OPUR : Observatoire des Polluants Urbains en Île de France
Thème de recherche 8: L'utilisation des ressources alternatives à l'eau potable en ville, Action de recherche n° 8.1 : Enjeux sociotechniques du RENP parisien

DIVERSIFICATION DES RESSOURCES DU RESEAU D'EAU NON POTABLE PARISIEN : CONTRIBUTION A UNE GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAU

Rapport final

Thèse de doctorat de Claire Bich-Thuy TRINH

2017

Thèse CIFRE réalisée au Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains, UMR MA 102 et à l'Eau de Paris sous la direction de Martin SEIDL et Gilles HUBERT

Université Paris-Est
Ecole doctorale Ville, Transports et Territoires

Thèse

présentée pour obtenir

le GRADE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS-EST

Spécialité : GENIE URBAIN

Présentée par : Bich-Thuy Claire TRINH

Diversification des ressources du réseau d'eau non potable parisien : contribution à une gestion durable des ressources en eau.

Thèse soutenue publiquement le 28 septembre 2017 devant le jury composé de :

Mme Catherine CARRE	Université Paris 1 Panthéon Sorbonne	Rapporteur
M. Jean-Marie MOUCHEL	Université Pierre et Marie Curie	Rapporteur
Mme Sabine BARLES	Université Paris 1 Panthéon Sorbonne	Examinateur
M. Pascal LE GAUFFRE	INSA Lyon	Examinateur
M. Gilles HUBERT	Université Paris Est	Directeur de thèse
M. Martin SEIDL	ENPC	Encadrant de thèse
Mme Hortense BRET	Eau de Paris	Encadrant de thèse

A Guillaume, pour tout le chemin parcouru ensemble.

A mes parents, cet accomplissement est aussi le leur.

Résumé

Dans le contexte du changement climatique, le bassin de la Seine sera amené à connaitre des tensions sur ses ressources en eau à l'horizon 2050. Les questions de qualité demeurent également une préoccupation, malgré les progrès réalisés en matière de lutte contre les pollutions. A l'échelle d'une ville, réfléchir à une gestion *durable* des ressources en eau amène à une question : quelle qualité est *réellement* requise pour quels usages ? Poser la question de la gestion durable des ressources en eau amène également à réfléchir aux conditions de sa mise en œuvre.

Paris est un terrain propice pour mener ces réflexions, grâce à l'existence d'un réseau d'eau non potable (RENP). Ce réseau est alimenté par 200 000 m^3/j d'eaux du Canal de l'Ourcq (avec un appoint d'eau de Marne) et de la Seine sommairement filtrées. Il sert principalement aux usages municipaux : curage des égouts, nettoyage des voiries, alimentation des bois de Boulogne et de Vincennes, et arrosage des espaces verts.
Autour de ce réseau gravitent de nombreux acteurs. Le gestionnaire du réseau est l'entreprise publique Eau de Paris, en charge du service de l'eau sous le contrôle de la Ville de Paris. Cette dernière est aussi le principal usager du RENP et le fournisseur d'une partie de l'eau brute. A cela s'ajoutent d'autres acteurs qui perçoivent des taxes et redevances, veillent au respect de la règlementation, utilisent des ressources d'eau en amont du RENP, réalisent des études pour les décideurs, et militent pour la protection de l'environnement. L'ensemble de ces acteurs forme *système* du fait des liens d'interdépendance qui existent entre eux, sur les plans hydriques, économiques et institutionnels.
Ce *système socio-technique* peut être modifié par les évolutions possibles de l'alimentation du RENP portées par la Ville de Paris. La diversification des ressources correspond à toute modification d'alimentation du RENP, que ce soit l'importance relative des ressources actuelles, ou l'introduction de nouvelles ressources telles que les eaux de pluie, les eaux de piscine, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. La thèse vise à comprendre à quelles conditions la diversification des ressources du RENP peut contribuer à une gestion durable des ressources, tout en étant acceptée par l'ensemble des acteurs.

A cet effet, le premier objectif de la thèse vise à étudier l'impact environnemental de la diversification des ressources, sous l'angle de l'énergie. Une méthode de calcul basée sur un modèle hydraulique est établie afin de comparer différents choix d'alimentation, appelés *scenarii*. Le premier *scenario* « référence » représente le fonctionnement actuel du RENP. D'autres *scenarii* jouent sur les proportions entre les eaux de rivières, et introduisent les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Les résultats montrent que les écarts de consommations énergétiques entre le *scenario* « Référence » et les autres *scenarii* s'élèvent à 13 % au maximum, notamment pour le *scenario* « Seine » qui prélève deux fois plus dans le fleuve que le *scenario* « Référence ».
Le second objectif consiste à identifier à quelles conditions les acteurs accepteraient la diversification des ressources. Des entretiens semi-directifs ont été conduits auprès d'une vingtaine d'acteurs. Nos résultats montrent que les acteurs accordent une grande importance à la qualité des ressources, en particulier les eaux d'exhaure, au regard des conséquences qu'elle peut avoir sur les usages. Leurs prises de position sont essentiellement gouvernées par leur perception des incertitudes sur le fonctionnement actuel et futur du réseau. La plupart des acteurs adoptent alors une position de *statu quo* et expriment une demande d'études complémentaires de type analyse coûts-bénéfices.

Par son objet de recherche et son approche pluridisciplinaire, cette thèse contribue à une réflexion plus globale sur le statut de l'eau, dans un contexte de gestion durable de la ressource en eau.

Mots clefs : durabilité, eau non potable, doubles réseaux, Paris, ressources alternatives, énergie, sociologie des organisations

Abstract

In the context of climate change, water resources in the Seine River basin will likely face significant pressure by the year 2050, with water quality remaining a priority concern despite advances in pollution control. At the city scale, the reflection of *sustainable* water resource management leads us to speculate what level of quality is *actually* required, and to what end? Calling into question the *sustainability* of water resources management also leads us to reflect on the conditions for implementation.

In this regard, the city of Paris makes for an interesting framework for analysis, thanks to the existence of a non potable water network (RENP). Currently, the RENP is supplied by the Seine River as well as the Canal de l'Ourcq, which itself relies on the Marne River as a backup supply. Each day, 200 000 m^3 of water is roughly screened, mainly for municipal uses such as street and sewer cleaning, supplying water to parks and irrigating green spaces.
Management of this network involves several actors. Eau de Paris is a public company that acts as the network operator, whereas in addition to being the main user, the City of Paris is a major supplier of raw water who is also responsible for the water service. Other notable actors are involved by collecting taxes and fees, enforcing regulation, drawing water upstream of the network, conducting studies for decision-makers, or lobbying for environmental protection. Together, they form an interdependent *system* linked by their hydric, economic and institutional ties.
This *socio-technic system* can be modified by potential evolutions of the RENP water supply. Resource diversification refers to any changes in the water supply due to proportion changes in existing resources or the introduction of new resources such as rainwater, pool water, mine water or treated wastewater. The objective of this thesis is to analyze the conditions in which diversification of RENP resources can support sustainable resource management in way that is acceptable by all the actors.

To this end, the primary objective is to assess the environmental impact caused by the diversification of resources from the perspective of energy. In order to compare different configurations of resource diversification within the RENP, or *scenarios*, a calculation method was established using a hydraulic model. The first *scenario* was a "Reference", representing the current functioning of the RENP, while other *scenarios* were used in comparison in order to study changes in the proportion of river water and the introduction of mine water and treated wastewater. Calculation results show a difference in energy consumption of up to 13% between the "Reference" *scenario* and the others, particularly for the "Seine" *scenario* which withdraws twice as much from the Seine River than the "Reference" *scenario.*
The secondary objective is to identify the specific conditions which favour the acceptance of different resource diversification scenarios by the actors involved. For this, 20 semi-structured interviews were conducted with relevant actors. Analysis of the interviews reveal that in view of potential negative consequences related to its use, the majority of actors are highly concerned with resource quality, particularly in the case of mine water. Their positions are mainly governed by the perception of uncertainty over the current and future operation of the network, which leads most actors to adopt a *statu quo* position and request complementary studies, such as cost-benefit analyses.

Through its research object and its multidisciplinary approach, this research contributes to a broader reflection on the status of water, in the context of a sustainable water resources management.

Key words : sustainability, non potable water, dual networks, Paris, alternative resource, energy, sociology of organizations

Remerciements

La thèse est réalisée à l'issue d'une collaboration entre l'Université Paris-Est Marne-la-Vallée, l'Ecole des Ponts et Chaussées et Eau de Paris, avec un financement de l'Agence Nationale de la Recherche et de la Technologie. Je remercie ces institutions pour le support matériel qu'elles m'ont fourni.

Je tiens à adresser toute ma reconnaissance à Gilles et Martin pour la confiance qu'ils m'ont accordée pour mener à bien ce beau projet de recherche. Je remercie Gilles pour tous ces échanges enrichissants et stimulants, qui m'ont aidée à garder le cap et à prendre du recul sur le sujet. Je remercie également Martin pour son implication au quotidien, et en particulier pour sa grande disponibilité les derniers mois lors de la finalisation du manuscrit.

Je remercie également sincèrement Dominique et Hortense, pour leur encadrement à Eau de Paris. Je remercie Dominique qui m'a aidée à prendre en main le sujet, grâce à son expérience précieuse. Je remercie Hortense qui a pris le relais de l'encadrement, et qui s'est fortement engagée dans le suivi de la thèse, que ce soit sur le contenu ou sur le respect des échéances.

D'autres personnes ont suivi de près ma thèse, et m'ont aidée à réaliser ce travail ci-présent. José - Frédéric m'a apporté un regard neuf et rafraichissant sur l'analyse des acteurs. J'ai apprécié sa disponibilité, ses conseils toujours pertinents, et sa perpétuelle bonne humeur. Armelle et Laurent ont été des membres de comité de thèse dévoués et fiables. Avec Gérald-James, ils ont assuré un intérim hors pair lors de l'absence d'Hortense au printemps 2016. Marc a été mon interlocuteur clef sur l'ENP à Eau de Paris ; sa grande disponibilité et son efficacité m'ont permis d'aborder sereinement le sujet de l'ENP dans toute sa pluridisciplinarité. Frédéric et Guillaume L. m'ont accompagnée techniquement du début jusqu'à la fin, et ont mis « la main dans le cambouis » pour m'aider à développer la méthode de calcul énergétique pour ce travail. Arnaud est venu fréquemment à ma rescousse sur toutes les questions liées à l'hydraulique et aux procédés de traitement.

La thèse a mobilisé d'autres personnes à Eau de Paris, que ce soit sur l'exploitation du réseau (Jean-Marc et Pascal), les flux financiers (Aldric et Pierre G.), le SIG (Pierre M.) ou les enjeux environnementaux d'Eau de Paris (Florence et Roxane). Sur le plan logistique, je remercie à Eau de Paris, Blandine, Corinne et Florence pour leur réactivité et leur bienveillance au quotidien. Au LEESU, Annick et Catherine m'ont également grandement aidée pour les démarches administratives, toujours avec une grande gentillesse. Je remercie également Frédérique, du service documentation de l'Ecole des Ponts, pour son dévouement et sa réactivité hors-norme lors de mes recherches de documents (très) anciens.

Je remercie l'ensemble des organisations mobilisées pour la collecte des données nécessaires à la réalisation de cette thèse. En particulier, mes remerciements vont aux personnes qui ont été accepté d'être interviewées, et leurs organisations : Eau de Paris, la Ville de Paris, l'Agence de l'Eau Seine-Normandie, l'Atelier Parisien d'Urbanisme, l'EPTB Seine Grands Lacs, la DRIEE, FNE, la RATP, le Muséum d'Histoire Naturelle, le SIAGRO, le SIAAP et Voies Navigables de France.

La thèse a été également nourrie par le travail de plusieurs étudiants, que je souhaite ici remercier. Fleur a été une co-équipière remarquable pendant la conduite d'entretiens, et a fourni un travail de grande qualité sur l'analyse des jeux d'acteurs. Mohamed a rondement bien mené son étude sur les eaux de pluie et les eaux de piscine, avec autonomie et rigueur. Enfin, Beatriz, Manel, et Jeroen ont déblayé le sujet passionnant (et large) de l'injection des eaux d'exhaure dans le réseau.

Mes journées de travail ont été égayées par la bonne humeur et le soutien de mes collègues. A Eau de Paris, je pense principalement à Guillaume L., Angèle, Edouard, Etienne, Muriel, Sylvie et Laavid. Au LEESU, mes remerciements vont à l'ensemble des (anciens) doctorants de Champs : Jérémie, Mohamed, Natalie, Kelsey, Saja, Tala, Yuqie, Siyu, Denis, etc. J'ai vécu une super expérience « coloc' » du bureau P101 avec Neng et Yi, aventure qui souvent se prolongeait dans la traversée du RER A. J'ai également une pensée spéciale pour Damien, avec qui j'ai partagé les derniers mois de rédaction : les « nocturnes » de travail au LEESU, et plus largement ce soutien mutuel m'a permis de terminer ma thèse plus sereinement.

Je remercie chaleureusement les « perles » qui ont pris le temps de relire des bouts (voire des gros bouts) de ma thèse, avec méticulosité et bienveillance : Marc, Armelle, Laurent, Guillaume L., Damien, Fleur, Natalie et Guillaume.

Merci aux personnes qui m'ont accordé des « respirations hors-thèse », notamment sur le plan artistique : Xavier et Leïla pour le théâtre, Isabelle pour l'improvisation, Annie et Vincent pour le piano. Je pense également à Anne, Diane, Laure, Alix et Murielle pour l'amitié qui nous lie et leurs encouragements pendant cette belle aventure. Merci à Christiane pour ses conseils toujours bienveillants et constructifs - avant et pendant la thèse.

Je remercie la famille Dufresne pour toutes leurs attentions, et ces beaux moments passés à Tancrou. Je remercie mes parents et mon frère, qui ont su être disponibles dans les moments de joie et de doute. Enfin, merci à Guillaume pour sa présence et notre complicité au quotidien.

Sommaire

RESUME **2**
ABSTRACT **3**
REMERCIEMENTS **4**
SOMMAIRE **6**
LISTE DES FIGURES **10**
LISTE DES TABLEAUX **14**
LISTE DES ENCADRES **16**
LISTE DES SIGLES **17**
LISTE DES NOTATIONS **21**
1 INTRODUCTION **23**
2 LES DOUBLES RESEAUX POUR UNE GESTION DURABLE DES RESSOURCES EN EAU : CLEFS DE COMPREHENSION. **28**

2.1 LA DURABILITE, UN CONCEPT A PRECISER 28
2.2 LA PARENTHESE URBAINE DE L'EAU 33
2.3 REPENSER LE LIEN ENTRE USAGES ET RESSOURCES 36
2.4 LE DOUBLE RESEAU : UN OBJET ANCIEN, MAIS DES QUESTIONS RECENTES 42
2.4.1 Doubles réseaux d'hier et d'aujourd'hui *42*
2.4.2 De multiples enjeux aujourd'hui soulevés *50*
2.4.2.1 Un intérêt économique fortement dépendant du contexte 51
2.4.2.2 Un impact environnemental complexe à évaluer 53
2.4.2.3 L'interconnexion entre réseaux, un risque à anticiper mais peu constaté 54
2.4.2.4 Une vision multidisciplinaire des doubles réseaux embryonnaire 55
2.5 LE RESEAU D'EAU NON POTABLE COMME SYSTEME SOCIO-TECHNIQUE 57
2.6 CONCLUSIONS 58

3 LE RESEAU D'EAU NON POTABLE, UN SYSTEME SOCIO-TECHNIQUE AUX CONTOURS IMPRECIS ET AUX EVOLUTIONS INCERTAINES **59**

3.1 UN RESEAU QUI S'INSERE DANS LA VILLE ET DANS SON ENVIRONNEMENT 60
3.1.1 Réseau d'eau non potable *61*
3.1.1.1 Historique 61
3.1.1.2 Fonctionnement général du RENP 64
3.1.1.3 Exploitation et suivi technique 69
3.1.1.4 Travaux majeurs prévus 70
3.1.2 Usages en eau non potable de la ville *72*
3.1.2.1 Curage des égouts 74
3.1.2.2 Nettoyage des voiries 77
3.1.2.3 Bois de Boulogne et de Vincennes 84
3.1.2.4 Espaces verts et Bassins dans Paris intra-muros 88
3.1.2.5 Des usages minoritaires 90
3.1.2.6 Volumes non identifiés 91
3.1.2.7 Synthèse des consommations 93
3.1.2.8 Contraintes de qualité vis-à-vis des usages 95

3.1.3 Ressources actuelles du réseau 106
3.1.3.1 La Seine 106
3.1.3.2 La rivière et le canal de l'Ourcq 107
3.1.3.3 Estimation des débits des cours d'eau 112
3.1.3.4 Un enjeu règlementaire porté sur le maintien des débits réservés 113
3.1.4 Interactions hydriques entre le réseau, la ville et le milieu naturel 117
3.1.4.1 Prélèvement en eaux brutes 117
3.1.4.2 Le RENP et ses usages 118
3.1.4.3 Rejet dans les égouts, puis dans le milieu naturel. 121
3.1.4.4 Schéma hydrologique 122
3.2 DES ACTEURS MULTIPLES AUTOUR DU RESEAU 124
3.2.1 Concepts théoriques mobilisés 124
3.2.2 Acteurs du service de l'eau non potable 126
3.2.3 Autres acteurs associés au schéma hydrologique du réseau d'eau non potable 131
3.2.4 Typologie des acteurs intervenant dans le processus de décision et cartographie de leurs relations 135
3.2.5 Flux financiers, un enjeu important dans les relations entre acteurs 140
3.2.5.1 Redevances et taxes pour le prélèvement dans la ressource et le rejet en assainissement 140
3.2.5.2 Vente de l'eau brute du canal de l'Ourcq 142
3.2.5.3 Tarification ENP 142
3.2.5.4 Cartographie des flux économiques liés à l'ENP 145
3.3 VERS UNE DIVERSIFICATION DES RESSOURCES ? 148
3.3.1 Eaux de piscine 148
3.3.1.1 Cadre réglementaire 150
3.3.1.2 Volumes disponibles à Paris 151
3.3.1.3 Qualité 153
3.3.1.4 Cas de réutilisation et retours d'expérience 155
3.3.2 Eaux de pluie 156
3.3.2.1 Cadre règlementaire 156
3.3.2.2 Volumes 157
3.3.2.3 Qualité 159
3.3.2.4 Cas de réutilisation et retours d'expérience 160
3.3.3 Eaux d'exhaure 162
3.3.3.1 Cadre règlementaire 162
3.3.3.2 Volumes disponibles 163
3.3.3.3 Qualité 166
3.3.3.4 Cas de réutilisation 171
3.3.4 Eaux usées traitées 174
3.3.4.1 Cadre règlementaire 174
3.3.4.2 Volumes 175
3.3.4.3 Qualité 177
3.3.4.4 Cas de réutilisation 178
3.3.5 Des eaux de piscine aux eaux usées traitées : synthèse 179
3.4 CONCLUSIONS 180

4 IMPACT ENERGETIQUE DE LA DIVERSIFICATION DES RESSOURCES DU RENP 182

4.1 L'ENERGIE PARMI D'AUTRES INDICATEURS ENVIRONNEMENTAUX 182
4.2 DEMARCHE DE CONSTRUCTION ET D'EVALUATION DES *SCENARII* 184
4.3 *SCENARIO* « REFERENCE » : DESCRIPTION D'UN FONCTIONNEMENT NORMAL ... 191
4.3.1 Etude de l'année 2013 191
4.3.1.1 Volumes pompés vers les sous-réseaux du RENP 191
4.3.1.2 Volumes pompés à Trilbardou 193
4.3.1.3 Modèle hydraulique et consommations énergétiques 194
4.3.2 Le scenario « Référence » en somme 199
4.3.2.1 Choix des volumes 199
4.3.2.2 Modèle hydraulique et consommations énergétiques 200
4.3.2.3 Incertitudes 203
4.4 *SCENARIO* «EXHAURE» 206
4.4.1 Estimations du débit instantané Q_i 207
4.4.2 Détermination du point d'injection 209
4.4.3 Consommations énergétiques 211
4.4.3.1 Rejet en égout 212
4.4.3.2 Injection dans le RENP 216
4.4.3.3 Impact sur le RENP 221
4.5 *SCENARIO* « OURCQ » 223
4.5.1 Choix du modèle hydraulique 223
4.5.2 Consommations énergétiques 225
4.6 *SCENARIO* « SEINE » 227
4.6.1 Choix du modèle hydraulique 227
4.6.2 Consommations énergétiques 228
4.7 *SCENARIO* «EAUX USEES TRAITEES» 230
4.7.1 Choix d'injection possibles 230
4.7.2 Choix du modèle hydraulique 244
4.7.3 Consommations énergétiques 245
4.8 COMPARAISON DES *SCENARII* 247
4.9 CONCLUSIONS 250

5 DES ACTEURS PARTAGES FACE A LA DIVERSIFICATION DES RESSOURCES 252

5.1 DEUX EXEMPLES REVELATEURS D'UN JEU D'ACTEUR COMPLEXE 252
5.1.1 La remise en question de l'apport de l'Ourcq pour le Canal 253
5.1.2 Les eaux d'exhaure de deux parkings parisiens jugées impropres au(x) réseau(x) et à l'arrosage 256
5.1.2.1 L'injection dans le RENP perçue comme une opportunité 257
5.1.2.2 Des interrogations fortes sur la qualité des eaux d'exhaure 260
5.1.2.3 Des gains économiques discutables et des changements organisationnels à anticiper 266

5.2 POSITIONS DES ACTEURS PAR RAPPORT A LA DIVERSIFICATION DES RESSOURCES DU RENP 268
5.2.1 Perception de la gestion actuelle du RENP 276
5.2.1.1 Un RENP essentiel pour les usagers, dont l'état est discuté..... 276
5.2.1.2 Des divergences sur l'adéquation de l'ENP aux usages en termes de débit et de pression 280
5.2.1.3 La qualité de l'ENP plus questionnée pour les usages futurs que les usages actuels 283
5.2.1.4 Un consensus sur la nécessité de préserver la ressource en eau 286
5.2.1.5 Un besoin d'information exprimé par les acteurs vis-à-vis d'Eau de Paris 288
5.2.1.6 L'importance du lien entre l'acteur et le RENP dans sa perception des potentialités du réseau 290
5.2.2 Perception de la diversification des ressources du RENP 293
5.2.2.1 Des acteurs majoritairement favorables ou en demande d'études complémentaires 293
5.2.2.2 Des interrogations ciblées sur la qualité..... 296
5.2.2.3 Les facteurs les plus importants : l'impact environnemental, la règlementation et les contraintes d'usages 303
5.2.3 Des freins et des leviers à la diversification des ressources du RENP à l'échelle du système d'acteurs.....306
5.2.3.1 L'information, le nerf de la guerre..... 306
5.2.3.2 Une perception aiguë des incertitudes 309
5.2.3.3 Une croyance absolue en l'expertise..... 312
5.2.3.4 Des positions à nuancer par rapport au parcours des personnes et à leurs engagements personnels 314
5.2.4 Un retour sur nos hypothèses formulées.....316
5.3 CONCLUSIONS 319

6 CONCLUSIONS 320

6.1 UN NOUVEAU REGARD SUR NOS HYPOTHESES 322
6.2 DE NOUVELLES PISTES A EXPLORER 326

BIBLIOGRAPHIE 328
ANNEXES 341

ANNEXE 1 : DOUBLES RESEAUX ETUDIES SOUS LE PRISME DE LA DURABILITE..... 341
ANNEXE 2 : SITES D'EAUX D'EXHAURE CARTOGRAPHIES..... 342
ANNEXE 3 : CONCENTRATIONS EN SULFATES DES EAUX D'EXHAURE A PARIS 345
ANNEXE 4 : PRINCIPES DE BASE SUR LE FONCTIONNEMENT D'UNE POMPE 346
ANNEXE 5 : CONSOMMATIONS ENERGETIQUES POUR L'ANNEE 2013 347
ANNEXE 6 : MODELISATION DE L'INJECTION DES EAUX D'EXHAURE DU PARKING MEYERBEER DANS LE RENP 348
ANNEXE 7 : EXEMPLE DE GUIDE D'ENTRETIEN 351

Liste des Figures

Figure 1 : Représentations possibles du développement durable. Modifié d'après Atkinson et al. (2013) 29
Figure 2 : Cycle de l'eau. Modifié d'après Bourrier et al. (2010, 24) 33
Figure 3 : Parenthèse urbaine de l'eau (ONEMA 2016) 34
Figure 4 : Répartition des usages domestiques en France. Modifié d'après CIE eau (2017) 37
Figure 5 : Répartition d'une partie de la consommation en eau potable de la collectivité de Montreuil-sous-Bois en 2004 (VDM 2004) 38
Figure 6 : Répartition des consommations urbaines en eau en Suisse, en Île-de-de-France et en Chine. Modifié d'après Bognon (2009), SVGW (2017) et Tao et al. (2014) 39
Figure 7 : Des usages avec des exigences de qualité variable dans une ville. Modifié d'après Bognon (2009) 40
Figure 8 : Deux types de doubles systèmes d'alimentation en eau. Modifié d'après WRF (2013) 43
Figure 9 : Réseau d'eau non potable à Madrid, ses ressources et ses usages (APUR 2013c, 77) 47
Figure 10 : Singapour, une île située à proximité d'un de ses fournisseurs d'eau la Malaisie (MAEDI 2017) 48
Figure 11 : Le double système d'alimentation en eau à Singapour 49
Figure 12 : Territoire géographique associé au RENP, à ses usages, et à ses ressources 60
Figure 13 : Sous-réseaux, usines et réservoirs du RENP 64
Figure 14 : Variations mensuelles de la mise en distribution d'ENP pour les années 2013, 2014 et 2015 67
Figure 15 : Relation entre hauteurs piézométrique des sous-réseaux et leurs volumes mis en distribution 69
Figure 16 : Travaux importants envisagés sur le RENP dans le cadre du schéma directeur. Modifié d'après VDP (2015b, 23) 70
Figure 17 : Réservoir de chasse : (a) illustration (VDP 2016a), et (b) schéma d'alimentation du RC par le RENP 74
Figure 18 : Evolution des volumes d'ENP mis en distribution entre la période 2009 – 2011 et 2013 . 76
Figure 19 : Appareils hydrauliques pour le nettoyage des voiries. (a) Bouche de lavage et (b) bouche de remplissage de tonne 78
Figure 20 : Consommation d'ENP pour le nettoyage des voiries estimée par SAGEP (2004) 79
Figure 21 : Consommation d'ENP pour le nettoyage des voiries estimée par SAFEGE (2008). Estimations basées sur les courbes de consommations en ENP le 19 janvier (jour sans gel) et le 27 janvier 2006 (jour avec gel) 80
Figure 22 : Mise en distribution d'ENP en période de gel et de hors gel en 2013.Estimation basée sur les journées du vendredi 20 décembre (jour sans gel) et du vendredi 13 décembre 2013 (jour avec gel) 81
Figure 23 : Réseaux hydrographiques des Bois : (a) Bois de Boulogne, (b) Bois de Vincennes (APUR 2017) 85
Figure 24 : Volumes mensuels moyens d'ENP en entrée des Bois de Boulogne et de Vincennes en 2013 (EDP 2014b) 87
Figure 25: Diagramme servant à interpréter la qualité d'une eau d'irrigation, adapté de Wilcox (1948) 97
Figure 26 : Réseau hydrographique du bassin versant de la Seine (GIP Seine-Aval 2013) 106
Figure 27: Synoptique du fonctionnement du canal de l'Ourcq (VDP 2014) 107
Figure 28 : Rivière Ourcq naturelle 109
Figure 29 : Fonctionnement du Clignon. Modifié d'après Hydratec (2014) 110
Figure 30 : Répartition des apports hydrologiques de l'Ourcq pour l'année 2013. (Hydratec 2014) .. 111

Figure 31 : Variations mensuelles du pompage en Marne à Trilbardou en 2013 111
Figure 32 : Variations annuelles des débits des cours d'eau sollicités pour le RENP. Volumes moyens mensuels en m^3/s calculé sur la période de stockage des données. Source : banque Hydro... 113
Figure 33 : Représentation des flux hydriques du système du réseau d'eau non potable en 2013. Flux indiqués en 10^3 m^3/j. 122
Figure 34 : Organisation des services de la VDP en lien avec EDP sur l'ENP..... 131
Figure 35 : Cartographie des relations entre les acteurs de l'ENP. Modifié d'après Mattio (2016) 138
Figure 36 : Composantes du prix de l'eau par m^3 d'eau potable et d'eau non potable en 2013 144
Figure 37 : Représentation des flux financiers liés à l'ENP en 2013. Prix indiqués en K€HT 145
Figure 38 : Fonctionnement d'une piscine. Amdjar (2016) basé sur ARS Bretagne (2014)..... 149
Figure 39 : Précipitations mensuelles de la station Météo France Paris Montsouris sur les années 2013, 2014 et 2015 158
Figure 40 : Schéma type des infrastructures de pompage des eaux d'exhaure vers les égouts. 163
Figure 41 : Distribution spatiale des eaux d'exhaure de Paris 164
Figure 42 : Volumes annuels des rejets d'eaux d'exhaure à Paris, moyenne sur les années 2013, 2014 et 2015. Sites classés par ordre de volume annuel décroissant 165
Figure 43 : Carte géologique simplifiée de Paris (G. Mesnier, B. Cabanis) d'après carte géologique de Paris au 1/50000° (BRGM) 166
Figure 44 : Distribution spatiale de la conductivité des eaux d'exhaure sur Paris. Prélèvements et analyses réalisés en 2016 par le LEESU et EDP 168
Figure 45 : Variations interannuelles de la qualité des eaux d'exhaure à Paris. Comparaison entre les analyses de 2002 (sur 29 sites RATP) et de 2016 (sur 19 sites) 169
Figure 46 : Aptitude des eaux d'exhaure à l'arrosage. Position des analyses de 2016 (19) dans le diagramme de Wilcox (Seidl et al. 2016) 170
Figure 47 : Trois sites qui réutilisent les eaux d'exhaure à Paris : (a) Bibliothèque Nationale de France, (b) Quai Branly, et (c) Pont de Flandres 173
Figure 48 : Réseau de collecte et ouvrages du SIAAP (SIAAP 2014b, 8)..... 176
Figure 49: Liaison du modèle hydraulique avec ses hauteurs de pompage associées..... 187
Figure 50 : Volumes pompés par les installations d'ENP vers les sous-réseaux pour l'année 2013 . 192
Figure 51 : Modèle hydraulique construit pour l'année 2013. Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j 194
Figure 52 : Comparaison des consommations énergétiques issues de l'approche hydraulique avec celles issues des factures EDF pour l'année 2013..... 198
Figure 53 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Référence». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j 200
Figure 54 : H_{MT} des liaisons du modèle hydraulique pour le *scenario* « Référence ». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou..... 201
Figure 55 : Répartition des pertes de charges (en m) sur les liaisons reliant La Villette et Auteuil à Passy pour le *scenario* «Référence»..... 202
Figure 56 : Injection des eaux d'exhaure dans les égouts ou dans le réseau d'eau non potable 206
Figure 57 : Schéma de principe sur l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP 209
Figure 58 : Consommations énergétiques des eaux d'exhaure en situation actuelle et future 211
Figure 59 : Estimation de la H_{MT} de pompage en égout du site X1 à partir de la courbe de la pompe P1 et des débits instantanés estimés à partir des relevés de compteurs..... 215
Figure 60 : Energie nécessaire au pompage des d'eaux d'exhaure vers les égouts sur cinq sites (kWh/m^3) 216
Figure 61 : Position des capteurs de pression du RENP pour les sites d'eaux d'exhaure 217
Figure 62 : Consommations énergétiques de pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure des égouts vers le RENP (kWh/m^3) 220
Figure 63 : Consommations énergétiques journalières de pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure vers le RENP (kWh/m^3) 221
Figure 64 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Ourcq». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j 224

Figure 65 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Ourcq». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou 225
Figure 66 : Répartition des H_{pdc} sur la liaison La Villette-> Passy pour le *scenario* «Ourcq» 226
Figure 67 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Seine » 227
Figure 68 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Seine». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou 229
Figure 69 : Hauteur minimale des réseaux assainissements pour la pose d'une conduite eaux usées traitées 231
Figure 70 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées de Marne Aval. D'après BDTOPO (2013) 234
Figure 71 : Consommation énergétique de pompage d'un m^3 d'eaux usées traitées de Marne Aval vers le RENP selon deux tracés (kWh/m^3) 235
Figure 72 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées issues de Seine Centre. D'après BDTOPO (2013) 236
Figure 73 : Consommation énergétique de pompage d'un m^3 d'eaux usées traitées de Seine Centre vers le RENP (kWh/m^3) 237
Figure 74 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées de Seine Amont. D'après BDTOPO (2013) 238
Figure 75 : Consommation énergétique de pompage d'un m^3 d'eaux usées traitées de Seine Amont vers le RENP selon quatre tracés (kWh/m^3). SA : Seine Amont, AZ : Austerlitz 239
Figure 76 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées issues de Seine Morée. D'après BDTOPO (2013) 240
Figure 77 : Consommation énergétique de pompage d'un m^3 d'eaux usées traitées de Seine Morée vers le RENP selon deux tracés (kWh/m^3) 241
Figure 78 : Consommation énergétique de pompage d'un m^3 d'eaux usées traitées des quatre STEP vers le RENP (kWh/m^3). Intégration des incertitudes associées à la hauteur géométrique et aux pertes de charges 243
Figure 79 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* « Eaux usées traitées ». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j 244
Figure 80 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Eaux usées traitées». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB : Trilbardou, SC : Seine Centre 245
Figure 81 : (a) Répartition des ressources du RENP (10^3 m^3/j) et (b) consommations énergétiques (10^3 kWh/jour) selon les *scenarii* 247
Figure 82 : De nombreux acteurs mobilisés autour de la rivière Ourcq et de sa prise en eau pour le Canal à Mareuil sur Ourcq 255
Figure 83: Flux financiers liés à l'injection des eaux d'exhaure dans les égouts ou dans le RENP ... 259
Figure 84 : Répartition de la conductivité et de la concentration en sulfate dans le RENP après injection des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dans le RENP (Wazzani 2015) 264
Figure 85 : Positionnement des acteurs sur l'axe de perception 275
Figure 86 : Axes de perception des acteurs du RENP 279
Figure 87 : Axe de perception du débit et de la pression de l'ENP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP 282
Figure 88 : Axe de perception de la qualité de l'ENP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP 286
Figure 89 : Axe de perception de la ressource en eau. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP 288
Figure 90 : Axe de perception du besoin d'information vis-à-vis d'EDP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP 290
Figure 91: Axe de proximité des acteurs au RENP. Mise en comparaison avec l'axe de perception des potentialités du RENP 292
Figure 92 : Axe de perception de la diversification des ressources. Mise en comparaison avec l'axe de perception des potentialités du RENP 295
Figure 93 : Position des acteurs sur l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP 299

Figure 94 : Position des acteurs sur l'introduction des eaux usées traitées dans le RENP 302
Figure 95 : Désignation des facteurs les plus importants pour les acteurs. Indication par ordre décroissant..... 304
Figure 96 : Rééquilibrer les relations entre EDP et VDP par les échanges d'information 308
Figure 97 : Conductivité des eaux d'exhaure sur Paris. Prélèvement et analyses réalisés en 2016 par le LEESU et EDP 345
Figure 98 : Schéma de principe d'une pompe..... 346
Figure 99 : Position des débitmètres utilisés pour évaluer les volumes mis en distribution dans le Bas Ourcq 349
Figure 100 : Consommations d'ENP du Bas Ourcq estimés et réajustés par rapport aux débits mis en distribution dans le Bas Ourcq (Wazzani 2015) 350

Liste des Tableaux

Tableau 1 : Définition de la durabilité par Harding (2006)..... 31
Tableau 2 : Exemples de réseaux d'eau non potables existants 44
Tableau 3 : L'importance du contexte dans l'évaluation de l'intérêt économique d'un double réseau par rapport à un réseau unique en eau potable..... 53
Tableau 4 : Enjeux soulevés par les systèmes doubles d'alimentation en eau 56
Tableau 5 : Etudes réalisées sur le RENP 63
Tableau 6 : Ressources, installations de pompage du RENP et sous-réseaux associés..... 66
Tableau 7 : Composantes de la mise en distribution d'ENP pour l'année 2013 67
Tableau 8 : Description des sous-réseaux en 2013 68
Tableau 9 : Synthèse des consommations d'ENP pour le curage des égouts (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004) 76
Tableau 10 : Consommations des RC et des incertitudes estimées pour 2013 77
Tableau 11: Synthèse des consommations d'ENP estimées pour le nettoyage des voiries (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004)..... 78
Tableau 12 : Mesures de débit réalisées sur les bouches de lavages sur Paris en 2014 et 2015. Nombre de mesures réalisées et débits mesurés (L/min)..... 83
Tableau 13 : Consommations d'ENP estimées pour le nettoyage des voiries en 2013 84
Tableau 14 : Synthèse des consommations d'ENP estimées pour les Bois de Vincennes et de Boulogne (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004) 86
Tableau 15 : Consommations d'ENP estimées pour les espaces verts et les Bois en 2013 87
Tableau 16 : Synthèse des consommations d'ENP pour l'arrosage des espaces verts et l'alimentation des bassins dans Paris intramuros (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004) 88
Tableau 17 : Consommations en ENP estimées pour l'arrosage des espaces verts et l'alimentation des bassins dans Paris intra-muros 89
Tableau 18 : Synthèse des rendements du RENP estimés (SAFEGE 2008)..... 91
Tableau 19 : Consommations d'ENP et des volumes non identifiés estimés pour l'année 2013..... 93
Tableau 20 : Qualité de l'eau recommandée pour l'arrosage de terrains de golf au Portugal et en Espagne. Salgot et al. (2012) 98
Tableau 21 : Rendement en fonction de la conductivité d'espèces variées. Modifié d'après Faby et al. (1998), basé sur Maas et al.(1977) et (Maas (1984) 99
Tableau 22 : Limites pour le niveau de qualité sanitaire A de l'arrêté du 2014 du 25 juin 2014 règlementant l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts 100
Tableau 23 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau (JORF 2015, 51)..... 101
Tableau 24 : Comparaison des seuils de qualité de l'ENP pour les usages urbains existants 103
Tableau 25 : Usages actuels du canal de l'Ourcq..... 108
Tableau 26 : Alimentation du Canal de l'Ourcq par les affluents (Hydratec 2014) 109
Tableau 27 : Stations hydrométriques de la banque Hydro des cours d'eau sollicités pour le RENP 112
Tableau 28 : Impact de la restitution des débits réservés sur le Clignon, la Thérouanne et du 10ième du module à la rivière Ourcq sur le fonctionnement du canal de l'Ourcq. Comparaison entre deux configurations étudiées par Hydratec (2014)..... 116
Tableau 29: Pertes initiales et volumes rejetés en égout après l'usage de l'ENP pour le nettoyage des voiries. Estimations pour l'année 2013 118
Tableau 30 : Pertes associées aux Bois et volumes rejetés en égouts. Estimations pour l'année 2013 120
Tableau 31 : Rejets en égouts estimés de l'ENP après mise en distribution dans le RENP 121

Tableau 32 : Différents types d'acteurs identifiés dans le processus de décision. Hubert (2001) basé sur Jacquet-Lagrèze (1981), Sfez (1988) et Roy (1985) 125
Tableau 33 : Récapitulatif des missions confiées à Eau de Paris dans le cadre des contrats d'objectifs (VDP 2015a, 2012a) 127
Tableau 34 : Missions des différentes directions d'Eau de Paris par rapport à l'ENP 129
Tableau 35 : Gestionnaires des affluents du canal de l'Ourcq..... 132
Tableau 36 : Acteurs identifiés dans le processus de décision liés à l'alimentation du RENP..... 136
Tableau 37 : Principaux textes règlementaires relatifs à la qualité des eaux de piscine et à ses rejets en réseaux d'assainissement..... 151
Tableau 38 : Volumes disponibles des piscines municipales parisiennes estimés pour le RENP 152
Tableau 39 : Exemples des cas de réutilisation des eaux de piscine dans le Val de Marne. Modifié d'après Amdjar (2016) 155
Tableau 40 : Volumes disponibles des eaux de pluie estimés pour le RENP 159
Tableau 41 : Retours d'expérience de réutilisation des eaux de pluie dans Paris. Modifié d'après Amdjar (2016)..... 161
Tableau 42 : La qualité de Meyerbeer et celle du RENP alimenté par la Villette 171
Tableau 43 : Stations d'épurations considérées pour l'injection des eaux usées traitées dans le RENP 176
Tableau 44 : La qualité des effluents de STEP du SIAAP par rapport à l'arrêté du 2014 du 25 juin 2014 règlementant l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (seuil A) 177
Tableau 45 : Enjeux liés à l'injection des eaux de piscine, des eaux de pluie, des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées dans le RENP 179
Tableau 46 : *Scenarii* établis pour l'analyse énergétique..... 185
Tableau 47 : Composantes des consommations d'électricité des usines La Villette, Austerlitz et Auteuil (Inddigo 2015a, 2015b, 2015c)..... 189
Tableau 48 : Estimation du volume pompé à Trilbardou destiné au RENP pour l'année 2013..... 193
Tableau 49 : Comparaison des consommations énergétiques issues de l'approche hydraulique avec les consommations énergétiques issues des factures EDF pour l'année 2013 197
Tableau 50 : Mise en distribution d'ENP par sous-réseaux de juin à septembre 199
Tableau 51 : Estimation du débit pompé à Trilbardou destiné au RENP pour le *scenario* «Référence» 200
Tableau 52 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Référence». 203
Tableau 53 : Incertitudes associées aux volumes journaliers prélevés en eaux de rivières pour le *scenario* « Référence »..... 204
Tableau 54 : Incertitudes liées aux hauteurs et aux débits de pompage dans l'estimation des consommations énergétiques journalières 205
Tableau 55 : Rejets d'eaux d'exhaure dans Paris et points retenus pour le *scenario* « exhaure ». Volumes annuels estimés à partir des rejets déclarés à la VDP des années 2012, 2013 et 2014 207
Tableau 56 : Comparaison des débits instantanés (m^3/s) des eaux d'exhaure issus des relevés de compteurs et des débits moyens issus des volumes annuels déclarés à la VDP..... 209
Tableau 57 : Identification des canalisations d'ENP réceptrices pour les cinq sites d'eaux d'exhaure 211
Tableau 58 : Coefficients de rugosité K retenus pour les H_{pdc} singulières du branchement de raccordement des eaux d'exhaure au RENP (PONT-A-MOUSSON S.A. 1989) 213
Tableau 59 : Hauteurs de pompage estimées pour les pompes P1 et P2 de X1 214
Tableau 60 : Estimation de la pression du RENP pour l'injection des sites d'eaux d'exhaure 218
Tableau 61 : Impact de l'introduction sur les Q_j des liaisons du modèle du *scenario* « Référence ». 222
Tableau 62 : Consommations énergétiques du scenario « Exhaure » 222
Tableau 63 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Ourcq»..... 225

Tableau 64 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Ourcq » 226
Tableau 65 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Seine» 228
Tableau 66 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Seine» 229
Tableau 67 : Matériau des conduites d'eaux usées traitées en fonction des conditions de pose (Amiantit 2015; Lencastre 1995; Weber 1998) 233
Tableau 68 : Remarques du CD 94 sur les tracés identifiés pour Marne Aval 235
Tableau 69 : Remarques du SIAAP et de la VDP sur les tracés identifiés pour Seine Centre..... 236
Tableau 70 : Remarques du SIAAP et du CD94 sur les tracés identifiés pour Seine Amont 238
Tableau 71 : Remarques du CD 93 sur les réseaux identifiés pour Seine Morée 240
Tableau 72 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Eaux usées traitées» 245
Tableau 73 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Eaux usées traitées»..... 246
Tableau 74 : Consommations énergétiques de pompage d'un m^3 (kWh/m^3) des ressources du RENP selon les *scenarii* 248
Tableau 75 : Ecarts entre les redevances assainissement associées au rejet estimé et comptabilisé des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer en égout. Chiffres basés sur le taux des redevances en 2013 258
Tableau 76 : Comparaison de la qualité des eaux d'exhaure de Meyerbeer avec les seuils de qualité d'EDP en 2013 et 2015..... 261
Tableau 77 : Coûts de traitement par nanofiltration d'un m^3 d'eaux d'exhaure du parking Meyerbeer estimés pour respecter les seuils de qualité d'Eau de Paris 263
Tableau 78 : Etude hydraulique de la dilution des eaux d'exhaure du parking Pyramides dans le réseau Bas Ourcq (EDP 2016b) 265
Tableau 79 : Acteurs identifiés pour l'analyse des positions..... 269
Tableau 80 : Facteurs présentés aux acteurs pendant l'entretien 272
Tableau 81 : Synthèse des dimensions de la durabilité pour les systèmes d'approvisionnement en eau urbains. Canneva (2009) 341
Tableau 82 : Calculs intermédiaires pour estimer les consommations énergétiques du RENP pour l'année 2013 347
Tableau 83 : Volumes consommés par chaque type d'équipement 350

Liste des Encadrés

Encadré 1 : Définition de l'eau destinée à la consommation humaine. Extrait de l'article R1321-1 du code de la santé publique (Legifrance 2007b). 37
Encadré 2 : Délibération du conseil de Paris le 19 et 20 mars 2012 sur le maintien du réseau d'eau non potable. Extrait (VDP 2012b) 62
Encadré 3 : Notions sur les incertitudes et approches choisies..... 73
Encadré 4 : Article L214-18 du Code de l'environnement..... 114
Encadré 5 : Limites posées par l'article D1332-2 du Code de la Santé publique sur la qualité des eaux de bassin des piscines..... 154
Encadré 6 : Risque d'entartrage et de corrosion dans les réseaux. 167

Liste des sigles

Sigle	Définition
AESN	Agence de l'eau Seine-Normandie
APUR	Atelier Parisien d'Urbanisme
BA	Bouches d'arrosage
BL	Bouches de Lavage
BNF	Bibliothèque Nationale de France
BPPO	Bureau des Participations et du Pilotage des Opérateurs (Ville de Paris)
BRT	Bouches de remplissage de tonne à eau
CAM	Communauté Autonome de Madrid
CD	Conseil Départemental
CCC	Centre de Contrôle et de Commande (Eau de Paris)
CEP	Compagnie des Eaux de Paris Véolia Eau
CGCT	Code Général des Collectivités Territoriales
CPCU	Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain
CRECEP	Centre de recherche, d'expertise et de contrôle des eaux (Ville de Paris)
DCE	Directive Cadre Eau
DBO_5	Demande Biochimique en Oxygène
DCO	Demande Chimique en Oxygène
DDT	Direction Départementale des Territoires
DEVE	Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (Ville de Paris)
DFA	Direction des Finances et des Achats (Ville de Paris)
DIP	Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine (Eau de Paris)

DJS	Direction de la Jeunesse et des Sports (Ville de Paris)
DPE	Direction de la Propreté et de l'Eau de la Ville de Paris (Ville de Paris)
DRDQE	Direction de la Recherche & Développement & Qualité de l'Eau (Eau de Paris)
DRIEE	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie
DVD	Direction de la Voirie et des Déplacements (Ville de Paris)
EDP	Eau de Paris
EDP:DD	Eau de Paris/Direction de la Distribution
EDP:DIP	Eau de Paris/Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine/Pôle Eau non potable et bois
EDP:DIRED	Eau de Paris/Direction des Relations Extérieures et du Développement
EDP:DIREP	Eau de Paris/Direction de la Ressource en Eau et de la Production
EDP:DRDQE	Eau de Paris/Direction Recherche, Développement de la Qualité et de l'Eau
EDP:DRHF	Eau de Paris/Direction des Ressources Humaines et des Finances/Service aide au pilotage & contrôle de gestion
EFPE	Eaux et Force Parisienne des Eaux Suez Environnement
ENP	Eau non Potable
ENPC	Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
EPIC	Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial
EPTB	Etablissement Public Territorial de Bassin Seine Grands Lacs
EP	Eau Potable
FNE	France Nature Environnement
IUCN	*International Union for Conservation of Nature*
LEESU	Laboratoire Eau Environnement et Systèmes Urbains
LEMA	Loi sur l'eau et les milieux aquatiques
MES	Matières en suspension
Muséum	Muséum d'Histoire Naturelle

ONU	Organisation des Nations Unies
OPUR	Observatoire des Polluants Urbains
pH	Potentiel Hydrogène
PRPDE	Personne Responsable de la Production ou de la Distribution d'Eau
PTAP	Plan Territorial d'Actions Prioritaires
RATP	Régie Autonome des Transports Parisiens
RC	Réservoir de Chasse
REP	Réseau d'Eau Potable
RENP	Réseau d'eau non potable
SAEMES	Société Anonyme d'Economie Mixte d'Exploitation du Stationnement de la Ville de Paris
SAGEP	Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris
SAP	Section de l'assainissement de Paris (Ville de Paris)
SAR	*Sodium Adsorption Ratio*
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDB	Sous-direction du Budget (Ville de Paris)
SEJ	Service Exploitation Jardin de la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (Ville de Paris)
SIAAP	Syndicat interdépartemental de l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne
SIG	Système d'Information Géographique
STEP	Station d'épuration
STPP	Service Technique de la Propreté de Paris (Ville de Paris)
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
VDP	Ville de Paris
VDP:DEVE - BB	Ville de Paris/Direction des Espaces Verts et de l'Environnement/Service Arbre et Bois
VDP:DEVE-EV	Ville de Paris/Direction des Espaces Verts et de l'Environnement/Service Exploitation des Jardins-Mission Technique

VDP:Canaux	Ville de Paris/Direction de la Voierie et des Déplacements/Service des canaux
VDP:SAP	Ville de Paris/Direction de la Propreté et de l'Eau/Service Technique de la Propreté de Paris /Section de l'Assainissement de Paris/Division coordination de l'exploitation et guichet unique
VDP:SPE	Ville de Paris/Direction de la Propreté et de l'Eau/Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement/Section Politique des eaux
VDP:STPP	Direction de la Propreté et de l'Eau/Service Technique de la Propreté de Paris/mission propreté
VNF	Voies navigables de France
WRF	*Water Research Foundation*

Liste des notations

Notation	Unité	Signification
DN	mm	Diamètre nominal
E_j	kWh/j	Consommation énergétique journalière de pompage
$E_{j,exh \rightarrow égouts}$	kWh/j	Energie nécessaire au rejet des eaux d'exhaure en égout
$E_{j,exh \rightarrow RENP}$	kWh/j	Energie nécessaire au rejet des eaux d'exhaure vers le RENP
$E_{j,égout \rightarrow RENP}$	kWh/j	Energie nécessaire au rejet des eaux d'exhaure des égouts vers le RENP
$E_{j,TB \rightarrow Can}$	kWh/j	Energie nécessaire au pompage à Trilbardou en Marne
$E_{j,TB \rightarrow can,ENP}$	kWh/j	Energie nécessaire au pompage à Trilbardou en Marne pour le RENP
$E_{j,TB \rightarrow Can}$	kWh/j	Energie nécessaire au pompage à Trilbardou en Marne
E_m	kWh/m^3	Energie nécessaire au pompage d'un m^3
$E_{m,exh \rightarrow égouts}$	kWh/m^3	Energie nécessaire au pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure vers les égouts
$E_{m,égouts \rightarrow RENP}$	kWh/m^3	Energie nécessaire au pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure des égouts vers le RENP
g	m/s^2	Accélération de la pesanteur
$H_{géo}$	m	Hauteur géométrique
$H_{géo,égout \rightarrow RENP}$	m	Surélévation du RENP par rapport au radier des égouts
H_{MT}	m	Hauteur manométrique totale
$H_{MT,égouts \rightarrow RENP}$	m	Hauteur de pompage des eaux d'exhaure depuis les égouts vers le RENP
H_{pdc}	m	Hauteur associée aux pertes de charges
$H_{pdc,lin}$	m	Hauteur associée aux pertes de charges linéaire
$H_{pdc,sing}$	m	Hauteur associée aux pertes de charges singulières
H_{pres}	m	Pression du réseau d'eau non potable (mce)
J	mm/m	Pertes de charges linéaires
K	mm	Coefficient de rugosité absolue
K	-	coefficient sans dimension dépendant de la nature du point singulier (calcul des pertes de charges singulières)
a		Paramètre de la formule de Lechapt et Calmon dépendant du coefficient de rugosité K

Notion	Unité	Signification
Lin	m	Linéaire
M	-	Paramètre de la formule de Lechapt et Calmon dépendant du coefficient de rugosité K
Mce	m	Mètre colonne d'eau
N	-	Paramètre de la formule de Lechapt et Calmon dépendant du coefficient de rugosité K
N_{BL}	-	Nombre de BL par jour ouvertes par jour
Q_{BL}	m^3/s	Consommation journalière d'ENP pour l'ouverture des BL m_3/j
Q_{can}	m^3/j	Volume journalier moyen transitant sur le Canal de l'Ourcq
Q_{dist}	m^3/j	Volumes journaliers mis en distribution
Q_i	m^3/s	Débit instantané de rejet estimé à partir des relevés de compteurs d'un site d'eaux d'exhaure
Q_j	m^3/j	Volume journalier
$Q_{LV \to RENP}$	m^3/j	Volume journalier prélevé au Bassin de La Villette pour le RENP
Q_{RC}	m^3/j	Consommations d'ENP journalières estimées pour le curage des égouts
$Q_{j,TB \to Can}$	m^3/j	Volume journalier moyen pompé à Trilbardou en Marne en période de pompage
$Q_{j,TB \to Can,ENP}$	m^3/j	Volume journalier moyen pompé à Trilbardou en Marne destiné au RENP
Q_{ouv}	m^3/s	Débit lors de l'ouverture des BL
Q_{usages}	m^3/j	Consommations journalières d'ENP estimées pour les usages
Q_{vni}	m^3/j	Volumes journaliers d'ENP non identifiés dans le RENP
T_{ouv}	s	Durée d'ouverture d'une BL
t_{enc}	%	Taux d'encrassement de la conduite
v	m/s	Vitesse
V_{can}	m^3/an	Volume annuel de l'eau transitant sur le canal de l'Ourcq
$V_{LV \to RENP}$	m^3/an	Volume annuel produit à La Villette pour le RENP
$V_{TB \to can}$	m^3/an	Volume annuel pompé en Marne pour tous les usages du canal
$V_{TB \to Can,ENP}$	m^3/an	Volume annuel pompé en Marne destiné à l'ENP
z	m	Position d'une particule d'eau par rapport à un plan de référence
ρ	kg/m^3	Masse volumique de l'eau

1 Introduction

Un passant dans Paris ne réalise pas forcément la multiplicité des usages de l'eau pour la ville, tels que le nettoyage des trottoirs ou l'arrosage des espaces verts. En zone urbaine, les besoins en eau sont essentiels à la fois pour les usages des habitants et pour ceux des collectivités. Or, le changement climatique risque d'augmenter fortement le coût environnemental pour la satisfaction de ses besoins. En effet, la France est potentiellement soumise, du fait de l'ampleur de ses besoins, à des pressions sur la ressource en eau. Les hypothèses d'évolution climatique à l'horizon 2050 prévoient une baisse de disponibilité des ressources en eau à l'échelle du bassin de la Seine (Ducharne et al. 2009). En tenant compte des incertitudes issues des modèles climatiques, les études pronostiquent une baisse moyenne de -20% des débits actuels de la Seine à son exutoire, ainsi qu'une tendance à la baisse du niveau des nappes (Habets et al. 2011). Au-delà de la quantité, les questions de qualité des eaux demeurent une préoccupation majeure, malgré les progrès réalisés en matière de lutte contre la pollution. D'une part, on assiste aujourd'hui à l'abandon de certains captages en Île-de-France dû au dépassement des limites réglementaires en nitrates et même en pesticides (MTES 2012), ce qui induit une pression accrue sur les ressources disponibles. La présence de plus en plus fréquente des polluants émergeants dans les eaux de surface oblige les producteurs d'eau potable à employer des techniques de plus en plus sophistiquées et coûteuses environnementalement.

En zone urbaine, pérenniser les besoins de l'Homme en eau nécessite de repenser le lien entre les activités humaines et son environnement. Les termes de « développement durable » et de « durabilité » sont régulièrement employés pour désigner une activité humaine respectueuse de l'environnement. Cependant, les sens pris par ces deux termes peuvent être multiples et gagnent à être précisés. Dans notre recherche, nous définirons une gestion *durable* de l'eau à l'échelle d'une ville comme une gestion qui maintient une bonne qualité de l'environnement. Cet environnement est défini au sens global (sol, air, eau, etc.). Ainsi une gestion de l'eau devra à la fois préserver le bon état de cette dernière, mais aussi minimiser les coûts environnementaux associés à son traitement et son acheminement. A l'échelle d'une ville, réfléchir à une gestion durable des ressources en eau nous amène à questionner le lien entre les ressources et les usages. A-t-on vraiment besoin d'autant d'eau ? Et si c'est le cas, quelle qualité est *réellement* requise pour quels usages ?

Les doubles réseaux sont des infrastructures déployées qui permettent aujourd'hui de voir différemment ce lien entre qualités et usages. Outre le réseau usuel délivrant de l'eau potable afin de satisfaire des usages « nobles » (boisson, cuisine, hygiène corporelle), un second réseau distribue une ressource de moindre qualité (eau non potable) destiné à des usages tels que l'arrosage des espaces verts et le nettoyage des voiries.

Si l'utilisation d'une eau non potable peut engendrer des économies de traitement en eau potable, des consommations en énergie supplémentaires peuvent être toutefois engendrées pour la création et l'exploitation d'un second réseau. Ainsi, il paraît légitime de questionner la durabilité environnementale de ces systèmes.
Par ailleurs, réfléchir sur la gestion durable des ressources en eau nous amène à nous interroger sur les conditions de sa mise en œuvre par les *acteurs*. Dans le cas d'une ville qui dispose déjà d'un réseau d'eau non potable (RENP), le terme *acteur* désigne tout individu ou organisation qui influence directement ou indirectement le fonctionnement de ce réseau. Les *acteurs* gestionnaires du RENP doivent tenir compte des conséquences de tout choix d'alimentation de ce réseau sur leur organisation, ainsi que sur les relations qu'ils entretiennent avec les autres acteurs.

Le contexte parisien est un terrain propice pour mener ces types de réflexion, grâce à l'existence d'un RENP datant de la fin du XIXe siècle. Ce réseau fournissant près de 200 000 m^3/j d'eau non potable est alimenté par les eaux du Canal de l'Ourcq et de la Seine sommairement traitées, soit un quart du total des besoins de la ville. Ces ressources diffèrent par leur altimétrie, et donc par leur mode d'acheminement dans le RENP ; ce qui a des conséquences en matière de consommation d'énergie liée au pompage. Bien que l'eau de l'Ourcq ait un avantage énergétique étant située 25 m au-dessus de la Seine, elle nécessite toutefois un pompage d'appoint en Marne. A l'heure actuelle, le RENP sert principalement aux usages municipaux : curage des égouts, nettoyage des trottoirs, alimentation des lacs des bois de Boulogne et de Vincennes, et arrosage des espaces verts du printemps à l'automne.

Autour de ce réseau gravitent de nombreux acteurs qui, de fait, sont des organisations, c'est-à-dire « *des groupes d'individus reliés par des objectifs communs* » (North 1993). L'acteur gestionnaire du réseau est l'entreprise publique Eau de Paris qui prend en charge la totalité du service de l'eau, sous le contrôle de la Ville de Paris. Cette dernière est aussi le principal usager du RENP et utilise 99% des volumes distribués pour les usages cités précédemment. Par ailleurs, en tant que propriétaire du Canal de l'Ourcq, la Ville de Paris joue également le rôle de fournisseur d'une partie de l'eau brute pour le RENP. A cela s'ajoutent d'autres acteurs qui interviennent à plusieurs niveaux. Les premiers perçoivent des taxes et redevances (tels que l'Agence de l'Eau et Voies Navigables de France, SIAAP, etc.), veillent au respect de la règlementation (services de l'Etat en charge de la police de l'eau), et utilisent des ressources d'eau en amont (collectivités organisées en syndicats de rivière en amont du RENP). Les seconds réalisent des études afin d'éclairer la Ville de Paris (tels que l'Atelier Parisien d'Urbanisme), et interviennent pour la protection des milieux naturels et aquatiques (association dans l'environnement). L'ensemble de ces acteurs forme *système* du fait des liens d'interdépendance qui existent entre eux, sur les plans hydriques, économiques et institutionnels.

Ce système peut être modifié par les évolutions possibles des sources d'alimentation du RENP, portées par la Ville de Paris dans la perspective d'une gestion durable de la ressource en eau. Cette évolution, que nous appellerons dans la suite, la diversification des ressources, correspond à toute modification d'alimentation du RENP, en jouant sur les proportions entre les ressources actuelles, ou introduisant de nouvelles ressources, telles que les eaux de pluie, les eaux de piscine, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Or, une telle évolution n'aurait pas uniquement des conséquences sur le cycle de l'eau, mais pourrait également bousculer les logiques d'organisation actuelles, ainsi que les pratiques d'usage.

Au regard de ces enjeux à la fois environnementaux et sociologiques, notre question de recherche est double : **A quelles conditions la diversification des ressources du RENP peut-elle contribuer à une gestion durable des ressources, tout en étant acceptée par l'ensemble des acteurs associés ?**

A cet effet, le premier objectif de la thèse vise à comprendre l'impact environnemental d'une possible diversification des ressources alimentant le RENP. L'évaluation de l'impact environnemental nécessite le choix d'un *indicateur,* défini comme « *une variable observable utilisée pour rendre compte d'une réalité non observable* » (Boulanger 2004). En d'autres mots, un indicateur est une variable mesurable (continue ou ordinale) qui permet d'étudier un aspect bien précis d'une réalité et de ses possibles évolutions. Pour notre recherche, nous porterons notre choix d'indicateur sur l'énergie, dont la consommation est indispensable pour le traitement et l'acheminement de l'eau. Par ailleurs, il est aujourd'hui reconnu que la production d'énergie sera le principal contributeur du réchauffement à l'échelle planétaire des 50 à 100 prochaines années (GIEC 2013, 58).
L'impact environnemental des consommations d'énergie dépend fortement du type de ressource mobilisée. A titre d'exemple, les énergies renouvelables ont un impact moindre en termes d'émissions de gaz à effet de serre que les énergies fossiles comme le charbon et le pétrole (GIEC 2011). Toutefois, ces ressources renouvelables nécessitent également la mobilisation des matières premières (silicium pour le photovoltaïque, le lithium pour les batteries) et ont un coût environnemental non nul. En conséquence, la maîtrise de nos impacts environnementaux nécessite avant tout de maitriser nos consommations d'énergie. Cette vision est notamment illustrée dans les études prospectives de l'Agence de l'Environnement et la Maîtrise de l'Energie (ADEME 2015).

Au regard de ces considérations sur l'énergie, nous formulons une première hypothèse sur l'impact environnemental des évolutions possibles de l'alimentation du RENP : **La diversification des ressources du RENP est susceptible de générer des consommations énergétiques supplémentaires à l'échelle globale.**
L'échelle globale sera déterminée, lorsque l'on délimitera les contours du territoire géographique étudié. Cette hypothèse sera testée grâce à la construction d'une

méthode de calcul énergétique basée sur un modèle hydraulique que nous construirons.

Cependant, l'impact environnemental ne constitue pas le seul critère de décision pour l'acteur gestionnaire du RENP Eau de Paris. Le *critère* est ici défini comme un *« caractère, signe qui permet de distinguer une chose, une notion, de porter sur un objet un jugement d'appréciation »* (Roy 1985, 228). De toute évidence, ces critères incluent les enjeux économiques et le respect des engagements contractuels. En effet, Eau de Paris est tenue de maintenir un équilibre financier et doit s'assurer que tout choix d'alimentation du réseau lui permette de continuer à satisfaire les usagers.
Sur ces deux critères cités, il apparaît qu'Eau de Paris, dans toute décision sur l'alimentation du réseau, doit tenir compte des conséquences sur sa propre organisation, mais également sur le reste du système d'acteurs associé au RENP. En conséquence, la mise en place d'une diversification des ressources ne dépend pas seulement d'Eau de Paris (et de l'autorité organisatrice de l'eau, la Ville de Paris) mais de l'acceptation *in fine* du système d'acteurs global.

Le second objectif de la thèse consiste ainsi à identifier à quelles conditions l'ensemble de ces acteurs sont susceptibles d'accepter des évolutions possibles de l'alimentation du RENP.
Pour cela, nous nous appuyons sur les sciences de la décision afin de délimiter notre système d'acteurs associés, et la sociologie des organisations afin d'analyser les relations qu'ils tissent et les stratégies qui les motivent. En particulier, nous ferons appel à notion de « rationalité limitée » de l'acteur introduite par Simon (1983), qui est ensuite reprise par Crozier et al. (1992). Ces auteurs postulent que l'acteur - ici le représentant d'une organisation - n'est pas capable de choisir la « meilleure » solution car il dispose d'une liberté et d'une information trop limitée pour y parvenir. En revanche, il choisira la première solution qui correspond pour à lui à un seuil minimal de satisfaction en fonction de certains critères explicites ou implicites qu'il s'est fixés à un moment donné. Au regard de cette théorie, nous formulons ainsi une seconde hypothèse :
Les acteurs se positionnent par rapport à la diversification des ressources en fonction de la perception des avantages et des inconvénients qu'elle induit sur leur organisation.

Ainsi, d'après cette hypothèse, ceci n'amène pas forcément les acteurs à adopter le choix de gestion des ressources en eau le plus durable. Nous testerons cette hypothèse grâce à deux études de cas de jeux d'acteurs, puis grâce à une campagne d'entretiens réalisée auprès des familles d'acteurs cités précédemment.

Afin de répondre à notre question de recherche, nous déclinerons nos arguments selon le plan suivant.

Le chapitre 2 pose les clefs de compréhension pour aborder les doubles réseaux. D'abord, nous définirons ce que nous entendrons par le concept de durabilité, puis nous verrons comment cette définition s'applique à la gestion de l'eau en ville. Puis, nous examinerons les doubles réseaux existants, les conditions de leur mise en place et les questions scientifiques qu'ils ont soulevées. Enfin, nous expliciterons le terme « système socio-technique » que nous mobiliserons pour caractériser le RENP.

Le chapitre 3 délivre un état des lieux du fonctionnement du RENP, et des évolutions possibles de son alimentation. Il présentera le RENP, ses infrastructures associées, ses usages et ses ressources. Il identifiera en même temps les acteurs associés à toute prise de décision sur ce réseau. Enfin, il discutera des ressources potentielles du réseau étudiées dans la thèse : les eaux de piscine, les eaux de pluie, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées.

Le chapitre 4 étudie l'impact énergétique des choix d'alimentation du RENP, déclinés sous forme de *scenarii*. Nous nous intéresserons aussi bien aux changements de répartition en eaux de rivière (par exemple le rééquilibrage Ourcq - Seine) qu'à l'introduction des deux ressources potentielles avec les volumes les plus conséquents, ici les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Nous construirons une méthode de calcul énergétique basée sur un modèle hydraulique, que nous testerons sur une année réelle de fonctionnement. Puis nous évaluerons et discuterons du bilan énergétique de chaque *scenario*.

Le chapitre 5 vise à comprendre à quelles conditions l'ensemble des acteurs associés au RENP pourraient accepter la diversification des ressources. Nous présenterons tout d'abord deux exemples de jeux d'acteurs qui se sont apparus pendant la thèse, illustrant la multiplicité des enjeux autour de l'alimentation du RENP. Puis, nous réaliserons une analyse plus globale sur l'ensemble des acteurs identifiés autour de l'eau non potable, afin d'identifier les freins et les leviers à la mise en place de la diversification des ressources à l'échelle du *système* d'acteurs.

Enfin, le chapitre 6 présente les conclusions de cette recherche, en apportant un nouveau regard sur les hypothèses initialement formulées. Il présente de nouvelles pistes de réflexion à poursuivre à l'issue de ces travaux.

2 Les doubles réseaux pour une gestion durable des ressources en eau : clefs de compréhension.

Cette partie vise à appréhender notre objet de recherche, le RENP parisien, et à comprendre comment celui-ci peut contribuer à une gestion durable des ressources en eau.

Tout d'abord, nous définirons ce que nous entendons par le concept de durabilité. Puis nous nous intéresserons à l'ensemble des étapes de la gestion de l'eau en ville, appelées également « parenthèse urbaine de l'eau », afin de comprendre dans quelle mesure celle-ci contribue à une gestion durable des ressources en eau
Nous réfléchirons ensuite sur une évolution possible de cette parenthèse urbaine de l'eau à travers le prisme de la durabilité, en questionnant le lien entre ressources et usages du point de vue de la qualité.
Dans le but de pouvoir caractériser notre objet de recherche, nous nous intéresserons par la suite aux doubles réseaux existants dans le monde, aux conditions de leur mise en place, et aux questions scientifiques aujourd'hui soulevées. Enfin, nous poserons les fondements théoriques du terme « système socio-technique » que nous mobiliserons pour caractériser le RENP.

2.1 La durabilité, un concept à préciser

La notion de durabilité est apparue en 1980 avec la publication « *Word Conservation Strategy* », rapport établi par l'ONG *International Union for Conservation of Nature* (IUCN et al. 1980). Elle mentionne pour la première fois le terme « *développement durable ».* Le développement est défini comme *« la modification de la biosphère*[1] *et l'utilisation des ressources humaines, financières, vivantes et non vivantes pour satisfaire les besoins et améliorer la qualité de la vie* ». Le concept de durabilité introduit également des notions de temporalité et de solidarité intergénérationnelle, exprimées dans une phrase bien connue de ce rapport : *« Nous n'avons pas hérité la terre de nos parents, nous l'avons empruntée à nos enfants ».*
En 1987, la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'Organisation des Nations unies, présidée par Gro Harlem Brundtland, publie un ouvrage « *Our common future* » (CMED 1987, 16). Selon son analyse, le développement durable permet « [*de répondre*] *aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs* » (CMED 1987, 16). Le concept de développement durable y est précisé en ces termes *:*

[1] La biosphère désigne dans le rapport « la couche mince de la planète qui contient et maintient la vie ». Elle désigne l'ensemble des organismes vivants et leurs milieux de vie sur la terre.

« [*Ce*] *n'est pas un état d'équilibre, mais plutôt un processus de changement dans lequel l'exploitation des ressources, le choix des investissements, l'orientation du développement technique ainsi que le changement institutionnel sont déterminés en fonction des besoins tant actuels qu'à venir*» (CMED 1987, 17)

Bien que cette définition reste imprécise, l'ouvrage communément appelé « *rapport Brundtland* » impulse une discussion sur la durabilité. Cette discussion se concrétise par la Conférence de l'ONU sur l'Environnement et en 1992 à Rio de Janeiro en juin 1992. Cette conférence se conclut par la signature de la « *Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement* » qui précise la notion de développement durable. Un programme d'action pour XXIe siècle, appelé « Action 21 » est alors adopté, dans le but d'appliquer le concept de développement durable aux activités des collectivités territoriales.
Depuis, les mots « développement durable » et « durabilité » se sont largement répandus dans la société et sont employés par de nombreux acteurs engagés dans les questions d'environnement. Il n'existe pas de consensus sur la distinction à établir entre ces deux termes (Harding 2006). Parmi ceux qui les distinguent, nous pouvons évoquer l'UNESCO pour qui la durabilité est un objectif à long terme (celui d'un monde plus viable), alors que le développement durable désigne les nombreuses manières et voies (production et consommation durables, bonne gouvernance, etc.) pour y parvenir (UNESCO 2014).

Lorsqu'on assimile la durabilité au développement durable, sa définition passe généralement par une description des interrelations entre trois volets : environnemental, social et économique. Cette vision est notamment reprise par le sommet mondial de l'ONU en 2005 (ONU 2005). Toutefois, il existe plusieurs manières d'articuler et de représenter ces trois volets. En particulier, Atkinson et al. (2013) proposent différentes représentations possibles - et donc différentes définitions possibles - du développement durable, qui sont schématisées sous forme de diagrammes de Venn dans la Figure 1.

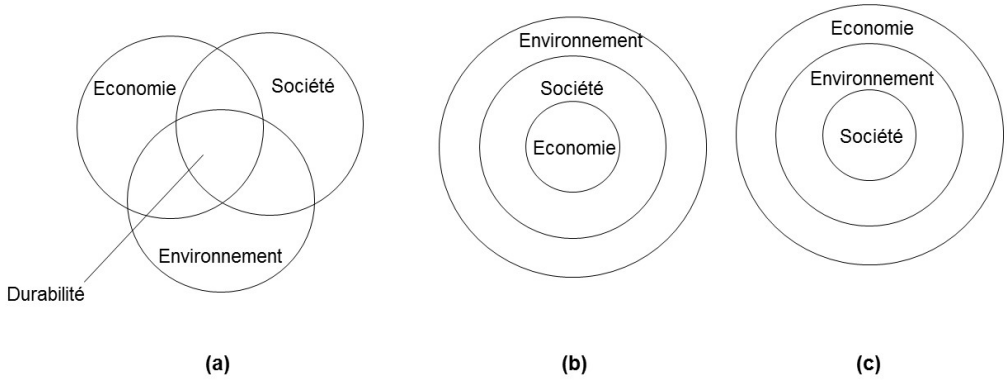


Figure 1 : Représentations possibles du développement durable. Modifié d'après Atkinson et al. (2013)

La Figure 1-a représente ces trois volets sous forme de trois cercles qui se chevauchent. La taille des cercles et des chevauchements matérialise l'importance attachée par les acteurs aux différents volets de la durabilité et à leurs liens possibles. A titre d'exemple, le programme de l'International Union for Conservation of Nature 2005-2008 a adopté cette représentation pour évoquer leurs actions, afin de souligner l'importance de trouver un équilibre entre ces trois volets du développement durable (Adams 2006).

Les Figures 1-b et 1-c représentent ces trois dimensions de manière « concentrique », c'est-à-dire inclusive. La Figure 1-b montre que l'économie est une activité qui résulte de la société, elle-même dépendante des limites de l'environnement. La Figure 1-c montre, à l'inverse, une vision qui privilégie les intérêts économiques sur l'environnement, la société n'étant qu'un sous-ensemble de l'économie.

Ces différents types de représentation traduisent différentes visions du monde, ces dernières étant donc chacune sujettes à discussion. A titre d'exemple, les travaux de Giddings et al. (2002) se distancient par rapport aux deux représentations des Figures 1-a et 1-b. Les auteurs jugent la représentation de la Figure 1-a discutable, car elle repose sur le principe que ces trois dimensions sont relativement distinctes et autonomes. D'après ces auteurs, cette représentation suggèrerait que les différentes dimensions pourraient se compenser mutuellement. Giddings et al. (2002) soulignent également les limites de la représentation de la Figure 1-b, car elle présuppose que l'environnement, l'économie et la société sont des entités homogènes et uniques. Elle ne tiendrait ainsi pas compte de la multitude de sociétés (par exemple, *via* les différences de cultures) et d'environnements (*via* les différences de climat) qui existent dans la réalité. Les auteurs finissent par proposer leur propre représentation de la durabilité, dans laquelle ils introduisent les notions d'activité humaine et de bien-être, toutes deux imbriquées dans l'environnement.

Au vu des divergences constatées sur le cadre théorique de la durabilité, il nous paraît nécessaire de préciser la notion de durabilité appliquée à la gestion des ressources en eau. Pour cela, nous nous appuyons sur les travaux de Harding (2006). L'auteur définit la durabilité sous forme de principes récapitulés dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Définition de la durabilité par Harding (2006)

Principes	Description
Préservation de la diversité biologique et d'intégrité écologique	Protéger la biodiversité des espèces naturelles et le bon état du milieu
Equité intergénérationnelle	Maintenir ou améliorer l'état de l'environnement vis-à-vis des générations futures.
Principe de précaution	Mettre en place une action en faveur de la protection de l'environnement si un danger ou dommage potentiel est identifié pour l'environnement (même si les risques réels ne sont pas quantifiés)
Internalisation des coûts environnementaux	Quantifier et intégrer les coûts réels des activités ayant un impact dommageable sur l'environnement
Equité intragénérationnelle	Faire en sorte que les personnes les plus démunies reçoivent un soutien économique minimal et bénéficient d'une qualité environnementale Plus largement : mettre en place des mesures visant à protéger l'environnement d'un secteur de la société, sans que cela soit au détriment d'autres secteurs de la société.

Dans ce Tableau, deux principes énoncés par Harding (2006) nous interpellent particulièrement par rapport à notre recherche : l'équité intragénérationnelle et intergénérationnelle.

L'eau circulant sur tout un bassin versant, la gestion durable de l'eau en ville ne peut pas se cantonner uniquement à son périmètre administratif, mais nécessite d'avoir une vision globale sur les collectivités adjacentes positionnées dans le même bassin hydrographique. Le lien fort entre agriculture et gestion de l'eau en ville, que nous montrerons dans la description du cycle hydrologique (*cf*. partie 2.2.), illustre l'importance de cette vision transversale des activités associées à l'eau. L'équité intragénérationnelle nous semble ainsi être un pilier incontournable dans une gestion durable des ressources en eau.
Par ailleurs, il est désormais reconnu que l'accès à l'eau sera un enjeu majeur du fait du changement climatique. Dans cette perspective, une vision *globale* des impacts environnementaux de la gestion de l'eau s'avère nécessaire, avec une attention accordée aux prélèvements en eau mais également aux consommations énergétiques. En effet, une gestion de l'eau qui s'affranchirait des considérations énergétiques ne ferait qu'aggraver le changement climatique, et pourrait aggraver l'accès à l'eau. Dans le contexte de changement climatique, nous notons que le principe de l'équité intergénérationnelle, le principe de précaution ainsi que la préservation de la diversité biologique et de l'intégrité écologique sont fortement liés. En effet, une gestion durable des ressources doit prendre en compte des potentiels dommages sur l'environnement (préservation de la diversité biologique et de l'intégrité écologique) ainsi que de l'évolution de l'accès à l'eau pour les générations futures (équité intergénérationnelle), même si les risques associés ne sont pas connus avec précision (principe de précaution).

Au regard de ces différentes définitions de la durabilité, nous définirons la gestion durable des ressources en eau de la manière suivante :
« *Une gestion durable des ressources doit intégrer la notion de temporalité : elle doit permettre le maintien d'une bonne qualité de l'environnement à long-terme, afin de permettre aux générations futures de bénéficier de cette qualité environnementale. L'environnement est ici considéré au sens global (sol, air, eau, etc.).* »
Afin de tenir compte de l'ensemble de ces éléments, une gestion durable des ressources en eau doit notamment contribuer au maintien du bon état des ressources en eau mobilisées, mais aussi optimiser ses consommations énergétiques pour le traitement et la distribution de l'eau.
Par ailleurs, une gestion durable d'eau en ville nécessite d'avoir une vision élargie de son territoire géographique, au-delà de la collectivité concernée. Le territoire est ici défini comme un système complexe qui associe, d'une part, un espace géographique et, d'autre part, un ensemble d'acteurs qui l'utilisent, aménagent et le gèrent (Moine 2006). Ainsi, la protection de l'environnemental local où la collectivité se situe ne doit pas se faire au détriment de l'environnement des territoires adjacents (notamment sur leurs ressources en eau).

Au vu de cette définition esquissée, nous souhaitons comprendre dans la partie 2.2. dans quelle mesure la gestion actuelle de l'eau en ville en France répond à notre définition de la durabilité.

2.2 La parenthèse urbaine de l'eau

Parler de la gestion des ressources en eau nécessite avant tout de revenir à la notion de cycle hydrologique. Celui-ci est généralement défini comme un modèle conceptuel décrivant le stockage et la circulation de l'eau entre la biosphère, l'atmosphère, la lithosphère et l'hydrosphère (Marsalek et al. 2008). L'eau peut être stockée dans l'atmosphère, les océans, les lacs, les rivières, les ruisseaux, les sols, les glaciers, les champs de neige et les aquifères souterrains. Elle circule entre ces compartiments de stockage grâce à des processus tels que l'évapotranspiration, la condensation, la précipitation, l'infiltration, la percolation, la fonte des neiges et le ruissellement.
Dans les zones urbaines, le cycle hydrologique est fortement modifié par les impacts de l'urbanisation et la fourniture des services d'eau à la population urbaine. Il doit ainsi intégrer l'approvisionnement en eau, la collecte des eaux usées et l'épuration. La Figure 2 présente le cycle hydrologique de l'eau global (Bourrier et al. 2010, 24).

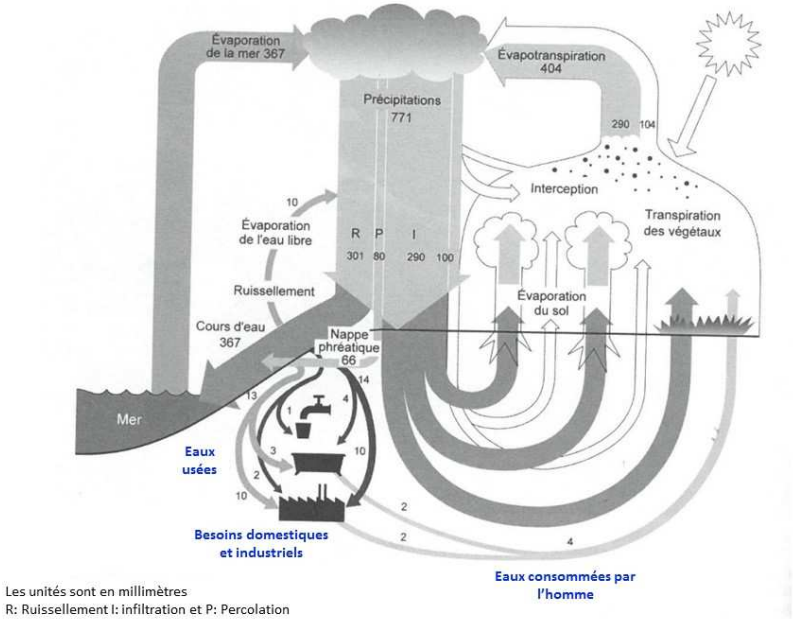


Figure 2 : Cycle de l'eau. Modifié d'après Bourrier et al. (2010, 24)

La Figure 2 montre qu'au cours de ce même cycle, l'eau est plusieurs fois captée, pompée, traitée, consommée, rejetée et réutilisée. Ainsi, au sein d'un même bassin versant, une eau utilisée à l'aval d'une rivière a déjà été utilisée en amont à plusieurs reprises. Le cycle de l'eau est ainsi lui-même composé d'une multitude d'étapes intermédiaires. Dans notre recherche, nous nous intéresserons à l'une de ces étapes, appelée parenthèse urbaine de l'eau (Chocat 2015). Elle consiste à acheminer de l'eau vers les villes pour les usages urbains, puis à rejeter cette eau vers le milieu naturel après traitement. La Figure 3 présente l'ensemble des étapes qui constituent la parenthèse urbaine de l'eau.

Figure 3 : Parenthèse urbaine de l'eau (ONEMA 2016)

Cette parenthèse urbaine de l'eau est mise en œuvre grâce à un *système d'alimentation en eau*, soit l'ensemble des infrastructures nécessaires au prélèvement de l'eau, son traitement puis sa distribution pour les usages.
En France, la ressource utilisée peut être une eau souterraine (deux tiers des prélèvements) ou une eau de surface (le plus souvent issue d'une rivière). Dans un premier temps, cette eau est acheminée vers une usine de traitement où elle subit des traitements pour la rendre potable, c'est-à-dire sans risque pour la santé et agréable[2] à boire. L'eau est ensuite pompée puis distribuée dans les réseaux de canalisations pour alimenter les différents usagers. Des réservoirs situés en hauteur (appelés aussi «châteaux d'eau») permettent de stocker temporairement l'eau afin d'assurer les débits de pointe et la pression de service. Les usages de l'eau sont multiples : consommation humaine, usages domestiques (cuisine, toilettes,…), entretien de la ville usage industriels, etc. Une fois utilisées, les eaux sont dites « usées ». Dans les villes, elles sont alors évacuées par un système d'assainissement, constitué de réseaux situés dans le sous-sol.

[2] Des critères de « confort » pour le consommateur d'eau (couleur, l'odeur et la saveur de l'eau), appelés aussi paramètres organoleptiques, sont pris en compte dans les critères de potabilité en France. Ceux-ci sont évoqués dans le paragraphe 2.3.

Ces réseaux assainissement sont de deux sortes :

- Unitaires : ces réseaux collectent à la fois les eaux usées et les eaux pluviales issues du ruissellement sur les surfaces urbaines. C'est le cas des premiers réseaux construits historiquement, comme par exemple pour Paris (à partir du XIXème siècle)
- Séparatifs : ces réseaux collectent séparément les eaux usées et les eaux pluviales. Ces types de réseaux, mis en place dans les villes plus récentes, ont été construits à partir de la moitié du XXème siècle.

Les réseaux d'eaux usées, qu'ils soient séparatifs ou unitaires, convergent vers une ou plusieurs stations d'épuration chargées d'épurer l'eau avant son rejet au milieu naturel, à l'aval de la ville.

Afin de juger de la durabilité de cette parenthèse urbaine de l'eau, il nous paraît pertinent d'étudier les interactions entre celle-ci et le cycle de l'eau global, et plus généralement son impact sur l'environnement (au sens large). Trois éléments méritent d'être évoqués dans la suite : les rejets urbains en temps de pluie, le coût environnemental du traitement de l'eau, et enfin le changement climatique comme facteur aggravant.

Tout d'abord, la gestion actuelle de l'eau en ville engendre des rejets urbains en temps de pluie qui dégradent la qualité du milieu récepteur. En effet, l'imperméabilisation des sols entraîne un ruissellement des eaux pluviales vers les réseaux assainissement. En cas de forte pluie, leur ruissellement entraîne une saturation des réseaux d'assainissement, ce qui peut induire des rejets urbains en temps de pluie dans le milieu naturel. Ces rejets peuvent être ainsi préjudiciables pour les prélèvements en eau potable des villes situées en aval.

Par ailleurs, les processus de traitement de l'eau sont aujourd'hui de plus en plus coûteux en énergie et en produits chimiques, du fait de la dégradation de la qualité des ressources en eau. En effet, de nombreux captages d'eaux souterraines destinés à la consommation humaine sont abandonnés en raison de leur qualité, notamment leur teneur en nitrate et pesticides (MTES 2012). Il est désormais reconnu que la source majeure de cette pollution diffuse est l'agriculture, avec ses épandages d'engrais et de déjections animales depuis les années 1970 (Benoît 2013). L'abandon des captages contraint les producteurs à se tourner vers les eaux de rivières qui sont certes des ressources plus abondantes que les eaux de sources, mais de qualité plus variable. En conséquence, leur potabilisation nécessitera des traitements plus sophistiqués, avec un impact non neutre sur l'environnement.

Enfin, le changement climatique représente un facteur aggravant, dans la mesure où il fragilise la disponibilité des ressources sur le bassin de la Seine à l'horizon 2050. En conséquence, cette baisse de disponibilité des ressources pourrait amener les

producteurs en eau potable à aller chercher la ressource plus loin, augmentant alors les consommations énergétiques de transport.

Au regard de la définition de la durabilité formulée dans la partie 2.1, la gestion des ressources en eau ne paraît ainsi pas durable aujourd'hui en France, au vu du manque de coordination entre l'agriculture et la production d'eau potable. D'autre part, nous constatons qu'à l'échelle de la parenthèse urbaine de l'eau, les différentes étapes de cycle de l'eau sont gérées de manière compartimentée, sans forcément faire le lien entre différentes étapes comme les ressources et les usages. Pourrions-nous satisfaire nos besoins avec une moindre quantité d'eau ? S'interroger sur la quantité d'eau consommée est une première piste pour réduire les prélèvements en eau pour la ville. S'interroger sur la qualité requise pour les usages est une deuxième piste possible : Quelle qualité d'eau est *réellement* requise pour quel usage ? Cette seconde question paraît pertinente du point de vue environnemental à deux niveaux. Tout d'abord parce qu'elle aborde la question du traitement, qui est coûteux environnementalement. Ensuite parce qu'elle fait intervenir la notion de réutilisation : des eaux qui sont aujourd'hui considérées comme des « déchets » en milieu urbain peuvent éventuellement être « recyclées » et devenir une ressource. La réutilisation de ces eaux permet ainsi de diminuer les prélèvements dans les ressources actuellement sollicitées. Cette relation entre usages et qualité est plus amplement discutée dans le paragraphe suivant.

