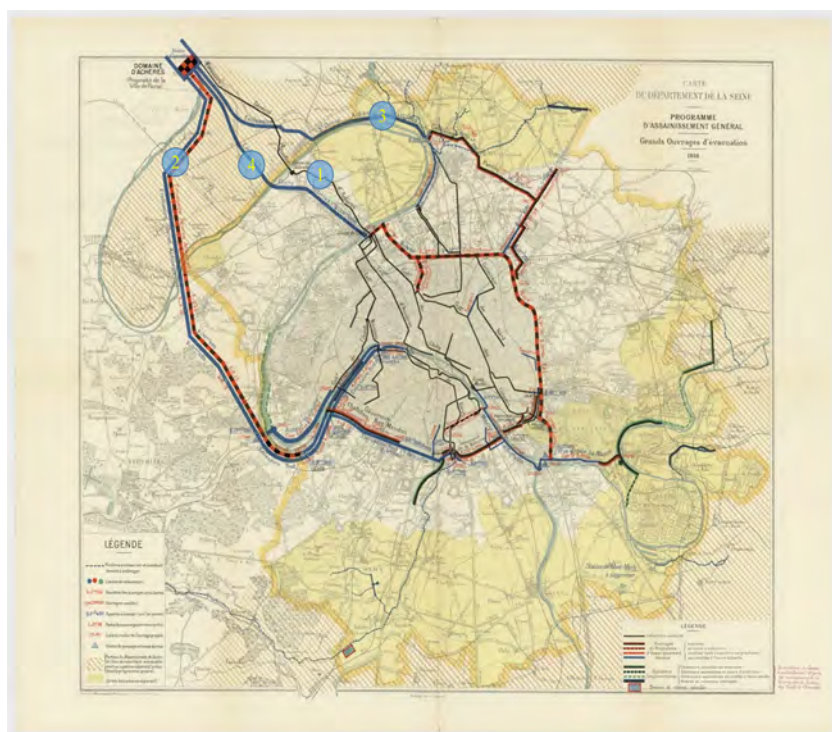


Photo 3. Station Hygea Simplex (Colombes, 1937)

La boue activée ouvre la voie au traitement centralisé [1930-1970].

Les pouvoirs publics prennent rapidement conscience que l'état de la Seine ne peut être amélioré en traitant uniquement les eaux de Paris. Le programme d'assainissement doit être traité au niveau de l'agglomération parisienne en intégrant les zones du département de la Seine-et-Oise, techniquement tributaires du système général de

collecte du département de la Seine. Afin de résoudre définitivement le problème de l'assainissement, il fut proposé une solution d'ensemble sous la forme d'un **programme général d'assainissement de la région parisienne**. Approuvé en 1929 par le Conseil Général et déclaré d'utilité publique en décembre 1935, ce programme doit répondre aux besoins des quarante années à venir. Il définit ainsi les zones assainies en mode unitaire et séparatif et prévoit l'acheminement de toutes les eaux d'égout de son territoire ainsi que celles du département voisin de Seine-et-Oise (convention entre les départements de la Seine et de la Seine-et-Oise approuvée en 1933) vers une station d'épuration biologique artificielle, en principe unique. C'est le "tout vers l'aval", qui prévaudra jusqu'à la fin des années 60. Implantée dans le parc agricole d'Achères, cette usine utilisera les procédés d'épuration mis au point au Centre Expérimental de Colombes, à savoir des boues activées pour le traitement de l'eau et une digestion anaérobie pour le traitement des boues. Le programme prévoit de construire l'usine par tranches successives, initialement 12 tranches de 200 000 m³/j chacune sont prévues. Son alimentation gravitaire sera assurée grâce à l'aqueduc d'Achères (1895) et à un faisceau de 3 grands émissaires de 3,5 à 4 m de diamètre : l'émissaire Sèvres-Achères, l'émissaire Saint-Denis-Achères et l'émissaire Clichy-Argenteuil. Ce réseau d'émissaires prévu au programme général d'assainissement de 1935 est illustré par la Carte 3. Les performances d'épuration seront conformes aux instructions du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France du 1^{er} mars 1933 (*Recueil des textes officiels concernant la protection de la santé publique, tome VIII, 1931-1933*). L'objectif prioritaire étant de supprimer l'asphyxie des fleuves, il est admis que l'abattement de la seule pollution carbonée par des boues activées à forte charge est suffisant pour obtenir une bonne épuration, sans exiger la nitrification qui pourtant, au début du siècle, était considérée par les hygiénistes comme l'indicateur d'une bonne qualité d'épuration. La solution du traitement par épandage est conservée mais sert dorénavant d'appoint au traitement centralisé, jusqu'à la réalisation complète du programme. Il s'agit d'un tournant important dans la politique d'assainissement, **l'épuration biologique artificielle prend le pas sur l'épandage**.



1- Aqueduc d'Achères mis en eau en 1895 ; 2- Emissaire Sèvres-Achères mis en eau en 1954 ;
3- Emissaire Saint Denis-Achères mis en eau en 1966 ; 4- Emissaire Clichy-Argenteuil mis en
eau en 1972.

Carte 3. Réseau d'émissaires prévu au programme général d'assainissement de 1935

Le programme général d'assainissement de la région parisienne se concrétise par la construction de la 1^{ère} tranche de l'usine d'Achères à la veille de 1940 (Achères I), alors que les champs d'épandage n'assurent le traitement que de 30 à 40% des eaux usées parisiennes (Photo 4). Elle est alimentée provisoirement par l'aqueduc d'Achères desservant les champs d'épandage en attendant la construction des grands émissaires. La seconde guerre mondiale entraîne un long retard dans la construction des tranches suivantes prévues par le programme général d'assainissement. Une ordonnance allemande de mai 1942 prescrit en effet la fermeture immédiate de tous les chantiers publics en France : les travaux sont suspendus. Et, à la fin de la guerre, il faut remettre en état les réseaux qui ont subi de graves dégâts. Entre 1942 et 1944, les bombardements aériens ont endommagé lourdement

certains réseaux d'assainissement, comme en témoigne la carte des points d'impact des bombardements éditée à la fin de la seconde guerre mondiale (Carte 4). Compte tenu de l'ampleur des dégâts, force est d'étaler les investissements. Il faudra d'ailleurs attendre la mise en service du premier émissaire en 1954, le Sèvres-Achères (Photo 5), pour qu'Achères I atteigne sa capacité nominale. Puis, en 1966, la mise en eau de la deuxième tranche d'Achères (Achères II - Photo 6) alimentée par l'émissaire Saint Denis-Achères permet d'augmenter significativement la capacité de traitement de 320 000 m³/j, soit une capacité totale de 580 000 m³/j. Ces efforts de construction permettent d'atteindre en 1970 un taux de traitement de 40% des volumes collectés dans les réseaux (Figure 1, ligne rouge pointillée).

En 1968, le nouveau **schéma général d'assainissement de la région parisienne** marque une rupture dans le principe du « tout vers l'aval ». En lien avec le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France de 1965, ce schéma directeur d'assainissement instaure une répartition des moyens épuratoires en amont et en aval de l'agglomération. La mutation de l'assainissement francilien s'amorce !



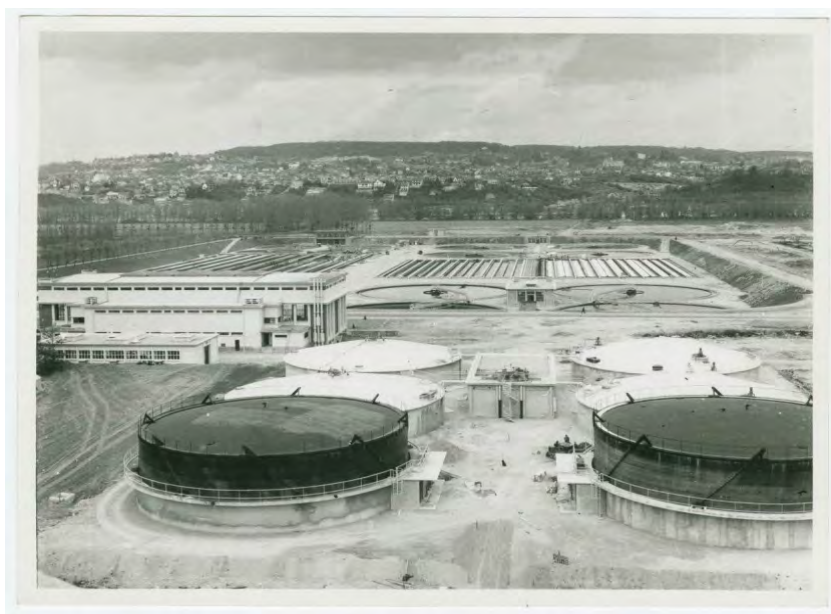
Photo 4. Vue aérienne de la station d'épuration d'Achères en 1940 (1^{ère} tranche)



Carte 4. Localisation des réseaux d'assainissement endommagés suite aux bombardements de la seconde guerre mondiale



Photo 5. Construction de l'émissaire Sèvres-Achères (1954) pour alimenter la station d'épuration d'Achères



**Photo 6. Vue d'ensemble de la station d'épuration d'Achères en 1967
(1^{ère} et 2^{ème} tranche)**

II. Montée en puissance du traitement industriel (1970-2015)

II.1. Les grandes étapes du déploiement industriel

La mutation de l'assainissement francilien opérée de 1970 à aujourd'hui peut être découpée en trois grandes étapes : (1) la montée en puissance des traitements centralisés sur plusieurs sites qui a conduit à une augmentation significative de la capacité de traitement de la pollution organique, (2) le tournant de l'assainissement, période charnière durant laquelle le traitement de l'azote est engagé et (3) le déploiement des traitements de l'azote et du phosphore et la prise en charge des rejets urbains de temps de pluie (Figure 2).

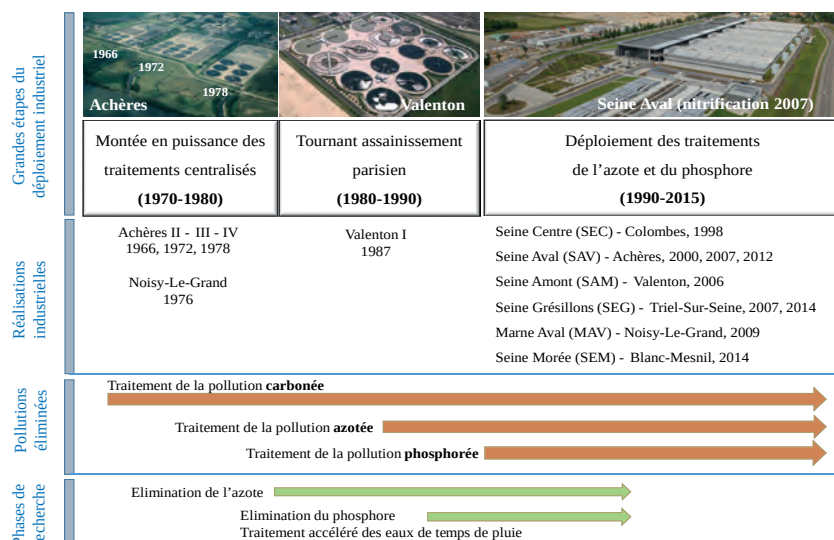


Figure 2. Les grandes étapes de l'évolution de l'assainissement parisien : (1970-1980) la montée en puissance des traitements centralisés, (1980-1990) le tournant de l'assainissement parisien et (1990-aujourd'hui) la généralisation des traitements de l'azote et du phosphore et la prise en charge des rejets urbains de temps de pluie

Augmentation de la capacité de traitement [1970-1980]. Malgré les mises en service d'Achères I et II, les capacités épuratoires sont loin de couvrir les besoins, à peine 30 à 40% des eaux usées sont traitées. En effet, la pression démographique étant très forte en Ile-de-France, les volumes d'eaux usées générés ne cessent de croître (Figure 1, courbe marron). Il est urgent d'accélérer les travaux. Ainsi, conformément au nouveau schéma général d'assainissement de la région parisienne adopté en 1968, la montée en puissance de la station d'Achères est accompagnée d'une nouvelle répartition des moyens d'épuration avec la création de nouveaux sites épuratoires. Ainsi, dès 1974 est initiée la création d'une nouvelle station d'épuration à l'est de Paris : Noisy-Le-Grand (Marne Aval). C'est également dans ce contexte qu'intervient en 1970 la création du **Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne (SIAAP)**, issu de la réorganisation administrative de la région parisienne et de l'éclatement en 6 départements de la Seine et de la Seine-et-Oise.

Durant ces 10 ans, notamment avec le concours de l'Agence financière du bassin Seine - Normandie, le rythme s'accélère. La capacité de traitement de l'usine d'Achères passe de 580 000 à 2 100 000 m³/j avec la construction de deux nouvelles tranches en 1972 et 1978 (Achères III et IV - Photo 7) et la station de Noisy-Le-Grand, d'une capacité de traitement de 28 000 m³/j, est mise en service en 1976. Ces constructions permettent d'atteindre un taux de traitement de plus de 70% des eaux collectées (Figure 1, ligne rouge pointillée), cela malgré l'augmentation forte des volumes d'eaux générés par le développement de l'agglomération parisienne (Figure 1, courbe marron). Durant cette décennie, les champs d'épandage continuent cependant à jouer un rôle important avec des volumes traités pouvant atteindre 400 000 m³/j en attendant la construction d'une cinquième tranche de 600 000 m³/j à Achères, destinée à porter sa capacité finale à 2 700 000 m³/j.



Bleu : Achères I et II ; Vert : Achères III ; Jaune : Achères IV.

**Photo 7. Vue aérienne de la station d'épuration d'Achères en 1978
(4 tranches : AI [1940], AII [1966], AIII [1972] et AIV [1978])**

Un tournant dans l'assainissement parisien [1980-1990]. Durant cette période, on assiste à la poursuite de l'augmentation de la capacité de traitement avec la mise en service en 1987 de la première tranche de la station de Valenton d'une capacité de traitement de $150\,000\text{ m}^3/\text{j}$ (Photo 8). Mais surtout, cette décennie constitue une période charnière dans l'évolution de l'assainissement parisien, à l'instar de ce qui se passe ailleurs en France. Le traitement des eaux usées n'est plus seulement regardé à travers le prisme de l'élimination de la pollution carbonée, de nouvelles priorités apparaissent. La communauté technique prend notamment conscience de la nécessité de traiter l'azote sous sa forme réduite dans un premier temps, puis sous sa forme oxydée, ainsi que le phosphore. En effet, ces deux éléments ont été identifiés comme responsables de l'eutrophisation des milieux aquatiques dans de nombreux travaux scientifiques publiés durant cette période (phosphore dans les eaux douces et azote en milieu marin). Il est intéressant de noter l'évolution de la perception de la nitrification, par la communauté technique, depuis le début du 20^{ème} siècle. En 1900, l'intérêt de la nitrification était perçu sous l'angle sanitaire, elle l'est désormais sous l'angle environnemental. La construction de l'usine de Valenton constitue l'illustration de ce tournant dans l'assainissement parisien

car, si elle met toujours en œuvre des boues activées, celles-ci fonctionnent à très faible charge, permettant ainsi le traitement des différentes formes de l'azote. C'est également dans ce contexte que paraît la **Directive européenne sur les Eaux Résiduaires Urbaines (DERU)** en mai 1991 dont l'esprit est d'unifier le niveau minimum de performances épuratoires à l'échelle européenne et notamment de diminuer les rejets d'azote et de phosphore dans les milieux aquatiques en lien avec la maîtrise de l'eutrophisation des eaux intérieures et marines.