2.3 Repenser le lien entre usages et ressources

L'idée d'une adéquation entre ressources et usages remonte à l'Antiquité. Environ 100 ans après J.-C., Sextus Julius Fontinus trouvait aberrant que l'eau de source soit utilisée pour tous les usages (Möhle 1980). Il aspirait à un système où plusieurs réseaux permettraient de distribuer des eaux de différentes qualités selon les usages. L'eau de source serait utilisée pour satisfaire la consommation humaine, une eau de moins bonne qualité serait destinée aux bains, et enfin la ressource avec la qualité la plus dégradée serait réservée à l'approvisionnement des fontaines, l'arrosage des jardins et le nettoyage des canalisations.

L'incitation à la préservation de la ressource est mise en avant dès 1958, avec un principe énoncé par le Conseil Economique et Social de l'ONU (ONU 1958): « *Aucune eau de qualité supérieure, à moins d'être excédentaire, ne devrait être utilisée pour un objectif qui peut tolérer une moindre qualité ».*

En France, la notion d'eau potable est associée à la notion d'eau destinée « *à la consommation humaine ».* Cette dernière est définie par l'article R1321-1 du code de la santé publique, issue de la transposition de la Directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998 en droit français. Cette définition est présentée dans l'Encadré n°1.

Encadré 1 : Définition de l'eau destinée à la consommation humaine. Extrait de l'article R1321-1 du code de la santé publique (Legifrance 2007b).

1° Toutes les eaux qui, soit en l'état, soit après traitement, sont destinées à la boisson, à la cuisson, à la préparation d'aliments ou à d'autres usages domestiques, qu'elles soient fournies par un réseau de distribution, à partir d'une citerne, d'un camion-citerne ou d'un bateau-citerne, en bouteilles ou en conteneurs, y compris les eaux de source ;
2° Toutes les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires pour la fabrication, la transformation, la conservation ou la commercialisation de produits ou de substances, destinés à la consommation humaine, qui peuvent affecter la salubrité de la denrée alimentaire finale, y compris la glace alimentaire d'origine hydrique.

Une eau est donc *potable* si elle présente les caractéristiques physico-chimiques et microbiologiques la rendant propre à la consommation humaine.
Les critères de « potabilité » sont déterminés par les arrêtés du 11 janvier 2007 et du 21 janvier 2010 (Legifrance 2015, 2010b). Cet article définit plus de 50 limites et références de qualité pour les eaux destinées à la consommation humaine. Le texte distingue deux types de paramètres : les paramètres microbiologiques et chimiques (ayant un impact possible sur la santé) et les paramètres organoleptiques (liés à la perception du consommateur, tels que la couleur, l'odeur ou la saveur).
Nous constatons que certaines limites de cet arrêté sont strictes, comme par exemple la concentration en nitrates (50 mg/L). Il convient alors de s'interroger si le respect de ces limites est pertinent pour certains usages, comme l'arrosage des espaces verts et le nettoyage des trottoirs.

Pour cela, il est nécessaire d'identifier les différents usages et de connaitre leur répartition en termes de consommations en zone urbaine. A l'échelle du bâtiment, une documentation étoffée existe sur la répartition des usages « *domestiques* », c'est-à-dire des usages qui satisfont les besoins de personnes physiques propriétaires ou locataires des installations, ou de ceux qui habitent sous leur toit d'après l'article R214-5 du code de l'environnement (Legifrance 2017b). La Figure 4 présente la répartition des usages domestiques estimés en France par CIE eau (2017).

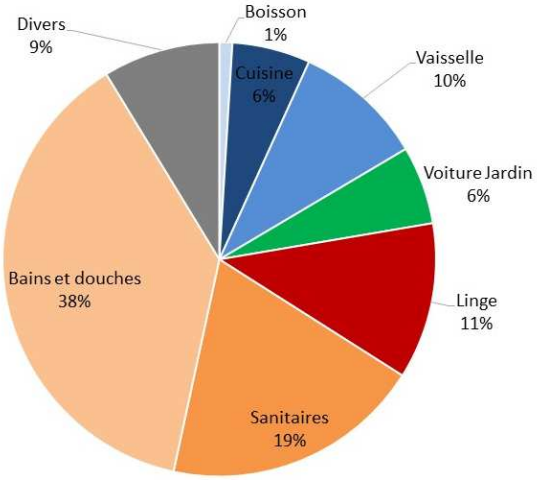


Figure 4 : Répartition des usages domestiques en France. Modifié d'après CIE eau (2017)

D'après cette Figure, on constate que 93% de l'eau consommée n'est pas destinée à l'ingestion humaine. A l'échelle d'un bâtiment, l'eau utilisée pour les espaces verts, les sanitaires ou le lavage du linge ne requiert pas forcément une eau respectant tous les critères de potabilité. La réflexion sur l'usage d'une eau non potable pour ces trois usages domestiques a déjà été menée en France, puisqu'elle a abouti à l'arrêté du 21 août 2008 encadrant aujourd'hui la réutilisation des eaux de pluie pour ces usages (*cf*. partie 3.3.1).

A l'échelle d'une collectivité, les données sur la répartition des consommations en eau potable sont, en revanche, beaucoup plus rares. Seule Montreuil-sous-Bois en Seine-Saint-Denis détaille une partie de la répartition de ses consommations en eau pour l'année 2004. Cette répartition est présentée dans la Figure 5.

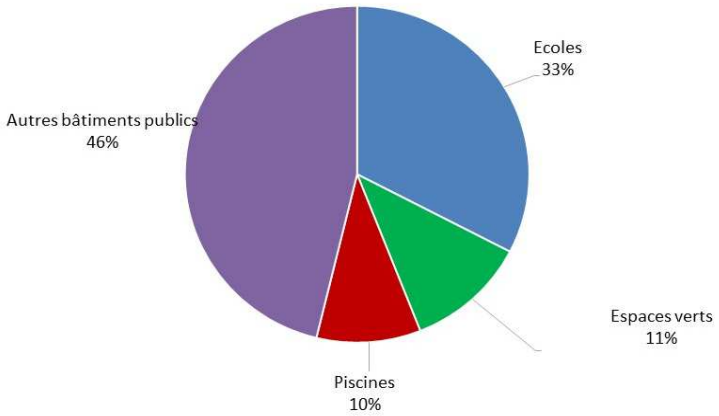


Figure 5 : Répartition d'une partie de la consommation en eau potable de la collectivité de Montreuil-sous-Bois en 2004 (VDM 2004)

Au regard de cette Figure, une partie des usages de l'eau de la collectivité de Montreuil ne nécessitent pas forcément une eau potable, comme l'entretien des espaces verts, ou l'alimentation des sanitaires des bâtiments publics. Par ailleurs, les statistiques de la ville ne comptabilisent pas le nettoyage des voieries, qui peut pourtant représenter des consommations conséquentes (Bognon 2009).

Afin de mettre en perspective ces chiffres avec d'autres zones urbaines, nous nous appuyons sur trois sources d'information disponibles :

- la répartition des consommations en eau potable en Suisse en 2015 (SVGW 2017)
- la répartition de la consommation de l'eau prélevée par les services publics en Île-de-France (Bognon 2009)
- la répartition des consommations étudiées en milieu urbain en Chine (Tao et Xin 2014).

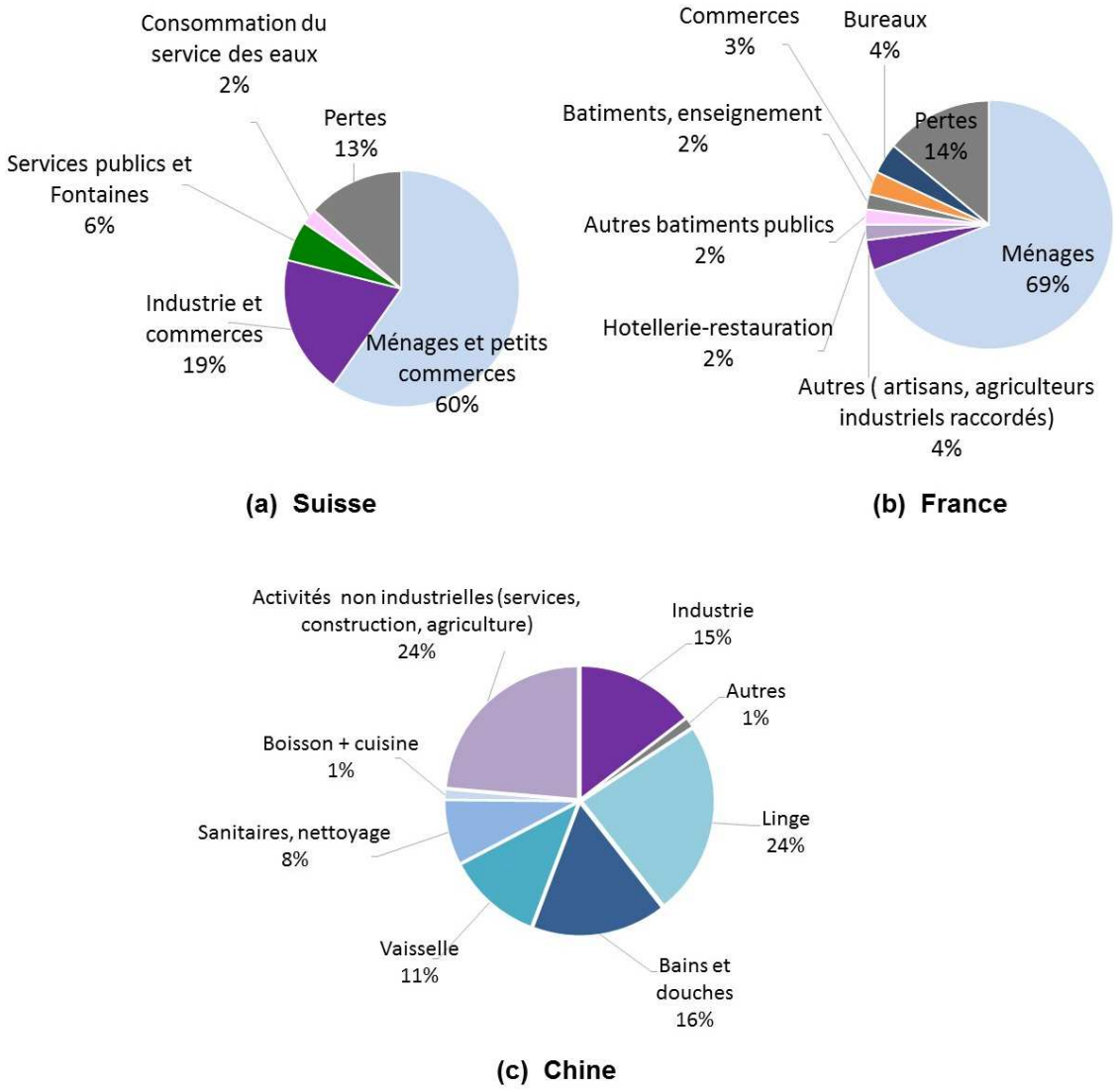


Figure 6 : Répartition des consommations urbaines en eau en Suisse, en Île-de-de-France et en Chine. Modifié d'après Bognon (2009), SVGW (2017) et Tao et al. (2014)

Lorsque nous comparons l'Île-de-France et la Suisse, nous constatons que les ménages représentent dans les deux cas la plus grande consommation en eau potable. Le deuxième consommateur en eau potable diffère néanmoins selon les deux cas : les activités tertiaires (bureaux, commerces et hôtellerie) pour la France, et industrielles pour la Suisse. Ceci s'explique par les différences de modèles économiques des deux pays. Le secteur tertiaire est très développé en France, avec une centralisation de bureaux en Île-de-France. En Suisse, les activités industrielles, comme l'industrie chimique et la métallurgie, sont plus élevées qu'en Ile-de-France, en termes de proportions de consommation d'eau.

Les données sur la Chine diffèrent clairement des deux cas européens cités. En Chine, près de 40% des consommations en eau potable sont destinés aux besoins de l'industrie, de la construction et de l'agriculture. Les ménages consomment le tiers

restant, dont seulement 1% sont consacrés à la cuisine et à la boisson. Cette répartition s'explique principalement par l'ampleur du développement du secteur industriel en Chine (industries lourdes, automobile). Par ailleurs, les écarts constatés entre la Chine avec les pays européens s'explique également par la comptabilisation des consommations. A la différence des pays européens, les estimations pour la Chine incluent l'eau consommée pour l'agriculture urbaine et ne comportent pas les fuites en eau des réseaux d'eau potable.

Au regard de ces différentes données, nous pouvons affirmer qu'une grande partie des usages de l'eau d'une ville (au moins 50%) ne requièrent pas une qualité potable d'eau potable.
Bien que la réutilisation d'eaux non potables pour les usages domestiques à l'échelle du bâtiment ait fait l'objet d'une documentation conséquente (Eriksson et al. 2002; Kwaadsteniet et al. 2013), la recherche sur les seuils de qualité requis pour les usages municipaux reste embryonnaire. Nous pouvons évoquer le mémoire de stage en 2009 de S. Bognon, qui s'est intéressé aux ressources alternatives à l'eau potable pour les usages urbains. Par ailleurs, nous pouvons évoquer les travaux de Seidl et al.(2016) qui ont étudié les risques d'exposition des piétons aux contaminants atmosphériques lors du nettoyage des trottoirs avec l'eau non potable à Paris.

Afin de pouvoir discuter des seuils de qualité requis pour des usages en ville, nous nous appuierons sur une typologie des usages en ville réalisée par Bognon (2009). Cet auteur se base sur les expériences existantes de réutilisation d'eaux non potables pour hiérarchiser de manière qualitative les usages potentiels des ressources alternatives selon leur exigence de qualité. Il distingue trois types d'usagers potentiels : le particulier, l'entité économique productive (c'est-à-dire l'entreprise), et la collectivité. Nous réadaptons et modifions cette typologie sous forme de graphique dans la Figure 7.

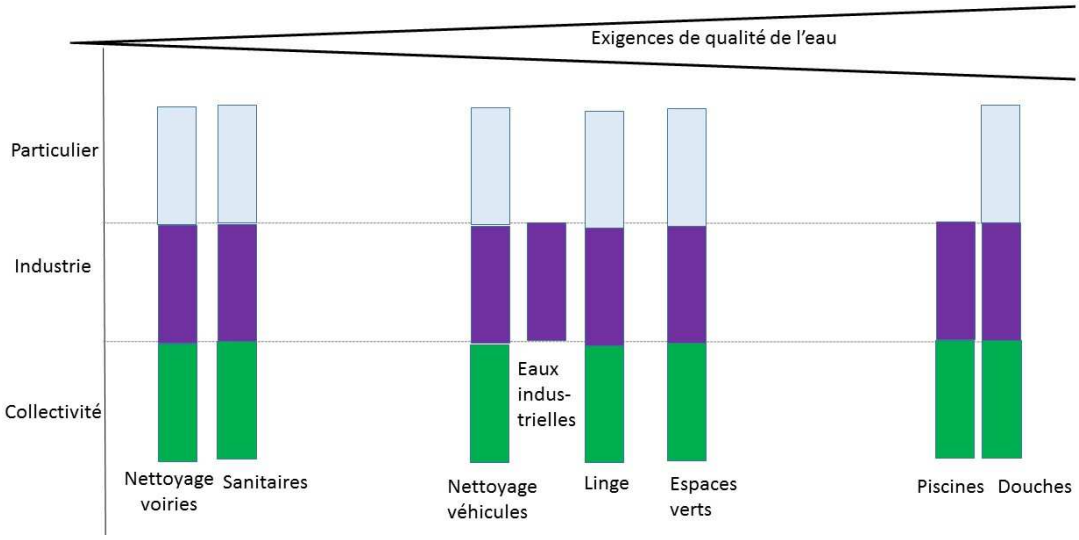


Figure 7 : Des usages avec des exigences de qualité variable dans une ville. Modifié d'après Bognon (2009)

D’après cette Figure, les sanitaires et le nettoyage des voieries apparaissent comme les usages les moins exigeants en termes de qualité. Le procédé d’aspersion des voieries doit toutefois prendre en compte la protection des piétons et des agents. Il sera abordé dans la partie 3.1.2.
L’hygiène corporelle et l’alimentation des bassins de piscine apparaissent à l’inverse comme usages les plus exigeants, au vu des fortes possibilités d’ingestion par les usagers.
Les quatre autres usages (nettoyage des véhicules, eaux industrielles, lavage du linge, et arrosage des espaces verts) sont placés au milieu. La hiérarchisation entre ces quatre usages reste discutable, car elle dépend de la nature des équipements, que ce soit pour les procédés industriels ou pour le lavage du linge. Par ailleurs, l’entretien des espaces verts ne nécessite pas une eau potable, toutefois une attention importante doit également être accordée aux procédés d’aspersion.

La discussion de l’adéquation entre usages et ressources nous amène à nous intéresser aux infrastructures qui ont été déployées à l’échelle d’une ville pour permettre de satisfaire les usages urbains avec des ressources de différentes qualités: les doubles réseaux.

2.4 Le double réseau : un objet ancien, mais des questions récentes

Le double réseau d'approvisionnement en eau comporte littéralement deux réseaux : un réseau d'eau potable permet de satisfaire les usages destinés à la consommation humaine, tandis qu'un deuxième réseau achemine une eau non potable pour d'autres usages, comme les sanitaires à l'échelle du bâtiment ou le nettoyage des voiries à l'échelle d'une ville. Nous appellerons ce deuxième réseau, le « réseau d'eau non potable ».

Dans le cadre de la thèse nous nous intéresserons aux doubles réseaux déployés à l'échelle d'une ville, ou *a minima* à l'échelle d'un quartier. Afin de mieux appréhender notre objectif de recherche, nous souhaiterons comprendre dans quelle mesure ces réseaux sont déployés dans le monde, connaitre les conditions de leur mise en place, et les questions scientifiques soulevées à leur actuelle sur cet objet. Enfin, nous expliciterons le terme « *système socio-technique* » que nous mobiliserons pour caractériser le RENP parisien.

2.4.1 Doubles réseaux d'hier et d'aujourd'hui

Avant de faire l'inventaire des doubles réseaux existants, il convient d'abord d'établir une typologie des doubles réseaux, qui se distinguent par les spécificités du RENP (la configuration du réseau d'eau potable étant relativement standardisée). Nous nous basons sur la typologie proposée par Canneva (2009) que nous réadaptons en distinguant deux catégories principales de RENP.

La première catégorie est le réseau urbain d'eau brute. Ce réseau est alimenté par une eau issue du milieu naturel comme les rivières ou la mer. Il est dédié aux usages urbains ne nécessitant pas une eau potable :

- usages municipaux (nettoyage des rues, espaces verts publics, chasses d'assainissement, etc.)
- usages domestiques extérieurs ou intérieurs (toilettes)
- usages industriels particuliers, ou activités industrielles fortement consommatrices.

La deuxième catégorie est le réseau d'eau traitée. Ce réseau utilise en ville l'eau usée ou l'eau grise traitée qu'il distribue pour les usages cités ci-dessus.
Ces deux réseaux diffèrent dans leur manière de mobiliser les ressources et de s'insérer dans le système global d'alimentation en eau en ville (*cf*. Figure 8).
Le réseau d'eau brute mobilise une seconde ressource en parallèle du réseau d'eau potable, sans sortir de l'approche « linéaire » de la parenthèse urbaine de l'eau. Le réseau d'eau traitée mobilise des eaux destinées à être rejetées en milieu naturel, et induit ainsi un « bouclage » au sein de cette parenthèse urbaine de l'eau.

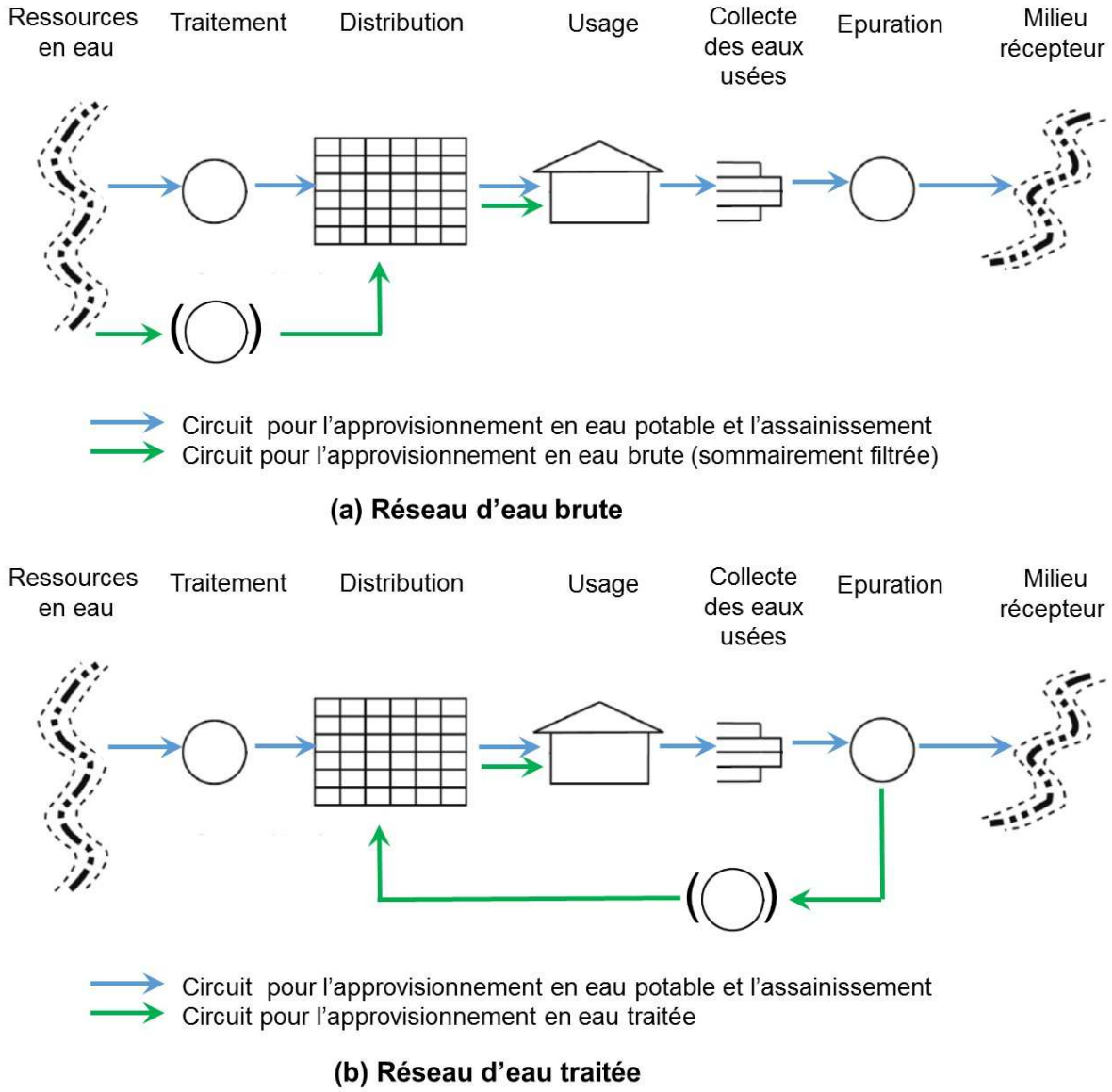


Figure 8 : Deux types de doubles systèmes d'alimentation en eau. Modifié d'après WRF (2013)

Lorsqu'on s'intéresse aux doubles réseaux existants, on constate que le principe d'un double réseau remonte à l'époque romaine, pendant le règne de l'empereur César Auguste, de 31 av. J.-C. à 14 après J.-C. (Okun 1997). Environ 10 après J.-C., il construit le 7ième des neuf aqueducs alimentant Rome. Cet aqueduc de 32 km de long délivrait une eau de moindre qualité pour maintenir une « *naumachia* », un grand étang utilisé pour l'organisation de combats d'hommes dans l'eau pour divertir les Romains. Cette eau était également utilisée pour l'irrigation des espaces verts à proximité.
Le premier double réseau décrit dans la littérature a été construit aux Etats Unis en 1926, pour le Grand Canyon Village, un lieu désigné en Arizona (AWWA 2009). Ce village souffrait de l'absence de précipitation, et nécessitait un apport d'eau supplémentaire par train et d'autres véhicules. En 1926, une source d'eau sur la rivière

Colorado est pompée pour les besoins en eau du village. Afin d'économiser les prélèvement en eau potable, il est alors décidé de réutiliser les eaux usées traitées pour de nombreux usages : irrigation des espaces verts, alimentation des sanitaires, lavage des véhicules, etc. (Okun 1997). Lorsqu'on s'intéresse aux RENP existants, les réseaux inventoriés dans la littérature sont listés sur le Tableau 2.

Tableau 2 : Exemples de réseaux d'eau non potables existants

Catégorie de réseau double	Exemples avec la location géographique
Réseau d'eau brute	Eau de surface : Paris, Nice (MNCA 2013)
	Eau de mer (après filtration et désinfection) : Hong-Kong (Okun 1996; Tang 2000)
Réseau d'eau traitée	Etats-Unis : principalement Californie et Floride (WRF 2013)
	Australie : Sidney, Adelaïde, Melbourne (Willis, Stewart, et Emmonds 2010)
	France, Allemagne, Grande-Bretagne (Möhle 1980) Japon :Tokyo (Okun 1996) Péninsule arabique (Canneva 2009) Singapour (Lafforgue et al. 2015) Espagne : Madrid (Comunidad de Madrid 2016)

La liste des réseaux d'eaux usées traitées est comparativement plus élevée que les réseaux d'eaux brutes. En particulier, il existe près de 300 réseaux d'eaux usées traitées inventoriés aux Etats-Unis par la *Water Research Foundation*, bien que cette étude ne distingue pas les réseaux déployés à l'échelle d'une résidence, d'un quartier, ou d'une ville (WRF 2013). D'après cette étude, la raison principale de la mise en place de ces doubles réseaux est la sécurisation des ressources pour leur approvisionnement en eau potable. Nous remarquons que des réseaux d'eaux usées traitées existent également dans d'autres régions où la tension sur la ressource en eau est très forte (Australie, Espagne, Péninsule Arabique).

Les réseaux d'eaux brutes, en parallèle d'un réseau en eau potable, sont plus rares. Le réseau de Nice est un réseau de 260 km (soit comparativement petit par rapport au 1700 km du RENP parisien, servant aux usages municipaux principalement (MNCA 2017). A Hong-Kong, le réseau d'eau brute alimenté par l'eau de mer permet d'alimenter les chasses d'eau après filtration et désinfection depuis les années 1950 (Tang et al. 2007).

Afin de mieux comprendre les enjeux liés à la mise en place des doubles réseaux, nous nous intéressons à trois cas de doubles réseaux : celui de Nice, Madrid, Singapour et Nice. Le réseau de Nice est un réseau d'eau brute qui s'apparente au RENP, de par ses ressources et ses usages et sera décrit succinctement au vu des données collectées pendant la thèse. Madrid et Singapour disposent, quant à elles d'un réseau d'eaux traitées, dont les conditions de mise en œuvre et le fonctionnement seront plus amplement étudiés.

Nice

Le réseau d'eau brute de Nice est alimenté par les eaux de rivières du canal de la Vésubie (MNCA 2013). En 2016, il fournit près de 14,7 10^3 m^3/j principalement aux usages municipaux (espaces verts et nettoyage des rues). Il dessert également deux usagers industriels, une station d'épuration, ainsi qu'une usine d'incinération et de production d'eau chaude (MNCA 2017). Les conditions de la mise en place ne nous sont pas connues à ce jour.

Madrid

La description de ce réseau se base principalement sur les données de Bognon (2009) et de l'APUR (2013c), et du site en ligne de la Ville de Madrid**.**
Madrid est la capitale de l'Espagne et forme avec une quinzaine de villes périphériques la Communauté Autonome de Madrid[3] (CAM). Le climat de la ville est caractéristique du plateau central de la péninsule Ibérique, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 380 mm. La combinaison de l'aridité, caractérisée par un fort déficit hydrique, et les faibles réserves des premiers horizons pédosphériques sont à l'origine d'une préoccupation permanente concernant la ressource en eau.
L'eau y est gérée par l'entreprise Canal de Isabelle II, responsable de l'ensemble des étapes de la parenthèse urbaine de l'eau dans la CAM. L'eau potable consommée dans par Madrid vient des rivières de la Sierra Guadarrama et des principaux aquifères de la région (Canal de Isabel II 2017).
Au sein de la Ville de Madrid, la sécheresse de l'été 1992 a amené les services techniques à utiliser de l'eau peu épurée des stations de traitement pour préserver les parcs et jardins historiques et d'intérêt éducatif. Ces eaux peu épurées ont été transportées par camion-citerne des stations aux points d'arrosage. Suite à cet événement, la municipalité se met en rapport avec le Ministère de l'Environnement dès 1993 et démarre des études concernant la demande en eau, et les niveaux d'épuration nécessaires afin de concevoir le RENP.

[3] La communauté autonome est une entité territoriale dotée d'une certaine autonomie par rapport à l'Etat centrale, notamment dans les domaines législatifs et exécutifs.

En 2006, le département de l'Environnement et Services de la Ville[4] élabore un document législatif municipal, « *l'Ordonnance de gestion et d'usage efficient de l'eau dans la ville de Madrid* »[5] (Ayuntamiento de Madrid 2006). Ce document identifie en particulier trois types de ressources hydriques alternatives :

- les « eaux régénérées » provenant des stations d'épuration du système d'assainissement de la ville
- les eaux d'exhaure, eaux de drainage issues du réseau d'infrastructures souterraines de Madrid et des puits conçus pour rabaisser la nappe
- les eaux provenant des systèmes de captage et de stockage des eaux pluviales.

La principale ressource alternative à l'eau potable à Madrid est l'eau régénérée, c'est-à-dire de l'eau épurée soumise « *à un traitement complémentaire qui permet d'obtenir une qualité adaptée à sa réutilisation postérieure »* (Ayuntamiento de Madrid 2006). En 2012, 273 10^6 m^3 d'eaux usées ont été traitées à Madrid (APUR 2013c, 76; Ayuntamiento de Madrid 2013). Sur la totalité des eaux usées traitées, 6,22 10^6 m^3 ont été régénérés, soit une production de 17,0 10^3 m^3/j.

La deuxième ressource la plus importante est l'eau issue des puits de captage des eaux d'exhaure. Ces puits ont été installés par la Ville pour protéger son réseau d'infrastructure de transport souterrain. Plus d'une centaine de puits ont été installés par la Ville afin de rabaisser les eaux de nappes à proximité des infrastructures souterraines et de les pomper vers les égouts. Certains puits peuvent aujourd'hui pomper ces eaux directement vers les réseaux d'eaux « régénérées » ou vers des réservoirs dédiés à un usage local (nettoyage des voiries, arrosage). Suite aux échanges avec la Ville de Madrid, l'APUR estime le volume récupéré à environ 100 10^3 m^3/an, soit environ 274 m^3/j (APUR 2013c).

Enfin, la dernière ressource est l'eau pluviale, issue du ruissellement vers les réseaux assainissement. La récupération des eaux pluviales est réalisée *via* des installations de caniveaux reliant les fosses d'arbres. Les eaux peuvent être également stockées localement et réutilisées, par exemple pour l'arrosage des espaces verts (APUR 2013c). Cette ressource reste toutefois une ressource d'appoint au vu de la faible pluviométrie et constitue des volumes négligeables par rapport aux eaux usées traitées.

L'ensemble des ressources représentent 6,30 10^3 m^3/an à Madrid, soit 3% des consommations en eau potable de la Ville. Ces ressources alternatives sont distribuées dans un réseau d'un linéaire total de 145 km au sein de la ville de Madrid. Ce RENP est utilisé essentiellement pour le nettoyage des voies publiques et l'arrosage des espaces verts. Les industries et les particuliers peuvent aussi se raccorder au RENP, toutefois leur utilisation est fortement règlementée par l'ordonnance municipale.

[4] « Área de Gobierno de Medio Ambiente y Servicios a la Ciudad »
[5] « Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid »

Aujourd'hui, l'intégralité du réseau n'est pas achevée. La Figure 9 présente l'étendue du RENP sur la Ville de Madrid, en indiquant le réseau d'eaux régénérées existant en 2011 (en rouge) et le réseau en cours de réalisation (en vert). Sur cette Figure, il apparaît que deux types d'ouvrages connectés au réseau permettent de stocker l'eau non potable : les bassins et les réservoirs. Alors que les *réservoirs* jouent le rôle de tampon afin d'assurer la pression et le débit de service dans le réseau, les *bassins* permettent de stocker l'eau pour le chargement de camions-citernes lors du nettoyage des rues (APUR 2013c).

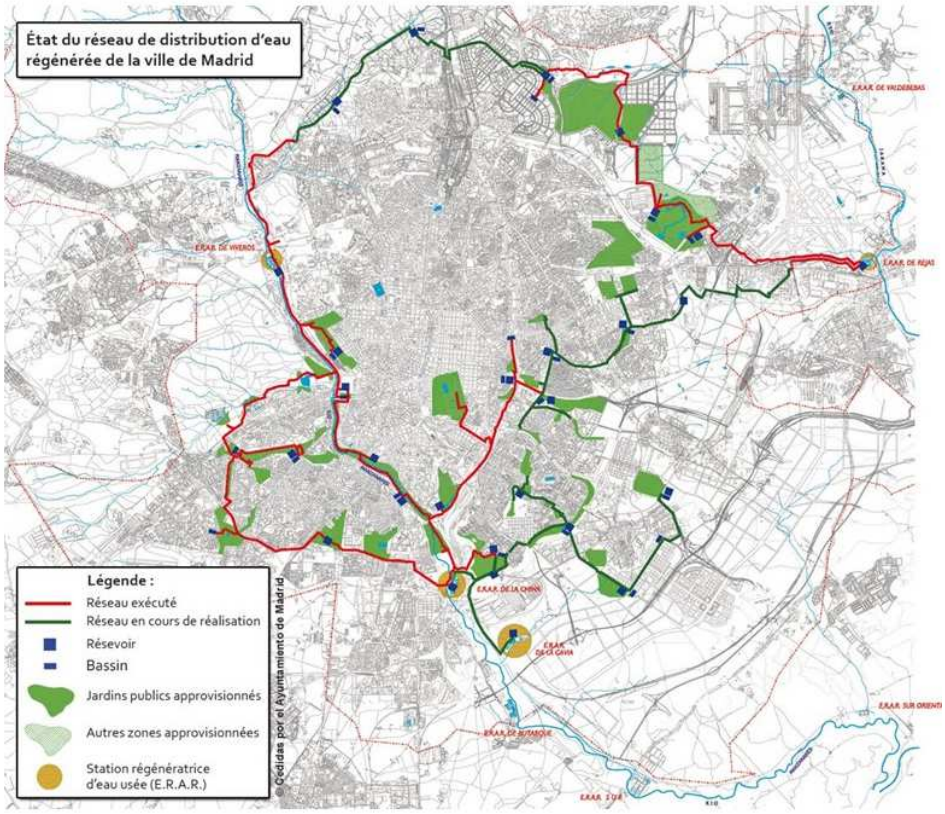


Figure 9 : Réseau d'eau non potable à Madrid, ses ressources et ses usages (APUR 2013c, 77)

L'eau non potable est également distribuée à 24 municipalités voisines de Madrid, faisant partie de la CAM et à 10 terrains de golf privés. Nous notons également que la Ville a mené une campagne de sensibilisation importante autour du RENP vis-à-vis du public, notamment par la mise en place de panneaux d'information sur la qualité de l'eau utilisée. Des objections de la société civile à l'encontre de la réutilisation des eaux usées traitées ne nous sont pas connues à ce jour.

Ainsi, bien que les consommations restent faibles par rapport aux consommations en eau potable, la mise en place de ce réseau permet à la Ville de Madrid de sécuriser son approvisionnement en eau potable, ainsi que de celui des municipalités voisines face à d'autres potentiels épisodes de sècheresse à venir.

Dans la suite, nous nous intéressons au cas de Singapour, où le choix de diversifier ses ressources en eau s'explique moins par les conditions climatologiques que par un choix géopolitique.

Singapour

Les données présentées ci-après sur la gestion de l'eau à Singapour sont issues des travaux de Lafforgue et al. (2015), principale référence sur le sujet. Singapour est une ile « ville-état » située près de la frontière malaisienne (*cf*. Figure 10) avec un climat chaud et humide et une précipitation annuelle moyenne de 2 400 mm.

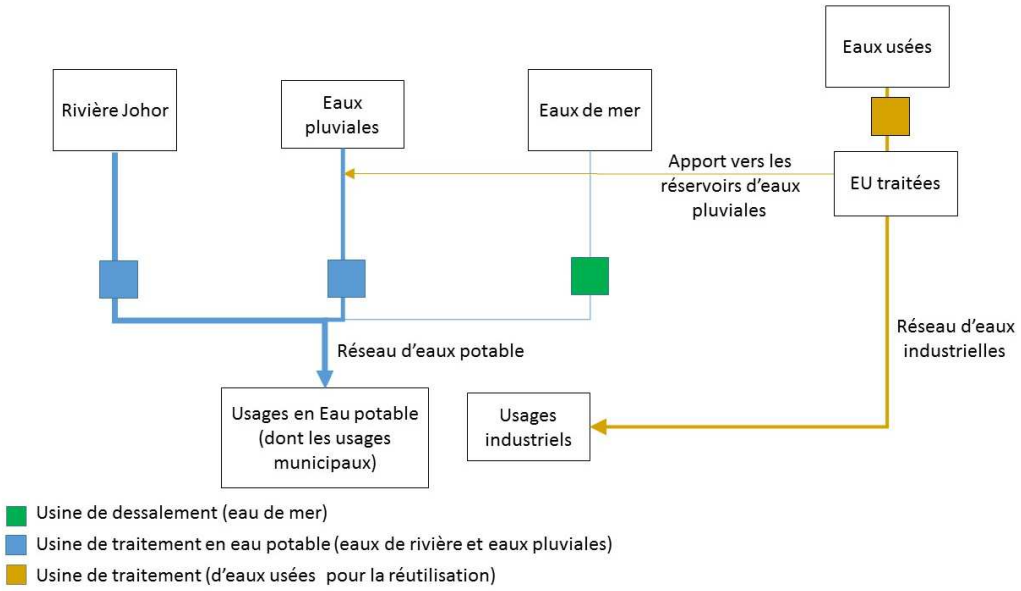
Figure 10 : Singapour, une île située à proximité d'un de ses fournisseurs d'eau la Malaisie (MAEDI 2017)

Au moment de son indépendance en 1965, l'eau de Singapour était principalement fournie par l'État de Johor en Malaisie dans le cadre d'un accord bilatéral. Cet accord prévoit à l'heure actuelle de fournir 415 10^6 m^3 par an jusqu'en 2060. Or, l'Etat de Singapour exprime aujourd'hui le souhait de limiter la dépendance d'une source étrangère concernant les ressources en eau, au vu des souvenirs marquants que l'Etat a gardé de l'invasion japonaise de Singapour en 1942. En outre, Singapour connait une forte croissance économique et démographique depuis son indépendance, ce qui a engendré une croissance de la demande en eau.

Dans ce contexte, la politique de l'eau à Singapour repose sur deux objectifs : réduire la demande en eau et développer d'autres ressources disponibles en eau pour l'ile.

Ces objectifs sont poursuivis par l'unique opérateur public de l'eau à Singapour, le *Public Utility Board*. Cette agence a été intégrée en 2001 au ministère de l'environnement et des ressources en eau, et est en charge de toutes les étapes de la parenthèse urbaine de l'eau.

Singapour a atteint son objectif de réduction de la demande en eau par des moyens tels que la facturation incitative, les campagnes de communication et les dispositifs d'économie d'eau.
Quant à la diversification de ses ressources en eau, Singapour dispose désormais de quatre sources d'approvisionnement en eau. Ces quatre ressources, appelées également les quatre robinets nationaux (« *Four national taps* »), sont les eaux de rivières, les eaux pluviales, l'eau usée traitée et l'eau de mer. Ces quatre ressources pour Singapour sont schématisées dans la Figure 11.



En bleu : eau potable, en marron : eau usée traitée.

Figure 11 : Le double système d'alimentation en eau à Singapour

La première ressource, l'eau de rivière, est importée de la rivière Johor par le biais de trois canalisations reliant les deux pays. Cette ressource représente aujourd'hui près de 250 10^6 m^3 par an, soit 40% des besoins en eau de Singapour. La deuxième ressource, l'eau pluviale, représente un potentiel intéressant dans la mesure où Singapour reçoit environ 2 400 mm de précipitations par an. Pour cela, l'Etat a engagé la construction de 17 réservoirs de stockage et des stations de traitement dédiées. Les volumes annuels récupérés en eaux pluviales représentent aujourd'hui 150 10^6 m^3/an, soit 24% des besoins totaux.

La troisième source d'eau est l'eau usée traitée, qui porte également le nom de sa technologie de traitement : « *NEWater* ». L'eau usée traitée connait une combinaison de plusieurs traitements : la microfiltration, l'osmose inverse et le traitement UV. En 2012, la production totale de *NEWater* a été de 110 10^6 m^3 par an, soit environ 18% de la demande totale d'eau et 32% des besoins industriels. Les effluents traités sont également réutilisés (à raison de 25 10^6 m^3 par an) pour alimenter l'industrie pétrochimique de l'île de Jurong. Une faible part de l'eau usée traitée (2%) est récupérée et est envoyée aux réservoirs de stockage de l'eau pluviale, destinés à l'approvisionnement en eau potable.

Enfin, la quatrième ressource est l'eau de mer. Celle-ci est dessalée par deux usines de dessalement qui utilisent la microfiltration et l'osmose inverse. Ce processus étant fortement consommateur en énergie, les usines sont utilisées essentiellement comme installations de secours pour gérer les pointes de la demande.

Ce choix de Singapour de diversifier ses ressources en eau n'a pas des conséquences neutres sur ses consommations énergétiques. En effet, des estimations indiquent que l'utilisation de ses ressources locales augmente les consommations d'énergie de 0,66 kWh/m^3 en 2012 à 1,31 kWh/m^3 d'ici 2030. De ce fait, Singapour cherche désormais des moyens pour réduire l'empreinte énergétique de l'eau à chaque étape du cycle de l'eau. Des solutions possibles portent sur les procédés de traitement des eaux usées traitées, ou une plus grande récupération des eaux pluviales.
Ainsi, l'exemple de Singapour montre qu'une diversification des ressources ne s'accompagne pas forcément d'un moindre impact énergétique : tout dépend du type de la ressource mobilisée (volumes et qualité) et de sa distance par rapport aux usages à satisfaire.

Lorsqu'on considère les deux cas de Madrid et de Singapour, nous constatons que les deux endroits mettent en place le double réseau afin de sécuriser leur approvisionnement en eau potable. Les raisons derrière cette sécurisation de l'approvisionnement diffèrent néanmoins : ce sont les conditions climatologiques pour Madrid et les enjeux géopolitiques pour Singapour. Dans les deux cas, l'opérateur de l'eau public est en charge de toutes les étapes de la parenthèse urbaine de l'eau. Dans le cas de Singapour, les enjeux énergétiques semblent représenter un enjeu majeur dans la gestion future de ses ressources en eau.

Au regard des doubles réseaux existants, nous identifions dans la suite les principales interrogations soulevées par la littérature.

2.4.2 De multiples enjeux aujourd'hui soulevés

Bien que le principe du double réseau date depuis l'époque des Romains, la réflexion sur les doubles réseaux reste finalement assez récente. Cette partie présente l'ensemble des interrogations soulevées par les travaux réalisés sur les doubles réseaux.
Les premiers travaux identifiés sur les doubles systèmes ont été réalisés aux Etats-Unis, par l'*American Water Works Association* (AWWA), avec les travaux fondateurs de Haney et al. (1965) suivis ensuite de ceux d' Okun (Okun 2007, 1997, 1996).
En 2013, la *Water Research Foundation* (WRF) aux Etats-Unis fait l'état des lieux rétrospectif des « *Dual water systems* » aux Etats-Unis. L'ingénierie et les coûts économiques des systèmes doubles sont également étudiés par l'*International Water Association* (Tang et al. 2007). En Australie, la *Water Services Association* a élaboré des schémas standards de conception des doubles réseaux (WSAA 2002), en supplément au « *Water Supply Code* » qui règlemente les doubles réseaux.

En Europe, les travaux sur les doubles réseaux sont beaucoup moins nombreux. Möhle (1980) s'est intéressé à la mise en place de doubles réseaux à l'échelle du ménage, de l'industrie et de la ville. Les doubles réseaux seront étudiés en France par Montginoul (2006) et (Canneva (2009). Seul le cas Parisien fera l'objet de nombreuses études commanditées par la VDP depuis ces vingt dernières années (EDP 2011; Hydratec 1997; Prolog Ingenierie 2009; SAFEGE 2008). Sur le plan de la recherche, le RENP parisien fait cependant l'objet de peu de travaux (Deroubaix et al. 2015; Seidl et al. 2016).

Au regard de ces différentes études, les enjeux principalement soulevés sont les enjeux économiques, l'impact environnemental, et les risques d'interconnexion. Nous terminerons dans cette partie avec les travaux qui abordé les doubles réseaux de manière pluridisciplinaire, c'est-à-dire en cherchant à croiser les différents enjeux.

2.4.2.1 Un intérêt économique fortement dépendant du contexte

Il n'existe pas de consensus sur les gains économiques d'un double système par rapport à un système simple de distribution en eau. En effet, la comparaison de ces deux systèmes nécessite de définir au préalable si le système d'alimentation en eau non potable est construit en même temps ou après le système d'alimentation en eau potable.

Plusieurs configurations sont étudiées dans la littérature. Haney et al. (1965) et Möhle (1980) s'intéressent à l'intérêt d'un double système dans une ville, lors de la phrase de conception des réseaux d'eau dans une Ville. Tous deux s'accordent sur le fait que la comparaison économique dépend essentiellement des hypothèses de traitement pour l'eau potable. Lorsque celle-ci connait un traitement « conventionnel » (tamisage, décantation et filtration), le système simple est plus avantageux économiquement. Lorsque le système d'alimentation en eau potable fait recours à un traitement plus avancé, le système double s'avère plus avantageux, aussi bien en termes de coûts d'exploitation que d'investissement.
Cette question a été également abordée par Kang et al. (2012), qui comparent un système simple et un système double d'alimentation en eau fictif sur le plan économique. D'après leurs résultats, le système simple s'avère plus avantageux économiquement que les doubles systèmes, en considérant uniquement les coûts d'investissement et de fonctionnement des conduites et des pompes.

Lorsqu'un système d'alimentation en eau potable est déjà existant, la mise en place d'un second système en parallèle nécessite des investissements importants. Möhle (1980) a fait l'exercice théorique sur un système simple d'alimentation en eau potable dans une ville, qui intègre un deuxième système distribuant des eaux industrielles. Ses calculs montrent que la mise en place de ce double système aboutit à une augmentation du prix de l'eau potable par deux, si elle est financée par la facture de l'eau.

Par ailleurs, le financement d'un double réseau appelle à réfléchir à la tarification, qui est aujourd'hui encore peu étudiée (WRF 2013, 16). Nous citerons le cas de la Ville San Diego, aux Etats-Unis, qui a mis en place un réseau d'eaux usées traitées à partir de 1995, suite aux négociations avec l'Agence de protection environnementale au sujet du rejet des effluents en milieu naturel. Ce réseau de 110 km distribue des eaux usées traitées destinées à des usagers industriels de San Diego et à des municipalités voisines. En 2009, la Ville de San Diego commande une étude afin d'évaluer et d'améliorer la gestion financière du système de recyclage des eaux. L'étude montre que la gestion de ce réseau est déficitaire. Certes, la Ville reçoit les recettes liées aux ventes d'eau, et des apports financiers complémentaires des organismes en charge de la fourniture d'eau (ici le *Metropolitan Water District of Southern California* et la *San Diego County Water Authority*). Toutefois, l'ensemble de ces recettes et des ces apports complémentaires ne permettent pas de couvrir les coûts d'exploitation et les investissements. Or, San Diego ne peut pas fortement augmenter le prix de l'eau usée traitée, car elle doit maintenir la vente de cette eau attractive. Une possibilité évoquée par l'étude consiste alors à solliciter d'autres sources de financement, comme celle de l'acteur en charge de l'assainissement (ici le *Metropolitan Wastewater Department de San Diego*).

Enfin, lorsqu'on considère un double réseau déjà existant et qu'on souhaite étudier connaitre les enjeux économiques de son évolution, les études identifiées portent essentiellement sur le cas Parisien. L'ensemble des études tendent à montrer que la dépose du RENP est plus coûteuse que son maintien (EDP 2011; Hydratec 1997; Merlin 1986; SAFEGE 2008).
A l'étranger, seule une étude porte sur le double réseau à Hong-Kong (Tang, Yue, et Ku 2007). Ce double système existe depuis les années 1950. Le système d'alimentation en eau non potable est alimenté par l'eau de mer, et permet d'alimenter 80% de la population à Hong-Kong pour leurs chasses d'eau. L'utilisation de l'eau de mer vient en complément de l'eau potable qui provient principalement de l'eau de rivière Dongjiang, achetée à la province de GuangDong de la République Populaire de Chine. Tang et al. (2007) comparent ce double système avec un système simple fictif qui alimenterait également les chasses d'eau des ménages. Leurs calculs sont basés sur la valeur nette actuelle[6], qui tient compte à la fois des coûts d'exploitation et des investissements. Ils montrent que le système double s'avère plus avantageux économiquement que le système simple, notamment en raison des moindres coûts d'exploitation (liés à l'achat de l'eau de rivière et au traitement de potabilisation).

[6] La Valeur actuelle Nette se calcule sur un projet sur *n* années. Si ce projet engendre, pour chaque année t, des bénéfices B_t et coûts C_t ; avec un taux d'actualisation *i*, la VAN se calcule comme suit :

$$VAN = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{C_t}{(1+i)^t} = \sum_{t=0}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

Au vu de l'ensemble de ces études, l'intérêt économique d'un double système dépend fortement du contexte de sa mise en place : la date de construction du RENP (en même temps ou après le réseau d'eau potable), et les choix de traitement d'eau pour les deux types de réseau. Ces différentes configurations sont résumées dans le Tableau 3.

Tableau 3 : L'importance du contexte dans l'évaluation de l'intérêt économique d'un double réseau par rapport à un réseau unique en eau potable

Configurations possibles pour le réseau d'eau potable et d'eau non potable	Gain économique du double réseau	Remarques
EP existant ENP existant	+++	Le maintien du double réseau est plus intéressant que la dépose du réseau d'eau non potable
EP existant ENP à construire	---	La mise en place du RENP engendre des investissements importants
EP à construire ENP à construire	?	Le gain économique du double réseau dépend du choix du traitement des eaux ainsi que de la distance entre usages et ressources

EP : eau potable et ENP : eau non potable

2.4.2.2 Un impact environnemental complexe à évaluer

Deux arguments environnementaux sont avancés pour la mise en place des doubles systèmes, en particulier ceux qui réutilisent les eaux usées traitées (Okun 1997).
Le double réseau permettrait de mobiliser une ressource de moindre qualité qui pourrait se substituer à une ressource fragile d'alimentation en eau potable. Par ailleurs, la réutilisation des eaux usées traitées pour certains usages, tels que l'arrosage, induirait un traitement moins exigeant - et donc moins consommateur en énergie - que pour leur rejet en milieu naturel. Ce deuxième argument est toutefois discutable ; lorsqu'on reconsidère la ville de Madrid, les eaux « régénérées » subissent un traitement supplémentaire en sortie de station d'épuration pour leur réutilisation.
Hormis le cas parisien, deux études ont porté sur l'impact environnemental, et tout particulièrement sur l'impact énergétique des doubles réseaux.
Kang et al. (2012) ont étudié différentes configurations théoriques de doubles réseaux, en étudiant les émissions de gaz à effet de serre associées à la construction des infrastructures et au fonctionnement des pompes. D'après leurs résultats, les productions de gaz à effet de serre varient peu entre le double système et le système simple. Leurs calculs sont néanmoins à remettre en perspective, dans la mesure où les auteurs ne considèrent pas la phase de traitement en eau potable dans leurs calculs.
Les travaux de Barker et al. (2016) s'intéressent à « l'équilibre » entre l'eau et l'énergie (qu'ils désignent par « *Energy and Water trade-offs* ») dans la mise en place d'un double réseau. En effet, si l'utilisation de l'eau non potable permet d'économiser les coûts de traitement, des coûts de pompage supplémentaires peuvent être générés par

l'exploitation d'un second réseau, et méritent d'être évalués plus précisément selon les auteurs. Pour cela, ces derniers étudient l'extension d'un double système existant à Cary, aux Etats-Unis. Leurs résultats montrent que, quelques soit les *scenarii*, l'utilisation d'un double réseau à Cary engendre moins de consommations énergétiques que le réseau d'eau potable seul. Ils soulignent néanmoins que ces résultats sont propres au site d'étude et ne sont donc pas généralisables.
L'impact environnemental du double réseau parisien a été l'objet de nombreuses études, lors des discussions sur le devenir du réseau (PwC 2009; Quantis 2009; SAFEGE 2008). Alors que SAFEGE (2008) s'est intéressé principalement aux consommations énergétiques du RENP, PwC (2009) et Quantis (2009) ont réalisé une méthode basée sur l'Analyse de Cycle de Vie. Ces études évaluent l'impact environnemental de plusieurs évolutions du RENP, soit son maintien ou son abandon progressif. Toutes montrent des effets opposés dans l'évaluation de l'impact environnemental de la gestion du RENP : les consommations énergétiques du RENP sont certes plus faibles que celles du réseau en eau potable, mais le RENP sollicite plus de ressources en eaux en raison de son rendement comparativement plus bas. L'ensemble de ces études présentent cependant la même limite, qui porte sur l'estimation du rendement du réseau et de ses consommations.

Ainsi, l'évaluation de l'impact environnemental d'un double réseau s'avère complexe en fonction du choix des éléments à considérer (prélèvement dans la ressource et/ou consommation énergétique), ainsi que des connaissances disponibles sur les réseaux.

2.4.2.3 L'interconnexion entre réseaux, un risque à anticiper mais peu constaté

L'interconnexion entre les deux réseaux est moins un sujet de recherche qu'une nécessité évoquée par les différents travaux sur les doubles réseaux. Ceux-ci convergent sur la nécessité de séparer strictement les deux réseaux, pour des raisons sanitaires, dès les travaux les plus anciens (Haney et Hamann 1965; Möhle 1980),

Aux Etats-Unis, en débit de quelques cas isolés, aucun souci de santé publique majeur n'a été constaté chez les doubles réseaux d'eau (WRF 2013). Un cas de mauvaise connexion pendant l'installation du double réseau a été mentionné par l'étude de la WRF. Dans le cadre d'un schéma directeur (« *Master Plan* ») sur l'eau à Pimpama Coomera, dans l'état de Queensland en Australie, des eaux usées traitées ont été réutilisées à l'échelle du bâtiment par 630 ménages pour les chasses de toilettes et les usages domestiques extérieurs. Les résidents ont alors fait part de mauvaises odeurs dans les robinets de cuisine et de salles de bassins, qui résultaient en fait d'une interconnexion entre les réseaux d'eau potable et d'eau non potable. Onze heures après la détection du problème, l'interconnexion a été supprimée et le double système a fonctionné à nouveau. Bien que certaines personnes aient signalé des symptômes de gastroentérites, les risques sanitaires ont été estimés faibles par les autorités médicales au vu de la composition de l'eau usée traitée.

Dans le cas de Paris, le RENP a desservi l'intérieur des bâtiments jusqu'au début du XXème siècle. Quelques mauvaises utilisations de l'eau non potable ont abouti à la suppression de branchements d'eau non potable à l'intérieur des bâtiments dans paris intra-muros. (EDP 2016a). Aujourd'hui, pas de problème d'interconnexion majeur n'a été constaté. L'ensemble de ces retours d'expérience montrent aujourd'hui que le nombre d'incidents avérés d'interconnexion reste faible au sein des doubles réseaux.

2.4.2.4 Une vision multidisciplinaire des doubles réseaux embryonnaire

Certains travaux ont cherché à avoir une vision globale des doubles réseaux, en cherchant à croiser différents enjeux, comme les enjeux économiques, environnementaux et sociaux.
Kang et al. (2012) développent un algorithme basé sur une approche « Triple Bottom Line » (Elkington 1998). Le principe de cette approche consiste à évaluer un objet ou une activité selon les volets économiques, environnementaux et sociaux de la durabilité. L'évaluation des volets économiques et environnementaux a été décrite dans les paragraphes précédents. Concernant le volet social, les auteurs choisissent d'évaluer la « fiabilité » du réseau, c'est-à-dire sa capacité à distribuer l'eau avec une pression et une qualité minimale aux usagers, malgré les casses de conduite. Sur cet aspect, leurs simulations montrent que le double système est estimé plus fiable concernant les ruptures de canalisations, en raison de ses diamètres de conduites plus faibles par rapport au système simple. Ce résultat mérite toutefois d'être nuancé au regard des hypothèses faites sur les ruptures de canalisations, qui sont basées uniquement sur le diamètre des conduites. Ces hypothèses ne prennent pas compte d'autres facteurs comme la pression, les conditions du sol ou le matériau de la conduite. Ainsi, les auteurs sont pionniers dans leur manière d'aborder de manière les doubles systèmes selon plusieurs objectifs. Néanmoins ils admettent que leur méthode d'estimation nécessite d'être précisée avant de constituer une aide pour le décideur dans la phase de conception de réseaux.

Canneva (2009) aborde les doubles réseaux également de manière globale. Il se saisit du concept de la durabilité des services d'eau, dans lequel il distingue trois volets : environnemental et sanitaire, économique, et social. Il formule l'ensemble de ces interrogations sur les doubles réseaux par rapport à ces trois dimensions (*cf*. Annexe 1).
Dans sa dimension environnementale, Canneva intègre les enjeux sanitaires liés à la l'utilisation de l'eau non potable. Ceci peut s'avérer discutable, dans la mesure où les risques sanitaires touchent l'individu et peuvent donc être intégrés dans la dimension sociale de la durabilité.
Par ailleurs, sa dimension sociale de la durabilité intègre des enjeux économiques, car elle est axée sur le prix de l'eau non potable et son acceptation par les usagers. Pour notre recherche, il nous paraît intéressant d'élargir la définition de la dimension sociale et d'y intégrer également l'impact des doubles réseaux sur les acteurs institutionnels

associés à l'eau. En effet, le cas de Singapour nous a montré que le choix d'un double réseau résulte d'un choix géopolitique qui n'est pas neutre sur son pays voisin, la Malaisie. Nous verrons également qu'avec le cas du RENP parisien, toute décision sur ce réseau n'impacte pas seulement les acteurs du service de l'eau, mais plus largement le système d'acteurs associés au réseau. Nous reformulons l'ensemble de ces enjeux liés aux doubles réseaux dans le Tableau 4.

Tableau 4 : Enjeux soulevés par les systèmes doubles d'alimentation en eau

Enjeux	Système double d'alimentation en eau potable
Economique	Le traitement d'une partie seulement de l'eau de la ville pour des usages exigeants (ex :consommation humaine, etc.) permet-il de diminuer les coûts totaux par rapport à un réseau unique d'eau potable ? Le coût du patrimoine du RENP est-il correctement provisionné ?
Social	Santé publique : L'eau non potable distribuée comporte-t-elle des risques sanitaires pour les usages qui en sont fait ? Acceptation sociale : La perception des usagers (et plus largement du citoyen) joue-t-elle un frein ou un levier à la mise en œuvre du réseau ? Acteurs institutionnels : Quel impact a un changement de l'approvisionnement du double réseau sur les relations entre les acteurs institutionnels ?
Environnemental	L'utilisation des différentes ressources permet-elle de moins solliciter une ressource fragile destinée à l'alimentation en eau potable ? L'énergie de pompage sur deux réseaux est-elle compensée par la diminution des coûts de traitement de l'eau potable ?

Concernant les enjeux sociologiques, il apparaît que l'analyse des jeux d'acteurs autour des doubles réseaux reste quasiment inexistante sur le plan de la recherche. Seuls les travaux de Deroubaix et al. (2015) ont porté sur les jeux d'acteurs autour du RENP Parisien lors de la conférence de consensus en 2010. Au vu des multiples enjeux associés au RENP, il nous paraît nécessaire de caractériser plus finement cet objet de recherche dans le paragraphe suivant.

2.5 Le réseau d'eau non potable comme système socio-technique

Le RENP mérite à juste titre son appellation de *réseau*, dans la mesure où il constitue un ensemble interconnecté de conduites et de nœuds (représenté par un maillage hydraulique) qui permettent de distribuer l'eau à une certaine pression et qualité minimale pour les usagers.

Cet objet se distingue par un lien indissociable qui se crée avec l'Homme qui le gère et l'utilise. En effet, le réseau n'a pas de raison d'être sans un utilisateur (ou un ensemble d'utilisateurs), et son fonctionnement pérenne nécessite l'intervention d'un gestionnaire. Une vision uniquement technique ne suffit donc pas pour appréhender toute la complexité du réseau. Ainsi, le concept de *système socio-technique* nous paraît pertinent pour mettre caractériser notre objet de recherche.

Un système est défini comme *« une entité complexe traitée (eu égard à certaines finalités) comme une totalité organisée, formée d'éléments et de relations entre ceux-ci, les uns et les autres étant différenciés et définis en fonction de la place qu'ils occupent dans cette totalité et cela de telle sorte que l'identité de la totalité soit maintenue face à certaines évolutions ».* (Roy 1985, 41).

La notion de système socio-technique consiste à lier les objets techniques et physiques avec les acteurs. Cette approche réside dans le fait de ne plus voir les acteurs et les techniques comme des sujets distincts, mais comme un tissu « *sans coutures* » (Hughes 1986).

Dans sa thèse, K. Chatzis étudie les pratiques de régulation des réseaux d'assainissement qu'il caractérise alors comme système socio-technique. L'auteur fournit également sa propre définition de ce concept, présentée ci-après *:*

> « système composé d'éléments techniques (physiques) et organisationnels, formellement organisé sur la base de règles et de rôles, de normes et de contrôles, de programmes et de positions plus ou moins standardisées, en vue de réaliser des objectifs prédéfinis ». (Chatzis 1993, 7) .

En d'autres termes, le système socio-technique associé au RENP désigne un système composé à la fois d'objet physiques (l'environnement, telles que les ressources en eau), d'objets techniques (réseau, usine de production), et d'objets organisationnels (acteurs institutionnels, usagers,…).

2.6 Conclusions

Après avoir discuté de l'émergence du concept de durabilité et de ses différentes représentations, nous avons défini une gestion durable de l'eau à l'échelle d'une ville comme une gestion qui doit permettre le maintien d'une bonne qualité de l'environnement à long-terme, sur son propre périmètre comme sur celui de ses territoires adjacents. Lorsqu'on considère la gestion de l'eau en ville en France, nous pouvons nous interroger sur sa durabilité, en raison du coût environnemental des traitements de potabilisation. Dans le contexte du changement climatique, la pression accrue sur la ressource amène les producteurs à chercher plus loin des ressources en eau – et donc à consommer plus d'énergie pour leur acheminement. Un levier possible pour optimiser ces consommations énergétiques consiste à penser autrement la relation entre ressources et usages, du point de la qualité.

A l'échelle d'une ville, nous estimons que près de 50% des usages de l'eau *a minima* ne nécessitent pas forcément une qualité en eau potable. Ces usages peuvent être satisfaits par l'eau non potable à l'échelle d'un bâtiment, mais également à l'échelle d'un secteur industriel ou d'une ville. Lorsqu'on considère les doubles réseaux existants dans le monde, nous constatons que la principale raison évoquée pour leur mise en place est la sécurisation des ressources pour leur approvisionnement en eau potable, en disposant d'autres ressources alternatives. Au vu de ce motifs invoqué, il ne semble pas évident que les doubles réseaux, tels qu'ils fonctionnent aujourd'hui, contribuent à une gestion durable des ressources en eau.
Sur le plan scientifique, très peu de travaux s'intéressent à l'impact environnemental des doubles réseaux. Les quelques travaux axés sur l'énergie montrent que l'impact énergétique du RENP est fortement dépendant de la distance entre usages et ressources, ainsi que du choix des traitements opérés pour l'eau potable.

De par les liens intrinsèques entre acteurs et réseau d'eau, nous pouvons caractériser le RENP comme un système socio-technique. Ceci est illustré par les cas de Singapour et de Madrid, pour lesquels la mise en place d'un RENP a été le résultat d'une volonté politique de la ville pour Madrid et l'Etat pour Singapour. Nous verrons qu'il en a été de même pour Paris. Ainsi, pour ces trois cas de gestion directe, les acteurs travaillent main dans la main pour gérer leurs RENP. Nous constatons cependant que la recherche sur les jeux d'acteurs autour des RENP à l'échelle d'une ville demeure quasiment inexistante. Suite à cet état de l'art réalisé sur les doubles réseaux, nous souhaitons désormais comprendre notre terrain de recherche. La description du RENP parisien et les potentielles évolutions de son alimentation font ainsi l'objet du chapitre suivant

3 Le réseau d'eau non potable, un système socio-technique aux contours imprécis et aux évolutions incertaines

Ce chapitre décrit le système socio-technique associé au RENP et les évolutions possibles de son alimentation. Pour cela, il nous est d'abord nécessaire de délimiter les contours de notre *territoire géographique*, c'est-à-dire l'espace géographique dans lequel infrastructures techniques et milieu naturels sont mobilisés pour le fonctionnement du RENP.

De toute évidence, notre territoire comporte Paris intra-muros, au sein duquel le curage des égouts, le nettoyage des voiries et la gestion des espaces verts sont satisfaits par l'ENP. Les Bois de Boulogne et de Vincennes, adjacents à Paris intra-muros, sont également alimentés par l'eau non potable (ENP), principalement pour la mise en niveau de leurs lacs.
Afin de satisfaire l'ensemble de ces usages, l'eau est filtrée sommairement au niveau des usines de production situées à Paris, puis mise en distribution dans le RENP. 20% de l'eau brute est prélevée en Seine et est filtrée par les usines d'Austerlitz et d'Auteuil. 80% restant de l'eau non potable (ENP) est produit à l'usine de La Villette située à l'arrivée du canal de l'Ourcq.

La vision de notre territoire doit cependant être plus large, si l'on souhaite comprendre l'impact environnemental du RENP. En effet, la principale ressource du RENP est issue du canal de l'Ourcq, faisant 100 km de long au Nord Est de Paris. Ce Canal est lui-même alimenté par la rivière Ourcq, des affluents du canal et par un pompage d'appoint dans la rivière Marne. Au vu de ces considérations, notre territoire géographique est ainsi représenté sur la Figure 12.

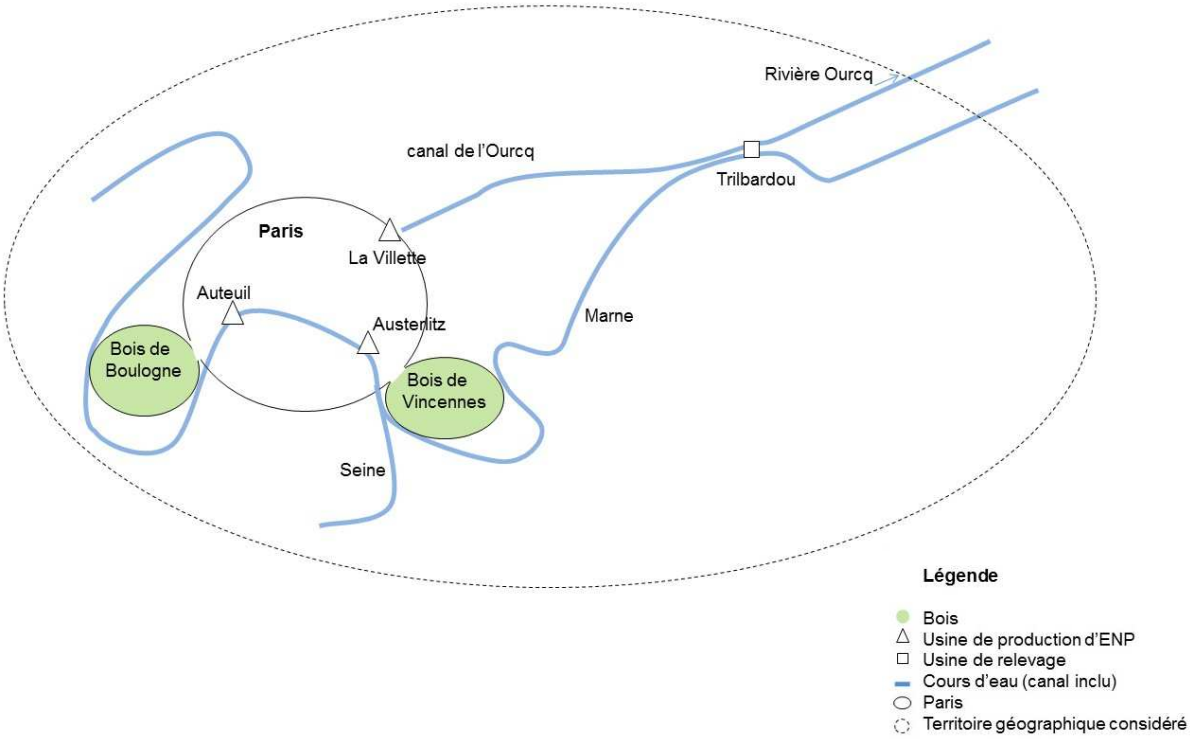


Figure 12 : Territoire géographique associé au RENP, à ses usages, et à ses ressources

Dans la suite, nous chercherons d'abord à comprendre le fonctionnement du RENP, et comment il s'insère dans la ville et dans son environnement. Ensuite, nous identifierons les acteurs associés au fonctionnement du RENP et décrirons les relations qui les lient. Enfin, nous aborderons les évolutions possibles de l'alimentation du RENP, en étudiant l'introduction de nouvelles ressources comme les eaux de piscine, les eaux de pluie, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées.

3.1 Un réseau qui s'insère dans la ville et dans son environnement

Pendant les travaux de thèse allant du 2013 au 2017, le fonctionnement du réseau a connu plusieurs évolutions. L'année choisie pour sa description est l'année 2013. En effet, l'année 2014 n'est pas représentative du fonctionnement courant de l'ENP en raison de l'arrêt de l'usine de La Villette pendant plus de quatre mois (EDP 2014c). La mise à disposition des données par les différents partenaires étant lente, la description exhaustive des années 2015 ou 2016 n'était pas possible. On mentionnera cependant les changements majeurs après les années 2013, que l'on jugera pertinents pour la thèse.

3.1.1 Réseau d'eau non potable

3.1.1.1 Historique

Jusqu'à la fin du XVIIIème siècle, Paris était majoritairement alimenté en eau de Seine. Au début du XIXème siècle, l'ensemble des travaux s'entendent à dire que l'eau manque (Graber 2009, 91). Le XIXème siècle est alors marqué par la construction du canal de dérivation sur Paris de la rivière Ourcq, qui dure de 1803 à 1822. Ce canal a une double fonction voulue par l'empereur Napoléon Ier : navigation et alimentation en eau (Hausmann 2000, 956).

L'eau de l'Ourcq et de la Seine, principale ressource en eau, était utilisée pour les usages publics (nettoyage des égouts, alimentation de fontaines) et privés (alimentation des habitations). Cette eau avait par contre l'inconvénient, au vu de l'altimétrie du bassin de la Villette, de ne pas pouvoir arriver au-delà du premier étage des habitations les plus aisées (Belgrand 1882, 2). En 1853, sous l'autorité de Napoléon III, le baron Haussmann devient préfet de la Seine jusqu'en 1870. Son collaborateur Belgrand devint le chef du service des Eaux, Egouts et Voiries en 1856, puis le directeur des Eaux et Egouts de la Ville de Paris en 1867. Haussmann et Belgrand entreprennent la construction d'un vaste ensemble d'égouts déversant à l'aval de la ville toutes les eaux usées.
Appuyés par Napoléon, tous deux firent approuver par le conseil municipal en 1854 le projet de création de deux services de l'eau : le service public et le service privé.
Ce projet maintient le service public déjà en place. Les eaux de surface, jusqu'à alors distribuées dans le réseau existant, servent désormais principalement aux usages publics : l'entretien des voies publiques et des égouts, l'arrosage des espaces verts, et l'alimentation de fontaines publiques, et quelques usages industriels.
Le service privé consiste à acheminer des eaux captées en Champagne et en Bourgogne pour l'alimentation des habitations. Pour ce faire, un programme important de travaux est établi, afin de permettre l'acheminement de ces ressources vers les portes de Paris (*via* les aqueducs), puis jusqu'aux points de consommation (*via* le réseau de distribution).

L'alimentation des maisons en eau de source se développe, passant de 2% en 1875 à 80% en 1887 (Csergo 1988, 228). La consommation de cette ressource est privilégiée par les ménages au détriment des eaux de rivières. Le réseau d'eau public devient alors progressivement le RENP.

Depuis ces quarante dernières années, le RENP a été l'objet de plusieurs décisions (VDP 2012c). Dans les années 1980, la VDP affirme la volonté de préserver les ressources en eau, engendrant une baisse de production d'ENP (plus de détails sont apportées dans la partie 3.2.2).
De 1984 à 2009, le RENP n'a pas été pendant la délégation de service public l'objet de programme de renouvellement ou de rénovation par les délégataires, ces derniers

n'étant tenus contractuellement qu'à une obligation de « libre écoulement » ainsi qu'à la suppression de fuites ponctuelles et de débourbage de conduites
De 2008 à 2012, des demandes de branchements au RENP sont refusées par EDP et la VDP, invoquant l'avenir incertain du réseau. La décision de son maintien est prise progressivement par étapes. Après le passage de la Mairie de Paris à gauche, en 2007, le Conseil de Paris appelle à l'unanimité au maintien du réseau, sa remise en état et à son extension. En mars 2008, la réélection du Maire de Paris Bertrand Delanoë impulse des changements majeurs dans la gestion du service de l'eau à Paris, dont la création d'Eau de Paris[7]. En 2009 et 2010, une conférence de consensus est organisée au terme de laquelle, en juin 2010, un jury d'une quinzaine de personnes se prononce pour le maintien de ce patrimoine. A la suite de la conférence de consensus, la VDP commandite une série d'études complémentaires à l'Atelier Parisien d'Urbanisme sur l'optimisation du réseau et le développement d'usages nouveaux dans le contexte de changement climatique. En décembre 2011, EDP remet à la Direction de la Propreté de l'Eau un rapport de synthèse définitif, avec un scénario d'évolution de l'ENP et des investissements correspondants sur la période 2012-2020. Les 19 et 20 mars 2012, le Conseil de Paris acte le maintien du RENP (VDP 2012b), dont le contenu est mentionné dans l'Encadré 2.

Encadré 2 : Délibération du conseil de Paris le 19 et 20 mars 2012 sur le maintien du réseau d'eau non potable. Extrait (VDP 2012b)

Article 1 : Sont approuvés le maintien du réseau d'eau non potable et son optimisation.
Article 2 : Il est demandé à Eau de Paris de réaliser les investissements de première nécessité et d'engager un programme d'entretien du patrimoine de l'eau non potable.
Article 3 : Les dépenses nécessaires à la libération des implantations foncières non indispensables au maintien de l'activité de production et distribution d'eau non potable seront intégrées dans le bilan foncier de chaque opération.
Article 4 : Il est demandé à Eau de Paris de poursuivre les études, en lien avec les services municipaux et l'APUR, sur les trois axes majeurs d'utilisation à moyen ou long terme du réseau d'eau non potable : la diversification des ressources et la prise en compte des dimensions bioclimatique et métropolitaine.

[7] La création d'EDP sera évoquée plus en détails dans la partie 3.2.2.

Ces dernières décennies, des études ont dressé un état des lieux du RENP et ont étudié les conséquences techniques et économiques du maintien ou de la dépose du RENP. Le Tableau 5 récapitule l'ensemble de ces études. Certaines d'entre elles seront évoquées dans la thèse, en particulier lors de la description des usages.

Tableau 5 : Etudes réalisées sur le RENP

Etablissement en charge de l'étude	Année	Objectif
Merlin	1986	Etat des lieux de la gestion du RENP et recommandations
Hydratec	1997	Etat des lieux de la gestion du RENP Etude des conséquences de la décision du maintien ou de l'abandon du réseau.
SAGEP	2004	Estimation des volumes d'ENP consommés
SAFEGE	2008	Etablissement d'un Schéma Directeur 2010-2025 sur la gestion de l'eau à Paris
Prolog Ingénierie	2009	Diagnostic du RENP pour la préparation de la conférence de consensus
Price Water House Coopers	2009	Bilan environnemental du système d'alimentation en ENP
APUR	2010 et 2011	Etat des lieux de la gestion du RENP et pistes de réflexion sur son devenir
EDP	2011	Evolution de l'exploitation du RENP et propositions d'investissement à 5 ans et 10 ans
APUR	2013	Réflexion sur la diversification des ressources et sur des nouveaux usages du réseau
Thèse CIFRE à la VDP	2013-2015	Etude prospective de l'arrosage urbain à partir de l'ENP pour le rafraîchissement

3.1.1.2 Fonctionnement général du RENP

Trois usines assurent la production d'ENP : La Villette, Austerlitz et Auteuil. L'eau brute passe par un dégrilleur, puis par des tamis (avec une maille de tamisage entre 1 et 4 mm selon les usines).
L'ENP produite est ensuite mise en distribution vers différentes zones du RENP, appelées sous-réseaux. Leur tracé étant déterminé par la topographie de Paris, les sous-réseaux peuvent être distingués par la hauteur piézométrique[8] de l' ENP (EDP 2011) :

- Quatre sous-réseaux dits « supérieurs », Montmartre, Montmartre cuve, Belleville et Belleville surpressé, entre 127 m à 140 m.
- Un sous-réseau dit « haut », Ménilmontant, près de 100 m
- Trois sous-réseaux dits « moyens », Passy, Charonne et Villejuif, entre 81 et 88 m
- Enfin, un sous-réseau dit « bas », le Bas Ourcq, à 51 m.

La Figure 13 présente les sous-réseaux du RENP et les réservoirs associés (décrits plus loin).

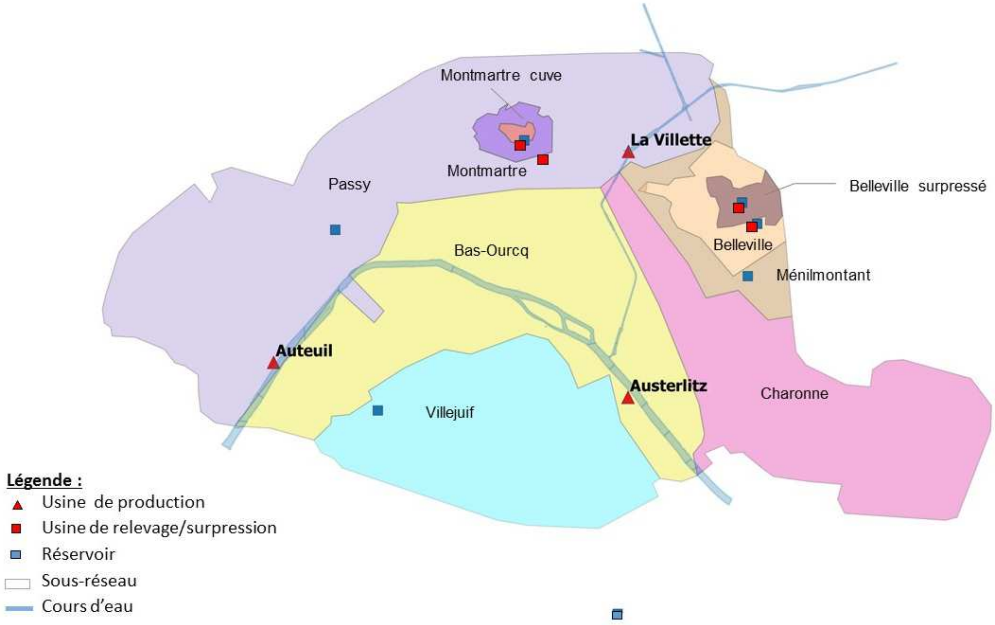


Figure 13 : Sous-réseaux, usines et réservoirs du RENP

[8] La hauteur piézométrique est détaillée plus en détails dans le chapitre 4 (partie 4.1.).

L'ensemble du RENP est « en charge », c'est-à-dire que l'ENP remplit complètement les conduites du réseau. Seul le Bas Ourcq est alimenté gravitairement par l'usine de la Villette. Pour les autres sous-réseaux, l'ENP est distribuée par pompage grâce à des usines de relevage et de surpression. Ces deux types d'usines diffèrent par leur finalité : alors que l'usine de relevage consiste à relever de l'eau d'une côte à une autre (ce qui est le cas pour le remplissage d'un réservoir), l'usine de surpression consiste à maintenir la pression du réseau constante.
Le Tableau 6 présenté ci-après récapitule l'ensemble des installations et les sous-réseaux associés. Ces installations sont également positionnées sur la Figure 13.

L'usine de la Villette produit l'ENP issue du bassin de la Villette dans le 19e arrondissement, à l'aval du canal de l'Ourcq. Elle alimente plusieurs sous-réseaux :

- la partie Est de Passy, dont une partie de l'ENP est relevée vers les sous-réseaux Montmartre grâce aux pompes de relevage Rochechouart
- Montmartre, dont une partie est relevée à nouveau vers la cuve Montmartre
- Ménilmontant, dont une partie de l'ENP est relevée vers Belleville grâce à l'installation de relevage Haxo. Le surpresseur Télégraphe permet de distribuer l'ENP vers le sous-réseau Belleville surpressé.
- le Bas Ourcq, gravitairement, depuis le canal
- en fonctionnement normal, l'usine Austerlitz *via* une conduite de diamètre 1250mm, également gravitairement.

Les installations Haxo, Télégraphe, et Montmartre sont dites « mixtes », car elles comportent des pompes pour l'EP et l'ENP.

L'usine d'Austerlitz, située dans le 13e arrondissement, reçoit en fonctionnement courant une partie de l'ENP issue de La Villette. L'eau est préalablement filtrée à La Villette, puis elle est distribuée par pompage vers Villejuif et Charonne. Austerlitz peut également prélever en Seine, avec plusieurs configurations possibles. Elle peut pomper vers Villejuif et Charonne, mais également vers la partie Sud du Bas-Ourcq. Elle peut également, si besoin, alimenter le bassin de la Villette via une conduite de diamètre nominal (DN) de 1250 mm.

L'usine d'Auteuil est située en rive droite de la Seine, dans le 16e arrondissement. Elle prélève en Seine pour alimenter la partie Ouest de Passy.

Tableau 6 : Ressources, installations de pompage du RENP et sous-réseaux associés

Ressource	Installation	Type d'installation	Sous-réseau associé
Ourcq	La Villette	Production d'ENP, relevage (Ménilmontant) et surpression (Passy)	Ménilmontant Passy (Est)
Seine	Auteuil	Production et relevage	Passy (Ouest)
Seine/Ourcq	Austerlitz	Production et relevage	Villejuif Charonne
Ourcq	Haxo	Relevage	Montmartre
Ourcq	Saint Pierre	Relevage	Montmartre
Ourcq	Montmartre	Relevage	Montmartre château d'eau
Ourcq	Télégraphe	Surpression	Belleville

L'ENP est mise en distribution dans chaque sous-réseau qui dispose de son propre réservoir d'équilibre, hormis le Bas Ourcq - si l'on considère que le bassin de la Villette ne constitue pas un réservoir. Les réservoirs fonctionnent en réservoirs d'équilibre et assurent ainsi les débits de pointe et la pression de service. Hydrauliquement, ce dispositif limite les à-coups de pression provoqués par les changements de marche des usines, ce qui est favorable à la tenue dans le temps des conduites anciennes réputées fragiles. Le réservoir Grenelle permet de desservir le Bas-Ourcq à partir de Villejuif, toutefois il a montré un faible rôle dans cette desserte ces dernières années (EDP 2011).

En cas de nécessité (arrêt d'une usine, casse de conduite), de l'eau potable (EP) peut être déversée ponctuellement dans le RENP, au niveau des réservoirs qui stockent à la fois l'EP et l'ENP (Ménilmontant, Montmartre et Passy). L'ENP est déversée gravitairement d'un compartiment supérieur EP vers un compartiment inférieur ENP de ces réservoirs. L'ENP peut également être déversée en égout lors d'une vidange d'un réservoir pour son entretien, ou d'une vidange de conduite lors de de la réparation de fuites.

Les volumes d'ENP mis en distribution en 2013 correspondent à la somme des éléments suivants :

$$V_{dist} = V_{prod} + V_{dev\,EP} + V_{dev\,Egouts} + \Delta V_{res} \qquad (1)$$

V_{dist} : volumes d'ENP mis en distribution
V_{prod} : volumes produits d'ENP (c'est à dire prélevés dans le canal de l'Ourcq et la Seine)
$V_{dev\,EP}$: déversements en EP
$V_{dev\,Egouts}$: déversements en égouts
ΔV_{res} : variations de stock dues au marnage des réservoirs d'ENP

Le Tableau 7 présente les composantes de la mise en distribution d'ENP pour l'année 2013. L'usine de la Villette est la principale usine de production d'ENP. Les volumes produits représentent la grande majorité (95%) des volumes mis en distribution. Les déversements représentent 2% des volumes en distribution. Les déversements à l'égout et les variations de stock représentent une partie négligeable (<1% au total) des volumes mis en distribution.

Tableau 7 : Composantes de la mise en distribution d'ENP pour l'année 2013

Composantes de la mise en distribution d'ENP		**Volumes (10^6 m^3) en 2013**
Volume produit	La Villette (Ourcq)	59,6
	Austerlitz (Seine)	5,47
	Auteuil (Seine)	11,49
	Total	76,7
Déversement EP/ENP		1,45
Déversement à l'égout		<1
Variation de stock (marnage des réservoirs)		<1
Volume total mis en distribution		**78,1**

La Figure 14 présente les volumes mensuels moyens mis en distribution dans le RENP (exprimés en 10^3 m^3/j) sur les années 2013, 2014 et 2015. Les volumes mensuels mis en distribution dans le RENP varient entre 180 et 250 10^3 m^3/j, avec des pics qui diffèrent selon les années. Le pic d'avril 2013 atteint près de 236 10^3 m^3/j, alors que celui de juillet 2015 atteint près de 247 10^3 m^3/j. En 2014, une augmentation progressive de distribution ENP est constatée jusqu'à novembre.

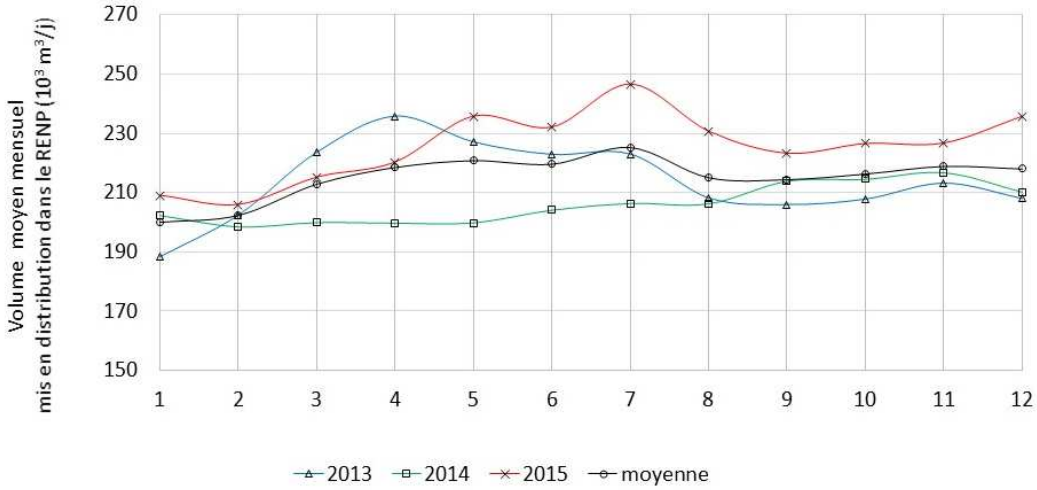


Figure 14 : Variations mensuelles de la mise en distribution d'ENP pour les années 2013, 2014 et 2015

Les différents sous-réseaux sont caractérisés par leurs volumes annuels, la surface et le linéaire des sous-réseaux correspondants (*cf*. Tableau 8). Ce Tableau présente également les volumes annuels ramenés à la surface et les volumes annuels ramenés au linéaire.
Afin de pouvoir comparer les différents volumes journaliers entre sous-réseaux, les volumes en entrée des Bois de Boulogne et de Vincennes sont retirés aux volumes mis en distribution des sous-réseaux Passy et Boulogne.

Tableau 8 : Description des sous-réseaux en 2013

Sous-réseaux	Volume annuel sur 2013 (10^6 m^3/an)	Surface (km^2)	Volume annuel ramené à la surface (10^3 m^3/km^2/an)	Linéaire total (km)	Volume annuel ramené au linéaire ($10^3 m^3$/km/an)
Bas Ourcq	17,6	25,8	682	503	35,0
Belleville	2,42	4,17	725	65	59,4
Charonne	8,76	19,5	450	169	51,9
Ménilmontant	3,98	3,40	1170	49	81,5
Montmartre	3,28	1,18	2 420	28	121,0
Passy	22,4	35,2	528	535	34,8
Villejuif	19,7	17,4	918	318	50,4

On constate des fortes disparités entre les volumes journaliers mis en distribution ramenés à la surface et au linéaire des sous-réseaux. En particulier, Ménilmontant et Montmartre ont des valeurs comparativement plus élevées que les autres sous-réseaux. Cette différence ne peut pas s'expliquer uniquement par les différences d'usages dans Paris. En effet, les usages urbains pour l'ENP sont relativement homogènes sur Paris intra-muros, car on a retiré les consommations des Bois de Boulogne et de Vincennes des volumes annuels de Passy et Villejuif.

Une explication possible porte sur des transferts d'ENP entre sous-réseaux. En effet, les sous-réseaux sont connectés entre eux par des vannes de limites, dont les défauts d'étanchéité entrainent les transferts d'ENP des sous-réseaux dits « supérieurs » et « hauts » vers les sous-réseaux « moyens » et « bas ». La Figure 15 représente les volumes mis en distribution ramenés au km linéaire en fonction des hauteurs piézométriques. On constate que, hormis Belleville, les sous-réseaux avec une hauteur piézométrique élevée ont des volumes mis en distribution ramenés au linéaire comparativement plus élevés.

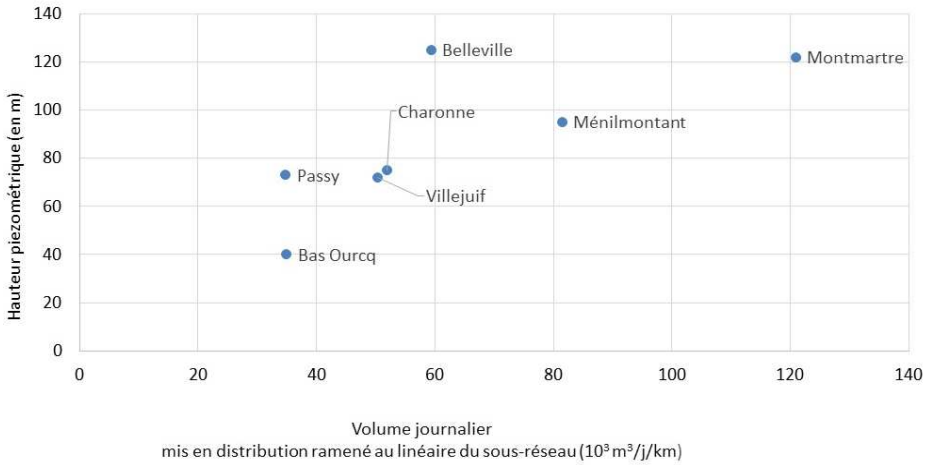


Figure 15 : Relation entre hauteurs piézométrique des sous-réseaux et leurs volumes mis en distribution

Ces transferts d'eau entre réseaux ne sont pas comptabilisés dans les volumes mis en distribution, entraînant ainsi une surestimation des consommations d'ENP des sous-réseaux « supérieurs » et « hauts » et une sous-estimation des consommations d'ENP dans les sous réseaux « moyens » et « bas ».

L'analyse des volumes mis en distribution nous a permis de mieux comprendre le fonctionnement hydraulique du RENP. Nous abordons dans la suite l'exploitation au quotidien et le suivi technique de ce réseau dans le paragraphe suivant.

3.1.1.3 Exploitation et suivi technique

Au quotidien, trois agences à EDP exploitent les réseaux EP et ENP selon un découpage géographique de Paris en trois secteurs (Sud, Ouest et Est). Une équipe est consacrée exclusivement aux installations de pompage. Le Centre de Contrôle et Commande (CCC) d'EDP surveille la distribution du RENP, gère les approvisionnements et répond aux alarmes. En temps réel, il surveille les données des capteurs de débit/pression posés en sortie d'usine et sur les canalisations principales du RENP.
En plus des capteurs suivis en temps réel, EDP dispose de capteurs de débit et de pression sur le RENP, dont les données sont transmises en temps différé. La qualité de l'ENP est également suivie sur le RENP depuis 2012. Un ensemble de paramètres physico-chimiques sont suivis sur près de 40 points de mesure par la Direction Recherche & Développement & Qualité de l'Eau (DRDQE) à EDP. Cette dernière apporte une attention particulière aux légionnelles et amibes pendant les périodes chaudes. Les eaux de rivières alimentant le réseau d'ENP, sont également suivies : la Seine (pont du Garigliano, 15e arrondissement) et le canal de l'Ourcq (pont de la Moselle, 19e arrondissement).

Les données patrimoniales du RENP et des installations de pompage sont centralisées dans un Système d'Information Géographique (SIG) détenu par EDP et opérationnel depuis 2011. Il comporte les données patrimoniales (diamètres, matériaux, dates de pose, etc.) de chaque tronçon du RENP, mais aussi la localisation des réservoirs, des installations de pompage, des vannes et des équipements hydrauliques du RENP.
En analogie avec le réseau d'EP, un modèle hydraulique structurant du RENP (conduites de diamètre supérieur à DN300) a été conçu et construit sous le logiciel EPANET. Au vu de l'absence de données précises sur l'état du RENP et sur ses consommations, EDP ne dispose pas d'un modèle intégral calé en débit et en pression utilisé pour l'exploitation.

3.1.1.4 Travaux majeurs prévus

Un programme de travaux sur le RENP a été établi par EDP et validé dans le schéma directeur sur l'ENP approuvé par le Conseil de Paris en 2015 (plus de détails sur le schéma directeur sont présentés dans la partie 3.2.2). Ce programme de travaux répond à deux objectifs :

- optimiser les modalités d'exploitation des infrastructures ENP en les adaptant au mieux aux besoins actuels et potentiels ;
- identifier des faisabilités de réaffectation d'éléments de patrimoine foncier de la Ville qui n'hypothèqueraient ni la continuité de service d'ENP ni les possibilités futures de développement des usages de l'ENP.

La Figure 16 présente les travaux majeurs envisagés dans le schéma directeur.

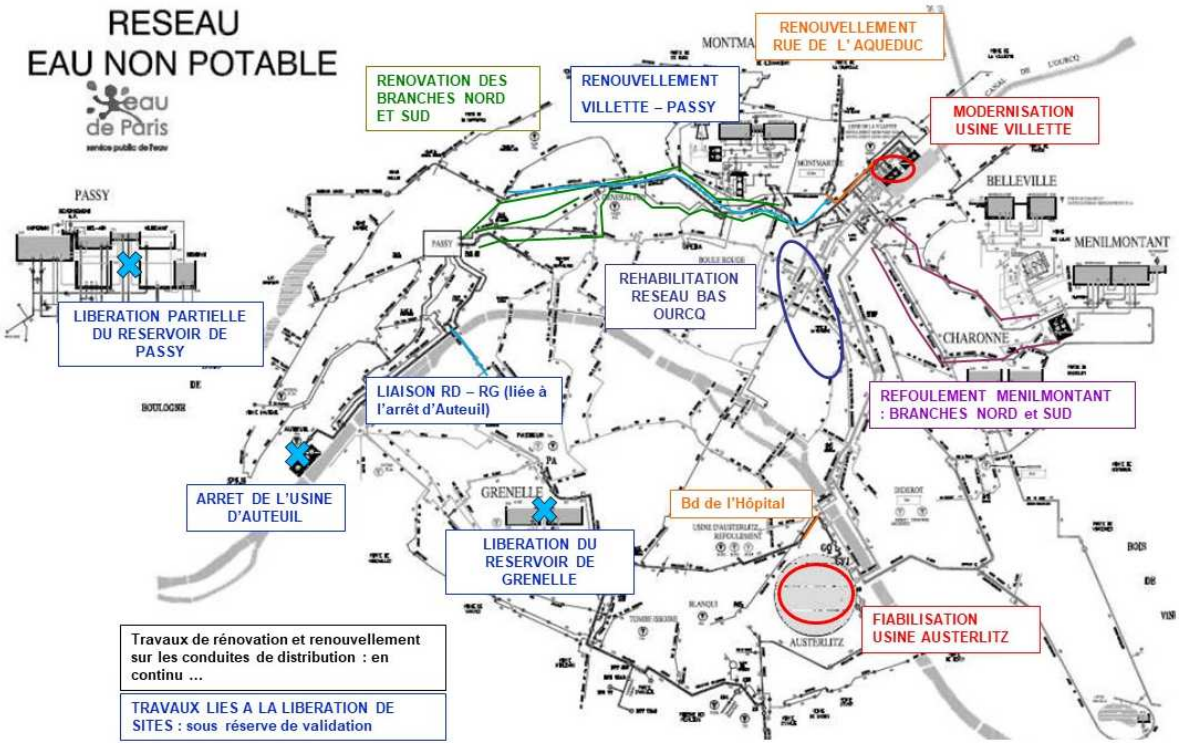


Figure 16 : Travaux importants envisagés sur le RENP dans le cadre du schéma directeur. Modifié d'après VDP (2015b, 23)

EDP a également pour mission d'engager des études sur l'évolution de quelques sites de production et de stockage : l'usine d'Auteuil et les réservoirs de Grenelle et Passy, ces trois sites représentant une valeur immobilière importante. Des études réalisées par EDP montrent qu'un fonctionnement du RENP est possible sans ces trois sites, moyennant des travaux sur le RENP détaillés ci-dessous. La description de ces travaux est issue en partie du schéma directeur de l'ENP (VDP 2015b).

L'usine d'Auteuil

La VDP souhaite arrêter l'usine d'Auteuil dans le 16e arrondissement afin de libérer des surfaces foncières, sur lesquelles elle pourrait mener des opérations d'urbanisme et dégager des recettes foncières. Les études réalisées par EDP ont montré que l'arrêt d'Auteuil pouvait être compensé par les usines de La Villette et d'Austerlitz, nécessitant des travaux importants de reconfiguration du réseau, soit :

- le renouvellement de la conduite DN1250mm Villette-Passy en DN1000mm
- la création d'une liaison Rive Droite – Rive Gauche sous le pont Iéna par maillage hydraulique en DN800mm

En contrepartie, ces travaux seraient financés par la VDP et permettraient également de renouveler des conduites stratégiques du RENP.

Le réservoir de Grenelle

La mise hors service de l'usine de Javel dans les années 1970 a entrainé la fin de l'exploitation de ce réservoir, faute d'intérêt hydraulique. En lien avec la VDP, EDP réfléchit aux possibilités de reconversion du site : la création d'un espace dédié à l'agriculture urbaine, la nature et à la biodiversité sur l'emprise des bassins du réservoir, la valorisation des sous-sols du réservoir, l'évaluation du patrimoine immobilier du site et les conditions de sa remise au patrimoine de la VDP.

Le réservoir de Passy

La capacité du réservoir s'avère actuellement excédentaire. Les études menées par Eau de Paris ont démontré la possibilité de restreindre cette infrastructure au seul compartiment de Copernic.

Après avoir décrit le fonctionnement général du RENP et des travaux de reconfiguration envisagés, nous nous intéressons désormais à ses usages dans la ville.

3.1.2 Usages en eau non potable de la ville

Cette partie vise à décrire les usages actuels, aussi bien en termes quantitatifs (consommations journalières) et que qualitatifs (contraintes requises en termes de qualité).

Actuellement, la grande majorité de l'ENP produite est consommée par les services de la VDP. Cette dernière utilise l'ENP principalement pour le nettoyage des voiries, le curage des égouts, l'alimentation des Bois de Boulogne et de Vincennes et l'arrosage des espaces verts du printemps à l'automne. Elle utilise également une petite part de l'ENP pour des usages spécifiques (ex : station de lavage). Enfin, EDP détient près de 130 contrats d'abonnements avec des usagers non municipaux.
La grande majorité des consommations d'ENP n'est pas connue de manière précise. En effet, les appareils hydrauliques associés au nettoyage des voiries (bouches de lavage, de remplissage de tonne) à l'arrosage (bouche d'arrosage) et au curage des égouts (réservoirs de chasses) ne disposent pas de compteurs. Seules les consommations de Bois de Boulogne et de Vincennes, de quelques parcs de Paris, des contrats spécifiques avec la VDP et des usagers non municipaux sont connues grâce à la présence de compteurs ou de débitmètres.

Dans la suite, nous décrirons chacun des usages et proposerons une estimation des consommations en 2013. Au regard des données à disposition, nous introduirons dans nos calculs la notion d'*incertitude*. Pour cela, l'Encadré 3 présente des notions de base sur les incertitudes et les approches choisies pour notre recherche.

Encadré 3 : Notions sur les incertitudes et approches choisies.

Propagation des incertitudes

Alors que le mot « erreur » se réfère à quelque chose de juste ou de vrai, on parle d'incertitude lorsqu'on ne connaît pas la valeur exacte de la grandeur mesurée. Dans le domaine de la métrologie (science de la mesure), les incertitudes désignent la marge de « doute » sur la validité du résultat de mesure d'une grandeur (JCGM et al. 2008). L'incertitude de mesure désigne la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées à cette grandeur (ISO 1993). Pour une grandeur X, deux approches sont adoptées afin d'estimer les incertitudes associées (notée dans la suite ΔX), en fonction des données disponibles.

- **Incertitudes du type A**

Lorsqu'on dispose de n mesures de valeurs de Y (par exemple plusieurs valeurs de débit sur une période donnée), la première approche consiste à considérer X comme une variable aléatoire, dont on a échantillonné n valeurs. La moyenne de Y, notée $\bar{Y}$, permet d'estimer cette grandeur comme suit :

$$\bar{Y} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} Y_k \qquad (2)$$

L'incertitude sur la moyenne peut être estimée à partir de l'écart-type des mesures $(s(Y))$ selon la relation suivante :

$$\Delta Y = \frac{s(Y)}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}}\sqrt{\frac{\sum_{k=1}^{n}(Y_k - \bar{Y})^2}{(n-1)}} \qquad (3)$$

- **Incertitudes du type B**

Lorsqu'on ne dispose pas de mesures répétées pour l'estimation de la grandeur, on introduit une hypothèse supplémentaire relative à sa distribution statistique. On émet ici l'hypothèse que ces grandeurs sont distribuées selon une loi uniforme. Si on estime raisonnablement que les valeurs de grandeurs Y sont comprises en M-a et M+a, l'incertitude est estimée comme ci-après (MEVA 2012):

$$\Delta Y = \frac{a}{\sqrt{3}} \qquad (4)$$

A chacune des incertitudes est affecté un coefficient correcteur (k_p), afin de déterminer un intervalle selon un niveau de confiance défini. A titre d'exemple, les k_p pour une loi normale et une loi uniforme sont respectivement de 1,96 et de 1,65 pour un niveau de confiance de 95%. On prendra k_p =1,96 afin de majorer l'intervalle de confiance.

$$Ic = [\, Y - k_p \cdot \Delta Y;\ Y + k_p \cdot \Delta Y] \text{ avec } k_p \text{ dépendant du niveau de confiance} \qquad (5)$$

- **Cas des grandeurs composées**

Les grandeurs mesurées dans la thèse sont fréquemment des grandeurs composées, c'est-à-dire qu'elles font intervenir plusieurs autres grandeurs, appelées aussi paramètres élémentaires (X_1, X_2,…, X_n).

$$Y = f(X_1, X_2, X_3, \dots X_n) \qquad (6)$$

X_1,…X_n : variables de la fonction f

Y : résultat de la fonction f selon les variables X_1,…, X_n

Dans ce cas, notre démarche consiste à évaluer les incertitudes sur les paramètres élémentaires, puis à étudier la propagation des incertitudes sur l'estimation de la grandeur mesurée. Pour cela, sous l'hypothèse de la linéarité de la fonction f, nous la remplaçons par son développement en série de Taylor du premier ordre. Si l'ensemble des variables peuvent être considérées comme indépendantes, les variations sur Y (ΔY) s'expriment en fonction des faibles variations des variables (ΔX_1, ΔX_2,…, ΔX_n) selon la relation suivante (JCGM et al. 2008 ;MEVA 2012):

$$\Delta Y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(\left|\frac{\partial f}{\partial X_i}\right| \cdot \Delta X_i\right)^2} \qquad (7)$$

Pour chaque paramètre élémentaire, les incertitudes ΔX_i sont estimées selon l'une des deux approches présentées précédemment.

Dans la suite, les consommations des différents usages d'ENP sont exprimées sous forme de volume journalier moyen sur l'année de calcul. Les variations saisonnières seront étudiées pour les Bois et pour les espaces verts, au vu de données plus précises.

3.1.2.1 Curage des égouts

Les réservoirs de chasse (RC) sont des dispositifs hydrauliques simples qui visent à lutter contre la formation des dépôts dans les égouts de la Ville. Ils sont situés à des endroits des égouts nécessitant un curage : tête de ligne, ou zone avec une faible pente. Ils sont gérés par la Section de l'Assainissement de Paris (SAP), du Service Technique de l'Eau et Assainissement (STEA), de la Direction de Propreté et de l'Eau (DPE). Près de 6 000 RC ont été posés à la fin du XIXe siècle, en même temps que la construction du RENP. Les RC qui fonctionnent à l'heure actuelle ont une capacité de 6 à 12 m^3 et sont alimentés par le RENP grâce à un robinet d'alimentation. Une cloche, située à l'intérieur du RC, joue le rôle de limiteur de niveau : lorsque le niveau d'eau atteint celui de la cloche, un siphonage d'ENP permet un lâcher d'ENP et assure le curage des ouvrages.
La Figure 17 illustre l'intérieur du RC et présente le principe d'alimentation du RC par le RENP.

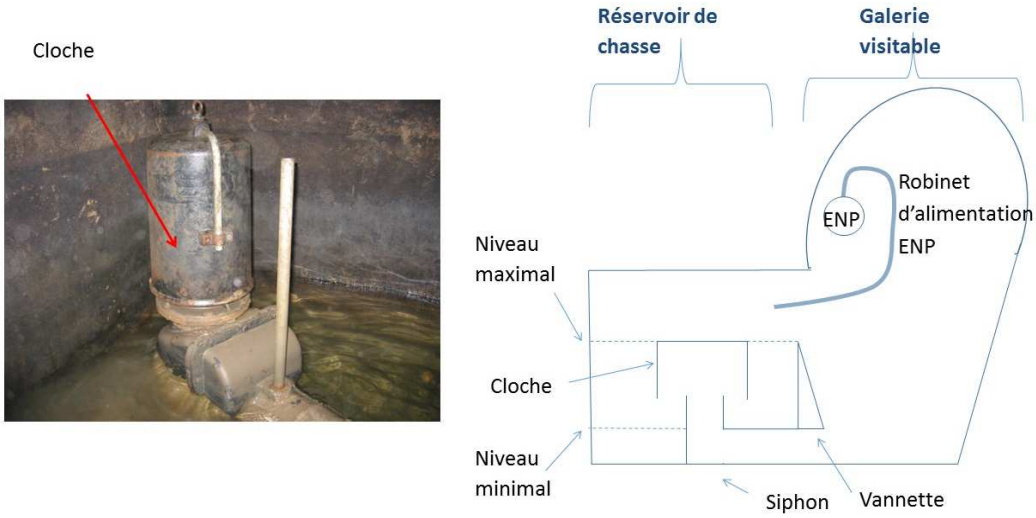


Figure 17 : Réservoir de chasse : (a) illustration (VDP 2016a), et (b) schéma d'alimentation du RC par le RENP

A partir des années 80, l'utilisation des RC a connu plusieurs évolutions (VDP 2016a). En 1984, la Ville de Paris exprime la volonté de préserver les ressources en eau, et donc de réduire les consommations d'eau avec l'arrêt des RC. En 1986, Merlin estime la consommation des RC à 194 10^3 m^3/j. Suite à l'arrêt des RC, les égoutiers font part des difficultés pour l'exploitation des égouts : accumulation de déchets, fortes odeurs, et dégradation des conditions de salubrité. 3 000 RC sont alors remis en service en 1988.
A partir de 1997, un programme de temporisation est mis en place sur les 2 700 RC conservés. Dans un objectif de maîtrise des consommations, ce programme vise à

planifier l'alimentation des RC sur une journée. Toutefois, les piles des dispositifs rencontrent des problèmes de corrosion en raison de la présence d'H_2S dans les égouts, causant des dysfonctionnements des systèmes de temporisation. En 2004 et en 2008, les consommations sont respectivement estimées à 19,7 10^3 m^3/j (SAGEP 2004), puis à 3,37 10^3 m^3/j (SAFEGE 2008).

De 2012 à 2016, la SAP décide de supprimer la temporisation des RC, et met en place un système de limitation de débit pour remettre en service les RC. Son objectif est d'atteindre une consommation totale de 60 10^3 m^3/j afin de pouvoir forfaitiser l'achat de l'ENP à EDP. Pour cela, elle équipe progressivement ses 2 700 RC de robinets d'alimentation afin de limiter le volume journalier par RC à 22 m^3. De nouveaux dispositifs de réduction mécanique du débit des RC ont été également testés en collaboration avec EDP. On peut citer, dans le 14e arrondissement, l'expérimentation d'un système de réduction de débit avec l'installation d'une lentille (rondelle de plastique percée en son centre) en sortie du robinet d'alimentation. Cette expérience s'étant avérée concluante, elle est désormais étendue à d'autres arrondissements. Elle n'est toutefois pas encore généralisée sur l'ensemble du territoire.

Le Tableau 9 récapitule les consommations des RC estimées depuis 1986. Merlin (1996) et Hydratec (1997) estiment les consommations des RC à près de 200 10^3 m^3/j. Ces valeurs peuvent paraître très importantes par rapport aux volumes d'ENP aujourd'hui mis en distribution, toutefois ces consommations représentaient respectivement 49% et 54% des volumes mis en distribution en 1986 et 1997.
SAGEP (2004) estime les consommations des RC, après la mise en place du système de temporisation. Avec l'hypothèse d'une chasse par jour prévue par le programme de temporisation, SAGEP estime le volume journalier de remplissage à 5,1 m^3 à partir de campagnes de mesures. En l'appliquant aux 2 700 RC, elle estime les consommations des RC à 13,7 10^3 m^3/j. Par ailleurs, elle estime les décharges manuelles à 6 10^3 m^3/j, à partir des données de la SAP.
SAFEGE (2008) intègre également le système de temporisation dans l'estimation des consommations liées au curage des égouts. SAFEGE s'appuie sur les bilans d'exploitation de la SAP qui recensent seulement 564 RC fonctionnels, en raison de nombreux dysfonctionnements rencontrés sur le système de temporisation. Avec un volume journalier moyen de chasse de 5 m^3, SAFEGE estime la consommation journalière des RC à 2 820 m^3/j. Elle estime la consommation journalière des décharges manuelles à 550 m^3/j, à partir des chiffres de la SAP.

Tableau 9 : Synthèse des consommations d'ENP pour le curage des égouts (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004)

Etudes	Volume journalier (10^3 m^3/j)	Hypothèses
Merlin (1986)	194	Ecart de volumes d'ENP mis en distribution au pas de temps horaire, entre la période de 6h et 17h, et la période de 17h et 6h. Les pertes du RENP sont estimées et retirées à cet écart.
Hydratec (1997)	200	-
SAGEP (2004)	19,7	14 10^3 m^3/j consacré aux RC : 2 700 RC considérés avec un volume journalier de remplissage de 5,1 m^3 basé sur une campagne de mesure 6 10^3 m^3/j consacré aux décharges manuelles : un volume journalier basé sur les données de la SAP
SAFEGE (2008)	3,37	2,8 10^3 m^3/j consacré aux RC : 564 réservoirs opérationnels d'après la base de données SAP, volume moyen de chasse de près 5 m^3/j lié au système de temporisation Décharges manuelles estimées à 550 m^3/j

Dans la thèse, la consommation des RC pour l'année 2013 est estimée comme la dernière consommation connue (année 2008), à laquelle on ajoute l'augmentation des volumes d'ENP mis en distribution depuis cette date :

$$Q_{RC} = Q_{dist,2013} - Q_{dist,2009-11} + Q_{RC,2008} \quad (8)$$

Q_{RC} : consommations moyennes journalières d'ENP estimées pour le curage des égouts sur l'année 2013 (m^3/j)
$Q_{dist,2013}$: volumes moyens journaliers d'ENP moyens mis en distribution sur l'année 2013 (m^3/j)
$Q_{dist,2009-11}$: volumes moyens journaliers d'ENP mis en distribution en sur les années 2009,2010 et 2011 (m^3/j)
$Q_{RC,2008}$: consommations moyennes journalières d'ENP estimées pour le curage des égouts sur l'année 2008 (m^3/j)

La Figure 18 présente les volumes journaliers moyens mis en distribution en 2013 et sur la moyenne des années 2009, 2010 et 2011.

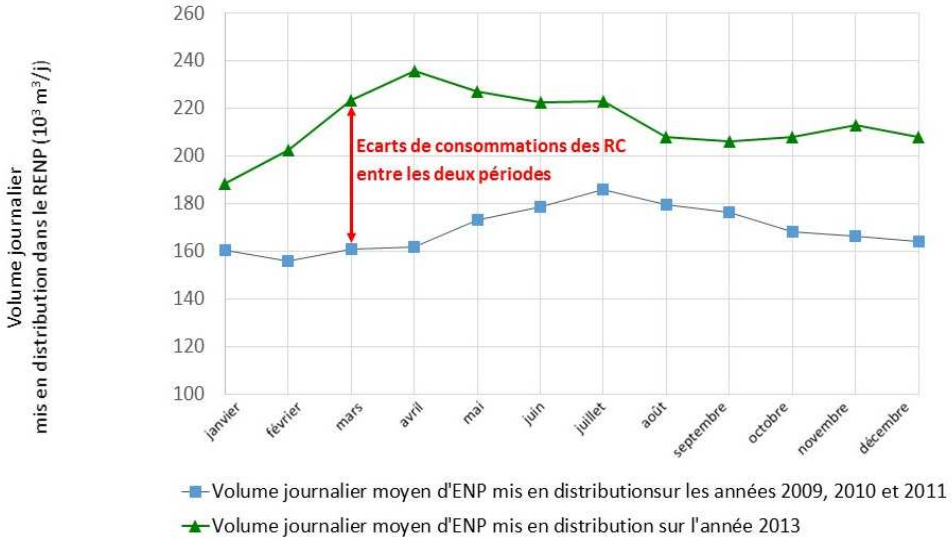


Figure 18 : Evolution des volumes d'ENP mis en distribution entre la période 2009 – 2011 et 2013

La Figure 18 montre des variations importantes des volumes mis en distribution en 2013, qui s'expliquent par les tests d'ouverture des RC et les réajustements réalisés par la SAP en concertation avec EDP.

Afin de calculer les incertitudes associées, on considère que Q_{RC} est la moyenne des 12 valeurs « échantillonnées » (ici correspondant aux 12 mois considérés). Q_{RC} étant une grandeur composée, les incertitudes sont estimées à partir de la loi de propagation d'incertitudes. Les incertitudes associées aux volumes d'ENP mis en distribution sont des incertitudes de type A ; elles sont estimées à partir des écart-types sur les 12 volumes mensuels moyens.

Le Tableau 10 présente les étapes de calcul associées aux consommations des RC, les incertitudes associées, et l'intervalle de confiance.

Tableau 10 : Consommations des RC et des incertitudes estimées pour 2013

	Volumes journaliers moyens sur l'année (10^3 m^3/j)
$Q_{dist,2009-11}$	169
$Q_{dist,2013}$	214
$Q_{RC,2008}$	3,37
Q_{RC}	47,9
Incertitudes associées à Q_{RC}	4,61
Intervalle de confiance de Q_{RC} (95%)	[38,8 - 56,9]

La consommation moyenne journalière des RC est estimée à 47,9 10^3 m^3/j, avec une incertitude théorique de 4,61 10^3 m^3/j, soit de 10%. Les décharges manuelles sont utilisées en cas de maintenance des RC, et leurs consommations sont considérées comme négligeables par rapport aux incertitudes sur les consommations des RC.

3.1.2.2 Nettoyage des voiries

Le nettoyage des voiries est assuré par le Service Technique de la Propreté de Paris (STPP), de la DPE[9]. Le nettoyage est réalisé principalement avec de l'ENP issue de bouches de lavage (BL), situées sur les bordures de trottoirs, et manœuvrées par les agents de la VDP en charge du nettoyage. L'ENP peut également servir à alimenter les moyens mécanisés de nettoyage *via* des bouches de remplissage de tonnes (BRT). Les BRT alimentent deux types d'engins :

- les laveuses qui diffusent l'ENP par un système de buses ou par un jet manuel pour nettoyer les trottoirs et les chaussées.
- les aspiratrices qui utilisent l'ENP pour humecter la chaussée, avant d'aspirer les déchets.

L'ENP est essentiellement utilisée le matin (entre 6h et 12h), mais également l'après-midi (de 13h à 17h). Les jours de gel, les voiries ne sont pas nettoyées. La Figure 19

[9] L'organisation des services de la VDP en lien avec l'ENP est traitée dans la partie 3.2.2.

présente une BL et une BRT. En fonction de leur fréquentation, les rues peuvent être nettoyées entre 4 et 11 fois par semaine.

(a) (b)

Figure 19 : Appareils hydrauliques pour le nettoyage des voiries. (a) Bouche de lavage et (b) bouche de remplissage de tonne

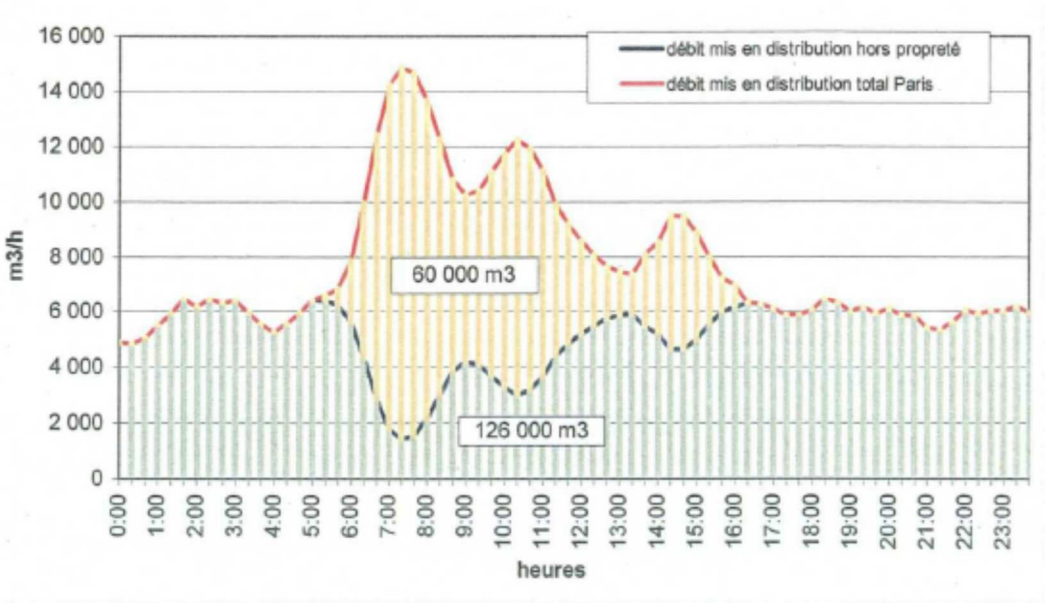
Le Tableau 11 récapitule les consommations d'ENP liées au nettoyage des voiries estimées par différentes études.

Tableau 11: Synthèse des consommations d'ENP estimées pour le nettoyage des voiries (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004)

Etudes	Volume journalier estimé (10^3 m^3/j)	Hypothèses de calcul
Merlin (1986)	40	Dotation de 3,3 m^3/h par BL en se basant sur des études menées dans des villes utilisant les BL pour nettoyer les voiries.
Hydratec (1997)	67	-
SAGEP (2004)	60	Comparaison entre les débits d'ENP mis en distribution un jour normal et un jour de gel entre 6 et 16h en 2004. Prise en compte de la baisse des autres usages lors des pics de la propreté.
SAFEGE (2008)	37	Comparaison entre les débits d'ENP mise en distribution un jour normal et un jour de gel entre 6 et 16h en 2006. Prise en compte de la baisse des autres usages lors de l'utilisation de l'ENP pour la propreté.

Merlin s'appuie sur les mesures de débit au niveau des BL pour estimer les consommations d'ENP. SAGEP et SAFEGE adoptent une approche différente, consistant à comparer les volumes de mise en distribution d'ENP entre un jour de gel et un jour hors gel.

SAGEP (2004) compare les débits d'ENP mis en distribution le 28 avril 2004 (jour hors gel) avec le 30 janvier 2004 (jour avec gel) sur 24h (*cf*. Figure 20). L'étude montre que les consommations des autres usages baissent sensiblement lors des horaires d'utilisation de l'ENP pour le nettoyage des voiries. Elle applique donc un coefficient de réduction sur les volumes mis en distribution lors du jour hors gel dans ses estimations. Comme le montre la Figure 20, la consommation en ENP estimée pour le nettoyage des voiries s'élève à 60 10^3 m^3/j, soit la somme d'une part variable entre 6 et 16h (54 10^3 m^3/j) et d'une part continue (6 10^3 m^3/j).



Estimation basée sur les volumes mis en distribution le 28 avril 2004 (jour hors gel) et le 30 janvier 2004 (jour de gel). « Hors propreté » : signifie « avec prise en compte de l'effet de tirage ».

Figure 20 : Consommation d'ENP pour le nettoyage des voiries estimée par SAGEP (2004)

SAFEGE compare, quant à elle, les courbes de « consommation » en ENP le 19 janvier (jours hors gel) et le 27 janvier 2006 (jour avec gel). Les hypothèses sur les courbes de consommation en ENP ne sont pas connues. SAFEGE regarde l'écart entre 6h et 16h40, en estimant qu'ils correspondent aux créneaux d'activité des agents de la propreté. Enfin, elle quantifie l'effet de tirage en multipliant la différence de volume mis en distribution entre les journées avec et sans gel par un coefficient de 1,2. La consommation liée au nettoyage des voiries est alors estimée par SAFEGE à 37 10^3 m^3/j.

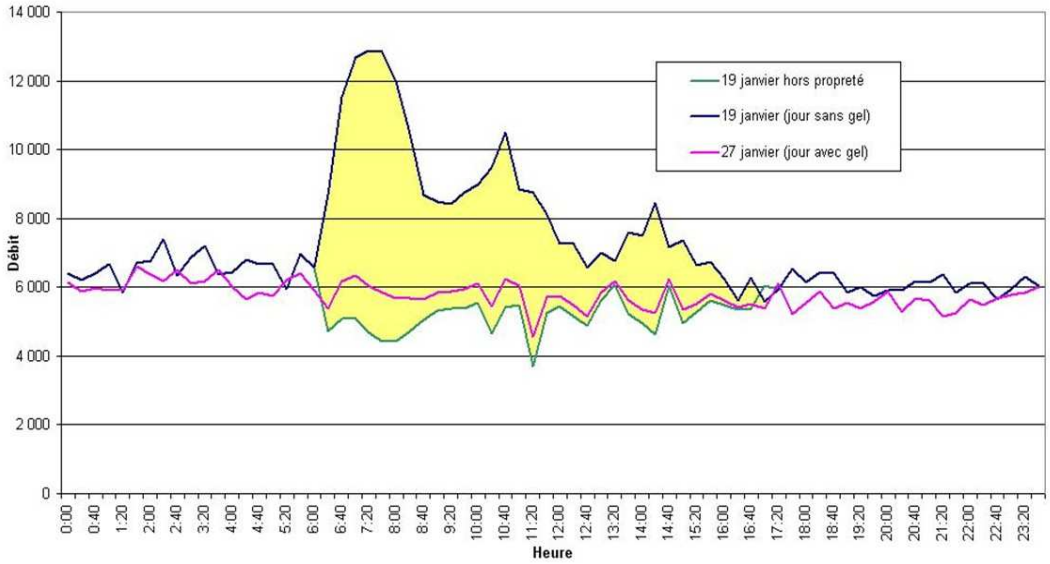


Figure 21 : Consommation d'ENP pour le nettoyage des voiries estimée par SAFEGE (2008). Estimations basées sur les courbes de consommations en ENP le 19 janvier (jour sans gel) et le 27 janvier 2006 (jour avec gel)

Ces consommations journalières estimées par SAFEGE sont fortement inférieures à celles estimées par SAGEP. En effet, SAFEGE n'intègre pas les différences de volume entre 0 et 6h et après 16h30, les considérant comme des pertes en surface (BL défectueuses, oubliées, ou qui ne se ferment pas correctement). Par ailleurs, la consommation de la journée étudiée par SAFEGE semble plus élevée que celle de la journée choisie par SAGEP. Cette différence peut s'expliquer par la mécanisation du STPP, mais également par les campagnes de sensibilisation réalisées auprès des agents de la propreté (SAFEGE, 2008, 5-53).

Dans la thèse, deux méthodes d'évaluation des consommations d'ENP pour le nettoyage des voiries en 2014 sont présentées et discutées.

La première approche consiste à comparer les volumes d'ENP mis en distribution en période de gel et de hors-gel. Pendant l'hiver 2013/2014, une journée de gel (vendredi 13 décembre 2013) et hors gel (vendredi 20 décembre 2013) sont identifiées à partir des données de Météo France. Les volumes horaires d'ENP mis en distribution ces deux jours sont présentés dans la Figure 22. On constate un écart important entre les débits d'ENP mis en distribution de la journée hors-gel et ceux de la journée de gel de 6h à 16h. A partir de 16h, les écarts restent constants jusqu'à la fin de journée et peuvent être assimilés aux pertes de surface. Afin d'estimer les consommations d'ENP pour le nettoyage des trottoirs et des chaussées, on se restreint ici à quantifier l'écart entre ces deux jours de 6 à 16h.

En analogie à la démarche de SAFEGE (2008), on quantifie l'effet de tirage en multipliant la différence de volume mis en distribution entre les jours avec et sans gel par un coefficient de 1,2. La consommation d'ENP consacrée à la propreté, entre 6h et 16h est ainsi estimée à 25,9 10^3 m^3/j.

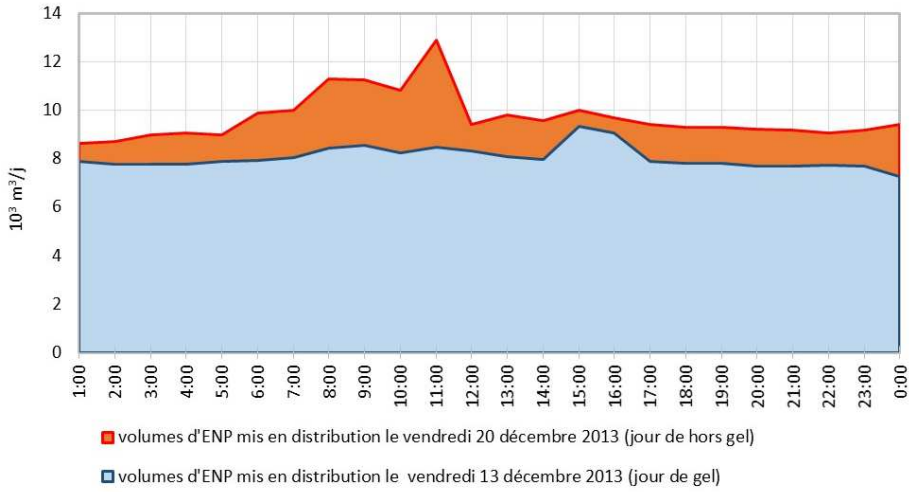


Figure 22 : Mise en distribution d'ENP en période de gel et de hors gel en 2013. Estimation basée sur les journées du vendredi 20 décembre (jour sans gel) et du vendredi 13 décembre 2013 (jour avec gel)

Ce volume est plus faible que les estimations de la SAGEP (60 10^3 m^3/j) et SAFEGE (37 10^3 m^3/j). En particulier, cette consommation est bien inférieure à la valeur estimée par SAFEGE il y a 10 ans.

Plusieurs raisons peuvent expliquer l'écart important constaté avec les valeurs de l'étude de SAFEGE (2008). Tout d'abord, le choix des journées de gel et hors gel joue un rôle dans l'estimation des consommations. Nous le constatons avec les estimations des études précédentes : le choix d'une journée hors-gel en avril par la SAGEP donne des estimations plus élevées que l'étude SAFEGE, qui choisit une journée hors-gel en décembre. En l'occurrence, nous avons pris les journées de gel et de hors gel, ayant respectivement les débits d'ENP mis en distribution les plus bas et les plus élevés sur le mois de décembre 2013. Cette méthode gagne à être testée sur plusieurs journées de gel et de hors-gel.

Par ailleurs, des incertitudes résident également sur la mesure des débits d'ENP mis en distribution au pas de temps horaire, en raison du marnage des réservoirs. Bien que les variations de stocks soient faibles au pas de temps journalier, elles jouent un rôle plus important au pas de temps horaire. Pendant les plages horaires étudiées (de 6 à 17h), le marnage des réservoirs contribue jusqu'à 20% des volumes mis en distribution. Le volume d'un réservoir est mesuré avec un capteur de niveau, dont l'erreur de mesure est estimée à 1 cm suite aux échanges avec les gestionnaires des flux d'EDP. Nous estimons la surface des réservoirs à 45,8 10^3 m^2 à partir des volumes des réservoirs et de leurs hauteurs respectives. Ainsi, sur

l'ensemble des réservoirs, les incertitudes cumulées de mesure s'élèvent au total à 4,58 10^3 m^3/j sur la plage horaire étudiée.

Enfin, l'effet de tirage, soit l'impact du nettoyage des trottoirs sur la consommation des autres usages, demeure complexe à estimer. Le choix du coefficient de tirage reste discutable et gagne à être précisé.

Une deuxième approche consiste à évaluer séparément les consommations des BL et des BRT. Le SIG comporte près de 500 BRT en service. La durée d'utilisation des BRT pour remplir les engins de nettoyage de chaussée d'un volume entre 4 000 et 8 000L est d'en moyenne de 20 minutes, mais elle peut être utilisée plusieurs fois dans la journée. En se basant sur des mesures réalisées par le STPP en 2008 sur les laveuses de voiries, la consommation des BRT est estimée à un volume journalier total de 749 10^6 m^3/an, soit de près de 2,05 10^3 m^3/j (VDP 2009b). Au vu de l'absence de nouvelles données, on conserve cette valeur pour l'année 2013.

La consommation journalière d'ENP liée à l'ouverture des BL peut être estimée à partir d'hypothèses prises sur le nombre de BL ouvertes par jour, le temps et le débit d'ouverture selon la relation suivante :

$$Q_{BL} = N_{BL} \cdot Q_{ouv} \cdot T_{ouv} \quad (9)$$

Q_{BL} : Consommation journalière d'ENP pour l'ouverture des BL (m_3/j)
N_{BL} : Nombre de BL ouvertes par jour
Q_{ouv} : Débit lors de l'ouverture des BL (m^3/s)
T_{ouv} : Durée d'ouverture des BL durant la journée (s)

La plupart des gestionnaires rencontrés s'accordent à dire que les trottoirs sont nettoyés une fois par jour. On peut donc émettre l'hypothèse d'une BL ouverte une fois par jour. D'après les échanges avec les services de propreté, chaque agent travaille à l'échelle d'un secteur appelé « zone concertée de traitement », définie pour une durée de nettoyage entre 2h30 et 3h. Il existe 2 994 secteurs de ce type sur Paris. Des données fournies par le service de propreté montrent qu'un secteur regroupe plusieurs rues. On peut ainsi estimer qu'un agent propreté ouvre près de 4 BL par zone concertée de traitements. Cela revient à l'ouverture de 9 176BL, soit 65% de l'ensemble des BL en service répertoriées sur le SIG. N_{BL} est donc estimé à 5 800 BL ouvertes par jour.

Le débit d'une BL (Q_{BL}) dépend fortement de la pression locale sur le RENP. Celle-ci varie en fonction de l'emplacement de la BL mais aussi de l'heure d'ouverture dans la journée. Des mesures ponctuelles de débit des BL ont été réalisées par les exploitants d'EDP sur 67 BL de Paris en 2014 et 2015. Pour chaque BL, des mesures de débit ont été réalisées le matin et/ou l'après-midi. Le Tableau 12 indique quelques éléments statistiques sur les données de débit de BL. Sur l'ensemble des mesures, le débit moyen est estimé à 93 L/min avec un écart-type de 30 L/min. En estimant que les consommations pour le nettoyage des voiries ne varient pas entre 2013 et 2015, on utilisera la moyenne des mesures pour Q_{BL}.

Tableau 12 : Mesures de débit réalisées sur les bouches de lavages sur Paris en 2014 et 2015. Nombre de mesures réalisées et débits mesurés (L/min)

Nombre de mesures réalisées sur les BL sur Paris	Débit (L/min)				
	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Ecart -type
123	15	153	93,1	100	30

Enfin, la durée d'ouverture de la BL, dépendante de son débit et du linéaire de trottoir à nettoyer, est estimée par les services de propreté entre 15 minutes et deux heures. Avec l'hypothèse d'une ouverture d'une heure une fois dans la journée, la consommation journalière des BL est évaluée à 51,3 10^3 m^3/j. Les pertes dues à l'ouverture des BL, appelées aussi « fuites de surface » seront abordées dans la partie consacrée aux volumes non identifiés *(cf*. paragraphe 3.1.2.6).
La consommation d'ENP, en tenant compte des consommations des BL et des BRT pour le nettoyage des trottoirs est donc estimée à 53,3 10^3 m^3/j. Cette valeur est certes bien supérieure à notre valeur estimée à partir des journées de gel et hors-gel (25,9 10^3 m^3/j). En revanche, elle est située entre les deux valeurs estimées par SAFEGE (37 10^3 m^3/j) et SAGEP (60 10^3 m^3/j).

Les incertitudes étant complexes à estimer pour les consommations liées aux BRT, on estimera uniquement les incertitudes liées à la consommation d'ENP des BL. Plusieurs paramètres associés aux BL sont soumis à des incertitudes : le nombre de bouches ouvertes par jour (ΔN_{BL}), le temps d'ouverture (ΔT_{ouv}) et le débit d'ouverture (ΔQ_{ouv}).
ΔQ_{ouv} est une incertitude de type A ; elle est évaluée à partir des mesures de débits sur les BL disponibles. ΔN_{BL} et ΔT_{ouv} sont de type B, au vu de l'absence de mesure de ces grandeurs. Pour ces calculs, on considère que T_{ouv} varie entre 30 min et 1 h30. On estime que N_{BL} varie entre 6 882 et 11 470, à raison de 3 BL (au minimum) et 5 BL (au maximum) ouvertes par zone concertée de traitement.

Nos calculs donnent une valeur de ΔQ_{BL} de 23,7 10^3 m^3/j, soit 44% des consommations estimées. Ces incertitudes élevées s'expliquent par la propagation systématique des incertitudes régissant à la fois sur le nombre de BL ouvertes, le débit et le temps d'ouverture. Le Tableau 13 récapitule nos consommations d'ENP estimées pour le nettoyage des voiries en 2013, les incertitudes associées, et l'intervalle de confiance.

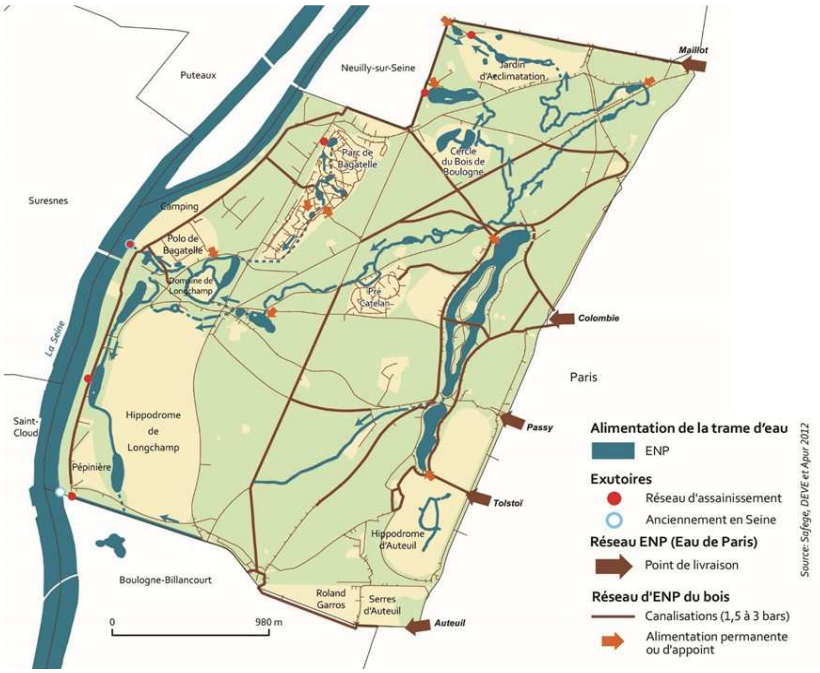
Tableau 13 : Consommations d'ENP estimées pour le nettoyage des voiries en 2013

	BL	BRT
Nombre de bouches ouvertes par jour	9 176	-
Consommations selon le type de bouche (10^3 m^3/j)	51,3	2, 05
Consommations totales (10^3 m^3/j)	53,3	
Incertitudes associées (m^3/j)	23,7	
Intervalle de confiance à 95% (10^3 m^3/j)	[6,8 - 99,8]	

Dans la suite, nous traiterons des consommations en ENP pour l'arrosage des espaces verts, et l'alimentation de bassins et de lacs. En raison de données de débits en entrée des Bois, nous distinguerons ces usages de manière géographique, en séparant, d'une part, les usages pour l'alimentation des Bois, et d'autre part, les usages pour les espaces verts et les bassins dans Paris intramuros. Les besoins pour les deux Bois sont traités dans le paragraphe suivant.

3.1.2.3 Bois de Boulogne et de Vincennes

Le Bois de Boulogne et le Bois de Vincennes utilisent l'ENP pour la mise à niveau de leurs lacs et l'arrosage des espaces verts. Les lacs ont une fonction esthétique, écologique (permettant une vie aquatique) et récréative (promenade en bateau). La baignade n'y est pas actuellement autorisée, cependant la VDP souhaite la mettre en place dans le lac Daumesnil du Bois de Vincennes d'ici l'été 2019 (VDP 2016b).
Les Bois sont gérés par les services de la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement (DEVE). Ils sont alimentés par plusieurs arrivées d'ENP issues du RENP. A l'intérieur des Bois, l'ENP est mise en distribution dans les réseaux enterrés de la DEVE. Les réseaux hydrographiques des Bois et les entrées d'ENP sont présentés dans la Figure 23.
Le Bois de Boulogne est alimenté par quatre conduites de Passy : « Auteuil » (DN200 mm), « Tolstoï « (DN400mm), « Colombie » (DN400mm) et « Maillot » (DN400mm). L'eau alimente principalement un système de lacs de rivières dont le point haut est le lac Supérieur. L'ENP est également utilisée pour l'arrosage du Bois et pour les branchements des concessionnaires (ex : arrosage de l'hippodrome d'Auteuil)
Le Bois de Vincennes est alimenté par deux conduites de Charonne : « Vincennes Nord » (DN600mm) et « Vincennes Sud » (DN600mm). L'eau alimente deux ensembles de lacs et rivières qui fonctionnent indépendamment. Le premier ensemble est alimenté par le lac de Gravelle (le point haut du Bois) et le deuxième est alimenté par le lac des Minimes. L'ENP est également utilisée pour l'arrosage du Bois et pour les branchements des concessionnaires.



* La conduite Passy alimentant le Bois de Boulogne n'est plus en service dorénavant.

Figure 23 : Réseaux hydrographiques des Bois : (a) Bois de Boulogne, (b) Bois de Vincennes (APUR 2017)

Le Tableau 14 récapitule les consommations des Bois estimées par les différentes études existantes depuis 1986.

Tableau 14 : Synthèse des consommations d'ENP estimées pour les Bois de Vincennes et de Boulogne (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004)

Etudes	Consommation en ENP des Bois (10^3 m^3/j		Hypothèses de calcul
	Bois de Boulogne	Bois de Vincennes	
Merlin (1986)	22	22	-
Hydratec (1997)	-	-	-
SAGEP (2004)	26	7	Données télé-mesurées (Bois de Vincennes) et campagne de mesure (Bois de Boulogne)
SAFEGE (2008)	20,4	7	Volumes basés sur des campagnes de mesures et données des débits et échanges avec exploitants des Bois

SAGEP (2004) estime les consommations d'ENP sur les deux bois à partir de mesures de débitmètres. Elle estime les consommations du Bois de Boulogne à 7 10^3 m^3/j, cette valeur étant reprise à nouveau par SAFEGE.
Pour le Bois de Boulogne, SAFEGE s'appuie sur une étude d'EFPE[10]. Cette étude, basée sur une campagne de mesure réalisée fin septembre 2006, indique une consommation moyenne de 20,4 10^3 m^3/j. SAFEGE émet l'hypothèse de l'augmentation des consommations du Bois de Boulogne de 15 10^3 m^3/j en été par rapport à l'hiver, suite aux échanges avec les exploitants du Bois de Boulogne. Les consommations en été s'élèveraient alors à 35,4 10^3 m^3/j.

Pour la thèse, on estime les consommations des Bois en 2013 à partir des mesures des débitmètres en entrée des Bois (EDP 2014b). Pour le Bois de Vincennes, les données de débits ne sont pas exploitables pour novembre et décembre 2013 ; la consommation de ces mois est donc estimée en s'appuyant sur les valeurs du mois de novembre et de décembre 2014.
Le volume journalier moyen sur l'année 2013 en entrée de l'ensemble des deux Bois est calculé à partir des volumes mensuels. Il s'élève ainsi à 19,5 10^3 m^3/j. Les incertitudes associées sont de type A, et sont calculées à partir des 12 valeurs de volumes mensuels. Les calculs donnent une incertitude totale pour les deux Bois de 864 m^3/j soit 4% des volumes en entrée des Bois. L'ensemble des estimations sont récapitulés dans le Tableau 15.

Grâce aux données mensuelles disponibles, l'étude des variations saisonnières des consommations est possible pour l'alimentation des bois. La Figure 24 présente les volumes mensuels en entrée des Bois pour l'année 2013, avec les températures minimales observés par Météo France à la station de Montsouris. Alors que le Bois de Vincennes connait des variations faibles, le Bois de Boulogne connait des variations plus fortes, avec des consommations élevées d'août à octobre.

[10] L'organisation en charge de l'étude était Eau et Force Parisienne des Eaux, filiale de Suez, l'exploitant de la distribution jusqu'en 2009 en rive gauche.

Les variations des consommations en eau des Bois ne peuvent s'expliquer que partiellement par les variations de températures. En effet, les températures atteignent leur *maximum* en juillet, alors que les *maxima* de consommation de chacun des Bois sont atteints en août. Les pertes par infiltration et évaporation seront étudiées plus en détails dans la partie 3.1.4, lorsqu'on considérera le schéma hydrologique global du RENP.

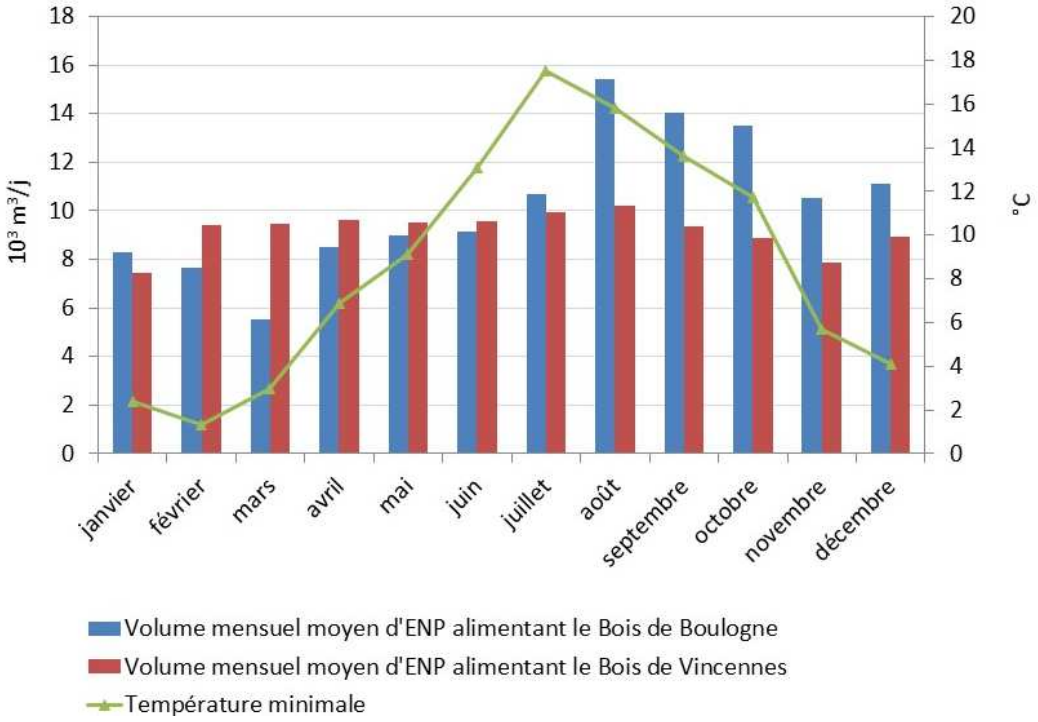


Figure 24 : Volumes mensuels moyens d'ENP en entrée des Bois de Boulogne et de Vincennes en 2013 (EDP 2014b)

La consommation moyenne journalière des Bois est calculée à partir des volumes mensuels moyens. Les incertitudes associées aux volumes en entrées des Bois sont des incertitudes de type B ; elles sont estimées à partir des écart-types des volumes mensuels.

Le Tableau 15 présente les étapes de calcul associées aux consommations en entrée des Bois, les incertitudes associées, et l'intervalle de confiance.

Tableau 15 : Consommations d'ENP estimées pour les espaces verts et les Bois en 2013

Volume journalier (10^3 m^3/j)	Vincennes	Boulogne
Volume journalier moyen sur 2013	9,18	10,3
Ecart-type des volumes moyens mensuels (N=12)	0,804	2, 88
Volume journalier total	19,5	
Incertitudes associées	0,864	
Intervalle de confiance (95%)	[17,8 - 21,2]	

3.1.2.4 Espaces verts et Bassins dans Paris intra-muros

Dans Paris intra-muros, l'arrosage en ENP et l'alimentation des Bassins sont gérés par les services de la DEVE.
L'arrosage en ENP pour les jardins peut être mis en œuvre de deux manières. Il peut être réalisé manuellement : dans ce cas, un tuyau d'arrosage est raccordé à une bouche d'arrosage située sur le sol, puis manœuvré par un jardinier. Par ailleurs, l'ENP peut alimenter directement un réseau automatique d'arrosage, après tamisage à 120 microns.
Enfin, dans certains jardins, l'ENP alimente aussi des bassins (par exemple, pour les parcs Monceau, des Buttes-Chaumont et Bercy), des fontaines décoratives (comme au jardin des Champs-Elysées) et des rivières artificielles (Vallée Suisse).

Le Tableau 16 récapitule les consommations des espaces verts et des bassins dans Paris intramuros estimées par les différentes études précédentes.

Tableau 16 : Synthèse des consommations d'ENP pour l'arrosage des espaces verts et l'alimentation des bassins dans Paris intramuros (Merlin 1986; SAFEGE 2008; SAGEP 2004)

Etudes	Consommation en ENP des espaces verts (10^3 m^3/j)	Hypothèses de calcul
Merlin (1986)	10,5	-
Hydratec (1997)	-	-
SAGEP (2004)	7	Campagne de mesure en 2003 sur le parc Chaumont, et estimation pour les autres parcs
SAFEGE (2008)	4,6 (hiver) 7 (été)	Reprise de l'hypothèse de SAGEP, avec des calculs supplémentaires distinguant l'arrosage de l'alimentation des lacs, rivières et fontaines des parcs.

SAGEP se base principalement sur une campagne de mesure sur le parc des Buttes - Chaumont dans ses estimations pour l'arrosage et l'alimentation des bassins (soit un volume journalier total de 7 10^3 m^3/j). SAFEGE reprend cette valeur globale, mais distingue la consommation liée à l'arrosage (estimée nulle l'hiver et à 2,4 10^3 m^3/j l'été) de l'alimentation des lacs, rivières et fontaines des parcs intra-muros (estimée à 4,6 10^3 m^3/j).

Nous estimons, dans la thèse, les besoins en arrosage à partir des chiffres de la DEVE. Cette dernière a développé une « Méthode d'Irrigation Raisonnée » (MIR), dans le but d'aider les jardiniers à mieux estimer les besoins en arrosage selon la nature des sols. Cette méthode repose sur le principe suivant : les besoins en eau d'une plante (appelé aussi déficit hydrique) doivent être compensés par l'arrosage. Ce déficit est estimé comme la différence entre l'évapotranspiration potentielle et les précipitations (ramenées au nombre de jour). En principe, il faudrait ramener l'évapotranspiration

potentielle à l'évapotranspiration réelle avec un coefficient associé à l'espèce concernée, néanmoins dans la pratique ces chiffres sont souvent inconnus.
A l'échelle annuelle, les besoins en eau en dehors de la pluie sont estimés par la DEVE entre 360 et 370 mm par an (VDP 2017), avec une période d'arrosage estimée entre avril et septembre. Nous prenons une valeur intermédiaire, ici 365 mm. La surface des jardins dans Paris intra-muros arrosés à l'ENP est estimée à 1,61 10^6 m^2 sur la base d'un inventaire fourni par la DEVE,
Les besoins en arrosage à l'échelle annuelle s'élèvent ainsi à 589 10^3 m^3/an, soit un volume journalier de 1,61 10^3 m^3/j ou de 3,22 10^3 m^3/j si on considère que la période végétative est de 6 mois.

Les incertitudes concernant les besoins en eau et les surfaces arrosées sont considérées comme de type B. Pour cela, on estime que les besoins en eau ont une imprécision de $\pm$ 5 mm, et celles des surfaces arrosées à l'ENP s'élèvent à $\pm$ 5 10^3 m^2. Ainsi, les incertitudes sur les besoins en arrosage dans Paris s'élèvent à 18,5 m^3/j pendant la période d'arrosage, ce qui s'avère négligeable (<1%).
Dans la pratique, la quantité réellement utilisée est supérieure aux besoins en eau théoriques de la plante. Cependant, au vu des faibles proportions que représente l'arrosage des espaces verts dans Paris intramuros par rapport aux volumes d'ENP mis en distribution, nous maintiendrons nos estimations telles quelles.

Concernant l'alimentation des bassins et des fontaines, il n'existe pas de données plus précises concernant leur consommation en ENP, depuis le rapport de SAFEGE. On conserve alors les estimations de l'étude en hiver, soit à 4,6 10^3 m^3/j, en considérant que les valeurs ne varient pas pendant l'année.

L'étude des variations saisonnières est possible sur l'arrosage des espaces verts. Deux périodes sont étudiées : l'été (de juin à août 2013) et l'hiver (de décembre 2013 à février 2014). L'hiver, les consommations pour l'arrosage sont estimées nulles. Pendant la période d'arrosage (avril à septembre), les besoins en arrosage sont estimés deux fois plus importants en juin, juillet et août que sur les trois autres mois (avril, mai, et septembre). Sur la base de ces calculs, le volume journalier consacré à l'arrosage à l'ENP de juin à août s'élève à 4,28 10^3 m^3/j.
Le Tableau 17 récapitule nos estimations pour l'arrosage et l'alimentation des bassins dans Paris intra-muros.

Tableau 17 : Consommations en ENP estimées pour l'arrosage des espaces verts et l'alimentation des bassins dans Paris intra-muros

Consommations en ENP estimées (10^3 m^3/j)	Espaces verts	Bassins	Total
Eté	4,28	4, 60	8,88
Hiver	0	4,60	4,60
Volume journalier « moyen »	1,61	4,60	6,21
Incertitudes associées	0,009	-	0,009

3.1.2.5 Des usages minoritaires

EDP dispose de près de 130 contrats d'abonnements avec des usagers non municipaux. Parmi ces contrats figurent des industriels (blanchisseries, parking pour le lavage des sols) et des établissements de l'Etat. Certains établissements de l'Etat, tels que le Louvre et le Sénat, bénéficient de la gratuité de la distribution d'ENP. Par ailleurs, d'autres directions de la VDP utilisent l'ENP pour des usages spécifiques (ex : station de lavage).

En 2013, l'ensemble de ces usages représentent 313 10^3 m^3. Ils s'élèvent à moins de 10^3 m^3/j et donc moins de1% de la production d'ENP en 2013. Les consommations d'ENP les plus importantes en 2013 (sans tenir compte de la climatisation) sont attribuées par ordre décroissant aux usagers suivants :

- le Louvre : 120 10^3 m^3
- le Muséum d'Histoire naturelle : 87,2 10^3 m^3
- la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) : 30,9 10^3 m^3.
- la Montmartroise : 15,8 10^3 m^3.

En 2013, l'utilisation de l'ENP pour la climatisation a été développée sur un site (centre de santé COSEM). Toutefois cet usage ne constitue pas une consommation en soit, car l'eau est prélevée dans le RENP pour y être rejetée ensuite avec une température plus élevée. Il s'agit donc plus d'une recirculation que d'une consommation. Les volumes utilisés par ce site pour l'année 2013 sont estimés négligeables devant les autres usages non municipaux.
L'ensemble de ces volumes est largement inférieur aux erreurs de calculs des autres usages et n'est mentionné ici qu'à titre d'exhaustivité d'information.

3.1.2.6 Volumes non identifiés

Les pertes sont définies comme l'écart entre les entrées et les sorties quantifiables du RENP. Les entrées correspondent aux volumes mis en distribution dans le RENP, et les sorties sont les volumes réellement consommés par les usagers.

Deux types de pertes au niveau du RENP peuvent être distinguées (SAGEP 2004) :

- les fuites dites « de surface » qui sont situées au niveau des appareils hydrauliques (BA, BL et BRT)
- les « fuites primaires » qui correspondent aux fuites sur le réseau principal de canalisation et sur les autres types de branchements.

SAGEP évalue les fuites primaires à 30 10^3 m^3/j (soit 15 % des volumes journaliers mis en distribution) et les fuites de surface à 33 10^3 m^3/j. Cette étude avance l'existence d'un niveau de perte incompressible relativement indépendant du volume consommé dans le réseau. Même avec une maintenance très poussée, il semble difficile d'après cette étude de réduire les fuites en dessous de 60 10^3 m^3/j.
SAFEGE estime les fuites primaires et de surface à plus de 100 10^3 m^3/j, ce qui induirait une augmentation très importante de ces volumes par rapport à l'étude de SAGEP, sans que celle-ci ne soit bien expliquée (SAFEGE 2008).
Le rendement, exprimé en pourcentage, est le ratio entre les sorties et les entrées du réseau. On distingue deux types de rendement pour le RENP (SAFEGE 2008) :

- le rendement « technique », qui est le ratio entre des volumes fournis aux usagers et les volumes mis en distribution. Ce rendement ne prend pas compte des fuites de surface.
- le rendement « réel », qui est le ratio entre les volumes consommés identifiés et les volumes mis en distribution. Ce rendement intègre les fuites de surface dans l'estimation des pertes.

Le Tableau 18 récapitule les rendements estimés par les différentes études.

Tableau 18 : Synthèse des rendements du RENP estimés (SAFEGE 2008)

Etudes	Rendement réel	Rendement technique
Merlin (1986)	73,1%	90,0%
Hydratec (1997)	76,3*%	78,5
SAGEP (2004)	64,5%	83,9%
SAFEGE (2008)	42,0%	50% - 65%

*Hydratec ne semble pas considérer les fuites de surface dans son étude. La faible différence entre rendement réel et rendement technique est expliquée par des consommateurs privés non identifiés (9 000 m^3/j).

Les évaluations successives tendent à indiquer une diminution depuis 20 ans des rendements réels. Cela peut s'expliquer par les différentes méthodes utilisées par les quatre études, mais aussi par la baisse des consommations. En effet, le niveau de pertes dans un réseau dépend de la pression et non de la consommation : lorsque la consommation diminue, à pression égale, le volume de pertes reste constant ou

augmente du fait du vieillissement du réseau. L'augmentation du ratio pertes/volumes produits de 2004 à 2008 peut ainsi expliquer la diminution du rendement du réseau.

Etant donné que la grande majorité des sorties (ici consommations d'ENP) sont estimées grossièrement, les pertes sont assimilées à l'ensemble des volumes non identifiés. Ceux-ci sont estimés comme l'écart entre les volumes mis en distribution et les consommations d'ENP estimées :

$$Q_{vni} = Q_{dist} - \sum_{usages} Q_{usages} \quad (10)$$

Q_{vni} : volumes journaliers non identifiés (m^3/j)
Q_{dist} : volumes journaliers mis en distribution (m^3/j)
Q_{usages}: consommations journalières des usages d'ENP estimées (m^3/j)

Les volumes non identifiés étant une grandeur composée, les incertitudes associées sont estimées à partir de la loi de propagation des incertitudes comme suit :

$$\Delta Q_{vni} = \sqrt{\Delta Q_{dist}{}^2 + \sum_{usages} \Delta Q_{usages}{}^2} \quad (11)$$

On considère que l'incertitude sur les volumes mis en distribution est de type A ; elle est calculée à partir de l'écart-type sur les douze valeurs de volumes mensuels moyens. Les autres incertitudes associées aux usages sont reprises de nos calculs précédents. L'évaluation de ces incertitudes est présentée dans le paragraphe suivant.

3.1.2.7 Synthèse des consommations

Le Tableau 19 représente les volumes mis en distribution, l'ensemble des consommations d'ENP estimées ainsi que les volumes non identifiés, et les incertitudes associées. Les autres usages dits « minoritaires » ne sont pas représentés, en raison de leur proportion faible par rapport aux usages restants.

Tableau 19 : Consommations d'ENP et des volumes non identifiés estimés pour l'année 2013

	Données	Remarques
Volumes mis en distribution		
Volume moyen journalier (10^3 m^3/j)	214	Incertitude quantifiée de type A (N=12)
Incertitudes associées	3,74	
Intervalle de confiance (95%) : [min-max]	[207-221]	
Entretien des égouts		
Volume moyen journalier en 2008 ($10^3 m^3$/j)	3,37	
Ecart de volume journalier 2009-2011 par rapport à 2008 [Ecart-type] (10^3 m^3/j)	44,5 [13,9]	Incertitude quantifiée de type A (N=12)
Volume moyen journalier (10^3 m^3/j)	47,8	Volumes de 2008 auquel on ajoute l'écart des volumes mis en distribution depuis cette date
Incertitudes associées	4,61	Incertitude quantifiée de type A (N=12)
Intervalle de confiance (95%)	[38,8 -56,9]	
Nettoyage des voiries		
Nombre de BRT sur le SIG	500	
Volume journalier moyen consommé par l'ensemble des BRT (10^3 m^3/j)	2,05	Etudes réalisée par la VDP en 2009 (VDP 2009b)
Nombre de BL sur le SIG s	14 000	
Nombre de BL ouvertes par secteur [min-max]	4 [3-5]	Incertitude quantifiée de type B
Nombre de BL estimées ouvertes par jour [min-max]	9 176 [6 882-11 470]	Existence de 2 294 secteurs sur Paris. Incertitude quantifiée de type B
Débit d'ouverture moyen [écart-type] (L/min)	93 [0,003]	Incertitude quantifiée de type A (N=123)
Durée d'ouverture estimée [min-max] (Heures)	1 [0,5-1,5]	Incertitude quantifiée de type B
Volume moyen journalier consommé par BL (10^3 m^3/j)		
Volume moyen journalier consommé total (10^3 m^3/j)	53,3	
Incertitudes associées	23,7	
Intervalle de confiance (95%)	[6,8 -99,8]	
Bois de Boulogne et de Vincennes		
Volume moyen journalier des deux bois (10^3 m^3/j)	19,5	Incertitude quantifiée de type A (N=12)
Incertitudes associées aux deux Bois	0,866	
Intervalle de confiance (95%)	[17,8 – 21,2]	
Espaces verts et bassins (Paris intra-muros)		
Besoin en eau [min-max] (mm/an)	365 [360-370]	Incertitude quantifiée de type B
Surface arrosée [min-max] (m^2)	1,61 10^6	Incertitude quantifiée de type B
Alimentation des bassins	4,6	Estimation de SAFEGE (2008)
Volume moyen journalier (10^3 m^3/j)	9,25	
Incertitudes associées au volume journalier (10^3 m^3/j)	< 0,05	Incertitudes négligeables par rapport aux erreurs de calcul
Usages minoritaires		
Volume moyen journalier (10^3 m^3/j)	0,86	Incertitudes négligeables par rapport aux erreurs de calcul
Volumes non identifiés		
Volume moyen journalier (10^3 m^3/j)	86,1	
Incertitudes associées au volume journalier (10^3 m^3/j)		
Intervalle de confiance (95%)	[38,2-134,1]	

Les deux usages principaux, en termes de consommations, sont le nettoyage des voiries (53,3 10^3 m^3/j) et le curage des égouts (47,9 10^3 m^3/j).
Les consommations en ENP pour le nettoyage des voiries sont légèrement supérieures à celles du curage des égouts, néanmoins leurs incertitudes sont comparativement plus élevées (44% au lieu de 10%). Ceci s'explique par les nombreux paramètres à prendre en compte concernant les BL : nombre de bouches ouvertes par jour, débit et durée d'ouverture. Au regard des intervalles de confiance associés, il demeure complexe, sur ces deux usages, d'identifier quel usage prédomine sur l'autre.

Les Bois ont des consommations déterminées plus précisément (avec des incertitudes de 4%). Si l'on s'affranchit des incertitudes associées au nettoyage des voiries, il constitue alors le troisième usage. L'arrosage des espaces verts et des Bassins, ainsi que les usages minoritaires représentent des proportions très faibles des volumes mis en distribution.

Les volumes non identifiés représentent 86,5 10^3 m^3/j, à la hauteur de 40% des volumes d'ENP journaliers mis en distribution. De par notre méthode de propagation d'incertitudes, les incertitudes sur les volumes non identifiés sont de 28%, ce qui induit un intervalle de confiance assez large (entre 38,2 et 134 10^3 m^3/j)
Lorsqu'on considère les intervalles de confiance associés, on estime que les volumes non identifiés représentent entre 35 et 83% des volumes mis en distribution.
A l'heure actuelle, la distinction entre les consommations effectives pour le nettoyage des voiries et les pertes liées au dysfonctionnement des BL demeure encore complexe. Si on considère que les pertes liées au BL font partie du processus de nettoyage et qu'elles constituent la moitié des volumes non identifiés, le rendement de 80% émis dans la facturation aux usagers municipaux se rapproche alors de nos estimations. Cette valeur de 80%, établie par consensus entre les acteurs, est aujourd'hui mentionnée dans le contrat d'objectifs d'EDP concernant la facturation à la VDP. Ainsi, si l'on maintient l'hypothèse de 20% des volumes d'ENP mis en distribution pour les pertes primaires du RENP, les pertes primaires seraient alors estimées à 43,1 10^3 m^3/j.

Suite à cette description des usages et des estimations de leurs consommations, le paragraphe suivant traite désormais des contraintes de qualité de l'ENP requises pour ces usages.

3.1.2.8 Contraintes de qualité vis-à-vis des usages

Il n'existe pas aujourd'hui de seuils règlementaires pour les usages existants du RENP. Toutefois, au vu des changements d'alimentation du RENP étudié dans la thèse, ce paragraphe discute des seuils de qualité possibles pour les usages actuels du RENP, à partir de la bibliographie et la règlementation actuelle, en France ou à l'étranger.
En outre, l'ENP circule dans le RENP, et dans ses branchements de raccordements en ciment et en fonte vers les appareils hydrauliques (BL, BA, BRT) et vers les équipements d'arrosage automatique. Vis-à-vis de ces branchements, les deux risques liés à la qualité de l'eau sont l'entartrage et la corrosion. La qualité de l'ENP actuelle ne posant pas problème vis-à-vis de ces deux enjeux, ces derniers seront abordés plus tard avec l'introduction des eaux d'exhaure[11].

Réservoirs de chasse

Pour rappel, l'ENP alimente le RC par un robinet d'alimentation et est vidangée grâce au rôle de limiteur de niveau que joue la cloche, ainsi qu'au siphon.

Une forte teneur en matières en suspension (MES) pourrait obstruer le robinet ou la vanne d'alimentation, et donc perturber le fonctionnement des réservoirs. Cependant, on estime que les exigences au niveau de l'obstruction des buses d'arrosage sont bien plus élevées que pour les RC. Dans la suite, on se référera, pour la teneur en MES, aux limites fixées pour l'irrigation.

Par ailleurs, la qualité de l'ENP ne doit pas entraîner la corrosion de la cloche. Les enjeux de corrosion, avec l'introduction des eaux d'exhaure, seront décrits plus en détails dans la partie 3.3.3.3.

Nettoyage des voiries

Le principal enjeu de qualité, concernant le nettoyage des voiries, porte sur les risques sanitaires. L'ENP ne doit pas comporter de microorganismes pathogènes vis-vis (a) des agents de la propreté qui manœuvrent les tuyaux en sortie des engins mécanisés de nettoyage des trottoirs et des chaussées et (b) les piétons circulant à proximité des opérations de nettoyage.
Les travaux de Seidl et al. (2016) ont étudié les risques d'exposition des piétons aux lors du nettoyage humide des trottoirs avec l'ENP à Paris. L'étude montre un faible risque de contamination, en raison du temps court de passage des piétons dans la zone et du faible niveau de contamination des aérosols. La contamination est principalement due à la remise en suspension des polluants de la chaussée, la contribution de l'ENP étant estimée faible.
Dans notre recherche, nous estimons que les limites de qualité pour le nettoyage des voiries sont ainsi moins exigeantes que pour l'arrosage. Dans la suite, on se référera, pour les risques sanitaires, aux limites fixées pour l'irrigation.

[11] La qualité des eaux d'exhaure par rapport ces risques sera discutée dans le paragraphe 3.3.3.3.

Arrosage

Deux contraintes sont identifiées vis-à-vis de qualité de l'ENP pour l'arrosage. Tout d'abord, l'ENP doit satisfaire les besoins en eau des plantes pour leur croissance, et ne doit pas nuire à leur développement. Par ailleurs, elle ne doit pas comporter de risque sanitaire vis-à-vis des jardiniers et de la population exposée.

- Impact sur les plantes

L'arrosage permet de compenser le déficit hydrique des plantes, qui perdent de l'eau par évapotranspiration. L'eau apportée peut également fournir des nutriments pour le métabolisme et la photosynthèse des plantes.
Un paramètre important de l'eau à considérer est sa teneur en sels qui, lorsqu'elle est trop élevée, impacte négativement la croissance et le développement des plantes (Calvet 2003, 495). Les sels peuvent également perturber indirectement la croissance des végétaux par leur action sur le sol. En particulier, le sodium impacte la stabilité structurale du sol par dispersion des minéraux argileux (Calvet 2003, 139).

La conductivité est un paramètre qui permet de mesurer l'ensemble des sels minéraux dissous. Plusieurs travaux présentés ci-après ont porté sur les limites de conductivité pour l'irrigation. Wilcox (1948) a établi un graphique représentant la qualité de l'eau pour l'irrigation en fonction de la conductivité du milieu et en fonction du pourcentage de sodium dans la solution (*cf*. Figure 25).
Le pourcentage de sodium indiqué dans le graphique est défini comme suit (Wilcox 1948, 12):

$$\%_{NA} = \frac{Na \times 100}{Ca + Mg + Na + K} \qquad (12)$$

Avec Ca, Mg, Na, et K exprimées en en milliéquivalent par litre.

D'après ce diagramme, l'eau est considérée entre « excellente à bonne » et « bonne à passable » avec une conductivité inférieure à 2000 µS/cm et un pourcentage de sodium est inférieur à 45%. L'eau devient « inutilisable » lorsque la conductivité dépasse les 3000 µS/cm.

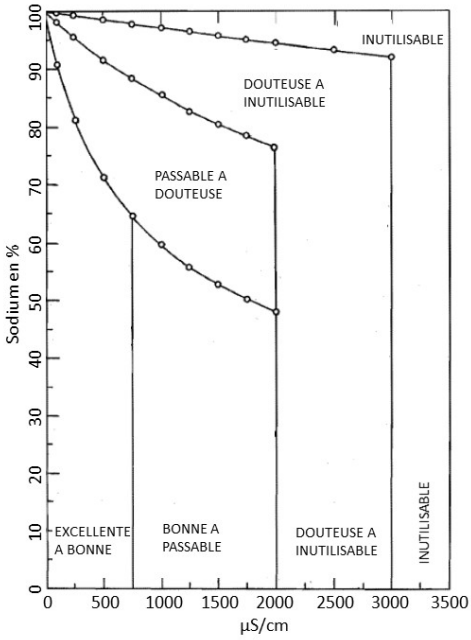


Figure 25: Diagramme servant à interpréter la qualité d'une eau d'irrigation, adapté de Wilcox (1948)

En 2006, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a publié un ouvrage « *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater ».* Elle y présente les restrictions d'usage en fonction de la qualité de l'eau (OMS 2006). Elle définit trois degrés de restriction imposés à l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation : aucun, faible à modéré, et important. Concernant la conductivité, l'OMS estime le degré de restriction « léger à modéré» pour une conductivité entre 700 et 3000 µS/cm. Au-delà de 3000 µS/cm, le degré de restriction est estimé « important ». Cette limite de 3000 µS/cm se retrouve également dans le diagramme de Wilcox. Quant au sodium, le degré de restriction est estimé « faible à modéré » lorsque la quantité de Sodium dépasse 3 meq/L.

L'OMS indique également dans ses seuils le *Sodium Adsorption Ratio* (SAR) qui mesure le rapport entre la concentration d'ions sodium et la somme des concentrations d'ions calcium et magnésium. Il s'exprime comme suit (Sposito et Mattigod 1977):

$$SAR = \frac{Na^{+}}{\sqrt{\frac{1}{2}(Ca^{2+} + Mg^{2+})}} \qquad (13)$$

Na^{+}, Ca^{2+} et Mg^{2+} sont exprimés en milli équivalents en litre.

L'OMS mentionne des seuils sur le SAR en fonction de la conductivité.

Enfin, les travaux de Salgot et al. (2012) portent sur la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation des terrains de golfs dans le bassin méditerranéen. Celle-ci fait l'objet d'une règlementation au Portugal et en Espagne. Salgot et al. (2012) compare les principaux seuils de qualité de ces deux règlementations dans le Tableau 20.

Constituent	Portuguese regulation NP 4434/2005		Spanish regulation RD 1620/2007
	Recommended Limit (mg/L)	Maximum limit (mg/L)	Maximum limit (mg/L)
pH	6.5–8.4	-	-
Conductivity	1 dS/m	-	3.0 dS/m
Suspended solids	60 mg/L	-	20 mg/L
Turbidity	-	-	10 NTU
SAR	8	-	6
Intestinal nematode eggs	1 egg/ 1 L	-	1 egg/ 10 L
Coliform	Fecal coliforms 200 CFU/100 mL	-	*E. coli* 200 CFU/100 mL
Aluminum	5.0	20	-
Arsenic	0.10	10	0.1
Barium	1.0	*	-
Berylium	0.5	1.0	0.1
Boron	0.3	3.75	0.5
Cadmium	0.01	0.05	0.01
Ion Chlorine	70	-	-
Chromium	0.10	20	0.1
Cobalt	0.05	10	0.05
Copper	0.20	5.0	0.2
Fluoride	1.0	15	-
Iron	5.0	*	-
Lead	5.0	20	-
Lithium	2.5	5.8	-
Manganese	0.20	10	0.2
Molybdenum	0.005	0.05	0.01
Nickel	0.5	2.0	0.2
Nitrate	50	*	-
Selenium	0.02	0.05	0.02
Sulphate	575	*	-
Tin, Tungsten, & Titanium	-	-	-
Vanadium	0.10	1.0	0.1
Zinc	2.0	10	-

Additional comments in Portuguese regulation: 1. Treatment: secondary (or tertiary), filtration and disinfection; 2. Disinfection by UV or ozone rather than chlorine; 3. Irrigation method should avoid reclaimed water contact with public; *: value that can be fixed by the administrative body involved.

Tableau 20 : Qualité de l'eau recommandée pour l'arrosage de terrains de golf au Portugal et en Espagne. Salgot et al. (2012)

Concernant la conductivité, on constate dans le Tableau 20 que la règlementation portugaise indique une valeur recommandée de 1000 µS/cm, sans indiquer de valeur limite maximale autorisée. La règlementation espagnole indique, quant à elle, une valeur maximale de 3000 µS/cm, qui se retrouve également dans les limites de l'OMS (2006) et de Wilcox (1948).

Les seuils évoqués précédemment se veulent généraux, c'est à dire non limités à des espèces précises. Cependant, il convient également de prendre en compte les types

d'espèces que l'on souhaite arroser avec l'ENP, toutes les espèces n'étant pas aussi sensibles les unes que les autres à la qualité de l'eau.
Les travaux de Faby et al. (1998) portent sur l'utilisation des eaux usées traitées en irrigation. Ils y présentent le rendement des cultures irriguées en fonction de la salinité de l'eau, sur la base des travaux de Maas et al. (1977) et Maas (1984).

Tableau 21 : Rendement en fonction de la conductivité d'espèces variées. Modifié d'après Faby et al. (1998), basé sur Maas et al.(1977) et (Maas (1984)

Rendement en fonction de la conductivité (µS/cm)	100%	90%
Oignon	800	1 200
Pomme de terre	1 100	1 700
Choux	1 200	1 900
Tomate	1 700	2 300
Concombre	1 700	2 200
Blé	4 000	4 900

On observe dans le Tableau 21 qu'une conductivité de plus de 800 µS/cm ne gêne que l'oignon parmi les plantes testées, l'oignon ayant encore un rendement de 90% avec une eau à 1200 µS/cm.

- Risques sanitaires

En plus de l'impact sur les plantes, l'ENP ne doit pas comporter de pathogènes vis-vis des jardiniers qui utilisent manuellement le tuyau d'arrosage, mais aussi vis-à-vis de la population (en cas d'arrosage pendant les heures d'ouverture des jardins).

Dans son étude, l'OMS (2006) évalue les risques microbiologiques associés à l'arrosage sur la population humaine, sans toutefois établir des seuils de qualité pour l'arrosage. Dans notre recherche, on utilisera les paramètres bactériens habituellement utilisés comme indicateurs des risques microbiologiques, soit les *Escherichia coli* et les Entérocoques.
En France, l'arrêté du 25 juin 2014 (Legifrance 2014a) règlemente l'utilisation des eaux usées traitées[12]. Le Tableau 22 présente les valeurs seuils pour le seuil « A » qui inclue l'arrosage des espaces verts ouverts au public. Il indique une valeur limite de 250 NPP/100mL pour les *Escherichia coli*, valeur relativement proche de la règlementation espagnole de 200 CFU/100mL (*cf*. Tableau 20). Concernant les Entérocoques, l'arrêté ne propose pas de valeur limite, mais un taux d'abattement en *Entérocoques* en log. Un seuil en absolu sur les *Entérocoques* dans les trois règlementations considérées n'existe donc pas à l'heure actuelle.