Photo 8. Vue aérienne de la station d'épuration de Valenton (1987)

Vers un traitement des nutriments azotés et phosphorés et une gestion efficace des eaux de temps de pluie [1990-2015].

En 1989, les nuisances olfactives causées par le site d'Achères ont conduit Michel Rocard, alors Premier ministre et maire de Conflans-Sainte-Honorine, à bloquer l'extension de l'usine et la construction de la cinquième tranche qui devait augmenter la capacité de traitement à 2 700 000 m³/j. Un nouveau **Schéma Directeur d'Assainissement de l'agglomération parisienne**, prévoyant notamment le maintien de l'usine d'Achères à 2 100 000 de m³/jour, la prise en compte des eaux excédentaires de temps de pluie et la mise en œuvre d'un traitement partiel de l'azote ammoniacal, est adopté en 1992. Cependant, l'enquête publique liée à la construction de l'unité de traitement des eaux pluviales ravive des contestations locales. Une alternative doit également être trouvée pour compenser la perte des 600 000 m³/j de capacité supplémentaire. Le Ministère de l'Environnement confie alors en 1994 à l'Agence de l'Eau Seine-Normandie une nouvelle étude de l'assainissement sur la zone de collecte du SIAAP, dite "zone centrale de la Région Ile-de-France". Divers scénarios seront envisagés et une analyse multicritères (performance environnementale, flexibilité, implantation, nuisances, coûts d'exploitation et d'investissement, etc.) permettra de sélectionner l'un d'entre eux : le **Scénario C**. Ce scénario dégage de nouvelles priorités. D'une part, il s'agit de réduire le débit traité sur la station d'épuration d'Achères de 2,1 à 1,5 millions de m³/jour avec une étape intermédiaire à 1,7 millions de m³/j (c'est à cette occasion que la station d'épuration d'Achères a été rebaptisée Seine Aval) et de compenser cette réduction par la création de stations d'épuration dites de déconcentration. Ainsi, les usines de Colombes (Seine Centre, 240 000 m³/j), de Noisy-Le-Grand (Marne Aval, 75 000 m³/j), de Triel-Sur-Seine (Seine Grésillons, 100 000 m³/j puis 300 000 m³/j) et du Blanc-Mesnil (Seine Morée, 40 000 m³/j) sont construites et mises en service entre 1998 et 2014. En parallèle, une extension de la capacité de traitement de la station de Valenton à 600 000 m³/j (baptisée Seine Amont) est réalisée en 2006. D'autre part, ce scénario fixe comme priorité l'amélioration de la qualité des eaux traitées tant sur le plan du carbone que de l'azote et du phosphore. Ainsi, des étapes de traitement biologique de l'azote (nitrification et dénitrification) sont intégrées dans l'ensemble des stations de déconcentration conformément à la DERU. En outre, ce schéma directeur conduira à des modifications majeures de la file de traitement des eaux de la station Seine Aval avec la mise en place d'une unité de traitement biologique de l'azote par biofiltration (nitrification totale et dénitrification partielle en 2007, passage en dénitrification totale en 2013 - Photo 9). Enfin, le scénario C fixe comme prioritaire la gestion des **Rejets Urbains de Temps de Pluie** (RUTP), notamment par le stockage et le traitement des eaux excédentaires de temps de pluie. Cette prise en compte

nécessitera la réalisation de maillages entre les grands émissaires et la mise en place d'une gestion dynamique des flux de manière à tirer le meilleur parti des capacités de traitement en jouant sur les volumes de stockage disponibles.



Photo 9. Vue aérienne de l'unité de traitement de l'azote par biofiltration intégrée dans la file de traitement des eaux de la station d'Achères (Seine Aval)

L'adoption du scénario C marque un changement philosophique important. La logique d'une politique d'assainissement à vocation essentiellement sanitaire, qui consistait à mettre en œuvre les moyens épuratoires suffisants pour traiter toutes les eaux usées produites par les habitants de l'agglomération parisienne, s'achève. Elle intègre maintenant la nécessité d'améliorer la qualité des eaux épurées pour atteindre les concentrations acceptables par la Seine et répondre aux évolutions réglementaires, notamment à la Directive Cadre sur l'Eau (DCE, 2000/60/CE), et aux attentes environnementales vis-à-vis notamment de l'azote et du phosphore, tout en préservant les riverains de toutes nuisances. Un grand chantier s'ouvre aux ingénieurs du SIAAP.

Une recherche prolifique pour accompagner les évolutions de l'assainissement parisien des 30 dernières années

Au cours du 20^{ème} siècle, l'évolution des techniques d'assainissement s'est faite au rythme de la progression de la connaissance scientifique. Ce lien étroit entre développement industriel et progrès scientifique a été rapidement perçu puisque, dès 1930, M. Henri Sellier, Conseiller Général de la Seine, affirmait « Avant-hier l'épandage, hier les lits bactériens, aujourd'hui les boues activées ont successivement représenté le dernier mot du progrès. De quoi sera fait demain ? Personne ne peut prévoir les formules qu'imposeront dans quelques années la science ... ou la mode. » (Bulletin Municipal Officiel de la Ville de Paris du 10 juillet 1930). Au cours de la période charnière 1980-1990, qui verra l'émergence des nouvelles filières de traitement des eaux capables d'éliminer l'azote et le phosphore, ce lien entre progrès scientifiques et développement industriel est particulièrement fort. Les grandes orientations industrielles prises à cette époque s'appuieront en grande partie sur une recherche expérimentale foisonnante.

C'est dans ce contexte, qu'en 1980, le Centre Expérimental de Colombes devient le Centre de Recherche Interdépartemental pour le Traitement des Eaux Résiduaires (CRITER) et, fidèle à l'esprit qui animait ses anciens, expérimente la nitrification et la dénitrification sur des pilotes de taille semi-industrielle. L'objectif est de maîtriser les processus de nitrification, d'optimiser les technologies et de jeter les bases du dimensionnement des futures stations d'épuration. A côté des boues activées toujours performantes, une nouvelle génération de procédés par cultures fixées, dérivée à la fois des techniques utilisées en eau potable et des anciens lits bactériens, apparaît : les biofiltres. Cette technologie est longuement testée d'abord sur le site de Colombes, puis à l'échelle industrielle sur le site d'Achères. Au terme de plus de 10 années d'études poussées, les biofiltres s'avèrent particulièrement compacts et compétitifs et sont prêts à être déployés d'abord à Colombes, puis à Achères en complément des bassins de boues activées existants, cela en vue d'assurer la nitrification et la dénitrification des eaux usées.

Durant cette même période, les rejets urbains de temps de pluie (RUTP) défrayent régulièrement la chronique en provoquant d'importantes mortalités piscicoles lors de gros orages d'été. Pour trouver des solutions techniques à cette problématique environnementale, des procédés de traitement des RUTP sont étudiés au CRITER dès 1993. Il s'agit notamment de tester des systèmes de décantation améliorée par l'intégration de lamelles et par l'ajout de réactifs chimiques (chlorure ferrique et polymère). Le choix de cette technique s'est avérée particulièrement judicieux car, moyennant une intégration bien pensée dans la chaîne du traitement de l'eau, elle permet de traiter non seulement les RUTP au moment des épisodes pluvieux mais peut être aussi utilisée par temps sec pour traiter le phosphore en ajustant les doses de réactifs.

II.2. Quarante ans de diminution des flux rejetés

Le traitement industriel des eaux usées a débuté dans les années 1950-1970 avec la construction des émissaires Sèvres-Achères (1954) et Saint-Denis-Achères (1966) qui ont permis de transporter des volumes importants d'eaux usées jusqu'à la station d'épuration d'Achères. Mais, en 1970, la situation n'est pas encore satisfaisante puisque seuls 40% des volumes d'eaux usées sont traités ; le reste étant déversé dans la Seine sans traitement. Ainsi, ce n'est qu'entre 1970 et 1980 qu'on assiste à une véritable **montée en puissance du traitement industriel** principalement avec l'augmentation forte de la capacité de traitement de la station d'Achères (Achères III [1972], Achères IV [1978]). La période 1980-1990 peut, quant à elle, être considérée comme une **période charnière dans l'assainissement parisien**. Cette décennie permettra de poursuivre l'augmentation de la capacité de traitement globale, par la construction de la station d'épuration de Valenton, mais surtout de préparer, par une recherche expérimentale active, **la mutation des stations d'épuration**. Cette mutation qui s'opérera en plus de 25 ans, de 1990 à aujourd'hui, consistera à améliorer la qualité du traitement réalisé sur les usines d'épuration, en passant d'un traitement unique de la pollution carbonée à un traitement complet du carbone, de l'azote et du phosphore. Au sein de la partie précédente, l'évolution du traitement industriel de ces 45 dernières années, de 1970 à 2015, a été décrite sous l'angle des constructions et des aménagements. Il s'agit maintenant de considérer cette évolution sous l'angle des performances épuratoires et plus précisément en regardant l'évolution des flux de pollutions rejetés. Ainsi, pour chacune des trois périodes (Montée en puissance de l'assainissement [1970-1980] / Tournant de l'assainissement [1980-1990] / Evolution des traitements de nutriments azotés et phosphorés et amélioration de la gestion des rejets urbains de temps de pluie [1990-2015]), une analyse des flux de pollution rejetés en Seine est réalisée afin **d'apprécier la diminution de la pression exercée par l'assainissement sur la Seine**.

Afin d'apprécier cette diminution de la pression exercée par l'assainissement sur la Seine, sont présentées successivement :

- L'évolution des **volumes d'eau** (a) collectés dans les réseaux et déversés sans traitement et (b) admis et traités sur les stations d'épuration ou les champs d'épandage (1955 à 2015) – Figure 3.
- L'évolution des **flux de matière organique** [DBO₅] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015) – Figure 4.
- L'évolution des **flux d'azote** [azote Kjeldahl - NK] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015) – Figure 5.
- L'évolution des **flux de phosphore total** [Pt] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015) – Figure 6.

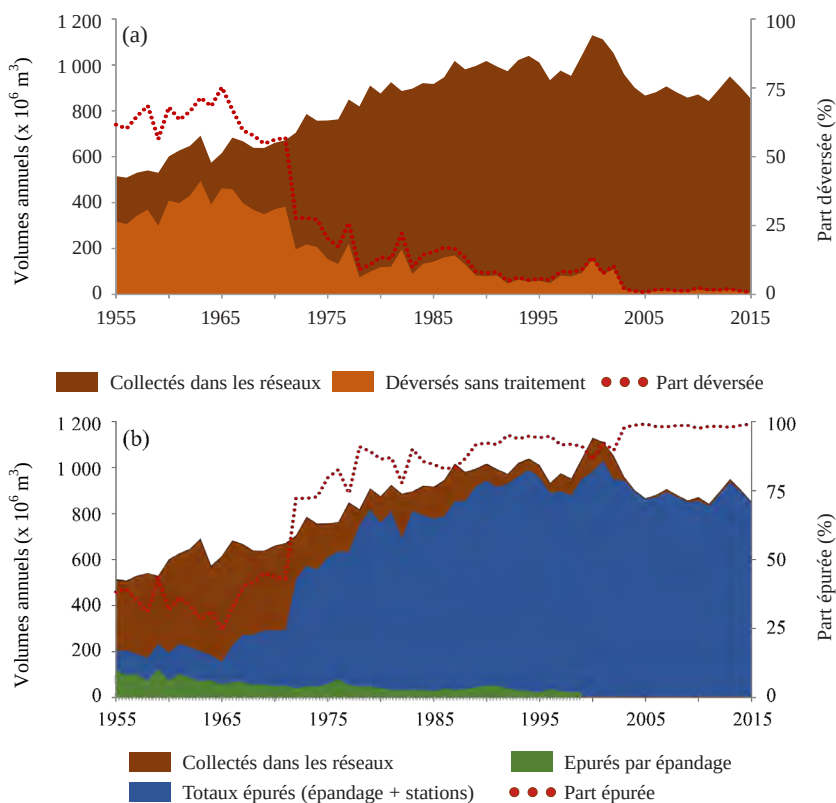
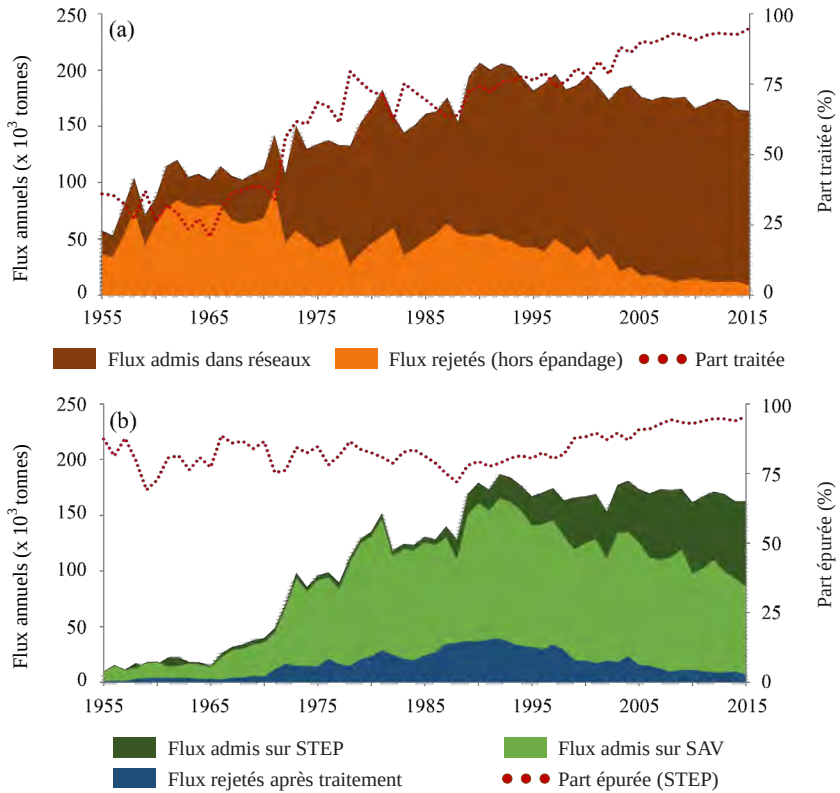


Figure 3. Evolution des volumes d'eau (a) collectés dans les réseaux et déversés sans traitement et (b) admis et traités sur les stations d'épuration ou les champs d'épandage (1955 à 2015)

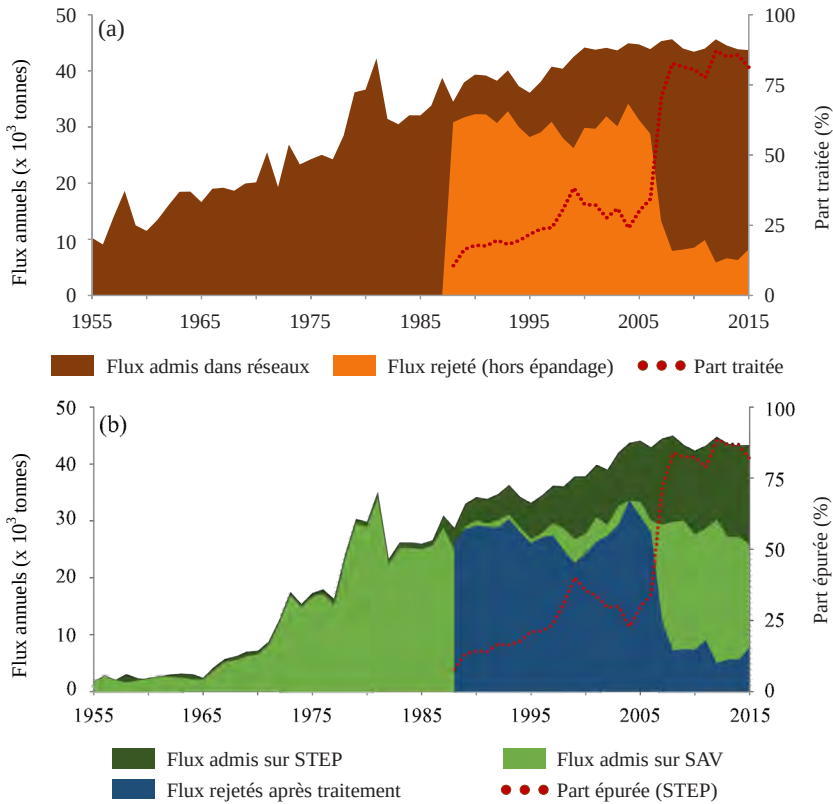
Demande Biochimique en Oxygène à 5 jours (DBO₅)



DBO₅ : Demande Biochimique en Oxygène. Quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder les matières organiques biodégradables par voie biologique. Paramètre qui permet d'évaluer la fraction biodégradable de la charge polluante carbonée des eaux usées.

Figure 4. Evolution des flux de matière organique [DBO₅] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015)

Azote Kjeldahl (NK)



NK : azote Kjeldahl. Quantité totale d'azote contenue dans la matière organique et sous forme ammoniacale.

Figure 5. Evolution des flux d'azote [azote Kjeldahl] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015)

Phosphore total (Pt)

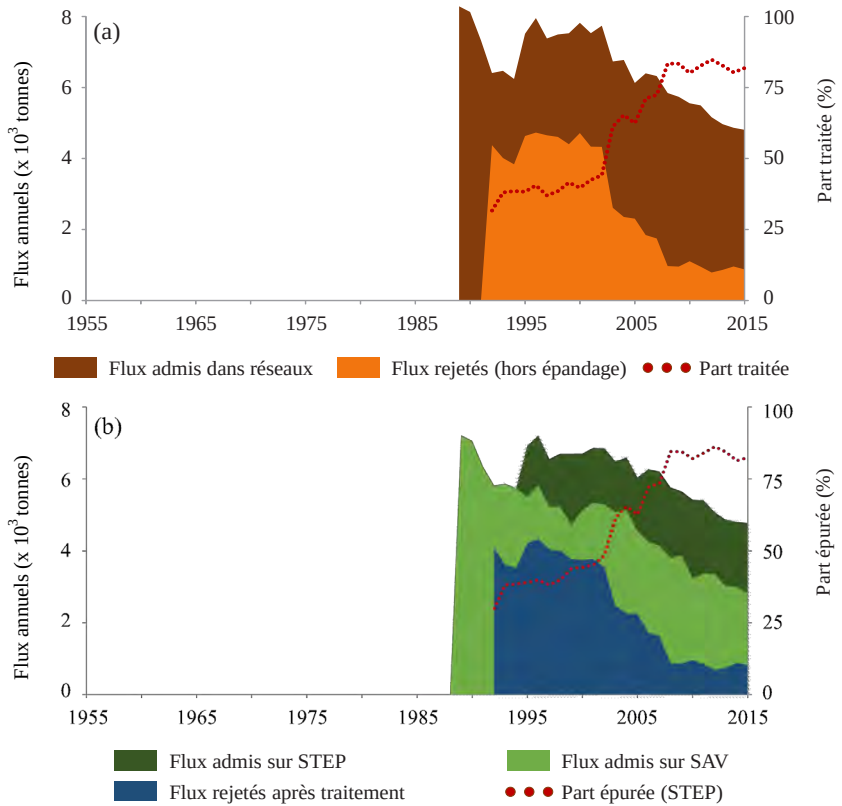


Figure 6. Evolution des flux de phosphore total [Pt] (a) collectés dans les réseaux et déversés et (b) admis et rejetés par les stations d'épuration (1955 à 2015)

II.2.1. Illustration de la montée en puissance du traitement industriel [1970-1980]

Entre 1970 et 1980, la montée en puissance du traitement industriel, principalement liée à la forte augmentation de la capacité de traitement de la station d'Achères (Achères III [1972], Achères IV [1978]), conduit à un accroissement significatif des volumes d'eau traités. La part des eaux collectées passe de 40 à 80% et en 1980, seules 10% des eaux collectées sont déversées sans traitement (Figure 3a – Ligne pointillée).

Durant cette décennie, les flux de carbone admis dans les réseaux augmentent fortement et passent de 50 000 à 150 000 tonnes de matière organique biodégradable par an, exprimées en DBO₅ (Figure 4a – Courbe marron). Dans ce contexte d'augmentation du flux de carbone produit et collecté dans les réseaux d'assainissement, ce sont les bonnes performances des stations d'épuration vis-à-vis du carbone (rendement d'élimination supérieur à 80%, Figure 4b – Ligne pointillée), qui permettent de réduire le flux de DBO₅ rejeté à la rivière. Globalement, le flux de DBO₅ rejeté dans la rivière passe de 75 000 à environ 25 000 tonnes par an (Figure 4a – Courbe orange).

Cette amélioration nette observée dans le cas de la pollution carbonée n'est pas transposable aux nutriments azotés et phosphorés. Les procédés épuratoires mis en œuvre durant cette période ne permettent qu'un abattement très limité des concentrations en azote et phosphore. Et, bien que le manque de données disponibles sur cette période ne permette pas de calculer les flux en nutriments rejetés par les stations, on peut raisonnablement admettre que l'évolution des flux rejetés suit approximativement celle des flux admis. Cet exercice permet de mettre en exergue l'augmentation considérable des flux de nutriments apportés à la rivière durant cette décennie. Dans le cas de l'azote, le flux introduit dans la Seine passera de 5 000 t/an en 1970 à près de 30 000 t/an en 1980 (Figure 5b – Courbes vertes).

Enfin, on note que, durant cette période 1970-1980, le seul point de traitement centralisé est la station d'épuration d'Achères, nous sommes dans l'ère du « tout à Achères » (Figures 4b, 5b et 6b – Courbes vertes claires et vertes foncées). L'épandage demeure une solution de soutien mais amorce son déclin (Figure 3b – Courbe verte).

II.2.2. Illustration du tournant dans l'assainissement parisien [1980-1990]

Entre 1980 et 1990, les volumes d'eaux usées générés sur la zone de collecte du SIAAP et introduits annuellement dans les réseaux d'assainissement ne font qu'augmenter, pour atteindre en 1990 près de 1 milliard de mètres cubes (Figure 3a – Courbe marron).

Durant ces 10 années, les flux en carbone admis sur les stations d'épuration augmentent fortement et passent de 150 000 à 200 000 tonnes de matière organique biodégradable par an, exprimée en DBO_5 (Figure 4a – Courbe marron). L'accroissement du flux de carbone collecté dans les réseaux d'assainissement est absorbé par l'augmentation globale des capacités de traitement, notamment avec la construction de l'usine de Valenton en 1987. L'effet positif de la construction de l'usine de Valenton sur les volumes d'eau et flux de polluants admis est d'ailleurs nettement visible sur l'ensemble des figures (Figures 3 et 4) sur lesquelles on observe une augmentation brutale des volumes d'eau et des flux de DBO_5 traités après 1987.

De manière plus générale, on note que durant cette décennie l'augmentation de la capacité de traitement a été plus rapide que l'augmentation des volumes collectés dans les réseaux (Figure 3 – Comparaison des courbes marron et bleue). Ainsi, la part des eaux collectées qui subit un traitement atteint 90% en 1990 (Figure 3b – Ligne pointillée) alors qu'elle était de l'ordre de 80% en 1980. Face à l'augmentation du flux de carbone collecté dans les réseaux d'assainissement, l'augmentation des capacités de traitement a permis de stabiliser les flux de DBO_5 rejetés dans la Seine. En 1990, le flux de matière organique biodégradable rejeté en Seine reste inférieur à 50 000 t/an de DBO_5 et cela malgré la nette augmentation du flux introduit dans les réseaux d'assainissement (Figure 4a – Courbe orange).

Enfin, durant cette période 1980-1990, le processus de décentralisation du traitement a été initié avec la construction de la station de Valenton qui amorce également la mise en œuvre du traitement de l'azote. On quitte l'ère du « tout à Achères », même si en 1990 la grande majorité des eaux est encore traitée sur cette usine (Figures 4b, 5b et 6b – Courbes vertes claires et vertes foncées). On note également que, durant cette décennie, le déclin de l'épandage amorcé en 1970-1980 se poursuit (Figure 3b – Courbe verte).

II.2.3. Illustration de l'évolution des traitements des nutriments azotés et phosphorés et de la gestion efficace des eaux de temps de pluie [1990-2015]

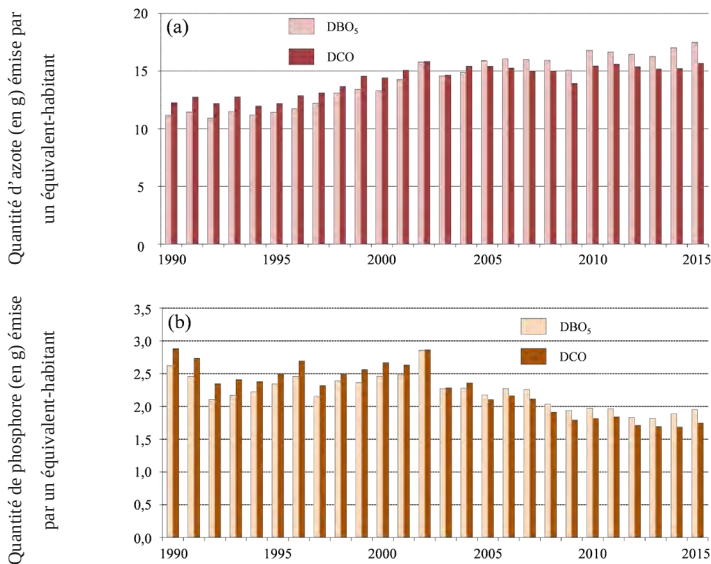
II.2.3.1. Evolution des débits et flux admis

Entre 1990 et 2015, les volumes d'eaux usées générés sur la zone de collecte du SIAAP tendent à se stabiliser. La figure 3a (Courbe marron) montre même qu'à partir des années 2000, ces volumes tendent à diminuer, passant de plus de 1 milliard de mètres cubes introduits annuellement dans les réseaux d'assainissement en 2000 à moins de 900 millions en 2015. Cette diminution résulte d'une baisse des consommations en eau potable mais également d'une amélioration de l'étanchéité des réseaux d'assainissement, suite aux efforts consentis ces 20 dernières années pour limiter l'introduction des eaux claires parasites.

Cette tendance à la stabilisation, voire à la diminution des débits, a également été accompagnée par une légère baisse des flux en carbone admis dans les stations d'épuration. En un peu plus de 20 ans, les flux en carbone admis sur les stations d'épuration sont passés de 200 000 à environ 160 000 tonnes de matière organique biodégradable par an, exprimées en DBO₅ (Figure 4a – Courbe marron). La réduction des apports de matière organique par le secteur industriel explique probablement une partie de cette diminution. L'augmentation des temps de séjour des eaux usées dans les réseaux d'assainissement, où la consommation biologique de la DBO₅ s'amorce, pourrait également contribuer à cette diminution. Les flux de phosphore admis sur les stations d'épuration ont également chuté. Ce flux, exprimé en phosphore total (Pt), passe de 8 000 t/an en 1995 à moins de 5 000 t/an en 2015 (Figure 6a – Courbe marron). La situation est différente pour les nutriments azotés. Malgré la légère diminution des volumes d'eau collectés dans les réseaux, les flux d'azote admis sur les stations d'épuration ont sensiblement crû. Le flux d'azote réduit admis sur les usines, exprimé en azote Kjeldahl (NK), passe de 35 000 t/an en 1990 à plus de 40 000 t/an en 2015 (Figure 5a – Courbe marron).

L'évolution des flux admis sur les usines témoigne donc d'une modification de la qualité des eaux usées générées par la zone de collecte du SIAAP. Aujourd'hui, les eaux usées collectées dans les réseaux comportent plus d'azote et moins de phosphore qu'en 1990. Pour apprécier l'évolution de la composition des eaux usées, il est intéressant de calculer pour chaque année les valeurs des équivalent-habitants N et Pt (Figure 7a et 7b). Le principe consiste tout d'abord à déterminer, pour chaque année, le nombre

d'équivalent-habitants ayant contribué à la pollution émise dans le réseau d'assainissement (Flux de carbone admis sur les usines ÷ Quantité de carbone supposée émise par un équivalent-habitant [138 g de DCO¹ et 60 g de DBO₅ chaque jour]), puis à diviser le flux d'azote ou de phosphore par ce nombre d'équivalent-habitants. Cet exercice permet d'apprécier et de quantifier la modification de composition des eaux usées qui s'est opérée ces 20 dernières années. En 1990, un équivalent-habitant « valait » 10-12 g de N et 2,5 g de Pt contre 15 g de N et 1,8 g de Pt aujourd'hui (Base de données : eaux brutes de Seine Aval). L'augmentation de l'équivalent-habitant en azote sur cette période pourrait être imputée à l'amélioration de la collecte des effluents qui a permis de récupérer une part d'azote non récupérée jusqu'alors. La diminution de l'équivalent-habitant en phosphore est, quant à elle, le fruit d'une politique de contrôle et de réduction des émissions de phosphore, notamment par la réduction de l'utilisation de ce composé dans les produits lessiviels.