[12] L'arrêté sera décrit plus en détails dans le paragraphe 3.3.1.1 consacré aux eaux usées traitées.

Tableau 22 : Limites pour le niveau de qualité sanitaire A de l'arrêté du 2014 du 25 juin 2014 règlementant l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts

Paramètres	**Valeurs seuils de l'arrêté 2014** (Legifrance 2014a)
Demande chimique en oxygène (mg/L)	60
Matière en suspension (mg/L)	15
Escherichia coli (NPP/100 m)	250
Entérocoques fécaux (abattement en log)	4
Phrase Arn F-spécifiques (abattement en log)	4
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	4

- Obstruction des buses d'arrosage

Enfin, des MES contenues dans l'ENP peuvent obstruer les buses d'arrosage. Plusieurs valeurs limites sont indiquées dans les règlementations actuelles sur la réutilisation des eaux usées traitées. La règlementation portugaise indique une valeur recommandée de 60 mg/L, sans indiquer de valeur limite maximale. La règlementation espagnole indique une valeur maximale plus exigeante, soit de 20 mg/L. L'arrêté de 2014 sur la réutilisation des eaux usées traitées en France indique une valeur seuil encore plus stricte, soit de 15 mg/L. L'ensemble de ces seuils seront récapitulés dans le Tableau 24 ci-après.

Vie aquatique

L'ENP étant utilisée pour alimenter les lacs des Bois de Vincennes et de Boulogne, sa qualité doit permettre le développement de la vie aquatique des plans d'eau.
En France, plusieurs textes règlementaires issus de la transposition de la Directive Cadre Eau dans le droit français portent sur le bon état écologique des cours d'eau. On citera ici notamment :

- l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'environnement (Legifrance 2010c).
- l'arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du Code de l'environnement (JORF 2015).

On s'attarde en particulier sur les paramètres physico-chimiques qui participent à l'évaluation de l'état écologique des cours d'eau. Le Tableau 23 indique les valeurs des limites de classe pour les paramètres des éléments physico- chimiques généraux pour les cours d'eau, présentés dans l'Annexe 3 de l'arrêté du 27 juillet 2015 (JORF 2015, 51).

Tableau 23 : Valeurs des limites des classes d'état pour les paramètres physico-chimiques généraux pour les cours d'eau (JORF 2015, 51)

Paramètres par élément de qualité	Limites des classes d'état			
	Très bon / Bon	Bon / Moyen	Moyen / Médiocre	Médiocre / Mauvais
Bilan de l'oxygène				
Oxygène dissous (mg O_2/l)	8	6	4	3
Taux de saturation en O_2 dissous (%)	90	70	50	30
DBO_5 (mg O_2/l)	3	6	10	25
Carbone organique dissous (mg C/l)	5	7	10	15
Température				
Eaux salmonicoles	20	21,5	25	28
Eaux cyprinicoles	24	25,5	27	28
Nutriments				
PO_4^{3-} (mg PO_4^{3-}/l)	0,1	0,5	1	2
Phosphore total (mg P/l)	0,05	0,2	0,5	1
NH_4^+ (mg NH_4^+/l)	0,1	0,5	2	5
NO_2^- (mg NO_2^-/l)	0,1	0,3	0,5	1
NO_3^- (mg NO_3^-/l)	10	50	*	*
Acidification[1]				
pH minimum	6,5	6	5,5	4,5
pH maximum	8,2	9	9,5	10
Salinité				
Conductivité	*	*	*	*
Chlorures	*	*	*	*
Sulfates	*	*	*	*

[1] acidification : en d'autres termes, à titre d'exemple, pour la classe bon état, le pH min est compris entre 6,0 et 6,5 ; le pH max entre 9,0 et 8,2.
* : les connaissances actuelles ne permettent pas de fixer des seuils fiables pour cette limite.

Dans le Tableau 23, plusieurs paramètres nous paraissent essentiels à suivre pour permettre une vie aquatique de bonne qualité dans les lacs des Bois. On constate que les seuils de qualité sont bas pour la DBO_5 et DCO, afin de prévenir les pénuries d'oxygène qui reste essentiel pour la vie des poissons.
La température est également un élément important, car la solubilité de l'oxygène dans l'eau diminue lorsque la température augmente, ce qui peut induire une modification de la composition des espèces aquatiques.
Enfin, on note l'importance des seuils limites pour le phosphore (phosphore et phosphate) et l'azote (ammonium, nitrate, et nitrate), vis-à-vis de l'eutrophisation des lacs. En effet, un apport important de ces nutriments favorise le développement des algues dans les lacs. Celles-ci, en se décomposant, provoquent une forte consommation en oxygène par les bactéries du lacs pour leur dégradation et une anoxie d'une partie du corps hydrique.

Synthèse

Le Tableau 24 récapitule l'ensemble des seuils. A titre de comparaison, il indique également

- La directive 2006/7/CE Baignade, au vu de l'objectif affirmé de la VDP de mettre en place une baignade au lac Daumesnil du Bois de Vincennes d'ici 2019.
- Les seuils de rejet établis dans les égouts de Paris, issus du règlement d'assainissement de la VDP. Ceux-ci donnent une indication des exigences requises de qualité dans le rejet en égout, mais aussi pour le traitement en STEP. Le règlement assainissement donne des limitations pour eaux usées non domestiques et définit ses propres seuils pour une catégorie bien spécifique d'eaux usées non domestiques : les eaux d'exhaure.
- Les seuils de rejet établis dans les canaux de la VDP. En effet, les canaux sont également soumis aux objectifs de bon état écologique et chimique dans le cadre SDAGE Seine-Normandie.
- Les seuils établis par EDP pour l'étude de l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP. Les seuils de qualité ont été établis pour l'injection des eaux d'exhaure d'un parking initialement en 2013, puis complétés et réajustés au fil de l'avancement des études. Nous indiquons les valeurs les plus récentes pour l'ensemble des paramètres identifiés (ces seuils seront évoqués plus spécifiquement dans la partie 5.1.2).

Ce Tableau indique, pour l'ensemble des textes évoqués, les seuils des paramètres évoqués, puis indique, dans la dernière colonne, l'intervalle des seuils constatés.

			Arrosage				Vie aquatique	Rejet canaux	Baignade	Rejet en égout		Seuils exhaure-	
	Unité	Intérêt pour le RENP	OMS (2006) degré restriction "important'	Règlementation portugaise (NP 4434/2005) valeur recommandée	Règlementation espagnole (RD 1620/2007)	Arrêté réutilisation EUT 2010/20142014 (niveau A)	Arrêté du 27 juillet 2015 : -état écologique bon/moyen	Guide canaux VDP (2011)	Directive 2006/7/CE Baignade: « bonne »	Règlement d'assainissement de Paris : EU non domestiques	Règlement d'assainissement Paris: exhaure	Seuils établis par EDP	**Intervalle des seuils**
Paramètres physico-chimiques	-	-											-
Ammonium-NH4+	mg/L	vie aquatique					0,5	0,5				0,5	**0,5**
Arsenic	µg/L	vie aquatique						10					**10**
Bore	mg/L											700	**700**
Cadmium	µg/L	toxicité faune / flore						0,6					**0,6**
Calcium	mg/L	entartrage										100	**100**
Chlorure	mg/L	corrosion	100 (irrigation par surface)				*					200	**10-200**
Chrome total	µg/L	toxicité faune / flore						5					**5**
Conductivité	µs/cm	arrosage et corrosion	3000	1000	3000		*					1000	**1000-3000**
COT	mg/L	vie aquatique						7				5	**5-7**
Cyanure	µg/L	vie aquatique						0,2					**0,2**
DBO5	mg/L	vie aquatique					6	6		800	25	10	**6-800**
DCO	mg/L	vie aquatique				60	7	30		2000	125	40	**7-2000**
Dureté	TH(°f)	entartrage										50	**50**
HAP	µg/L	vie aquatique						1					**1**
Hydrocarbures dissous ou émulsionnés	mg/L	vie aquatique						1					**1**
Hydrocarbures totaux	Mg/L	vie aquatique									5		
Mercure	µg/L	vie aquatique						0,07					**0,07**
MES	mg/L	obstruction équipement (	>100	60	20	15		50		600	35	50	**15-600**
Nitrate	mg/L	eutrophisation lacs					50	50				30	**30-50**
Nitrite-NO2-	mg/L						0,3					1	**0,3-1**
N total	mg-N/L	eutrophisation lacs					11.8 (est)			150	10	7.5 (est)	**7.5-150**
O2 dissous	mg/L	vie aquatique					6	6					**6**
Phosphate	mg PO4 /L	eutrophisation lacs					0,5	0,5				1	**0,5**
Phosphore total	mg P/L	eutrophisation lacs					0,2			50			**0,2-50**
pH		corrosion		6,5-8,4	nd		6 (min)-9(max)	6-9					**6-9 - à voir**
Plomb	µg/L	vie aquatique						50					**50**
Sodium	mg/L ou eq/L	arrosage /sol	210 (irrigation par surface)									70	**9-70**
SAR	$(meq/L)^{1/2}$	arrosage /sol	en fonction de la conductivité	8	6								**6-8**
Sulfate	mg/L	arrosage / toxicité plantes		575	-		*					250	**250-575**
TAC	°f	entartrage										12,5	**12,5**
Température	°C	activité microbiologique					25,5					30	**25,5-30**
Turbidité	NTU	obstruction équipement		nd	10							10	**10**
Zinc	mg/L	vie aquatique						5					**5**
Paramètres physico-chimiques	-	-											-
Œuf nematode intestinal	œuf/L	santé publique		1	1								**1**
Escherichia coli	UFC ou N/100mL	santé publique			200	250		500	1000			250	**250-1000**
Entérocoques	/100 mL	santé publique				Abattement en log		<200	400			100	**200-400**

Tableau 24 : Comparaison des seuils de qualité de l'ENP pour les usages urbains existants

Case en rouge : valeur la plus stricte, case en orange : valeur unique, et case en vert : valeur la moins exigeante

Pour ces certains paramètres, il apparaît dans ce Tableau que l'intervalle de seuils ne comporte qu'une seule valeur. Ceci s'explique pour deux raisons : soit le paramètre en question n'a pas été pris en considération que dans une référence normative, soit il y a consensus entre les différents textes quant à la valeur du seuil. Par exemple, les choix des paramètres retenus par EDP pour autoriser l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP intègrent les problématiques d'entartrage et de corrosion (Calcium, Chlorure, TAC) ainsi que de contamination de la nappe (Bore, Cadmium). Le guide des canaux s'est appuyé, quant à lui, sur la Directive Cadre Eau pour certains paramètres (Ammonium, O_2 dissous, et Phosphate).

Lorsque plusieurs valeurs sont disponibles pour un même paramètre physico-chimique, on constate des écarts importants entre les différents textes. Ceci s'explique par la pluralité des usages considérés au sein de chaque texte - et donc des niveaux de qualité requis.
En particulier, la norme sur le bon état écologique comporte des niveaux de qualité comparativement stricts sur les nutriments (azote, carbone, et azote), dans l'objectif d'éviter l'eutrophisation des lacs et de maintenir une vie aquatique de bonne qualité dans les lacs.
Par ailleurs, les limites sur l'arrosage comportent des niveaux bas pour les MES, prenant en compte des problématiques d'obstruction des équipements et la qualité de traitement des eaux usées. Elles portent également sur d'autres paramètres spécifiques, comme la conductivité et le sodium.

A l'inverse, les seuils du règlement d'assainissement sont comparativement moins stricts, en particulier pour les nutriments. En effet, ceux-ci représentent un moindre problème car ces trois paramètres sont abattus en STEP avant le rejet dans le milieu naturel.
Enfin, on note que les seuils de rejet en égout des eaux d'exhaure sont plus stricts que pour le rejet d'une eau usée non domestique « autre ». Ces seuils ont en effet une visée incitative de limiter les rejets en égout au profit du milieu naturel (*cf.* paragraphe 3.3.3.1).

Concernant les paramètres microbiologiques, on constate des écarts importants entre les seuils de l'arrêté de réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation et la norme de baignade pour les eaux de « bonne qualité ». Ces écarts peuvent s'expliquer par des différences en termes d'exposition. Il est important de souligner que les seuils pour la norme de baignade sont établis au 95e percentile pour les mesures des Entérocoques et des *Escherichia Coli* sur la période d'évaluation (généralement quatre saisons balnéaires). Concernant les Entérocoques, seuls la norme Baignade et le Guide des canaux indiquent une limite pour ce paramètre.

En guise de conclusion sur les paramètres de qualité, il apparaît que les usages d'ENP ont des exigences de qualité très variées, selon que l'on considère l'entretien des égouts, la vie aquatique, et l'arrosage. Au regard de ce Tableau, on peut estimer que

les usages les plus sensibles sont la vie aquatique et l'arrosage. Ainsi, si l'on souhaite utiliser la même ENP pour l'ensemble des usages, il semble pertinent de s'appuyer sur les limites de qualité fixées par la norme sur le bon état écologique et les différents textes sur l'arrosage, afin d'établir les valeurs guides pour le reste des usages.

L'ENP du réseau parisien, de par sa qualité, satisfait les usages actuels depuis des décennies. Cependant l'introduction de nouvelles ressources est susceptible de modifier significativement la qualité de l'ENP, et par là-même d'avoir un impact sur les usages (*cf*. partie 5.1.2).

Après avoir discuté des usages aussi bien en termes de volumes que de qualité, nous nous attardons dans la partie suivante sur l'origine de l'ENP, soit l'eau brute issue des eaux de rivières.

3.1.3 Ressources actuelles du réseau

L'alimentation du RENP en eaux de rivière nous amène à considérer le bassin versant de la Seine en amont de Paris. Notre attention sera portée sur les ressources de la Seine, la Marne et de l'Ourcq.

3.1.3.1 La Seine

Le cours de la Seine a une orientation générale du Sud-Est au Nord-Est. Celui-ci prend sa source à Source-Seine en Côte d'Or sur le plateau de Langres à 450 mètres et se jette 774 kilomètres plus loin dans la Manche entre Le Havre et Honfleur (AESN 2016a). Le bassin versant de la Seine est constitué de 75 000 km².
Le principal affluent de la Seine d'intérêt pour l'approvisionnement du RENP de Paris est la Marne (*cf*. Figure 26). Celle-ci prend sa source sur le plateau de Langres à Balesmes-sur-Marne (Haute-Marne) et se jette dans la Seine à Charenton-Le-Pont après 514 kilomètres parcourus.

Figure 26 : Réseau hydrographique du bassin versant de la Seine (GIP Seine-Aval 2013)

Le bassin est très marqué par l'homme : la densité des forêts y est faible alors que l'activité agricole et l'urbanisation sont fortement présentes autour des grands cours d'eau. La majeure partie des communes du bassin (90%) compte moins de 2000 habitants. Les contrastes de densité sont donc très importants, de 35 habitants/km² à la campagne à plus de 20 000 habitants/km² à Paris.
Concernant la ville de Paris, 60 % de son eau potable provient des nappes souterraines, le reste provenant des fleuves et rivières. L'estuaire de la Seine reçoit les rejets de 30 % de la population française (17,6 millions d'habitants), 40 % de l'industrie nationale, et les pollutions diffuses de 25 % de l'agriculture nationale. Plus

de 2 500 stations d'épuration du bassin traitent les eaux usées de ses 17 millions d'habitants.

3.1.3.2 La rivière et le canal de l'Ourcq

La rivière de l'Ourcq est un des derniers affluents de la Marne, 60 km avant sa confluence avec la Seine à Paris. L'idée d'acheminer les eaux de l'Ourcq vers Paris remonte au 16e siècle, et a eu initialement pour objectif le transport de matériaux, tels que le bois et la pierre. A l'initiative de Napoléon Bonaparte, la construction du canal débute avec la loi du 29 Floréal an X (19 mai 1802) qui autorise l'ouverture d'un canal de dérivation de la rivière d'Ourcq vers Paris (VDP 2011). Le gouvernement confie, le 20 mai 1818, la concession du canal pour une durée de 99 ans à la Compagnie Vassal et Saint-Didier, gérée plus tard par Hainguerlot. Le contrat de concession sera interrompu par la décision du conseil de Paris, par délibérations du 31 mai 1875 et du 21 mars 1876, de racheter la concession du Canal de l'Ourcq à la Compagnie de Hainguerlot.

Depuis cette date, le canal fait partie d'un réseau fluvial géré par la VDP, dont il constitue la colonne vertébrale. En prolongation à la rivière d'Ourcq canalisée entre Porte aux Pêches et Mareuil-sur-Ourcq (Oise), le canal s'écoule sur 97 km pour traverser tout le département de Seine et Marne jusqu'à Paris. Il est à petit gabarit de Mareuil-sur-Ourcq à Sevran, puis à grand gabarit jusqu'au bassin de la Villette. Deux canaux permettent de prolonger le canal jusqu'à la Seine : le canal Saint-Martin qui s'étire sur 4,5 km dans Paris, et le canal Saint-Denis qui s'écoule sur 6,6 km de Paris à Saint-Denis. La Figure 27 présente le fonctionnement du canal.

Figure 27: Synoptique du fonctionnement du canal de l'Ourcq (VDP 2014)

Les usages du canal sont multiples et sont identifiés dans le Tableau 25.

Tableau 25 : Usages actuels du canal de l'Ourcq

Usages	Description et besoins en eau associés (m^3/j)
ENP	Le débit prélevé au Canal de l'Ourcq correspond au volume produit à l'usine de la Villette. Il varie entre 160 10^3 m^3/j et 210 10^3 m^3/j selon les besoins du RENP.
Navigation (transport et tourisme)	Les besoins de navigation sont liés au transport des marchandises L'aval du canal de l'Ourcq et le canal Saint-Denis connaissent un trafic annuel entre 1 et 2 millions de tonnes, essentiellement des marchandises et des pondéreux du BTP (VDP 2007, 5). Par ailleurs, le tourisme fluvial et les activités nautiques se développent sur le canal. Les besoins pour la navigation du canal s'estiment comme suit : • 100 10^3 m^3/j pour la navigation des canaux Saint-Denis et Saint Martin (consommation d'eau lors des franchissements d'écluses) • 20 10^3 m^3/j pour le maintien d'une hauteur minimale dans les différents biefs du canal En termes de hauteur d'eau, le canal de l'Ourcq doit, dans la mesure du possible, conserver un tirant d'eau de 1,4 m pour le petit gabarit et 3,2 m pour le grand gabarit (Hydratec et al. 2015).
Usages des collectivités	Les collectivités ont désormais la possibilité de prélever ou de rejeter de l'eau dans le canal. Des conditions juridiques, techniques et financières pour les prélèvements et rejets dans les canaux ont été établies par la VDP et présentées dans un guide à l'usage des collectivités (VDP 2011). D'après ce guide, des communes peuvent prélever un volume total entre 30 10^3 et 50 10^3 m^3 /j.
Autres usages	Par leurs berges aménagées, les canaux représentent un espace de loisirs pour la promenade et le cyclisme. La VDP souhaite également mettre en place la baignade dans le bassin de la Villette à partir de l'été 2019.

Afin d'assurer l'ensemble de ces usages, l'eau dans le canal est apportée par différents cours d'eau. Le principal cours provient de la rivière Ourcq naturelle, qui prend sa source au-dessus de Fère-en-Tardenois dans le département de l'Aisne. Elle est canalisée de Port aux Perches à Mareuil sur Ourcq, puis elle est déviée pour alimenter le canal de l'Ourcq. En aval de la prise d'eau à Mareuil-sur-Ourcq, la rivière Ourcq, appelée aussi « la rivière Ourcq inférieure », suit une large vallée et rejoint la Marne en rive droite, en-dessous de Lizy-sur-Ourcq (*cf*. Figure 28).

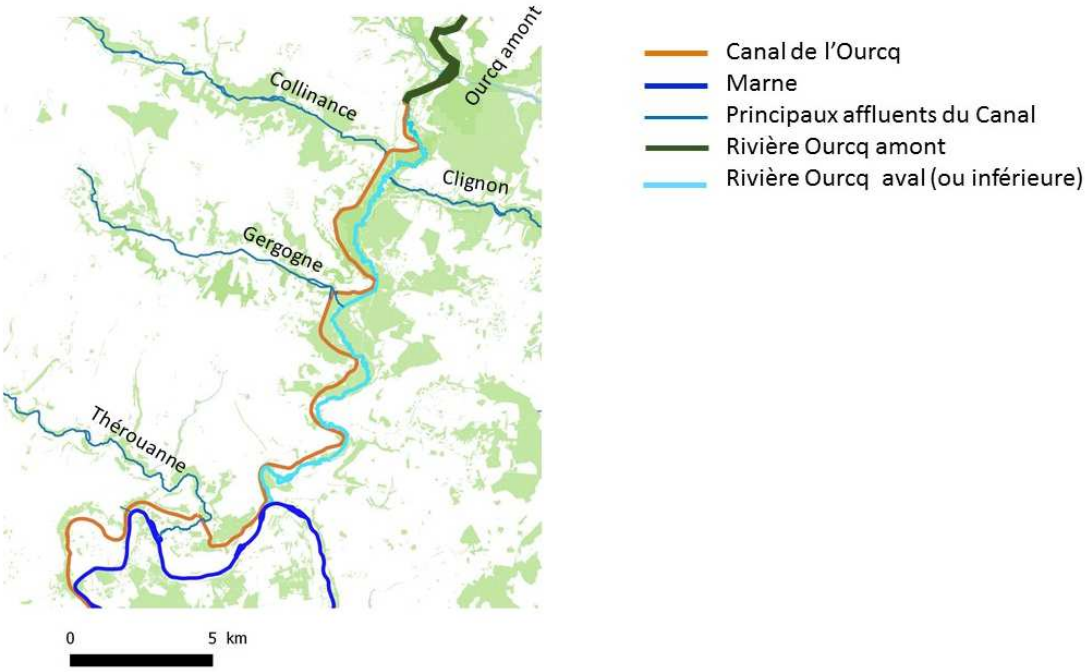


Figure 28 : Rivière Ourcq naturelle

Le deuxième apport est issu des affluents qui se rejettent dans le canal. L'ensemble de ces affluents est récapitulé dans le Tableau 26.

Tableau 26 : Alimentation du Canal de l'Ourcq par les affluents (Hydratec 2014)

Nom des affluents	Type d'alimentation
Le ru d'Allan	Apport intégral du débit
Le ru d'Autheuil	Apport partiel de débit (réparti entre le canal et un réseau de fossés et d'étangs)
La Grivette (appelée aussi la Collinance)	Apport partiel du débit grâce à un ouvrage de régulation
Le Clignon	Apport partiel du débit grâce à un ouvrage de régulation
La Gergogne	Apport partiel du débit grâce à un ouvrage de régulation
La Thérouanne	Apport partiel du débit grâce à un ouvrage de régulation
La Beuvronne	Apport partiel du débit grâce à un ouvrage de régulation. Apport abandonné depuis 2015

Ces affluents sont des cours d'eau naturels qui initialement se rejettent dans la rivière Ourcq ou dans la Marne. Le ru d'Allan et le ru d'Autheuil ont la totalité du débit destiné au canal de l'Ourcq. Les autres apports sont la Grivette (ou appelé aussi Collinance), le Clignon, la Gergogne, la Thérouanne et la Beuvronne. Ils alimentent le canal grâce à un ouvrage de régulation de type seuil et vannage, qui permet de dévier l'eau vers le canal de l'Ourcq *via* une prise d'eau et un canal d'amenée. Le surplus continue à s'écouler dans la rivière naturelle en aval de la prise d'eau. En temps normal, la quasi-totalité du débit d'apport est dirigée vers le canal de l'Ourcq. En temps de crues, le

système de seuils et vannage permet la décharge du débit d'apport vers le cours inférieur.

Le principe de seuil et vannage est illustré avec l'exemple de l'affluent Clignon (*cf*. Figure 29). Ce cours d'eau prend sa source à Bézu-Saint-Germain dans l'Aisne et rejoint la rivière de l'Ourcq à Neufchelles après un parcours de 30 km. A Montigny l'Allier, les eaux du Clignon sont détournées pour alimenter le canal de l'Ourcq *via* un canal d'amenée (Hydratec 2014).

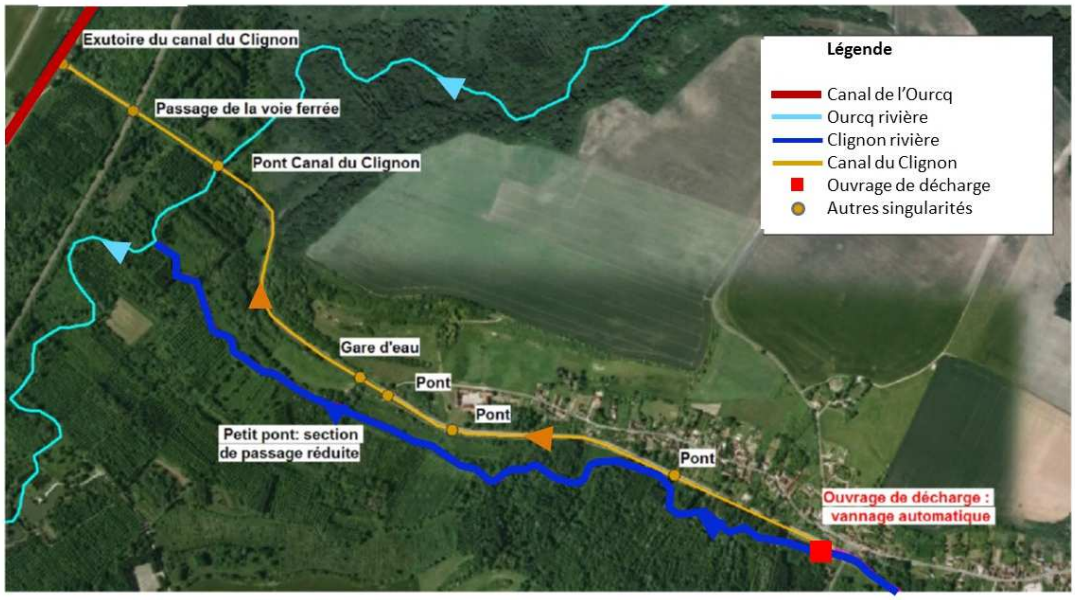


Figure 29 : Fonctionnement du Clignon. Modifié d'après Hydratec (2014)

Enfin, le dernier apport provient de deux prises d'eau en Marne mises en place à la deuxième moitié du XIXème siècle. En effet, de 1858 à 1865, suite à de grandes sécheresses qui paralysent la navigation des canaux Saint-Denis et Saint-Martin, la VDP est autorisée par deux décrets en 1866 à puiser en Marne (Belgrand 1882, 48). Deux usines élévatoires, l'une à Trilbardou et l'autre à Villers-les-Rigault, pompent en Marne afin de renforcer le débit du canal de l'Ourcq du printemps à l'automne. L'usine à Villers-les-Rigault ne fonctionne plus depuis 2003. L'usine de Trilbardou, rénovée en 2014, est dotée de deux pompes de 0,5 m^3/s et deux pompes de 1 m^3/s, et d'une turbine Teisset de 0,5 m^3/s. L'usine a une capacité totale de 3,5 m^3/s, toutefois elle dispose d'une autorisation de prélèvement total en Marne convenue avec Voies Navigables de France de 2,5 m^3/s.

A l'échelle de l'année, la répartition des trois types d'apports du Canal l'Ourcq sont présentés dans la Figure 17 pour l'année 2012 (Hydratec 2014) avec un volume annuel d'apport de 2012 estimé à 123,6 10^6 m^3/an. D'après cette Figure, la ressource principale est la rivière Ourcq naturelle, suivie ensuite du Clignon et de la Marne.

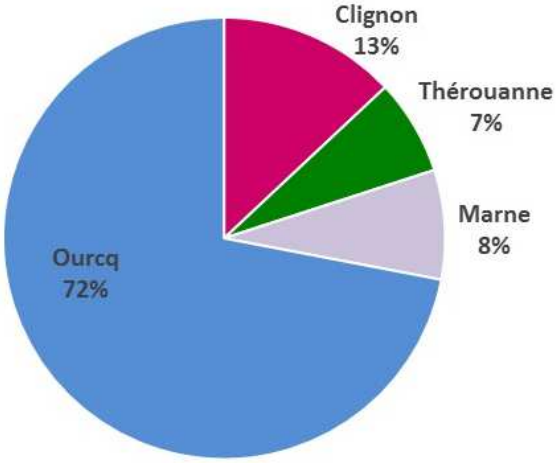


Figure 30 : Répartition des apports hydrologiques de l'Ourcq pour l'année 2013. (Hydratec 2014)

Lorsqu'on s'intéresse aux variations mensuelles, la Figure 31 présente en 2013 les débits pompés en Marne et les débits transitant à Sevran dans le Canal de l'Ourcq. D'après cette Figure, la Marne est pompée en 2013 de mars à octobre. Le débit pompé en Marne atteint son maximum en août, représentant 30% du débit transitant dans le Canal.

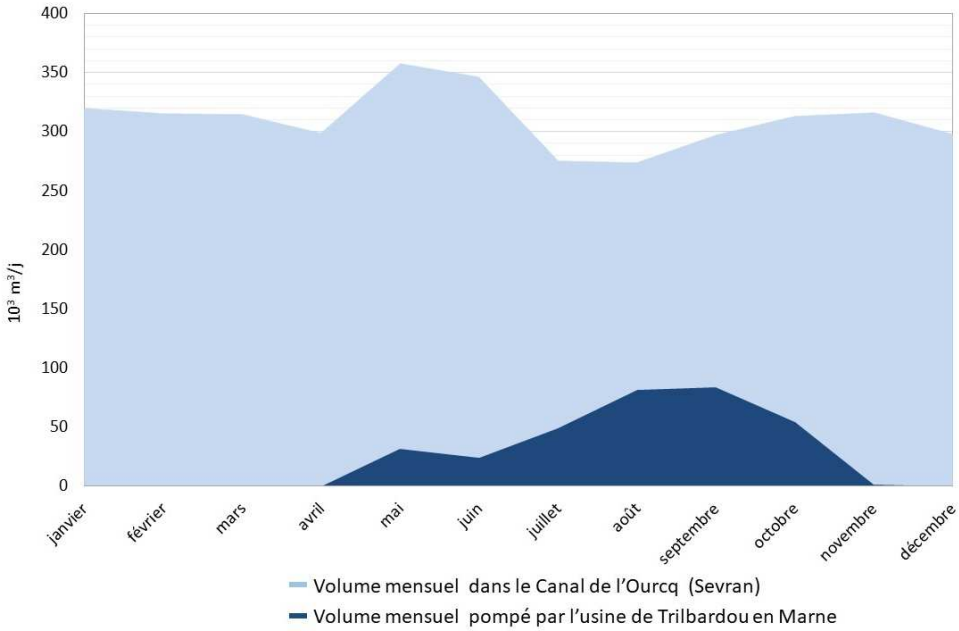


Figure 31 : Variations mensuelles du pompage en Marne à Trilbardou en 2013

Une fois l'eau apportée dans le canal, son niveau dans les différents biefs est régulé par des écluses (quatre sur la rivière canalisée et six sur le canal de l'Ourcq). Celles-ci sont constituées d'une passe navigable équipée d'un sas et de vannes de régulation; et fonctionnent grâce à système de régulation automatique (Hydratec 2014, 33). Leur position est indiquée sur la Figure 27.

Les décharges, constituées d'un déversoir et d'une vanne, permettent la décharge du canal de l'Ourcq en cas de crue. Il existe sept décharges sur le canal de l'Ourcq : quatre sont dirigées vers la rivière Ourcq (Petit et Grand vannage, Conroy, Ocquerre) et trois vers la Marne (Fontaine des Ances, Beauval, Bois-Talon). Les ouvrages du petit et du grand vannage de Mareuil sont automatisés, alors que les autres ouvrages sont gérés manuellement par les agents du service des canaux (les acteurs du canal et de ses différents apports sont décrits plus en détail dans la partie 3.2.3).

3.1.3.3 Estimation des débits des cours d'eau

La disponibilité des ressources de la Seine et du Canal de l'Ourcq varie tout au long de l'année en fonction des conditions climatologiques.
L'examen des données hydrologiques des cours d'eau sollicités pour le RENP nous permet d'identifier la période de l'année pendant laquelle les débits sont les plus bas. Ces données sont issues de stations hydrométriques de la banque Hydro accessibles en ligne (Hydrofrance 2017). La banque Hydro est une banque de données nationale qui stocke les mesures de hauteur d'eau et de débit (à pas de temps variable) en provenance des stations de mesure implantées sur les cours d'eau français.

Une station hydrométrique est une section d'un cours d'eau instrumentée où l'on mesure en continu la hauteur d'eau et éventuellement une ou plusieurs vitesses d'écoulement pour calculer un débit. Deux types de stations existent : une station à hauteur-débit et une station à vitesse-débit. Une station à relation hauteur-débit, appelée usuellement station limnométrique est un emplacement sur lequel la hauteur d'eau est mesurée en continu. Le débit est estimé en appliquant une courbe de tarage de type Q=f(h).
La station à relation vitesse-débit, appelée usuellement station débitmétrique, désigne un site où sont mesurées en continu les vitesses d'écoulement qui permettent d'estimer la vitesse moyenne (V) sur une section. Le débit est estimé par la formule Q = S(h) x V.
Le positionnement des stations sur les cours d'eau, le type de station et les périodes de stockage des données sont indiqués dans le Tableau 27.

Tableau 27 : Stations hydrométriques de la banque Hydro des cours d'eau sollicités pour le RENP

[1] La station se dénomme plus précisément La Seine à Paris [Austerlitz après création lacs] et remplace à partir de 1974 la station La Seine à Paris [Austerlitz avant création lacs].

Nom de la station	Positionnement sur le cours d'eau	Type de station	Période de stockage
L'Ourcq à Chouy	En amont de la rivière canalisée de l'Ourcq	Station à relation hauteur-débit	1988-2016
La Marne à la Ferté-sous-Jouarre	En amont de l'usine de Trilbardou	Station à relation vitesse-débit	1993-2016
La Seine à Paris [Austerlitz] [1]	La Seine, pont d'Austerlitz	Station à relation hauteur-débit	1974-2016

Les évolutions des débits des cours d'eau sur l'année sont ici présentées sur la Figure 32. Pour l'ensemble des cours d'eau considérés, il apparaît que les débits et les niveaux d'eaux les plus bas sont situés entre juin et septembre.

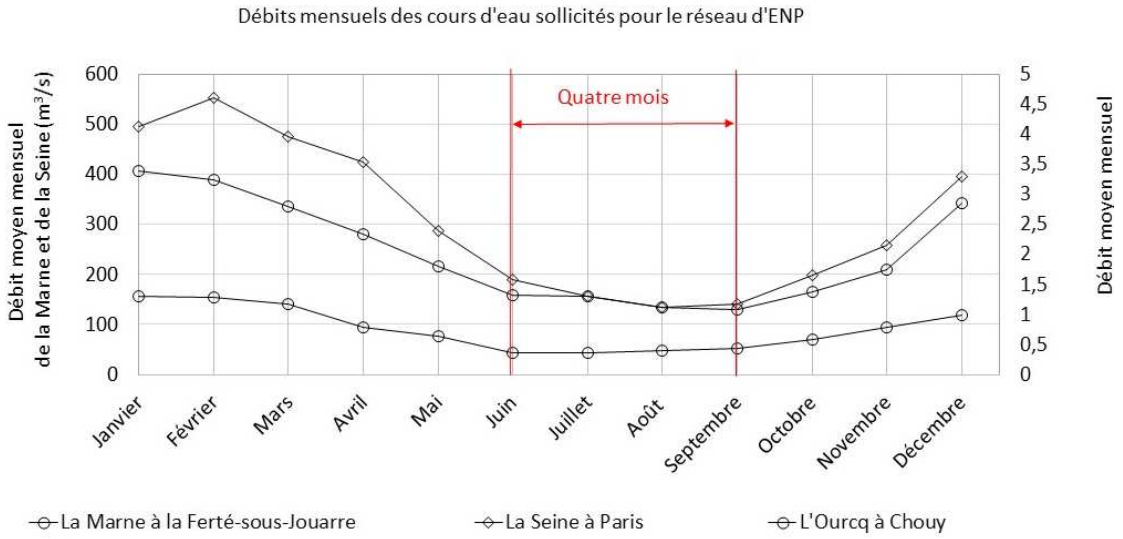


Figure 32 : Variations annuelles des débits des cours d'eau sollicités pour le RENP. Volumes moyens mensuels en m³/s calculé sur la période de stockage des données. Source : banque Hydro

3.1.3.4 Un enjeu règlementaire porté sur le maintien des débits réservés

Un enjeu règlementaire susceptible d'impacter la disponibilité des ressources du RENP est apparu pendant notre thèse : le maintien des débits réservés.

La notion de « débit minimal » apparait avec la Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique (Legifrance 2014b). Dans l'Article 2 de cette loi, il est mentionné qu' « *une autorisation impose à son titulaire le respect d'un règlement d'eau fixant notamment les débits prélevés et réservés* ». La loi pêche du 29 juin 1984 (Legifrance 1984) introduit, dans son article 2, le principe d'un débit minimal fixé au 10ième du module du cours d'eau à l'aval immédiat des nouveaux ouvrages (barrage, dérivation, pompage). Ce débit est calculé à partir des débits moyens interannuels évalués sur une durée de cinq ans. Cette valeur du 10ième du module interannuel du cours d'eau est un plancher (Gazzaniga et al. 1979)**.**

La définition du débit réservé est précisée avec la loi du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques. (Legifrance 2010d). Elle a pour but de transposer certaines dispositions de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) du 23 octobre 2000 (EUR-LEX 2000). En particulier, elle reformule la définition du débit réservé avec la création de l'article L.214-18 du Code de l'environnement indiqué dans l'Encadré 4. Cet article impose à tout ouvrage transversal dans le lit d'un cours d'eau de laisser dans le cours d'eau à l'aval, un débit minimal « *garantissant en permanence la vie, la circulation et*

la reproduction des espèces présentes vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ». Ce débit minimal ne doit généralement pas être inférieur au 10ième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage, bien qu'il existe des possibilités d'y déroger. Les obligations relatives au minimum légal prévues à l'article L.214-18 s'appliquent aux ouvrages existants, lors du renouvellement de leur titre d'autorisation ou, au plus tard, au 1er janvier 2014. Le contenu de cet article est indiqué dans l'Encadré 4.

Encadré 4 : Article L214-18 du Code de l'environnement

I.-Tout ouvrage à construire dans le lit d'un cours d'eau doit comporter des dispositifs maintenant dans ce lit un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux au moment de l'installation de l'ouvrage ainsi que, le cas échéant, des dispositifs empêchant la pénétration du poisson dans les canaux d'amenée et de fuite. Pour les cours d'eau ou parties de cours d'eau dont le module est supérieur à 80 mètres cubes par seconde, ou pour les ouvrages qui contribuent, par leur capacité de modulation, à la production d'électricité en période de pointe de consommation et dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat pris après avis du Conseil supérieur de l'énergie, ce débit minimal ne doit pas être inférieur au vingtième du module du cours d'eau en aval immédiat ou au droit de l'ouvrage évalué dans les mêmes conditions ou au débit à l'amont immédiat de l'ouvrage, si celui-ci est inférieur. Toutefois, pour les cours d'eau ou sections de cours d'eau présentant un fonctionnement atypique rendant non pertinente la fixation d'un débit minimal dans les conditions prévues ci-dessus, le débit minimal peut être fixé à une valeur inférieure.

II.-Les actes d'autorisation ou de concession peuvent fixer des valeurs de débit minimal différentes selon les périodes de l'année, sous réserve que la moyenne annuelle de ces valeurs ne soit pas inférieure aux débits minimaux fixés en application du I. En outre, le débit le plus bas doit rester supérieur à la moitié des débits minimaux précités. Lorsqu'un cours d'eau ou une section de cours d'eau est soumis à un étiage naturel exceptionnel, l'autorité administrative peut fixer, pour cette période d'étiage, des débits minimaux temporaires inférieurs aux débits minimaux prévus au I.
III.-L'exploitant de l'ouvrage est tenu d'assurer le fonctionnement et l'entretien des dispositifs garantissant dans le lit du cours d'eau les débits minimaux définis aux alinéas précédents.

IV.-Pour les ouvrages existant à la date de promulgation de la loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques, les obligations qu'elle institue sont substituées, dès le renouvellement de leur concession ou autorisation et au plus tard le 1er janvier 2014, aux obligations qui leur étaient précédemment faites. Cette substitution ne donne lieu à indemnité que dans les conditions prévues au III de l'article L. 214-17.

V.-Le présent article n'est applicable ni au Rhin ni aux parties internationales des cours d'eau partagés.

La Circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de cet article (Legifrance 2011b) constitue un rappel et une mise à jour de ses principes généraux d'application. Elle distingue notamment les termes suivants :

- le débit minimum biologique : il est défini par le premier paragraphe du I de l'article L214-18 du Code de l'environnement comme le « *débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces vivant dans les eaux* ». La détermination de ce débit minimum biologique doit faire l'objet d'une étude particulière analysant les incidences d'une réduction des valeurs de débit à l'aval de l'ouvrage sur les espèces vivant dans les eaux.

- le débit plancher : ce terme est défini au second paragraphe du I de l'article L214-18 du code de l'environnement. Il correspond à un minimum intangible servant de protection pour les milieux aquatiques. Il est exprimé en fraction de débit moyen interannuel naturel (module) et correspond au 10ème ou 20ème de celui-ci suivant les cas.

- le débit réservé : la notion de « débit réservé » a une portée législative et réglementaire ; elle désigne la valeur du débit telle qu'elle est fixée par le titre de l'ouvrage, en application *a minima* du I de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement ou des textes qui l'ont précédé. Cette valeur de débit réservé doit correspondre à la valeur la plus élevée entre le débit minimum biologique et le débit plancher.

Cette règlementation n'impacte pas les prélèvements d'EDP en Seine ni ceux de la VDP en Marne, car ceux-ci sont bien inférieurs aux débits réservés. Elle constitue par contre un enjeu pour les affluents et la rivière Ourcq qui alimentent le canal de l'Ourcq Sur la rivière Ourcq, seul le débit plancher est estimé à 0,29 m^3/s, soit le 10ième du module. Sur les mesures de 2012 et 2013, ce débit a été respecté 84% du temps sur la rivière Ourcq (Egis Eau 2014, 117). Depuis, il est désormais intégralement restitué à la rivière Ourcq inférieure.

Concernant les affluents, les débits réservés ont été estimés pour les affluents Clignon, Beuvronne[13] et Thérouanne par (Hydratec et al. 2015). Par ailleurs, les auteurs de l'étude évaluent l'impact de la restitution des débits réservés des affluents et de l'Ourcq sur le fonctionnement du canal selon le type de régime hydrologique (étiage, basses eaux, moyennes et hautes eaux). Pour cela, ils simulent plusieurs configurations sur un modèle hydraulique du Canal étendu aux trois affluents, qu'ils ont au préalable construit. Les simulations n'intègrent pas par contre le pompage en Marne.
Deux configurations méritent d'être présentées dans la thèse. Elles ont été simulées pendant la période la plus tendue au niveau de la ressource en eau, en période d'étiage. La première configuration correspond à une situation dite « actuelle » lors de l'établissement de l'étude. Elle ne comporte pas la restitution du 10ième du module à la

[13] Ayant été réalisée avant 2015, l'étude inclue également la prise de la Beuvronne qui n'a pas encore été abandonnée.

rivière Ourcq, ni des débits réservés à la Beuvronne, et au Clignon et à la Thérouanne. La seconde configuration comporte la restitution du 10ième du module à l'Ourcq, et des débits réservés au Clignon et à la Thérouanne, mais n'inclue pas la restitution du débit réservé à la Beuvronne.

Tableau 28 : Impact de la restitution des débits réservés sur le Clignon, la Thérouanne et du 10ième du module à la rivière Ourcq sur le fonctionnement du canal de l'Ourcq. Comparaison entre deux configurations étudiées par Hydratec (2014)

		1ere configuration	2de configuration
Nom de la configuration dans l'étude d'Hydratec		**configuration 0**	**configuration 3A**
Hypothèses		-non restitution du 1/10 du module à l'Ourcq -non restitution du débit réservé au Clignon et à la Thérouanne -maintien de la prise d'eau de la Beuvronne	-restitution du 1/10 du module à l'Ourcq -restitution du débit réservé au Clignon et à la Thérouanne -maintien de la prise d'eau de la Beuvronne
Débits restitués aux rivières aval ($10^3 m^3/j$)	Ourcq aval	0	25,1
	Clignon inférieur	0	8,64
	Thérouanne inférieure	4,32	13,0
	Beuvronne inférieure	7,78	7,78
Débits d'apport des 3 affluents au canal de l'Ourcq (m^3/j)	Clignon canalisé	34,6	25,9
	Thérouanne canalisée	19,0	10,4
	Beuvronne canalisée	12,1	12,1
Canal de l'Ourcq (m^3/j)	Débits à Sevran	206	162
	Usages de la VDP	300	300
	Ecart à la demande	**-94**	**-137**

Pour les deux configurations, les usages des canaux pour la VDP sont estimés constants, soit 300 10^3 m^3/j. Dans la première configuration, le canal de l'Ourcq nécessite un apport de de 94 10^3 m^3/j via l'usine de Trilbardou. Dans la configuration 2, la restitution des débits réservés dans les affluents et du 10ième du module pour l'Ourcq nécessite un apport en Marne de 137 10^3 m^3/j, soit un apport supplémentaire de 43,2 10^3 m^3/j par rapport à la 1ere configuration.

A l'heure actuelle, le 10ième du module est restitué à la rivière Ourcq inférieure. De même, les débits réservés sont désormais restitués aux affluents Clignon et Thérouanne depuis septembre 2015. La prise d'eau de la Beuvronne, estimée à 12,1 10^3 m^3/j par la modélisation pour le canal de l'Ourcq, est désormais abandonnée.

Une vision globale des flux hydriques liés au RENP permet d'illustrer ces interactions entre le RENP, les cours d'eau sollicités, et ses usages. Cette vision est présentée dans la suite.

3.1.4 Interactions hydriques entre le réseau, la ville et le milieu naturel

Cette partie présente les flux hydriques journaliers moyens sur l'année 2013 liés au RENP, du prélèvement dans les cours d'eau jusqu'au rejet en égout dans l'objectif de construire *in fine* un schéma hydrologique du RENP

3.1.4.1 Prélèvement en eaux brutes

Les volumes prélevés dans le Canal et Seine pour le RENP sont connus grâce aux données comptabilisées par EDP. Ils s'élèvent respectivement à 163,3 10^3 m^3/j et à 46,5 10^3 m^3/j (EDP 2015a). Afin de préciser la répartition des ressources arrivant au Canal de l'Ourcq, on estime le volume pompé en Marne pour le RENP selon le principe suivant : la fraction du volume pompé à Trilbardou en Marne au RENP est égale à celle du volume prélevé au Canal pour le RENP[14].

Plusieurs phénomènes hydrologiques associés au fonctionnement du canal de l'Ourcq entre Trilbardou et l'arrivée au Bassin de La Villette ne sont pas intégrés dans les calculs. En effet, ils sont considérés comme négligeables par rapport aux apports des cours d'eau :

- l'évaporation : d'après les données climatologiques d'Île-de-France, l'évaporation représente moins de 1% des débits transités dans le Canal, et donc est estimée négligeable.
- l'infiltration sur les parois du canal : le lit du canal, lors de sa construction, a été posé en argile. Avec une conductivité hydraulique estimée à 0,254 mm/h (Flanagan et al. 2017), les pertes par infiltration, estimées sur ce tronçon sont négligeables (<2%)
- les apports liés à la précipitation sur le canal et le ruissellement sur les berges du canal : en se basant sur les données de précipitations de Météo France en 2013, on estime qu'un volume annuel ruisselle sur une bande de 1 m de part et d'autre du canal. Les apports des précipitations et du ruissellement sont également estimés négligeables à l'échelle annuelle. Les calculs montrent que de juin à septembre sur les années 2013, 2014 et 2015, ces apports sont également négligeables (<3%).

D'après ces calculs, le volume annuel pompé en Marne pour le RENP est estimé à 117 10^3 m^3/j. Les volumes prélevés dans la rivière Ourcq et ses affluents pour le RENP s'élèvent à 14,1 10^6 m^3/j.

[14] Cette équation sera reprise et développée dans le chapitre 4 consacré à l'énergie (*cf.* partie 4.3.1).

3.1.4.2 Le RENP et ses usages

Pour chaque usage, nous précisons les pertes d'ENP associées afin de pouvoir estimer dans la suite les rejets en égouts.

Le volume mis en distribution en 2013 s'élève à 214 10^3 m^3/j en 2013 (*cf.* paragraphe 3.1.1.2). Les estimations de ce paragraphe sont reprises pour les consommations d'ENP pour chaque usage, et les volumes non identifiés du RENP.
Pour les RC, on estime que l'intégralité de l'ENP après usage est déversée en égouts. La même hypothèse est émise pour les usages non municipaux, qui de toute façon représentent une part très faible de la production d'ENP. Pour le nettoyage des voiries, la gestion des espaces verts et des Bois, les pertes avant rejet en égouts nécessitent des estimations plus précises, que l'on présente à présent.

Nettoyage des voiries

Lors du nettoyage des voiries, l'ENP est utilisée pour le mouillage du sol avant de s'écouler dans les égouts. Avant de ruisseler sur le sol, l'ENP subit des pertes, appelées « pertes initiales de ruissellement » dues à l'évaporation, l'infiltration, et au stockage dans les dépressions du sol. Les pertes par évaporation sur un matériau sont complexes à estimer, et les pertes par infiltration sont estimées négligeables en raison de la perméabilité des matériaux constituant les voiries. Nous nous restreignons aux pertes initiales liés au stockage dans les dépressions du sol. Celles-ci s'élevant entre 0,4 et 2,5 mm sur les chaussées réelles (Sage 2016, 70), nous prenons une valeur de 1 mm pour nos estimations.
La surface des trottoirs et des chaussées sont évaluées à partir de données transmises par le STPP. Le Tableau 29 récapitule l'ensemble de données et des estimations concernant les pertes initiales et les volumes rejetés en égouts pour cet usage. D'après nos calculs, on constate que 16% des volumes utilisés pour l'ENP sont perdus dans le stockage des dépressions du sol, ce qui constitue une proportion faible, mais non négligeable.

Tableau 29: Pertes initiales et volumes rejetés en égout après l'usage de l'ENP pour le nettoyage des voiries. Estimations pour l'année 2013

	Trottoirs	Chaussées
Longueur (km)	2 900	1 450
Largeur moyenne (m)	3	5
Surface (m^2)	8 700	7 250
Fréquence hebdomadaire de nettoyage	7	0,25
Pertes initiales de ruissellement pour h=1mm ($10^3 m^3$/j)	8,68	0,26
Volumes rejetés en égout (10^3 m^3/j)	44, 4	

Espaces verts et Bois

Dans Paris intra-muros, on considère que l'ENP utilisée pour l'arrosage s'infiltre dans le sol. Par ailleurs, l'ENP alimentant les bassins est rejetée à l'heure actuelle en égout.

Au sein des Bois, l'ENP est mise en distribution dans un RENP propre à la DEVE pour alimenter principalement les lacs et rivières à ciel ouvert, avant d'être rejetée en égout. Dans son circuit dans les Bois, l'ENP connait plusieurs apports et pertes avant le rejet en égout, que nous discutons ci-après.

Apports par précipitations
Les précipitations annuelles sur Météo France à la station de Montsouris donnent une précipitation totale de 617 mm. Cette hauteur est multipliée par la surface des lacs et des rivières pour évaluer les apports directs par précipitation.

Pertes par infiltration sur les parois des lacs et de rivières
Les fonds de lacs et rivières des deux bois sont généralement constitués d'une couche d'argile[15]. Pour nos calculs, le fond des lacs et rivières est estimé en argile avec conductivité hydraulique estimée à 0,254 mm/h (*cf*. partie 3.1.4.1). Cette conductivité est multipliée par la surface des lacs et des rivières afin d'évaluer les pertes par infiltration.

Pertes par infiltration pour l'arrosage des espaces verts
L'APUR a cartographié les zones arrosées à l'ENP, ou à la fois par l'EP et l'ENP sur les deux bois (APUR 2013a). L'ensemble des surfaces concernées sont estimées sur le SIG Qgis, auxquelles on multiplie un besoin annuel en arrosage de 365 mm selon la méthode MIR.

Pertes par évaporation
L'eau connait une évaporation lors de sa circulation le long des rivières et des lacs des Bois. L'évaporation moyenne annuelle des lacs en France - excluant le bassin méditerranéen - s'élevant entre 660 et 700 mm (Musy et Higy 2004, 148), on estime l'évaporation sur les lacs et rivières des Bois à 680 mm. Cette évaporation est multipliée à la surface des lacs et des rivières pour évaluer les pertes par évaporation (*cf*. paragraphe 3.1.2.4).

Pertes dans le RENP
L'ENP transite dans le RENP avant d'alimenter les points hauts du Bois. L'ENP connait dans le RENP également des pertes par infiltration. Le rendement du RENP que nous avons estimé dans le paragraphe 3.1.2.7 tient compte des pertes primaires et de surface. Ne connaissant pas la répartition de ces deux types de pertes, nous reprendrons l'hypothèse d'un rendement de 80% émise dans la facturation aux

[15] Les fonds de lacs et rivières du bois de Vincennes sont constitués d'une couche d'argile. Ceux des Bois de Boulogne comporte une couche d'argile ou de béton.

usagers municipaux. On estime que le réseau de la DEVE connait un même rendement, et qu'il a le même indice de pertes linéaire (c'est-à-dire le ratio pertes sur le linéaire du réseau) ici estimé à 0,03 m^3/m. Cet indice est affecté aux linéaires respectifs des RENP des deux Bois.

Le Tableau 30 récapitule l'ensemble des estimations présentées précédemment.

Tableau 30 : Pertes associées aux Bois et volumes rejetés en égouts. Estimations pour l'année 2013

Volume journalier (10^3 m^3/j)	Boulogne	Vincennes
Précipitation sur les lacs et rivières (1)	0,505	0,393
Infiltration dans les lacs et rivières (2)	1,82	1,42
Infiltration sur les espaces verts arrosés (3)	2,11	1,03
Evaporation sur les lacs et rivières (4)	0,566	0,433
Pertes primaires sur le RENP (5)	2,11	0,649
Pertes globales de l'ENP dans les usages des Bois : (1)-(2)-(3)-(4)-(5)	-6,09	-3,13
Volumes d'ENP rejeté en égout après usage dans les Bois	10,3	

On constate que les pertes par évaporation sur les surfaces arrosées à l'ENP contribuent principalement aux pertes des Bois. Les pertes primaires sur le RENP sont élevées pour le Bois de Boulogne, ce qui s'explique par le linéaire de son réseau (11,7 km au lieu de 7,83 km pour le Bois de Vincennes). Pour l'ensemble des Bois, les volumes d'ENP rejeté en égout après usage représentent 53% des volumes en entrée.

Après avoir décrit plus précisément les usages liés au nettoyage des voiries et des Bois, il nous est alors possible d'estimer les rejets d'ENP en égouts.

3.1.4.3 Rejet dans les égouts, puis dans le milieu naturel.

Comme vu précédemment, une grande partie de l'ENP est rejetée dans les égouts après les usages suivants : entretien des égouts, le nettoyage des voiries, l'alimentation des bassins et des Bois. Concernant les usages minoritaires, ces volumes représentent une proportion très faible des usages, on estime ainsi que l'ensemble de l'ENP pour ces usages se rejette en égouts.
Par ailleurs, on considère que les pertes primaires sont directement rejetées en égouts, car les conduites du RENP sont situées en grande majorité dans les égouts. Au vu des incertitudes sur les pertes de surface, on estime qu'elles sont rejetées intégralement en égout.

Le Tableau 31 récapitule les composantes des volumes d'ENP rejetés en égouts après mise en distribution dans le RENP

Tableau 31 : Rejets en égouts estimés de l'ENP après mise en distribution dans le RENP

	Volume journalier (10^3 m^3/j)
Curage des égouts	47,9
Nettoyage des voiries	44,4
Bois et bassins	14,8
Usages minoritaires	0,857
Volumes non identifiés	86,1
Volume total rejeté en égout	194
Ratio volume total rejeté en égout/volume mis en distribution	91%

Le volume journalier rejet en égout est estimé à 194 10^3 m^3/j. Ce volume est traité dans les usines du SIAAP, puis rejeté dans l'environnement.

3.1.4.4 Schéma hydrologique

La Figure 33 représente l'ensemble des flux hydriques pour l'année 2013.

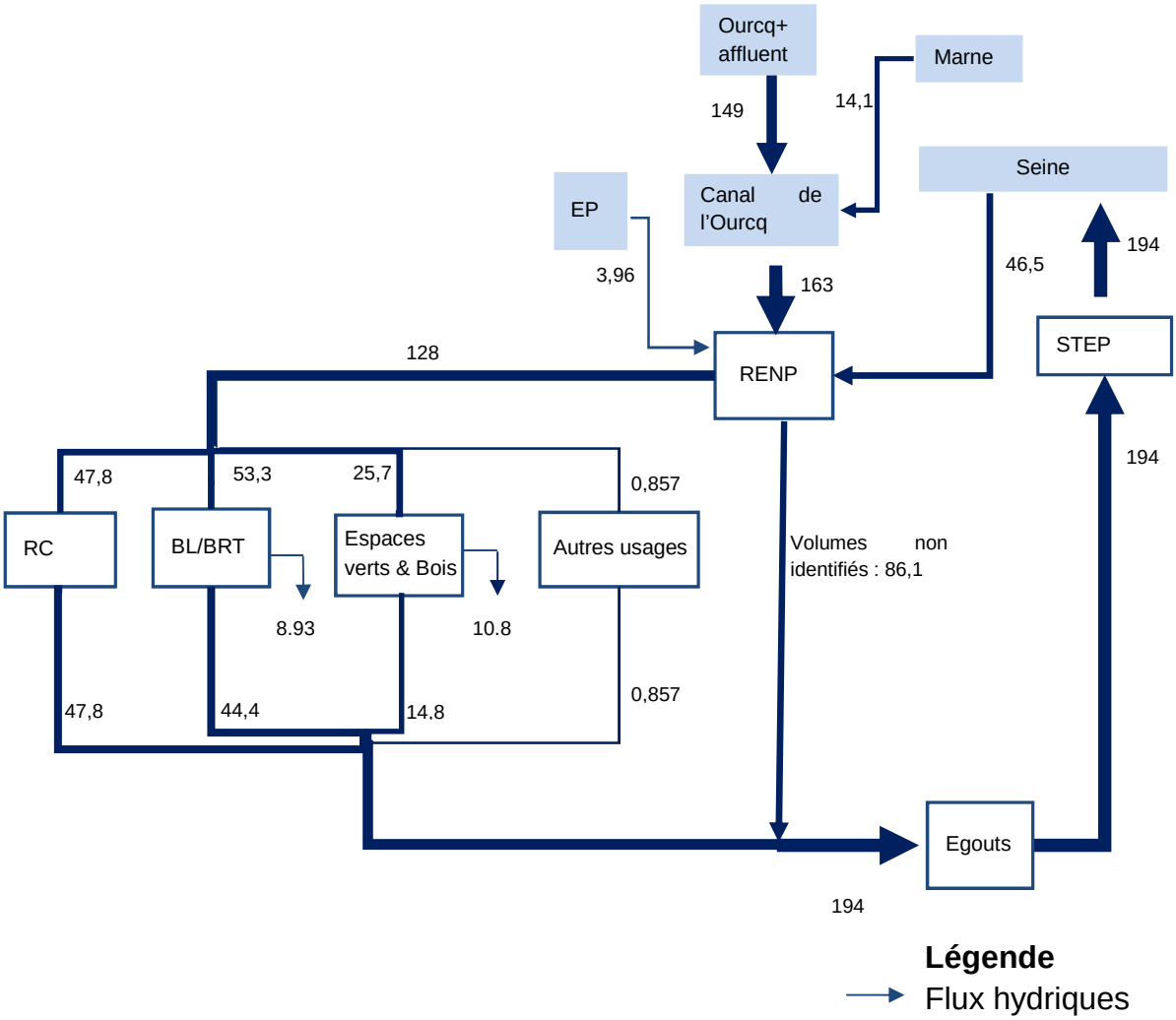


Figure 33 : Représentation des flux hydriques du système du réseau d'eau non potable en 2013. Flux indiqués en 10^3 m^3/j.

Ce schéma nous permet d'avoir une vision d'ensemble sur les prélèvements, les usages, les pertes, et enfin les rejets en égout vers le milieu naturel. Les apports principaux du Canal de l'Ourcq sont la rivière Ourcq et ses affluents. L'apport en Marne représente certes une part faible du canal de l'Ourcq à l'échelle du volume journalier sur l'année, mais de mai à octobre 2013, il représente jusqu'à 30 % des débits journaliers transitant dans le canal (*cf.* paragraphe 3.1.3.2). Le déversement en EP représente un apport négligeable (< 1%) par rapport aux ressources prélevées pour l'année 2013.

La Figure met à nouveau en avant le fait que le RENP sert principalement aux usages de « nettoyage » de Paris, que ce soit à la surface de la ville (les trottoirs et les

chaussées), ou dans son sous-sol (égouts). L'alimentation en eau des Bois constitue le troisième usage le plus important.
90% des volumes mis en distribution sont rejetés en égouts, ce qui s'explique par la nature des usages et de leurs proportions respectives. A part l'arrosage et l'infiltration dans les Bois, l'ENP utilisée est destinée à aller aux égouts. Concernant l'alimentation des Bois de Boulogne et de Vincennes, on estime que 50% de l'ENP est rejetée en égout.

Ce schéma hydrologique met en exergue des transferts d'eau importants entre EDP, la VDP (usagère et gestionnaire), et le gestionnaire des STEP, ici le Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne. Au vu de ces premiers acteurs identifiés, la partie suivante s'intéresse à présent à l'ensemble des acteurs associés au fonctionnement de ce réseau.

3.2 Des acteurs multiples autour du réseau

Dans cette partie, nous nous intéressons aux acteurs associés au fonctionnement du RENP. Pour cela, nous présenterons d'abord les concepts théoriques que nous mobilisons pour l'identification de ces acteurs, puis pour l'analyse de leurs relations.
Ensuite, nous décrirons les acteurs du service de l'ENP, soit le gestionnaire (EDP) et son autorité organisatrice (VDP). Nous verrons que les relations entre ces deux acteurs sont plus complexes qu'il n'y paraît, au vu du rôle d'usagère et de fournisseur d'eau brute que la VDP joue par rapport à l'ENP.
Par ailleurs, nous évoquerons d'autres acteurs qui interviennent plus largement dans le schéma hydrologique présenté dans le paragraphe 3.1.4.4, en amont et aval du réseau. Nous circonscrirons finalement le système d'acteurs, et identifierons le rôle de chacun dans le processus de décision sur la diversification des ressources du RENP. Enfin, nous cartographierons les relations liant l'ensemble de ces acteurs, avec une focale portée sur les échanges financiers.

3.2.1 Concepts théoriques mobilisés

A l'échelle d'une ville, les acteurs de l'eau sont essentiellement des groupements d'individus, sous forme d'organisations publiques, d'entreprises, et de regroupements de citoyens (par exemple, des associations représentant les usagers).
Toutefois, d'autres acteurs interviennent à l'échelle au-dessus de la collectivité, tels que l'Etat qui régit sur les cours d'eau, et l'Agence de l'eau qui travaille à l'échelle d'un « district hydrographique ». De ce fait, on dénombre de nombreux d'acteurs qui sont finalement directement ou indirectement associés au fonctionnement du RENP, et en particulier à son alimentation.
Afin de délimiter notre système d'acteurs et d'analyser les relations qu'ils tissent, nous nous appuierons sur les sciences de la décision et la sociologie des organisations.

Les premiers travaux en matière de décision ont été réalisés lors de la Seconde Guerre Mondiale avec la recherche opérationnelle. D'abord utilisée pour les questions de stratégie militaire, celle-ci est ensuite utilisée pour résoudre des problèmes de la vie civile d'ordre économique et industriel (Hubert 2001). La recherche opérationnelle repose sur plusieurs postulats (Roy 1985): le décideur est unique et rationnel ; une solution *optimale* peut être trouvée ; l'analyste fait preuve d'objectivité et de neutralité ; le processus décisionnel est stable et linéaire (conception, décision, exécution).
A partir des années 1960, H.A. Simon ébranle ce paradigme décisionnel (Simon 1983, 1959). Cet auteur remet en cause la « rationalité objective » avancée par les théories de l'époque. Selon lui, la « rationalité » exige la connaissance parfaite et l'anticipation des conséquences de chacun des choix, or la connaissance des conséquences est toujours fragmentaire. Par ailleurs, la rationalité obligerait à choisir diverses alternatives de comportement, alors que l'acteur n'envisage en réalité qu'un nombre très limité de cas possibles. H.A. Simon introduit alors à la place la notion de « rationalité limitée », et remplace le postulat de «l'optimisation » par celui de la « satisfaction » : l'acteur choisit la première solution qui correspond pour à lui à un

seuil minimal de satisfaction en fonction de certains critères explicites ou implicites qu'il s'est fixé à un moment donné.

A partir des années 1980, la recherche dans les sciences de décision met en avant la multiplicité des acteurs associés au processus de décision. L'ensemble de ces acteurs peuvent être définis selon les catégories suivantes (*cf*. Tableau 32). Ce Tableau réalisé par Hubert (2001) est issu d'une synthèse de différentes sources bibliographiques : Jacquet-Lagrèze (1981), Sfez (1988) et Roy (1985).

Tableau 32 : Différents types d'acteurs identifiés dans le processus de décision. Hubert (2001) basé sur Jacquet-Lagrèze (1981), Sfez (1988) et Roy (1985)

Sous-groupe	Nom	Rôle
Acteur participant directement ou indirectement au processus de décision	Décideur	Personne à qui revient un choix dans une phase donnée du processus de décision. Il est identifié comme étant responsable de la décision finale.
	Intervenant	Individu qui cherche à influencer le (ou les) décideurs en raison de la nature de son système de valeur, de ses préférences et de ses jugements.
	Agi	Acteur directement concerné par les conséquences des décisions. Il intervient indirectement dans le processus par l'image que d'autres acteurs se font de son système de valeurs, de ses préférences et de ses jugements.
	Acteur latent	Personne indirectement concernée par les conséquences décisions mais intervenant indirectement par l'image que les autres acteurs se font de son système de valeur, de ses préférences et de ses jugements.
Acteurs opérant pour le compte d'un décideur ou d'un intervenant en raison de leur système d'information et de relation	Expert	Acteur au service de l'acteur qui l'a commandité pour apporter un éclairage sur l'intelligence du processus de décision en cours ou à venir.
	Homme d'étude	Acteur intervenant pour aider à la décision en prenant appui sur des modèles plus ou moins formalisés.

Cette typologie d'acteurs autour d'un processus de décision confirme la nécessité de considérer non seulement les acteurs directement associés à la gestion du RENP, soit les acteurs du service de l'ENP, mais également l'ensemble des acteurs associés plus largement à la ressource en eau. Ces deux catégories d'acteurs seront présentées dans le paragraphe suivant.

Par ailleurs, nous mobiliserons la sociologie des organisations afin d'analyser les relations qui lient les acteurs. Les travaux de Crozier et Friedberg (1992) décrivent le comportement et les stratégies d'un « acteur » dans un « *système d'action concret* ». Celui-ci est défini comme un « *ensemble humain structuré qui coordonne les actions de ses participants par des mécanismes de jeux relativement stable et qui maintient sa structure, c'est-à-dire la stabilité de ses jeux et les rapports entre ceux-ci par des mécanismes de régulation qui constituent d'autres jeux* (Crozier et al. 1992, 286).

Ils définissent une organisation comme une forme bien spécifique de système d'action concret. Plus particulièrement, les organisations possèdent les caractéristiques suivantes : forte structuration, existence de buts clairs, formalisation de jeux d'acteurs autour des buts, conscience des participants de l'existence de ces buts et responsabilité partiellement assumée, au moins par les dirigeants, de certaines des régulations.

Selon Crozier et al. (1992), l'individu au sein du système est un acteur qui a rarement des objectifs clairs et encore moins des projets cohérents, pourtant son comportement est actif et a du sens. Une fois ses objectifs identifiés, il cherche à les atteindre grâce à l'exercice de pouvoir. D'après ces auteurs, quatre grandes sources de pouvoir correspondent aux différentes sources d'incertitudes pour une organisation : la maîtrise d'une compétence particulière, la relation avec son environnement, l'organisation de la communication et des flux d'information, et l'utilisation des règles organisationnelles.
Les influences entre l'acteur et le système sont réciproques : l'acteur est à la fois libre et sujet à des contraintes structurantes, tout comme le système est à la fois une cause et une conséquence des actions des acteurs.
Lorsque nous nous intéressons aux acteurs du RENP, nous identifions différents types de sources de pouvoir : les relations institutionnelles, les flux hydriques, économiques, et d'informations.

En s'appuyant sur ces concepts théoriques, nous caractérisons à présent les acteurs et leurs relations qui les lient vis-à-vis du RENP.

3.2.2 Acteurs du service de l'eau non potable

Un service d'eau est défini comme « *l'action de mobiliser diverses ressources, par divers moyens, pour fournir de l'eau à des acteurs sur un territoire donné* » (Souriau 2014, 28). Le service de l'eau de Paris est structuré autour de deux acteurs principaux : la VDP et EDP (VDP 2012a, 4).
La VDP est autorité organisatrice du service public de l'eau ; elle définit la politique de l'eau et en fixe les grands objectifs. Le second acteur est EDP, opérateur public unique chargé de gérer le service public industriel et commercial de l'eau, dans le cadre de ses statuts approuvés par le Conseil de Paris. EDP rend compte à l'autorité organisatrice de l'accomplissement de ses missions.
D'après le Code de la santé publique, le maire de la commune est la «Personne Responsable de la Production et de la Distribution de l'eau ». Il est par ce biais responsable de la qualité de l'EP distribuée. A Paris, le maire délègue cette responsabilité à EDP pour l'auto-surveillance de son EP et le suivi des réseaux intérieurs.

Pendant la durée de la thèse, deux contrats ont lié EDP à la VDP: (1) un premier contrat valable du 1er janvier 2010 au 31 décembre 2014 révisé en mars 2012, et (2) un deuxième contrat valable du 1er janvier 2015 au 31 décembre 2020. Les missions

exercées par EDP sont déclinées en 10 objectifs principaux évoqués dans le Tableau 33 (VDP 2015a, 6). Cinq objectifs sont identiques entre le premier et le second contrat. Les changements constatés indiqués entre les deux contrats sont indiqués dans le Tableau 33.

Tableau 33 : Récapitulatif des missions confiées à Eau de Paris dans le cadre des contrats d'objectifs (VDP 2015a, 2012a)

Objectifs du contrat 2010-2015	Objectifs du contrat 2015-2020
• garantir un approvisionnement en eau de qualité, en toute circonstance • placer l'usager au cœur du service de l'eau • assurer une gestion rigoureuse et transparente • garantir l'accès à l'eau • assurer la performance du réseau et des installations • développer une vision prospective du système d'alimentation en eau	
• maintenir un haut niveau d'entretien et de valorisation du patrimoine • maintenir un haut niveau d'entretien et de valorisation du patrimoine • offrir un modèle d'entreprise socialement avancée • mettre en œuvre un système de management certifié et écologiquement responsable • accompagner les évolutions du service de l'ENP.	• assurer la pérennité et un niveau d'entretien optimal du patrimoine • Assurer la pérennité et un niveau d'entretien optimal du patrimoine • mettre l'innovation sociale au service de la performance • s'inscrire dans une politique affirmée de développement durable • gérer et développer le service de l'ENP

Des évolutions au niveau des objectifs sont constatées entre contrats. Alors que le contrat de 2010-2015 mentionnait une gestion du service « écologiquement responsable », le contrat de 2015-2020 adopte une formule plus transversale en se saisissant du concept de « développement durable ».

Par ailleurs, on note des évolutions concernant l'ENP entre les deux contrats. Le contrat de 2010-2015 stipule qu'EDP est en charge de la production, du transport et de la distribution de l'ENP (VDP 2012a). Elle assure également l'installation et la maintenance des appareils hydrauliques (BL, BA, BRT) permettant l'utilisation de l'eau par les services municipaux. Le contrat de 2010-2015 mentionne également qu' EDP doit accompagner les évolutions du service d'ENP (VDP 2012a, 38). Cette formulation s'expliquait, à l'époque, par l'avenir incertain du RENP : les évolutions du service d'ENP pouvaient signifier l'arrêt ou le déploiement du service d'ENP.

La délibération des 19 et 20 mars 2012 précise les attentes de la VDP vis-à-vis d'EDP sur le RENP (*cf*. paragraphe 3.1.1.2). EDP doit réaliser les investissements de première nécessité et engager un programme d'entretien du patrimoine de l'ENP. Par ailleurs, EDP doit poursuivre les études en lien avec les services municipaux et l'Atelier Parisien d'Urbanisme (APUR), une agence d'urbanisme à Paris. Ces études portent sur la diversification des ressources et sur les dimensions bioclimatique et métropolitaine du RENP.

Dans le contrat d'objectif de 2015-2020, le service de l'ENP constitue un chapitre à part entière du contrat (VDP 2015a, 47). EDP assure plusieurs missions sur l'ENP : garantir un approvisionnement en ENP, maintenir un service de qualité, assurer une gestion équilibrée, assurer la performance du réseau et des installations, et assurer la pérennité et un niveau d'entretien optimal du patrimoine.
En octobre 2015, la VDP valide un schéma directeur des usages et du RENP. Ce document fixe le cadre stratégique des actions de collaboration entre la VDP et EDP sur la gestion du RENP pour la période 2015-2020 (VDP 2015b). Il porte sur la rénovation et l'évolution du RENP, son extension dans les opérations nouvelles d'aménagement, son élargissement à de nouveaux usages et sa pérennisation sous condition d'un maintien d'un équilibre financier.

Nous nous intéressons à présent plus en détails à l'acteur gestionnaire du réseau, EDP.

Eau de Paris, établissement public né de la volonté politique de la Ville de Paris

EDP est aujourd'hui l'opérateur unique public de l'eau, responsable de la distribution et de la production de l'eau à Paris. L'établissement est né d'une volonté politique de la VDP de reprendre la main sur le service de l'eau. Avant 1984, la production et la distribution d'eau à Paris étaient gérées en régie directe au sein de la Direction des services industriels et commerciaux de la VDP. En 1984, la Mairie de Paris, sous le mandat de Jacques Chirac, décide de confier la distribution par un contrat d'affermage de vingt-cinq ans à deux entreprises privées : la Compagnie des Eaux de Paris, la CEP (filiale du groupe Veolia Eau pour la rive droite) et la société Eau et Force Parisienne des Eaux, la EFPE (filiale du groupe Suez pour la rive gauche). En 1987, la production est soustraite au service municipal et confiée à une société d'économie mixte la Société Anonyme de Gestion des Eaux de Paris (SAGEP) qui assure alors la production de l'EP et l'ENP (Sinaï 2013, 13).

Par délibération en date du 24 novembre 2008, le Conseil de Paris décide d'assurer directement la gestion du service public de l'eau (VDP 2012a). Un Etablissement Public à Caractère Industriel et Commercial (EPIC) est alors constitué, disposant de l'autonomie financière et de la personnalité morale, dénommé « Eau de Paris ».
A partir de mai 2009, EDP assure la production et le transport de l'eau, après résiliation anticipée du contrat de concession signé entre la VDP et la SAGEP qui s'achevait au 31/12/2011. L'ensemble des personnels concernés (environ 830 au total issus de la SAGEP, du CRECEP[16], de Veolia et de Suez) sont transférés dans la nouvelle structure EDP (Sinaï 2013, 25).

[16] Centre de recherche, d'expertise et de contrôle des eaux de la Ville de Paris. Le CRECEP constituait en effet depuis de nombreuses décennies le laboratoire d'analyses et de recherche de la Ville de Paris pour la qualité de l'eau.

L'organisation d'EDP est axée autour de plusieurs directions, dont les missions sont présentées dans le Tableau 34. Les travaux de la présente thèse ont été effectués au sein de la Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine.

Tableau 34 : Missions des différentes directions d'Eau de Paris par rapport à l'ENP

Directions d'EDP	Missions
Direction de la Distribution	Assure la distribution de l'EP et de l'ENP Veille à la performance du réseau et des installations dans Paris intra-muros
Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine	Est responsable de la gestion et de la modernisation du patrimoine bâti et industriel de la régie
Direction des Relations Extérieures et du Développement	Gère les relations avec les acteurs institutionnels, les usagers et les abonnés
Direction de la Ressource en Eau et de la Production	Exploite l'ensemble des installations qui permettent de capter, traiter, transporter et stocker l'eau jusqu'aux portes de Paris.
Direction Recherche, Développement de la Qualité et de l'Eau	Assure le rôle de PRPDE par la mise en œuvre d'un système de surveillance de la qualité de l'ENP Assure le suivi de la qualité de l'ENP, et conduit des actions de recherche sur la qualité de l'eau
Direction de systèmes d'information	Entretient les systèmes d'informations et gère le budget centralisé pour les matériels, logiciels et prestation informatiques.
Direction des Ressources Humaines et des Finances	Assure une politique de planification et de gestion budgétaire et financière pour l'ensemble de la régie, et définit les conditions d'emploi des salariés d'Eau de Paris

Le directeur général et les directeurs généraux adjoints sont à la tête de ces différentes directions. Le président d'EDP est l'adjoint au maire de Paris chargé de toutes les questions relatives à l'environnement, au développement durable, à l'eau, à la politique des canaux et au « plan climat énergie territorial ». Ce dernier est également président du conseil d'administration, qui décide des orientations d'EDP. Le conseil d'administration est composé d'élus de la municipalité, de représentants du personnel, de la société civile, de représentants d'associations et de l'observatoire de l'eau (EDP 2013).

La Ville de Paris

En tant qu'autorité organisatrice des services publics d'eau et d'assainissement, la VDP est responsable de leur qualité et de leur performance devant les usagers parisiens (VDP 2012d). Elle définit la politique de l'eau qui est ensuite mise en œuvre par les opérateurs publics.
Dans la DPE, le Service technique de l'eau et de l'assainissement (STEA) réalise le contrôle de l'opérateur public chargé du service de l'eau, EDP. Le STEA est par ailleurs chargé de la protection du milieu naturel et du suivi des enjeux de l'eau à l'échelle du territoire parisien. Le STEA est constitué de la Section de la politique des eaux (SPE) qui suit la mise en œuvre du contrat d'objectifs entre la Ville de Paris et EDP. Dans la

Direction des Finances et des Achats, le Bureau des Participations et du Pilotage des Opérateurs (BPPO) veille au respect du contrat d'objectifs sur les aspects financiers.
En plus d'être autorité organisatrice, la VDP est également usager d'ENP et fournisseur d'une partie de l'eau brute. Ces trois fonctions sont illustrées dans l'organisation des services de la Ville de Paris en lien avec l'ENP (*cf*. Figure 34).
Le rôle de fournisseur d'une partie de l'eau brute est assuré par la Direction de la Voirie et des Déplacements (DVD), notamment par le service des canaux, en charge du réseau des canaux appartenant à la VDP. Le rôle d'autorité organisatrice est porté par deux directions : la DPE (*via* la SPE du STEA pour le contrôle du contrat d'objectifs) et la DFA (*via* le BPPO pour les aspects financiers). En outre, des élus du Conseil de Paris sont membres du conseil d'administration d'EDP et contrôlent les activités et les orientations de la régie. Enfin, le rôle d'usager d'ENP est assuré par trois directions :

- la DEVE, *via* les services d'exploitations (SE) : pour l'arrosage des espaces verts, et alimentation des lacs des bois et des parcs
- la DPE *via* le STPP : pour le nettoyage des voiries
- la DPE *via* la SAP (du STEA) : pour le nettoyage des égouts.

La Figure 34 montre que toutes les directions indiquées interviennent dans la gestion du RENP, cependant elles endossent des rôles bien distincts par rapport à l'ENP : alors que la DVD joue le rôle de fournisseur d'une partie de l'eau brute, la DEVE est usagère d'ENP pour ses bois et espaces verts. Par ailleurs, une même direction peut assumer plusieurs rôles vis-à-vis de l'ENP. C'est le cas de la DPE qui contrôle EDP (*via* la SPE) et utilise l'ENP pour le nettoyage des voiries (*via* le STPP). Toute relation entre EDP et un service de la VDP peut donc impacter ses relations avec les autres services de la VDP.

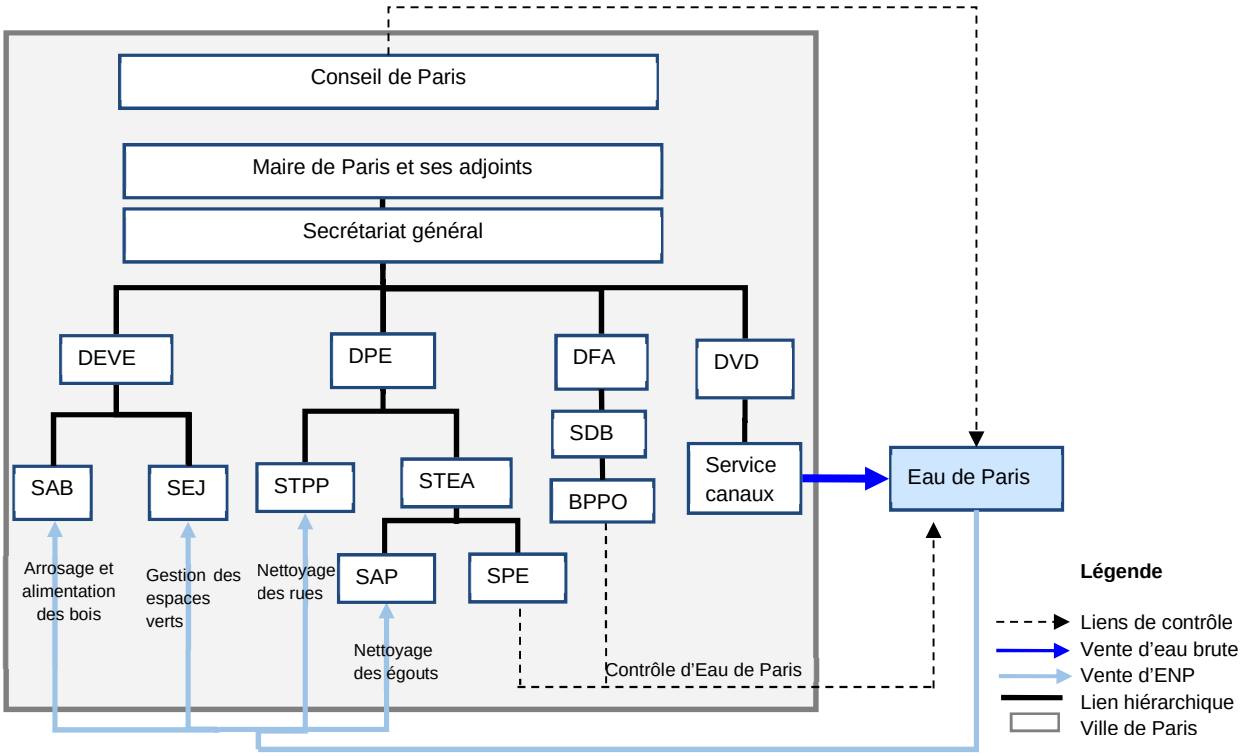


Figure 34 : Organisation des services de la VDP en lien avec EDP sur l'ENP

3.2.3 Autres acteurs associés au schéma hydrologique du réseau d'eau non potable

Comme vu dans la partie 3.1.2.8, notre système ne se limite pas seulement à Paris, mais concerne plus largement le bassin de la Seine. En effet, plusieurs autres acteurs interviennent sur le RENP à plusieurs niveaux. Des usagers en amont du RENP (collectivités organisées en syndicats de rivière en amont du RENP) peuvent impacter *in fine* l'alimentation du RENP. Par ailleurs, on identifie également les acteurs règlementaires, ici les services de l'Etat en charge de la police de l'eau, qui veillent au respect de la règlementation sur les cours d'eau. Enfin, d'autres acteurs perçoivent des taxes et redevances associées aux prélèvements d'eau brute en amont du RENP (Agence de l'Eau, Voies Navigables de France, Seine Grands Lacs) et au traitement des effluents en aval du RENP(SIAAP). Cette partie décrit ces acteurs associés au schéma hydrologique du RENP.

Acteurs autour du Canal de l'Ourcq et des différents apports

Le canal de l'Ourcq, qui consiste la principale ressource du RENP, appartient à la VDP. On distingue plusieurs acteurs en fonction des apports au canal.
La rivière Ourcq naturelle, de sa source au-dessus de Fère-en-Tardenois jusqu'à La Ferté-Milon, est gérée par le Syndicat Intercommunal pour la gestion du Bassin versant de l'Ourcq Amont.
L'Ourcq inférieure, de Mareuil-sur-Ourcq jusqu'à son rejet à la Marne, est gérée par le Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement et la Gestion de la rivière Ourcq (SIAGRO). Ce syndicat est constitué, à part égale de la VDP (50%) et de neuf communes de l'Aisne, l'Oise, et la Seine-et-Marne (50%).
La Marne est un cours domanial, géré conjointement par les services de l'Etat en charge de la police de l'eau et Voies Navigables de France[17]. L'usine de pompage à Trilbardou en Marne est gérée par la VDP. Les affluents sont des cours d'eau non domaniaux ; ils sont gérés par des collectivités organisées en syndicats de rivière (*cf*. Tableau 35).

Tableau 35 : Gestionnaires des affluents du canal de l'Ourcq

Nom des cours d'eau	Type d'alimentation	Gestion
Le ru d'Allan	Apport intégral du débit	Syndicat intercommunal pour la gestion du bassin versant de l'Ourcq amont
Le ru d'Autheuil	Apport partiel du débit via un réseau de fossés et d'étang	Gestionnaire inconnu
La Grivette (appelée aussi Collinance)	Apport grâce à un ouvrage de régulation	Pas de syndicat de rivière
Le Clignon	Apport grâce à un ouvrage de régulation	Ouvrage de régulation et canal d'amenée : Ville de Paris Cours d'eau naturel : Syndicat Intercommunal pour la Gestion du Bassin Versant du Clignon
La Gergogne	Apport grâce à un ouvrage de régulation	Ouvrage de régulation et canal d'amenée Ville de Paris Cours d'eau naturel : Syndicat intercommunal et interdépartemental d'aménagement et d'entretien de la Gergogne
La Thérouanne	Apport grâce à un ouvrage de régulation	Ouvrage de régulation et canal d'amenée : Ville de Paris Cours d'eau naturel : Syndicat Mixte d'aménagement et d'Entretien de la rivière Thérouanne et ses affluents
La Beuvronne	Apport grâce à un ouvrage de régulation	Ouvrage de régulation et canal d'amenée : Ville de Paris[18] Syndicat Intercommunal de l'Etude, de l'Aménagement et d'Entretien de la Haute Beuvronne Syndicat Intercommunal de l'Etude, de l'Aménagement et d'Entretien de la Basse Beuvronne

[17] Ces deux acteurs sont décrits dans la suite de ce paragraphe.
[18] L'apport de la Beuvronne a été abandonné en 2015.

L'Etat et son relais à l'échelle locale : la police de l'eau

Au niveau régional ou départemental, l'Etat met en œuvre la règlementation sur les cours d'eau et veille à son respect grâce à ses services de police de l'eau. Sur les cours d'eau sollicités pour le RENP, plusieurs services de police de l'eau peuvent être identifiés :

- la police de l'eau de la Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie (DRIEE) : son territoire d'intervention recouvre les 4 départements de Paris proche couronne. Il couvre aussi la quasi-totalité des grands cours d'eau ou canaux du bassin de la Seine, soit 2 400 km répartis sur 16 départements et 5 régions (DRIEE 2013).
- la police de l'eau des Directions Départementales des Territoires (DDT) de Seine-et-Marne : le service police de l'eau de la DDT Seine-et-Marne a compétence sur tous les cours d'eau (DDT Seine et Marne, 2013), excepté pour les grands axes (Seine, Marne, Yonne) et les nappes, qui relèvent de la compétence de la DRIEE. Elle veille au respect de la règlementation vis-à-vis de la rivière Ourcq inférieure, ainsi que des affluents de l'Ourcq et de la Marne.