Estimations faites à partir des analyses réalisées dans les eaux brutes de Seine Aval et en calculant le nombre d'équivalent-habitants sur la base des concentrations en matière organique (DCO ou DBO₅). Méthode de calcul détaillée dans le corps de texte.

Figure 7. Evolution de la composition des eaux usées de 1990 à 2015 au travers de l'évolution de l'équivalent-habitant en (a) azote et en (b) phosphore

1. La Demande Chimique en Oxygène est la consommation en dioxygène par oxydation chimique forte. Elle permet d'évaluer la charge polluante des eaux usées en matière organique. Elle est exprimée en mg O₂/l.

II.2.3.2. Evolution des capacités de traitement

La capacité de traitement globale du système d'assainissement va encore s'accroître au cours de cette période 1990-2015, et en particulier à partir des années 2000 avec la construction d'une unité de traitement des eaux pluviales sur la station Seine Aval. La construction de cette unité de traitement par décantation physico-chimique lamellaire lestée, capable de traiter ponctuellement plus de 30 m³/s, augmente sensiblement la capacité de traitement globale du système d'assainissement parisien et marque une véritable rupture dans la gestion des eaux de temps de pluie, tout en améliorant la qualité du traitement de temps sec. A partir de sa mise en eau en 2001, les volumes d'eaux déversés sans traitement vont chuter brusquement pour ne représenter que 2 à 3% des eaux collectées (Figure 3a – Ligne pointillée).

Outre l'impact positif de la construction de l'unité de traitement des eaux pluviales de Seine Aval, la vague de construction de stations d'épuration initiée dans les années 2000 (Figure 2) va conduire à une augmentation de la capacité de traitement des pollutions carbonées, azotées et phosphorées. Durant ces 15 ans, le flux de pollution carbonée traité sur les usines augmente sensiblement. Le rendement global d'élimination de la DBO₅ de l'ordre de 70% en 1990, atteint plus de 95% en 2015 (Figures 4a et b – Lignes pointillées). L'évolution est encore plus spectaculaire dans le cas de la pollution azotée puisque, suite à la mise en service de l'unité de nitrification de la station d'épuration de Seine Aval en 2007, le rendement d'élimination de l'azote Kjeldahl passe brutalement de 30 à 80%, pour se stabiliser en 2015 à plus de 90% (Figures 5a et b – Lignes pointillées). L'accroissement des performances est également sensible pour le phosphore. En 1995, le rendement d'élimination du phosphore sur les usines est seulement de 40%. Cet abattement est la conséquence de l'élimination du phosphore particulaire lors de la décantation des particules et de l'assimilation biologique des orthophosphates qui s'opère dans les bassins à boues activées. Par la suite, la généralisation de la déphosphatation chimique sur les usines (décantation physico-chimique lestée de Seine Aval en 2001, notamment) et l'intensification de la déphosphatation biologique (extension de la station de Seine Amont) permettent d'augmenter sensiblement le taux d'abattement qui dépasse aujourd'hui les 80% (Figures 6a et b – Lignes pointillées).

Outre l'augmentation de la capacité de traitement, cette période 1990-2015 se traduit par une accélération du processus de décentralisation. Si au début des années 1990 l'essentiel des eaux usées est traité sur la station d'épuration Seine Aval, la situation est beaucoup plus équilibrée en 2015. En effet, 30 à 40% du flux de carbone, d'azote et de phosphore est aujourd'hui traité sur les autres usines (Figures 4b, 5b et 6b – Comparaison des deux courbes vertes). Le processus de déconcentration de Seine Aval est aujourd'hui terminé. La dernière phase de mise à niveau des performances de traitement de Seine Aval s'achèvera avec la mise en service du traitement biologique des eaux en 2017. Ainsi, 20 ans après, à marche forcée, les objectifs initiés par le Scénario C de 1997 sont en voie d'achèvement.

II.2.3.3. Meilleure gestion des eaux par temps de pluie

La diminution des flux de polluants introduits dans le milieu naturel ne résulte pas uniquement de l'augmentation globale de la capacité de traitement de temps sec des stations d'épuration. Cette diminution est également liée à la prise en compte des événements pluvieux par les usines d'épuration et par une meilleure gestion des flux à l'échelle du réseau d'assainissement.

Les stations d'épuration construites durant cette période sont conçues pour s'adapter aux conditions de temps de pluie. Ces stations disposent en effet de configurations dédiées au temps de pluie qui permettent d'augmenter significativement la capacité de traitement, d'un facteur 2 à 3. La station d'épuration de Seine Centre, mise en service en 1998 sur le site de l'ancien Centre Expérimental de Colombes, a été la première station d'épuration du SIAAP déployant des équipements spécifiques au traitement des rejets urbains de temps de pluie (RUTP). Puis, en 2001, Seine Aval est dotée d'une unité de clariflocculation capable de traiter près de 30 m³/s lors des événements pluvieux. Dans les années suivantes, et au rythme de leur modernisation, d'autres stations d'épuration du SIAAP, Seine Amont et Marne Aval, sont équipées pour traiter leur quote-part d'eaux pluviales. Les efforts consentis pour améliorer la gestion des flux d'effluents lors des événements pluvieux participent également à la limitation des rejets de polluants dans la rivière. Ainsi, dès 1990, des travaux d'aménagement du réseau d'assainissement sont entrepris. Neufs bassins de stockage et six tunnels réservoirs d'eaux pluviales, d'une capacité globale de 930 000 m³, sont implantés en des points stratégiques, généralement en amont des réseaux, pour limiter les déversements locaux. Après le passage d'un

événement pluvieux, les eaux stockées sont progressivement restituées au réseau pour être traitées en station. Enfin, un outil informatique, le système **MAGES, Modèle d'Aide à la Gestion des Effluents du SIAAP**, est également développé pour réguler 24h/24h le réseau d'assainissement, désormais maillé, en coordination avec l'ensemble des acteurs départementaux de l'assainissement. Outil de simulation, il est capable d'élaborer en quelques minutes les scénarios les mieux adaptés en situation de temps de pluie et d'orienter au mieux les flux vers les stations d'épuration à un débit compatible avec leur capacité de traitement.

Outre la réduction voire la suppression des déversements en amont du bassin versant, le résultat le plus probant de ces actions est la baisse spectaculaire des rejets urbains de temps de pluie en aval de la région parisienne. Lors des événements pluvieux, la majeure partie des effluents parisiens est acheminée en aval de Paris pour y être traitée. Lorsque les volumes acheminés dépassent la capacité de traitement des ouvrages, les eaux excédentaires sont rendues au milieu naturel, la plupart du temps après avoir subi une étape de dégrillage / dessablage / déshuilage. Les principaux points de déversements du SIAAP sont les déversoirs d'orage de Clichy (Hauts-de-Seine) et de La Briche (Seine-Saint-Denis) et le site de La Frette (Val d'Oise, alimentation de la station Seine Aval). La figure 8, qui présente l'évolution des volumes déversés au cours de ces 20 dernières années, témoigne des progrès réalisés dans la gestion des eaux pluviales.

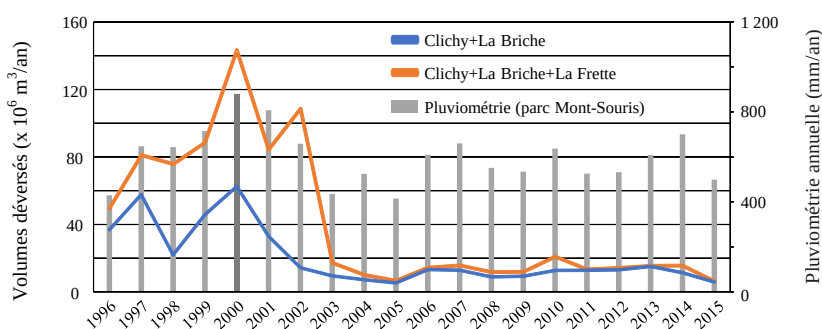


Figure 8. Evolution des volumes d'eau déversés par les principaux déversoirs d'orage du SIAAP (Clichy, La Briche et La Frette) de 1996 à 2015

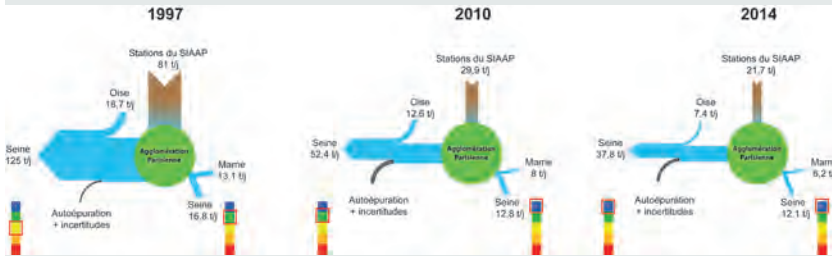
Les volumes déversés par les principaux déversoirs du SIAAP ont fortement diminué à partir des années 2000, que ce soit par les déversoirs du réseau d'assainissement (Clichy et La Briche) ou par le déversoir de l'usine Seine Aval (La Frette). Pour le site de La Frette la diminution est notamment liée à l'utilisation de l'unité de clariflocculation construite en 2001. Sur le réseau, la diminution est liée à une augmentation des capacités de traitement des eaux excédentaires de temps de pluie associée à une meilleure gestion des flux d'effluents. Avant les années 2000, les volumes déversés annuellement au niveau de ces trois sites de déversements fluctuaient globalement entre 45 et 140 millions de m³ ; l'intensité des déversements étant étroitement liée aux conditions météorologiques (Figure 8). Depuis près de 15 ans, ces déversements ont drastiquement diminué puisqu'ils fluctuent autour de 15 millions de m³/an. Si les pics de déversements constatés sur la période 2000 à 2002 peuvent être imputés à de fortes précipitations, la baisse des années suivantes est fort probablement liée à l'extension de l'usine Seine Amont et à la mise en route de l'usine Seine Grésillons. En effet, le débit de base alimentant Seine Aval étant ainsi réduit, la capacité de stockage supplémentaire des émissaires a pu être utilisée dans la gestion des flux de temps de pluie. Aujourd'hui, le volume global des eaux de temps de pluie impactant le système d'assainissement est de l'ordre de 10% et les RUTP représentent moins de 2% du volume total transitant dans les réseaux à l'échelle annuelle.

**Focus sur l'évolution des flux de carbone, azote et phosphore
apportés à la Seine par le SIAAP entre 1997 et 2014**

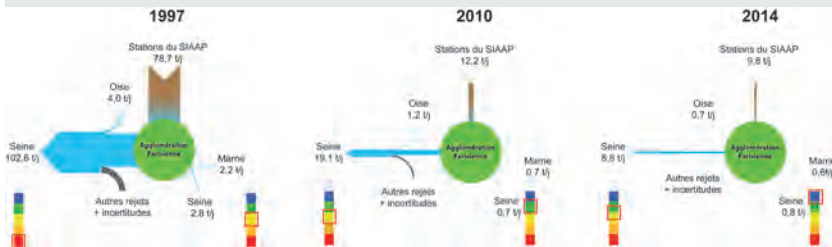
Afin de mesurer le chemin parcouru au cours de cette période de 1990 à 2015 consacrée au plein essor du traitement de l'azote et du phosphore, il est intéressant de comparer les bilans de flux pour différents polluants à différentes périodes charnières. **Année 1997.** Cette année d'approbation du Scénario C, constitue une référence initiale au regard des grandes évolutions qui impacteront le système d'assainissement de l'agglomération parisienne. En 1997, Seine Aval est encore dans sa configuration historique et Seine Centre n'est pas encore en service. **Année 2010.** Cette année constitue une étape intermédiaire dans le déploiement de l'amélioration du traitement et de la déconcentration de Seine Aval. En 2010, l'unité de clarifloculation de Seine Aval ainsi que l'unité de traitement des pollutions azotées ont été mises en service. Il en est de même pour l'extension de Seine Amont ainsi que la première tranche de Seine Grésillons. Le débit moyen de temps sec traité à Seine Aval a ainsi été réduit de 2,1 à 1,7 millions de m³/j et le traitement des formes réduites de l'azote et du phosphore est généralisé. **Année 2014.** Cette année est représentative de la fin du cycle de déconcentration de Seine Aval et de la mise en conformité des installations du SIAAP au regard de la DERU.

Les baisses entre 1997 et 2014 ont été respectivement de 73% pour la DBO₅, 94% pour l'ammonium et 91% pour les ortho-phosphates. On note également la baisse des flux sur la Seine et la Marne en amont de l'agglomération ainsi que sur l'Oise, traduisant les effets des efforts consentis en amont de ces cours d'eau. La figure d, qui présente le cas de l'azote global et des nitrates, permet d'illustrer l'effet de mise en conformité vis-à-vis de la DERU des usines du SIAAP. Entre 1997 et 2014, les flux de la somme des différentes formes de l'azote ont été réduits de 64%. De 1997 à 2010, on voit l'effet de la mise en œuvre de la nitrification et de la dénitrification partielle. En 1997, 88 t/j d'azote sont rejetées dont 90% de l'azote rejeté sous forme réduite, toxique pour le milieu, et 7,8 t l'ont été sous la forme de nitrates. En 2010, le traitement des formes réduites de l'azote est généralisé et la dénitrification est déjà largement déployée : le flux total d'azote rejeté baisse de 32% et celui de ses formes réduites baisse de 82%. En 2014, les installations sont conformes à la DERU, le flux d'azote total rejeté a baissé de 47% supplémentaires. Il est intéressant de souligner que dans le même temps, les flux d'azote en provenance de l'amont du bassin de la Seine augmentent. La cause de cette augmentation n'est certainement pas à rechercher du côté des collectivités qui, comme le SIAAP, se sont conformées à la DERU avec l'obligation d'atteindre un rendement annuel d'élimination de l'azote d'au moins 70%.

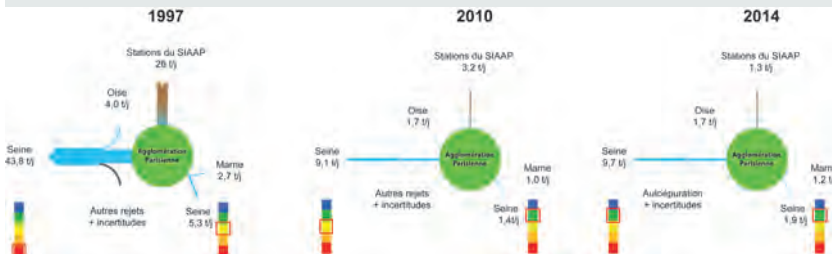
(a) Cas de la pollution carbonée (Flux médians DBO_5 , en $\text{t O}_2/\text{j}$)



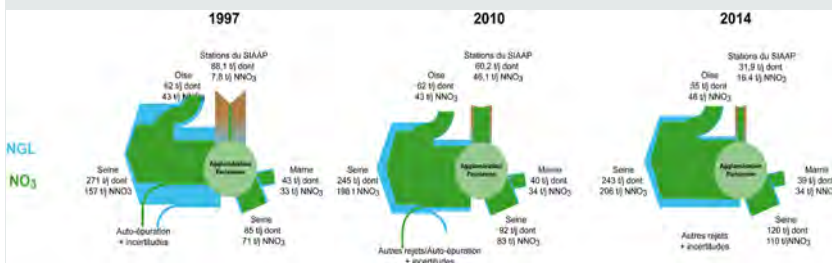
(b) Cas de l'ammonium (Flux médians NH_4^+ , en $\text{t NH}_4^+/\text{j}$)



(c) Cas de la pollution phosphorée (Flux médians PO_4^{3-} , en $\text{t PO}_4^{3-}/\text{j}$)



(d) Cas de l'azote global (flux moyens de la somme des formes de l'azote) et des nitrates (N-NO_3^- , en t/j)



Evolution des flux de pollution rejetés par les usines du SIAAP entre 1997 et 2014 (exprimés en t/j)

II.2.4. Corollaire de l'évolution du traitement des nutriments azotés et phosphorés et de la meilleure gestion des eaux de temps de pluie [1990-2015]

II.2.4.1. Quelle efficacité des stations d'épuration vis-à-vis des germes bactériens ?

Si les filières de traitement conventionnelles ne sont pas conçues pour éliminer la contamination bactérienne, elles permettent néanmoins d'abattre une part significative des germes présents dans les eaux brutes. Cet abattement est lié à l'élimination des germes attachés aux particules, lors de l'étape de décantation, mais également à l'élimination des bactéries libres lors du passage des eaux dans les bassins biologiques. Le niveau de performance des filières conventionnelles vis-à-vis des micro-organismes dépend du type de procédé employé mais surtout du niveau de traitement atteint. En particulier, l'étape de nitrification joue un rôle déterminant dans l'élimination des germes. Une station d'épuration traitant complètement l'azote par boues activées (fonctionnement en faible charge ou aération prolongée) sera 10 à 100 fois plus performante dans l'élimination de la contamination bactérienne qu'une station traitant uniquement la pollution carbonée (fonctionnement en forte charge). Le cas de la station d'épuration de Seine Aval illustre parfaitement le lien existant entre traitement de l'azote et abattement bactérien. Avant la mise en eau de l'unité de nitrification, l'usine Seine Aval permettait un abattement des bactéries fécales (Bactéries Indicatrices de contamination Fécale [BIF] : *Escherichia coli* et entérocoques intestinaux) de l'ordre de 1 unité logarithmique, c'est-à-dire un facteur de réduction de 10 entre l'entrée et la sortie de l'usine. L'intégration de l'unité de nitrification a permis de faire passer l'abattement à presque 3 unités logarithmiques, c'est-à-dire un facteur de réduction avoisinant les 1 000 entre l'entrée et la sortie de l'usine (Figure 9).

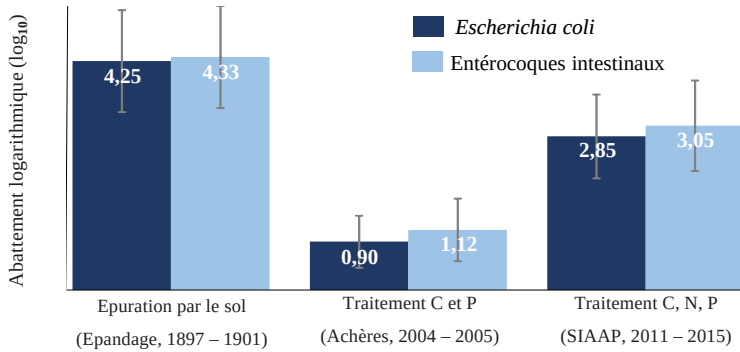


Figure 9. Evolution des abatements moyens en bactéries indicatrices de contamination fécale (BIF) pour trois filières de traitement des eaux usées : 1- traitement par épandage (1897 – 1901, n=79), 2- traitement du carbone (cas de l'usine Seine Aval, 2004 – 2005, n=59) et 3- traitement complet du carbone, de l'azote et du phosphore (2011 – 2015, n=305)

Par ailleurs, il est amusant de constater que les rendements d'abattement obtenus dans les filières de traitement des stations d'épuration modernes sont plus faibles que ceux qui étaient obtenus lorsque les eaux étaient simplement épandues sur les sols agricoles. Comme évoqué dans le premier chapitre de ce document (Chapitre 1 – Grandes étapes de l'assainissement), l'application du principe du « tout à l'égout, rien à la Seine » a conduit à épandre de grands volumes d'eaux brutes sur les parcelles agricoles. Déjà à cette époque, des analyses de la qualité bactériologique des eaux d'égout épandues (flore totale) et des eaux des drains, récupérées après percolation à travers le sol, étaient régulièrement réalisées. Ainsi, les données collectées entre 1897 et 1901 (n=79), permettent de montrer que les rendements d'élimination des BIF sont supérieurs à 4 unités logarithmiques, soit 99,99%. Les concentrations en bactéries sont réduites d'un facteur 10 000 entre l'eau d'égout et l'eau collectée dans les drains d'épandage. Les processus de filtration, les processus biologiques opérant dans le sol (minéralisation de la matière organique, nitrification, traitement du phosphore, prédation, etc.) et les quantités maîtrisées d'eau épandues par unité de surface de sol permettent donc une hygiénisation très efficace de l'eau, supérieure à celle de nos procédés modernes et intensifs.

II.2.4.2. Evolution des flux de germes rejetés au cours des grandes étapes du déploiement industriel

De 1900 à 1930, l'augmentation conséquente des volumes collectés et la diminution conjointe des procédés de traitement par épandage (Figure 1 – Courbes marron et verte) ont induit un apport massif et croissant de bactéries dans le milieu récepteur. Dès 1929, la mise en place du programme général d'assainissement de la région parisienne induit un changement de philosophie : « le tout vers l'aval ». Le développement de la technologie industrielle de traitement des eaux par boues activées va *crescendo* et l'épandage devient l'appoint. Mais à l'échelle de l'agglomération parisienne, le volume total traité n'excède pas les 40% en 1970, et les traitements mis en œuvre ne se limitent qu'à l'élimination de la pollution carbonée par boues activées forte charge à Achères. Cette technologie, et les conditions de sa mise en œuvre à l'époque, ne permettent qu'un abattement relativement modéré (1 unité logarithmique, soit 90%) des BIF (Figure 9, Achères 2004-2005). C'est pourquoi, durant cette période, une augmentation des flux de BIF est constatée dans le réseau, mais également au rejet vers la Seine. A titre d'illustration, la figure 10 présente l'évolution des flux d'*Escherichia coli* collectés dans les réseaux de l'agglomération parisienne et rejetés dans la Seine de 1955 à 2015 (a) en NPP par an et (b) en unité logarithmique.

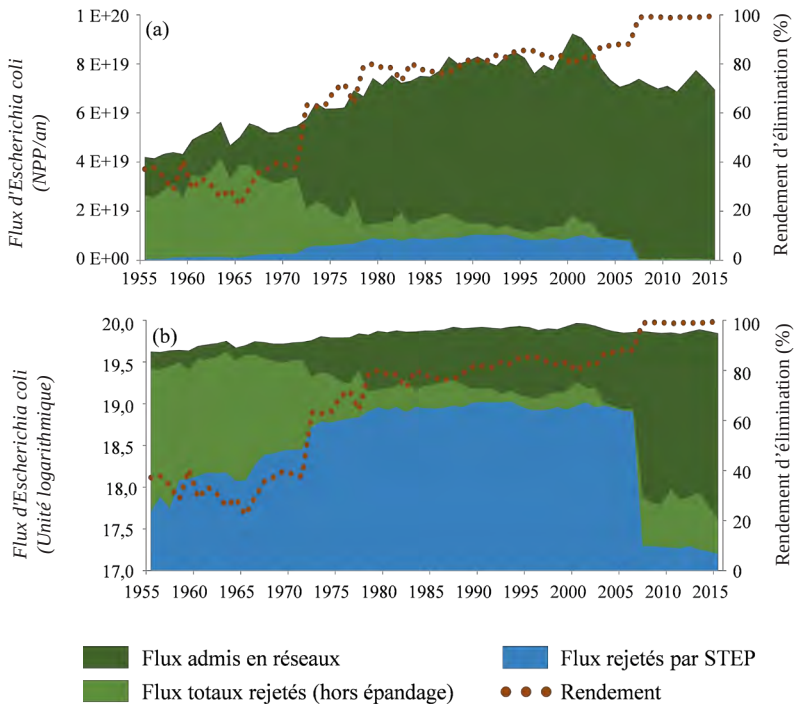


Figure 10. Evolution des flux [(a) en NPP/an et (b) en unité logarithmique] de bactéries indicatrices de contamination fécale (cas d'*Escherichia coli*) collectés dans les réseaux à l'échelle de l'agglomération parisienne et rejetés de 1955 à 2015

De 1955 à 1972, les importants déversements d'eau brute et l'efficacité limitée du traitement de la pollution carbonée induisent le rejet de flux bactériens conséquents. Le rendement global d'élimination des BIF oscille entre 30 à 40% (Figures 10a et 10b – Lignes pointillées) et la part des BIF rejetée par les STEP par rapport au flux total rejeté reste faible (inférieure à 10%). Le déploiement des traitements industriels va induire une diminution forte des flux bactériens introduits dans la rivière. Entre 1970 et 1980, la montée en puissance du traitement industriel, avec notamment la mise en service d'Achères III en 1972, permet de réaliser un saut dans le rendement d'élimination des BIF de 38 à 65% à l'échelle de l'agglomération parisienne (Figures 10a et 10b). Jusqu'en 1980, le rendement continue à augmenter pour atteindre 80%, et ce malgré l'augmentation constante des flux admis dans le réseau. Cependant, le flux bactérien rejeté par les STEP ne fait que s'accroître pour devenir prépondérant en 1980 par rapport au flux

provenant de l'eau non traitée. De 1980 à 1990, période charnière de l'assainissement parisien, le rendement d'élimination des BIF est relativement constant. La mise en service de l'usine de Valenton en 1987, réalisant un traitement complet (C/N/P), ne permet qu'un gain relatif de 3 points de rendement à l'échelle de l'agglomération parisienne compte tenu d'un débit traité relativement modéré (300 000 m³/j). La période la plus marquante de l'évolution de la qualité bactériologique des eaux issues de l'assainissement est à la période 1990-2015, période de la mise en œuvre de filières intégrant des traitements complets (C/N/P). Durant cette même période, la mise en œuvre d'outils performants de gestion des flux, permettant notamment de diminuer significativement les déversements d'eau non traitée, a également contribué à la forte diminution des flux bactériens rejetés. Ce double impact positif de la mise en œuvre de traitements complets et de la gestion optimisée des flux est parfaitement visible entre 2002 et 2003, où une forte diminution des volumes déversés permet un saut de rendement de 82 à 87%. Après 2007, soit après la mise en route de l'unité de traitement de l'azote par biofiltration sur la station Seine Aval, plus de 99% des bactéries présentes dans les réseaux sont éliminées (Figure 10).

La reconquête de la Seine



La reconquête de la Seine

La directive cadre européenne sur l'eau (DCE, 2000/60/CE) fixe, aux différents états membres, l'objectif d'atteindre le « bon état » ou « bon potentiel » des masses d'eau et préconise à cette fin une évaluation de la qualité des cours d'eau selon plusieurs axes : qualité chimique, qualité physico-chimique, suivi d'indices biologiques, suivi piscicole et hydro-morphologique. L'atteinte du bon état suppose que divers leviers soient activés pour *in fine* limiter les flux de polluants et nutriments introduits dans les masses d'eau. Et, si l'assainissement ne constitue pas le seul vecteur introductif de pollution dans la rivière, il n'en demeure pas moins que le traitement performant des eaux usées reste une des conditions préalables et indispensables à la restauration de la qualité physico-chimique des cours d'eau ; cela dans un objectif de préservation des principaux usages communautaires des eaux de surface (baignade et activités nautiques, protection de la vie aquatique et approvisionnement à des fins de production d'eau potable). Ce constat est particulièrement vrai dans le cas de la Seine, soumise à la forte pression anthropique de l'agglomération parisienne.

Ce chapitre vise à mettre en lumière **le lien entre les grandes étapes de l'assainissement parisien et l'évolution de la qualité de la Seine**, fleuve récepteur de la plupart des eaux traitées en agglomération parisienne. Il s'agit de s'appuyer sur quelques indicateurs clés, tels que les concentrations en oxygène dissous, en carbone organique, en azote, en phosphore ou en bactéries fécales, pour montrer l'amélioration de la qualité de la Seine induite par la mutation de l'assainissement conduite ces 40 dernières années. Il convient de souligner que l'amélioration de la qualité en amont de l'agglomération parisienne sur la Seine, la Marne et l'Oise a également participé à cette amélioration globale.

I. Evolution de la qualité physico-chimique de la Seine en quarante ans

I.1. De quelle qualité parlons-nous ?