Ces services délivrent les autorisations aux industriels et aux agriculteurs qui fixent le volume maximal prélevé (OIEau 2009). Ils règlementent les installations, ouvrages, travaux ou activités (appelés également IOTA) qui peuvent avoir un impact sur la santé, la sécurité, la ressource en eau et les écosystèmes.

A l'échelle de la région, le Préfet est aussi préfet coordinateur du bassin Seine-Normandie. En cas de sécheresse, il peut limiter voire interdire les prélèvements de façon provisoire par un arrêté sécheresse (OIEau 2009).
Sous l'impulsion du préfet de région Île-de-France, un plan d'action sur l'adaptation au changement climatique à l'échelle du bassin Seine-Normandie est en cours d'élaboration[19]. Les actions proposées porteront, par exemple, sur la réduction des prélèvements dans les milieux naturels ; et la réutilisation d'autres ressources en eau de moindre qualité pour certains usages.

Agence de l'eau Seine-Normandie

Les agences de l'eau sont créées après la mise en place de la Loi sur l'Eau de 1964. L'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN) est un établissement public placée sous la tutelle de deux ministères : le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie, et celui de l'économie, des finances et de l'industrie (AESN 2016a). Cet acteur agit à l'échelle d'un périmètre particulier : le bassin, appelé « district hydrographique », issu d'un découpage administratif de la France. Elle est chargée de la coordination du schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (SDAGE) et des schémas d'aménagement des eaux (SAGE) qui en découlent. Pour cela,

[19] Compte-rendu de réunion avec le service de la DRIEE en charge de la police de l'eau le 18 mai 2016.

sa mission principale est de financer les ouvrages et actions, grâce à une perception de redevances. Ces redevances contribuent à préserver les ressources en eau et à lutter contre les pollutions. Plus spécifiquement par rapport à l'ENP, l'AESN perçoit les redevances liées au prélèvement des ressources en eaux brutes pour le RENP. EDP et la VDP lui reversent des redevances pour le prélèvement dans les cours d'eau pour le RENP.
Par ailleurs, l'AESN peut financer des études qui visent à mettre en place la règlementation : c'est le cas de l'étude[20] sur le maintien des débits réservés des affluents pour le canal de l'Ourcq. A l'issue des études, elle peut également financer une partie des travaux proposés.

Voies Navigables de France

Voies Navigables de France (VNF) assure la gestion du réseau national des voies navigables (VNF 2014b, 12). Jusqu'alors EPIC, VNF est devenu le 1er janvier 2013 un Etablissement Public Administratif, sous la tutelle du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie (VNF 2014b, 11)**.**
VNF assure principalement deux rôles. Tout d'abord, il exploite et entretient le réseau de navigation. Par ailleurs, il est délégataire du domaine public confié par l'État, et délivre à ce titre les autorisations d'occupation du domaine.
VNF perçoit une taxe sur les titulaires d'ouvrages destinés à prélever les volumes d'eau sur le domaine public fluvial. EDP et la VDP lui reversent des redevances pour le prélèvement dans les cours d'eau pour le RENP. Ces redevances sont décrites plus en détails dans la partie 3.2.5.

EPTB Seine Grands Lacs

L'établissement public territorial de bassin (EPTB) est un établissement public français de coopération entre collectivités territoriales, qui intervient pour la gestion des fleuves et des grandes rivières à l'échelle d'un bassin hydrographique.
L'EPTB Seine Grands Lacs regroupe Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne. Il a deux missions principales : soutenir l'étiage pour maintenir les débits de la Seine et de ses affluents, et lutter contre le risque lié aux inondations dans le bassin de la Seine en écrêtant les crues (EPTB Seine Grands Lacs 2017).
Afin de remplir ses deux missions, l'EPTB Seine Grands Lacs exploite 4 ouvrages (dont 3 situés en dérivation de la Seine, de la Marne, de l'Aube et 1 sur l'Yonne) capables de stocker 810 millions de m^3 d'eau. Il assure le soutien d'étiage de la Seine et de la Marne, qui font partie des cours d'eau sollicités pour le RENP. Depuis 2016, il perçoit une redevance pour le soutien d'étiage pour le prélèvement en Seine pour le RENP, ainsi que pour les déversements en EP dans le RENP.

[20] Cette étude sera présentée plus en détails dans le chapitre 5, dans la partie 5.1.

SIAAP

Le SIAAP est un établissement public administratif de coopération interdépartementale. Il a été constitué en 1970 entre les départements de Paris, des Hauts-de-Seine, de la Seine-Saint-Denis et du Val-de-Marne (SIAAP 2014a, 4).
Le SIAAP assure le transport vers les sites de traitement des effluents urbains collectés par les réseaux d'assainissement sur le territoire des départements constitutifs et sur celui des communes ou groupements de communes liés par convention. A titre d'indication, il transporte et traite chaque jour près de 2,5 millions de m^3 d'eau, issues des usages domestiques.
Il assure la régulation des flux correspondants et l'épuration des eaux avant leur rejet au milieu naturel. À cette fin, il exploite les ouvrages à caractère interdépartemental. Son activité est principalement financée par la redevance sur la facture d'EP et par les subventions de l'AESN (SIAAP 2014b).
Par rapport à l'ENP, il reçoit ces eaux, après passage dans les égouts parisiens, dans ses émissaires pour le traitement dans ses stations d'épuration (STEP). Il perçoit, par l'intermédiaire d'EDP, une redevance assainissement auprès des usagers non municipaux de l'ENP (*cf*. partie 3.2.5).

Après avoir identifié les acteurs du service de l'eau et ceux associés plus largement associés au schéma hydrologique du RENP, nous allons désormais définir les contours de notre système d'acteurs en nous appuyant sur les sciences de la décision.

3.2.4 Typologie des acteurs intervenant dans le processus de décision et cartographie de leurs relations

Afin de pouvoir circonscrire notre système d'acteurs, on se base sur la typologie d'acteurs présentée dans le paragraphe 3.2.1. Il convient cependant de bien préciser la décision à partir de laquelle est définie cette typologie. En effet, au sein d'EDP et de la VDP, tous les services peuvent jouer le rôle de décideur en fonction du type de décision considéré. Lorsqu'on considère la décision de « mise en place de la diversification des ressources du RENP », la typologie d'acteurs présentée dans le Tableau 36 s'applique à l'ensemble des acteurs.

Tableau 36 : Acteurs identifiés dans le processus de décision liés à l'alimentation du RENP

Sous-groupe	Nom	EDP	VDP	Autres acteurs
Acteur participant directement ou indirectement au processus de décision	Décideur	Président Direction Générale Conseil d'administration d'EDP	Maire Adjoint au maire	(Associations)
	Intervenant	Directeur	DPE/DFA (usagers de la VDP)	
	Agi	Salarié des Directions	(SPE/DFA) Usagers ENP	AESN, EPTB, SIAAP, VNF
	Acteur latent			Associations, police de l'eau, société civile, gestionnaires de l'Ourcq et des affluents,
Acteurs opérant pour le compte d'un décideur ou d'un intervenant en raison de leur système d'information et de relation	Expert	DRDQE		
	Homme d'étude	Doctorant CIFRE, stagiaire EDP		APUR, ENPC

La décision est prise au niveau de la direction de la VDP et d'EDP. Le conseil d'administration d'EDP contrôle les orientations et les activités d'EDP, et peut donc aussi être considéré comme *décideur*. A ce titre, une association comme France Nature Environnement, qui est membre du conseil d'administration, peut aussi être considérée comme acteur décideur.

Les acteurs *intervenants* cherchent à influencer les décideurs en raison de la nature de leurs systèmes de valeur, de leurs préférences, et de leurs jugements. Les acteurs intervenants à EDP sont les directeurs[21]. Lors d'une réunion entre directeurs d'EDP, appelée comité exécutif, ceux-ci exposent les éléments sur lesquels s'appuie la Direction Générale d'EDP pour prendre une décision. A la VDP, les acteurs intervenants sont les directeurs de la DPE et de la DFA, en charge du suivi d'EDP concernant le respect du contrat d'objectifs. Ils font remonter les informations à l'adjointe au Maire en charge de toutes les questions relatives à l'environnement, au développement durable, à l'eau, à la politique des canaux et au « plan climat énergie territorial ».

Les acteurs *agis* sont directement concernés par les conséquences de la diversification des ressources du RENP. On distingue plusieurs types d'acteurs dans cette catégorie, bien qu'ils entretiennent des rapports différents à l'ENP. A EDP, ce sont les personnes au sein des directions qui mettent en œuvre les décisions de la

[21] Nous verrons dans la partie 5.1.2 qu'un directeur d'EDP peut également à son échelle décider de poursuivre ou d'arrêter les études d'injection de nouvelles ressources dans le RENP.

Direction Générale d'EDP. A la VDP, ce sont les personnes de la DPE et de la DFA chargées de suivre EDP sur le respect du contrat d'objectifs. Les usagers d'ENP sont également placés dans cette catégorie car ils sont directement concernés par les changements possibles de l'alimentation du RENP. Les usagers peuvent néanmoins être aussi considérés comme des acteurs intervenants, dans la mesure où ils travaillent directement avec EDP dans le but d'améliorer la continuité de débit et de pression pour leurs usages.
Le SIAAP est aussi considéré comme un acteur agi, car la diversification des ressources peut impacter ses effluents à traiter et les redevances associées. Enfin, l'AESN, VNF et l'EPTB sont aussi considérés comme agis, car la diversification des ressources impacte les redevances et taxes qu'ils perçoivent.

Les acteurs *latents* sont les acteurs indirectement concernés par les conséquences des décisions, mais qui interviennent indirectement par l'image que les autres se font de leur système de valeurs, des préférences, et de leurs jugements. On identifie ici la police de l'eau (DRIEE, DDT), les associations, les gestionnaires des affluents du canal et de l'Ourcq, et la société civile. La diversification des ressources n'a pas de conséquence directe sur eux, toutefois leur jugement importe à EDP et la VDP pour leur prise de décision.

Enfin, chez les acteurs opérant pour le compte d'un décideur, nous distinguons l'*expert* et l'*homme d'étude*.
L'homme d'étude réalise des modèles plus ou moins formalisés qui visent à apporter des éléments de réponses au décideur (Roy 1985, 17). Par notre travail de recherche, nous jouons le rôle d'homme d'étude par ses travaux de recherche, avec le soutien de stagiaires à l'ENPC et à EDP. L'APUR a également joué ce rôle, en faisant l'état des lieux des connaissances du RENP et en identifiant les potentialités du RENP dans les études remises en 2010 et 2013 à la VDP.
L'expert se distingue de l'homme d'étude, dans la mesure où il émet des recommandations auprès du décideur sur la base de sa connaissance. Au sein d'EDP, l'expertise est reconnue au sein de la Direction de la Recherche et de la Qualité de l'Eau.

Ainsi, il apparaît que l'ensemble des acteurs ont chacun un rôle bien précis dans le processus de décision. Par ailleurs, du fait de ces différents liens qui existent entre eux, ces acteurs forment un système, dont les relations sont cartographiées dans la Figure 35. On y distingue plusieurs types de relation: les relations hydriques, les liens économiques, les liens contractuels et règlementaires, et les liens d'information.

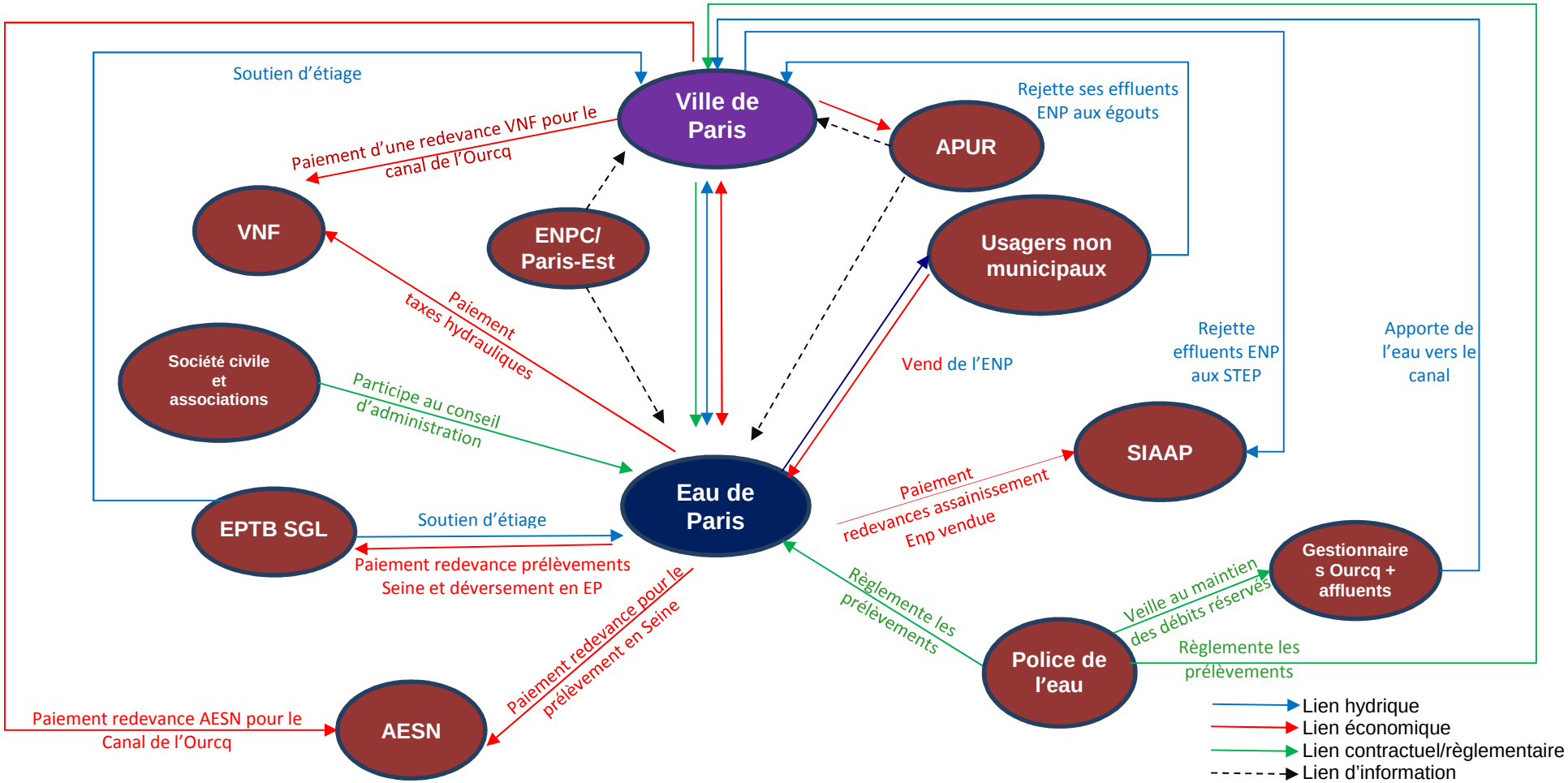


Figure 35 : Cartographie des relations entre les acteurs de l'ENP. Modifié d'après Mattio (2016)

On constate qu'EDP et la VDP entretiennent des relations de plusieurs natures (hydrique, économique et contractuel). Par ailleurs, ces deux organisations se situent au centre du système d'acteurs et entretiennent des relations avec quasiment le reste de tous les acteurs.

Par ailleurs, on constate sur la Figure 35 qu'à tous les flux hydriques sont associés des flux économiques. Ceci s'explique par le financement du secteur de l'eau qui repose en France sur deux grands principes (MEEM 2016) :

- les consommateurs paient aux communes ou à leurs délégataires les infrastructures (et leur entretien) nécessaires à la production et la distribution d'eau (potable) et au service d'assainissement. Les recettes perçues auprès des usagers (factures d'eau) doivent équilibrer les dépenses des collectivités. Ce principe est aussi appelé « l'eau paie l'eau »
- les consommateurs financent les actions menées pour améliorer la qualité de l'eau en reversant différentes redevances aux agences de l'eau. Ces redevances sont proportionnelles à la quantité d'eau consommée ou prélevée, aux pollutions entraînées ou aux perturbations apportées au milieu naturel. Elles sont perçues par les Agences de l'eau.

Nous avons constaté l'importance des enjeux financiers dans les travaux de configuration du RENP (*cf*. paragraphe 3.1.1.4). Ces enjeux demeureront importants pour EDP et la VDP lors de l'étude de l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP (*cf*. partie 5.1). De ce fait, il nous paraît pertinent d'étudier plus précisément les flux financiers liant les acteurs dans le paragraphe suivant.

3.2.5 Flux financiers, un enjeu important dans les relations entre acteurs

Nous distinguons plusieurs types de flux financiers entre acteurs : (1) les redevances et taxes associées au prélèvement dans la ressource, (2) le rejet en assainissement ; (3) la vente d'eau brute du canal de l'Ourcq par la VDP à EDP ; (4) la vente d'ENP aux usagers. Cette partie décrit ces trois types de flux, puis propose une représentation de ces flux entre acteurs.

3.2.5.1 Redevances et taxes pour le prélèvement dans la ressource et le rejet en assainissement

Les flux financiers dans cette partie portent sur deux parties de la représentation des flux hydriques liés à l'ENP:

- le prélèvement dans la Seine pour EDP, et le canal de l'Ourcq pour la VDP. L'AESN, l'EPTB et VNF perçoivent ces redevances et taxes[22].
- le rejet dans les réseaux assainissement. La VDP et le SIAAP perçoivent des redevances respectivement pour la collecte et l'épuration.

Redevance prélèvement

Le prélèvement dans les ressources en eau est soumis à des redevances de prélèvement AESN (AESN 2016b). La redevance est assise sur le volume d'eau prélevé au cours d'une année mesuré par compteur d'eau. Le taux est fixé en fonction de la zone où est effectué le prélèvement, et de la nature de l'eau prélevée (eau de surface ou eau souterraine), et du type d'usage.
Pour le RENP, les redevances AESN sont payées par les acteurs qui prélèvent directement dans le milieu :

- EDP paie des redevances sur les prélèvements en Seine à l'usine d'Austerlitz et d'Auteuil
- la VDP paie des redevances sur les prélèvements en Marne, en Ourcq, et dans les affluents du canal.

L'ensemble des prélèvements en eaux brutes pour le RENP correspond à la catégorie « prélèvement pour autres usages, économiques, refroidissement ». Nous verrons dans la suite que ces redevances sont par la suite inclues dans les factures d'eau, et qu'elles sont supportées par l'usager d'ENP.

[22] La vente d'eau brute du canal de l'Ourcq de la VDP à EDP fait l'objet d'un paragraphe spécifique (*cf.* partie 3.2.5.2).

Redevance assainissement

A Paris, un usager raccordé à un réseau public d'évacuation des eaux usées doit payer la redevance d'assainissement, lorsque l'eau après usage est rejetée en égout. Cette redevance est composée de deux parties : une part « collecte», et «transport-épuration» (VDP 2013, 18).

La collecte dans les égouts est régie par le règlement d'assainissement de la VDP. Ce règlement distingue deux types d'eaux usées : les eaux usées domestiques, et les eaux usées non domestiques. Les modalités de paiement des redevances d'eaux usées domestiques (et non domestiques) sont régies par l'article 13 (et l'article 26) du règlement d'assainissement. Le montant de la part «collecte» est fixé annuellement par le Conseil de Paris.

La redevance « transport-épuration » est déterminée par le SIAAP selon les dispositions présentées dans les chapitres 2 et 3 du règlement d'assainissement du SIAAP (SIAAP 2014a). Son taux est fixé chaque année par une délibération du Conseil d'Administration du SIAAP.

Les usages de la VDP, lorsqu'il y a rejet en égout, ne sont pas soumis à l'heure actuelle aux redevances assainissement pour des raisons historiques. Ces redevances sont donc appliquées uniquement aux usages non municipaux d'ENP et à certains usages minoritaires de la VDP (en cas de rejet en égout). Elles sont perçues par EDP pour le compte du SIAAP et de la VDP.

Taxe hydraulique

VNF perçoit une taxe sur les titulaires d'ouvrages de prise d'eau sur le domaine public fluvial qui lui est confié, d'après les articles L 4316-3 et suivants du Code des transports (Legifrance 2011a).

D'après l'article L4316-4 du Code des transports, le montant de cette taxe, communément appelée « taxe hydraulique », comprend deux éléments : (1) un élément lié à la part d'emprise occupée sur le domaine public fluvial en m^2; (2) et un élément lié au volume prélevable déterminé par la capacité physique maximale des installations. Le Code des transports autorise les titulaires d'ouvrages de prise et les gestionnaires d'un service public de distribution d'eau à répercuter tout ou une partie du montant de la taxe hydraulique sur l'usager final de ce service (VNF 2014a).

3.2.5.2 Vente de l'eau brute du canal de l'Ourcq

Les modalités de paiement pour le canal de l'Ourcq sont évoquées dans les contrats d'objectifs. Ci-dessous est l'extrait du contrat de 2012 à 2015 (VDP 2012a, 64) :

> « La redevance payée à la Ville, hors taxes, est proportionnelle au volume total prélevé, sans toutefois que ce volume ne puisse être inférieur à un volume minimal de 180 000 m^3/jour. Le taux de base de la redevance est fixé à 0,0468 € HT/m^3, pour toute la durée du contrat d'objectifs. Le paiement de la redevance intervient au 1er mai et au 1er novembre de chaque année, afin de couvrir les prélèvements effectués respectivement :
> - durant les mois de septembre à février précédents,
> - durant les mois de mars à août précédents ».

La valeur de 180 10^3 m^3/j a été historiquement établie par consensus entre la VDP et l'ancien opérateur de l'eau, la SAGEP. Dans la pratique, lorsque le volume prélevé est inférieur à 180 10^3 m^3/j, EDP paie tout de même l'équivalent de 180 10^3 m^3/j à la VDP (ce qui revient à 8,42 K€ HT par jour). Ceci est arrivé la grande majorité de l'année 2013, pendant laquelle le volume journalier moyen produit à La Villette s'élevait à 164 10^3 m^3/j. Le contrat d'objectif de 2015-2020 mentionne également le principe d'une redevance basée sur un volume minimal de 180 10^3 m^3/j.

Pour l'alimentation du canal de l'Ourcq, les prélèvements dans les cours d'eau (rivière Ourcq, Marne, et affluents du canal) sont soumis aux redevances AESN. La VDP paie directement ces redevances à l'AESN. La VDP inclue ces redevances dans la facture d'eau brute adressée à EDP. Pour cela, elle calcule un nouveau taux de redevance AESN qu'elle appelle « contrevaleur ». Ce taux est basé sur les volumes réellement prélevés par EDP et les coefficients des redevances AESN. Le prélèvement en Marne est également soumis à la taxe hydraulique VNF. Au vu de son faible montant (moins de 1 K€/an), elle n'est cependant pas incluse dans la facture de vente d'eau brute adressée à EDP.

3.2.5.3 Tarification ENP

Plusieurs types de tarifications de l'ENP existent en fonction de l'usager et du type de contrat. Cette tarification comporte à la fois le prix de fourniture d'ENP, mais aussi les redevances et taxes liées au prélèvement et à l'assainissement.

Usagers municipaux

Une facture est constituée en 2013 d'un montant forfaitaire annuel et d'un prix au m^3. Le montant forfaitaire s'élève à 542 K€ par mois, soit un forfait annuel de 6,51 10^3 K €. La partie variable, dépendante de la consommation, repose sur le volume produit par les usines, auquel on retire (1) 20 % du volume total considéré comme les « pertes » du réseau ENP et (2) le volume mesuré auprès des abonnés non municipaux. A ce volume estimé est appliqué un montant de 0,0695€ HT/m^3. Les deux composantes de ce prix sont établies à la création de la SAGEP (1987), puis le prix été réactualisé à la

création d'EDP en 2009. Avec un volume d'ENP facturé à la VDP en 2013 à 62,2 10^6 m^3/an, le prix de fourniture de l'eau par m^3 s'élève à 0,174 €HT.
En 2016, la facturation de ce contrat est modifiée. Un montant forfaitaire annuel de 12,5 10^3 K€ HT est fixé pour la fourniture d'un volume minimal d'ENP de 64 10^6 m^3/an. Si l'on estime que les volumes facturés restent les mêmes en 2013 et 2016, le prix de l'ENP revient à 0,1945 €HT/m^3. Les m^3 supplémentaires au-delà du forfait sont facturés au même prix, soit de 0,1945 €HT/m^3 (EDP 2016e, 2015b). La facture d'ENP envoyée à la VDP est répartie entre les services selon les ratios suivants : 16,9% pour la DEVE et 83,1% pour le STPP et la SAP.
Par ailleurs, la VDP dispose de quelques contrats spécifiques pour des usages de ses directions, auquel le même tarif s'applique.

Usagers non municipaux

Les usagers non municipaux représentent près de 130 usagers. Certains bénéficient d'une convention de gratuité, tels que le Louvre et le Sénat.
Jusqu'à fin 2015, le système de tarification est basé sur le tarif de l'EP en appliquant une décote, croissante par tranche en fonction de la consommation trimestrielle (0 < 100 < 1000 < 10000 m^3). Un tarif unique pour la fourniture est désormais proposé aux usagers non municipaux à partir de 2016, de 0,465 €HT/m^3. Si on inclue les redevances et la taxe hydraulique, ce prix s'élève à 1,79 €HT/m^3 (EDP 2015b).

Inclusion des redevances et taxes pour le prélèvement et l'assainissement

Le tarif ENP intègre des redevances prélèvement AESN, la redevance soutien d'étiage EPTB, la taxe hydraulique VNF, et la redevance assainissement (collecte pour la VDP, et transport-épuration pour le SIAAP).

Pour rappel, EDP est redevable directement à l'AESN, l'EPTB et VNF pour le prélèvement en Seine. Il paie également la redevance AESN pour l'achat de l'eau brute du Canal de l'Ourcq. Dans sa facturation aux usagers sur l'ENP, EDP établit alors un tarif unique de récupération pour les redevances AESN et la taxe VNF (EDP 2014d). Ce taux de récupération est calculé de telle sorte qu'un équilibre soit obtenu entre, d'une part, les charges d'EDP pour le règlement de ces redevances et taxes et, d'autre part, les produits constatés *via* la facturation de l'eau à l'usager final. Les équilibres entre les charges et les produits sont prévisionnels au moment où les taux sont déterminés, puis ils sont réajustés d'une année à une autre. En 2013, les redevances VNF et AESN ont été harmonisées et répercutées de la même manière aux usagers municipaux et privés (EDP 2012).

Les redevances assainissement auprès des usagers sont perçues par EDP pour le compte du SIAAP et de la VDP.

Une convention lie le SIAAP et EDP sur le recouvrement de la redevance d'assainissement (SIAAP et al. 2013), selon laquelle EDP perçoit la redevance et la reverse directement au SIAAP.
Les redevances SIAAP/SAP sont payées par les usagers non municipaux et certains usages spécifiques de la VDP (par exemple : des stations de lavage).
Bien qu'ils génèrent pour certains une charge polluante dans les égouts, les principaux usages municipaux (nettoyage des voiries, curage des égouts, et alimentation des Bois) ne sont pas soumis aux redevances SAP/SIAAP.

La Figure 36 représente les composantes du prix de l'eau par m^3, toutes redevances comprises pour l'EP et pour l'ENP. Pour l'ENP, le prix de l'eau par m^3 est représenté pour la VDP et l'usager non municipal.
Concernant les usagers non municipaux, la plupart des branchements existants des usagers non municipaux en 2013 ont une consommation inférieure à 100 m^3 par trimestre, ainsi le tarif associé est indiqué ci-dessous.

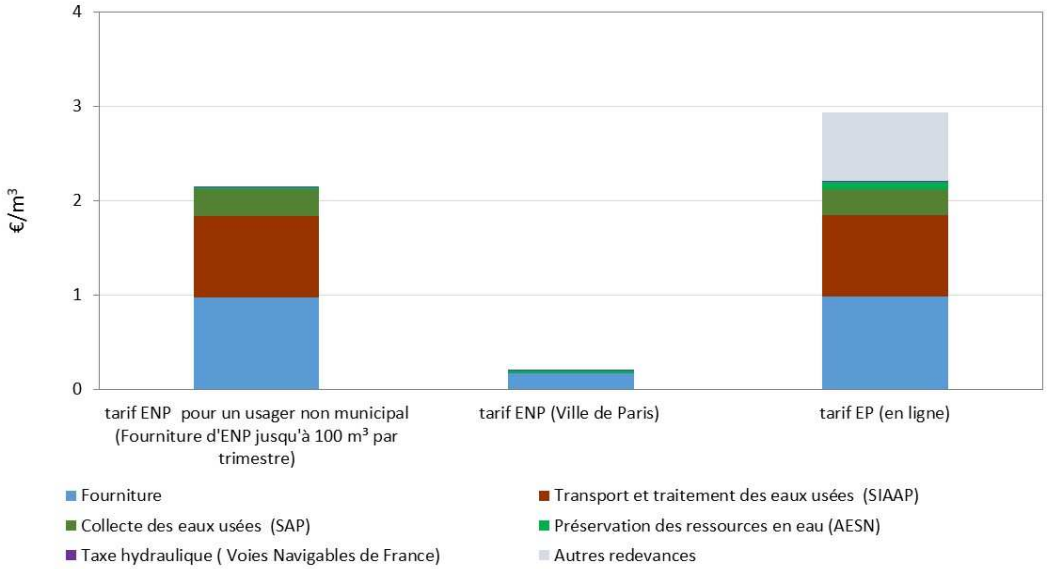


Figure 36 : Composantes du prix de l'eau par m^3 d'eau potable et d'eau non potable en 2013

Pour un usager non municipal, on observe sur la Figure 36 qu'en 2013, le prix de fourniture de l'ENP s'approche de celui de l'EP pour une fourniture inférieure à 100 m^3 par trimestre. Néanmoins, toutes redevances comprises, le prix complet de l'ENP (2,15 € HT/m^3) reste plus intéressant que celui de l'EP (2,92 € HT/m^3). En effet, le tarif en EP comporte de nombreuses autres redevances, telles que les redevances AESN pour la lutte contre la pollution et modernisation des réseaux de collecte. En 2016, le tarif ENP pour les usagers non municipaux (1,79 € HT/m^3) connait une légère baisse avec la suppression des tarifs dégressifs par tranche de consommations.
Le prix de l'ENP à la VDP en 2013 est fortement inférieur à celui des usagers non municipaux, en raison d'un prix de fourniture bas et de l'absence des redevances SAP et SIAAP. Le prix de fourniture connait une légère augmentation en 2016, passant de 0,174 € HT/m^3 à 0,194 € HT/m^3.

Ces tarifs (en € HT/m^3) doivent être remis en perspective avec les volumes en ENP associés, dans la mesure où la VDP consomme près de 100 fois plus d'ENP plus que les usagers non municipaux pris dans leur totalité.
Le paragraphe suivant représente les flux économiques associés entre EDP et VDP, et plus largement avec tous les autres acteurs associés aux taxes et redevances liées au prélèvement et au rejet dans le milieu naturel.

3.2.5.4 Cartographie des flux économiques liés à l'ENP

Ce paragraphe vise à discuter de l'ensemble des flux financiers associés aux volumes prélevés en rivière et les volumes d'ENP produits et mis en distribution.
Pour cela, une cartographie de ces flux pendant l'année 2013 a été réalisée et est présentée sur la Figure 37.
Par souci de simplicité, la Figure ne comporte pas : (1) les travaux réalisés par EDP et facturables à la VDP ; (2) les flux financiers associés au déversement d'EP dans le RENP (lui - même soumis aux redevances et taxes AESN, EPTB et VNF), et (3) la mise à disposition du RENP pour les usages de climatisation. Les chiffres sont indiqués en K€ HT.

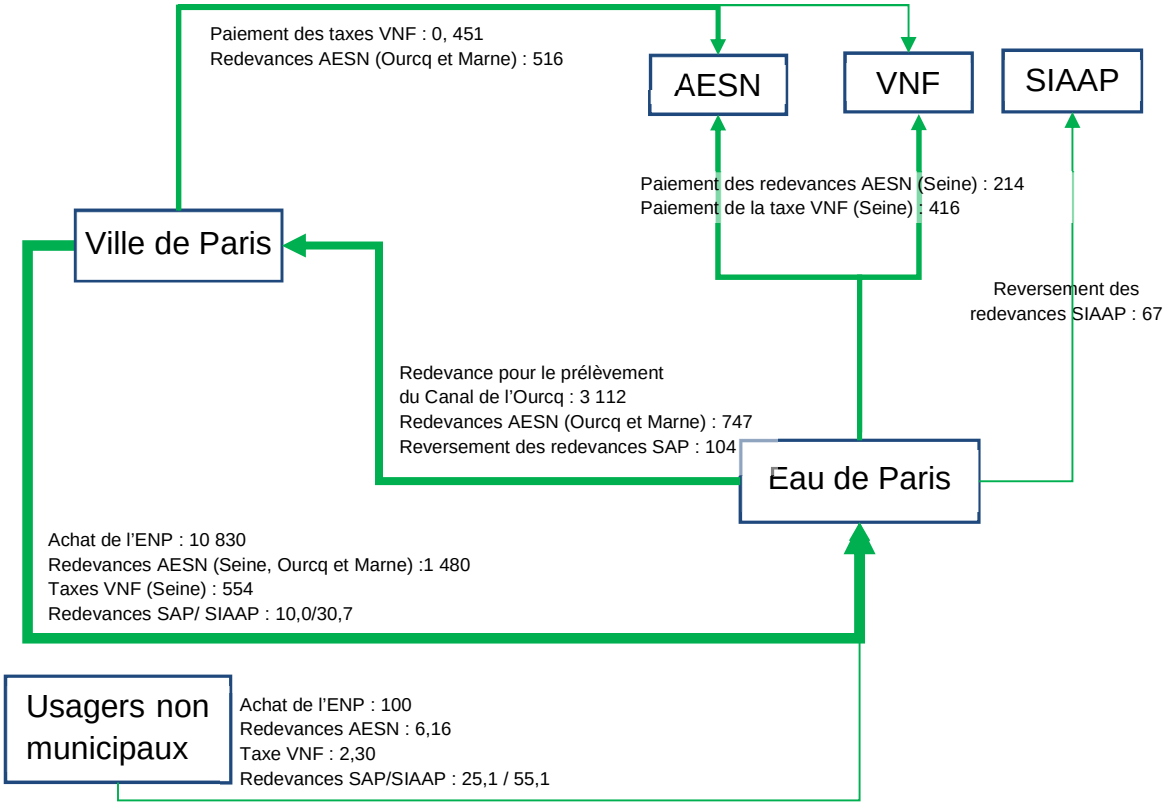


Figure 37 : Représentation des flux financiers liés à l'ENP en 2013. Prix indiqués en K€HT

On constate qu'en termes de volumes, les deux flux financiers les plus importants, sont situés entre la VDP et EDP : l'achat de l'ENP par la VDP à EDP qui s'élève à 10 800 K€ (hors taxes et redevances) ; et l'achat de l'eau du canal de l'Ourcq par EDP à la VDP qui s'élève à 3 110 K€ (hors taxes et redevances).

Des écarts sont constatés entre le montant des redevances et taxes perçues par EDP auprès des usagers, et les montants réellement reversés aux différents établissements. Concernant les redevances AESN et VNF, ceci s'explique par la nécessité, à la fin de l'année 2012, d'évaluer les volumes distribués par les usagers afin d'émettre un taux de récupération auprès des usagers. En effet, l'évaluation des taux de redevances pour l'année 2013 et l'ajustement des équilibres entre produits et charge se font comme suit :

- ajustement des montants définitifs des charges et produits de l'exercice 2011 et détermination du sur-équilibre ou sous-équilibre antérieur 2011.
- estimation des charges et produits de l'exercice en cours (généralement jusqu'à octobre 2012) et détermination du sur-équilibre ou sous-équilibre prévisionnel de l'exercice 2012.
- estimation des charges et produits de l'exercice de 2013 et calcul du taux tel que :

charges 2013+ sous-équilibre antérieur = produits 2013

ou

charges 2013= produits n+1 + sur-équilibre antérieur 2013.

Concernant les redevances SIAAP et SAP, des écarts sont également constatés entre les montants facturés aux usagers et les montants reversés aux organismes. Ils s'expliquent par les exonérations réalisées en 2013 sur les redevances assainissement du Louvre. En effet, les montants reversés par EDP à la VDP et au SIAAP se basent sur les consommations de l'année 2012 et sont réajustés *a posteriori*. Des exonérations en 2013 sur les redevances du Louvre expliquent l'excédent des redevances reversées par EDP au SIAAP et SAP. Cet excédent est corrigé en 2014.

Enfin, on observe aussi des écarts entre les redevances AESN versées par la VDP pour le prélèvement des cours d'eau pour le canal de l'Ourcq et les redevances AESN versées à EDP à la VDP. Cet écart s'explique par le mode de calcul des « contrevaleurs » établi par la VDP qui, en 2013, se base sur les années 2013 et 2012.

Au vu de ces premiers éléments d'analyse sur les relations entre EDP et VDP, nous constatons une interdépendance forte entre ses deux organisations sur le plan hydrique et économique. Cette interdépendance résulte d'un choix historique de maintenir le RENP pour les usagers municipaux et de privilégier le prélèvement dans le canal de l'Ourcq pour ce réseau.
Le schéma d'alimentation actuel peut connaitre des évolutions à moyen ou long terme. En effet, l'arrêt envisagé de l'usine d'Auteuil nécessiterait une réallocation des

ressources du RENP afin de compenser son arrêt, et donc une modification des proportions des ressources Ourcq et Seine mobilisées pour le réseau[23].
Par ailleurs, la disponibilité du canal de l'Ourcq peut être amenée à diminuer, en raison des enjeux règlementaires liés à la restitution des débits réservés et au possible prélèvement des communes dans le canal. Aujourd'hui, seule une commune (Bondy) a mis en place un prélèvement dans le canal, pour une consommation de 300 000 m^3/an, soit de 100 m^3/j. Néanmoins, il n'est pas à exclure que d'autres communes demandent à prélever dans le canal dans l'avenir.

Au regard de ces évolutions possibles, il paraît d'autant plus pertinent d'aborder dans la suite les possibilités de diversification des ressources par l'introduction de nouvelles ressources.

[23] La réallocation des ressources avec l'arrêt d'Auteuil sera plus amplement étudiée dans le chapitre 4.

3.3 Vers une diversification des ressources ?

Cette partie présente les ressources potentielles pour le RENP à Paris. Nous nous concentrons uniquement sur les ressources ayant une qualité proche de la qualité existante du RENP, notamment une faible teneur en matières en suspension et en polluants. Certaines ressources sont disponibles en continu comme les eaux de renouvellement des piscines[24], les eaux d'exhaure ou les eaux usées traitées. D'autres ressources, comme les eaux de pluie et les eaux de vidange de piscines, sont disponibles de manière intermittente.
Par ordre croissant des volumes disponibles, nous nous intéressons aux eaux de piscine, aux eaux de pluie, aux eaux d'exhaure et aux eaux usées traitées. Pour chaque ressource, nous poserons le cadre règlementaire associé à leur réutilisation. Nous estimerons les volumes disponibles et aborderons les aspects de qualité. Enfin, nous évoquerons les retours d'expérience de réutilisation en France.

3.3.1 Eaux de piscine

Le potentiel des piscines pour alimenter le RENP a été évoqué dans le schéma directeur de l'ENP (VDP 2015b) et étudié par EDP (Amdjar 2016) et l'APUR (APUR 2013b, 27). Au sens de l'article D1332-1 du Code de la santé publique (Legifrance 2008b), on distingue deux types de piscine :

- les piscines réglementées qui sont les piscines autres que celles réservées à l'usage personnel d'une famille ;
- et les piscines non réglementées réservées à l'usage personnel d'une famille.

Nous nous intéresserons aux piscines municipales, qui représentent un type de piscine réglementée. Le terme « piscine » employé dans nos travaux désignera dans la suite les piscines réglementées.

Il existe plusieurs types d'utilisation de l'eau au sein d'une piscine : les eaux de bassin, les eaux de pédiluves (bassin disposé à l'entrée des piscines, destiné à laver les pieds des nageurs avant l'accès au bassin), les eaux des douches et pour le nettoyage du sol à l'intérieur du bâtiment, et les eaux de nettoyage de filtre.
L'eau dans la piscine est en circulation permanente dans un circuit fermé. Pendant son parcours, elle est soumise à un traitement qui permet de garantir des conditions de baignade imposées par la réglementation.

[24] Cette ressource sera abordée spécifiquement dans la partie consacrée aux eaux de piscine, dans la partie 3.3.1

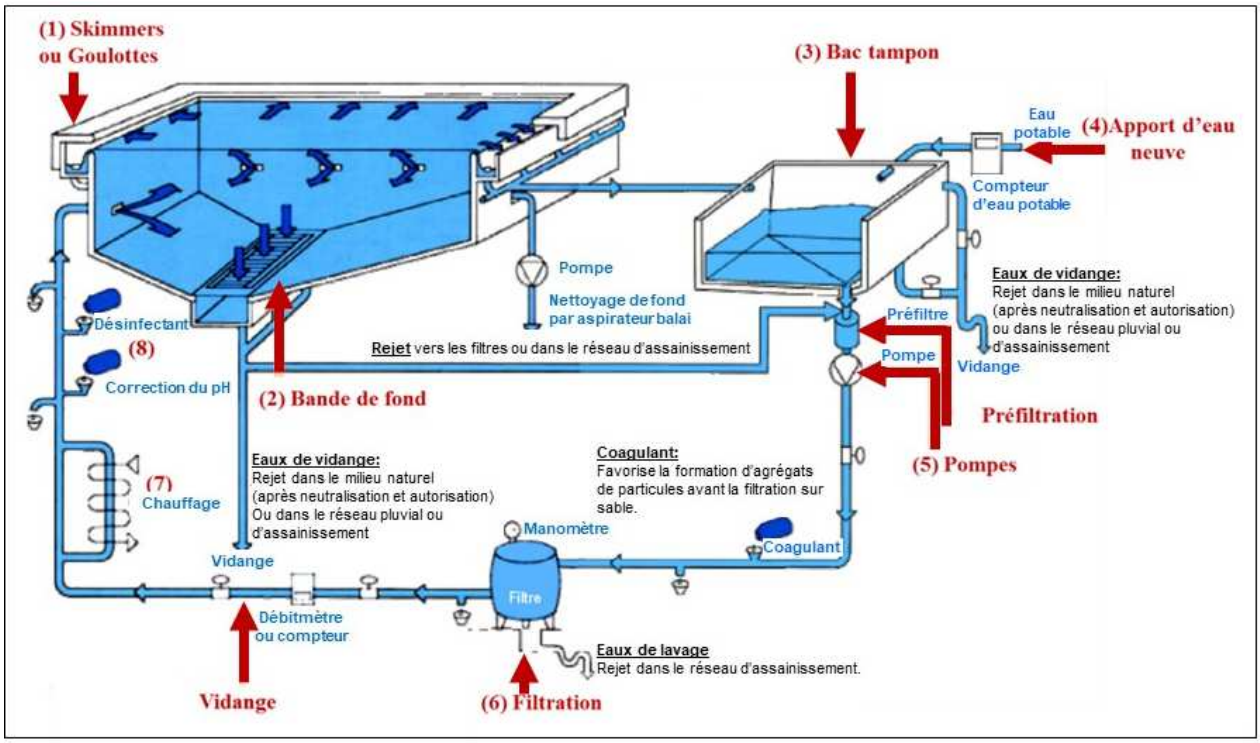


Figure 38 : Fonctionnement d'une piscine. Amdjar (2016) basé sur ARS Bretagne (2014)

Le parcours de l'eau de piscine de la Figure 38 peut être décrit comme suit :

- Les Skimmers/Goulottes (1) récupèrent et écrèment l'eau pour la faire circuler en direction du bassin tampon, tout en récupérant le maximum de débris dans les paniers.
- La bonde de fond (2) récupère l'eau la plus froide du fond pour améliorer le brassage. Cette étape permet d'assurer une température homogène dans le bassin, mais également de mieux répartir les produits de traitement. Elle permet également la vidange complète du bassin pour le nettoyage (fréquence d'au moins de deux fois par an imposée par la réglementation).
- Le Bac Tampon (3) absorbe les variations de débit et de volume et assure également la disconnexion pour l'apport de l'eau neuve imposé par le Code de la santé publique.
- L'alimentation en EP (4) permet le renouvellement de l'eau de la piscine.
- Les pompes (5) aspirent l'eau et la renvoient vers le filtre à partir du bac tampon.
- Le filtre (6) retient les impuretés pour garantir une eau propre nécessaire au confort de la baignade et la pérennité des installations.
- Le chauffage (7) chauffe l'eau (réchauffeur électrique, installation solaire ou pompe à chaleur, etc.)
- Le traitement d'eau (8) est la dernière étape du circuit de l'eau de piscine. Il permet d'obtenir une eau respectant les normes.

Du point de vue de la recherche, peu de travaux portent aujourd'hui sur la réutilisation des eaux de piscine. Ils sont axés uniquement sur les eaux de lavage de filtre. Wyczarska-Kokot (2016) a étudié la qualité des eaux de lavage des filtres de piscines

en Pologne, dans l'objectif de les réutiliser ou de les rejeter dans le milieu naturel. Ses travaux montrent que leur utilisation pour l'arrosage nécessite la mise en place d'un bac de décantation, en raison d'une concentration en MES trop importante (> 35 mg/L) et en Chlore libre trop importante (0,2 mg Cl_2/L).
Reißmann et al. (2005) ont focalisé leurs travaux sur les processus de traitement (ultrafiltration et osmose inverse) de ces eaux de lavage de ces filtres dans l'objectif de les réinjecter dans le bassin de la piscine. Les auteurs identifient les conditions de traitement de ces eaux qui lui permettent d'avoir à la fois une quantité faible en matière organique et une absence de contamination microbienne. Avec une durée de vie de membranes estimée à sept ans, ils estiment une économie annuelle de 4 300 € pour le gestionnaire de piscine en cas de mise en place de ces traitements.

Nous constatons l'absence de travaux de recherche sur la réutilisation des eaux de piscines en France. Avant d'estimer les volumes disponibles et de se pencher sur la question de qualité, il nous paraît important d'abord de prendre connaissance des règlementations actuelles sur les eaux de piscine en France.

3.3.1.1 Cadre réglementaire

A l'heure actuelle, il n'existe pas de cadre réglementaire destiné exclusivement à la réutilisation des eaux de piscines. Cependant, plusieurs textes réglementaires s'appliquent aux eaux de la piscine sur les aspects suivants :

- la qualité de l'eau des piscines : produits autorisés et interdits pour la désinfection de l'eau, ainsi que les concentrations autorisées
- les conditions de circulation de l'eau de piscine et de renouvellement de l'eau
- les conditions à respecter pendant la vidange des piscines dans le réseau d'égout parisien.

Le Tableau 37 récapitule les principaux textes règlementaires relatifs à ces aspects.

Tableau 37 : Principaux textes règlementaires relatifs à la qualité des eaux de piscine et à ses rejets en réseaux d'assainissement

Textes règlementaires	Contenu
Articles D1332-1 à D1332-13, et annexe 13-6 du code de la santé publique	L'eau des bassins doit être filtrée, désinfectée et désinfectante. La circulation de l'eau de bassin est obligatoire avec des fréquences définies dans les textes
Arrêté du 7 avril 1981 modifié	L'apport d'eau neuve se fait au niveau du bac tampon. L'apport d'eau minimal est de 30 L/baigneur/jour, avec une vidange d'au moins 2 fois/an. Les produits/procédés de traitement pour la désinfection sont les produits chlorés, le brome, l'ozone, et PHMB[25].
Règlementation de l'assainissement de Paris	Les eaux de piscine sont définies comme « eau usée non domestique assimilable à des eaux usées domestiques » par l'annexe 1 de l'arrêté de 21/12/2007. Elles doivent être rejetées vers le réseau d'eau usée dans le cas d'un réseau assainissement parisien séparatif. Elles sont sujettes à la redevance collecte et transport-épuration.

Enfin, d'après le règlement sanitaire départemental de Paris (Legifrance 2009), il est interdit de connecter les réseaux d'EP avec « *un réseau particulier ou un circuit fermé pouvant présenter des risques pour le réseau d'eau potable* ». Ainsi, nous pouvons estimer que l'envoi des eaux de piscine dans le RENP nécessite un bac de disconnexion, afin d'éviter tout retour d'ENP vers les piscines. Ce bac jouera également le rôle de bâche de pompage pour l'injection dans le RENP.

3.3.1.2 Volumes disponibles à Paris

Nous évaluons les volumes d'eaux de piscine disponibles pour le RENP, en nous basant sur les données disponibles auprès de la Direction de la Jeunesse et des Sports (DJS) de la VDP. Paris dispose actuellement de 39 piscines municipales gérées par la DJS. Nous nous intéressons à deux types d'eaux rejetées des bassins des piscines :

- Les eaux de surverse qui résultent du renouvellement quotidien des eaux de piscine. La DJS estime le renouvellement quotidien des piscines parisiennes à 100 L/baigneur/jour [26]. On admet que l'apport en eau neuve engendre l'envoi d'un volume équivalent envoyé aux égouts.
- Les eaux de vidange, issues de la vidange totale des bassins pendant les arrêts techniques des piscines par la bonde de fond (*cf*. Figure 38-4). La DJS estime qu'en moyenne deux vidanges sont effectuées par an.

[25] Le PHMB (ou le PolyHexaMéthylène Biguanide) est un produit désinfectant couramment utilisé pour les eaux de piscines.

[26] Compte-rendu d'entretien le 17 juin 2016 avec la Direction de la Jeunesse et des Sports de la Ville de Paris.

Ces eaux sont rejetées gravitairement ou par pompage vers les égouts, en fonction des altimétries du bassin et des équipements de traitement par rapport aux égouts.
Nous estimons les rejets de ces deux types d'eaux à partir des consommations en EP des piscines parisiennes sur l'année 2012, ces données ayant été transmises par la VDP. Cette dernière possède effectivement, pour chaque piscine, un compteur spécifique pour l'approvisionnement des bassins et l'eau du renouvellement quotidien.
L'estimation des *rejets annuels* de ces types d'eaux repose sur les hypothèses suivantes :

- Le volume d'une vidange d'une piscine correspond au volume de ses bassins.
- Deux vidanges ont lieu par an par piscine.
- Le volume de l'eau de surverse annuelle d'une piscine est égal aux consommations en EP comptabilisées, auquel on retire le volume de vidange annuel de la piscine.

D'autres hypothèses sont nécessaires pour le calcul du *rejet journalier* de ces volumes nécessite :

- Pour les eaux de surverse, il est nécessaire de connaitre le nombre de jours de fonctionnement d'une piscine sur une année. La DJS évalue ce nombre entre 300 et 350 jours par an, en fonction des périodes de vidanges et des jours fériés. Nous estimons ce nombre à 325 afin de calculer le volume quotidien d'eau de surverse.
- Pour les eaux de vidange, la durée de celle-ci est estimée par la DJS entre 48 et 72h. Afin de connaitre le volume journalier minimal, nous retiendrons la valeur de 72h.

Nous ne disposons pas d'information précise sur la présence de bâche de pompage pour toutes les piscines, et considérons par défaut l'ensemble des piscines pour estimer les volumes disponibles. En cas de données manquantes sur les consommations des piscines (7 piscines sur 39), les consommations sont extrapolées par rapport aux volumes des bassins. Le Tableau 38 présente les volumes disponibles.

Tableau 38 : Volumes disponibles des piscines municipales parisiennes estimés pour le RENP

*Nombre de jours considérés : 325 jours pour les eaux de surverse et 3 jours pour les eaux de vidange ** Volume d'ENP mis en distribution moyen sur les années 2013, 2014 et 2015

	Volume annuel (m^3/an)	Volume journalier*(m^3/j) (N=39)			
		moyenne	min	max	écart-type
Vidange	72 400	619	227	1 867	360
Surverse	625 000	49	18	104	17,8
Total	698 000				
Rapport entre le volume annuel total et le volume mis en distribution d'ENP **	<1%				

D'après ce Tableau, on constate de fortes différences d'une piscine à autre, que ce soit pour les eaux de vidange ou de surverse. Ceci s'explique par la variabilité des volumes des bassins des piscines (allant de 340 m^3 à 2800 m^3).
A l'échelle annuelle, on remarque que les eaux de surverse représentent le volume le plus important, soit 90% du volume total journalier rejeté. Le volume total annuel récupérable reste modeste : il représente moins de 1% de la moyenne des volumes annuels d'ENP mis en distribution sur les années 2013, 2014 et 2015.

L'APUR a réalisé une analyse semblable, en estimant les volumes d'eaux de piscine pour le RENP (APUR 2013b). Il se base sur l'arrêté du 7 avril 1981 (Legifrance 2017a) qui mentionne un renouvellement minimal de 30 L/baigneur/jour. En utilisant une fréquentation moyenne de 450 baigneurs par jour par piscine, APUR estime un volume journalier réutilisable des eaux de piscine à 13,5 m^3/j par piscine. A cela peuvent être ajoutés les rejets de nettoyage de filtres, de l'ordre de 10 à 20 m^3/j par piscine, et les eaux de vidange. Sans prendre en compte les vidanges, des dispositifs simples permettraient ainsi de récupérer un volume journalier total de 25 m^3/j et par piscine. Les 38 piscines municipales considérées par l'APUR représenteraient alors un volume d'eau potentiel de 950 m^3/j soit 34,7 10^3 m^3/an.
Les différences constatées entre nos estimations et celles de l'APUR s'expliquent par l'hypothèse prise par l'APUR sur le volume de renouvellement minimal de 30L/baigneur/jour et sur l'uniformité des piscines. Dans la pratique, la DJS indique un apport minimal de 100L/baigneur/jour, et cet écart se reflète dans nos estimations qui sont deux fois plus élevées que celles de l'APUR.

3.3.1.3 Qualité

Deux aspects de la qualité des eaux de piscine méritent d'être étudiés : sa qualité microbiologique et sa teneur en chlore. L'article D1332-2 du Code de la santé publique pose des limites au niveau de la composition microbiologique de l'eau des bassins des piscines (Legifrance 2006) :

Encadré 5 : Limites posées par l'article D1332-2 du Code de la Santé publique sur la qualité des eaux de bassin des piscines.

L'eau des bassins des piscines doit répondre aux normes physiques, chimiques et microbiologiques suivantes :
1° Sa transparence permet de voir parfaitement au fond de chaque bassin les lignes de nage ou un repère sombre de 0,30 mètre de côté, placé au point le plus profond ;
2° Elle n'est pas irritante pour les yeux, la peau et les muqueuses ;
3° La teneur en substance oxydable au permanganate de potassium à chaud en milieu alcalin exprimée en oxygène ne doit pas dépasser de plus de 4 mg/L la teneur de l'eau de remplissage des bassins ;
4° Elle ne contient pas de substances dont la quantité serait susceptible de nuire à la santé des baigneurs ;
5° Le pH est compris entre 6,9 et 8,2 ;
6° Le nombre de bactéries aérobies revivifiables à 37° C dans un millilitre est inférieur à 100 ;
7° Le nombre de coliformes totaux dans 100 millilitres est inférieur à 10 avec absence de coliformes fécaux dans 100 millilitres ;
8° Elle ne contient pas de germes pathogènes, notamment pas de staphylocoques pathogènes dans 100 ml pour 90 % des échantillons

Sur les aspects microbiologiques, les experts de la qualité à EDP avancent que la composition microbiologique ne présente pas de problème pour la réinjection d'eau de piscine dans le RENP[27]. En effet, la qualité microbiologique des eaux de piscine est bien meilleure que celle de l'ENP.

Du point de vue physico-chimique, nous nous attardons sur la teneur en chlore qui caractérise les eaux de piscine, au vu des traitements de désinfection utilisés par les piscines parisiennes. La teneur en chlore dans l'eu peut s'avérer problématique sur deux aspects :

- Impact sur l'arrosage : le chlore est un très fort oxydant. Sa présence dans l'eau d'arrosage pourrait éventuellement dégrader les plantes. Par conséquent, il est recommandé d'éviter l'arrosage directement par l'eau de piscine.
- Encrassement des conduites d'ENP : le chlore réagit avec les ions ferreux et les ions ferriques (respectivement Fe^{2+} et Fe^{3+}) pour produire les oxydes de fer (solide) qui peut encrasser les conduites par précipitation.

Sur la base d'analyse qualité transmises par la VDP, les experts au sein d'EDP considèrent que les teneurs en chlore des eaux des piscines sont trop faibles (près de 1,8 mg/L) pour constituer un motif d'inquiétude par rapport aux risques avancés[28].

[27] Compte-rendu de réunion de Mohamed Amdjar avec la DRDQE le 26 juillet 2016.
[28] Compte-rendu de réunion de Mohamed Amdjar avec la DRDQE le 26 juillet 2016.

3.3.1.4 Cas de réutilisation et retours d'expérience

La réutilisation des eaux de piscine a été étudiée par le Conseil Départemental du Val de Marne dans le cadre du projet « Plan Bleu ». Sur la base de ce document et grâce à des échanges avec les gestionnaires des sites, Amdjar (2016) décrit plusieurs exemples de réutilisation dans le Val de Marne dans le Tableau 39.

Tableau 39 : Exemples des cas de réutilisation des eaux de piscine dans le Val de Marne. Modifié d'après Amdjar (2016)

Commune	Types de ressources récupérées	Infrastructures	Usages
Orly	Eaux de de renouvellement quotidien des bassins et des eaux de vidange.	Cuve de stockage de capacité de 667 m^3	Nettoyage des voiries depuis 5 ans (50 km de voirie et 100 km de trottoirs)
Fontenay-Sous-Bois	Eaux de renouvellement quotidien des bassins et des eaux de pluie de toiture de la piscine	Fosse de rétention de 40 m^3 Deux pompes de relevage	Nettoyage des voiries
Villeneuve Saint Georges	Eaux de renouvellement quotidien	Cuve de stockage de 120 m^3 3 pompes de relevage	Nettoyage des voiries. Arrosage des espaces verts

Les retours d'expérience dans le Val de Marne sont jugés positifs d'après l'étude du Plan Bleu du Val-de-Marne et des visites réalisées à la piscine de Villeneuve Saint-Georges. Concernant cette dernière, nous notons que les eaux de renouvellement sont aujourd'hui arrosées sur des zones jugées « non sensibles » par les services techniques de la commune (de type pelouse), avant de décider d'un éventuel arrosage généralisé sur la commune.

A Paris, une étude est engagée entre la DJS et la DPE pour l'alimentation des laveuses de trottoir par les eaux de piscine. Deux piscines ont été sélectionnées pour leur proximité aux espaces de stationnement et à l'atelier des engins de trottoirs : Rouvet (19e arrondissement) et Rigal (11e arrondissement). La réutilisation de ces eaux de piscine reste à l'étude et n'est pas encore mise en place.

En guise de conclusion, nous constatons que les eaux de piscine ont une qualité satisfaisante pour le RENP et ses usages, mais qu'elles représentent des volumes assez modestes. Par ailleurs, leur injection dans le RENP pourrait nécessiter une bâche intermédiaire jouant le rôle de disconnexion, ce qui restreint également le choix des piscines

Une deuxième ressource, également portée par le schéma directeur de l'ENP, constitue des volumes un peu plus importants : les eaux de pluie. Celles-ci sont présentées dans la suite.

3.3.2 Eaux de pluie

Deux termes existent pour désigner les eaux issues des précipitations atmosphériques : les eaux de pluie qui proviennent des toitures récupérées avant ruissellement, et les eaux pluviales qui proviennent de toutes les autres surfaces urbaines après ruissellement (sur les voiries, parking, etc.). Ici on s'intéresse uniquement aux premières, les eaux de pluie étant très peu chargées en solides et polluants.

La récupération et l'utilisation de l'eau de pluie en zone urbaine s'effectue aujourd'hui à l'échelle du bâtiment, allant de la maison individuelle au logement collectif (Kinkade-Levario 2007). Les usages principaux restent l'irrigation et l'arrosage. Les usages intérieurs concernent principalement la chasse des toilettes et le lavage du linge (de Gouvello et al. 2012).
A l'échelle internationale, la récupération des eaux de pluie a d'abord été promue par les pouvoirs publics dans des zones fortement inondables comme au Japon ou dans des régions soumises à une tension sur la ressource, comme c'est le cas en Belgique, au Luxembourg, à Singapour et au Canada (Montginoul 2006).
L'Allemagne a beaucoup développé la réutilisation des eaux pluviales pour des usages tels que les lessives, la chasse des toilettes ou l'arrosage (Perraud 2005), grâce à des mesures économiques incitatives proposées par les *Länder* et les municipalités (de Gouvello et al. 2012). Aux Etats-Unis, les systèmes de récupération et d'utilisation de l'eau de pluie ont été historiquement utilisés dans des secteurs isolés, non desservis par un service public d'eau.

Les nombreux cas de réutilisation des eaux de pluie en France s'expliquent par l'exigence d'un cadre règlementaire posé par l'arrêté du 21 Août 2008. Nous présentons les grands principes de cet arrêté à présent.

3.3.2.1 Cadre règlementaire

Au niveau national, l'arrêté du 21 Août 2008 relatif à récupération des eaux de pluie et leur usage à l'intérieur comme à l'extérieur des bâtiments (Legifrance 2008a) pose le cadre règlementaire de la réutilisation des eaux de pluie. Le texte de cet arrêté présente un ensemble des conditions d'usage, d'installation, d'entretien et de surveillance des eaux de pluie. Les principales conditions sont présentées ci-dessous :

- seules les toitures inaccessibles peuvent être des surfaces réceptives de l'eau de pluie
- pour certains bâtiments, (comme les établissements de santé et des écoles maternelles), l'utilisation de l'eau de pluie est interdite
- l'unique usage extérieur défini est l'arrosage des espaces verts
- les usages de l'eau de pluie à l'intérieur sont limités à l'alimentation des toilettes, le nettoyage des sols et le lavage du linge (ce dernier reste à titre expérimental).

Le développement de la récupération et l'utilisation de l'eau de pluie en France (auprès des collectivités, aménageurs, et particuliers) a poussé à la professionnalisation de la récupération d'eau de pluie. En octobre 2011, la norme AFNOR NF P16-005 sur le système de récupération de l'eau de pluie pour son utilisation à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments est publiée. Cette norme donne les spécifications générales sur la mise en œuvre, l'entretien la collecte et la distribution de l'eau de pluie. Elle est le document de référence pour les professionnels et vient en appui à la réglementation en vigueur.
A l'échelle de Paris, la gestion des eaux de pluie (et des eaux pluviales) est encadrée[29] règlementairement par le Plan Pluie de Paris, qui est en cours de réalisation par la VDP. Son objectif principal sera de diminuer, en temps de pluie, les rejets des égouts vers la Seine et le débordement des eaux d'assainissement dans les voiries. Pour cela, le plan Pluie cherchera à diminuer les surfaces imperméabilisées de Paris. En particulier, ce plan inclura un Zonage Pluvial de Paris qui représentera un instrument juridique pour imposer des mesures de gestion à la parcelle des eaux pluviales. En attente de la finalisation du Plan Pluie, ce zonage pluvial est déjà établi et appliqué pour l'instruction des projets d'aménagement (Nezeys 2013).

3.3.2.2 Volumes

Les volumes d'eau de pluie récupérables à Paris peuvent être calculés à partir des précipitations annuelles, et la surface des toitures susceptibles de collecte.

Nous les estimons à partir des données de Météo France et des données sur le mode d'occupation des sols de l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Île-de-France (IAU 2003). La Figure 39 présente les variations mensuelles des précipitations de la station Météo France Paris Montsouris sur les années 2013, 2014 et 2015. D'après la Figure, la précipitation mensuelle connait des fortes variations pendant l'année. Les pics de précipitations mensuels varient selon les années : le pic mensuel de 2013 est en mai, alors que les pics en 2014 et 2015 sont en août. La Figure présente également la moyenne des précipitations mensuelles sur les trois années. Le cumul annuel moyen sur les trois années est de 613 mm, avec un maximum en mai (81mm/mois) et un minimum en juin 2015 (7 mm/mois).

[29] Compte rendu de réunion du 22 juin avec la DPE de la Ville de Paris

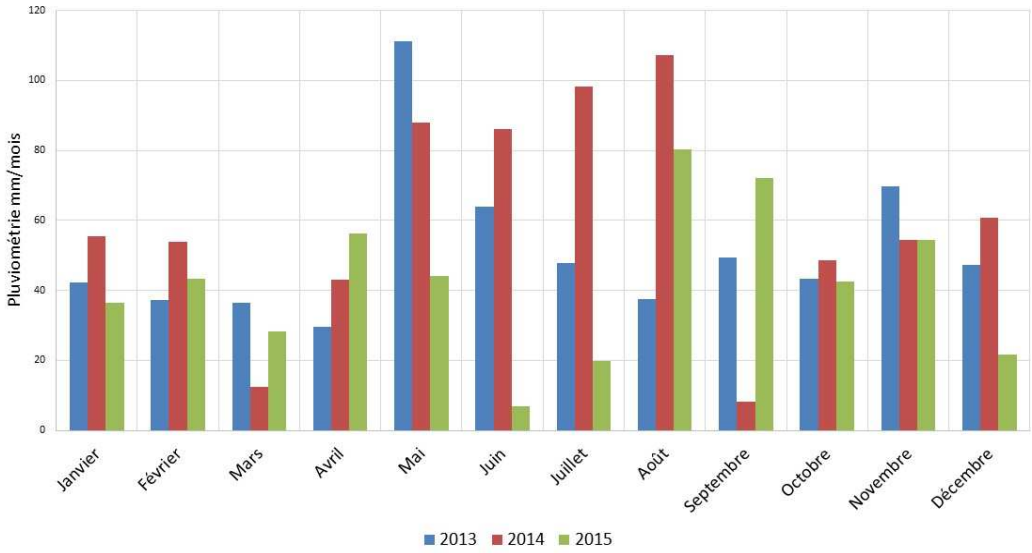


Figure 39 : Précipitations mensuelles de la station Météo France Paris Montsouris sur les années 2013, 2014 et 2015

Les surfaces des toitures sont estimées à partir des données de l'IAU. La superficie totale des toits à Paris intra- et extramuros est de 75,8 10^6 m^2. On estime que les précipitations seront collectées le plus facilement sur les toits des bâtiments publics ou à vocation collective, tels que les gares, les bâtiments administratifs, les installations culturelles, les universités, les parkings couverts et les centres commerciaux. La superficie des toits de ces catégories de bâtiments est estimée à 4,80 10^6 m^2, à la hauteur de 6,3 % de la superficie totale des toitures de Paris.

Le Tableau 40 présente les volumes des eaux de pluie disponibles à Paris. Les volumes estimés à partir de notre approche se rapprochent finalement des estimations de l'APUR. D'après ce Tableau, les volumes disponibles annuels des eaux de pluie représenteraient en moyenne 2,94 10^6 m^3, à la hauteur de 3,75% des volumes d'ENP mis en distribution. Selon les conditions météorologiques, le volume peut varier entre 0,5 et 8 % des volumes d'ENP mis en distribution.

Tableau 40 : Volumes disponibles des eaux de pluie estimés pour le RENP

	Année	Mois avec la précipitation mensuelle minimale (juin 2015)	Mois avec la précipitation mensuelle maximale (mai 2013)
Surface des toitures dans Paris	75,8 10^6 m^2		
Surface des toitures collective des équipements collectifs	4,80 10^6 m^2		
Pluviométrie	613 mm/an	7 mm/mois	111 mm/mois
Volumes disponibles en eaux de pluie	2,94 10^6 m^3/an	33,6 10^3 m^3/mois	534 10^3 m^3/mois
Volumes d'ENP mis en distribution	78,5 10^6 m^3/an	6,96 10^3 m^3/mois	7,04 10^3 m^3/mois
Ratio Volume eau de pluie et volumes mis en distribution (%)	3,75%	0,48%	7,59%

L'APUR a également estimé les volumes d'eau de pluie récupérables à Paris à partir des précipitations annuelles, dont la valeur normale constatée à la station Paris-Montsouris est de 637 mm et la surface des toitures susceptibles de collecte (APUR 2013b). L'APUR estime une récupération directe à 5% de la superficie du territoire parisien (incluant les deux bois) de 105 km^2, donc un volume récupérable annuel de 3,34 10^6 m^3. L'hypothèse des 5% ne nous est pas connue. Nos estimations et celles de l'APUR donnent les mêmes ordres de grandeurs.

Cette ressource cependant reste modeste pour les besoins du RENP (environ 4% à l'échelle annuelle) et n'est disponible que par intermittence. Par ailleurs, des infrastructures nécessitant un dimensionnement spécifique (bâche de stockage) sont nécessaires à leur récupération et leur injection dans le RENP.

3.3.2.3 Qualité

Les eaux de pluie ayant ruisselé sur les toitures ne sont pas exemptes de polluants, qu'ils soient de nature physico-chimique ou microbiologique (Meera et al. 2006). L'eau de pluie peut comporter les déchets et flottants, les sables et matières en suspension (les matières organiques et nutriments (N, P), les éléments traces métalliques (Zn, Pb, Cu, Cr, Cd, Hg…), les composés traces organiques, les pesticides et herbicides, et enfin les micropolluants biologiques (Vialle 2011, 11).
En particulier, les concentrations en polluants sont plus élevées pendant les premières minutes d'un évènement pluvial, ce phénomène étant appelé le « *first flush* » (Martinson et al. 2009).

Au niveau microbiologique, la contamination des eaux de ruissellement de toiture est issue de l'activité des insectes, d'oiseaux et petits mammifères et les dépôts atmosphériques d'organismes environnementaux (Evans et al. 2006). La qualité microbiologique des eaux de pluie collectées en aval des toitures reste ainsi caractérisée par une grande variabilité (Vialle 2011).

Enfin, lorsque l'eau de pluie est stockée, la nature du matériau et la durée de stockage peut impacter la qualité de l'eau de pluie collectée (Vialle 2011). Les eaux de pluie stockées en cuve plastique seraient alors plus acides que celles stockées en cuve béton. Il n'y a toutefois pas de consensus sur l'influence du temps de stockage sur la qualité microbiologique des eaux de pluie (Meera et al. 2006).

Suite aux échanges avec les experts sur la qualité à EDP, la qualité physico-chimique des eaux de pluie devrait être satisfaisante au vu de sa dilution dans le RENP (les scénarios de mélange devront toutefois précisés) [30].
Sur les aspects microbiologiques, une plus grande importance doit être accordée à la qualité des eaux de pluie que pour les eaux des piscines. Toutefois, elle s'avèrerait peu problématique, au vu des usages de l'ENP (arrosage, nettoyage des voiries) et de l'utilisation déjà existante des eaux de pluie pour l'arrosage à Paris.

3.3.2.4 Cas de réutilisation et retours d'expérience

Amdjar (2016) décrit plusieurs cas de réutilisation des eaux de pluie à Paris et leurs retours d'expériences, sur la base de ses propres visites de terrain et des études réalisées par SEPIA pour le compte de la VDP (SEPIA 2016). L'ensemble de ces cas sont présentés dans le Tableau 41.

[30] Compte-rendu de réunion de Mohamed Amdjar le 26 juillet 2016.

Tableau 41 : Retours d'expérience de réutilisation des eaux de pluie dans Paris. Modifié d'après Amdjar (2016)

Site	Moyens et usages	Retour d'expérience
Jardin Charles Trenet (DEVE) – ZAC de la gare de RUNGIS	Les eaux de pluie sont récupérées en aval de toitures de plusieurs bâtiments via un puits et une bâche tampon. Elles sont ensuite stockées dans le bassin du jardin (un étang d'environ 300-350 m^3). Elles servent pour l'arrosage et l'alimentation des bassins.	Les apports en eau de pluie sont très faibles et ne permettent pas de couvrir la totalité des besoins pour l'alimentation des bassins et l'arrosage.
Jardin Serge Gainsbourg (DEVE)	Les eaux de toiture sont stockées dans une cuve de capacité de 800 m^3. Elles sont sommairement traitées *via* un bac de décantation et un dégrilleur. Elles servent pour l'arrosage et l'alimentation des bassins	L'eau de pluie suffit la plupart de temps pour les usages, l'appoint en ENP est rarement nécessaire. Du fait la capacité importante de la cuve, celle-ci se remplit en hiver et permet de subvenir aux besoins en été.
Hôtel Saint Dominique	Les eaux de toiture de l'hôtel sont stockées dans une cuve enterrée de 5 m^3. Elles sont filtrées, puis alimentent 35 sanitaires de l'hôtel.	Aucun problème n'est constaté et des économies sont faites en EP. La directrice de l'hôtel considère que la démarche environnementale est très intéressante et apporte une valeur ajoutée à l'image de marque de l'hôtel.
Halle Pajol-Jardin Rosa Luxemburg (DEVE)	Les eaux de pluie du toit de la halle Pajol sont stockées dans une bâche de volume d'environ 100 m^3. Elles servent pour l'arrosage et l'alimentation des bassins.	Les eaux de pluie ne permettent pas de couvrir la totalité des besoins, nécessitant un apport en EP. Lors de grosses pluies, la bâche n'est pas suffisamment dimensionnée pour contenir tout l'eau de pluie, entraînant des rejets vers les égouts.
Saint Christopher's Inn-Belushi's	Les eaux de pluie sont récupérées sur l'ensemble des toitures et de la verrière de l'auberge de jeunesse. Elles sont stockées dans une cuve de capacité de 15 m^3. Elles alimentent l'ensemble des sanitaires de l'auberge.	Les gestionnaires de l'auberge considèrent que le bilan est positif, en raison des économies de consommations en EP réalisées.

Ce Tableau met en avant la variabilité des retours d'expérience. L'auberge Saint *Christophe's Inn Belushi's* et l'hôtel Saint Dominique jugent la réutilisation des eaux de pluie positive, dans la mesure où elle permet des économies de consommations en EP. Les retours d'expériences sont plus mitigés pour les jardins de la DEVE, où les gestionnaires pointent le doigt sur le côté aléatoire de la pluviométrie et des difficultés de dimensionnement des bâches.

En guise de conclusions, les eaux de pluie ont une qualité qui paraît satisfaisante aux usages du RENP, surtout si elles sont diluées dans le RENP. Toutefois, ces eaux représentent des volumes très faibles, et les retours d'expériences à Paris sont assez partagés.
Dans la suite, nous nous intéressons à une troisième ressource également portée par le schéma directeur de l'ENP : les eaux d'exhaure.

3.3.3 Eaux d'exhaure

Le terme eaux d'exhaure trouve son origine dans les activités minières. En effet, l'exploitation minière du sous-sol peut engendrer l'apparition de multiples fractures dans certaines couches géologiques, modifiant l'équilibre hydrogéologique naturel et induisant une infiltration progressive des eaux souterraines naturelles sus-jacentes dans les infrastructures minières (BRGM 2012). Pendant la période d'exploitation des mines, ces eaux, dites «d'exhaure », sont évacuées par pompage afin de permettre l'exploitation des ressources minières. Dans le contexte parisien, elles désignent les eaux d'infiltration dans les infrastructures souterraines ; elles sont pompées vers l'égout ou le milieu naturel afin de garder ces infrastructures fonctionnelles. A notre connaissance, aucun travail scientifique ne porte sur la réutilisation des eaux d'infiltration dans ces infrastructures souterraines.

3.3.3.1 Cadre règlementaire

Au niveau national, le rejet des eaux d'exhaure à l'assainissement est interdit par le Code de la santé publique (Legifrance 2007a). Son article R1331-2 mentionne qu'il « *est interdit d'introduire dans les systèmes de collecte des eaux usées :* […]
c) Des eaux de source ou des eaux souterraines, y compris lorsqu'elles ont été utilisées dans des installations de traitement thermique ou des installations de climatisation […] ».
Les articles R 1331-2 et L1331-10 définissent toutefois la possibilité de déroger à cette interdiction. D'après l'article R 1331-2, les mairies peuvent déroger à cette interdiction en accordant des autorisations de déversement selon la procédure applicable aux déversements d'eaux usées non domestiques. En particulier, l'article L1331-10 indique que « *tout déversement d'eaux usées autres que domestiques dans le réseau public de collecte doit être préalablement autorisé par le maire* ».

Le règlement d'assainissement de la VDP définit les eaux d'exhaure comme suit (VDP 2013):

> « toutes les eaux d'origine souterraine susceptibles d'être rejetées en égout par pompage, en totalité ou en partie. Ces pompages d'eau de nappe correspondent généralement à l'un des cas suivants :
> - évacuation d'eaux d'infiltrations dans les constructions enterrées (parc de stationnement, métro,...),
> - prélèvements d'eau pour des besoins énergétiques (pompes à chaleur, climatisation...),
> - prélèvements d'eau pour des besoins industriels,
> - épuisements de fouilles ou rabattements de nappes pour la réalisation de chantiers souterrains ;
>
> ces derniers rejets sont temporaires. Les rejets d'eaux d'exhaure sont assimilés à des rejets d'eaux usées non domestiques. »

Le règlement d'assainissement de Paris définit, dans sa partie 24.2, les conditions d'admissibilité des eaux d'exhaure aux réseaux assainissement de Paris. Les rejets

autorisés sont assujettis au paiement de la redevance d'assainissement. Par ailleurs, l'article 24.3 fixe les concentrations limites imposées aux eaux d'exhaure au point de rejet dans le réseau.

3.3.3.2 Volumes disponibles

Les visites des sites produisant des eaux d'exhaure montrent que les infrastructures d'évacuation des eaux d'exhaure vers les égouts fonctionnent globalement selon le même principe (*cf*. Figure 40) : des pompes aspirent les eaux dans une bâche, et la refoulent vers les égouts *via* des conduites. En fonction du niveau de l'eau détecté par les poires, un automate commande l'arrêt ou le démarrage des pompes. Lorsque le niveau de l'eau est entre les niveaux N2 et N0, l'automate fait fonctionner l'une des deux pompes, généralement en alternance. Entre le niveau N2 et N3, les deux pompes fonctionnent en même temps. Au-dessus de N3, l'alarme se déclenche avec une prise de contact avec les secours. En sortie de bâche, un débitmètre ou un compteur mesure les volumes rejetés en égouts. Selon les sites visités, le nombre de bâches peut varier entre 1 et 3.

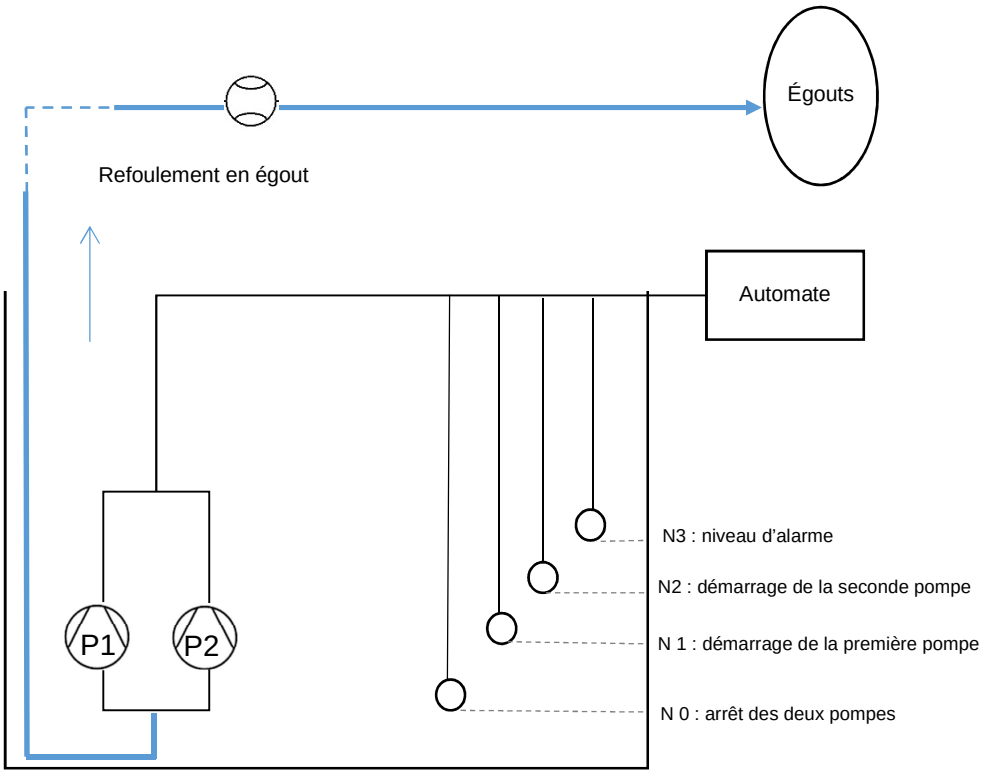


Figure 40 : Schéma type des infrastructures de pompage des eaux d'exhaure vers les égouts.

Les volumes des eaux d'exhaure disponibles sur Paris sont estimés à l'aide des données de rejets annuels des eaux d'exhaure dans les égouts parisiens déclarés aux services techniques de la VDP en 2012, 2013 et 2014. A partir des 246 données de rejets déclarés à la VDP, 176 points de rejets sont positionnés sur le SIG grâce à l'adresse du branchement. Les positions des rejets de la RATP sont précisées grâce

aux données SIG fournis par la RATP. Seuls les rejets des eaux de la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU) déclarés à la VDP sont exclus de notre étude. En effet, les rejets de CPCU sont certes déclarés comme eaux d'exhaure à la VDP, mais sont en fait des condensats après utilisation pour le chauffage, et présentent une température trop élevée (70°C) pour l'injection dans le RENP.

La Figure 41 présente l'ensemble des rejets d'eaux d'exhaure cartographiés sur Paris.

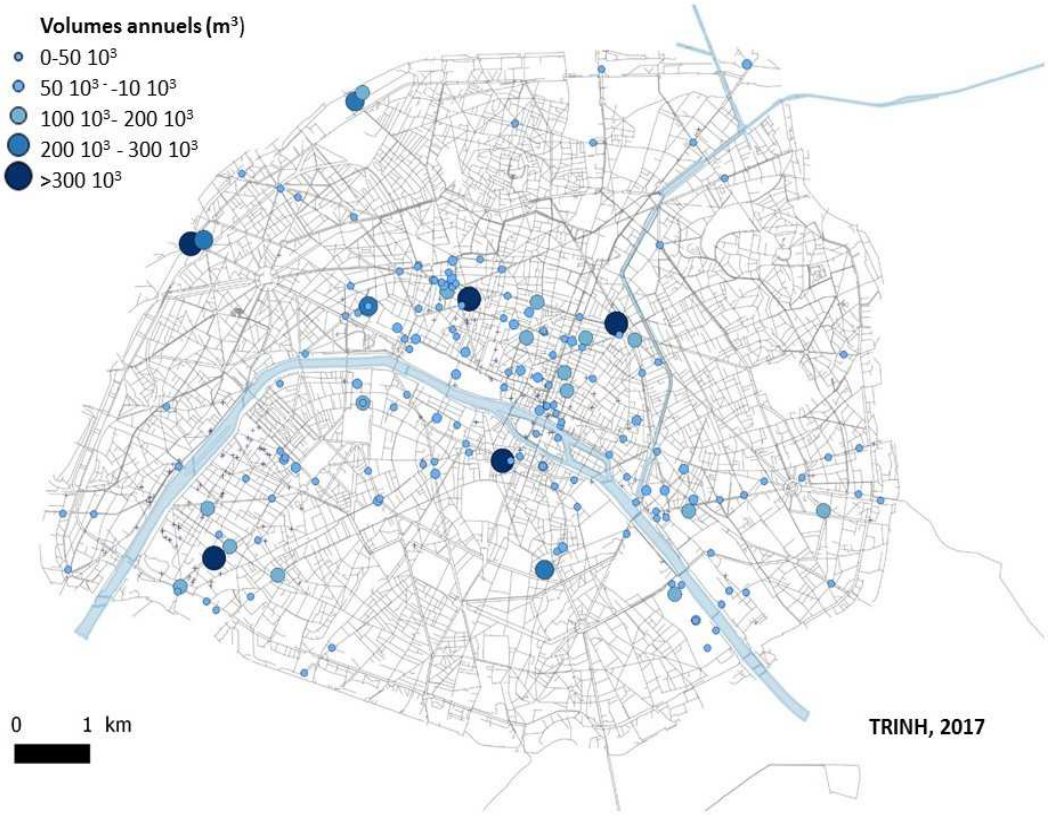


Figure 41 : Distribution spatiale des eaux d'exhaure de Paris

Sans tenir compte de CPCU, le volume total des rejets d'eaux d'exhaure (sur les 245 sites) dans les égouts est estimé à 9,64 10^6 m^3/an, soit près de 26,4 10^6 m^3/j. Ils représentent 12% des volumes d'ENP mis en distribution. Cinq sites sur Paris comportent un volume annuel supérieur à 300 10^3 m^3/an.
Plusieurs types de rejets sont distingués : les parkings, les postes d'épuisements de la RATP, et enfin les sites dits « autres ». Cette dernière catégorie regroupe les sites où l'eau d'exhaure est utilisée pour d'autres usages (par exemple, la climatisation), ou dont le type de rejet n'est pas connu.
La RATP et les parkings représentent 84% des rejets des eaux d'exhaure dans les égouts. Près de la moitié (47%) des rejets comptabilisés en égouts sont issus des infrastructures de la RATP.
Les rejets d'eaux d'exhaure supérieurs à 150 10^3 m^3/an (soit les 14 plus grands sites) représentent quasiment la moitié des volumes d'eaux d'exhaure dans le RENP. La

Figure 42 présente les volumes annuels cumulés en fonction du nombre de sites classés par ordre de volumes rejetés annuels décroissant.

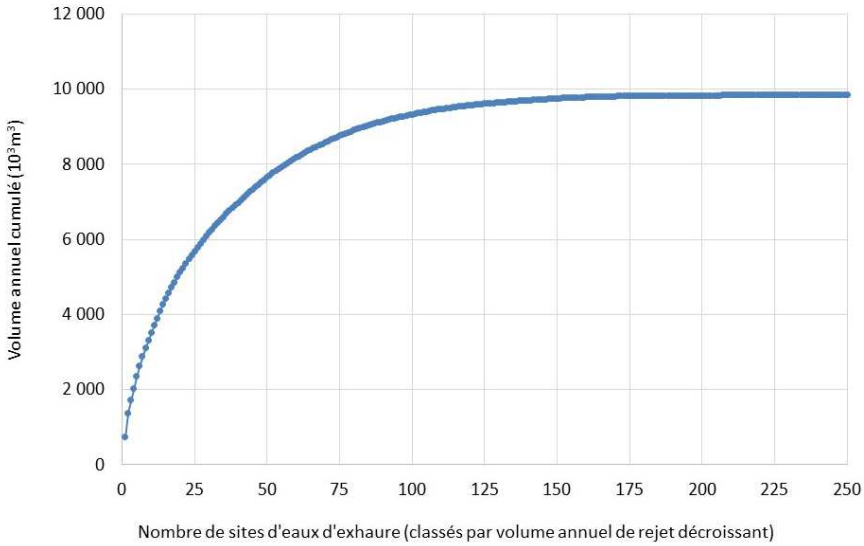


Figure 42 : Volumes annuels des rejets d'eaux d'exhaure à Paris, moyenne sur les années 2013, 2014 et 2015. Sites classés par ordre de volume annuel décroissant

L'APUR a réalisé une analyse semblable, en analysant les volumes d'eau d'exhaure à Paris à partir des données des services techniques de la Ville de Paris et de la RATP (APUR 2013b). Le volume annuel moyen des 213 postes d'épuisements parisiens de la RATP rejeté en égouts, était de 5,01 10^6 m^3/an sur les années 2010 et 2011. Le rejet moyen en égouts des autres producteurs d'exhaure, majoritairement les parkings, est de 4,99 10^6 m^3/an entre 2006 et 2010. Le volume total d'exhaure disponible est ainsi estimé par l'APUR à 9,75 10^6 m^3/an. Ces chiffres corroborent avec nos résultats et montrent la faible variabilité interannuelle de cette ressource, concernant les volumes.