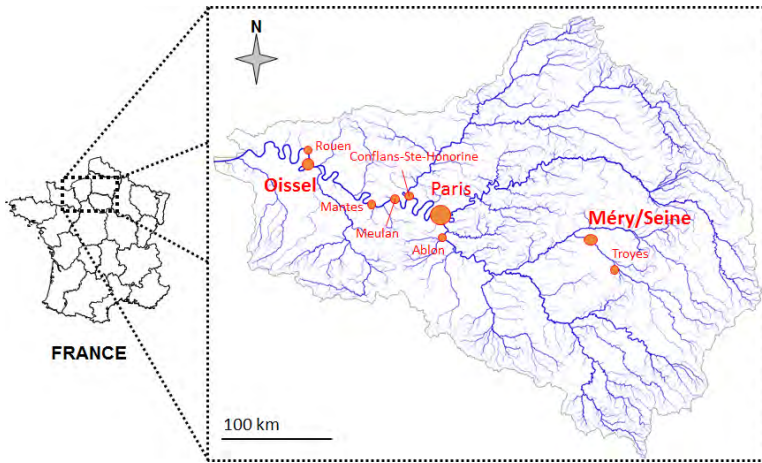
Focus sur les paramètres « épuration ». La qualité physico-chimique d'une eau est caractérisée par les diverses substances qu'elle contient, leur quantité et leur effet sur les écosystèmes aquatiques et la santé humaine. C'est la concentration de ces différents éléments qui détermine la qualité d'une eau. La présente analyse de l'évolution de la qualité des eaux de la Seine au cours des 40 dernières années ne porte que sur les principaux paramètres en lien direct avec les niveaux de rejets réglementés des stations d'épuration. Il s'agit, en premier lieu, de la matière organique résiduelle rejetée et responsable de la désoxygénation des eaux. Elle est exprimée par la demande biochimique en oxygène qu'elle induit dans le milieu aquatique pour son oxydation (DBO₅). Sont également retenus les sels nutritifs ou nutriments tels que l'ammonium (NH₄⁺), toxique pour les poissons les plus polluo-sensibles et également responsable de la désoxygénation, et les ortho-phosphates (PO₄³⁻) qui induisent des proliférations de végétaux ou d'algues dans le milieu (eutrophisation). A ces paramètres, il faut ajouter l'oxygène dissous (O₂), paramètre fondamental de la bonne qualité des eaux, la plupart des organismes aquatiques ne pouvant vivre normalement dans des eaux désoxygénées. La qualité physico-chimique des eaux de Seine vis-à-vis de ces paramètres est évaluée dans le référentiel de la DCE, précisé par l'arrêté du 25 janvier 2010 qui définit cinq classes de qualité figurées par un code couleur allant du bleu (très bonne qualité) au rouge (mauvaise qualité), l'objectif étant d'atteindre la qualité bonne, codifiée par la couleur verte (Tableau 1). Pour chaque paramètre, la qualité de l'eau est considérée comme bonne lorsque 90% des valeurs sont inférieures à un seuil correspondant à la norme de qualité environnementale (NQE) signalée par le code couleur vert sur les graphiques qui seront présentés ci-après.

Tableau 1. Limites des classes de qualité DCE des paramètres physico-chimiques généraux

Paramètres	Limites des classes d'état				
	Très Bon	Bon	Moyen	Médiocre	Très Mauvais
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	3	6	10	25	
NH ₄ ⁺ (mg NH ₄ ⁺ /l)	0,1	0,5	2	5	
PO ₄ ³⁻ (mg PO ₄ ³⁻ /l)	0,1	0,5	1	2	
Oxygène dissous (mg O ₂ /l)	8	6	4	3	

Une large échelle spatiale. La Seine constitue un continuum aquatique où siègent de nombreux processus de transformation de la matière. Ainsi, la qualité des eaux doit être appréhendée sur de longues distances car l'effet de certains polluants tels que la matière organique et même l'ammonium ne se fait sentir qu'après plusieurs dizaines, voire centaines, de kilomètres à l'aval. Aussi, il est nécessaire de ne pas limiter l'analyse à l'aval immédiat de l'agglomération parisienne mais d'adopter une approche intégratrice consistant à décrire l'évolution de la qualité des eaux de Seine de l'amont du bassin à son aval. L'ampleur de l'impact des rejets avait été appréhendée dès 1874 par Félix Boudet qui effectuait des profils longitudinaux d'oxygène dissous, la distance couverte allant de Corbeil à Rouen ! Dans le cadre de ce travail, l'évolution de la qualité de la Seine sera appréciée en s'intéressant à un long linéaire allant de Méry-Sur-Seine, 210 km en amont de Paris, à Oissel, situé 230 km après la sortie de Paris.

Focus sur trois chroniques au cœur des grandes étapes de l'assainissement. Les données de qualité exploitées sont issues du Réseau National des Données sur l'Eau (RNDE) qui présente des chroniques particulièrement riches remontant au début des années 1970 (Figures 11 et 12). Elles permettent d'évaluer la qualité des eaux de Seine pour la DBO_5 , le NH_4^+ , le PO_4^{3-} et l' O_2 sur la base de données collectées lors de deux années consécutives (calcul du centile 90 pour le couple d'années), chacun des couples ainsi constitués étant choisi de façon à illustrer les trois grandes étapes de l'assainissement parisien : (1) le premier couple (1971-1972) caractérise l'état initial avant la montée en puissance de l'assainissement parisien, (2) le deuxième couple (1985-1986) permet d'apprécier l'impact positif de l'augmentation de la capacité de traitement suite à la montée en puissance du traitement industriel et (3) le dernier couple (2012-2013) permet d'apprécier l'impact positif du déploiement des traitements de l'azote et du phosphore, et de l'amélioration de la gestion des événements pluvieux.



Carte 5. Evolution de la qualité de la Seine appréciée sur le linéaire allant de Méry-sur-Seine à Oissel

Évolution de la qualité de la Seine

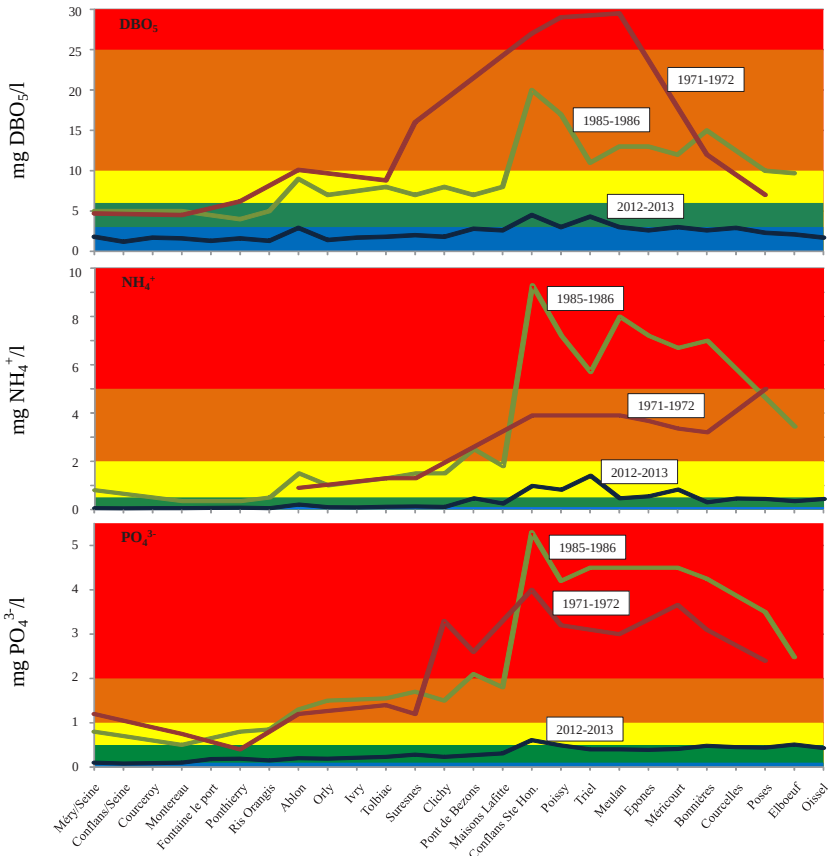


Figure 11. Evolution des concentrations en pollution carbonée (DBO₅), azotée (ammonium) et phosphorée (ortho-phosphates) dans la Seine en zone centrale en 1971-1972, 1985-1986 et 2012-2013

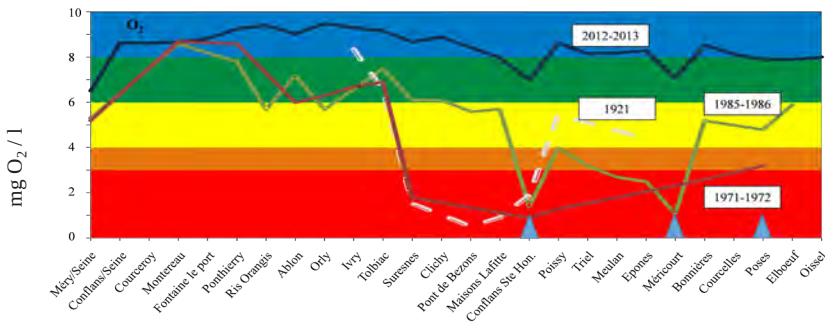


Figure 12. Evolution des concentrations en oxygène dissous dans la Seine en zone centrale en 1921, 1971-1972, 1985-1986 et 2012-2013

I.2. Une qualité plus que médiocre en 1970

En dépit des mises en service des deux premières tranches de la station Seine Aval en 1940 et 1966, alors appelée usine d'Achères, les volumes d'eaux usées rejetés sans traitement n'ont cessé de croître jusqu'au début des années 1970 du fait de l'augmentation de la population. A titre d'illustration nous citerons le chiffre de 700 000 m³ d'eau brute rejetée quotidiennement sans traitement à Clichy. Dans ces conditions, le rendement du système d'assainissement est limité pour la DBO₅, entraînant des concentrations de matière organique croissantes durant toute la traversée de l'agglomération parisienne pour culminer à l'aval. A Poissy, ville située 15 km après le rejet de la station d'épuration d'Achères, les eaux sont de mauvaise qualité avec des DBO₅ proches de 30 mg O₂/l. A titre indicatif, cette valeur est proche du maximum autorisé pour une station d'épuration rejetant ses eaux traitées dans un fleuve et, actuellement, les rejets des stations les plus performantes délivrent des eaux à moins de 10 mg O₂/l en DBO₅. La question de la pollution en azote et phosphore n'étant pas encore appréhendée à cette époque, la qualité de la Seine vis-à-vis de l'ammonium et des ortho-phosphates est également dégradée. Les faibles performances du système d'assainissement induisent une désoxygénation quasi-totale de la Seine jusqu'à l'aval du bassin. Certains n'hésitent pas à qualifier la Seine de « presque biologiquement morte », le milieu aquatique souffrant d'une désoxygénation chronique du fait de l'intensité des rejets permanents. Bien qu'amplifiés par l'essor de la démographie, ces problèmes de désoxygénation ne datent pas de cette période. En effet, les mesures d'oxygène effectuées en Seine, tant par Boudet dès 1874 (*Assainissement de la Seine, épuration et utilisation des eaux d'égouts : avant-projet d'un canal d'irrigation à l'aide des eaux d'égouts de Paris entre Clichy et la partie Nord-ouest de la forêt de St Germain. Tome 2, 1876*) que par les Services Techniques d'Hygiène de la Ville de Paris au début des années 1900, montrent que de tels phénomènes étaient déjà observés à leur époque. La baisse de l'oxygène dissous était limitée sur une section comprise entre Paris intramuros et Poissy comme le montre la courbe en pointillés blancs de la figure 11, tracée à partir des données extraites des Annales des Services Techniques d'Hygiène de la Ville de Paris de 1921.

I.3. Amélioration de la qualité suite à la montée en puissance de l'assainissement parisien (1970 à 1990)

A partir de 1970, on assiste à une augmentation considérable de la capacité de traitement, principalement induite par la construction, sur la station d'épuration d'Achères, d'une troisième tranche avec une capacité de 900 000 m³/jour (1972), suivie d'une quatrième tranche d'une capacité de 600 000 m³/jour (1978). Ces constructions permettent d'inverser la tendance après plusieurs dizaines d'années d'augmentation des flux de polluants rejetés dans le milieu naturel. A partir de 1985, le rendement du système d'assainissement atteint 70% pour la DBO₅ (Figure 4 – Ligne pointillée), permettant une nette amélioration de la qualité de l'eau à l'aval de l'agglomération parisienne. Ainsi, à Poissy, les concentrations en DBO₅ sont deux fois plus faibles en 1985-1986 (15 mg O₂/l) qu'elles ne l'étaient en 1971-1972 (30 mg O₂/l) (Figure 11 – Cas de la DBO₅). Cette amélioration significative de la qualité de la Seine vis-à-vis de la pollution carbonée n'est pas transposable à l'azote et au phosphore. Pour ces nutriments, la situation se détériore du fait de l'amplification de la pression démographique mais aussi en raison du transfert croissant des charges polluantes vers Achères rendu possible par l'augmentation de sa capacité et par une meilleure qualité de la collecte. L'absence de traitement spécifique de ces polluants conduit alors à une concentration de leurs flux en aval de cette station. Ainsi, en 1985-1986, des concentrations élevées, de 7 et 4 mg/L respectivement pour l'ammonium et les ortho-phosphates sont fréquemment mesurées en aval de l'agglomération parisienne (Figure 11 – Cas de l'ammonium et des ortho-phosphates).

Malgré la diminution significative des concentrations en matière organique dans le fleuve, la situation reste encore trop dégradée pour maintenir un bon niveau d'oxygénation dans la rivière. Ainsi, si le niveau d'oxygénation mesuré à Poissy en 1985-1986 est bien supérieur à celui des années 1971-1972, il reste encore inférieur à 4 mg O₂/l lors des périodes estivales (Figure 12 – Courbe verte). Le milieu reste donc extrêmement fragile et sensible aux rejets urbains excédentaires par temps de pluie (RUTP) qui peuvent provoquer ponctuellement des chocs de désoxygénation profonde, responsables de nombreuses mortalités piscicoles. La ré-oxygénation à l'aval de l'agglomération parisienne, à partir de Conflans-Sainte-Honorine, est liée à la présence des barrages, et notamment ceux situés à Andrésey, Méricourt et Poses. Ces barrages, signalés par des triangles bleus sur la figure 12, ré-oxygènent fortement l'eau de la Seine et permettent de compenser la consommation d'oxygène liée à la nitrification biologique qui s'opère naturellement dans la rivière suite au rejet important d'ammonium par les stations d'épuration.

I.4. Une Seine reconquise suite à la généralisation des traitements poussés (C/N/P) sur les stations (1990-2015)

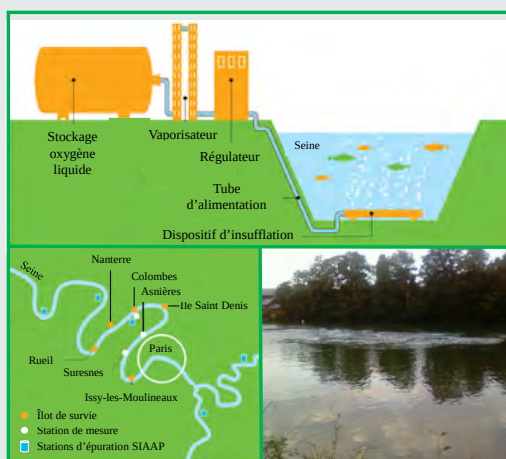
En 1991, la Directive européenne sur les Eaux Résiduaires Urbaines (DERU), relayée par la directive cadre sur l'eau (DCE), impulsera un second souffle à l'assainissement. Mais, devant l'ampleur des ambitions, il sera nécessaire d'étaler les investissements sur près de 25 ans ; investissements qui permettront de parachever le traitement de la matière organique mais surtout, de traiter l'azote et le phosphore.

En 2013, suite aux vagues d'investissements successives (Figure 2 – Chronologie des grandes étapes de l'évolution de l'assainissement parisien), 98% du volume d'eau généré dans le système d'assainissement subit un traitement en station d'épuration, dont le rendement d'élimination atteint 95% pour la DBO_5 (Figure 4 – Ligne pointillée). La qualité de l'eau de rivière vis-à-vis de la matière organique devient excellente ; les concentrations en DBO_5 ne dépassent pas 5 mg O_2/l sur tout l'aval du bassin (Figure 11 – Cas de la DBO_5). La généralisation sur toutes les stations d'épuration du SIAAP du traitement de l'ammonium et du phosphore a également permis de réduire de façon considérable le rejet de ces nutriments dans la rivière (Figures 5 et 6). En 25 ans, les concentrations en aval de l'agglomération parisienne ont diminué significativement. Pour l'ammonium, les concentrations les plus fortes observées sont passées de 7 à 1,5 mg NH_4^+/l (Figure 11 – Cas de l'ammonium). Des progrès encore plus spectaculaires sont obtenus pour les ortho-phosphates avec des concentrations qui ont été divisées par près d'un facteur 10, passant de 4 à moins de 0,5 mg PO_4^{3-}/l .

Logiquement, la diminution des concentrations en DBO_5 a fait disparaître les déficits chroniques en oxygène dissous dont souffrait tout l'aval du bassin jusqu'à Poses. Aujourd'hui les concentrations en oxygène dissous ne descendent quasiment jamais en dessous de 7 mg O_2/l . La qualité y est désormais bonne, rendant à l'eau une vie perdue depuis plus d'un siècle.

Un SAMU pour les poissons

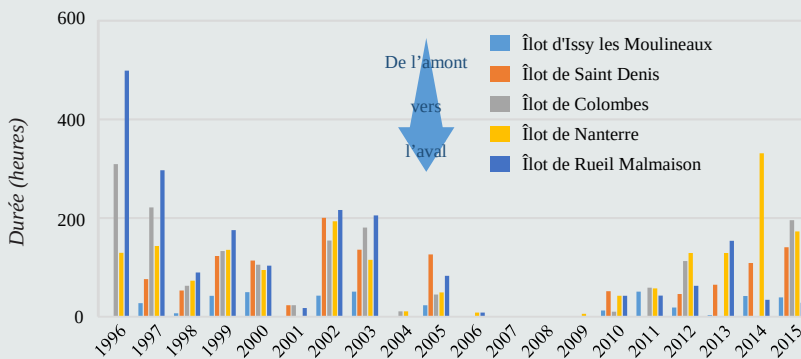
Jusqu'aux années 1990, la pollution chronique du milieu naturel par les eaux usées urbaines avait masqué celle engendrée par les rejets urbains de temps de pluie qui allait se révéler à la faveur de conditions météorologiques et hydrologiques défavorables. Au printemps 1991, alors que la Seine subissait un tarissement de ses débits du fait d'une sécheresse précoce, plusieurs violents orages s'abattaient sur la région parisienne. La conjonction d'un faible débit d'étiage, d'une température élevée de l'eau et de fréquents et importants déversements a provoqué de graves déficits en oxygène dissous sur plusieurs dizaines de kilomètres. Ce phénomène a engendré une dévalaison des poissons jusqu'en amont des barrages de navigation. Là s'étaient réfugiées des centaines de tonnes de poissons pipant l'air en surface par manque d'oxygène dissous dans l'eau. De la vue de ces poissons agonisant est né le concept d'îlots de survie, inspiré à l'origine du modèle londonien. L'idée était d'identifier, avec l'appui des fédérations de pêche et de logiciels de simulation, les zones de déficit chronique en oxygène dissous afin d'y insuffler de l'oxygène et ainsi maintenir les poissons en vie en créant des zones " refuge ". Un îlot de survie est constitué d'un réservoir d'oxygène pur, relié à un diffuseur implanté dans le lit du fleuve. Il est mis en marche dès que l'une des sondes qui mesurent en continu le taux d'oxygène de l'eau à proximité dépasse le seuil critique de 2 mg O₂/l en-deçà duquel la vie piscicole est en danger. Localement, un îlot de survie peut faire remonter la concentration en oxygène dissous de 3 mg O₂/l. Avec le courant d'eau, la zone oxygénée s'étend sur plusieurs kilomètres créant ainsi une zone de refuge pour les poissons.



Principe de fonctionnement d'un îlot de survie et localisation le long de la Seine aujourd'hui

Les sites propices pour implanter les îlots de survie se situent logiquement en aval des déversoirs d'orage et en amont des barrages de navigation, là où autrefois les plus sévères déficits en oxygène dissous étaient constatés. Ainsi cinq sites ont été équipés entre la sortie de Paris et Bougival : Issy-les-Moulineaux, l'aval de l'Ile St Denis, Colombes, Nanterre et Rueil Malmaison. Il s'agit là de mettre en œuvre une solution curative en attendant le déploiement du traitement des rejets urbains de temps de pluie (RUTP) sur les usines d'épuration.

Mis en service en 1996, ces îlots de survie ont beaucoup fonctionné durant les premières années. Ils ont permis d'atténuer les sévères déficits en oxygène dissous à l'aval des déversoirs d'orage de Clichy et la Briche et d'y maintenir en permanence des conditions compatibles avec la survie piscicole. Depuis quelques années, le niveau moyen d'oxygénation de la Seine s'étant nettement amélioré, leur fréquence de fonctionnement a diminué mais ils sont maintenus en attendant l'achèvement du programme d'assainissement.



Historique du temps de fonctionnement des îlots de survie

II. Evolution de la qualité bactériologique (10-15 ans)

Le déploiement du traitement industriel des eaux usées, mené entre 1970 et aujourd'hui pour améliorer la qualité physico-chimique des eaux de surface (O_2 dissous, carbone, azote et phosphore) a également eu un impact très positif sur la qualité bactériologique de la Seine. En particulier, les 15 dernières années (2000-2015), durant lesquelles des efforts ont été consentis pour généraliser le traitement de l'azote et du phosphore sur les usines et limiter les rejets urbains de temps de pluie, ont permis de réduire significativement les flux de germes introduits dans le milieu naturel (Chapitre I – Paragraphe II.2.4). Cette réduction notable des flux introduits dans la rivière a conduit à une amélioration significative de sa qualité bactériologique. Cette évolution positive peut-être appréciée sur la figure 13 qui présente l'évolution des concentrations médianes en (a) *Escherichia coli* et (b) entérocoques intestinaux (NPP/100 ml) d'amont en aval de l'agglomération parisienne pour trois périodes : 1999 - 2001, 2004 - 2005 et 2011 - 2015.

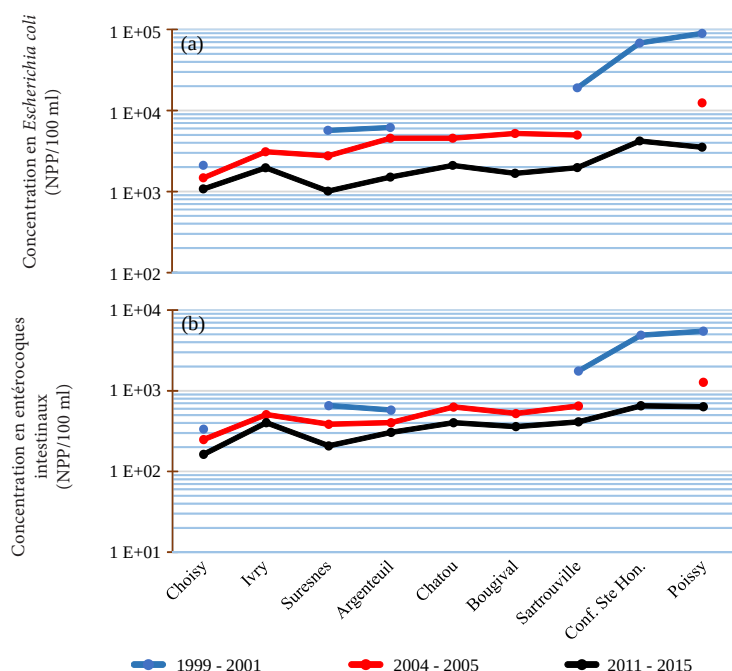


Figure 13. Evolution des concentrations médianes en (a) *Escherichia coli* et (b) entérocoques intestinaux dans la Seine en agglomération parisienne en 1999-2001, 2004-2005 et 2011-2015

Cette amélioration est visible dès le site de Choisy situé en amont de la zone de rejet des effluents du SIAAP. Sur ce site, les concentrations en *Escherichia coli* et en entérocoques intestinaux étaient 2 fois plus importantes en 1999-2001 (Courbe bleue) qu'en 2011-2015 (Courbe noire). Cette amélioration résulte vraisemblablement de la mise en œuvre de filières de traitement poussé dans les stations d'épuration situées en amont du bassin versant SIAAP et d'une meilleure maîtrise des déversements d'eau non traitée.

Lors de la traversée de Paris, les concentrations en germes tendent globalement à diminuer puisque les apports liés à la traversée de Paris sont relativement modérés (absence de station d'épuration, peu de rejets non maîtrisés) et ne compensent pas la décroissance naturelle des bactéries fécales dans la rivière. A partir de Suresnes, les niveaux de contamination augmentent régulièrement jusqu'à Bougival, et notamment entre Suresnes et Chatou où se situent les principaux déversoirs d'orage de l'agglomération parisienne. A Sartrouville, site situé en amont de la station d'épuration Seine Aval, les concentrations médianes en *Escherichia coli* ont plus que doublé par rapport à Suresnes pour atteindre 2.10^4 , 5.10^3 et 2.10^3 NPP/100 ml d'eau respectivement pour 1999-2001, 2004-2005 et 2011-2015. Les concentrations en entérocoques intestinaux ont également doublé et sont proches de $1,8.10^3$, $6,5.10^2$ et $4,1.10^2$ NPP/100 ml pour les mêmes périodes.

L'influence du rejet de la station d'épuration Seine Aval sur la qualité bactériologique de l'eau de Seine, qui peut être appréciée en considérant les concentrations mesurées sur les sites de Conflans-Sainte-Honorine et de Poissy, est visible pour les trois périodes étudiées. Néanmoins, on note que la situation s'est sensiblement améliorée ces 10 dernières années. Avant 2007, le traitement biologique partiel des eaux usées sur la station Seine Aval, limité à une élimination de la pollution carbonée sans étape de nitrification, conduisait à rejeter des flux importants de germes bactériens (Chapitre II – Paragraphe II-2.4). La mise en eau de l'unité de traitement de l'azote de la station Seine Aval en 2007, combinée à une diminution des débits traités sur cette station d'épuration, a permis de limiter significativement les flux de germes introduits dans la rivière (Chapitre II – Paragraphe II-2.4 – Figure 10) et, par conséquent, d'améliorer la qualité bactériologique de la Seine. A titre d'illustration, en 1999-2001, les concentrations en BIF mesurées à Poissy étaient de 9.10^4 *Escherichia coli* et $5,5.10^3$ entérocoques intestinaux par 100 ml d'eau. En 2011-2015, ces concentrations sont 25 et 8 fois moins élevées et atteignent respectivement $3,5.10^3$ *Escherichia coli* et $6,3.10^2$ entérocoques intestinaux

par 100 ml d'eau. La différence notable entre 1999-2001 et 2004-2005 matérialise aussi une meilleure maîtrise des déversements d'eau partiellement ou non traitée sur ce site.

III. Evolution de la biodiversité (25 ans)

Longtemps fondée uniquement sur l'analyse de la composition physico-chimique de l'eau, l'évaluation de la qualité des cours d'eau intègre désormais des composantes biologiques des écosystèmes aquatiques : algues, macrophytes, macro-invertébrés benthiques et poissons. Les poissons constituent de véritables intégrateurs de la qualité des eaux et, plus largement, du fonctionnement des milieux aquatiques en raison de leur position au sommet de la chaîne alimentaire, de leur sensibilité à la qualité de l'eau et à l'intégrité de l'habitat physique.

A la fin des années 1960, la transformation des milieux et un assainissement défaillant conduisent à un quasi-anéantissement de la faune piscicole dès Paris. Il faut attendre la montée en puissance de l'assainissement parisien, initié en 1970 et ciblé jusqu'en 1990 sur le traitement de la pollution carbonée, pour assister à une restauration du milieu suffisante en termes d'oxygénation et en observer la recolonisation. Dès 1990, le SIAAP s'assure du concours du Conseil Supérieur de la Pêche (dont les attributions furent intégrées par la suite au sein de l'Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques - ONEMA) pour suivre l'évolution annuelle du peuplement piscicole dans l'agglomération parisienne (Figure 14). Depuis le début de ce suivi, le nombre d'espèces recensées annuellement dans l'agglomération parisienne a progressé de 12 au début des années 1990 pour se stabiliser au-dessus de 20 à l'heure actuelle (et jusqu'à 24 espèces différentes pêchées en 2015). Depuis 1990, 32 espèces cumulées ont été recensées dans la Seine au niveau de l'agglomération parisienne alors qu'il n'en avait été recensées que 14 en 1990. Le nombre total d'individus estimé, quant à lui, varie fortement en fonction des années. Ce chiffre est dépendant des conditions du milieu durant l'année et des conditions météorologiques et hydrologiques survenues lors des périodes de reproduction.

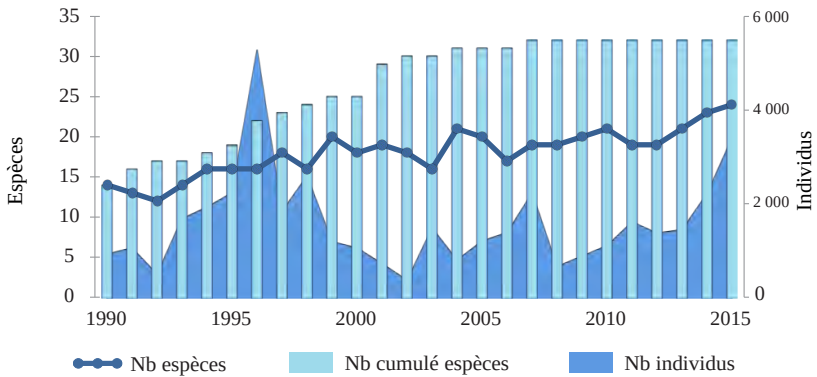


Figure 14. Nombre d'espèces et d'individus recensés en Seine par année de pêche et cumul sur la période de suivi (1990-2015)

Afin de caractériser plus finement l'évolution de la composition des peuplements, les espèces peuvent être regroupées selon leur habitat préférentiel et leur position dans la chaîne alimentaire (Figure 15). Ainsi, on distingue les espèces *limnophiles*, représentatives des parties calmes des cours d'eau telles que la Seine à l'approche de l'agglomération parisienne, et les espèces *rhéophiles* plutôt inféodées aux eaux courantes, et donc plus typiques de l'amont des cours d'eaux caractérisé par de plus fortes pentes favorisant l'oxygénation. Ces espèces peuvent être *omnivores* ou *carnassières*, les secondes exerçant une pression de prédation sur les premières.