3.3.3.3 Qualité

La qualité des eaux souterraines est fortement influencée par la composition du sous-sol, et à Paris notamment par la présence du gypse, provoquant des teneurs élevés en sulfates, dureté et salinité (Beauchamps 2006). La Figure 43 présente la composition du sous-sol sur Paris.

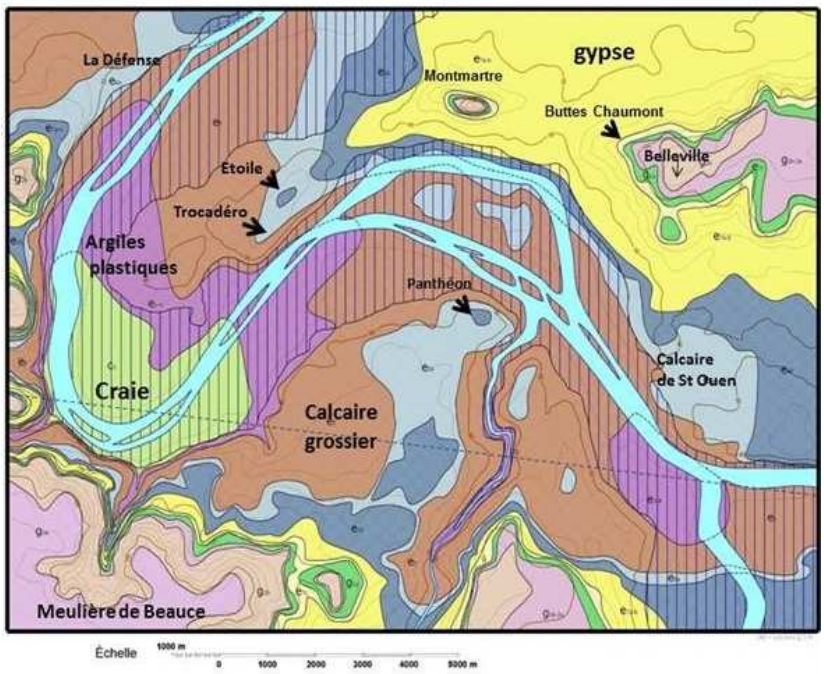


Figure 43 : Carte géologique simplifiée de Paris (G. Mesnier, B. Cabanis) d'après carte géologique de Paris au 1/50000° (BRGM)[31]

La qualité des eaux d'exhaure peut présenter des inconvénients pour l'arrosage, si elle présente une conductivité et une teneur en sels très élevées (*cf*. paragraphe 3.1.2.8). Sa forte minéralisation peut également poser deux types de problèmes pour les conduites : l'entartrage et la corrosion.

[31] Carte disponible sur le lien : http://idgt.over-blog.com/2015/12/conference-sur-la-geologie-de-paris-par-b-cabanis-le-samedi-30-janvier-2016.html. Consulté le 9/5/2017

Les enjeux liés à l'entartrage et à la corrosion sont présentés dans l'Encadré 6.

Encadré 6 : Risque d'entartrage et de corrosion dans les réseaux.

Entartrage

L'entartrage résulte de la précipitation sur les parfois de sels peu solubles de calcium, éventuellement de silice (Degrémont 2005). La production de tartre a pour inconvénient de réduire la section de passage de l'ENP, et donc une diminution des débits véhiculés dans les réseaux.

L'entartrage est le plus souvent le résultat de la précipitation de carbonate de calcium (ou calcaire, de formule $CaCO_3$). Les conditions d'équilibre et de solubilité de $CaCO_3$ sont appelées plus largement l'équilibre calco-carbonique (Rodier et al. 2009, 128). Cet équilibre est régi par plusieurs équilibres, qui concernent des composés dissous dans l'eau (CO_2 libre, HCO_3^-, CO_3^{2-} et Ca^{2+}), mais aussi des molécules présentes dans la phase solide ($CaCO_3$) et dans la phase gazeuse (CO_2).

Quelques paramètres directement obtenus par l'analyse de l'eau permettent d'évaluer la probabilité d'entartrage d'une eau (Rodier et al. 2009, 127) :

- la concentration en calcium et/ou la dureté ou TH (titre hydrotimétrique)
- le Titre Alcalimétrique Complet (TAC) qui donne une indication des concentrations en HCO_3^- et CO_3^{2-}
- le pH qui permet d'évaluer facilement la concentration en ions H_3O^+.

Un indicateur du potentiel d'entartage d'une eau est l'indice de saturation de Langelier. Cet indice fait appel à la notion de pH « d'équilibre » ou de saturation, noté pHs. Le pHs désigne le pH auquel l'eau est en équilibre avec le $CaCO_3$ solide. L'indice de Langelier compare le pH au pHs (Rodier et al. 2009, 132):

$$I_s = pH - pH_s.$$

- Si $I_s > 0$, l'eau est calcifiante. Les eaux auront tendance à déposer du $CaCO_3$, elles sont dites entartrantes ou calcifiantes.
- $I_s = 0$ l'eau est à l'équilibre. Elles auront tendance à dissoudre du $CaCO_3$, elles sont dites agressives.
- $I_s < 0$ l'eau est agressive. Les eaux sont à l'équilibre.

Corrosion

L'eau véhiculée peut altérer le matériel des tuyaux des conduites, ce phénomène étant communément appelé le phénomène de corrosion.

Le RENP est constitué en grande partie d'anciennes canalisations en fonte «grise » non revêtue, et les installations raccordées peuvent être en acier nu ou en acier galvanisé (EDP 2016c). La corrosion peut entraîner la formation et l'accumulation de produits de corrosion (« rouille ») dans ces réseaux, avec le risque d'obstruction des tuyaux et de dysfonctionnement des équipements. Elle peut fragiliser les tuyaux, jusqu'à les percer.

La composition de l'eau est un élément important à considérer pour évaluer le risque de corrosion des métaux. Pour les métaux ferreux, les ions chlorure et sulfate sont des éléments « corrosifs ». L'indice utilisé pour évaluer la corrosivité induite par ces ions est l'indice de Larson (Roberge 2007):

$$I_{Larson} = \frac{[Cl]^- + 2.[SO_4^{2-}]}{[HCO_3^-]}$$ (Concentrations exprimées en mmol/L)

La probabilité de corrosion des métaux ferreux est d'autant plus importante que la valeur de cet indice est élevée. Les seuils généralement considérés sont 0,5 et 1 :

- $I_{Larson} \leq 0,5$: faible risque de corrosion
- $0.5 < I_{Larson} \leq 1$: risque de corrosion modéré
- $I_{Larson} > 1$: risque élevé.

Toutefois, lorsque l'eau présente un caractère entartrant, des dépôts de carbonate de calcium peuvent contribuer à protéger le métal, réduisant ainsi la vitesse de corrosion (Degrémont 2005, 606).

Lorsque l'eau est dépourvue d'oxygène (sous des dépôts ou sédiments ou lors de stagnation longues), des concentrations élevées en sulfate peuvent également favoriser des corrosions biologiques (par des bactéries anaérobies sulfato-réductrices) et générer des odeurs de sulfure (Degrémont 2005, 613).

Dans le cadre d'une étude menée conjointement par les laboratoires du LEESU et d'EDP, une campagne de prélèvements et d'analyse de qualité a été réalisée sur 19 parking souterrains sur Paris rejetant les eaux d'exhaure (Van Der Steen 2016). Les prélèvements ont été réalisés « au rejet », c'est-à-dire en entrée de la fosse de récupération des eaux d'exhaure avant que les eaux n'y stagnent. Les analyses ont été réalisées au LEESU et à EDP. La Figure 44 présente la répartition de la conductivité des eaux d'exhaure prélevées et analysés sur Paris en 2016.

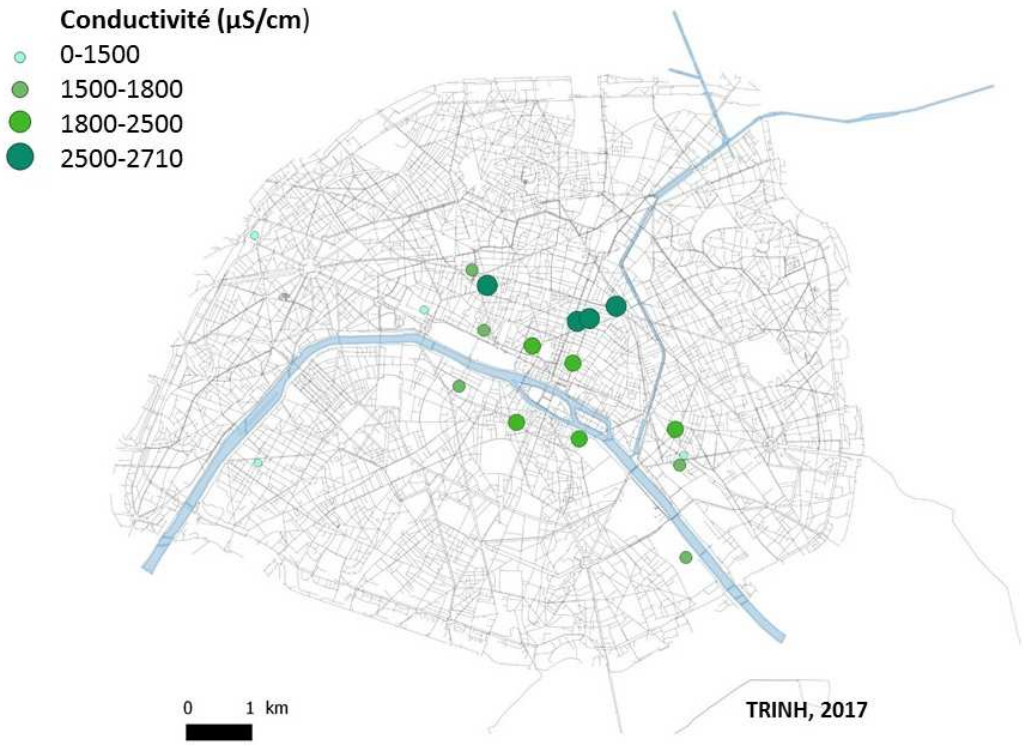
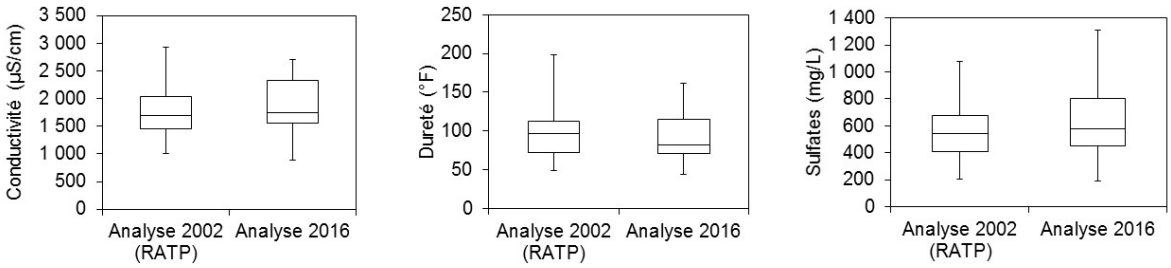


Figure 44 : Distribution spatiale de la conductivité des eaux d'exhaure sur Paris. Prélèvements et analyses réalisés en 2016 par le LEESU et EDP

Cette Figure montre que les sites proches de la Seine comportent une conductivité généralement entre 1500 et 2500 µS/cm. Les sites présentant une conductivité supérieure à 2500 µS/cm sont situés en direction de la carrière de Gypse au Nord-Est de Paris.

L'ensemble de ces analyses sont comparées avec des données de qualité des eaux d'exhaure réalisées pour le compte de l'ancienne filière de Véolia (Compagnie générale des eaux 2002). Les analyses avaient porté sur 27 postes d'épuisements des eaux d'exhaure de la RATP.

La Figure 45 compare les données de 2002 et les analyses de qualité de Van Der Steen (2016) pour la conductivité, la dureté et les sulfates.



Les données utilisées pour ces graphiques sont le minimum, le 25e centile, la médiane, le 75e centile et le maximum.

Figure 45 : Variations interannuelles de la qualité des eaux d'exhaure à Paris. Comparaison entre les analyses de 2002 (sur 29 sites RATP) et de 2016 (sur 19 sites)

On constate peu de différences entre les analyses de 2002 et 2016 pour ces trois paramètres. Ces chiffres semblent montrer une faible variabilité interannuelle de la qualité de cette ressource.
Afin de caractériser la qualité des eaux d'exhaure à Paris, et faute d'informations sur les méthodes de prélèvement et d'analyses en 2002, on s'appuiera sur les analyses de 2016. Pour chaque paramètre, on considère la concentration moyenne sur les 19 sites, avec un intervalle estimé à un niveau de confiance de 95%, selon la méthode présentée dans la partie 3.1.2. Sur la base de ses calculs, la conductivité, la dureté et les concentrations en sulfates des eaux d'exhaure s'élèvent respectivement à 1 881 ∓ 30 µS/cm, à 95 ∓ 17 °F, et à 686 ∓ 152 mg/L.

Afin d'évaluer l'aptitude des eaux d'exhaures prélevées en 2016 pour l'arrosage, nous plaçons les points analysés dans le diagramme de Wilcox présentés dans la partie 3.1.2.8 (*cf*. Figure 46). On constate que la majorité des points (13 sur 19) peuvent être estimés entre « excellentes « et acceptables » pour l'arrosage. Seuls 5 sont considérés comme « acceptables à mauvais ». Lorsqu'on considère uniquement la conductivité, l'ensemble de ces eaux sont considérées comme aptes à l'arrosage, si l'on reprend les limites de l'OMS (2006) et de la règlementation espagnole RD 1620/200.

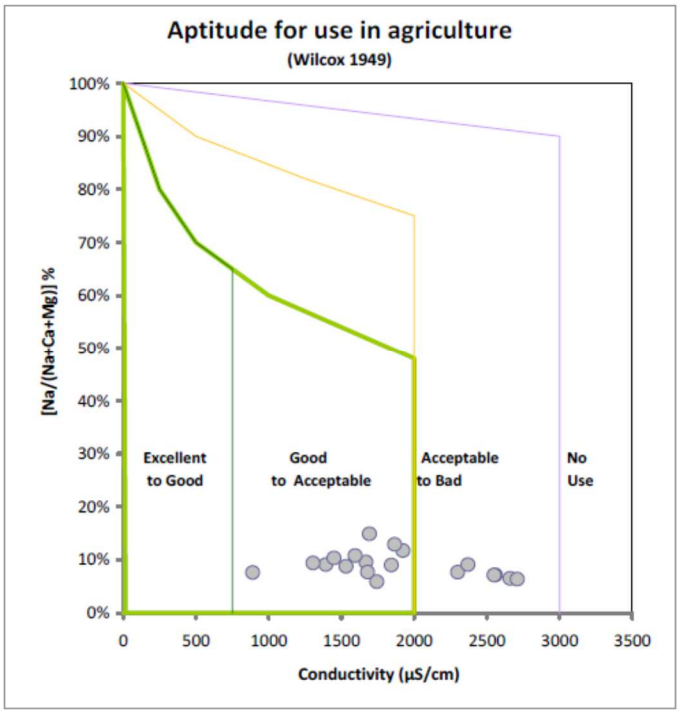


Figure 46 : Aptitude des eaux d'exhaure à l'arrosage. Position des analyses de 2016 (19) dans le diagramme de Wilcox (Seidl et al. 2016)

Un site qui mérite particulièrement d'être noté est celui de Meyerbeer. Ce parking représente le deuxième site avec le volume le plus important annuel. L'injection de ses eaux dans le RENP a fait l'objet d'études en 2013 et 2014 entre EDP et la VDP. La qualité de ces eaux d'exhaure est comparée à celle du RENP alimenté par la Villette en 2013 dans le Tableau 42.

Tableau 42 : La qualité de Meyerbeer et celle du RENP alimenté par la Villette

Paramètres	Parking Meyerbeer CERECO (2015); EDP (2014) ; LEESU (2014)	RENP alimenté par La Villette en 2013 Eau de Paris (2014c)
Titre alcalimétrique	23	27.1
Ammonium (NH4) (mg/L)	0.053	<0.1
Azote total Kjeldahl (N)	<1	<1
Nitrites (NO2) (mg/L)	<0.03	0.27
Nitrates (NO3) (mg/L)	32	19.0
COT (mg/l)	2.2	2.36
Conductivité à 25°C µS/ cm	2 550	715
Température (°C)	25	16.1
DCO (mg/O2/L)	<30	<30
DBO5 (mg/O2/L)	<0.5	0.87
Dureté totale (°F)	157.2	35.4
MES (mg/L)	<2	8.87
Turbidité (FNU)	<0.1	5.44
Chlorures (Cl)	82	27.3
Sulfates (SO4) (mg/L)	1301	62.2
Orthophosphates (mg/L)		0.28
Bore (B) (mg/L)	142	20.1
Calcium (Ca) (mg/L)	514	113
Sodium (Na) (mg/L)	56	11.6
Strontium (mg/L)	13.1	1271
Entérocoque (UFC / 100mL)	< ?	29.3
Escherichia coli (UFC/100mL)	18.33	91.2

Ce Tableau montre que pour certains paramètres de qualité, les valeurs des eaux du parking Meyerbeer dépassent significativement les valeurs moyennes du RENP alimenté par La Villette. Les plus forts dépassements sont observés pour la conductivité (2 500 contre 715 µS/ cm), la dureté (157 contre 35 °F) et la concentration en sulfates (1301 mg/L contre 62,2 mg/L). L'impact des eaux d'exhaure sur la qualité de l'eau du sous- réseau Bas Ourcq sera étudié dans la partie 5.1.2.

3.3.3.4 Cas de réutilisation

A Paris, nous avons recensé trois cas de réutilisation d'eaux d'exhaure existants: le Quai Branly, la Bibliothèque François Mitterrand et le quai du tram T3 à pont de Flandres. La visite de ces trois sites nous ont permis de connaitre leurs retours d'expérience que nous restituons à présent.

La Bibliothèque Nationale de France

Le site Bibliothèque François Mitterrand de la Bibliothèque Nationale de France se situe à 8 m en dessous de la Seine et du niveau moyen de la nappe. Il extrait annuellement de son sol près de 110 000 m^3 d'eaux d'exhaure envoyées en égouts. La mise en place de l'utilisation des eaux d'exhaure sur le site a été décidée en 2008 pour des raisons économiques et environnementales. L'idée était d'utiliser de l'eau gratuite dans les fosses de retenue, au prix d'une petite installation. Le projet a été

fortement appuyé par le gestionnaire « énergie et fluides » en maintenance et la responsable des jardins, tous deux motivés par les enjeux environnementaux de la réutilisation[32]. Les eaux d'exhaure sont utilisées pour l'arrosage du jardin d'une surface de 11 400 m^2. La végétation est composée principalement d'arbres, de sous-bois (fougères par exemple), et également d'autres espèces apportées par les oiseaux.
L'arrosage est automatique et se fait d'une manière uniforme. Il fonctionne avec des asperseurs la nuit et en fonction des données météorologique. L'arrosage est utilisé pendant l'été, généralement entre trois et quatre mois par an.
Sur l'année 2014, le volume utilisé est peu important et ne dépasse pas les 60 m^3 en raison des précipitations importantes cette année. A ce jour, les gestionnaires ne font pas part de retour négatif particulier sur la croissance de la végétation avec l'utilisation d'eau d'exhaure.

Le musée du quai Branly

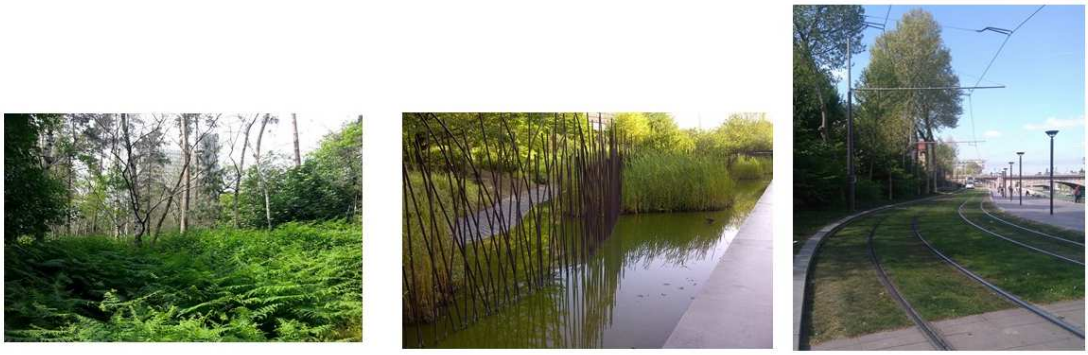
Le musée du quai Branly extrait annuellement de son sol près de 5 000 m^3 d'eaux d'exhaure. Il possède une installation complète d'utilisation des eaux d'exhaure, mise en place il y a cinq ans. Cette installation a été mise en service en 2014. Elle est actuellement arrêtée en raison d'un problème d'étanchéité de la bâche de réutilisation des eaux d'exhaure. Les zones végétalisées et les bassins représentent une surface totale de 16 000 m^2. En 2015, une consommation d'une semaine en période d'arrosage représente 200 m^3, soit près de 30 m^3/j. L'eau d'exhaure est utilisée pour l'alimentation des bassins à l'extérieur et l'arrosage des espaces verts. La période d'utilisation a été trop courte pour avoir des retours d'expériences.

La RATP à Pont de Flandres

La RATP utilise les eaux d'exhaure de la station Pont de Flandres pour l'arrosage d'un gazon du tram T3. Cette réutilisation reste une expérimentation démarrée en 2014. L'arrosage fonctionne la nuit et peut être déclenché en fonction des conditions météorologiques. En termes de qualité et de maintien des espaces verts arrosés, aucune dégradation de la végétation n'a été particulièrement observée. Il n'y a pas adjonction de produit de traitement mais une étape de filtration. Les consommations ne nous sont pas connues.

[32] Compte-rendu de la réunion du 28 mai 2015 au Site de Bibliothèque François Mitterrand à la Bibliothèque Nationale de France.

La Figure 47 illustre ces trois sites qui réutilisent localement les eaux d'exhaure à Paris.



(a) (b) (c)

Photos (a) et (c) prises par TRINH (2017). Photo (b) prise par Harrison (2014).

Figure 47 : Trois sites qui réutilisent les eaux d'exhaure à Paris : (a) Bibliothèque Nationale de France, (b) Quai Branly, et (c) Pont de Flandres

L'APUR a recensé en France d'autres cas de réutilisation des eaux d'exhaure (APUR 2013b).
A Dijon, l'eau d'exhaure est stockée dans un ancien réservoir d'alimentation en EP, entre temps réhabilité. Elle est utilisée pour l'arrosage des plateformes du tramway (190 m^3/j), l'arrosage des espaces verts à proximité du tramway (60 m^3/j) et pour le lavage des quais, voiries, bus et rames (27 m^3/j) *via* un réseau spécifique réalisé en 2012.
A Lyon, 80 m^3 d'eau d'exhaure du parking de l'Hôtel de Ville sont pompés chaque jour par Lyon Parc Auto. L'eau est ensuite orientée vers un local du Théâtre National Populaire équipé de deux groupes froids qui permettent le rafraîchissement d'une grande partie du Théâtre.

Les eaux d'exhaure représentent une ressource continue avec un potentiel intéressant en termes de volumes (13% des volumes d'ENP mis en distribution). Des interrogations subsistent toutefois sur leur forte minéralisation, et donc sur leur impact sur les plantes et sur les conduites. Les analyses réalisées en 2016 montrent qu'une grande majorité est considérée comme apte à l'arrosage. Les cas de réutilisation des eaux d'exhaure prélevées à Paris sont plutôt positifs, toutefois ils doivent être remis en perspective avec les données de qualité associées.

3.3.4 Eaux usées traitées

Enfin, nous considérerons une dernière ressource, les eaux usées traitées. Cette ressource n'est pas indiquée dans le schéma directeur de l'ENP mais a été évoquée par l'APUR dans ses études sur l'évolution du RENP (APUR 2013b).
Les eaux usées traitées sont des effluents domestiques et industriels respectant les normes des rejets sur l'égout, en sortie des stations d'épuration après leur traitement. Ces eaux peuvent être utilisées pour l'irrigation ou pour des usages urbains sous certaines conditions de qualité. Leur réutilisation est de plus en plus liée à une stratégie d'économie des ressources en eau dans un contexte de pénurie et de demande croissante. A titre d'exemple, la ville de Madrid en Espagne a mis en place un réseau spécifique en 2005 pour diminuer l'impact du stress hydrique en réutilisant les effluents domestiques après traitement (*cf*. partie 2.4.).
L'utilisation des eaux usées traitées s'est développée principalement au Japon et aux Etats-Unis (Okun 1996), et plus récemment en Australie (WSAA 2002), à Singapour (Lafforgue et al. 2015) ou en Arabie Saoudite (Abdel-Dayem et al. 2011).

La réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation fait l'objet d'une bibliographie riche. En effet, l'utilisation des eaux usées traitées est susceptible d'avoir des effets sur le sol (Becerra-Castro et al. 2015), et les cultures céréalières (Cirelli et al. 2012; Gatta et al. 2015). Elle pourrait avoir impacter la nappe phréatique en dessous des cultures céréalières, avec une contamination potentielle de l'eau en coliforme totaux et parasites (Abd El Lateef et al. 2006).
Les questions de l'acceptation sociale et de la prise de décision concernant la réutilisation des eaux usées traitées (appelée également la *reuse*) deviennent également un sujet de recherche émergent. En Europe, les travaux menés dans le cadre du projet AQUAREC ont porté sur les stratégies de *reuse* en Europe. Ce projet a abouti la construction d'un outil d'aide à la décision qui permet d'optimiser le traitement et de la distribution de l'eau usée traitée en fonction des usages identifiés (Joksimovic et al. 2008).
Par ailleurs, les travaux de Bixio identifient les conditions à la mise en place de la *reuse* en Europe (Bixio et al. 2006, 2008). Deux conditions essentielles évoquées dans ces travaux méritent d'être mentionnées : une meilleure coordination entre les acteurs institutionnels de l'eau, et l'acceptation sociale des usagers.

3.3.4.1 Cadre règlementaire

La réutilisation des eaux usées traitées fait l'objet d'une règlementation spécifique en France mise en place en 2010, avec l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (Legifrance 2010a). Cet arrêté autorise les irrigations gravitaires et localisées (goutte à goutte).

L'arrêté du 25 juin 2014 (Legifrance 2014a) modifie l'arrêté du 2 août 2010 et fixe des *« prescriptions techniques particulières »* pour les systèmes d'irrigation et d'arrosage par aspersion et *« complète les informations à renseigner dans le programme d'irrigation»*. Des prescriptions sont mentionnées sur l'arrosage :

- L'irrigation par aspersion est autorisée uniquement durant les périodes où la vitesse moyenne du vent est inférieure à 15 km/h (ou 20 km/h en cas d'utilisation d'une aspersion basse pression).
- Cette vitesse moyenne doit être mesurée par un anémomètre situé à 2 mètres au-dessus du sol, au sein d'une zone dégagée, à l'intérieur ou en proche périphérie de la parcelle.
- Une vitesse de vent, dont la moyenne mesurée pendant une durée de 10 minutes est supérieure à cette valeur, déclenchera de façon automatique l'arrêt de l'irrigation.

Les autres utilisations possibles (lavage des voiries) ne disposent pas de réglementations spécifiques.

3.3.4.2 Volumes

En Île-de-France, le SIAAP collecte et traite chaque jour près de 2,5 millions de m^3 d'eaux, issues des usages domestiques et industriels. Pour cela, il gère plus de 440 km de canalisations et 6 usines de dépollution des eaux usées réparties sur le territoire (SIAAP 2014b).

Ce volume peut augmenter brutalement en cas de fortes pluies, qui viennent se déverser dans le réseau d'assainissement, avec pour conséquences des risques de saturation. Pour gérer ces eaux excédentaires, le SIAAP a construit 8 bassins de stockage et 4 tunnels réservoirs qui recueillent les eaux avant de les acheminer jusqu'aux usines d'épuration, après un retour météo à la normale. Les ouvrages du SIAAP sont présentés dans la Figure 48.

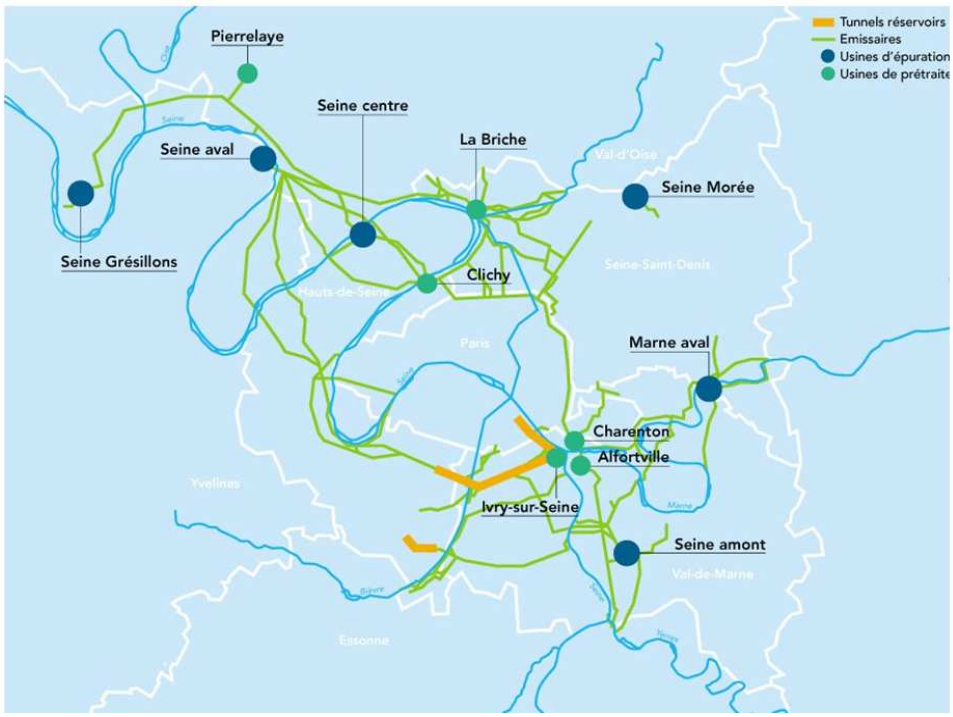


Figure 48 : Réseau de collecte et ouvrages du SIAAP (SIAAP 2014b, 8)

L'étude de l'injection des eaux usées traitées dans le RENP consiste à acheminer les effluents vers le RENP *via* une conduite de pompage. Afin de limiter les consommations énergétiques de pompage, on considère seulement les STEP situées à moins de 10 km du RENP. Le Tableau 43 indique les STEP choisies, leur localisation, et leur capacité de production en temps sec. Les rejets des STEP étant continus, on estime que les volumes rejetés en temps correspondent *a minima* aux volumes d'eau recyclée à produire et à injecter dans le RENP.

Tableau 43 : Stations d'épurations considérées pour l'injection des eaux usées traitées dans le RENP

Nom de la STEP	Emplacement de l'usine (Ville, département)	Capacité de production en temps sec (10^3 m^3/j)	Distance à « vol d'oiseau » des boulevards périphériques de Paris
Marne aval	Noisy-le Grand, Seine Saint-Denis	75	8 km
Seine Centre	Colombes, Hauts-de-Seine	240	6 km
Seine amont	Valenton, Val de Marne	600	9 km
Seine Morée	Blanc-Mesnil, Seine-Saint Denis	50	8 km

Le volume disponible journalier des eaux usées traitées de l'ensemble de ces STEP s'élève à 965 10^3 m^3/j. Il représente près de quatre fois les volumes journaliers d'ENP mis en distribution. Il est néanmoins nécessaire de se pencher sur la qualité des effluents afin de discuter de leur réutilisation pour le RENP.

3.3.4.3 Qualité

En France, l'arrêté du 25 juin 2014 (Legifrance 2014a) fixe des seuils de qualité pour la réutilisation des eaux usées traitées pour l'irrigation. Cet arrêté fixe des seuils de qualité pour l'irrigation des espaces verts ouverts au public correspondant à un niveau A. Le Tableau 44 présente ces seuils et les compare aux données de qualité collectées auprès du SIAAP pour les années 2014 et 2015, A titre informatif, il comporte également les concentrations en *Escherichia coli*, des Phages Arn F-spécifiques et les Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices de l'eau de rejet.
Certains paramètres ne sont pas disponibles pour toutes les STEP, notamment les abattements en logs pour les Phages Arn F-spécifiques et les Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices.
Pour toutes les STEP, excepté Seine Morée, les valeurs d'*Escherichia coli* sont supérieures à la valeur seuil de l'arrêté de 2014. Seule Seine Morée respecte les seuils de l'arrêté sur les données disponibles.

Tableau 44 : La qualité des effluents de STEP du SIAAP par rapport à l'arrêté du 2014 du 25 juin 2014 règlementant l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts (seuil A)

Paramètre de qualité	Valeurs seuils de l'arrêté 2014	Seine Amont	Seine Centre	Seine Morée	Marne Aval
Demande chimique en oxygène (mg/L)	60	27	25	16	42
Matière en suspension (mg/L)	15	10	4	2	11
Escherichia coli (NPP/100 m)	250	22 215	16 579	20	97 648
Entérocoques fécaux (NPP)	-	12 014	668	15	32 592
Entérocoques fécaux (abattement en log)	4	3	4	-	-
Phages Arn F-spécifiques	-	-	5 353	0	0
Phages Arn F-spécifiques (abattement en log)	4	-	1	-	-
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices	0	0	1 520	0	0
Spores de bactéries anaérobies sulfito-réductrices (abattement en log)	4	-	2	-	-

3.3.4.4 Cas de réutilisation

En France, les eaux usées traitées sont surtout utilisées pour les usages agricoles, notamment sur des îles souffrant d'épisode de sècheresse estivale : Oléron, Ré, Noirmoutier et Porquerolles (Luneau 2014).
A Pornic, dans la Loire Atlantique, la STEP est équipée d'un bioréacteur à membrane de traitement qui permet de réutiliser 70 000 m^3/an d'eaux usées traitées pour l'arrosage du golf de la ville, soit près de 10 % du volume total annuel traité par la STEP (Besrest 2011).

Quelques sites utilisent leurs eaux usées traitées pour des usages autres que l'irrigation. A Chessy, l'opérateur de parc à thèmes Disneyland Paris s'est équipé d'une station de recyclage pour réduire sa consommation d'EP (Disneyland Paris et Veolia Eau 2010). La station traite les eaux usées de son parc à thème et de l'Hôtel Disneyland, soient 740 103 m^3/an. La quasi-totalité de ce volume est recyclée pour alimenter des attractions comme « Pirates des Caraïbes » ou « Catastrophe Canyon », nettoyer les voiries, arroser les espaces verts, et contribuer au refroidissement de la centrale énergétique de Disneyland. Le surplus est reversé dans l'un des bassins de rétention d'eaux pluviales de Val d'Europe.

Nous pouvons également mentionner les réutilisations des eaux usées traitées du SIAAP pour ses usages industriels. En effet, le SIAAP réutilise en interne entre 1 à 2% des volumes des eaux usées traitées pour la préparation des réactifs et le lavage des filtres (APUR 2013b, 39). Les eaux usées traitées sont soumises avant leur utilisation à une désinfection, une filtration sur sable, et au traitement UV pour la production d'eaux industrielles[33]. Les retours d'expériences ne nous sont pas connus.

En somme, les eaux usées traitées constituent une ressource abondante, représentant quatre fois les volumes journaliers mis en distribution d'ENP. Néanmoins des considérations doivent être portées sur la qualité microbiologique, en particulier pour les usages par aspersion (arrosage et nettoyage des voiries). Par ailleurs, la distance des STEP par rapport au RENP nécessitent des travaux lourds et coûteux[34], rendant l'injection de cette ressource dans le RENP très prospective.

[33] Compte-rendu d'entretien avec le SIAAP le 15 juin 2016
[34] Le dimensionnement des conduites de pompage et l'estimation des coûts énergétiques seront étudiées dans la partie **4.7**.

3.3.5 Des eaux de piscine aux eaux usées traitées : synthèse

Le Tableau 45 récapitule les enjeux qui caractérisent l'injection de ces quatre ressources dans le RENP.

Tableau 45 : Enjeux liés à l'injection des eaux de piscine, des eaux de pluie, des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées dans le RENP

RAP : Règlement d'assainissement de Paris. CSP : Code de la santé publique.

Ressource :	Piscine	Pluie	Exhaure	Eaux usées traitées
Volume annuel moyen (m3/an)	698 10^3	2,94 10^6	9,83 10^6	352 10^6
Pourcentage par rapport au volume d'ENP mis en distribution	<1%	4% (discontinu)	12%	448%
Mode d'injection dans le RENP	Déjà existant : raccordement aux égouts A prévoir (en fonction des sites) : existence d'une bâche de pompage	A prévoir (en fonction des sites) : -bâche -raccordement au RENP	Déjà existant : -raccordement aux égouts -bâche et conduite de pompage A prévoir : renouvellement des pompes	A prévoir : pompes, bâche et conduites de pompage
Proximité au RENP	+++	++	+++	+
Facteur limitant de qualité	Chlore (?)	Bactéries (?)	Conductivité, Sulfates	Bactéries
Réglementation	R, CSP	RAP, Plan Pluie	RAP	Arrêté de réutilisation
Acteurs	VDP + EDP	VDP + «n » " acteurs	EDP+ parking + RATP	EDP + SIAAP

Les eaux de piscine représentent le gisement le plus faible (1% des volumes d'ENP mis en distribution). Elle constitue cependant une ressource locale de bonne qualité et pérenne, lorsqu'on considère uniquement les eaux de surverse.
Les volumes disponibles estimés pour les eaux de pluie sont intermittents et modestes par rapport aux besoins du RENP (4% des volumes d'ENP mis en distribution). Elle présente une qualité plutôt bonne pour l'injection dans le RENP.
L'ensemble des eaux d'exhaure à Paris représentent 12% de volumes mis en distribution dans le RENP. Tous les sites d'eaux d'exhaure comportent déjà une bâche de stockage et des conduites de refoulement pour leur évacuation en égout. Bien que le renouvellement des pompes soit à prévoir pour une injection dans un réseau sous pression, la présence d'infrastructures de pompage déjà à disposition fait des eaux d'exhaure une ressource intéressante par rapport aux autres ressources. En revanche, elles se caractérisent par une concentration en sulfates au-delà de 500 mg/L et une conductivité deux à trois fois plus élevée que les ressources actuelles, nécessitant alors des précautions d'usage sur l'arrosage et les équipements raccordés au réseau.

Enfin, les eaux usées traitées représentent de loin la ressource la plus abondante pour le RENP. Toutefois, les coûts d'acheminement et la qualité restent à préciser par rapport aux usages d'ENP à satisfaire.
Nous retiendrons dans la suite de la thèse les ressources potentielles avec les volumes les plus importants, soit les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées.

3.4 Conclusions

La compréhension du fonctionnement technique du RENP et de son alimentation nous a confrontés à la variabilité des connaissances disponibles. Alors que les données de production d'ENP sont connues très précisément, les données sur les consommations en ENP sont revanche moins bien connues. Les estimations de la thèse montrent que les principaux usages sont le nettoyage des voiries et le curage des égouts, représentant respectivement 37% et 42% des consommations d'ENP estimées. Des incertitudes fortes demeurent cependant sur les pertes associées au RENP. Par ailleurs, il n'existe pas de règlementation – et donc de seuils de qualité – pour l'utilisation de l'ENP pour les usages actuels. Notre discussion des seuils de qualité basée sur les textes règlementaires et les travaux de recherche existants montre que les usages les plus sensibles sont l'alimentation des lacs et l'arrosage.
En termes de prélèvement dans la ressource en eau, le RENP impacte principalement le Canal de l'Ourcq, et donc *in fine* la rivière Ourcq, les affluents du canal et la Marne. Le Canal de l'Ourcq représente à lui seul des enjeux règlementaires sur la restitution des débits réservés au niveau de ses affluents et de l'Ourcq. La dépendance du RENP au Canal de l'Ourcq peut être amenée à se renforcer à moyen terme, au vu de l'arrêt envisagé de l'usine Auteuil, ce qui nécessiterait une réallocation des ressources dans le RENP.

Lorsqu'on s'intéresse aux acteurs du service de l'ENP, on constate la multiplicité des liens d'interdépendance entretenus entre ces deux organisations sur les plans économiques, institutionnels et hydriques. Par ailleurs, les acteurs intervenant sur la ressource en eau en amont et en aval du RENP jouent un rôle essentiel dans l'alimentation du RENP. En nous basant sur les sciences de la décision, nous arrivons alors à circonscrire notre *système* d'acteurs, qui inclue également les experts, hommes d'études et associations engagées dans la protection de l'environnement. Au sein de ce système, chacun a la capacité d'influencer directement ou indirectement l'alimentation du RENP.

Nous avons ensuite considéré une évolution spécifique de l'alimentation du RENP, l'introduction de nouvelles ressources d'ENP. Notre recherche s'est alors axée sur quatre ressources potentielles du RENP : les eaux de piscine, les eaux de pluie, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Les gisements estimés des eaux de piscine et les eaux de pluie demeurent très modestes par rapport aux besoins du RENP. Ainsi, leur introduction n'a pas été étudiée dans la thèse.

Les eaux d'exhaure rejetées en égouts à Paris représentent 13% de volumes mis en distribution dans le RENP. De par son évacuation en continu dans les égouts, cette ressource dispose déjà d'une bâche de pompage pour une injection dans le RENP. En revanche, des interrogations subsistent encore sur la qualité de cette eau, notamment pour l'entartrage et la corrosion des tuyaux.
Les eaux usées traitées en sortie de STEP représentent la ressource la plus abondante pour le RENP (près de quatre fois les volumes d'ENP mis en distribution), toutefois les coûts d'acheminement et la qualité restent à préciser par rapport aux usages du réseau. D'après les données disponibles, seule la STEP Seine Morée respecte les seuils de la règlementation concernant l'irrigation.

Les dispositifs de pompage à mettre en œuvre pour l'introduction de nouvelles ressources, ainsi que les modifications du RENP pour compenser l'arrêt envisagé de l'usine d'Auteuil, nous ré-amène à nous interroger sur l'impact environnemental de tout changement d'alimentation du RENP. Pour cela, l'impact énergétique de la diversification des ressources du RENP est l'étude du chapitre suivant.

4 Impact énergétique de la diversification des ressources du RENP

Ce chapitre vise à étudier l'impact environnemental de la diversification des ressources du RENP sous l'angle de l'énergie. La diversification recouvre ici toute modification d'alimentation du RENP, que ce soit les prélèvements dans les ressources actuelles ou l'introduction de nouvelles ressources.
Pour rappel, nous avons émis au début de notre recherche l'hypothèse sur l'impact énergétique de la diversification des ressources, en considérant que celle-ci était susceptible d'engendrer des consommations énergétiques supplémentaires à l'échelle globale.
Avant de tester cette hypothèse, il nous paraît pertinent de replacer d'abord l'indicateur énergétique parmi les autres indicateurs à disposition pour évaluer l'impact environnemental de la diversification des ressources. Par la suite, nous présenterons les différents choix d'alimentation que nous considérerons (déclinés sous forme de *scenarii*) et notre méthode de calculs énergétique. Enfin, nous élaborerons un bilan sommaire du RENP en fonctionnement actuel avant de poursuivre avec les détails de la construction de chaque *scenario* et de leurs consommations énergétiques.

4.1 L'énergie parmi d'autres indicateurs environnementaux

Ce paragraphe vise à replacer l'indicateur énergétique parmi l'ensemble des outils à disposition pour évaluer l'impact environnemental de la diversification des ressources. Un état de l'art des outils d'évaluation environnementale à l'échelle d'un territoire a été dressé par Loiseau et al. (2012). Au regard de leurs travaux, il nous a paru pertinent d'évoquer plusieurs indicateurs – ou plus largement des méthodes – que nous présentons ci-après.

L'analyse Cycle de Vie (ou ACV) est une méthode qui évalue les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé, depuis l'extraction des matières premières jusqu'au recyclage ou à la mise en décharge. Les impacts environnementaux peuvent porter sur la consommation des ressources (combustibles fossiles, minéraux, eau, etc.), et peuvent être d'ordre plus global (eutrophisation des cours d'eau, toxicité humaine, etc.). Un cadre méthodologique de l'ACV a été établi par les normes ISO 14040 et 14044 depuis 2006. Dans le domaine de l'hydrologie urbaine, on recense plusieurs travaux basés sur la méthode d'ACV portent sur les stations et réseaux d'eau potable (Nogueira Vilanova et al. 2014; Racoviceanu et al. 2007), les réseaux assainissement (Lundin et al. 2000), ou sur l'ensemble du cycle urbain de l'eau (Lundie et al. 2004).
L'ACV a aussi été utilisée pour évaluer l'impact environnemental de la réutilisation de ressources alternatives à l'eau potable, telles que les eaux usées traitées (Tong et al. 2013). Ces auteurs se basent sur une méthode ACV préalablement développée aux

Pays-Bas, et établissent plusieurs scenarii avec différents volumes de traitement des eaux usées en sortie de STEP. Leurs travaux montrent que le gain marginal reste faible à partir d'un certain volume d'eaux usées traitées, mais la réutilisation des eaux usées traitées reste globalement intéressante sur le plan environnemental. Cette méthode permet d'avoir une vision exhaustive de l'impact environnemental, cependant elle nécessite une collecte de données exhaustives, à la fois sur les coûts environnementaux de fonctionnement des infrastructures, mais aussi sur la fabrication et le recyclage des matières premières mobilisées.

L'empreinte écologique, concept développé par Wackernagel et Rees dans les années 1990, est une autre méthode qui permet d'évaluer la consommation des ressources nécessaires à une population ou économie humaine en termes de superficie productive correspondante (Harding 2006). Elle peut se concentrer exclusivement sur les émissions de CO_2, ou intégrer tous les gaz à effet de serre, en les convertissant en équivalent CO_2. Cette méthode est alors appelée empreinte carbone. Une méthode d'évaluation de l'empreinte carbone, basée sur l'ACV, a été notamment développée dans certains travaux et appliquée sur un système d'alimentation en eau potable en Floride (Chang et al. 2013). Cette méthode nécessite une collecte de données précises au moins sur le fonctionnement des infrastructures (consommations en énergie, en produits chimiques, etc.), avant de pouvoir évaluer les émissions de CO_2 associées.

Lorsqu'on considère l'énergie, on constate que cet indicateur est fréquemment utilisé dans l'évaluation de l'impact environnemental, notamment dans le domaine de l'eau. A Paris, le pompage représente entre 80 et 90% des consommations d'électricité des infrastructures de production et d'approvisionnement en eau (Brandt et al. 2011; EDP 2016d). Elías-Maxil et al. (2014) ont établi un état de l'art des travaux portant sur les impacts énergétiques du cycle urbain de l'eau, de son extraction jusqu'à son assainissement. Leurs travaux montrent que le chauffage de l'eau (notamment pour les bâtiments, les besoins domestiques) représente la principale dépense d'énergie du cycle urbain de l'eau (80%).
L'impact énergétique du choix d'alimentation en eau est étudié par Stokes et al (2006). Ces derniers réalisent une analyse énergétique de deux établissements au Sud de la Californie, région aux Etats-Unis qui connaît une forte pression en eau. Trois types de ressources y sont étudiés : l'eau importée de la Caroline du Nord, l'eau usée traitée, et l'eau issue d'un dessalement de l'eau de mer. Leur analyse montre que le dessalement est deux à cinq fois plus énergivore que l'eau importée et l'eau recyclée, notamment en raison des importantes consommations énergétiques pour le traitement.
Comme évoqué dans le chapitre 2, l'analyse énergétique des doubles réseaux a fait l'objet de peu de travaux (Barker et al. 2016; Kang et al. 2012). Dans le cadre de Paris, des études consacrées plus spécifiquement à l'impact environnemental du RENP ont porté sur les consommations énergétiques (PwC 2009; Quantis 2009; SAFEGE 2008), lorsque l'abandon du RENP a été envisagé. Chaque étude évalue l'impact

environnemental de plusieurs évolutions du RENP, soit son maintien ou son abandon progressif (*cf*. paragraphe 2.4.2.2.). Pour rappel, l'ensemble de ces études présentent cependant la même limite, qui porte sur l'estimation du rendement ENP et des consommations d'ENP

A la lumière de la discussion qui a été menée, nous retenons que l'indicateur énergétique est celui qui permet d'évaluer à l'heure actuelle le plus précisément l'impact environnemental du RENP, compte-tenu des données à disposition à l'égard de cet objet de recherche.
Ceci dit, notre recherche se démarque des travaux précédents sur le RENP, dans la mesure où elle ne revient pas sur le débat du devenir du réseau, à savoir son maintien ou sa dépose. Plus spécifiquement, elle vise à connaitre quel choix d'alimentation de ce réseau est le plus durable du point de vue énergétique. Pour ce faire, la démarche de notre étude énergétique est présentée ci-après.

4.2 Démarche de construction et d'évaluation des *scenarii*

Notre travail vise à comparer l'impact énergétique de différents choix de répartition de ressources, appelés dans la suite *scenarii*. Nous émettons l'hypothèse que les usages principaux d'ENP (nettoyage des trottoirs et curage des égouts) ne sont pas amenés à augmenter à moyen terme, et que les consommations en ENP ne varient pas d'un *scenario* à un autre.

Présentation des *scenarii*
Plusieurs *scenarii* sont établis pour l'analyse énergétique et présentés dans le Tableau 46. Le *scenario* dit de « référence » représente un fonctionnement normal du RENP à l'heure actuelle. D'autres *scenarii*, des variantes du *scenario* «Référence», sont établis.
Le *scenario* «Exhaure » intègre l'introduction des cinq plus importants points de rejet d'eaux d'exhaure dans le RENP. Les *scenarii* « Ourcq et Seine » prennent en compte l'arrêt de l'usine d'Auteuil aujourd'hui envisagé par la VDP. Cet arrêt a pour conséquences d'engager des travaux sur le RENP, mais également d'augmenter la production d'ENP sur les usines de La Villette et d'Austerlitz : alors que le *scenario* «Ourcq» privilégie le prélèvement en eau de l'Ourcq, le *scenario* «Seine» privilégie le prélèvement en eau de Seine. Enfin, le *scenario* «Eaux usées traitées» intègre la réutilisation des eaux usées traitées d'une station d'épuration (STEP) dans le RENP.

Tableau 46 : *Scenarii* établis pour l'analyse énergétique

Nom du *Scenario*	Ourcq	Marne	Seine	Exhaure	Eaux usées traitées
«Référence»	Actuel	Actuel	Actuel (Austerlitz et Auteuil)	-	-
«Exhaure»	Actuel	Actuel	Actuel (Austerlitz et Auteuil)	Introduction 5 points rejet exhaure	-
«Ourcq»	Prélèvement privilégié	A ajuster	A ajuster (Austerlitz)	Introduction 5 points rejet exhaure	-
«Seine»	A ajuster	A ajuster	Prélèvement privilégié (Austerlitz)	Introduction 5 points rejet exhaure	-
«Eaux usées traitées»	A ajuster	A ajuster	Prélèvement privilégié (Austerlitz)	Introduction 5 points rejet exhaure	Insertion des eaux usées traitées d'une STEP

Pour chaque *scenario*, la consommation énergétique journalière (E_j) est évaluée en kWh/jour. Celle-ci est calculée sur le territoire géographique considéré : elle intègre les consommations énergétiques pour l'alimentation en eau brute et la mise en distribution d'ENP. Elle peut aussi se distinguer selon les ressources d'ENP identifiées dans les *scenarii*. Enfin, les consommations énergétiques de pompage d'un m^3 (E_m) sont aussi calculées pour chaque ressource.
Nos calculs d'énergie reposent sur le théorème de Bernoulli, dont nous présentons d'abord les principes à présent.

Théorème de Bernoulli

Le théorème de Bernoulli traduit une conservation d'énergie d'une particule d'eau dans un écoulement en charge en régime permanent d'un liquide incompressible. Cette énergie, ramenée au volume, est une combinaison d'énergie potentielle (E_{pot}), d'énergie cinétique (E_c) et d'énergie de pression (E_{Pres}) :

$$\frac{E}{V} = \underbrace{\rho \cdot g \cdot z}_{\frac{E_{pot}}{V}} + \underbrace{\rho \cdot \frac{v^2}{2}}_{\frac{E_c}{V}} + \underbrace{P}_{\frac{E_{Pres}}{V}}$$

E : énergie en Joules = N.m = kg.·m^2/s^2 = Ws= 2,78×10^{-7} kWh
z : côte d'élévation de la particule par rapport à un plan horizontal de référence, en m
v : vitesse de la particule, en m/s
P : pression à laquelle la particule est soumise, en Pa =N/m²
g : accélération de la pesanteur, en m/s^2
V : volume de la particule, en m^3
ρ : masse volumique de la particule, en kg/m^3

Avec le théorème de Bernoulli, la conservation de l'énergie entre le point de départ A et le point d'arrivée B se traduit par la relation suivante :

$$z_A + \frac{v_A{}^2}{2 \cdot g} + \frac{P_A}{\rho \cdot g} = z_B + \frac{v_B{}^2}{2 \cdot g} + \frac{P_B}{\rho \cdot g}$$

Pour i= A ou B
z_i : côte d'élévation de la particule par rapport à un plan horizontal de référence en m NGF
v_i : vitesse de la particule en m/s
P_i : pression à laquelle la particule est soumise en Pa

Dans un écoulement réel, une partie de l'énergie est dissipée en raison de résistances rencontrées par la particule, appelées pertes de charges. Celles-ci peuvent être causées par le frottement du liquide le long des parois, et sont appelées pertes de charge linéaires. Elles peuvent aussi être engendrées par les multiples obstacles que le liquide rencontre dans son parcours (coudes, vannes, clapets de retenue, etc.), et sont appelées pertes de charges singulières. La prise en compte des pertes de charges dans le théorème de Bernoulli s'exprime de manière suivante :

$$z_A + \frac{v_A{}^2}{2 \cdot g} + \frac{P_A}{\rho \cdot g} = z_B + \frac{v_B{}^2}{2 \cdot g} + \frac{P_B}{\rho \cdot g} + J_{A \to B} \quad (14)$$

$J_{A \to B}$: pertes de charges liées à l'écoulement de la particule de A à B exprimé en mètres colonne d'eau

Le terme $z + P/\rho g$ est également appelé hauteur piézométrique. Le terme $P/\rho g$ sera désigné dans la suite « pression estimée en mètres colonne d'eau (mce) ».

Au vu des vitesses généralement inférieures à 1 m/s dans le RENP, les termes ${v_A}^2/2g$ et ${v_B}^2/2g$ sont estimés négligeables devant les pertes de charges et les hauteurs piézométriques. Ainsi la prise en compte des pertes de charges dans le théorème de Bernoulli s'écrit de manière suivante :

$$z_A + \frac{P_A}{\rho \cdot g} \approx z_B + \frac{P_B}{\rho \cdot g} + J_{A \to B} \quad (15)$$

La présence de pompes pour le pompage en Marne et la distribution dans le RENP modifie l'énergie de la particule dans son écoulement. La pompe apporte une énergie à la particule pour l'élever du point A vers B. Cette énergie s'exprime également sous forme de hauteur équivalente, appelée hauteur manométrique totale (notée H_{MT} dans la suite) :

$$z_A + \frac{P_A}{\rho \cdot g} + H_{MT} = z_B + \frac{P_B}{\rho \cdot g} + J_{A \to B} \quad (16)$$

$$H_{MT} = \underbrace{(z_B - z_A)}_{H_{géo}} + \underbrace{\frac{(P_B - P_A)}{\rho \cdot g}}_{H_{pres}} + \underbrace{J_{A \to B}}_{H_{pdc}} \quad (17)$$

L'équation (14) montre que la H_{MT} s'exprime sous la forme de différentes hauteurs :

- $H_{géo}$: Hauteur associée à la différence d'altimétrie entre les points A et B en m
- H_{pres} : Différence de pression entre les points A et B exprimé en mce
- H_{pdc} : Pertes de charges à vaincre entre A et B exprimé en m.

Construction d'un modèle hydraulique

L'application de ce théorème au RENP nécessite au préalable d'avoir une représentation simplifiée de ce RENP. Pour cela, notre méthode s'appuie sur un modèle que nous avons construit pour cette recherche. Ce modèle vise à représenter le fonctionnement du RENP (installations de pompage, réseau et réservoirs), ainsi qu'une partie de son alimentation (usine de Trilbardou). Il est constitué d'un ensemble de liaisons de pompage définies selon le principe suivant : un volume journalier d'eau est pompé d'un point de départ A (exemple : usine d'ENP située sur un cours d'eau) vers un point d'arrivée B (ex : sous-réseau Passy) grâce à une ou plusieurs conduites de pompage.

La Figure 49 présente une liaison du modèle hydraulique avec ses différentes hauteurs de pompage associées.

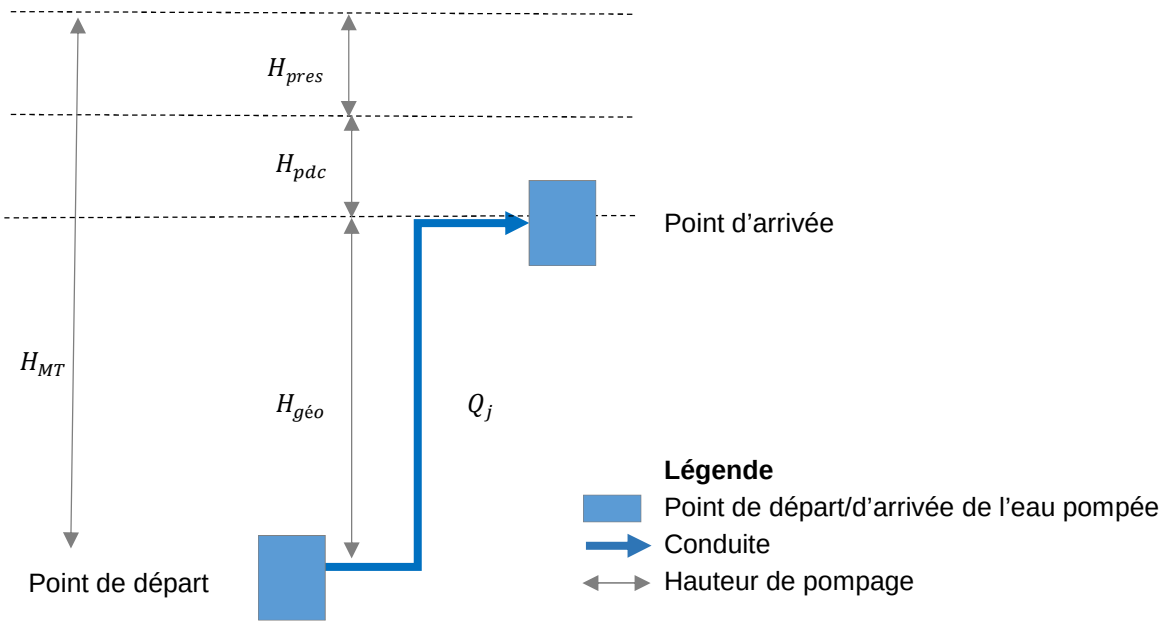


Figure 49: Liaison du modèle hydraulique avec ses hauteurs de pompage associées

Le modèle simplifié comporte plusieurs liaisons de pompage :

- pour le pompage en Marne : une liaison Marne-Canal de l'Ourcq qui représente le pompage à Trilbardou. Le tracé de la liaison correspond au tracé des conduites de pompage de Trilbardou.
- pour le pompage dans le RENP : les liaisons du modèle relient une installation (usine de production, station de relevage ou de surpression) à un sous-réseau. Les conduites de pompage entre usine et réservoir (ou usine-usine) sont identifiées et caractérisées (diamètre, linéaire) sur le SIG.

En outre, le modèle comporte une liaison qui n'est pas une liaison de pompage. Cette liaison relie La Villette à Austerlitz, et représente l'acheminement gravitaire de l'eau de l'Ourcq de La Villette vers l'usine d'Austerlitz. La modélisation de cette liaison permet d'évaluer les pertes de charges associées liées à l'écoulement gravitaire.

La consommation énergétique journalière sur le territoire considéré (ou par ressource) est estimée comme suit :

$$E_j = \frac{\rho \cdot g}{3.6 \cdot 10^6} \cdot \sum_i H_i \, Q_{j,i} \qquad (18)$$

E_j : consommations énergétiques journalières sur le territoire ou par ressource (kWh/j)
i : : liaison du modèle hydraulique
H_i : Hauteur de pompage d'une liaison i
$Q_{j,i}$: volume journalier de pompage d'une liaison i

Les hauteurs de pompages des liaisons sont estimées à partir des données d'altimétries : caractéristiques des infrastructures (surverse ou trop-plein des réservoirs) et mesures de satellite des niveaux des cours d'eau sur Geoportail. L'estimation des pertes de charges linéaires repose sur la formule de Lechapt et Calmon (Weber 1998).

$$J = L \cdot \frac{Q^M}{D^N} \qquad (19)$$

Avec :

J : pertes de charges linéaires en mm/m

D : diamètre de la conduite (en m)

L, M, N : paramètres de la formule de Lechapt et Calmon dépendants du coefficient de rugosité absolue K (mm)

Q : débit (m^3/s)

La rugosité des conduites de pompage n'est pas connue avec exactitude. La majorité des conduites du RENP et les conduites de Trilbardou étant anciennes, ainsi un coefficient de rugosité de K=2 est choisi à l'aide de la littérature (Lencastre 1995) pour l'ensemble des conduites. Les pertes de charges linéaires, lorsqu'elles sont multipliées au linéaire de la conduite, donnent la hauteur associée aux pertes de charges linéaires, notée $H_{pdc,lin}$. En première approche, on augmente les $H_{pdc,lin}$ de 10% afin d'intégrer les pertes de charges singulières[35].

On émet l'hypothèse que les installations pompent en continu un volume journalier Q_j sur 24h vers les sous-réseaux (pour les usines du RENP) et vers le Canal de l'Ourcq

[35] Cette estimation est une approche adoptée par les hydrauliciens d'EDP, lorsque le linéaire considéré est supérieur à 500 m.

(pour Trilbardou). Le Q_j de chaque liaison est estimé à partir des données de production d'ENP et de pompage d'eau brute à Trilbardou. Deux points de consommations d'ENP sont intégrés dans le modèle : les consommations du Bois de Boulogne et une partie du Bois de Vincennes (*cf.* paragraphe 4.3.1.3).

Les limites de cette méthode portent sur la représentation simplifiée du fonctionnement du RENP : dans la réalité, l'ENP est consommée le long du RENP et n'arrive au réservoir qu'en cas de surproduction. Le débit diminue donc tout au long de la liaison usine-réservoir. D'autre part, les pertes de charges ne sont pas localisées uniquement sur les conduites principales, mais sur tout le linéaire des conduites du RENP. Enfin, les installations d'ENP ne fonctionnent pas en continu 24h/24 mais de manière discontinue sur la journée, en fonction de la demande en ENP dans la journée. Toutefois, cette méthode a pour avantage de ne pas insérer d'autres variables, et donc d'autres possibles incertitudes : état des conduites, consommations, fuites, etc. Afin de juger de sa représentativité, les résultats issus de cette méthode pour l'année 2013 seront comparés avec les consommations énergétiques réelles de l'année 2013 dans la partie 4.3.1.3. Par ailleurs, on abordera les incertitudes associées à l'estimation des consommations énergétiques au fil du chapitre.

Autres démarches de calcul d'énergie possibles

Nous avons identifié d'autres méthodes de calcul d'énergie, dont nous discutons les avantages et les limites à présent.

Une première méthode repose sur les factures EDF. En effet, le pompage représente entre 93 et 97% des consommations énergétiques réelles des usines de production d'ENP, d'après des études réalisées pour EDP (Inddigo 2015a, 2015b, 2015c). La part restante correspond aux pertes des transformateurs électriques, au prétraitement et des activités diverses : chauffage, sanitaires, informatique, etc. Le Tableau 47 présente la composition des consommations énergétiques réelles des usines de production d'ENP.

Tableau 47 : Composantes des consommations d'électricité des usines La Villette, Austerlitz et Auteuil (Inddigo 2015a, 2015b, 2015c)

Consommations énergétiques sur une année (MWh/an)	La Villette [1]	Austerlitz [2]	Auteuil [2]
Pompage	$3{,}51\ 10^6$	$6{,}08\ 10^3$	$2{,}61\ 10^3$
Pertes transformateur	$4{,}62\ 10^4$	89,3	47,6
Autres postes	$4{,}50\ 10^4$	212	142

[1] analyse énergétique réalisée à partir de données sur la période de janvier 2012 à mai 2015
[2] analyses énergétiques réalisées à partir de données sur la période de janvier 2013 à décembre 2014

Cette méthode a pour avantage d'estimer le E_m des installations à partir de données réelles. Toutefois, ces E_m estimés ne peuvent pas être utilisés pour les différents

scenarii établis. En effet, les *scenarii* se basent sur des projections dans le futur où les liaisons hydrauliques et les débits pompés sont modifiés.

Une deuxième méthode s'appuie sur les données relatives aux pompes existantes (caractéristiques, courbes de pompes). Des hypothèses sur le nombre de pompes en marche, leur puissance en fonctionnement normal et leur temps de fonctionnement permettraient d'estimer l'énergie nécessaire au fonctionnement *réel* des pompes sur une journée. Toutefois, on ne dispose pas du temps de fonctionnement et des volumes journaliers pour chaque pompe (plus d'explications pour l'usine d'Austerlitz se trouve dans le paragraphe 4.3.1.3). D'autre part, les hypothèses prises sur les pompes pour le *scenario* «Référence» ne sont donc pas valables pour les *scenarii* suivants, car les hauteurs de pompage et les volumes journaliers affectés par sous-réseau varient pour ces *scenarii*. Une modélisation ou le calcul hydraulique s'avère donc nécessaire.

Enfin, une dernière méthode consiste à modéliser précisément le fonctionnement du RENP et son alimentation. Une modélisation fine du RENP consiste à caractériser l'état (encrassement, rugosité) des conduites du RENP et à affecter une consommation à l'ensemble du RENP. Cette méthode permet d'estimer finement les pertes de charges liées à la distribution dans le RENP. Toutefois, cette modélisation est exhaustive et nécessite une bonne connaissance du RENP, ainsi qu'une instrumentation pour le calage du modèle. EDP dispose aujourd'hui de capteurs de débit sur le RENP, mais pas de données de consommations précises sur le RENP, hormis pour les Bois de Boulogne et de Vincennes, les usagers non municipaux et quelques contrats spécifiques avec la VDP. L'attribution d'une rugosité et d'un encrassement différencié aux conduites du RENP n'est pas aisée, en raison du peu de connaissances actuelles sur l'état du RENP. Cette méthode n'a pas été utilisée vu du temps imparti.

Les résultats de notre approche basée sur les altimétries et la modélisation simplifiée du RENP sont présentés et discutés dans la suite.

4.3 *Scenario* « Référence » : description d'un fonctionnement normal

L'année 2013 a été étudiée dans le chapitre 2, afin de comprendre les interactions entre le RENP et le milieu naturel.
Dans cette partie, nous étudions plus spécifiquement les volumes mis en distribution dans le RENP et pompés en Marne pendant l'année 2013, afin de pouvoir ensuite proposer une définition d'un fonctionnement « normal » du RENP. Sur la base de cette définition, nous construirons un *scenario* de « référence » puis estimerons les consommations énergétiques associées.

4.3.1 Etude de l'année 2013

On étudie d'abord les volumes pompés vers le RENP et les volumes pompés en Marne. L'étude de ces volumes permet ensuite de construire un modèle hydraulique, puis d'estimer les consommations énergétiques pour l'année 2013.

4.3.1.1 Volumes pompés vers les sous-réseaux du RENP

Dans le but d'évaluer les consommations énergétiques propres au RENP, nous discutons d'abord des volumes pompés par les installations vers les sous-réseaux (*cf*. Figure 50). Cette Figure intègre également les apports entre sous-réseaux et les déversements EP/ENP. Les volumes annuels y sont présentés, afin de ne pas « lisser » des évènements ponctuels (comme les déversements EP/ENP) par des volumes journaliers moyens. Concernant les prélèvements en Seine à Austerlitz, on estime la répartition de l'eau entre Charonne et Villejuif à partir des volumes annuels pompés totaux à Austerlitz (*cf*. paragraphe 4.3.1.3), la répartition exacte de l'eau de Seine vers ces sous-réseaux en 2013 n'étant pas connue. En raison de leur petite taille, les sous-réseaux Montmartre cuve et Belleville surpressé ne seront pas représentés dans les Figures suivantes.

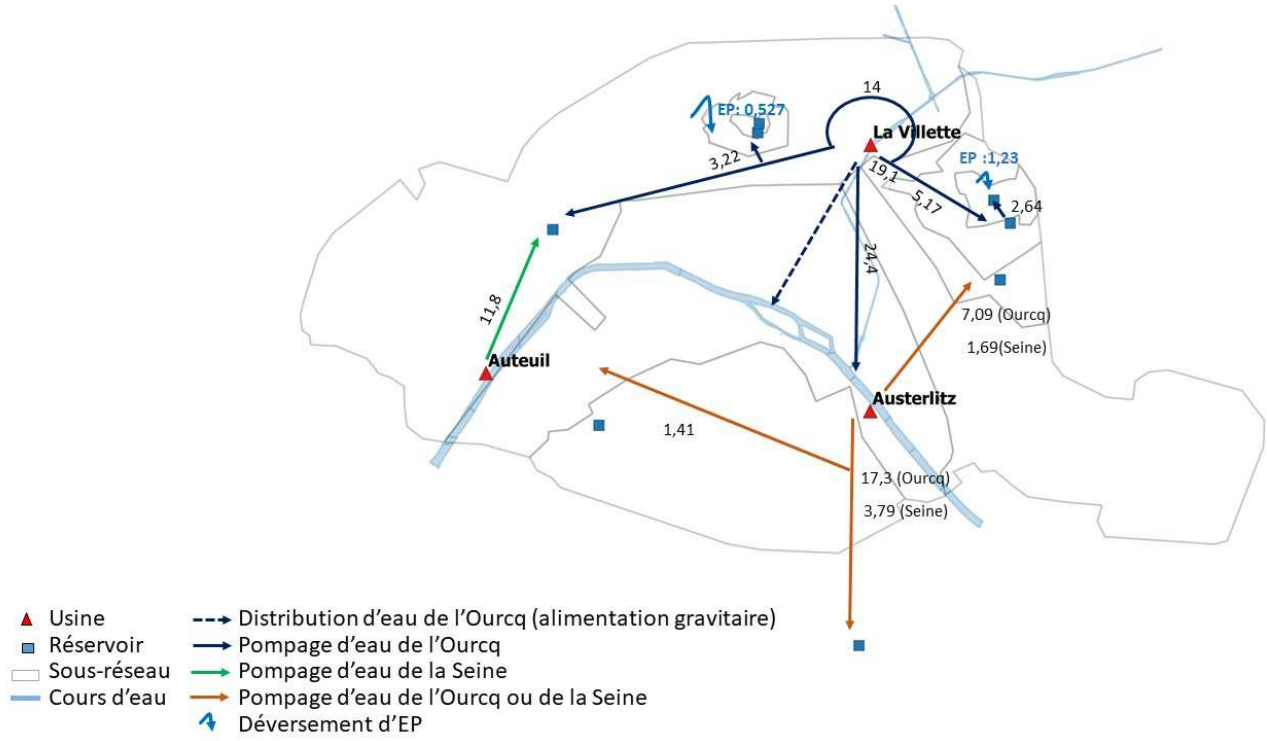


Figure 50 : Volumes pompés par les installations d'ENP vers les sous-réseaux pour l'année 2013

La casse de la conduite RENP reliant l'usine La Villette et Passy (appelée dans la suite La Villette-Passy) pendant l'année 2013 n'a pas permis d'acheminer l'eau de La Villette directement vers Passy. Ainsi Passy reçoit de l'eau du sous-réseau Ménilmontant *via* une vanne limite de réseau, appelée Secrétan. Par ailleurs, d'autres apports entre sous-réseaux existent : Villejuif apporte au Bas Ourcq un volume annuel de 1,41 10^6 m^3. Enfin, Austerlitz reçoit principalement l'eau de l'Ourcq de La Villette par la conduite de fonçage, mais prélève également en Seine en 2013.

La casse de la conduite La Villette-Passy n'est pas représentative d'une configuration « normale » du RENP. En effet, les travaux de renforcement des pompes de La Villette en 2014 se basent sur l'hypothèse du fonctionnement correct de cette conduite. L'année 2013 a rencontré un certain nombre d'anomalies sur le RENP et ne peut pas illustrer une situation dite de « référence » pour l'analyse énergétique. Cependant, elle nous permet d'identifier un « fonctionnement normal » du RENP et d'en proposer une définition.

Cette définition exclue les événements suivants :

- le déversement EP/ENP
- le casse de conduite d'ENP hormis la casse de la conduite DN900mm qui relie Auteuil à Passy
- l'injection entre les réseaux *via* les vannes limites de réseaux
- le prélèvement en Seine à Austerlitz.

4.3.1.2 Volumes pompés à Trilbardou

L'estimation des consommations énergétiques nécessite d'évaluer le volume pompé à Trilbardou destiné au RENP pour l'année 2013 (noté $V_{TB\text{->}Can,\ ENP}$). Pour cela, on considère le volume total pompé en 2013 à Trilbardou en Marne (noté $V_{TB\text{->}Can}$).

On émet l'hypothèse que le rapport $V_{TB\text{->}Can,\ ENP} / V_{TB\text{->}Can}$ est égal au rapport entre :

(1) le volume annuel prélevé au bassin de la Villette pour le RENP

(2) et le volume annuel de l'eau transitant sur le canal de l'Ourcq.

$V_{TB\text{->}Can,\ ENP}$ est estimé comme suit :

$$V_{TB\rightarrow Can,ENP} = V_{TB\rightarrow can} \cdot \frac{V_{LV\rightarrow RENP}}{V_{can}} \qquad (20)$$

Avec :

$V_{TB\rightarrow can,ENP}$: volume pompé à Trilbardou destiné au RENP pour l'année 2013

$V_{TB\rightarrow can}$: volume total pompé en 2013 à Trilbardou en Marne

$V_{LV\rightarrow RENP}$: volume annuel prélevé au bassin de la Villette pour le RENP

V_{can} : volume annuel de l'eau transitant sur le canal de l'Ourcq

Le Tableau 48 présente les étapes de calcul qui permettent d'estimer $V_{TB\rightarrow can,ENP}$.

Tableau 48 : Estimation du volume pompé à Trilbardou destiné au RENP pour l'année 2013

Débit (m^3/j)	V_j pour l'année 2013 (10^6 m^3/an)
V_{can}	113
$V_{LV\rightarrow RENP}$	59,6
$V_{TB\rightarrow can}$	9,78
$V_{TB\rightarrow can,ENP}$	5,15

4.3.1.3 Modèle hydraulique et consommations énergétiques

Pour l'année 2013, nous avons construit un modèle hydraulique simplifié basé sur les principales conduites du RENP et de Trilbardou. Ce modèle est présenté avec les débits associés sur la Figure 51.

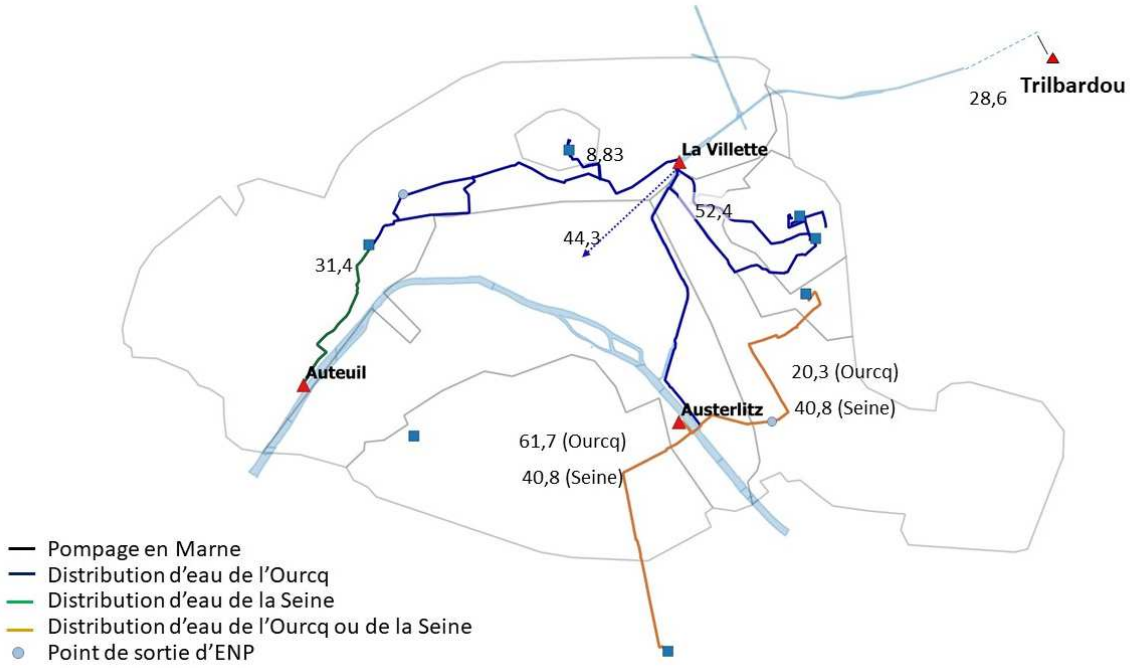


Figure 51 : Modèle hydraulique construit pour l'année 2013. Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j

Estimation des débits des liaisons

A chaque liaison du modèle, un Q_j est affecté pour le calcul des H_{pdc}. Pour les liaisons associées aux usines de production La Villette et Auteuil, et les autres installations de relevage et de surpression, on utilise les volumes annuels convertis en volumes journaliers. En effet, ces installations distribuent, tout au long de l'année 2013, l'ENP vers les mêmes sous-réseaux.

Austerlitz et Trilbardou rencontrent, quant à elles, des changements majeurs de configuration pendant l'année 2013 : alors qu'Austerlitz pompe de l'eau issue de La Villette ou prélève directement en Seine, Trilbardou fonctionne principalement de mai à novembre. Le calcul des Q_j des liaisons associées à ces usines ne peut pas se baser uniquement sur les volumes annuels, mais il doit intégrer les périodes spécifiques de chaque configuration.

Austerlitz connait deux configurations possibles : le pompage de l'eau de Seine ou de l'eau de l'Ourcq issue de La Villette. L'estimation des jours consacrés à chaque configuration se base sur l'hypothèse selon laquelle la période de chaque configuration est proportionnelle aux débits pompés correspondants à Austerlitz. Le prélèvement en Seine à l'usine d'Austerlitz en 2013 est de 5,47 10^6 m^3, soit 18% du volume annuel total pompé à Austerlitz. La part de l'année 2013 consacrée au pompage en Seine est

estimée à 18% de l'année, soit 67 jours. Ainsi, les nombres de jours consacrés au pompage de l'eau de Seine et de l'eau de l'Ourcq sont estimés respectivement à 67 et 298 jours.

Concernant Trilbardou, plus de 99% des volumes sont pompés en Marne entre mai et octobre. Le Q_j total pompé en Marne est estimé sur cette période de pompage, à 53,1 10^3 m^3/j. Le Q_j pompé à Trilbardou pour l'ENP, en tenant compte du ratio de 53%, est estimé à 28,2 10^3 m^3/j.

Estimation de l'énergie nécessaire pour le pompage en Marne pour le RENP

Alors que les usines d'ENP pompent exclusivement de l'ENP, l'usine de Trilbardou pompe de l'eau brute à la fois pour la production en ENP et pour les autres usages des canaux. Ainsi, il convient d'expliciter nos calculs d'énergie pour cette ressource. L'énergie de la liaison de pompage en Marne consacrée au RENP ($E_{j,TB\rightarrow can,ENP}$) est estimée comme proportion liée au volume pompé en Marne consacré au RENP :

$$E_{j,TB\rightarrow can,ENP} = \frac{Q_{j,TB\rightarrow Can,ENP}}{Q_{j,TB\rightarrow Can}} \cdot E_{j,TB\rightarrow Can} \quad (21)$$

$Q_{j,TB\rightarrow Can}$: Q_j moyen pompé à Trilbardou en Marne en période de pompage en 2013 (m^3/j)
$Q_{j,TB\rightarrow Can,ENP}$: Q_j moyen pompé à Trilbardou en Marne destiné au RENP en période de pompage en 2013 (m^3/j)
$E_{j,TB\rightarrow Can}$: E_j de pompage à Trilbardou en Marne en période de pompage en 2013 (kWh/j)
$E_{j,TB\rightarrow can,ENP}$: E_j de pompage à Trilbardou destiné au RENP en période de pompage en 2013 (kWh/j)

Intégration de points de consommation dans le modèle

Le modèle intègre les consommations des Bois de Boulogne et de Vincennes disponibles grâce à des débitmètres installés aux entrées des Bois.

Le Bois de Boulogne est alimenté par plusieurs entrées, dont une conduite DN600mm « Maillot », au Nord-Ouest de Passy alimenté par La Villette. Cette consommation est matérialisée par un point de sortie d'ENP sur la liaison qui relie La Villette à Passy (*cf*. Figure 51). Concernant les autres entrées du Bois (Auteuil, Colombie et Tolstoï), on estime que l'ENP est pompée d'Auteuil vers le réservoir Passy avant d'alimenter le Bois gravitairement par ces entrées. Celles-ci ne sont donc pas intégrées comme points de consommation dans le modèle.

Le Bois de Vincennes est alimenté par deux conduites de Charonne (*cf*. Chapitre 2). Une première conduite appelée « conduite Vincennes Nord », est alimentée directement par le réservoir Charonne. Cette alimentation n'est pas intégrée comme consommation, car on estime également que l'ENP est pompée d'Austerlitz vers le réservoir avant d'alimenter gravitairement le Bois. Une deuxième conduite, appelée « conduite Vincennes Sud », est alimentée par Austerlitz. L'apport de la conduite représente 35% des apports totaux du RENP pour le Bois de Vincennes. Cette consommation est matérialisée par un point de sortie d'ENP sur la liaison qui relie Austerlitz à Charonne (*cf*. Figure 51).

D'autre part, comme vu dans le paragraphe 4.3.1.1, le sous-réseau Ménilmontant*, via* une vanne limite de réseau, injecte de l'ENP issue de La Villette vers Passy. Cette injection est représentée par un point de consommation sur la Branche Nord de la liaison de La Villette vers Ménilmontant.

Comparaison de notre approche hydraulique avec les factures EDF

Les résultats de cette approche hydraulique sont comparés avec une autre méthode d'estimation basée sur les factures EDF de l'année 2013 (EDP 2014a). Plusieurs éléments sont à prendre en compte dans l'utilisation des données de ces factures.

Le pompage représente près de 95% des consommations énergétiques des usines de production d'ENP, le reste de l'énergie étant consacré aux activités auxiliaires (traitement de l'usine) et aux pertes des transformateurs. D'autre part, les installations de pompage ont un rendement global lié à leurs équipements (*cf*. Annexe 4). Ces rendements dépendent des technologies de pompes et de l'ancienneté des installations. A titre d'exemple, les pompes Ménilmontant et Passy installées à l'usine de La Villette en 2014 ont respectivement un rendement global (hydraulique et électrique) de 78,8% et 83% (Flygt 2013; Xylem 2013) à leur point de fonctionnement. La Villette n'ayant pas été encore rénovée en 2013, le rendement global de l'ensemble des installations est estimé comme légèrement inférieur, soit de 70%. Afin de tenir compte de ces deux éléments, les consommations énergétiques des factures EDF sont multipliées par les ratios 95% et 70%.

Enfin, les installations Haxo, Télégraphe, et Montmartre sont mixtes, c'est-à-dire qu'elles comportent des pompes pour l'EP et l'ENP et ne disposent que d'une seule facture EDF. De la même manière, une seule facture existe pour les pompes ENP de Rochechouart et les pompes EP de l'installation de pompage de Saint Pierre à proximité. A partir des données caractéristiques des pompes et des volumes pompés sur l'année 2013, les consommations énergétiques liées au pompage ENP est calculé comme proportion du produit de la hauteur et du volume de pompage de l'ENP :

$$E_{ENP} = \frac{H_{ENP} \cdot V_{ENP}}{(H_{ENP} \cdot V_{ENP} + H_{EP} \cdot V_{EP})} \cdot E_{tot} \qquad (22)$$

E_{ENP} : énergie de pompage des installations mixtes consacrée à l'ENP en 2013(kWh/an)
H_{ENP} : H_{MT} des pompes ENP des installations mixtes (m)
V_{ENP} : volume annuel pompé par les pompes ENP des installations mixtes en 2013
H_{EP} : H_{MT} des pompes EP des installations mixtes (m)
V_{EP} : volume annuel pompé par les pompes EP des installations mixtes en 2013
E_{tot} : énergie de pompage totale des installations en 2013 (kWh/an)

Les résultats issus de la modélisation hydrauliques simplifiée (E_h) sont comparés dans le Tableau 49 avec les consommations énergétiques estimées à partir des factures EDF (E_{EDF}).

Tableau 49 : Comparaison des consommations énergétiques issues de l'approche hydraulique avec les consommations énergétiques issues des factures EDF pour l'année 2013

E_h: énergie issue du modèle hydraulique
E_{EDF}: énergie estimée à partir des factures EDF 2013 (kWh/an)

Installation de pompage	E_h (10³kWh /an)	E_{EDF} (10³kWh /an)	$\frac{E_h - E_{EDF}}{E_{EDF}}$ (en %)
Austerlitz	3 750	3 910	-4%
Auteuil	1 910	1 770	8%
Villette	2 530	2 390	6%
St Pierre + Rochechouart	463	519	-11%
Haxo	222	189	18%
Télégraphe	68	138	-51%
Montmartre réservoir	5	9	-38%
Trilbardou (ENP)	197	209	-6%
Ensemble des usines	9 400	9 290	-

L'écart relatif entre les deux méthodes est calculé comme la somme des erreurs absolues sur la somme totale des E_{EDF} et s'élève à 7%. Les grands écarts pour Télégraphe et Haxo peuvent s'expliquer par la sous-estimation des activités auxiliaires (autres le pompage) pour les installations. Par ailleurs, l'installation Montmartre réservoir comporte deux conduites de pompage en parallèle avec un faible linéaire (entre 150 et 250 m) pour relever l'ENP vers la cuve Montmartre. Il est alors plausible que les H_{pdc} singulières estimées à 10% des H_{pdc} soient sous-estimées, ce qui pourrait expliquer l'écart important constaté pour Montmartre réservoir.

La Figure 52 présente les E_h des installations de pompage en fonction de leurs E_{EDF}. La corrélation linéaire nous montre un très fort lien entre les deux méthodes, avec une pente de 0,99 et un coefficient de corrélation de 0,99.