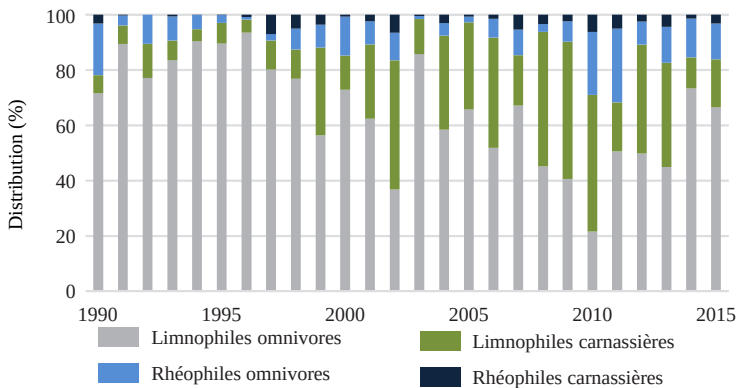


Figure 15. Distribution de la présence des individus selon leur habitat (limnophile/rhéophile) et alimentation (omnivore/carnivore)

Logiquement, les espèces limnophiles sont fortement représentées en Seine. Quelle que soit l'année considérée, de 80% à 90% des individus recensés appartiennent à cette catégorie. Cependant, depuis 1990, on observe une diminution de la proportion des espèces omnivores (ablette, chevesne, gardon, rotengle, etc.) au profit des espèces carnassières (anguille, perche, etc.). Au début des années 1990, les espèces omnivores, peu exigeantes vis-à-vis de la qualité de l'eau et de l'alimentation, représentaient 90% des individus recensés (Figure 15 – Barre grise). Au fil des années, les espèces limnophiles carnassières, plus sensibles à la qualité du milieu, réapparaissent. A ce jour, les espèces limnophiles carnassières représentent de 10 à 40% des individus recensés (Figure 15 – Barre verte). Les espèces rhéophiles et omnivores (goujon, hotu, ide mélanote, vandoise) sont logiquement peu présentes. Jusqu'en 2007-2008, ces espèces représentaient même moins de 10% des individus capturés. Ces dernières années, on observe une augmentation de la part de ces espèces qui atteint 20% des individus recensés (Figure 15 – Barres bleue et noire).

Ainsi, l'amélioration de la collecte et du traitement des eaux usées a permis le retour de nombreuses espèces de poissons dont le nombre et la diversité témoignent de la qualité des eaux de Seine dans ces secteurs qui, au début des années 60, étaient parfois considérés comme totalement désoxygénés et biologiquement morts.

Conclusion générale



Conclusion générale

En un peu moins d'un demi-siècle, le visage de l'assainissement francilien a radicalement changé. Cette mutation de l'assainissement, opérée de 1970 à aujourd'hui, a conduit à une réduction spectaculaire des flux de polluants introduits dans la Seine. Cette diminution des flux rejetés a permis de restaurer la qualité physico-chimique de la Seine en agglomération parisienne et d'en améliorer fortement la qualité microbiologique. Aujourd'hui, le niveau d'oxygénation du fleuve est élevé et les concentrations en nutriments (azote et phosphore) inférieures aux seuils du bon état pour la plupart des masses d'eau franciliennes. Seuls les paramètres « ammonium » et « nitrite » dépassent encore les limites du bon état dans les masses d'eau situées à l'aval immédiat de la station d'épuration Seine Aval (Achères). Les travaux de modernisation du système d'assainissement francilien actuellement en cours devraient permettre à moyen terme d'atteindre les objectifs de la DCE pour l'ensemble des paramètres. Il s'agit notamment du renforcement du traitement biologique de l'usine Seine Aval (Achères, projet files biologiques, 2022) et de la construction d'un bassin de rétention des eaux de temps de pluie sur le site de Clichy.

Outre ces constructions supplémentaires, la promotion de **l'innovation dans les pratiques de traitement des eaux** permettra de poursuivre la diminution des flux de pollution rejetés dans le fleuve. Ces dernières décennies ont été marquées par une évolution forte des pratiques dans la gestion des flux dans les réseaux d'assainissement. La mise en place d'une gestion en temps réel, basée sur des outils métrologiques et mathématiques performants (MAGES, Modèle d'Aide à la Gestion des Effluents du SIAAP), a permis de réduire de manière significative les déversements d'eau partiellement traitée lors des événements pluvieux. Cet outil informatique de simulation régule 24h/24h le réseau d'assainissement de l'agglomération parisienne et assure une gestion optimisée de l'ensemble du transport des effluents du SIAAP vers les six usines de traitement.

Il s'agit aujourd'hui de poursuivre dans cette voie de l'innovation avec le développement d'outils intelligents d'aide à l'exploitation. D'une gestion de flux hydrauliques, nous passerons demain à une gestion intégrée du système **réseau d'assainissement-STEP-rivière**. Le principe de ce système intégré, schématisé par la figure 16, est

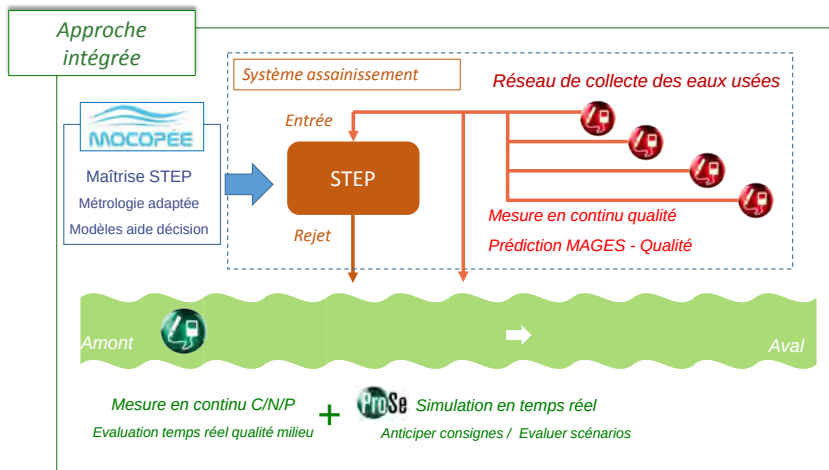


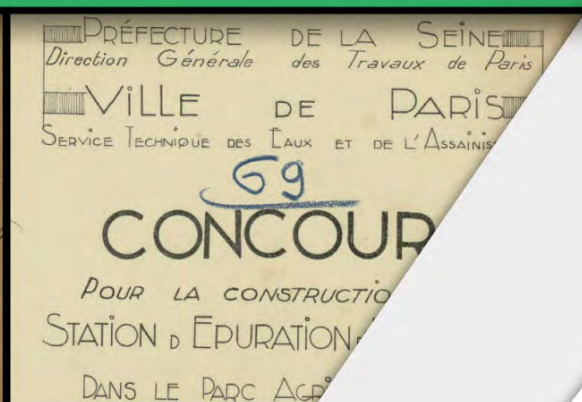
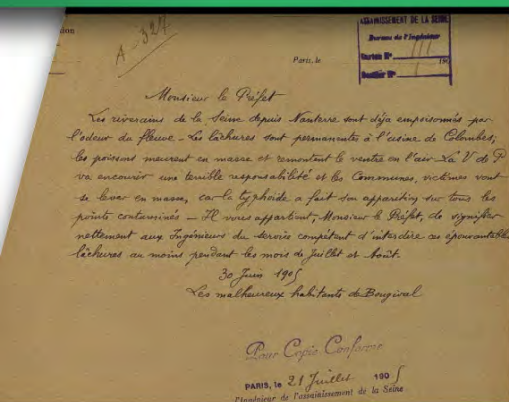
Figure 16. Intégration du compartiment « rivière » dans le système de gestion de l'assainissement francilien de demain

d'adapter la qualité du rejet du système d'assainissement à l'état de la rivière et ainsi de s'assurer de l'atteinte des objectifs réglementaires (bon état physico-chimique des masses d'eau superficielle - DCE).

Pour la rivière, il s'agira d'évaluer en temps réel la qualité des eaux de surface et d'être capable d'estimer l'impact des choix d'exploitation sur la qualité du fleuve. Cela passe par une densification de l'instrumentation du réseau de suivi de la qualité de la rivière en agglomération parisienne (réseau MeSeine) et une évolution des outils de simulation de la qualité du fleuve. Pour le réseau d'assainissement, il s'agira d'évaluer en temps réel la qualité des eaux usées transitant dans les réseaux et ainsi d'être capable de prédire l'évolution des flux de pollution apportés aux usines. Cela suppose une densification de l'instrumentation en réseau d'assainissement (intégration de capteurs de turbidité et conductivité, notamment) et une évolution du modèle MAGES qui devra être capable de simuler les transferts de matière, et non plus seulement les volumes d'eau. Enfin, l'exploitation des stations d'épuration va également fortement évoluer puisqu'au sein du système intégré réseau d'assainissement-STEP-rivière, la station occupe une position centrale. Ainsi, demain il sera demandé aux STEP d'être capables d'adapter leurs performances en fonction des contraintes imposées par le réseau d'assainissement (flux, charges appliquées en pollution) et des objectifs de traitement définis selon l'état de la rivière. Ce défi à venir place les questions relatives à la métrologie, au contrôle et à la commande des procédés d'épuration

au cœur des problématiques industrielles. Dans ce contexte, un programme de recherche visant à construire les outils métrologiques (mesure en continu et méthode de caractérisation des matrices) et mathématiques (traitement des signaux, modélisation des procédés de traitement, contrôle-commande) nécessaires pour accroître la maîtrise des systèmes de traitement a d'ailleurs été initié en 2014 (programme Modélisation, Contrôle et Optimisation des Procédés d'Épuration des Eaux, MOCOPEE, www.mocopee.com). Ce type d'initiative vise à dynamiser l'innovation technique et scientifique dans le domaine du transport et du traitement des eaux usées. Catalyser et promouvoir l'innovation est une des clés qui permettra de poursuivre ce processus d'amélioration de la qualité de nos rivières et de notre environnement.

Bibliographie



Bibliographie

Annales des Services Techniques d'Hygiène de la Ville de Paris (1921).

Archives iconographiques : SIAAP-LCDEA.

Assainissement de la Seine, épuration et utilisation des eaux d'égouts : Avant-projet d'un canal d'irrigation à l'aide des eaux d'égouts de Paris entre Clichy et la partie Nord-ouest de la forêt de St Germain (1876).

Azimi S. et Rocher V. (2016). Influence of the water quality improvement on fish population in the Seine River (Paris, France) over the 1990–2013 period. *Science of the Total Environment* 542.

Bilans d'exploitation des usines SIAAP.

Délibération du Conseil général du département de la Seine et Oise (Août 1904). Archives SIAAP-LCDEA.

Diénert F. (1920). L'épuration des eaux par les boues activées. La technique sanitaire et municipale.

Gérardin A. Altération de la Seine en 1874-1875. *Annales d'Hygiène Publique et Médecine légale*. Tome XLVII.

Journal Officiel de la République Française (1902). Rapport de la commission de surveillance des champs d'épandage.

Journal Officiel de la République française (1906). Rapport de la commission de surveillance des champs d'épandage.

Livrets de l'assainissement. SIAAP-LCDEA.

Notes à l'appui du compte des services techniques de l'assainissement de la Ville de Paris 1990 -1987.

Rapport sur la situation et les besoins du service municipal d'assainissement de la Seine et sur le renouvellement de la location des terrains du domaine des Fonceaux et du parc agricole d'Achères (1913). Conseil Municipal de Paris.

Rapport de l'ingénieur ordinaire Pigeaud (1900). Service la Navigation de la Seine et des Ponts de Paris. Archives SIAAP-LCDEA.

Rocher V, Azimi S et al. (2016). Qualité microbiologique des eaux en agglomération parisienne. Des eaux usées aux eaux de Seine. Editions Johanet.

Recueil des textes officiels concernant la protection de la santé publique, tome VIII (1931-1933).



**Vincent Rocher
Sam Azimi**

**SIAAP
Experts Scientifiques et Techniques**

Si le SIAAP* a été créé en 1970, l'assainissement public de l'agglomération parisienne a émergé dès la fin du 19^e siècle sous l'impulsion initiale du Préfet Haussmann, puis s'est développé tout au long du 20^e siècle. Cependant, c'est sur les 40 dernières années que la mutation industrielle proprement dite s'est opérée, par étapes, en intégrant une conscience croissante de son impact environnemental, et non plus strictement sanitaire.

La montée en puissance des traitements industriels d'épuration des eaux usées, sous influence d'une recherche scientifique dynamique, est examinée ici, de façon précise et documentée, en parallèle de l'évolution de la qualité de la Seine, pour ces périodes et sur un large périmètre d'amont en aval (450 km).

Au-delà des objectifs réglementaires de bon état de la Seine et à l'heure où la demande sociétale pour un environnement de qualité, y compris en milieux urbains, est de plus en plus prégnante, cet ouvrage illustre comment les efforts, consentis par la société et portés par l'innovation, ont permis, en un demi-siècle, la reconquête d'un milieu naturel, dégradé par la croissance de ses propres activités.

Le niveau de qualité atteint dès aujourd'hui est élevé, pour un fleuve sous une telle pression, et les perspectives d'évolution sont encore belles, pour préparer et garantir l'avenir. Non seulement en termes de restauration de la rivière, mais aussi d'optimisation des procédés et pratiques, ou de gestion intégrée du système réseaux/stations/rivières, par des outils intelligents d'aide à l'exploitation. Pour cela, l'innovation scientifique, toujours vive en la matière, est un vecteur nécessaire et dynamisant. Il permet déjà de préparer la prochaine mutation en marche, vers un assainissement, non plus chargé de faire disparaître les déchets de la ville, mais producteur de ressources de qualité (eaux, énergies, matières), intégré aux territoires durables, dans une économie circulaire de proximité.

Olivier ROUSSELOT

Directeur de l'Innovation et de l'Environnement du SIAAP

*SIAAP : Service Public de l'Assainissement Francilien

ISBN 979-10-91089-31-9



9 791091 089319

SIAAP
Service public de l'assainissement francilien


**EDITIONS
JOHANET**