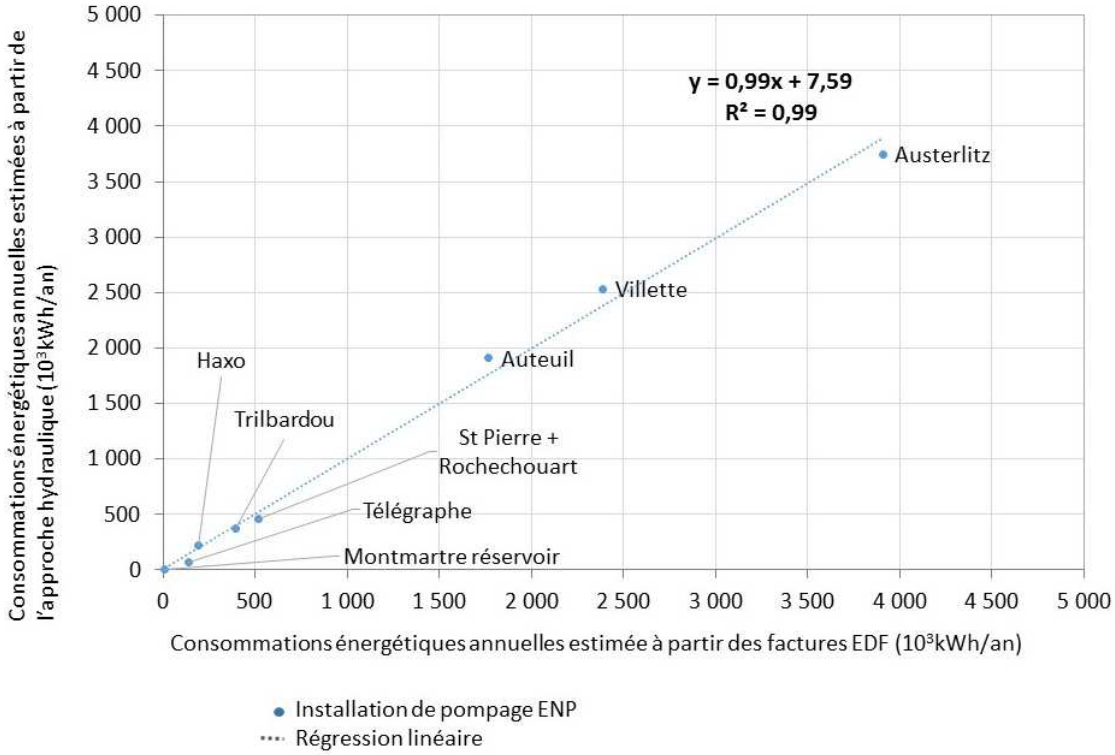


Figure 52 : Comparaison des consommations énergétiques issues de l'approche hydraulique avec celles issues des factures EDF pour l'année 2013

Il apparaît alors que ces deux approches donnent des résultats proches. Nous pouvons en déduire que les approximations faites sur la mise en distribution d'ENP pour l'approche hydraulique ne semblent pas créer des erreurs importantes. Le modèle hydraulique construit est donc validé.

4.3.2 Le scenario « Référence » en somme

Le *scenario* « Référence » reprend les conditions identifiées pour un fonctionnement normal du RENP dans l'étude de l'année 2013.

4.3.2.1 Choix des volumes

Le choix des volumes utilisés pour le modèle hydraulique nécessite de choisir la période de l'année étudiée et les valeurs associées. Pour l'ensemble des cours d'eaux considérés pour le RENP, nous avons constaté que les débits et les niveaux d'eau les plus bas sont situés entre juin et septembre (*cf*. Chapitre 2). Les mois de l'année étudiée dans la thèse sont donc de juin à septembre. Le Tableau 50 présente les valeurs moyennes calculées pour chaque sous-réseau et utilisées pour le modèle.

Tableau 50 : Mise en distribution d'ENP par sous-réseaux de juin à septembre

Sous-réseau	Moyenne (10^3 m^3/j)
Bas Ourcq	43,8
Belleville	8,45
Charonne	24,9
Ménilmontant	11,6
Montmartre	10,3
Passy	74,6
Villejuif	45,1

L'estimation des Q_j d'eau de Seine mis en distribution dans le RENP nécessite d'étudier les Q_j pompés à Auteuil vers Passy de juin à septembre. La moyenne des Q_j pompés par Auteuil de juin à septembre vers Passy est de 35,4 10^3 m^3/j.

Les volumes journaliers pompés à Trilbardou destiné au RENP, en analogie à l'équation (21), sont estimés comme suit :

$$Q_{TB\rightarrow can,ENP} = Q_{TB\rightarrow can} \cdot \frac{Q_{LV\rightarrow RENP}}{Q_{can}} \qquad (23)$$

Avec :
$Q_{TB\rightarrow can}$: Q_j moyen pompé à Trilbardou en Marne de juin à septembre (m^3/j)
$Q_{TB\rightarrow can,ENP}$: Q_j moyen pompé à Trilbardou en Marne destiné au RENP de juin à septembre (m^3/j)
$Q_{LV\rightarrow RENP}$: Q_j prélevé au Bassin de La Villette pour le RENP
Q_{can} : Q_j moyen transitant sur le Canal de l'Ourcq (m^3/j)

Les débits moyens sont calculés pour l'usine de Trilbardou, sur les volumes mensuels des deux années 2013 et 2015. En effet, les données de débits pour l'année 2014 u ne sont pas valides, l'usine ayant connu des travaux de rénovation pendant cette période. Le Tableau 51 présente les étapes de calcul qui permettent d'estimer $Q_{TB\rightarrow can,ENP}$.

Tableau 51 : Estimation du débit pompé à Trilbardou destiné au RENP pour le *scenario* «Référence»

Débit (m^3/j)	Q_j pour le *scenario* «Référence» (10^3 m^3/j)
Q_{can}	289
$Q_{LV \rightarrow RENP}$	183
$Q_{TB \rightarrow can}$	93,0
$Q_{TB \rightarrow can,ENP}$	59,0

4.3.2.2 Modèle hydraulique et consommations énergétiques

Le modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Référence» est présenté sur la Figure 53. L'eau du Canal de l'Ourcq est mise en distribution sur l'ensemble du RENP, excepté la partie Ouest de Passy qui est desservie par l'eau de Seine.

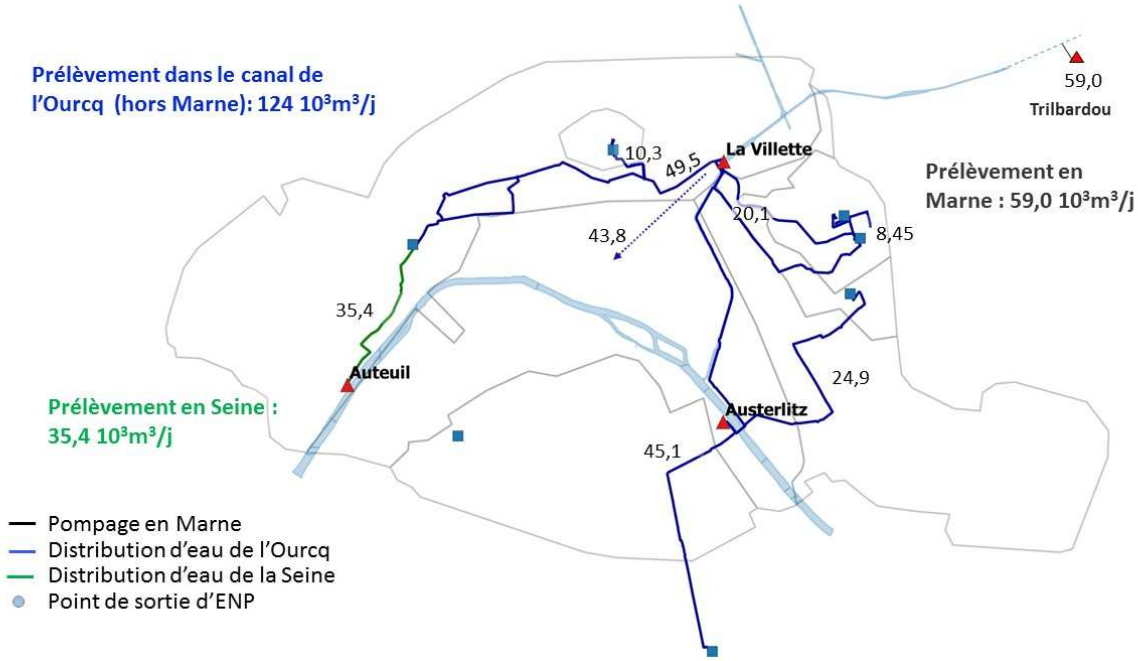


Figure 53 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Référence». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j

La Figure 54 présente les $H_{géo}$ et les H_{pdc} pour chaque liaison de pompage du modèle hydraulique. Les hauteurs de Montmartre réservoir et Belleville surpressé ne sont pas représentées, car les E_j associées représentent une partie négligeable (<5%) de la E_j totale.

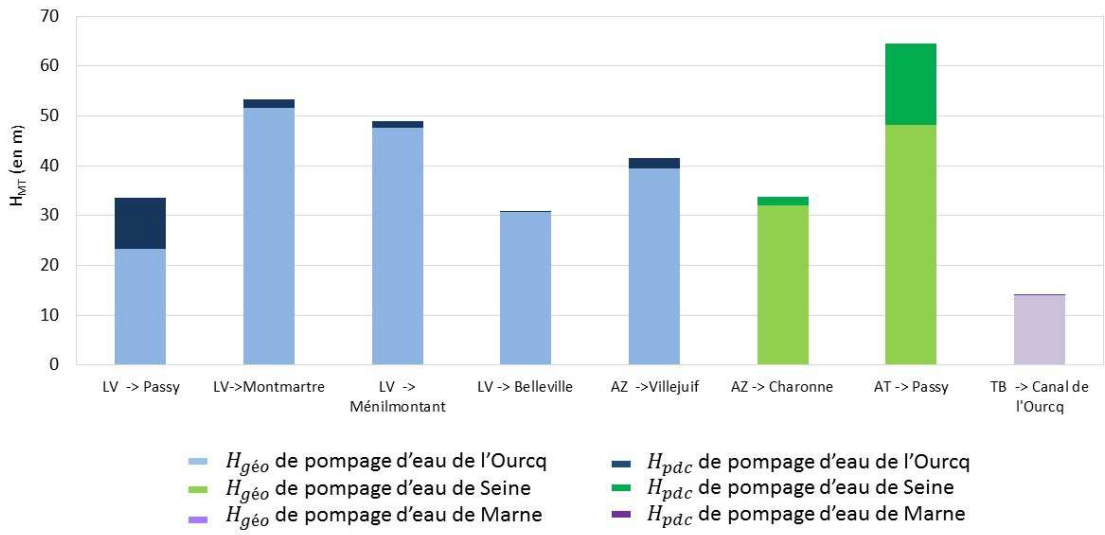


Figure 54 : H_{MT} des liaisons du modèle hydraulique pour le *scenario* « Référence ». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou

Le graphique met en avant la contribution importante des $H_{géo}$ dans les H_{MT} de pompage (entre 69 % et 100%). Les H_{pdc} représentent entre 0 et 31% des H_{MT}. Elles sont les plus élevées pour la liaison reliant La Villette à Passy (31%) et la liaison reliant Auteuil à Passy (25%). Leurs proportions élevées pour ces deux liaisons s'expliquent par les hypothèses prises pour la construction du modèle. En effet, hormis la consommation de la conduite Maillot du Bois de Boulogne, l'ENP n'est pas consommée le long de ces liaisons. Les réductions de section le long de la conduite entraînent des H_{pdc} élevées.

La Figure 55 illustre ce phénomène en présentant la répartition des H_{pdc} sur les deux liaisons. Sur la liaison entre La Villette et Passy, les H_{pdc} sont faibles en sortie de La Villette sur les conduites DN1000mm et DN250mm. Elles connaissent une forte augmentation lors du passage de la conduite en DN1250mm à la configuration en parallèle des deux conduites DN600mm. Sur la liaison entre Auteuil et Passy, les H_{pdc} sont élevées en raison du faible diamètre de la conduite DN600mm.

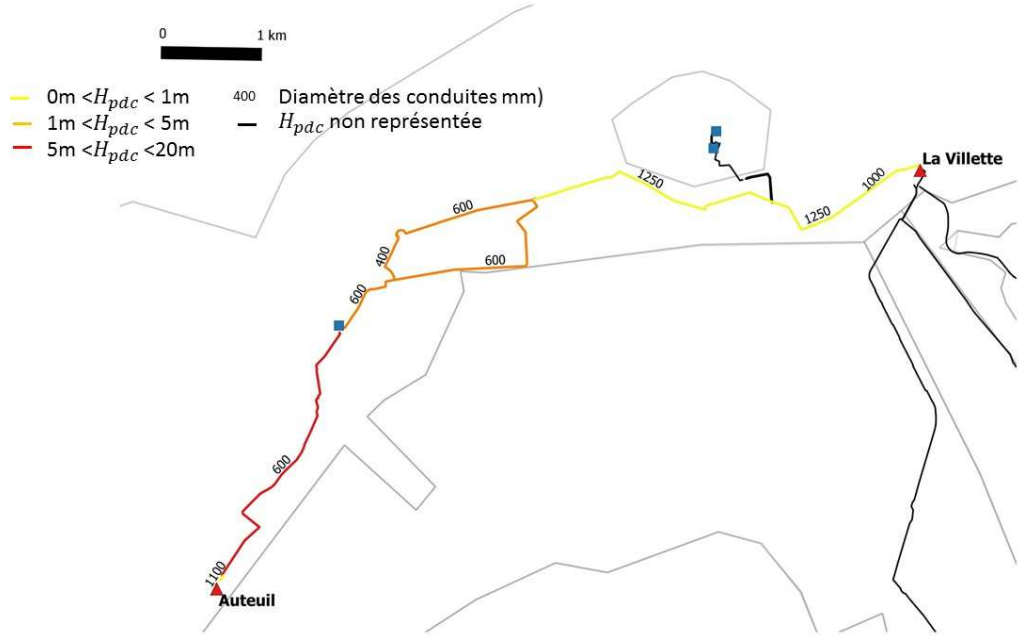


Figure 55 : Répartition des pertes de charges (en m) sur les liaisons reliant La Villette et Auteuil à Passy pour le *scenario* «Référence»

Les consommations énergétiques sont présentées par ressource sur le Tableau 52.
Le Q_j et E_j de la Seine correspondent, dans le *scenario* « Référence », aux Q_j et E_j de pompage d'Auteuil vers Passy car Austerlitz ne distribue que l'Ourcq.
Le Q_j de la Marne correspond au Q_j de la Marne pompé à Trilbardou destiné au RENP. Son E_j correspond à l'énergie nécessaire pour le relevage de ce volume vers le Canal, puis pour sa mise en distribution dans le RENP.
Enfin, le Q_j de l'Ourcq correspond à l'ENP produite par La Villette, auquel on retire le Q_j de la Marne. Son E_j est l'énergie de pompage de ce volume vers le RENP.

Tableau 52 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Référence».

Ressource	Q_j (10^3m^3/j)	E_j (10^3kWh/j)	E_m (kWh/m^3)
Marne	59,0	7,75	0,131
Ourcq	124	11,5	0,093
Seine	35,4	6,2	0,176
Total	219	25,5	0,116 (valeur pondérée)

D'après ce Tableau, les E_j de l'Ourcq et de la Marne s'élèvent en tout à 19,3 10^3 kWh/j et représentent près de 75% de la E_j totale. Ceci s'explique par la proportion importante (85%) des volumes journaliers de l'Ourcq et de la Marne mis en distribution dans le RENP. Cependant le E_m de la Seine est supérieur à celui de l'Ourcq et de la Marne. Ceci s'explique par les écarts entre hauteurs de pompage. En effet, la H_{MT} de pompage de la liaison reliant Auteuil à Passy est supérieure aux H_{MT} de pompage en Marne et de pompage de l'Ourcq vers RENP. D'après ce Tableau, l'eau de l'Ourcq est la ressource la plus intéressante du point de vue énergétique.
L'énergie globale du *scenario* s'élève à 25,5 10^3 kWh/j, avec une consommation énergétique moyenne de pompage par m^3 de 0,116 kWh/m^3.

4.3.2.3 Incertitudes

Dans l'objectif de pouvoir comparer le bilan énergétique global de ce *scenario* avec les autres *scenarii*, il convient de mener une réflexion sur les incertitudes de calcul.

Les consommations énergétiques journalières de pompage pour chaque ressource sont calculées de manière suivante :

$$E_j = \frac{\rho \cdot g}{3.6 \cdot 10^6} \cdot \sum_i (H_{géo,i} + H_{pdc,i}) \cdot Q_{j,i} \qquad (24)$$

E_j : consommations énergétiques journalières de pompage par ressource (kWh/j)
i : liaison du modèle hydraulique
$H_{géo,i}$: Hauteur géométrique de pompage d'une liaison i
$H_{pdc,i}$: Hauteur de pompage d'une liaison i (associée aux pertes de charges)
$Q_{j,i}$: débit journalier de pompage d'une liaison i

Sur la base de cette formule, nous étudierons comment les incertitudes se propagent sur les consommations énergétiques journalières pour chaque ressource, d'après la loi de propagation des incertitudes présentée dans la partie 3.1.2.

Cette formule fait intervenir des hauteurs et des débits de pompage qui sont eux-mêmes soumis à des incertitudes.
Les incertitudes sur les débits portent tout d'abord sur les appareils de mesure. Les débitmètres en sortie d'usine de pompage, et pour le comptage de l'EP sont des débitmètres ultrasons ou électromagnétiques, avec une erreur maximale de mesure

de 1%. Les incertitudes de mesure, pour les débitmètres sur le Canal, sont estimées par le service des canaux à 4%. Ces incertitudes sont estimées négligeables devant la variabilité temporelle des débits prélevés en eaux de rivières (notamment la Marne) pour le RENP sur la période étudiée. Nous étudierons uniquement les incertitudes liées à la variation temporelle des débits pompés de juin à septembre, quantifiées comme incertitudes de type A. Celles-ci sont présentées dans le Tableau 53.

Tableau 53 : Incertitudes associées aux volumes journaliers prélevés en eaux de rivières pour le *scenario* « Référence »

	Volumes journaliers (10^3 m^3/j)	Incertitudes associées
Marne	59,0	8
Ourcq	124,3	8,39
Seine	35,4	0

On constate que les incertitudes sur les volumes pompés en Seine sont faibles (<1%), ce qui s'explique par le nombre important de données collectées (366). Les incertitudes liées à la ressource Marne et Ourcq sont comparativement plus élevées (respectivement 14 et 7%), en raison principalement de la variabilité temporelle des volumes pompés à Trilbardou de juin à septembre, ainsi que du faible nombre de données collectées pour cette usine (quatre valeurs de volumes mensuels en 2013 et 2015, soit huit valeurs).

Les hauteurs de pompage comportent une hauteur géométrique ($H_{géo}$) et une hauteur associée aux pertes de charges (H_{pdc}). Les pertes de charges sont estimées à partir d'hypothèses prises sur la rugosité et le taux d'encrassement (ici estimé nul) des conduites, et de la répartition des débits dans le RENP, ce qui rend l'étude de la propagation de leurs incertitudes complexe. Nous nous restreignons, dans ce paragraphe, à étudier les incertitudes sur $H_{géo}$, que l'on quantifie comme incertitude de type B. Les altimétries étant estimées avec une précision de 1 m, on estime $\Delta H_{géo}$ à $1/\sqrt{3}$ m.
La propagation des incertitudes liées aux hauteurs et aux débits pompés sur l'estimation de l'énergie de pompage s'exprime comme suit :

$$\Delta E_j = \sqrt{{\Delta E_{j,Q}}^2 + {\Delta E_{j,H}}^2} = \sqrt{\left|\left(\frac{\partial E_j}{\partial H}\right| \Delta H\right)^2 + \left(\left|\frac{\partial E}{\partial Q}\right| \Delta Q\right)^2} \qquad (25)$$

$\Delta E_{j,H}$: incertitude sur E_j associée aux hauteurs de pompage
$\Delta E_{j,Q}$: incertitude sur E_j associée aux débits pompés
ΔH : incertitude sur la hauteur
ΔQ : incertitude sur les débits

Le Tableau 54 indique, pour chaque ressource, les consommations énergétiques journalières, les incertitudes associées aux hauteurs, celles associées aux débits pompés, et les incertitudes associées totales.

Tableau 54 : Incertitudes liées aux hauteurs et aux débits de pompage dans l'estimation des consommations énergétiques journalières

10^3 kWh/j	E_j	$\Delta E_{j,H}$	$\Delta E_{j,Q}$	ΔE_j
Marne	7,7	0,03	1,39	1,40
Ourcq	11,6	0,07	0,18	0,4
Seine	6,2	0,02	0,10	0,14
TOTAL	**25,5**	**0,12**	1,67	**1,46**

D'après ce Tableau, les ΔE_j sont principalement dues aux variations temporelles des volumes pompés. Les incertitudes sont les plus élevées en proportion pour la Marne (18%). Ceci s'explique par les fortes variations temporelles des volumes pompés à Trilbardou en Marne et à La Villette dans le Canal de l'Ourcq, ainsi que les calculs intermédiaires pour calculer les volumes pompés à Trilbardou pour le RENP. Lorsqu'on considère le bilan énergétique global sur tout le territoire, la propagation des incertitudes donne une ΔE_j de 1,5 10^3 kWh/j, soit 6% du bilan énergétique global estimé. En tenant compte de l'intervalle avec un niveau de confiance de 95%, le bilan énergétique s'élève à 25,5 $\mp$2,85 10^3 kWh/j.

Etant donné que les autres *scenarii* se basent sur les mêmes données de volumes, il convient de s'interroger sur la nécessité d'intégrer les incertitudes liées à la variabilité temporelle. En effet, les incertitudes que nous avons quantifiées nous permettent d'évaluer le degré de simplification du modèle dans sa représentation d'une situation considérée (ici, le fonctionnement du RENP en période d'étiage). Or, notre étude s'attache principalement à comparer différents *scenarii*, ainsi que leurs bilans énergétiques associés. Les incertitudes qui restent à quantifier portent essentiellement sur l'évaluation des pertes de charges (coefficient de rugosité, taux d'encrassement des conduites, etc.).
La quantification de l'ensemble de ces incertitudes étant complexe, nous retiendrons dans la suite l'écart de 7% observé entre la méthode théorique construite pour l'année 2013 et les factures EDF réelles dans la partie 4.3.1.3 .

4.4 *Scenario* «Exhaure»

Le *scenario* «Exhaure» reprend le *scenario* «Référence» en introduisant cinq points de rejets d'eaux d'exhaure.

Pour rappel, les eaux d'exhaure sont, en temps normal, rejetées en égouts. On considère donc que l'énergie pour l'injection des eaux dans le RENP correspond à la surconsommation énergétique de pompage par rapport au rejet en égout (*cf*. Figure 56).

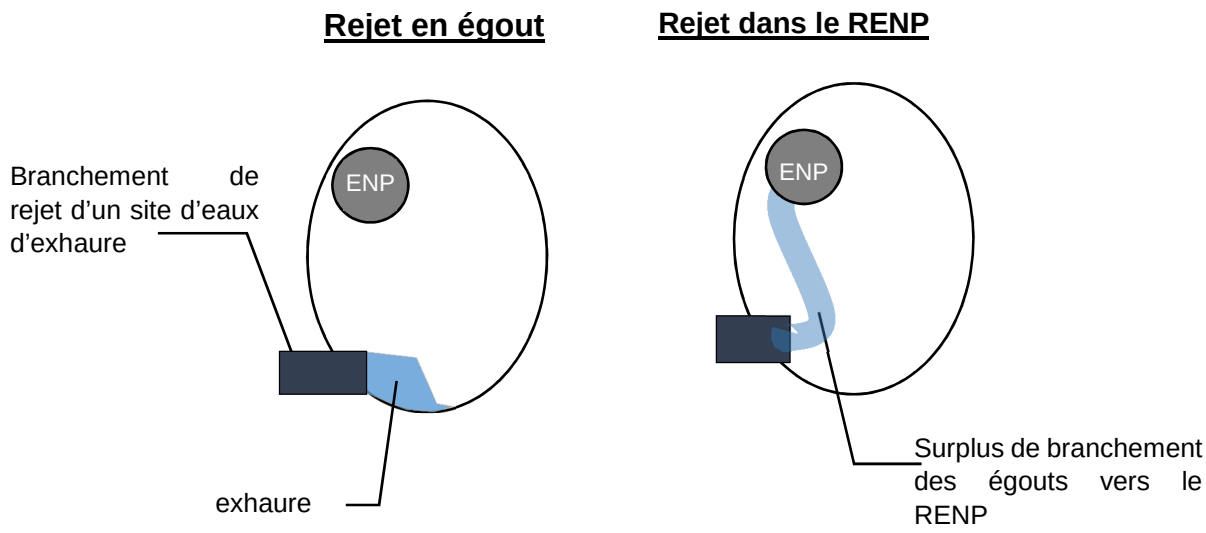


Figure 56 : Injection des eaux d'exhaure dans les égouts ou dans le réseau d'eau non potable

L'estimation du débit instantané d'injection, c'est-à-dire le débit réel pompé par les pompes de chaque site sur 24 h, est cruciale dans notre étude. En effet, le débit instantané permet à la fois de déterminer la conduite d'ENP réceptrice de ces eaux, mais aussi de calculer plus finement les consommations énergétiques journalières de pompage des eaux d'exhaure.

Dans la suite, on s'attachera à évaluer l'énergie nécessaire au pompage pour le rejet en égout et dans le RENP.
Pour le rejet en égout, la démarche de calcul d'énergie pour les eaux d'exhaure ne peut pas se baser uniquement sur les factures EDF. En effet, la part du pompage des eaux d'exhaure dans les consommations énergétiques totales un parking n'est pas connue, en raison d'autres postes importants de consommation importants comme l'éclairage et les ascenseurs. Par ailleurs, les consommations énergétiques actuelles d'un site ne peuvent pas être extrapolées à un autre, au vu des caractéristiques différentes des pompes.

Au regard de ces considérations, nous estimerons les consommations de pompage en égout en évaluant la hauteur de pompage, qu'on détermine de deux manières. La première se base sur des données d'altimétrie et sur des hypothèses prises sur les conduites de refoulement. La deuxième approche se base sur les débits instantanés et des courbes de pompes.

Les surconsommations d'injection vers le RENP sont, quant à elles, estimées principalement à partir de la pression du RENP à vaincre. Enfin, on étudiera l'impact de l'injection des eaux d'exhaure sur le RENP sur le plan énergétique.

Pour ce *scenario*, on cible les rejets les plus importants à Paris déclarés à la VDP, dont les volumes annuels dépassent 150 10^3 m^3/j. Le Tableau 14 présente les cinq points retenus pour le *scenario*, qui ont été anonymisés à la demande de la VDP[36]. Les volumes annuels présentés correspondent aux moyennes des volumes de 2012, 2013 et 2014. La profondeur des bâches par rapport au rejet en égout, estimée à partir des visites de terrain, est indiquée dans ce Tableau.

Tableau 55 : Rejets d'eaux d'exhaure dans Paris et points retenus pour le *scenario* « exhaure ». Volumes annuels estimés à partir des rejets déclarés à la VDP des années 2012, 2013 et 2014

Site	Volumes annuels	Profondeur
X1	641	17,7
X2	333	8,8
X3	322	12,0
X4	220	13,5
X5	186	14,0

Le paragraphe suivant vise à déterminer le débit instantané pour chacun de ces sites.

4.4.1 Estimations du débit instantané Q_i

La collecte de données et les visites ont pour objectif de collecter les données pour estimer le débit instantané de rejet en égout, appelée dans la suite Q_i (m^3/s). Plusieurs cas de figure sont possibles : plusieurs pompes fonctionnent en parallèle ou par intermittence dans une ou plusieurs bâches. Dans tous les cas, chaque pompe possède un compteur horaire de la durée cumulée de fonctionnement. Selon les sites, des compteurs de volumes cumulés sont posés en sortie de bâche, ou sont associés à chaque pompe.

[36] Seul le site X1 est identifié dans la thèse, correspondant au parking Meyerbeer. Ce site sera notamment l'objet d'une étude de cas dans le chapitre 5.

Ainsi pour deux dates sont relevés : (a) le nombre d'heures cumulé de fonctionnement (en heures) pour chaque pompe et (b) le volume rejeté cumulé en égouts pour chaque bâche ou chaque pompe (en m^3).
La méthode d'estimation de Q_i pour tous les sites est expliquée ci-dessous, avec l'exemple d'une bâche avec deux pompes. La différence en heures entre les deux relevés permet de calculer le nombre d'heures de fonctionnement pour chaque pompe (t_1 et t_2) et le volume rejeté (V) entre les deux dates. Le temps moyen de fonctionnement des pompes journalier pour une bâche est calculé ainsi comme suit :

$$T = \frac{t_1 + t_2}{n} \tag{26}$$

T : durée moyenne de fonctionnement des pompes de la bâche (heures par jour)
t_i: durée de fonctionnement entre les deux relevés d'une pompe "i" (heures)
n: nombre de jours entre les deux relevés (jours)

Si T est inférieur à 24h, on émet l'hypothèse d'un fonctionnement en alternance des pompes dans la bâche. Si le site ne comporte un compteur de volume qu'en sortie de bâche, le Q_i pour l'ensemble des pompes d'un site est calculé comme suit :

$$Q_i = \frac{V}{t_1 + t_2} \tag{27}$$

V : volume rejeté en sortie de bâche entre les deux relevés (m^3)

Si le site comporte un compteur de volume associé à chaque pompe, le Q_i pour l'ensemble des pompes d'un site est calculé comme suit :

$$Q_i = \max\left\{\frac{V_1}{t_1}; \frac{V_2}{t_2}\right\} \tag{28}$$

Pour i=1 ou 2
V_i : volume rejeté d'une pompe i entre les deux relevés (m^3)
t_i : durée de fonctionnement entre les deux relevés d'une pompe "i" (heures)

Trois de nos sites (X2, X4 et X5) comportent plusieurs bâches. Afin de majorer le débit instantané de chacun de ces sites, celui-ci est estimé comme la somme des Q_i estimés pour chaque bâche.

Le Tableau 56 compare les Q_i et les volumes annuels ramenés en m^3/s (noté Q_m). Les Q_i sont fortement supérieurs aux Q_m, ce qui confirme le fonctionnement des pompes en discontinu et la nécessité de calculer Q_i pour l'estimation du diamètre minimal de la conduite de RENP.

Tableau 56 : Comparaison des débits instantanés (m³/s) des eaux d'exhaure issus des relevés de compteurs et des débits moyens issus des volumes annuels déclarés à la VDP

Site	Q_i (m³/s)	Q_m (m³/s)
X1	41,8 10^{-3}	20,3 10^{-3}
X2	64,9 10^{-3}	10,6 10^{-3}
X3	11,8 10^{-3}	10,2 10^{-3}
X4	13,2 10^{-3}	7,0 10^{-3}
X5	38,3 10^{-3}	5,9 10^{-3}

4.4.2 Détermination du point d'injection

L'étude énergétique de l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP nécessite de distinguer deux situations (*cf*. Figure 57). En situation dite « actuelle », les eaux d'exhaure sont refoulées de la bâche d'aspiration vers les égouts. En situation dite « future », elles sont refoulées de la bâche *via* un branchement (avec un Q_i et une vitesse v) pour être injectées dans la conduite d'ENP (avec un rayon R_{ENP} et un taux d'encrassement t_{enc}).

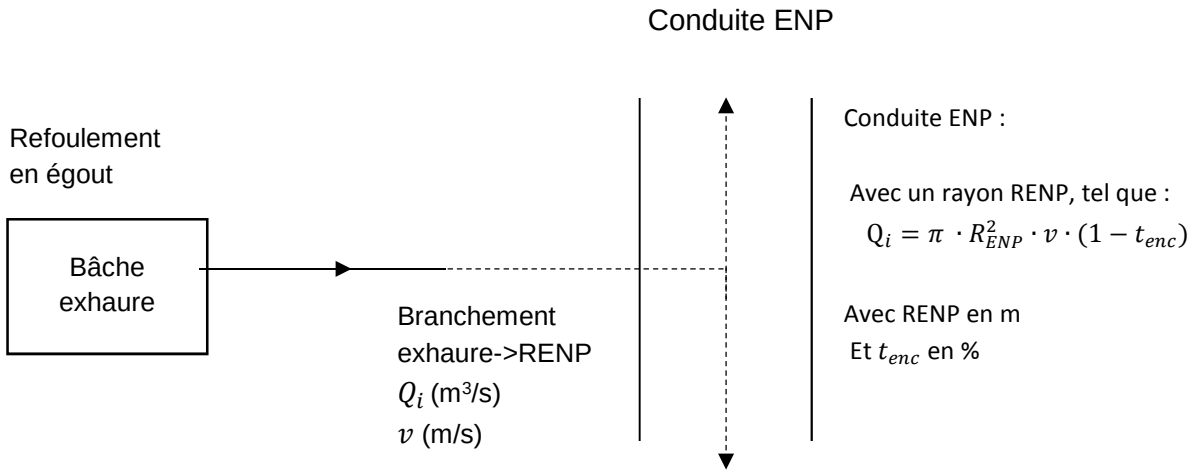


Figure 57 : Schéma de principe sur l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP

Le point d'injection sur le RENP existant est déterminé à partir de la disponibilité d'un diamètre répondant aux critères du dimensionnement hydraulique définis ci-dessous. Ces critères portent sur la direction d'injection, la vitesse de rejet, et le taux d'encrassement.

Dans un écoulement en charge, les eaux d'exhaure sont injectées dans deux directions de part et d'autre du point d'injection dans le RENP. Nos calculs de dimensionnement se baseront sur l'hypothèse d'une injection dans un sens. En effet, en l'absence de seuils règlementaires au niveau de la qualité, cette hypothèse permet de favoriser la dilution des eaux d'exhaure dans le RENP. D'autre part, cette hypothèse permet de maintenir l'injection dans le RENP possible en cas d'un arrêt d'eau (casse de conduite, travaux prévus, etc.) sur un côté de la conduite d'ENP réceptrice.
Dans les prescriptions techniques établies pour le projet de réinjection des eaux d'exhaure issues du parking Meyerbeer[37], la vitesse du rejet est limitée à 2 m/s afin de maintenir une sécurité du RENP vis-à-vis des régimes transitoires. Afin d'inclure une marge de sécurité, on utilisera la valeur de 1,5m/s, cette valeur étant usuellement utilisée dans les études hydrauliques d'EDP.
Le taux d'encrassement est estimé nul, car on émet l'hypothèse que l'injection des eaux d'exhaure induit des vitesses élevées dans les conduites d'ENP.

Le diamètre de la conduite ENP, D_{ENP}, exprimé en mm, est calculé comme suit :

$$D_{ENP(mm)} = 2 \cdot 100 \cdot \sqrt{\frac{Q_i}{\pi v}} \qquad (29)$$

D_{ENP} : diamètre minimal de la conduite ENP (mm)
Q_i : débit instantané de rejet des eaux d'exhaure en égout estimés à partir des relevés (m^3/s)
v : vitesse dans la conduite (m/s)

Le Tableau 57 présente les diamètres minimaux estimés (en mm) pour les différents sites, en prenant la taille disponible d'une conduite au-dessus de la valeur estimée. Les conduites réceptrices d'ENP à proximité du rejet, avec le diamètre minimal recherché, sont identifiées sur le SIG. Les linéaires des branchements de raccordement vers le RENP sont estimés sur le SIG, à partir des positions des égouts et des conduites d'ENP. Lorsque le point de rejet est très proche de la conduite RENP identifiée, la longueur du branchement est estimée à 3 m, suite aux échanges avec le pôle Eau non Potable d'EDP.

[37] L'injection des eaux de ce parking dans le RENP a fait l'objet d'études entre EDP et la VDP (*cf.* chapitre 5).

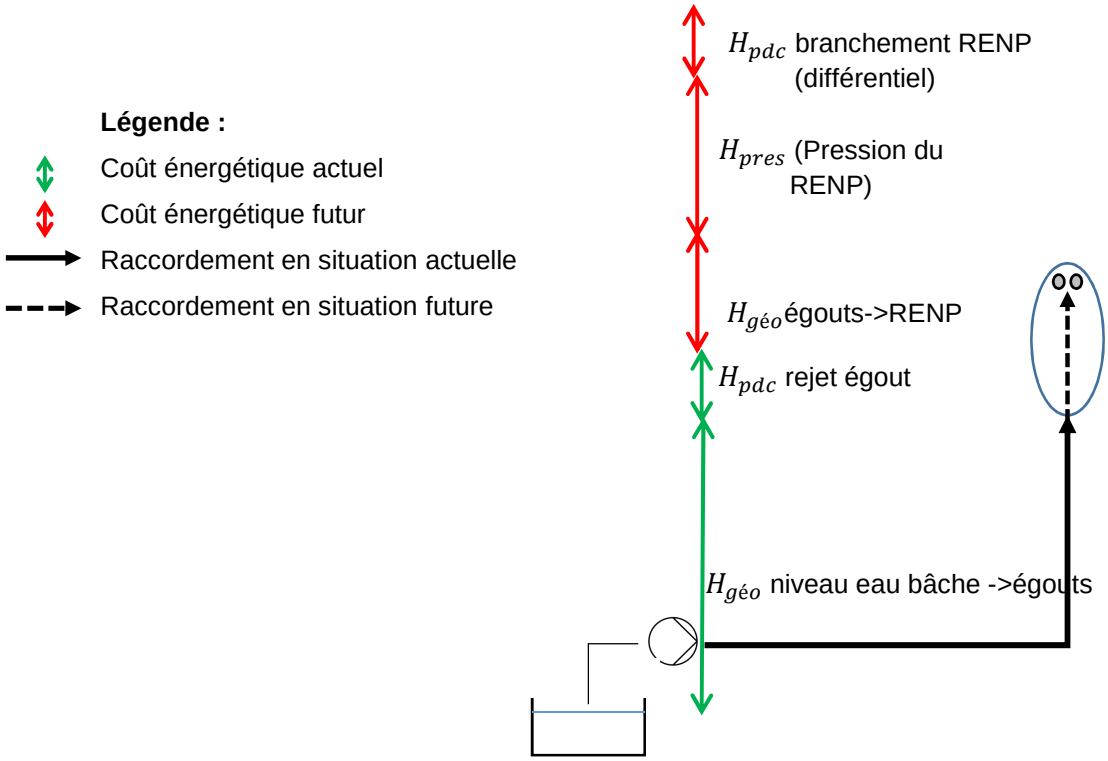
Tableau 57 : Identification des canalisations d'ENP réceptrices pour les cinq sites d'eaux d'exhaure

Site	Diamètre minimal calculé (mm)	Diamètre de la conduite d'ENP identifiée (mm)	Sous-réseau de la conduite identifiée ENP	Linéaire du branchement (m)
X1	200	300	Bas Ourcq	20
X2	300	600	Villejuif	9
X3	100	150	Bas Ourcq	3
X4	200	400	Passy	236
X5	200	300	Charonne	36

4.4.3 Consommations énergétiques

Les consommations énergétiques de rejet en égout dans le RENP sont actuellement supportées par le producteur d'eaux d'exhaure. Si les eaux d'exhaure sont injectées dans le RENP, les surconsommations seraient également supportées par le producteur d'eaux d'exhaure. La Figure 58 illustre ces deux configurations.

Figure 58 : Consommations énergétiques des eaux d'exhaure en situation actuelle et future



Pour chacune de ces configurations, on estime dans la suite les consommations énergétiques de pompage associées.

4.4.3.1 Rejet en égout

Cette partie évalue les consommations énergétiques actuelles de pompage estimées des eaux d'exhaure en égout (désignées dans la suite $E_{j,exh\rightarrow égouts}$). Celle-ci se calcule d'après la formule suivante :

$$E_{j,exh\rightarrow égouts} = \frac{\rho \cdot g}{3{,}6 \cdot 10^6} \sum_{k=1}^{k=n} (H_{géo,k} + H_{pdc,k}) \cdot Q_k \cdot t_k \tag{30}$$

$E_{j,exh\rightarrow égouts}$: consommations énergétiques de rejet des eaux d'exhaure d'un site en égout (kWh/j)
k : pompe d'un site
$H_{géo,k}$: $H_{géo}$ d'une pompe k (m)
$H_{pdc,k}$: H_{pdc} d'une pompe k (m)
t_k : durée de fonctionnement entre les deux relevés d'une pompe k (heures)
Q_k : débit instantané d'une pompe k (m^3/h)

En particulier, il est important de rappeler que les pertes de charges associées à une pompe k dépend fortement des débits pompés et du diamètre des conduites. Ainsi, il paraît plus juste d'utiliser les débits estimés à partir des relevés au lieu des volumes annuels convertis en m^3/h, ces derniers ayant tendance à sous-estimer les pertes de charges.

La consommation énergétique par m^3 pompé d'eaux d'exhaure vers les égouts d'un site ($E_{m,exh\rightarrow égouts}$) est estimée comme suit :

$$E_{m,exh\rightarrow égouts} = \frac{E_{j,exh\rightarrow égouts}}{\sum_{k=1}^{k=n} \cdot Q_k \cdot t_k} \tag{31}$$

Pour l'estimation des hauteurs de pompage, deux approches sont adoptées. La première se base sur des données d'altimétrie et sur des hypothèses prises sur les conduites de refoulement. Elle est testée sur le site X1, pour lequel on dispose des données d'altimétrie les plus précises. La seconde approche se base sur les courbes de pompes et les relevés de compteurs.

Approche basée sur l'altimétrie

Le site dispose de deux pompes P1 et P2 qui fonctionnent en alternance au sein d'une fosse pour rejeter les eaux d'exhaure en égout. Les Q_i de P1 et P2 sont estimés à 151 et 121 m^3/h, à partir des relevés de débits.

Sur la base de données d'altimétries disponibles sur le site X1, $H_{géo}$ est estimée à 17,7 m. Les H_{pdc} linéaires sont calculées avec la formule de Lechapt et Calmon (*cf*. partie 4.2.). Le branchement est estimé en fonte revêtue ciment. Les paramètres choisis sont K= 0,5 ; L= 1,4 ; M= 1,96 et N= 5, 19.

Au vu du faible linéaire du branchement, les H_{pdc} singulières ne peuvent être assimilées à 10% des H_{pdc} linéaires, comme pour les conduites principales du RENP. Pour les sites d'eaux d'exhaure, on estime les H_{pdc} singulières à partir d'hypothèses prises sur la présence de coudes, d'un clapet anti-retour, d'une vanne papillon et d'un débitmètre électromagnétique sur le branchement. Pour chaque singularité, les H_{pdc} singulières sont calculées comme suit (PONT-A-MOUSSON S.A. 1989) :

$$H_{pdc,sing} = \kappa \cdot \frac{v^2}{2g}. \qquad (32)$$

κ : coefficient sans dimension dépendant de la nature du point singulier
g : accélération de la pesanteur en m/s^2
v : vitesse du liquide dans la section considérée en m^3/s

Le Tableau 58 indique le choix des κ pour l'ensemble des singularités.

Tableau 58 : Coefficients de rugosité K retenus pour les H_{pdc} singulières du branchement de raccordement des eaux d'exhaure au RENP (PONT-A-MOUSSON S.A. 1989)

Singularité	Nombre	Hypothèses	κ
Coudes 90°C	2	Présence de 2 coudes à 90°C	0,17
Clapet retenue	1	Angle formé par le clapet et l'axe de la conduite estimé à 20°	1,7
Vanne papillon	1	Angle formé par le papillon et l'axe de la conduite estimé à 5°	0,24
Débitmètre e-magnétique	1	Pertes de charges considérées négligeables	0

Le Tableau 59 présente les H_{MT} estimées pour les Q_i de P1 et P2.

Tableau 59 : Hauteurs de pompage estimées pour les pompes P1 et P2 de X1

	P1	P2
$H_{géo}$	17,7	17,7
H_{pdc} linéaires	0,93	0,60
H_{pdc} singulières	0,58	0,38
H_{MT}	19,2	18,6

D'après les résultats de cette première approche, la $H_{géo}$ représente plus de 90% de $E_{j,exh\rightarrow égouts}$. Les H_{pdc} singulières sont du même ordre de grandeur que les H_{pdc} linéaires. Les H_{MT} sont estimées respectivement pour P1 et P2 à 19,2 et 18,6 m.

A partir de la formule (31), il est possible d'estimer la consommation énergétique d'un m^3 pompé à 52,2 10^{-3} kWh /m^3 pour la pompe P1 et à 50,8 10^{-3} kWh /m^3 pour la pompe P2.

Cette première approche comporte de nombreuses incertitudes, notamment sur l'estimation du linéaire des branchements et des singularités sur le branchement. Pour cela, les résultats de cette approche seront comparés avec ceux de la seconde approche basée sur les courbes de pompes pour le site X1.

Approche basée sur les caractéristiques des pompes

La deuxième approche consiste, à partir des Q_i et des courbes de pompe, à identifier la H_{MT} de pompage des sites d'eaux d'exhaure en situation actuelle.

Pour ce site, la H_{MT} est identifiée à partir de la courbe de pompe de P1 et de son Q_i estimé (*cf.* Figure 59). Le diamètre de la roue de P1 est de 321,5 mm, ce qui permet d'identifier la courbe de pompe : pour un Q_i de 151 m^3/h, la H_{MT} associée est de 30 m. Les résultats de la première approche pour P1 présentent un écart supérieur de 36% par rapport à la méthode basée sur la courbe de pompe.

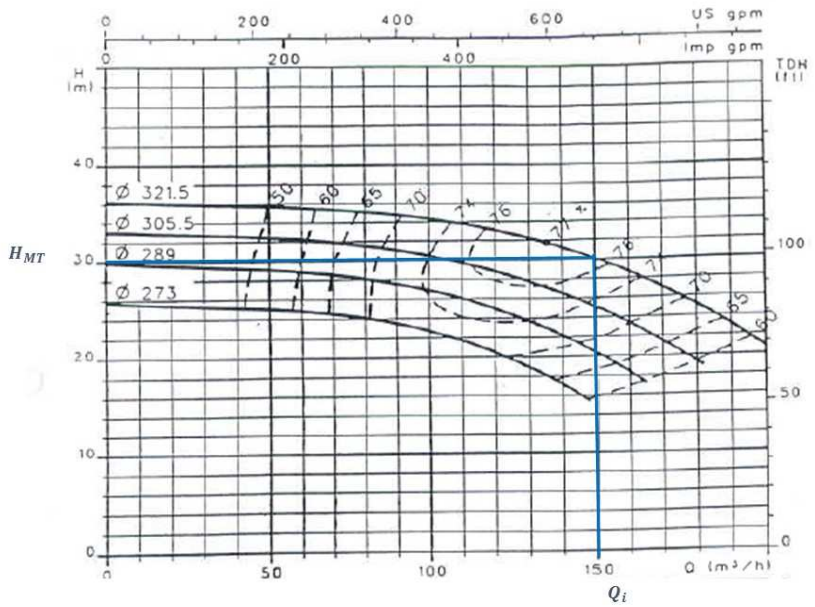


Figure 59 : Estimation de la H_{MT} de pompage en égout du site X1 à partir de la courbe de la pompe P1 et des débits instantanés estimés à partir des relevés de compteurs

Cette deuxième approche comporte moins d'incertitudes que la première méthode, car elle repose sur les caractéristiques des pompes existantes. Elle est donc testée pour tous les sites pour lesquels les données des pompes sont disponibles. Les consommations énergétiques de pompage par m^3 sont estimées pour l'ensemble des sites d'après la formule (31).

Lorsqu'on dispose d'informations seulement sur une pompe (cas de X1 et de X5), on émet l'hypothèse que la H_{MT} identifiée diffère peu des H_{MT} des autres pompes. En effet, sur le site X1, les pompes sont positionnées dans la même bâche, le rejet se faisant par une même conduite DN150mm. Quant au site X5, les trois bâches sont situées au même étage : ainsi les différences de H_{MT} correspondent aux différences de H_{pdc}, et sont considérées négligeables par rapport à la $H_{géo}$. On ne dispose pas des caractéristiques des pompes du site X4.

La Figure 60 présente les consommations énergétiques d'un m^3 pompé pour les cinq sites.

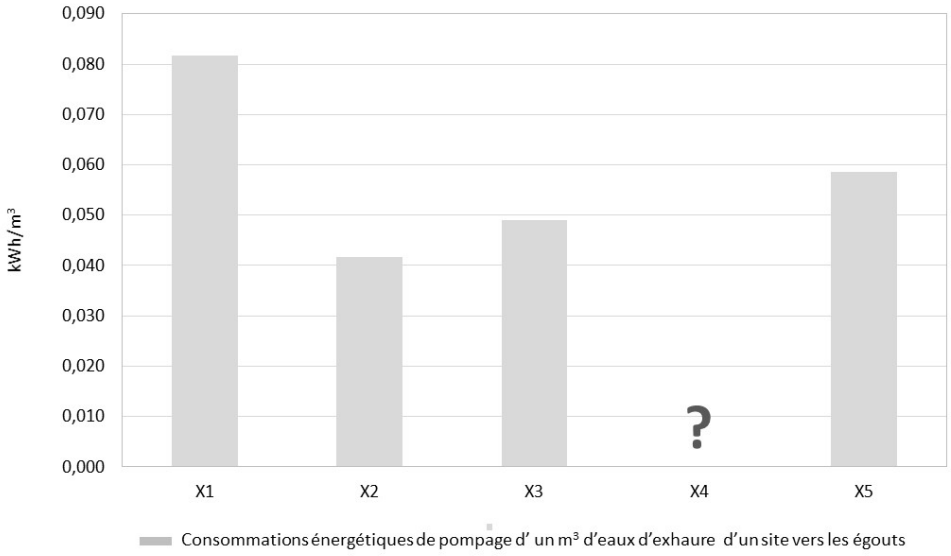


Figure 60 : Energie nécessaire au pompage des d'eaux d'exhaure vers les égouts sur cinq sites (kWh/m^3)

On constate que X1 a la consommation énergétique par m^3 pompé la plus élevée. Les différences constatées entre sites s'expliquent principalement par la profondeur de la bâche par rapport au rejet en égout. En effet, le X1 a la bâche la plus profonde par rapport au rejet en égout (de 18 m, *cf*. Tableau 55) et la consommation énergétique d'un m^3 pompé la plus importante. S'en suivent les sites X3 et X5 dont les bâches ont une profondeur similaire par rapport au rejet en égout (14 et 12 m). Enfin, X2 a la bâche moins profonde (9 m) et la consommation énergétique d'un m^3 la plus basse.

4.4.3.2 Injection dans le RENP

L'énergie d'injection des eaux d'exhaure dans le RENP, d'après la Figure 58, s'exprime comme suit :

$$E_{j,exh\rightarrow RENP} = E_{j,exh\rightarrow égouts} + E_{j,égouts\rightarrow RENP} \quad (33)$$

$E_{j,exh\rightarrow RENP}$: consommations énergétiques de pompage des eaux d'exhaure vers le RENP
$E_{j,exh\rightarrow égouts}$: consommations énergétiques de pompage des eaux d'exhaure vers les égouts
$E_{j,égouts\rightarrow RENP}$: consommations énergétiques de pompage des eaux d'exhaure depuis les égouts vers le RENP

Dans la suite, on estime la différence de consommations énergétiques entre la situation future et actuelle ($E_{j,égouts\rightarrow RENP}$). La H_{MT} associée à $E_{j,égouts\rightarrow RENP}$, notée $H_{MT,égouts\rightarrow RENP}$, se décompose comme suit :

$$H_{MT,égouts\rightarrow RENP} = H_{pdc} + H_{pres} + H_{géo,égout\rightarrow RENP} \quad (34)$$

H_{pdc} : pertes de charges liées au branchement vers le RENP
H_{pres} : pression du RENP en mce
$H_{géo,égouts\rightarrow RENP}$: surélévation du RENP par rapport au radier des égouts

$H_{géo,égoutd\rightarrow RENP}$ est estimée à une hauteur de 1,50m, suite aux échanges avec le pôle réseau d'EDP. Le calcul des H_{pdc} repose sur les mêmes hypothèses que pour le rejet en égout (*cf*. paragraphe 4.4.3.1).

Au sein d'un sous-réseau ENP, on estime que la hauteur piézométrique ne varie pas au sein d'un sous-réseau, en raison des maillages existants. Pour chaque site, la hauteur piézométrique est estimée à partir des capteurs de pression les plus proches des points de rejets d'eaux d'exhaure dans le même sous-réseau. Ces capteurs mesurent la hauteur piézométrique, telle qu'elle est définie dans la partie 4.2. Afin d'obtenir la pression du RENP à proximité d'un site, l'altitude du point de rejet mesuré par rapport au niveau de la mer est soustraite à la hauteur piézométrique mesurée par le capteur.
La Figure 61 présente l'ensemble des capteurs de pression superposés aux cinq sites d'eaux d'exhaure. Les capteurs de pression identifiés pour l'étude sont les capteurs les plus proches des sites ayant montré des valeurs cohérentes de juin à septembre pendant les années 2013, 2014 et 2015.

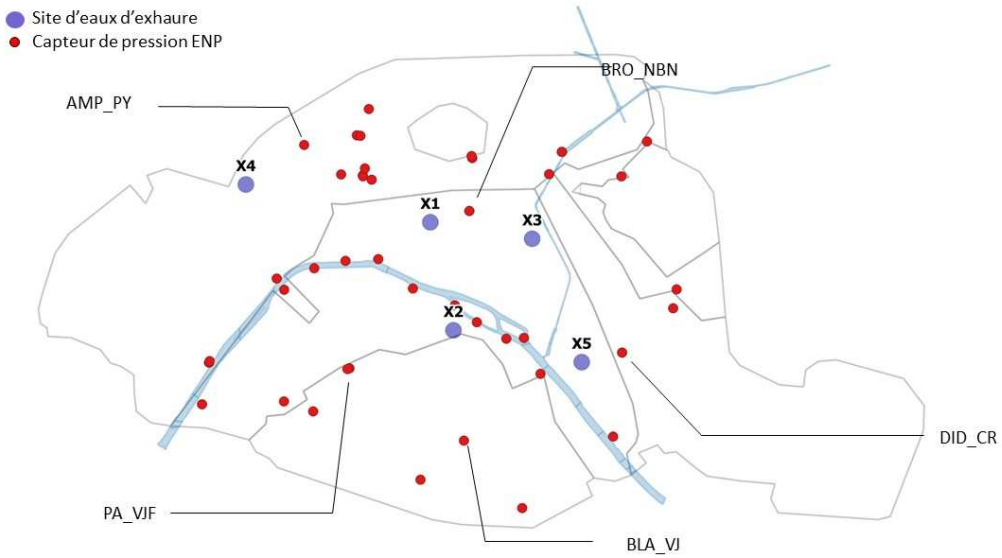


Figure 61 : Position des capteurs de pression du RENP pour les sites d'eaux d'exhaure

Le Tableau 60 présente, pour chaque site, le capteur de pression, la H_{pres} moyenne estimée de juin à septembre, et son écart-type.

Tableau 60 : Estimation de la pression du RENP pour l'injection des sites d'eaux d'exhaure

Site	Sous-réseau associé	Capteur pression	H_{pres} (moyenne)	H_{pres} (écart-type) N=366
X1	Bas Ourcq	BRONBN	15,0	1,43
X2	Villejuif	PA_VJF	47,0	0,77
X3	Bas Ourcq	BRONBN	11,9	1,43
X4	Passy	AMP_PY	28,1	2,25
X5	Charonne	DID_CR	38,3	1,13

On constate que les pressions estimées (en mce) varient fortement entre les sous-réseaux. Alors qu'elles sont particulièrement élevées pour le site X2 (sous-réseau Villejuif) et X5 (Charonne), elles sont comparativement plus faibles pour les sites X1 et X3 (tous deux du Bas Ourcq). Les variations de pression sur la période de temps calculée sont par contre plus fortes pour les deux sites X1 et X3. Ceci s'explique par la faible pression du sous-réseau Bas Ourcq, au sein duquel une variation de pression due aux usages (par exemple, le nettoyage des trottoirs) est en proportion plus importante que pour d'autres sous-réseaux (par exemple, Villejuif et Charonne, qui ont une pression comparativement plus élevée).

Résultats

Pour chaque site, les consommations énergétiques journalières de pompage depuis les égouts vers le RENP sont calculées à partir de la formule (34) comme ci-après :

$$E_{j,égouts\rightarrow RENP} = \frac{\rho \cdot g}{3{,}6 \cdot 10^6} \sum_{k=1}^{k=n} \left(H_{pres} + H_{géo\ égouts\rightarrow RENP} + H_{pdc,k}\right) \cdot Q_k \cdot t_k \tag{35}$$

k : pompe d'un site
H_{pres}: pression du RENP en mce
$H_{géo\ égouts\rightarrow RENP}$: surélévation du RENP par rapport au radier des égouts
$H_{pdc,k}$: pertes de charges liées au surplus de branchement vers le RENP pour une pompe k
Q_k : débit instantané d'une pompe k
t_k: temps de fonctionnement journalier d'une pompe k entre deux relevés

En analogie aux rejets en égout, la surconsommation énergétique d'un m^3 pompé dans le RENP (notée $E_{m,égouts\rightarrow RENP}$) s'exprime comme suit :

$$E_{m,égouts\rightarrow RENP} = \frac{E_{j,égouts\rightarrow RENP}}{\sum_{k=1}^{k=n} Q_k \cdot t_k} \quad (36)$$

Avant de comparer les $E_{m,égouts\rightarrow RENP}$ entre sites, il convient d'abord de réfléchir aux incertitudes de calcul associées. D'après la formule (35), le $E_{m,égouts\rightarrow RENP}$ fait intervenir à la fois la pression du RENP, la surélévation du RENP par rapport au radier des égouts, et la hauteur géométrique.
Concernant les pertes de charges, le manque de connaissance porte sur les caractéristiques (rugosité et linéaire) du branchement vers le RENP. Elles portent également sur la position des égouts, du rejet réel des eaux d'exhaure en égout, et de la conduite du RENP. Les incertitudes sur les positions ne peuvent être levées que par des visites en égout.
Concernant la surélévation de la conduite d'ENP par rapport au radier de l'égout, celle-ci peut varier en fonction de la taille des égouts parisiens. On estime qu'elle peut varier entre 0,5 et 1,5 m. On considère que l'incertitude associée ($\Delta H_{géo\ égout\rightarrow RENP}$) est de type B ; elle s'élève alors à 1/$\sqrt{3}$ m.
Enfin, des incertitudes portent également sur l'estimation de la pression du RENP à vaincre en mce. L'incertitude associée (ΔH_{pres}) est de type A ; elle est estimée à partir de l'écart-type des données journalières de pression de juin à septembre.

En se restreignant aux incertitudes sur la pression du RENP et la hauteur géométrique, les incertitudes sur le E_m d'un site ($\Delta E_{m,égouts\rightarrow RENP}$) s'expriment comme suit :

$$\Delta E_{m,égouts\rightarrow RENP} = \frac{\rho \cdot g}{3{,}6 \cdot 10^6} \sum_{k=1}^{k=n} \sqrt{\Delta H_{géo,k}{}^2 + \Delta H_{pdc,k}{}^2} \quad (37)$$

La Figure 62 présente les consommations énergétiques de pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure des égouts vers le RENP pour les cinq sites, en indiquant les intervalles de confiance estimés.

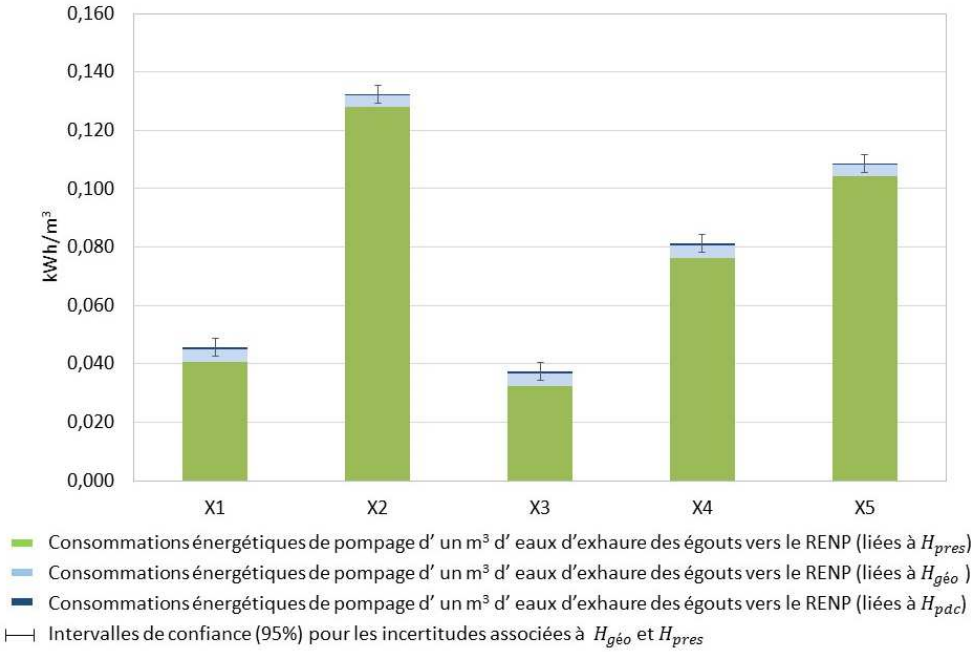


Figure 62 : Consommations énergétiques de pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure des égouts vers le RENP (kWh/m^3)

On constate que l'énergie nécessaire pour vaincre la pression du RENP et la surélévation du RENP par rapport aux égouts contribuent principalement aux consommations énergétiques de pompage des égouts vers le RENP. Même en tenant compte des intervalles de confiance, on constate que X1 et X3 sont les sites les plus intéressants énergétiquement, avec un E_m entre 0,034 kWh/m^3 et 0,049 kWh/m^3. X2, X4 et X5 ont un E_m comparativement plus élevé (entre 0,078 et 0,135 kWh/m^3).

La Figure 63 présente l'énergie de pompage d'un m^3 dans le RENP, avec ses deux composantes : l'énergie de pompage des eaux d'exhaure vers les égouts, et l'énergie de pompage des eaux d'exhaure des égouts vers le RENP.

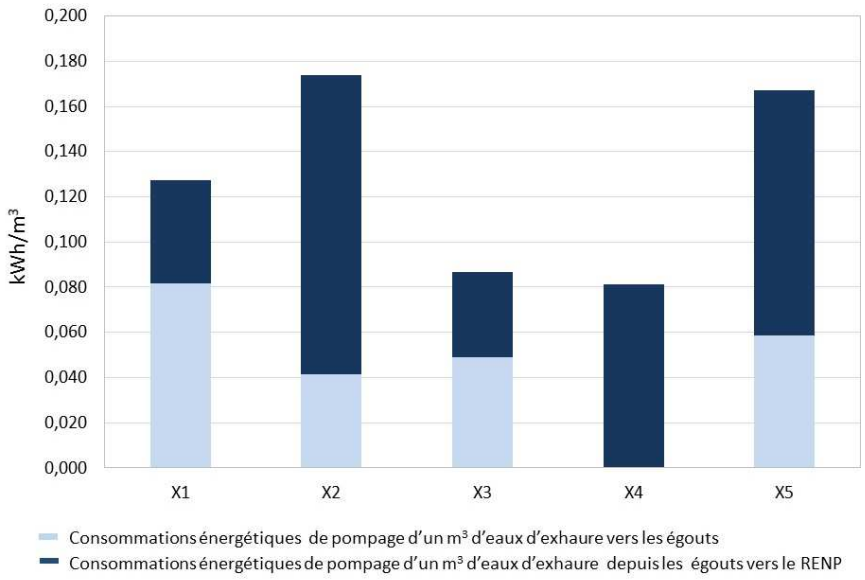


Figure 63 : Consommations énergétiques journalières de pompage d'un m³ d'eaux d'exhaure vers le RENP (kWh/m³)

D'après la Figure, les proportions de ces deux composantes varient fortement selon les sites. Pour un m³ de X1 et de X3, le surcoût de pompage des égouts vers le RENP est plus faible en proportion que le coût de pompage en égout. Inversement, pour un m³ de X2 et X5, le surcoût de pompage des égouts vers le RENP entre deux et trois fois le coût de pompage en égout.
Cette Figure met à nouveau en avant les sites X1 et X3 comme les sites plus intéressants du point de vue énergétique pour l'injection dans le RENP.

4.4.3.3 Impact sur le RENP

Les eaux d'exhaure introduites dans le RENP sont estimées à un volume total journalier de 4,91 10^3 m³/j et représentent 2% des volumes d'ENP mis en distribution dans les *scenarii*. Leur introduction dans le RENP entraîne une baisse des volumes d'ENP mis en distribution dans le RENP. Le Tableau 61 présente les diminutions des Q_j des liaisons de pompage du modèle. Sur l'ensemble des liaisons, les Q_j des liaisons diminuent entre 0 à 2% avec l'introduction des cinq sites d'eaux d'exhaure. En particulier, l'introduction des rejets de X2 entrainent une diminution de 2% des Q_j de la liaison Austerlitz(Ourcq) ->Villejuif.

Tableau 61 : Impact de l'introduction sur les Q_j des liaisons du modèle du *scenario* « Référence ».

Site	Q_i des eaux d'exhaure estimé à partir des relevés d'index (m3/j)	Sous-réseau	Liaison impactée par un moindre pompage	Q_j du site/Q_j de la liaison dans le *scenario* « référence »
X1	1 915	Bas Ourcq	pas d'impact	-
X2	918	Villejuif	Austerlitz(Ourcq) -> Villejuif	2%
X3	919	Bas Ourcq	pas d'impact	-
X4	768	Passy	La Villette-> Passy	2%
X5	389	Charonne	Austerlitz(Ourcq) ->Charonne	2%

Au vu du faible impact sur les volumes mis en distribution dans le RENP, l'impact sur les débits pompés total en Marne est estimé négligeable. Alors que $Q_{TB\rightarrow can}$ reste le même que dans le *scenario* « Référence », $Q_{TB\rightarrow can,ENP}$ est légèrement plus faible que dans le *scenario* « Référence », en raison de la baisse de prélèvement dans l'Ourcq pour le RENP.

Afin de comparer les eaux d'exhaure avec les eaux de rivières, on définit les Q_j et E_j de la ressource globale « exhaure ». On prend, pour le Q_j de l'ensemble des eaux exhaure, la somme des Q_j des cinq sites. De même, on prend, pour la E_j de l'ensemble des eaux exhaure, les surconsommations d'énergie de pompage des cinq sites depuis les égouts vers le RENP. Le E_m des eaux d'exhaure est le ratio entre E_j et Q_j. Le Tableau 62 compare les Q_j, E_j et E_m des eaux d'exhaure, de l'Ourcq et de la Seine.

Tableau 62 : Consommations énergétiques du scenario « Exhaure »

Ressource	Q_j (10^3m^3/j)	E_j (10^3kWh/j)	E_m (kWh/m^3)
Marne	57,4	7,33	0,128
Ourcq	121	10,8	0,089
Seine	35,4	6,2	0,176
Exhaure	4,91	0,348	0,071
Total :	219	24,6	0,113 (valeur pondérée)

On constate que les eaux d'exhaure représentent certes une part faible du Q_j total et de la E_j totale de pompage. Toutefois, le E_m des eaux d'exhaure est relativement proche de l'Ourcq. Il représente, par contre, près de la moitié du E_m de la Marne et de la Seine.

Il est important de souligner que les comparaisons énergétiques du pompage des eaux d'exhaure avec les eaux de rivières se font dans un contexte urbain. En effet, si on considère l'énergie de pompage d'eaux d'exhaure vers le RENP en comptabilisant

l'énergie de rejet en égout, les sites tels que X2 et X5 ont un E_m respectivement de 0,174 et 0,167 kWh/m^3, ce qui les rapproche beaucoup plus du E_m de la Seine. C'est donc le contexte de la ville qui rend les eaux d'exhaure intéressantes énergétiquement, car ces eaux nécessitent de toute façon d'être pompées vers les égouts.
L'énergie globale du *scenario* s'élève à 24,6 10^3 kWh/j, avec une consommation énergétique moyenne de pompage par m^3 de 0,113 kWh/m^3**.**

4.5 *Scenario* « Ourcq »

Ce *scenario* maintient l'injection des sites d'eaux d'exhaure, mais cette fois-ci intègre l'arrêt de l'usine d'Auteuil. D'autre part, un tronçon de la liaison La Villette->Passy à proximité du bassin de La Villette connaît une réduction de section de DN1250 à DN 1000 mm sur 3,98 km. Pour rappel, Auteuil produit 35,4 10^3 m^3/j dans le *scenario* «Référence» pour alimenter en eau de Seine la partie Ouest de Passy. Avec l'arrêt d'Auteuil, suite aux échanges avec les services d'ingénierie d'EDP, on estime que la partie Ouest du Passy est alimentée par :

- 17,4 10^3 m^3/j supplémentaires apportés par l'usine de la Villette
- 18,0 10^3 m^3/j supplémentaires apportés par l'usine d'Austerlitz (*via* la construction d'une nouvelle conduite appelée liaison « Rive Gauche-Rive Droite », nommée dans la suite RG-RD).

Ce *scenario* privilégie le prélèvement dans le Canal de l'Ourcq.

4.5.1 Choix du modèle hydraulique

La répartition des ressources mises en distribution vers les sous-réseaux est illustrée dans la Figure 64. Dans ce *scenario*, Austerlitz prélève l'eau en Seine et alimente Charonne. Austerlitz reçoit en même temps l'eau du canal de l'Ourcq par la conduite de fonçage, et la refoule vers Villejuif et une partie de Passy (*via* la liaison RG-RD). Ainsi, Charonne est alimenté par l'eau de Seine, au lieu du Canal de l'Ourcq, comme dans le *scenario* «Référence».

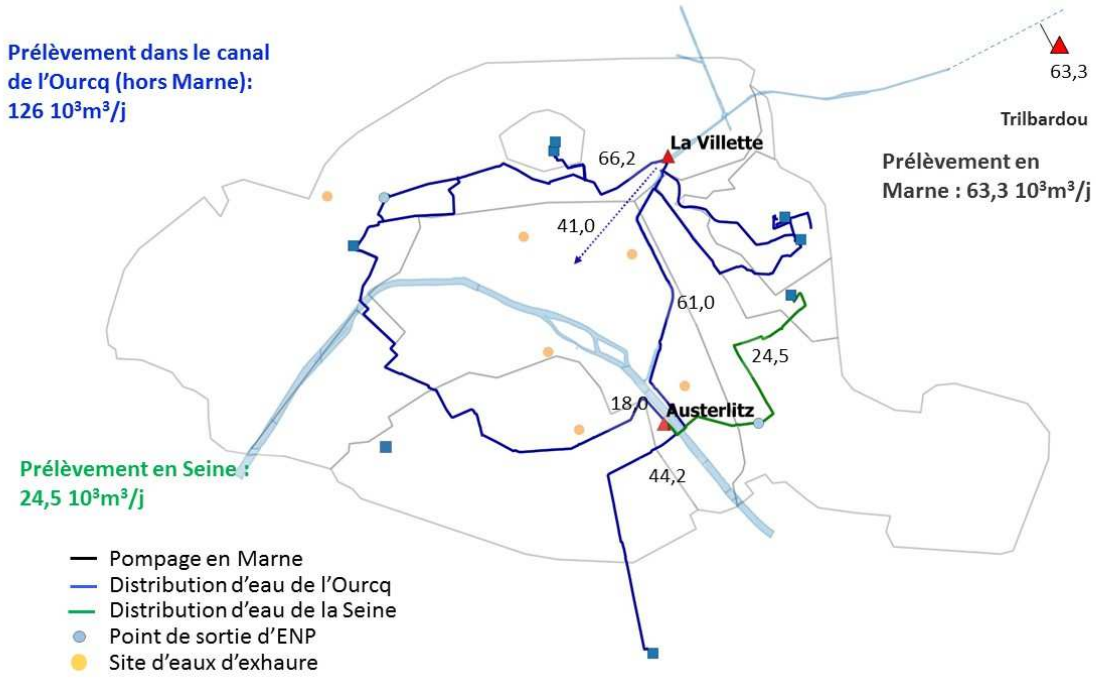


Figure 64 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Ourcq». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j

Dans le *scenario* « Ourcq », le débit prélevé à La Villette pour le RENP est supérieur au *scenario* « Exhaure» de 10,9 10^3 m^3/j. Cette modification peut impacter le fonctionnement du canal et donc les débits prélevés à Trilbardou. Or, les débits dans le canal de l'Ourcq sont régulés par le service des canaux : ils varient en fonction des usages du RENP, mais aussi en fonction des hauteurs minimales à maintenir pour la régulation des différents biefs du canal (*cf*. partie 3.1).

L'estimation des débits prélevés à Trilbardou pour l'ENP est discutée ci-dessous, avec l'identification de deux situations :

- Situation A : L'augmentation de $Q_{LV \to RENP}$ de 10,9 10^3 m^3/j est estimé négligeable devant le Q_{can} du *scenario* « Exhaure » (soit de 289 10^3 m^3/j). Q_{can} et $Q_{TB \to can}$ restent inchangés par rapport au *scenario* « Exhaure».
- Situation B : L'augmentation de $Q_{LV \to RENP}$ de 10.9 $10^3 m^3$/j engendre une augmentation de Q_{can} et de $Q_{TB \to can}$ de 10,9 10^3 m^3/j.

On estime que le fonctionnement réel du Canal est situé entre les situations A et B. Une situation intermédiaire est donc créée : Q_{can} et $Q_{TB \to can}$ augmentent de la moitié de 10,9 10^3 m^3/j, soit de 5,45 10^3 m^3/j. Le $Q_{TB \to can,ENP}$ estimé pour le *scenario* « Ourcq » s'élève à 63,3 10^3 m^3/j. Le Tableau 63 présente les étapes de calcul de $Q_{TB \to can,ENP}$.

Tableau 63 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Ourcq»

Débit (10^3 m³/j)	Situation A	Situation B	Situation intermédiaire
Q_{can}	289	300	294
$Q_{TB \rightarrow can}$	93,0	103,9	98,4
$Q_{TB \rightarrow can,ENP}$	60,9	65,6	63,3

4.5.2 Consommations énergétiques

La Figure 68 indique les $H_{géo}$ et les H_{pdc} des liaisons du modèle pour le *scenario* «Ourcq».

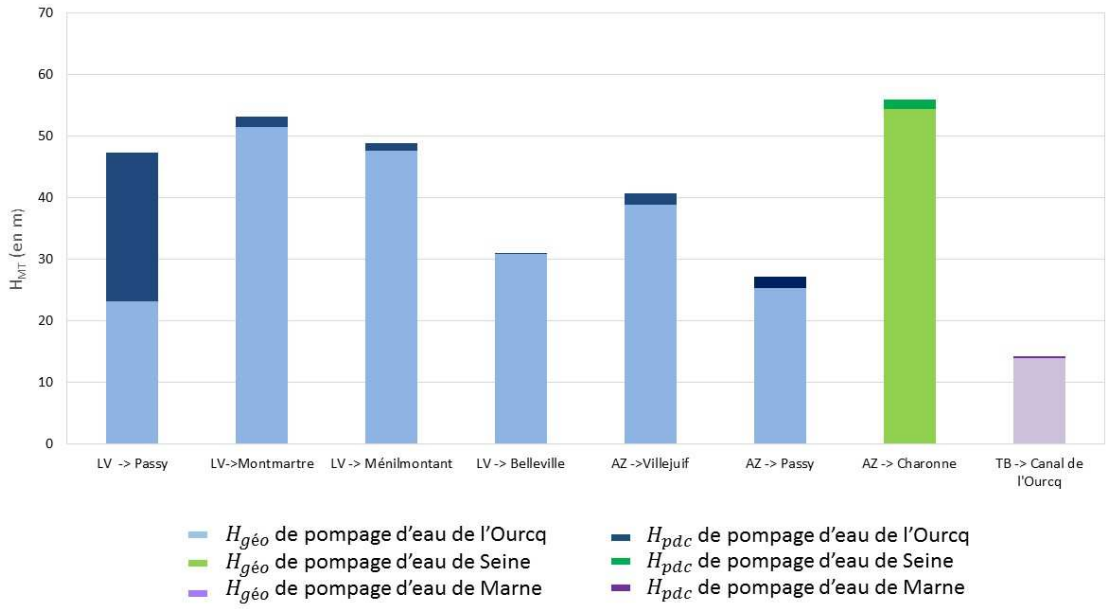


Figure 65 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Ourcq». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou

D'après la Figure, les H_{pdc} représentent entre 0 et 7% des H_{MT} de pompage de l'ensemble des liaisons, hormis pour la liaison La Villette -> Passy (51%). Pour cette liaison, ceci s'explique par l'augmentation du Q_j refoulé, mais aussi par la réduction de section sur un tronçon de cette liaison. La Figure 66 illustre la répartition des H_{pdc} le long de la liaison La Villette->Passy. On constate que les pertes de charges augmentent en sortie de l'usine de la Villette, lorsque l'ENP circule dans les conduites en parallèle DN600mm et DN400mm.

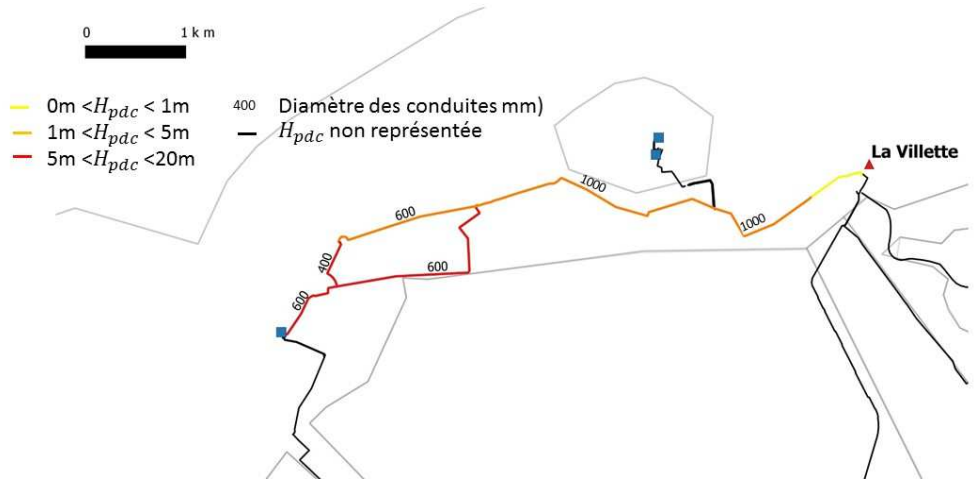


Figure 66 : Répartition des H_{pdc} sur la liaison La Villette-> Passy pour le *scenario* «Ourcq»

Les consommations énergétiques sont présentées par ressource dans le Tableau 64. Les Q_j et E_j de la Seine correspondent respectivement aux Q_j et E_j de pompage d'Austerlitz vers Charonne.
Le Q_j et E_j de la Marne correspondent, au Q_j de la Marne pompé à Trilbardou qui arrive à La Villette, puis qui est mise en distribution dans le RENP. Enfin, le Q_j de l'Ourcq correspond à l'ENP produite par La Villette, auquel on retire le Q_j de la Marne. Son E_j est l'énergie de pompage du Q_j de l'Ourcq vers le RENP.

Tableau 64 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Ourcq »

Ressource	Q_j (10³m³/j)	E_j (10³kWh/j)	E_m (kWh/m³)
Marne	63,3	8,70	0,137
Ourcq	126	12,3	0,098
Seine	24,5	3,7	0,152
Exhaure	4,91	0,348	0,071
Total	219	25,1	0,115 (valeur pondérée)

D'après ce Tableau, les E_j de l'Ourcq et de la Marne représentent la majorité (65 %) de la E_j totale. Le E_m de la Seine est supérieur à celui de l'Ourcq et de la Marne : en effet, la H_{MT} de pompage Austerlitz vers Charonne est supérieure aux H_{MT} de pompage en Marne et de pompage vers le RENP.
La E_j des eaux d'exhaure représente une part négligeable (<1%) de la E_j totale. Le E_m des eaux d'exhaure est relativement proche de l'Ourcq. Par contre, elle représente près de la moitié du E_m de la Marne et de la Seine. La ressource la plus intéressante énergétiquement est l'eau d'exhaure, suivie ensuite de l'Ourcq. L'énergie globale du

scenario s'élève à 25,1 10^3 kWh/j, avec une consommation énergétique moyenne de pompage par m^3 de 0,115 kWh/m^3.

4.6 *Scenario* « Seine »

Ce *scenario* intègre également l'introduction des eaux d'exhaure et l'arrêt d'Auteuil et il reprend certaines hypothèses du *scenario* « Ourcq » :

- l'alimentation de la partie Ouest de Passy par les usines de La Villette et d'Austerlitz
- la réduction de section d'une partie de la liaison La Villette→Passy de DN1250 à DN1000mm.

Ce *scenario* privilégie le prélèvement en eau de Seine.

4.6.1 Choix du modèle hydraulique

Dans le *scenario* «Seine», Austerlitz prélève en Seine pour alimenter Charonne, Villejuif, et la partie Ouest de Passy (*via* la liaison RG-RD). La répartition des ressources mises en distribution dans les sous-réseaux est illustrée dans la Figure 67.

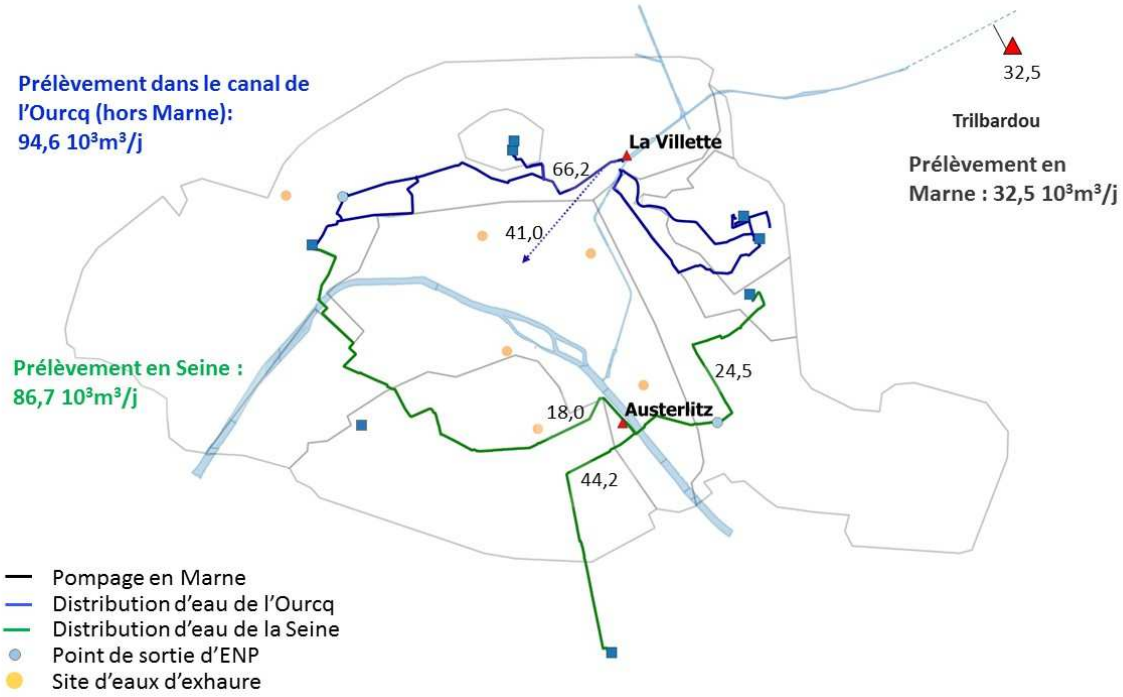


Figure 67 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* «Seine »

Dans le *scenario* «Seine», on prélève au canal de l'Ourcq un Q_j inférieur au *scenario* «Exhaure» de 51,3 10^3 m^3/j. En analogie au *scenario* « Ourcq », deux situations sont identifiées :

- Situation A : La diminution de $Q_{LV \rightarrow RENP}$ de 51,3 10^3 m^3/j est estimée négligeable devant le Q_{can} du *scenario* « exhaure » (soit de 289 $10^3 m^3$/j). Q_{can} et $Q_{TB \rightarrow can}$ restent inchangés par rapport au *scenario* « exhaure».
- Situation B : La diminution de 51,3 10^3 m^3/j engendre une diminution de Q_{can} et de $Q_{TB \rightarrow can}$ de 51,3 $10^3 m^3$/j.

Pour les calculs énergétiques, une situation intermédiaire est établie en analogie avec le *scenario* Ourcq : Q_{can} et $Q_{TB \rightarrow can}$ baissent de la moitié de 51,3 10^3 m^3/j, soit de 25,6 10^3 m^3/j. Le Tableau 65 présente les étapes de calcul de $Q_{TB \rightarrow can,ENP}$.

Tableau 65 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Seine»

Débit (10^3 m^3/j)	Situation A	Situation B	Situation intermédiaire
Q_{can}	289	238	263
$Q_{TB \rightarrow can}$	93,0	41,7	67,4
$Q_{TB \rightarrow can,ENP}$	40,9	22,3	32,5

4.6.2 Consommations énergétiques

La Figure 68 présente les $H_{géo}$ et les H_{pdc} des liaisons du modèle pour le *scenario* «Seine». Les H_{pdc} représentent entre 0 et 7% des H_{MT} de pompage, hormis pour la liaison La Villette-> Passy. Cette liaison reste inchangée par rapport au scenario «Ourcq».

Nous notons que les H_{pdc} jouent ainsi un rôle important dans la comparaison des H_{MT} des liaisons, notamment lorsqu'on considère les liaisons La Villette -> Passy et Austerlitz -> Passy. La liaison La Villette -> Passy a certes une $H_{géo}$ légèrement inférieure à celle de la liaison Austerlitz (Seine) -> Passy, mais sa H_{pdc} est comparativement bien plus élevée. Ainsi, la H_{MT} de la liaison La Villette -> Passy est supérieure à celle de Austerlitz -> Passy.

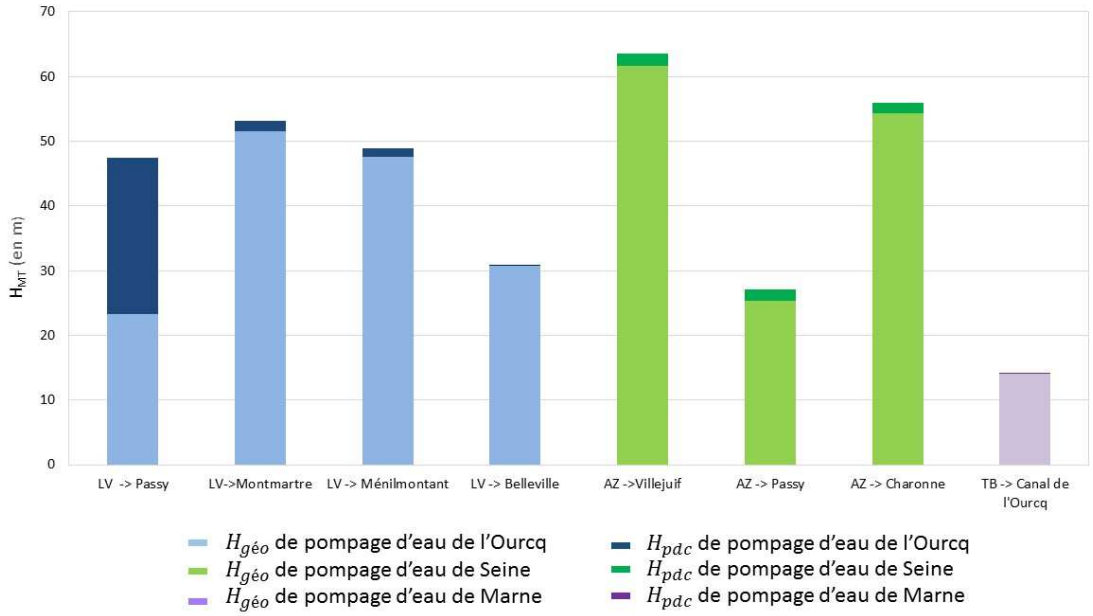


Figure 68 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Seine». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB :Trilbardou

Les consommations énergétiques sont présentées par ressource dans le Tableau 66. Le Q_j et E_j de la Seine correspondent respectivement aux Q_j et E_j de pompage d'Austerlitz vers Charonne, Villejuif et Passy (*via* la liaison RG-RD). Le Q_j et E_j de la Marne correspondent au Q_j de la Marne pompé à Trilbardou qui arrive à La Villette, puis qui est mise en distribution dans le RENP.
Enfin, le Q_j de l'Ourcq correspond à l'ENP produite par La Villette, auquel on retire le Q_j de la Marne. Son E_j est l'énergie de pompage de ce volume vers le RENP.

Tableau 66 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Seine»

Ressource	Q_j ($10^3 m^3/j$)	E_j (10^3kWh/j)	E_m (kWh/m^3)
Marne	32,5	4,73	0,146
Ourcq	94,6	10,1	0,107
Seine	86,7	12,7	0,147
Exhaure	4,91	0,348	0,071
Total	219	27,9	0,128 (valeur pondérée)

Les E_j de l'Ourcq et de la Marne représentent un peu plus de la moitié (53%) de la E_j totale. Le E_m de la Seine reste supérieur à celui de l'Ourcq : en effet, les H_{MT} des liaisons Austerlitz (Seine) -> Villejuif et Austerlitz (Seine) -> Charonne sont supérieures aux autres H_{MT} des liaisons de pompage de l'Ourcq vers le RENP. Le E_m de la Seine est par contre, dans ce *scenario*, similaire au E_m de la Marne. Les eaux d'exhaure représentent près de 50% des E_m de la Seine et de la Marne, et 66% du E_m de l'Ourcq.

La ressource la plus intéressante énergétiquement est l'eau d'exhaure, suivie ensuite de l'Ourcq. L'énergie globale du *scenario* s'élève à 27,9 10^3 kWh/j, avec une consommation énergétique moyenne de pompage par m^3 de 0,128 kWh/m^3.

4.7 *Scenario* «Eaux usées traitées»

Le *scenario* «Eaux usées traitées» reprend le *scenario* «Seine» en étudiant de manière prospective l'introduction des eaux usées traitées d'une STEP vers le RENP.

4.7.1 Choix d'injection possibles

Pour rappel, les STEP sont gérées par le SIAAP et situées hors de Paris. La réutilisation des effluents traités pour le RENP consiste donc à les acheminer vers le RENP *via* une conduite de pompage. Nous considérerons uniquement les STEP identifiées à moins de 10 km du RENP, soit Marne Aval (à Noisy-le-Grand), Seine Centre (à Colombes), Seine amont (à Valenton) et Seine Morée (à Blanc Mesnil).

Deux critères sont définis pour le choix de la STEP : la qualité et les consommations énergétiques journalières.
Le Tableau 44 présenté dans la partie 3.3.4. compare la qualité des eaux usées en sortie de STEP avec les seuils de qualité fixé par l'arrêté du 25 juin 2014 pour l'irrigation des espaces verts ouverts au public. Sur les données disponibles, il est apparu que seule Seine Morée respecte les seuils de l'arrêté.

Cependant, la qualité actuelle des effluents traités peut évoluer les années à venir, en fonction des évolutions possibles de la règlementation ou des technologies de traitement des STEP. Le critère de la qualité ne peut donc seul suffire pour le choix de la STEP pour ce *scenario* essentiellement prospectif. On intègre donc, dans le choix des STEP, un critère porté sur les consommations énergétiques de transport de ces eaux vers le RENP.
Dans ce *scenario*, les eaux usées traitées sont acheminées vers le RENP par une conduite de diamètre DN400mm. Le choix de ce diamètre est justifié par plusieurs raisons.
Tout d'abord, le diamètre maximal le plus fréquemment rencontré à la périphérie du RENP (boulevard des Maréchaux) et à proximité du bassin de la Villette est de 400mm. En analogie à l'étude de l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP (*cf*. paragraphe 4.4.2), on considère qu'une conduite de pompage d'eaux usées traitées DN400mm peut se raccorder à une conduite ENP de DN400mm.
Des points d'injection autres qu'une conduite DN400mm seront envisagés dans l'étude : le Canal de l'Ourcq et le Bassin de la Villette (pour Seine Morée), le lac de Gravelle du Bois de Boulogne (pour Marne Aval), l'usine d'Austerlitz et le réservoir de Villejuif (pour Seine Amont). On estime que le raccordement à une conduite ENP DN400m induit des limitations de débit plus importantes que pour les autres points d'injection.

Par ailleurs, le diamètre de 400mm permet d'avoir un large choix de réseaux assainissement dans lesquels l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées peut être étudiée. En effet, la pose d'une conduite dans une galerie ou réseau existant est plus simple et moins coûteuse que la pose d'une conduite enterrée.
Pour cela, l'insertion d'une conduite dans un réseau existant nécessite de maintenir une hauteur minimale permettant la circulation des égoutiers. Il n'existe pas de règlementation qui définit la hauteur minimale des égouts pour permettre le passage des égoutiers[38]. Suite aux échanges avec le pôle réseau d'EDP, la hauteur minimale de passage en égouts est estimée à 1,60m (*cf*. Figure 69). L'insertion d'une conduite DN400mm, en tenant compte de son diamètre extérieur et des supports environnants, revient à une diminution de la hauteur de 0,45 m. Ainsi on considère uniquement les réseaux avec une hauteur minimale de 2,10 m pour l'étude d'une insertion de conduite DN400mm.

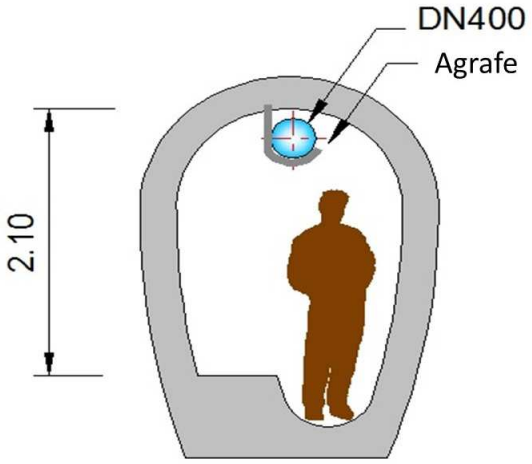


Figure 69 : Hauteur minimale des réseaux assainissements pour la pose d'une conduite eaux usées traitées

Avec une vitesse maximale dans la conduite de pompage d'eaux usées traitées fixée à 1,5 m/s, le volume journalier d'injection maximal est estimé à 16,3 10^3 m^3/j. Ce volume reste le même pour chaque STEP afin de pouvoir comparer les consommations énergétiques de chaque liaison envisagée.
Concernant la STEP Marne Aval, le seul point d'injection envisagé est le lac de Gravelle. Comme vu dans le chapitre 2, le lac de Gravelle est le point haut du Bois de Vincennes. Dans la configuration actuelle du réseau ENP du Bois, ce lac ne suffit pas à alimenter à lui le seul le Bois de Vincennes, ce dernier étant aussi desservi par le Lac des Minimes.
Avec des adaptations du réseau ENP intérieur du Bois, on peut cependant estimer qu'alimenter le lac de Gravelle reviendrait à alimenter l'intégralité du Bois. Les volumes mesurés en entrée du bois de Vincennes s'élèvent à 10,9 10^3 m^3/j sur la période de

[38] En complément d'information, la VDP demande à Eau de Paris de laisser une hauteur de 1.80 m lors d'une pose de conduite dans un égout. Les agents d'Eau de Paris considèrent qu'un égout est visitable avec une hauteur minimale de 800 mm.

juin à septembre sur les années 2013, 2014 et 2015. Le débit des eaux usées pour le *scenario* « Eaux usées traitées » est ainsi ajusté à 10,9 10^3 m^3/j.

Tracé des conduites d'eaux usées traitées

Le tracé des conduites d'eaux usées traitées dépend des conditions de pose des conduites : insertion d'une conduite d'eaux usées traitées dans une galerie ou réseau existant, pose d'une conduite enterrée, fixation d'une conduite sous un pont (en cas de traversée d'un cours d'eau).
Les réseaux d'assainissement identifiés pour l'étude d'une insertion d'une conduite DN400mm sont choisis selon deux critères. Le premier critère porte sur la hauteur minimale de 1,60 m à maintenir pour permettre le passage en égout. Le deuxième critère porte sur l'impact de l'insertion de la conduite DN400mm sur le fonctionnement hydraulique de la conduite utilisée. Ce deuxième critère ne pouvant être évalué précisément que par une modélisation hydraulique, on sollicite l'expertise des gestionnaires des réseaux assainissement visitables, afin d'identifier les réseaux actuellement fortement en charge en temps de pluie.

Les données cartographiques des réseaux assainissement concernés par les différentes STEP sont récupérées auprès des Conseils Départementaux des Hauts-de-Seine (92), Seine-Saint-Denis (93), Val-de-Marne (94) et le SIAAP. Des rencontres sont ensuite organisées avec les services appropriés.

Pour chaque STEP, différents tracés sont identifiés, puis comparés *via* les consommations énergétiques de pompage. L'énergie nécessaire au pompage doit tout d'abord vaincre le dénivelé et les pertes de charges liées à la conduite. Elle doit également permettre la mise en distribution de l'eau usée traitée du RENP ; ainsi elle dépend du point d'injection :

- si le point d'injection est le lac de Gravelle, l'eau ne nécessite pas d'arriver sous pression car elle arrive directement à un usage de l'ENP
- si le point d'injection est une conduite d'ENP, l'énergie doit vaincre la pression du RENP
- si le point d'injection est une usine, l'énergie doit inclure le pompage de cette usine vers le RENP.

Le Q_j des liaisons étant constant, on compare les consommations énergétiques d'un m^3 pompé. Le E_m d'une liaison s'exprime comme suit :

$$E_m = \frac{\rho \cdot g}{3{,}6 \cdot 10^6}(H_{géo} + H_{pdc} + A) \quad (38)$$

$H_{géo}$: hauteur géométrique entre le rejet de la STEP et le point d'injection dans le RENP en m
H_{pdc}: pertes de charges liées à la conduite DN400mm en m
A : terme variable en fonction du point d'injection dans le RENP en m

Les données d'altimétrie sont estimées grâce à Géoportail ou aux données propres aux ouvrages (ex : trop-plein du réservoir de Villejuif). Les linéaires des conduites d'eaux usées traitées sont estimés sur Qgis à partir des cartes IGN.
On calcule les H_{pdc} linéaires grâce à la formule Lechapt et Calmon, et on les augmente de 10% afin d'intégrer les H_{pdc} singulières.
Lorsque le point d'injection est une conduite du RENP, la pression du RENP est évaluée à partir des capteurs de pression ENP. Lorsque le point d'injection est une usine d'ENP, on reprend les consommations énergétiques d'un m^3 pompé estimé dans le *scenario* « Seine » (*cf*. Tableau 66). Le Tableau 67 indique les coefficients de rugosité en fonction des matériaux et conditions de pose choisis.

Tableau 67 : Matériau des conduites d'eaux usées traitées en fonction des conditions de pose (Amiantit 2015; Lencastre 1995; Weber 1998)

Configuration de pose	Matériau	Raison du choix	Coefficient de rugosité choisi (mm)
Enterrée ou fixée sous un pont	Fonte ductile (fonte revêtue ciment)	Résistance face aux charges importantes due à la profondeur ou au trafic routier	0,5
Posé dans un réseau existant	Polyester Renforcé de fibres de Verre	Résistance à un environnement agressif	0,025

Marne Aval

Le lac de Gravelle du Bois de Vincennes a été choisi comme point d'injection le plus approprié du point de vue hydraulique pour la STEP Marne Aval. Les réseaux assainissements identifiés pour la pose d'une conduite DN400mm sont gérés par le CD94 pour le compte du SIAAP. La Figure 70 et le Tableau 68 récapitulent les remarques formulées par le CD94 pour les tracés identifiés.

Sur la Figure 70, deux tracés ont été identifiés. Le tracé A part directement de Marne Aval puis longe la Marne pour rejoindre la galerie de l'ancienne prise en eau brute de Marne de l'usine de Joinville. La conduite eaux usées traitées se raccorde à une conduite d'ENP DN500mm existante pour alimenter le lac de Gravelle.
Le tracé B part du rejet effectif de la STEP en Marne. La conduite enterrée traverse ensuite le pont de Champigny, puis longe le bord de la Marne. Elle est ensuite insérée dans la galerie de l'ancienne prise en eau brute en Marne de l'usine de Joinville.

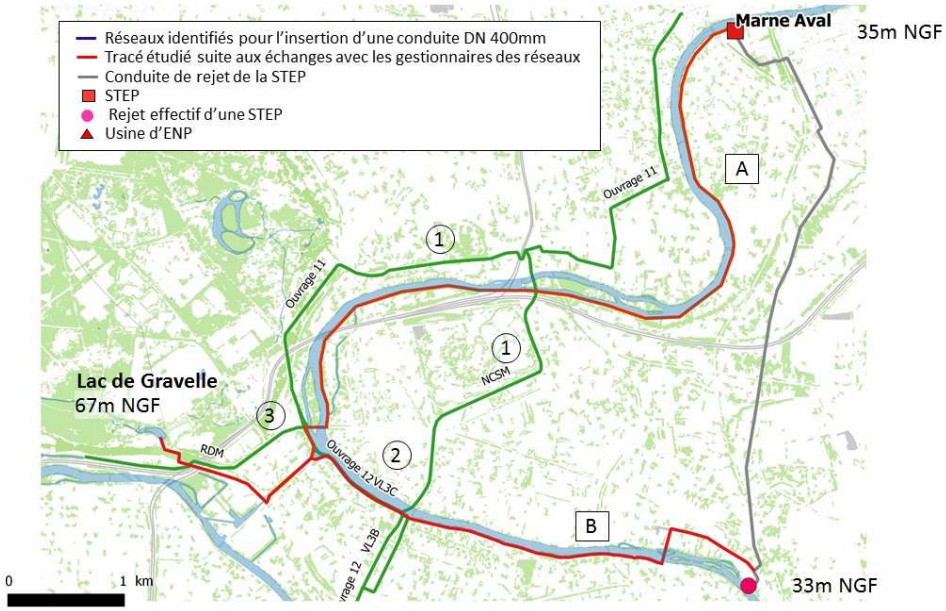


Figure 70 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées de Marne Aval. D'après BDTOPO (2013)

Tableau 68 : Remarques du CD 94 sur les tracés identifiés pour Marne Aval

Tracé	Remarques sur les réseaux identifiés
1	Le NCSM et l'ouvrage 11 appartiennent au SIAAP et sont gérés par le CD 94. Le NCSM a été construit pour délester l'ouvrage 11. Ainsi le CD94 ne renonce pas à la capacité de ces deux ouvrages.
2	Les ouvrages 12 et VL3 appartiennent au SIAAP et sont gérés par le CD94. L'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées dans le VL3 est exclue. Le fonctionnement hydraulique des VL représente moins un obstacle que l'accès difficile aux collecteurs et les possibilités de chômage (pour la pose de la conduite d'eaux usées traitées, et son éventuel entretien). Le tronçon considéré de l'ouvrage 12 longe la Marne. Sa pente, sensiblement similaire à celle de la Marne, est donc faible. Toute réduction de sa section peut entraîner des déversements en milieu naturel en temps de pluie.
3	Le RDM appartient au SIAAP et est géré par le CD94. Ce collecteur longe la Marne. Sa pente, sensiblement similaire à celle de la Marne, est faible. Toute réduction de sa section peut entraîner des déversements en milieu naturel.

La Figure 71 compare les E_m des deux tracés. Le E_m du tracé A est supérieur à celui du tracé B de 16%. Ceci s'explique principalement par la différence de linéaire de la conduite (9,39 km pour le tracé A et 6,21 km pour le tracé B), qui génère des pertes de charges plus importantes pour le tracé A. On choisit donc le tracé B qui consiste à acheminer les eaux usées traitées à partir du rejet effectif de Marne Aval.

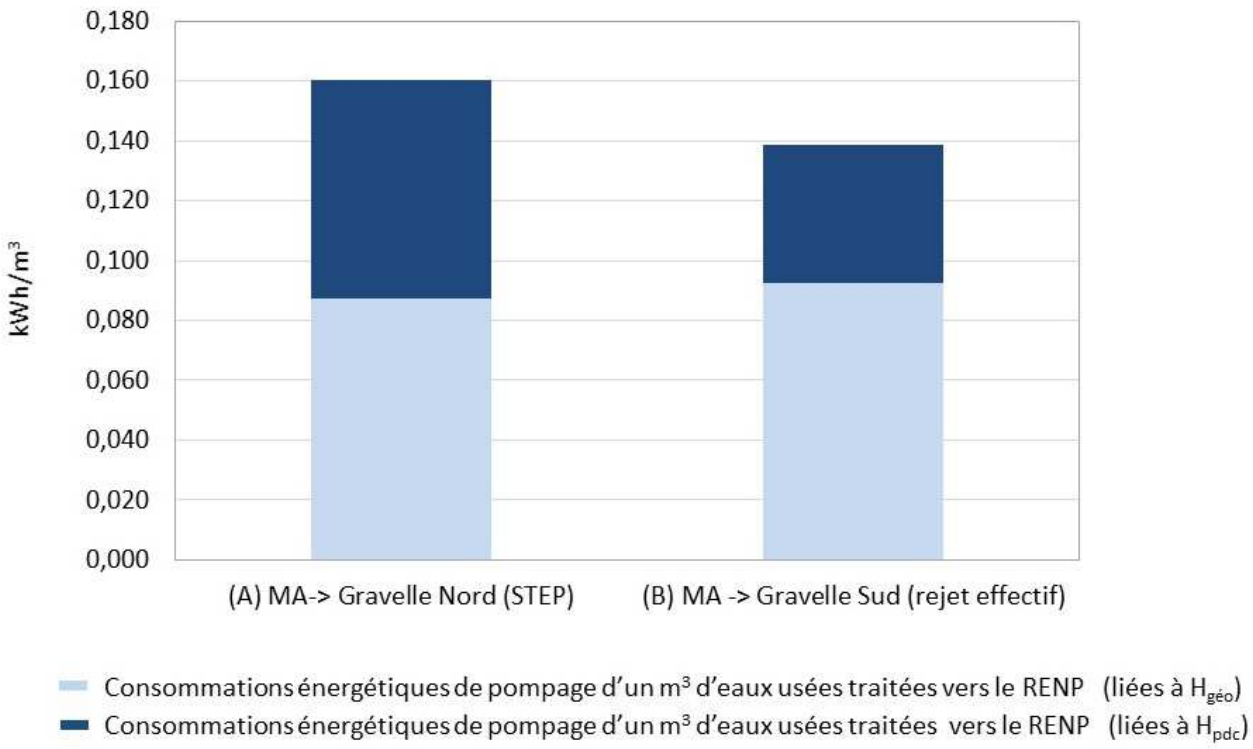


Figure 71 : Consommation énergétique de pompage d'un m³ d'eaux usées traitées de Marne Aval vers le RENP selon deux tracés (kWh/m³)

Seine Centre

Le point d'injection des eaux usées traitées de Seine Centre dans le RENP est une conduite DN400mm du RENP dans le 17e arrondissement, dans le quartier des Batignolles. Les réseaux assainissements identifiés par la pose d'une conduite d'eaux usées traitées sont gérés par le SIAAP et la VDP. La Figure 72 et le Tableau 69 présentent les remarques formulées par le SIAAP et la VDP sur les différents réseaux identifiés.

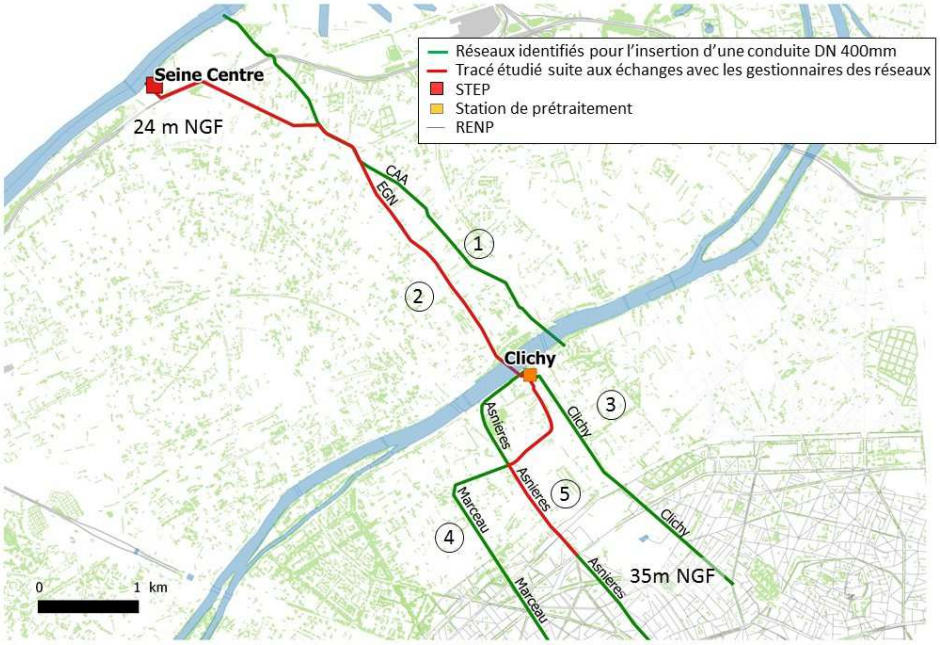


Figure 72 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées issues de Seine Centre. D'après BDTOPO (2013)

Tableau 69 : Remarques du SIAAP et de la VDP sur les tracés identifiés pour Seine Centre

Points	Gestionnaire rencontré	Remarques sur les réseaux identifiés
1	SIAAP	Le collecteur Clichy Achères Branche d'Argenteuil (CAA) ne comporte pas de vanne sur le tronçon étudié du collecteur CAA, toutefois la chambre d'arrivée du siphon est difficile à franchir.
2	SIAAP	Le collecteur Emissaire Général Nord (EGN) ne comporte pas de chambre de vanne complexe, l'insertion d'une conduite nécessite des investigations complémentaires.
3	VDP	Le collecteur Clichy est déjà fortement en charge en temps de pluie.
4	VDP	Le collecteur Marceau est également fortement en charge en temps de pluie, surtout jusqu'au confluent avec le collecteur d'Asnières.
5	VDP	Le collecteur Asnières est également saturé après le déversoir du collecteur Marceau vers le collecteur d'Asnières, mais il reste le moins sollicité des trois collecteurs gérés par la VDP.

La Figure 73 présente le E_m de pompage estimé du tracé identifié. Le tracé consiste, en sortie d'usine Seine Centre, à insérer une conduite d'eaux usées traitées dans le

collecteur EGN jusqu'à l'usine de prétraitement Clichy. La conduite est insérée dans le collecteur Marceau, puis dans le collecteur d'Asnières. Elle est raccordée ensuite à une conduite du RENP. La pression du RENP à proximité de la conduite est estimée à partir du capteur de pression AMP-PY (illustré dans la Figure 61), avec l'hypothèse d'une même hauteur piézométrique dans le sous-réseau Passy.

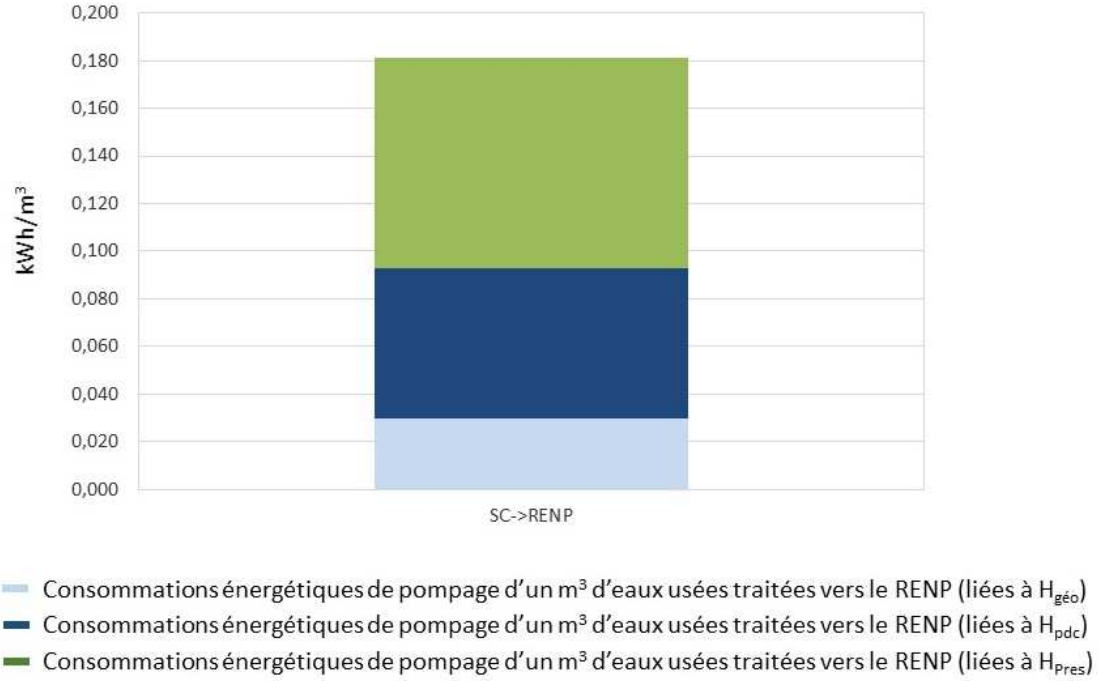


Figure 73 : Consommation énergétique de pompage d'un m³ d'eaux usées traitées de Seine Centre vers le RENP (kWh/m³)

Seine Amont

Il existe plusieurs points d'injection possibles des eaux usées traitées issue de Seine Amont dans le RENP : conduite du RENP, le réservoir de Villejuif, et Austerlitz. Les réseaux assainissements identifiés par la pose d'une conduite eaux usées traitées sont gérés par le SIAAP ou par le CD94. La Figure 74 et le Tableau 70 présentent les tracés et les remarques formulées par le CD94 et le SIAAP sur les réseaux identifiés. Sur la Figure 74, quatre tracés ont été envisagés :

- Tracé A : la conduite traverse la Seine puis est insérée dans l'émissaire VL10 du SIAAP pour rejoindre le réservoir Villejuif
- Tracé B : la conduite traverse la Seine, longe la Seine (rive gauche), puis est insérée dans une conduite DN800mm actuellement non utilisée dans le RENP, pour ensuite rejoindre le RENP.
- Tracé C : la conduite enterrée longe la Seine (rive gauche) jusqu'à une conduite phi400
- Tracé D : la conduite enterrée longe la Seine (rive gauche) jusqu'à Austerlitz

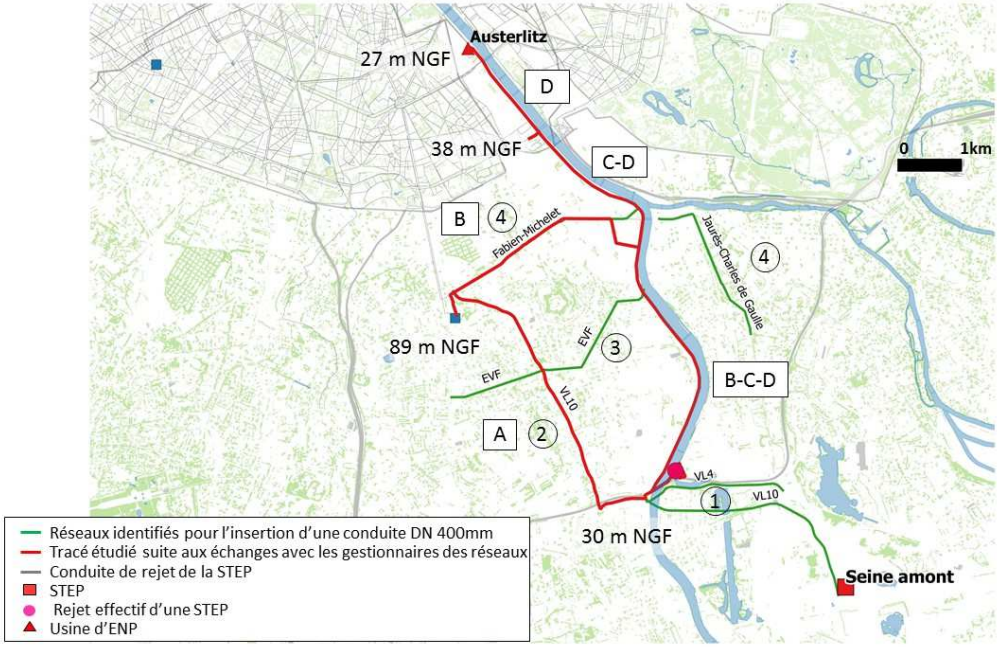
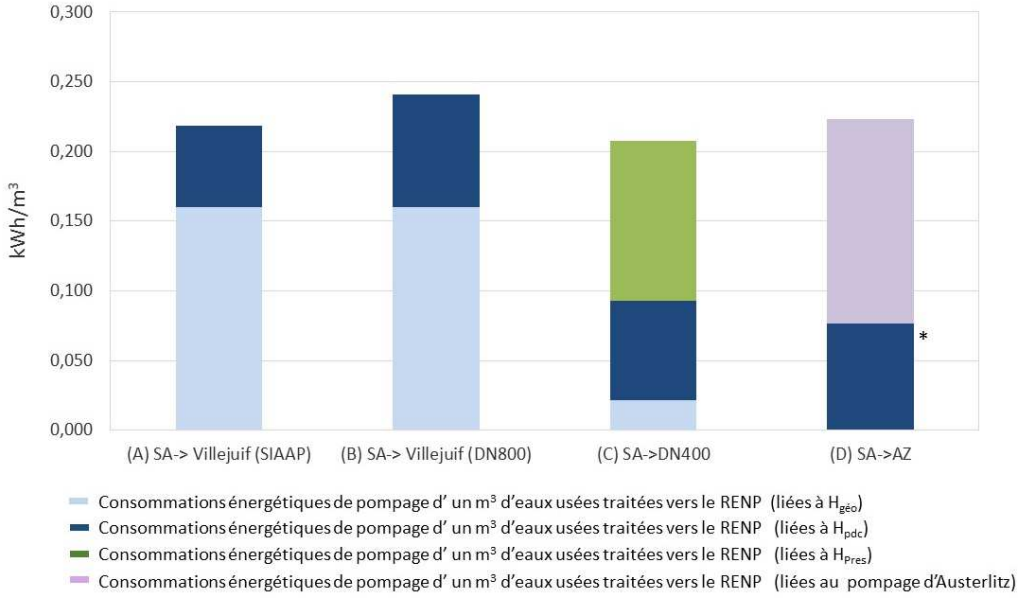


Figure 74 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées de Seine Amont. D'après BDTOPO (2013)

Tableau 70 : Remarques du SIAAP et du CD94 sur les tracés identifiés pour Seine Amont

Tracé	Gestionnaire rencontré	Remarques sur les réseaux identifiés
1	CG94	Le VL4 appartient au SIAAP et est géré par la DSEA. Le fonctionnement hydraulique des VL représente moins un obstacle que l'accès difficile aux collecteurs et les possibilités de chômage (pour la pose de la conduite d'eaux usées traitées, et son éventuel entretien). D'autre part, toute fuite d'une conduite d'eaux usées traitées dans les VL déclencherait un apport d'eaux claires néfaste au fonctionnement des STEP.
2	SIAAP	L'émissaire La Villette10 appartient au SIAAP et est géré par le SIAAP. Il joue un rôle de lutte contre les inondations, ainsi un débit minimal de 16 m^3/s doit être maintenu. L'insertion d'une conduite nécessite des investigations complémentaires
3	CD94	L'EVF appartient au SIAAP et est géré par la DSEA. La DSEA n'exclue pas en première analyse le tronçon à l'aval de la place Jean-Martin à Vitry. Toutefois ce tronçon n'est pas pour autant exempt de problèmes (notamment dans le remous de la Seine) et le pronostic sur la faisabilité d'une telle mise en place est donc mauvais.
4	CD94	Ces collecteurs appartiennent au CD94. Ce tracé n'est pas exclu en première analyse, des investigations complémentaires sont nécessaires.

La Figure 75 présente les E_m des quatre tracés identifiés. On constate que les E_m ne se différencient pas par les pertes de charges, mais par le dénivelé et la mise en distribution dans le réseau. Le tracé C, reliant le rejet effectif de Seine Amont à la conduite DN400mm a le E_m le plus faible. Il est donc la liaison envisagée pour Seine Amont.



* Afin de comparer chaque liaison, les calculs de pertes pour la liaison SA-AZ tiennent compte du dénivelé gravitaire

Figure 75 : Consommation énergétique de pompage d'un m³ d'eaux usées traitées de Seine Amont vers le RENP selon quatre tracés (kWh/m³). SA : Seine Amont, AZ : Austerlitz

Seine Morée

Deux points d'injection pour les eaux usées traitées de la STEP Seine Morée sont possibles : l'usine de la Villette et le canal de l'Ourcq. Sur le département Seine Saint-Denis, le CD 93 gère un réseau de collecte des effluents, mais également de transport des effluents entre les réseaux des Etablissements publics territoriaux et ceux du SIAAP.

La Figure 76 et le Tableau 71 présentent les différents tracés envisagés et les remarques formulées par le CD93 et le SIAAP sur les réseaux identifiés.

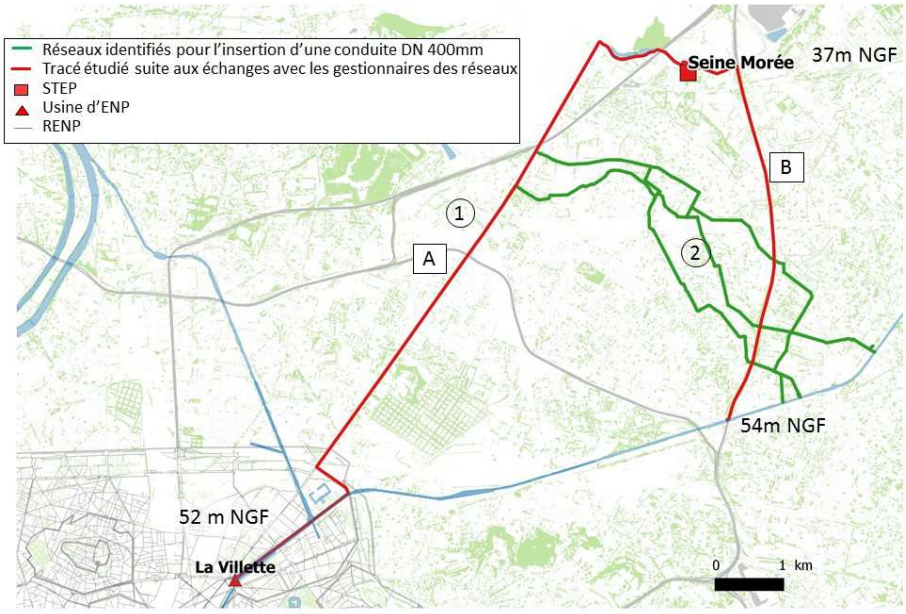


Figure 76 : Réseaux identifiés pour l'insertion d'une conduite d'eaux usées traitées issues de Seine Morée. D'après BDTOPO (2013)

Tableau 71 : Remarques du CD 93 sur les réseaux identifiés pour Seine Morée

Tracé	Remarques sur les réseaux identifiés
1	Le Collecteur le long de la RN2 appartient au SIAAP (entre Le Bourget et Paris), mais est géré par le CD 93. Il est un axe structurant du réseau d'assainissement. La réduction de sa capacité n'est pas envisageable. D'autre part, la présence des vannes rend difficile l'insertion d'une canalisation pour atteindre le Bassin de La Villette.
2	Le CD93 fait face à une problématique de lutte contre les inondations très prégnantes, en raison de la topographie du département et du faible nombre d'exutoire vers le fleuve. La réduction de la capacité de ces réseaux n'est pas envisageable afin de ne pas aggraver le risque d'inondation par temps de pluie.

Sur la Figure 28, deux tracés de liaisons ont été envisagés. Le tracé A consiste à poser une conduite enterrée le long de la RN2 jusqu'à l'usine de la Villette. Le tracé B consiste à poser une conduite enterrée le long de la A3 jusqu'au Canal de l'Ourcq, à Bondy.

Un élément important à prendre en compte dans la comparaison de ces liaisons est la dilution des eaux usées traitées dans le Canal de l'Ourcq. En effet, dans le tracé B, l'eau usée traitée est diluée dans le Canal avant d'être acheminée à la Villette pour le RENP.

Le E_m du tracé A (noté $E_{m,A}$) tient compte du pompage de l'eau usée traitée dans la conduite DN400mm et du pompage de La Villette vers le RENP. Il s'exprime comme suit :

$$E_{m,A} \cdot = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{MT,A}}{3{,}6 \cdot 10^6} + \cdot E_{m,Ourcq} \tag{39}$$

$H_{MT,A}$: H_{MT} du tracé A
$E_{m,Ourcq}$: E_m de l'Ourcq du *scenario* « Seine »

Le E_m du tracé B (noté $E_{m,B}$) tient également compte du pompage de l'EU traitée dans la conduite DN400mm et du pompage de La Villette vers le RENP. Toutefois, seule une partie de cette eau arrive à La Villette pour être pompée vers le RENP. $E_{m,B}$ tient compte de la dilution des eaux usées traitées dans le canal et s'exprime comme suit :

$$E_{m,B} \cdot = \left(\frac{\rho \cdot g \cdot H_{MT,B}}{3{,}6 \cdot 10^6} + E_{m,Ourcq}\right) \cdot \frac{Q_{j,SM \to Can}}{Q_{j,SM \to Can,ENP}} \tag{40}$$

$H_{MT,B}$: H_{MT} du tracé B
$Q_{j,SM \to Can}$: débit de pompage des eaux usées traitées de Seine Morée vers le Canal de l'Ourcq (tracé B)
$Q_{j,SM \to Can,ENP}$: débit de pompage des eaux usées traitées de Seine Morée vers le Canal de l'Ourcq consacré au RENP (tracé B)

On estime que le ratio $Q_{j,SM \to Can,ENP}/Q_{j,SM \to Can}$ est égal au ratio $Q_{TB \to can,ENP}/Q_{can}$ du *scenario* « Seine ». La Figure 77 présente les E_m des deux tracés identifiés, en tenant compte de la dilution dans le Canal de l'Ourcq pour le tracé B.

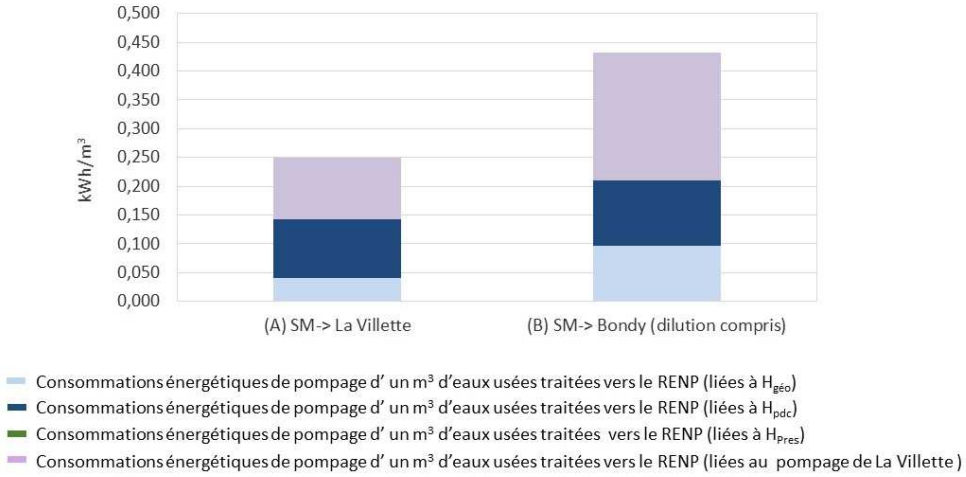


Figure 77 : Consommation énergétique de pompage d'un m³ d'eaux usées traitées de Seine Morée vers le RENP selon deux tracés (kWh/m³)

Les calculs estiment $E_{m,A}$ et $E_{m,B}$ respectivement à 0,249 et 0,431 kWh/m³. On choisit donc le tracé A qui permet d'acheminer les eaux usées traitées vers l'usine de la Villette.

Choix de la STEP

Avant de comparer les différentes liaisons, une réflexion semble nécessaire sur les incertitudes sur le coût de pompage d'un m^3 pompé par liaison (E_m), en analogie aux eaux d'exhaure. Comme vu dans la formule (38), le calcul du E_m d'une liaison entre une STEP et le RENP fait intervenir les hauteurs géométriques et les pertes de charges (exprimées en m), ainsi qu'un terme variable en fonction d'un point d'injection dans le réseau.
En étudiant uniquement la propagation des incertitudes liées aux pertes de charges et aux hauteurs géométriques, l'incertitude sur E_m (notée dans la suite ΔE_m) se décompose comme suit:

$$\Delta E_m = \frac{\rho \cdot g}{3{,}6 \cdot 10^6} \sqrt{\Delta H_{géo}{}^2 + \Delta H_{pdc}{}^2} \qquad (41)$$

Les altimétries étant mesurées sur Géoportail avec une imprécision de 0,5 m, $\Delta H_{géo}$ est une incertitude de type B ; elle estimée à 1/$\sqrt{3}$ m.

Concernant H_{pdc}, les incertitudes portent sur les caractéristiques de la conduite (rugosité réelle, linéaire). En particulier, le linéaire de la conduite (noté Lin) tracée sur le SIG reste théorique par rapport à la pose réelle d'une conduite sous terre. Si l'on se restreint uniquement aux incertitudes sur Lin, ΔH_{pdc}, s'exprime comme suit, en tenant compte de l'augmentation de 10% pour les pertes de charges singulières :

$$\Delta H_{pdc} = \frac{\Delta Lin}{1000} \cdot 1{,}1 \cdot L \cdot \frac{Q_j{}^M}{D^N} \qquad (42)$$

Avec :
Lin : linéaire de la conduite DN400mm d'eaux usées traitées (m)
Q_j : débit journalier dans la conduite (m3/j)
H_{pdc} : hauteur géométrique (m)
D : diamètre (mm)
L, N et M : paramètres de la formule de Lechapt-Calmon pour un paramètre K donné

On considère que le linéaire théorique est estimé avec une imprécision de 103m. ΔLin est également de type B ; elle est évaluée à 10^3/$\sqrt{3}$ m. La Figure 78 présente les E_m de pompage des liaisons choisies pour chaque STEP, avec les intervalles de confiance associés (95%).

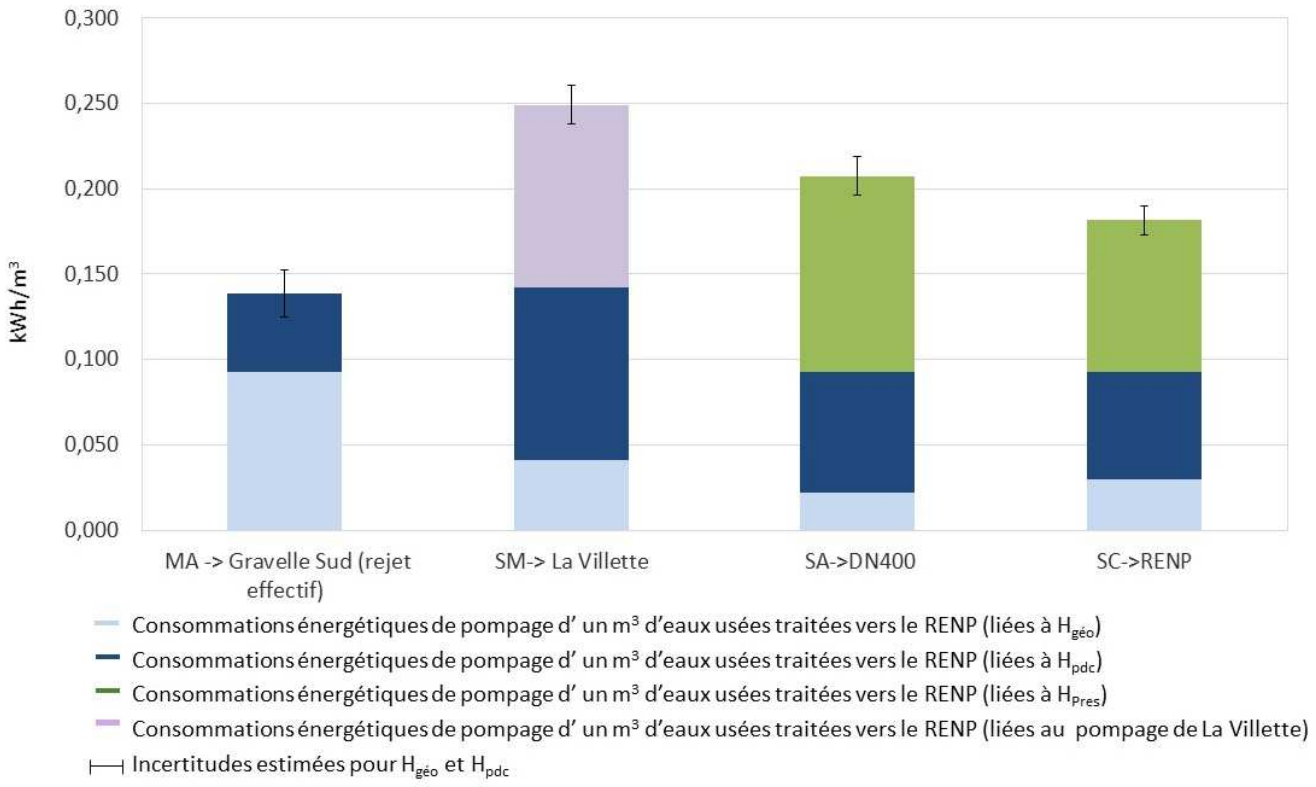


Figure 78 : Consommation énergétique de pompage d'un m³ d'eaux usées traitées des quatre STEP vers le RENP (kWh/m³). Intégration des incertitudes associées à la hauteur géométrique et aux pertes de charges

Même en tenant compte des intervalles de confiance, la liaison avec le E_m le plus bas est celle qui achemine les eaux usées traitées de Marne aval vers le lac de Gravelle. Par ordre croissant, on trouve la liaison qui relie Seine Centre à une conduite DN400mm, puis celle qui relie Seine Amont à une conduite DN400mm. Ces deux liaisons, en tenant compte des intervalles de confiance, ont un E_m similaire (avec un écart relatif de 3%). La liaison entre Seine Morée et La Villette reste la moins intéressante du point de vue énergétique.

Pour rappel, le choix de la STEP pour le *scenario* «Eaux usées traitées» se base à la fois sur les considérations de qualité et d'énergie. Il est intéressant de voir que la comparaison entre STEP selon la qualité et l'énergie aboutit à des résultats différents, voire inverses.
En effet, Seine Morée a la meilleure qualité, mais nécessite le plus d'énergie pour acheminer ses eaux usées traitées vers le RENP (*cf*. partie 3.3.4.3). De même, Marne Aval a la moins bonne qualité mais nécessite le moins d'énergie pour acheminer ses eaux usées traitées vers le RENP.
Seine Centre est la deuxième STEP avec la meilleure qualité après Seine Morée. Elle est également la deuxième STEP qui nécessite le moins d'énergie pour acheminer ses eaux vers le RENP. Le *scenario* «Eaux usées traitées» intègre donc l'injection des eaux usées traitées de Seine Centre vers le RENP.

4.7.2 Choix du modèle hydraulique

Le *scenario* « Eaux usées traitées » reprend le *scenario* « Seine » avec l'introduction des eaux usées traitées de Seine Centre. Le modèle hydraulique construit est présenté dans la Figure 79.

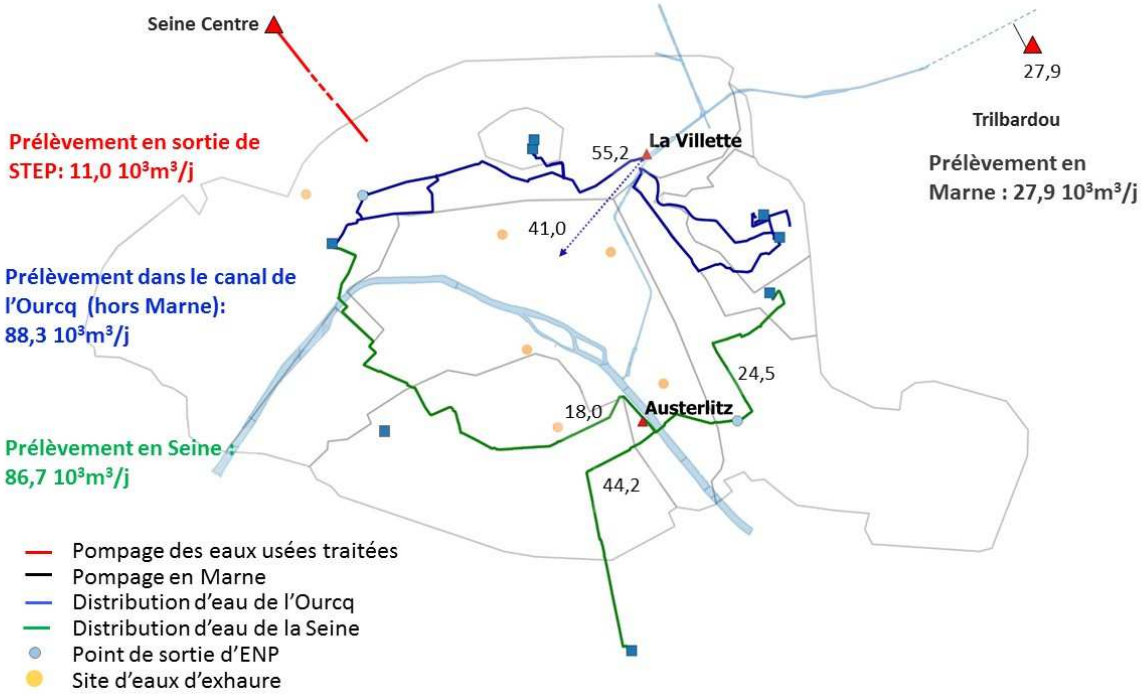


Figure 79 : Modèle hydraulique construit pour le *scenario* « Eaux usées traitées ». Volumes journaliers indiqués en 10^3 m^3/j

L'introduction des eaux usées traitées de Seine Centre vers le RENP n'impacte pas les débits pompés des eaux d'exhaure et de l'ENP issue de la Seine. Les Q_j, E_j, et E_m des eaux d'exhaure et de la Seine ont les mêmes valeurs que dans le *scenario* «Seine».

L'introduction des eaux usées traitées impacte par contre les Q_j pompés à la Villette. Ce volume diminue de 10,9 10^3 m^3/j par rapport au *scenario* « Seine » ; soit de 62,2 10^3 m^3/j par rapport au *scenario* « Exhaure ».
Deux situations sont établies pour l'estimation du $Q_{TB\rightarrow can,ENP}$:

- Situation A : La diminution de $Q_{LV\rightarrow RENP}$ de 62,2 10^3 m^3/j est estimée négligeable devant le Q_{can} du *scenario* « exhaure » (soit de 289 10^3 m^3/j). Q_{can} et $Q_{TB\rightarrow can}$ restent inchangés par rapport au *scenario* «Exhaure».
- Situation B : La diminution de 62,2 10^3 m^3/j engendre une diminution de Q_{can} et de $Q_{TB\rightarrow can}$ de 62,2 10^3 m^3/j.

Pour les calculs énergétiques, une situation intermédiaire est établie : le débit transitant dans le Canal de l'Ourcq et le débit pompé en Marne baisse de la moitié de

62,2 10^3 m^3/j m^3/j, soit de 31,1 10^3 m3/j. Le Tableau 72 présente les étapes de calcul de $Q_{TB \rightarrow can,ENP}$.

Tableau 72 : Estimation du débit pompé à Trilbardou pour le RENP pour le *scenario* «Eaux usées traitées»

Débit (10^3 m^3/j)	Situation A	Situation B	Situation intermédiaire
Q_{can}	289	227	258
$Q_{TB \rightarrow can}$	93,0	30,8	**61,9**
$Q_{TB \rightarrow can,ENP}$	37,4	15,8	27,9

4.7.3 Consommations énergétiques

La Figure 68 présente les H_{MT} des liaisons du modèle pour le *scenario* «Eaux usées traitées». Ce modèle comporte une liaison supplémentaire par rapport aux autres *scenarii*, qui est la liaison entre la STEP et le RENP. Les H_{pdc} représentent entre 0 et 5% des H_{MT} de pompage, hormis pour la liaison La Villette -> Passy et la liaison Seine Centre -> RENP. Par ailleurs, la liaison avec la H_{MT} la plus élevée est celle qui relie Seine Centre au RENP. Ceci s'explique par les pertes de charges élevées liées à la conduite DN400mm (de 10,6 km), mais également par la pression du RENP à vaincre (33 mce).

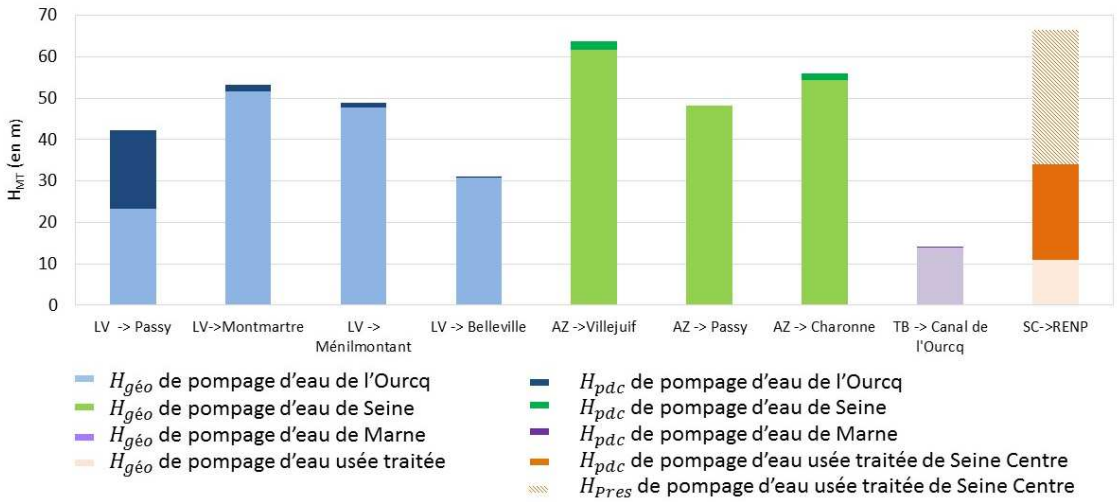


Figure 80 : H_{MT} de pompage des liaisons du modèle pour le *scenario* «Eaux usées traitées». LV : La Villette, AZ : Austerlitz, AT : Auteuil, TB : Trilbardou, SC : Seine Centre

Les consommations énergétiques sont présentées par ressource dans le Tableau 73. Les Q_j et E_j de la Seine correspondent respectivement aux Q_j et E_j de pompage d'Austerlitz vers Charonne, Villejuif et Passy (*via* la liaison RG-RD). Les Q_j et E_j de la

Marne correspondent au Q_j de la Marne pompé à Trilbardou qui arrive à La Villette, puis qui est mise en distribution dans le RENP
Le Q_j de l'Ourcq correspond à l'ENP produite par La Villette, auquel on retire le Q_j de la Marne. Son E_j est l'énergie de pompage du Q_j de l'Ourcq vers le RENP.
Le Q_j de l'eau usée traitée correspond au débit injecté dans le RENP. Son E_j correspond à l'énergie de pompage de Seine Centre vers la conduite DN400mm, en tenant compte de la pression du RENP à vaincre.

Tableau 73 : Volumes journaliers et consommations énergétiques par ressource pour le *scenario* «Eaux usées traitées»

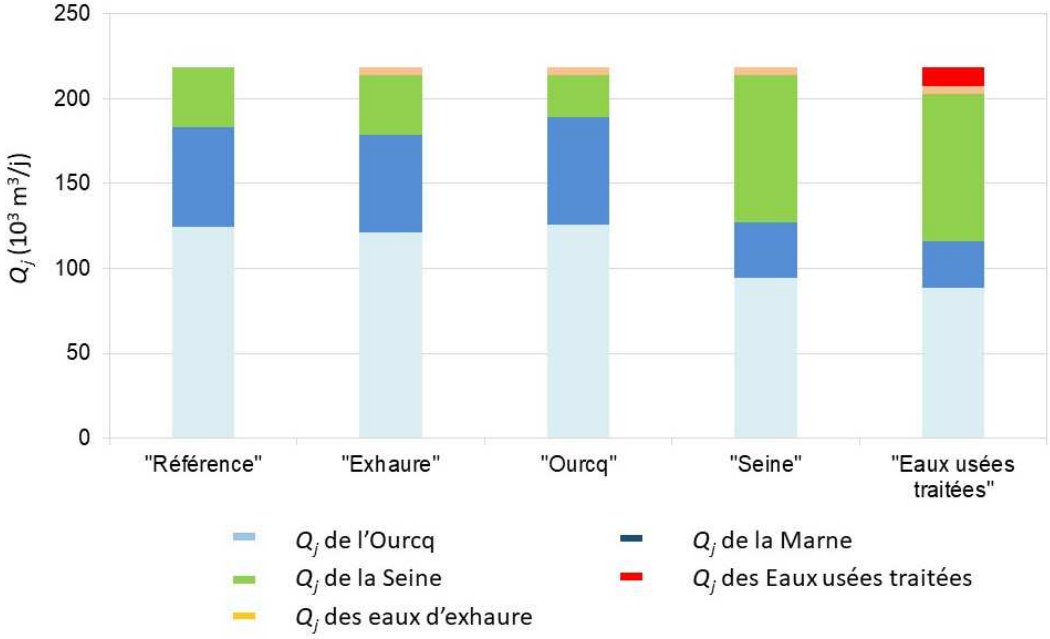
Ressource	Q_j **($10^3 m^3/j$)**	E_j **($10^3 kWh/j$)**	E_m **(kWh/m^3)**
Marne	27,9	3,81	0,136
Ourcq	88,3	8,62	0,098
Seine	86,7	12,7	0,147
Exhaure	4,91	0,35	0,071
Eaux usées traitées	11,0	1,99	0,181
Total	219	27,5	0,126 (valeur pondérée)

La E_j de l'Ourcq et la Marne représente 45% de la E_j totale. On constate que l'injection des eaux usées traitées vers Passy entraîne des économies de pompage d'ENP à La Villette et de pompage en Marne. La comparaison des E_m des ressources montre que l'eau usée traitée est la ressource la moins intéressante énergétiquement. A l'inverse, bien qu'elle représente une proportion négligeable, les eaux d'exhaure restent la ressource la plus intéressante du point de vue énergétique.

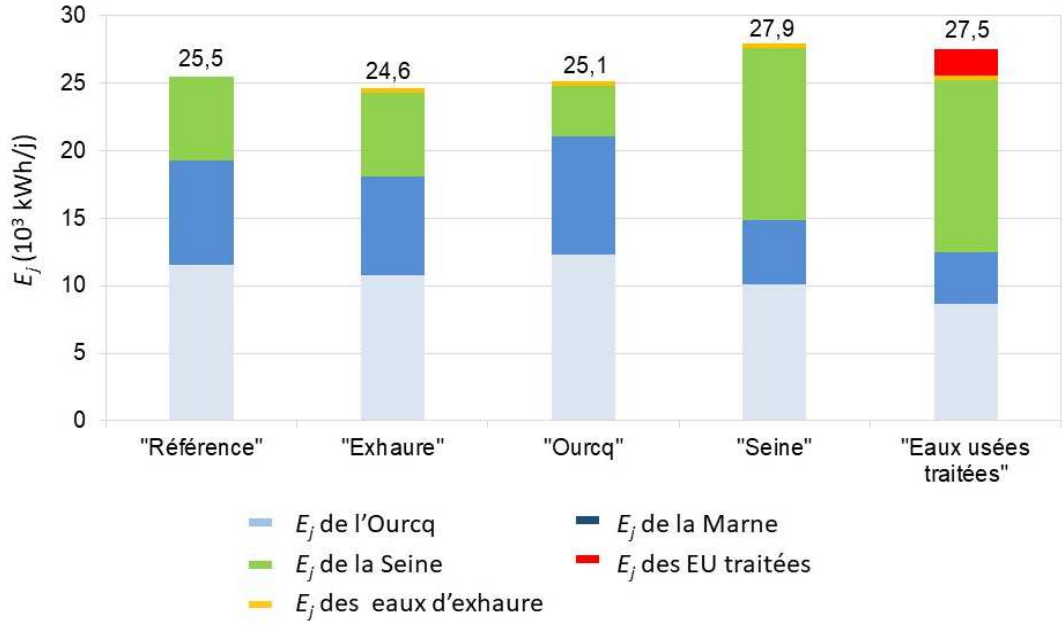
L'énergie globale du *scenario* « Eaux usées traitées » s'élève à 27,5 10^3 kWh/j, avec une consommation énergétique moyenne de pompage par m^3 de 0,181 kWh/m^3.

4.8 Comparaison des *scenarii*

Cette partie vise à discuter désormais de l'ensemble des *scenarii*. La Figure 81 présente, pour chaque *scenario*, les contributions par ressource en termes de débits et de consommations énergétiques. Le Tableau 74 récapitule les E_m des ressources pour chaque *scenario*.



(a)



(b)

Figure 81 : (a) Répartition des ressources du RENP (10^3 m³/j) et (b) consommations énergétiques (10^3 kWh/jour) selon les *scenarii*

Tableau 74 : Consommations énergétiques de pompage d'un m³ (kWh/m³) des ressources du RENP selon les *scenarii*

E_m (kWh/m³)	*Scenario* «référence»	*Scenario* «Exhaure»	*Scenario* «Ourcq»	*Scenario* «Seine»	*Scenario* «Eaux usées traitées»
Marne	0,131	0,128	0,137	0,146	0,137
Ourcq	0,093	0,089	0,098	0,107	0,098
Seine	0,176	0,176	0,152	0,147	0,147
Exhaure		0,071	0,071	0,071	0,071
Eaux usées traitées					0.181
Valeur pondérée	0,116	0,113	0,115	0,128	0,126

Les E_j des *scenarii* varient entre 24 et 28 10^3 kWh/j. Le *scenario* «Exhaure » et « Seine » sont respectivement les *scenarii* avec la E_j totale la plus faible et la plus élevée. Les écarts entre les E_j des différents *scenarii* s'expliquent par la répartition des ressources et des changements de configurations du RENP associés.

Le *scenario* «**Référence»** représente un fonctionnement dit « normal » du RENP, qui privilégie le prélèvement dans l'Ourcq et la Marne. Son E_j totale s'élève à 25,5 10^3 kWh/j. Le E_m de la Seine est supérieur à celui de l'Ourcq et de la Marne, en raison des écarts entre hauteurs de pompage.

Le *scenario* «**Exhaure**» reprend le *scenario* «Référence» en intégrant cinq sites d'eaux d'exhaure. La E_j totale du *scenario* « exhaure » est inférieure à 3% de celle du *scenario* «Référence ». Ce faible écart s'explique tout d'abord par le faible volume introduit des eaux d'exhaure dans le RENP. Par ailleurs, les coûts de pompage pour l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP sont partiellement compensés par la légère baisse des volumes prélevés en Ourcq et en Marne (et donc des coûts de pompages associés).

Le *scenario* «**Ourcq**» reprend le *scenario* « Exhaure » avec l'arrêt d'Auteuil, en privilégiant le prélèvement dans le canal de l'Ourcq. Dans cette configuration, l'arrêt d'Auteuil n'induit pas de changement significatif, en terme de bilan énergétique global (écart de 2% par rapport au *scenario* «Exhaure»). En effet, l'augmentation des coûts de pompage de l'Ourcq et de la Marne est compensée partiellement par la baisse de pompage en Seine.
On observe toutefois des changements, lorsqu'on considère le coût de pompage par m³. Les E_m de la Marne et de l'Ourcq augmentent de 8 et de 10% par rapport au *scenario* « exhaure », alors que le E_m de la Seine baisse de 13% par rapport à ces deux *scenarii*. Ces écarts s'expliquent par la ré-affectation des ressources dans le

RENP et des modifications des liaisons de pompage (et donc des H_{MT} associées). Concernant l'eau de Seine, Auteuil ne refoule plus vers Passy, mais Austerlitz la refoule vers Charonne. Quant à l'eau de l'Ourcq et de Marne, La Villette ne la refoule plus vers Charonne, mais La Villette et Austerlitz (Ourcq) la refoulent vers Passy.

Le *scenario* **«Seine**» privilégie le prélèvement en Seine, toujours avec l'arrêt d'Auteuil. Avec ce choix de prélèvement, ce *scenario* induit une augmentation significative de consommations d'énergie au niveau de son bilan énergétique global (écart par rapport aux trois *scenarii* précédents de 10 % à 13%). Ceci s'explique par l'augmentation des volumes prélevés en Seine (et des coûts de pompages associés), au détriment de l'Ourcq et de la Marne.
Lorsqu'on considère le coût de pompage par m^3, on constate que les tendances s'inversent. Le E_m de la Seine baisse par rapport au *scenario* « Exhaure» (- de 16%), alors que les E_m de la Marne et de l'Ourcq connaissent une augmentation (respectivement 14 et 20% par rapport au *scenario* « Exhaure »). Ces écarts s'expliquent par la ré-affectation des ressources dans le RENP. Concernant l'Ourcq et la Marne, Austerlitz ne les refoule plus vers Villejuif et Charonne (*scenario* « référence » et « exhaure »), mais La Villette la refoule vers l'Ouest de Passy. Concernant la Seine, Auteuil ne la refoule plus vers Passy (*scenario* « référence » et « exhaure »), mais Austerlitz refoule vers Charonne, Villejuif et Passy *via* la liaison RG-RD.

Enfin, le *scenario* «**Eaux usées traitées**» reprend le *scenario* «Seine» en intégrant l'injection des eaux usées traitées dans le RENP. Les eaux usées traitées sont introduites dans la partie du sous-réseau Passy alimentée par La Villette. Sa E_j totale varie peu par rapport au *scenario* « Seine » (1%). Il apparaît alors que l'introduction des eaux usées traitées n'induit pas de changements majeurs sur le bilan énergétique global.
En effet, les coûts de pompage des Eaux usées traitées vers Passy entraîne une baisse d'énergie de pompage de La Villette vers le RENP (notamment entre La Villette Passy), et de pompage en Marne. Les E_m de l'Ourcq et de la Marne baissent par rapport au *scenario* «Seine », mais restent inférieurs à celui de la Seine dans le *scenario* « Eaux usées traitées ». Les eaux usées traitées sont les ressources les moins intéressantes énergétiquement.

4.9 Conclusions

Pour rappel, nous avions émis initialement l'hypothèse que **la diversification des ressources du RENP était susceptible d'engendrer des consommations énergétiques supplémentaires à l'échelle globale.**

Afin de tester cette hypothèse, nous avons construit une méthode de calcul d'énergie basée sur une modélisation du fonctionnement du RENP et de son alimentation. Les résultats de calcul montrent que malgré des approximations faites sur le fonctionnement et l'état du RENP, les consommations énergétiques estimées présentent un écart faible par rapport aux données réelles de l'année 2013.

A l'issue de cette étude, il apparaît qu'à l'échelle du territoire étudié, l'introduction de nouvelles ressources n'induisent pas des coûts supplémentaires de pompage significatifs, contrairement à certaines réallocations d'eaux de rivières au sein du RENP.

En effet, l'introduction des eaux d'exhaure génère des variations faibles au niveau du bilan énergétique (écart entre le *scenario* exhaure et référence de -3%). Toutefois, il est intéressant de constater que le E_m des eaux d'exhaure représente près de 50% de la Marne et de la Seine, et entre 65 et 80% de l'Ourcq. On souligne à nouveau que ces ressources sont intéressantes énergétiquement dans le contexte de la ville, ces ressources devant être de toute façon être pompées vers les égouts.
Par ailleurs, il est intéressant de voir que l'introduction des eaux usées traitées de Seine Centre ne crée pas de surcoût énergétique significatif à l'échelle globale. En effet, les bilans énergétiques des *scenarii* « Eaux usées traitées » et « Seine » sont similaires (écart relatif de 1%). Ceci s'explique tout d'abord par le faible volume d'eaux usées traitées mis en distribution (5%). Par ailleurs, l'apparition du pompage des eaux usées traitées est compensée partiellement par un moindre pompage dans l'Ourcq et dans la Marne.

Lorsqu'on considère le potentiel arrêt de l'usine d'Auteuil, la configuration qui privilégie le pompage dans l'Ourcq génère peu de différences au niveau global. La E_j totale du *scenario* « Ourcq » est inférieure de 2% des E_j des *scenarii* « référence » et exhaure ». En effet, la baisse du pompage en eau de Seine compense partiellement l'augmentation du pompage en eau de l'Ourcq (Marne compris). Cependant avec une pression accrue sur la ressource de l'Ourcq, la mise en œuvre de ce *scenario* peut s'avérer difficile, l'unique option pour combler les volumes manquants étant le *scenario* « Seine ».
L'arrêt d'Auteuil avec le prélèvement privilégié en Seine génère par contre une augmentation significative de consommation d'énergie. La E_j du *scenario* « Seine » est supérieure aux *scenarii* « référence », « exhaure » et « Ourcq » de 10 % à 13%.

Avec un tel choix de prélèvement, il convient alors de s'interroger sur la rentabilité financière de la libération d'Auteuil, si elle engendre des augmentations de coûts de pompage à moyen terme. En comparaison, le coût de pompage d'un m^3 d'eaux d'exhaure a un moindre impact énergétique : le E_m des eaux d'exhaure représente respectivement près de 50% des E_m de la Marne et de la Seine, et entre 65 et 80% du E_m de l'Ourcq.

Nos résultats ont donc contribué à la réflexion scientifique sur la durabilité des doubles réseaux, avec une attention portée à la fois sur les eaux de rivières, des ressources « locales » (comme les eaux d'exhaure) et des ressources plus distantes (comme les eaux usées traitées).
Sur le plan opérationnel, la contribution de cette étude énergétique reste cependant plus discutable. En effet, quel que soit le degré de précision de nos calculs énergétiques, il n'est pas certain que les acteurs du service de l'ENP, EDP et la VDP, adoptent le *scenario* le plus durable au niveau énergétique, et ce pour de multiples raisons. D'une part, l'indicateur énergétique ne saurait à lui seul caractériser l'impact environnemental du RENP, qui doit également inclure l'état des masses d'eau sollicitées pour le RENP. D'autre part, l'impact environnemental ne constitue pas le seul critère de décision pour ces acteurs. Le chapitre suivant vise à comprendre à quelles conditions la diversification des ressources pourraient être acceptée par l'ensemble du système d'acteurs associé au réseau.

5 Des acteurs partagés face à la diversification des ressources

Si l'on s'intéresse aux *conditions de mise en œuvre* d'une gestion durable de l'eau, il apparaît que l'impact environnemental ne représente pas le seul critère de décision. Les acteurs gestionnaires de ce RENP doivent intégrer dans leur décision d'autres enjeux, comme les enjeux économiques et le respect des engagements contractuels. Ils doivent également tenir compte des actions d'autres acteurs (notamment ceux plus largement associés au RENP) dans leur processus de décision.

Ce chapitre vise à comprendre à quelles conditions la diversification des ressources pourrait être acceptée par le système d'acteurs. Pour rappel, nous avons mobilisé dans la partie la partie 3.2. les sciences de la décision et la sociologie des organisations pour délimiter notre système d'acteurs associés et cartographier leurs relations. Nous continuerons à mobiliser ces deux champs de recherche afin d'analyser les relations qu'ils tissent et les stratégies qui les motivent.

Dans la suite, nous présenterons tout d'abord deux études de cas d'acteurs qui se sont déroulés pendant la thèse, et qui illustrent la multiplicité des enjeux – et la multiplicité des acteurs – autour de l'alimentation du RENP. Puis nous réaliserons une analyse plus globale sur l'ensemble des acteurs identifiés autour de l'ENP, afin d'identifier les freins et les leviers à la mise en place de la diversification des ressources.

5.1 Deux exemples révélateurs d'un jeu d'acteur complexe

Les deux exemples de jeux d'acteurs autour de l'ENP se placent à deux échelles différentes. Le premier exemple est la gestion de la rivière Ourcq, et montre comment des jeux d'acteurs autour du canal peuvent impacter l'alimentation du RENP. Le deuxième exemple concerne la réflexion menée par EDP sur l'injection envisagée des eaux d'exhaure d'un parking parisien dans le RENP. Au vu des données collectées pendant la thèse, le premier exemple sera décrit plus succinctement, alors que le deuxième sera décrit plus exhaustivement.

5.1.1 La remise en question de l'apport de l'Ourcq pour le Canal

Cet exemple est axé sur la rivière Ourcq inférieure, en aval de prise d'eau à Mareuil sur Ourcq jusqu'au confluent avec la Marne. Pendant notre recherche, cette rivière a été soumise à deux enjeux règlementaires notables.
Le premier enjeu est la restitution des débits réservés dans la rivière Ourcq en aval de la prise d'eau à Mareuil-sur-Ourcq. Pour rappel, ce débit[39] consiste à maintenir un débit minimal en aval de la prise d'eau, afin de maintenir une circulation des espèces aquatiques sur l'ensemble de ce cours d'eau.
Le second enjeu règlementaire est la continuité écologique. Cette dernière est associée à la notion de « bon état écologique des cours d'eau » définie par la directive cadre sur l'eau (DCE) en 2000, puis qui a été traduite dans la loi française n° 2004-338 du 21 avril 2004. La DRIEE de l'Ile de France définit la continuité écologique comme une déclinaison d'objectifs à atteindre (DRIEE IDF 2017) :

« La continuité écologique, c'est permettre :

- la libre circulation des organismes vivants (poissons…) et leur accès aux zones de reproduction, de croissance, d'alimentation ou d'abri ;
- le transport naturel des sédiments de l'amont à l'aval d'un cours d'eau ;
- le bon fonctionnement des lieux de reproduction, d'alimentation, de repos, souvent situés au sein des végétaux aquatiques ou sous les blocs de pierre au fond des cours d'eau »

D'après l'article R214-109 du Code de l'Environnement (Legifrance 2007c), un ouvrage qui va à l'encontre de l'un des objectifs cités précédemment représente un *obstacle* à la continuité écologique. Afin de réduire le nombre de ces ouvrages transversaux, le SDAGE Seine-Normandie pour la période 2010-2015 préconise d'effacer l'ouvrage si le contexte le permet, sinon de l'araser partiellement. D'autres actions sont possibles comme l'aménagement de dispositifs de franchissement pour les poissons : passes à poisson, rivières de contournements des ouvrages, etc. (AESN et al. 2010).

Ces deux enjeux règlementaires sont fortement liés, dans la mesure où un dispositif de maintien de la continuité écologique (par exemple, l'ouverture de vannes) peut contribuer à la restitution des débits réservés. Typiquement, les deux enjeux sont fortement liés pour la prise d'eau à Mareuil sur Ourcq, et ont mobilisé un certain nombre d'acteurs.

[39] Le terme « débit réservé » a été défini dans le paragraphe 3.1.3.4.

SIAGRO l'acteur principal sur l'Ourcq

Pour rappel, la rivière Ourcq inférieure est gérée par le Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement et la Gestion de la Rivière Ourcq, noté dans la suite SIAGRO (*cf*. paragraphe 3.1.3.2). Le SIAGRO existe depuis 1985 et est constitué à part égale de la VDP (50%), et de neuf communes (50%) au Nord Est de Paris.

La présidence du SIAGRO est assurée à l'heure actuelle par un conseiller municipal à Lizy-sur-Ourcq. Celui-ci est accompagné par le vice-président, qui travaille au service des canaux de la VDP (dans la circonscription de l'Ourcq touristique à Meaux). Concernant l'aménagement de la rivière, le SIAGRO échange avec les potentiels financeurs des travaux, soit l'AESN, Entente Marne (l'institution interdépartementale pour l'aménagement de la rivière Marne et de ses affluents), et le Conseil Départemental de Seine-et-Marne.

Des acteurs mobilisés autour d'une réflexion initiée sur l'Ourcq

A partir de 2011, sous l'impulsion de l'AESN, le SIAGRO lance une étude qui dresse un état des lieux de la rivière Ourcq et qui propose un programme de travaux pour restituer les débits réservés et restaurer la continuité écologique de la rivière. L'étude était financée par l'AESN, l'Entente Marne et le Conseil Départemental de Seine-et-Marne (anciennement appelé le Conseil Général).

La discussion autour de cette étude constitue le point de départ de notre analyse des jeux d'acteurs autour de la rivière Ourcq. Notre analyse se base essentiellement sur des échanges (oraux et écrits) avec les acteurs, ainsi que sur l'observation d'une réunion d'avancement de l'étude en novembre 2014. L'observation de cette réunion a permis notamment d'identifier l'ensemble des acteurs mobilisés autour de la rivière Ourcq, au-delà du SIAGRO et des financeurs de l'étude. En particulier, nous notons la présence à cette réunion des associations de pêche, dont l'intérêt est d'avoir un niveau d'eau minimal dans le cours d'eau et une bonne circulation des espèces aquatiques pour leur activité. Par ailleurs, la police de l'eau, de la DDT de de Seine et Marne, également présente à cette réunion, a pris soin de rappeler la règlementation à plusieurs reprises tout au long de la réunion.
Au regard de ces éléments d'analyse, nous avons pu identifier les acteurs et caractériser leurs relations sur la Figure 82. Cette Figure met en avant la multiplicité des rôles que joue la VDP : gestionnaire des canaux et de la rivière Ourcq en aval, fournisseur d'eau brute et usager d'ENP. En conséquence, sa prise de décision ne peut se cantonner qu'au périmètre de Paris, au vu des responsabilités qu'elle endosse également dans des départements extérieurs.

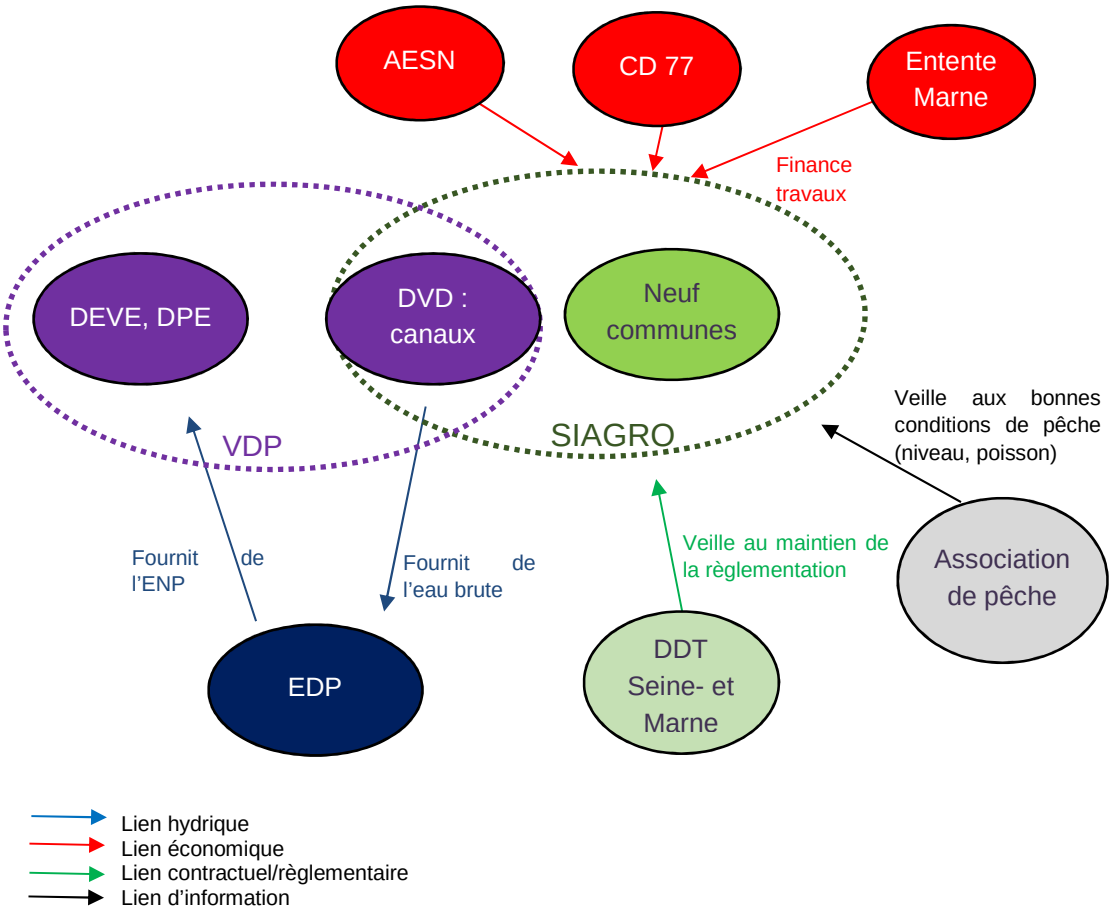


Figure 82 : De nombreux acteurs mobilisés autour de la rivière Ourcq et de sa prise en eau pour le Canal à Mareuil sur Ourcq

Des enjeux environnementaux et organisationnels

L'étude finalisée en 2014 sur la rivière Ourcq a permis d'estimer un « débit plancher » à restituer en aval de la prise d'eau à Mareuil sur Ourcq à la rivière Ourcq inférieure. Ce débit plancher correspond au 10ième du module de la rivière et est estimé à 0,290 m^3/s (Egis Eau 2014). En revanche, le débit minimum biologique, permettant de garantir la circulation des espèces aquatiques, n'a pas été estimé par l'étude.

A l'heure actuelle, le SIAGRO poursuit une étude complémentaire afin de déterminer le débit minimum biologique, et d'étudier la mise en place d'une passe à poissons pour restaurer la continuité écologique de la rivière.

L'estimation de ce débit biologique pourrait avoir des répercussions importantes sur la gestion du Canal de l'Ourcq. En effet, si sa valeur s'avère élevée, la VDP augmenterait le prélèvement en Marne au détriment de la rivière Ourcq, afin de continuer à satisfaire ces usages.
Une des conséquences les plus extrêmes de ce changement, évoquée lors de nos échanges avec les acteurs, serait la suppression du canal de l'Ourcq de Mareuil-sur-

Ourcq à Trilbardou. Cette suppression de ce tronçon pourrait être décidée par la VDP, en raison des niveaux d'eau insuffisants pour assurer la navigation sur ces biefs. La Marne devant le principal apport du canal, la ressource Ourcq ne représenterait plus une ressource stratégique pour le canal, ce qui pourrait amener la VDP à se retirer du SIAGRO.
La restitution de ce débit biologique à la rivière pourrait alors s'avérer à « double tranchants » pour le SIAGRO. En effet, la restitution d'un débit réservé élevé à la rivière serait bénéfique pour son fonctionnement écologique et pour l'activité des pêcheurs. Toutefois l'éventuel retrait de la VDP du SIAGRO pourrait engendrer des pertes importantes au sein du SIAGRO, que ce soit au niveau de l'expertise technique dont dispose le service des canaux sur la gestion des cours d'eau, mais aussi au niveau du budget du syndicat (auquel la VDP contribue à l'heure actuelle à 50%).

En somme, cet exemple montre ainsi la multiplicité des enjeux autour des ressources alimentant la rivière Ourcq, le principal apport du canal. En particulier, il apparaît que des questions d'ordre règlementaire, mais aussi environnemental et économique portées sur des cours d'eau bien en amont du RENP peuvent impacter *in fine* la répartition des ressources du RENP.

Notre seconde étude de cas, présentée ci-après, nous permet, d'étudier les jeux d'acteurs, cette fois-ci à l'échelle de la Ville de Paris. Elle porte plus spécifiquement sur l'introduction d'une ressource potentielle dans le RENP, les eaux d'exhaure.

5.1.2 Les eaux d'exhaure de deux parkings parisiens jugées impropres au(x) réseau(x) et à l'arrosage

Cette étude de cas est axée sur les discussions menées au sein d'EDP sur la qualité des eaux d'exhaure, et sur leur impact sur le RENP et les usages d'ENP.

Une réflexion approfondie à EDP sur les eaux d'exhaure a porté sur les eaux d'un parc de stationnement, appelé Meyerbeer. Situé rue de la Chaussée d'Antin à Paris (9ième arrondissement), il appartient à la VDP et rejette un volume important d'eaux d'exhaure de 641 10^3 m^3/j (moyenne sur les années 2012, 2013 et 2014.)
L'entretien et l'exploitation du parc sont gérés par un concessionnaire privé, *via* un contrat d'affermage avec la VDP. La direction en charge du suivi du parking est la DVD. Le concessionnaire prend en charge la gestion du parking et l'encaissement des recettes liées au stationnement. Il partage ses bénéfices en reversant une redevance d'exploitation à la VDP, dont le montant est convenu dès le début du contrat. Le parking Meyerbeer est géré, à l'heure actuelle, par la Société Anonyme d'Economie Mixte d'Exploitation du Stationnement (SAEMES) depuis le 1er octobre 2014 pour une durée de 8 ans**.**

L'injection de cette ressource dans le réseau a été l'objet de multiples échanges entre EDP et la VDP. Celle-ci a été suivie par l'étude de l'injection des eaux d'exhaure d'un autre parking parisien, Pyramides. Nous verrons dans quelle mesure l'étude de

l'injection des eaux de ces deux parkings a soulevé de nombreuses interrogations auprès de ces acteurs.

5.1.2.1 L'injection dans le RENP perçue comme une opportunité

L'injection des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dans le RENP a été envisagée à la fin du précédent contrat d'affermage de 2004 à 2014, lorsque le parking était géré par le concessionnaire SPIE.

En 2006, la modification de l'article R1331-2 du Code de la santé publique introduit l'interdiction du rejet des eaux souterraines dans les systèmes de collecte des eaux usées. Les eaux d'exhaure rejetées en égouts font alors l'objet d'une demande d'autorisation de rejet et d'un suivi, imposant à la VDP d'installer un dispositif de mesure de ces rejets. Les volumes de rejet du parking sont alors estimés par Hydratec à près de 149 10^3 m^3/an (Hydratec 2006). En 2012, les rejets sont mesurés précisément avec la pose de compteurs. Les compteurs évaluent le volume rejeté à près de 650 10^3 m^3/an. Cet écart important avec les volumes initialement estimés a des répercussions importantes pour le calcul de l'équilibre financier du contrat d'affermage suivant. Il constitue alors le départ de la réflexion sur la réutilisation des eaux d'exhaure pour le RENP.

Le Tableau 75 présente les montants annuels des redevances (en € HT) associés aux volumes de rejet estimés (149 10^3 m^3/an) et comptabilisés (650 10^3 m^3/an). Les montants annuels se basent sur les taux de redevances collecte et transport-épuration de 2013. Ceux-ci s'élèvent respectivement à 0,279 et 0,858 €/m^3 HT. A ces montants est affecté un coefficient de minoration de 50% en raison de la faible teneur en MES des eaux d'exhaure. Le Tableau 75 montre un écart de 70 K€/an pour les redevances collecte et de 215 K€/an pour les redevances transport-épuration. Ces redevances sont certes prises en charge par le concessionnaire, mais elles sont déduites de la redevance d'exploitation versée du concessionnaire à la VDP (*cf*. Figure 83).

Tableau 75 : Ecarts entre les redevances assainissement associées au rejet estimé et comptabilisé des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer en égout. Chiffres basés sur le taux des redevances en 2013

	Redevances collecte VDP	Redevances transport-épuration SIAAP
Montrant de la redevance (€/m^3 HT)	0,140	0,429
Montant annuel de la redevance pour un volume initial de rejet estimé à 149 000 m^3/an en K€ HT (1)	20,8	64,0
Montant annuel de la redevance pour un volume de rejet comptabilisé à 650 000 m^3/an en K€ HT (2)	91,0	279
Ecart : (2) – (1)	69,9	215

Le renouvellement du contrat d'affermage a représenté une opportunité pour la VDP d'envisager un nouveau mode d'évacuation des eaux d'exhaure, vers le RENP au lieu des égouts.
La VDP a entamé une prise de contact avec EDP dans le but d'étudier la faisabilité de l'injection de ces eaux d'exhaure dans le RENP. Ces échanges ont été d'autant plus facilités par des contacts préalables entre les acteurs de la DVD (responsable du suivi des parkings parisiens) et des personnes en charge de l'ENP à EDP.
EDP lors de l'appel aux candidatures pour le renouvellement du contrat d'affermage du parking Meyerbeer, a été sollicitée en 2013 pour définir des prescriptions techniques et des paramètres de qualité d'eau. Dans la logique d'EDP, l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP correspondait à un usage du RENP ; le producteur d'eaux d'exhaure devait reverser un tarif d'injection à EDP afin de contribuer aux coûts fixes de production et de distribution de l'ENP. Lors des échanges entre EDP et la VDP sur Meyerbeer, le tarif proposé en octobre 2013 s'est élevé à 0,191 € HT/m^3.
Ce tarif restait toutefois moins élevé que les redevances assainissement de rejet en égout. A partir du 1er octobre 2014, la mise en place de l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP fait partie des missions du délégataire du nouveau contrat de délégation.

La Figure 83 présente les modifications de relations entre acteurs entre le rejet des eaux d'exhaure en égout et leur injection dans le RENP.

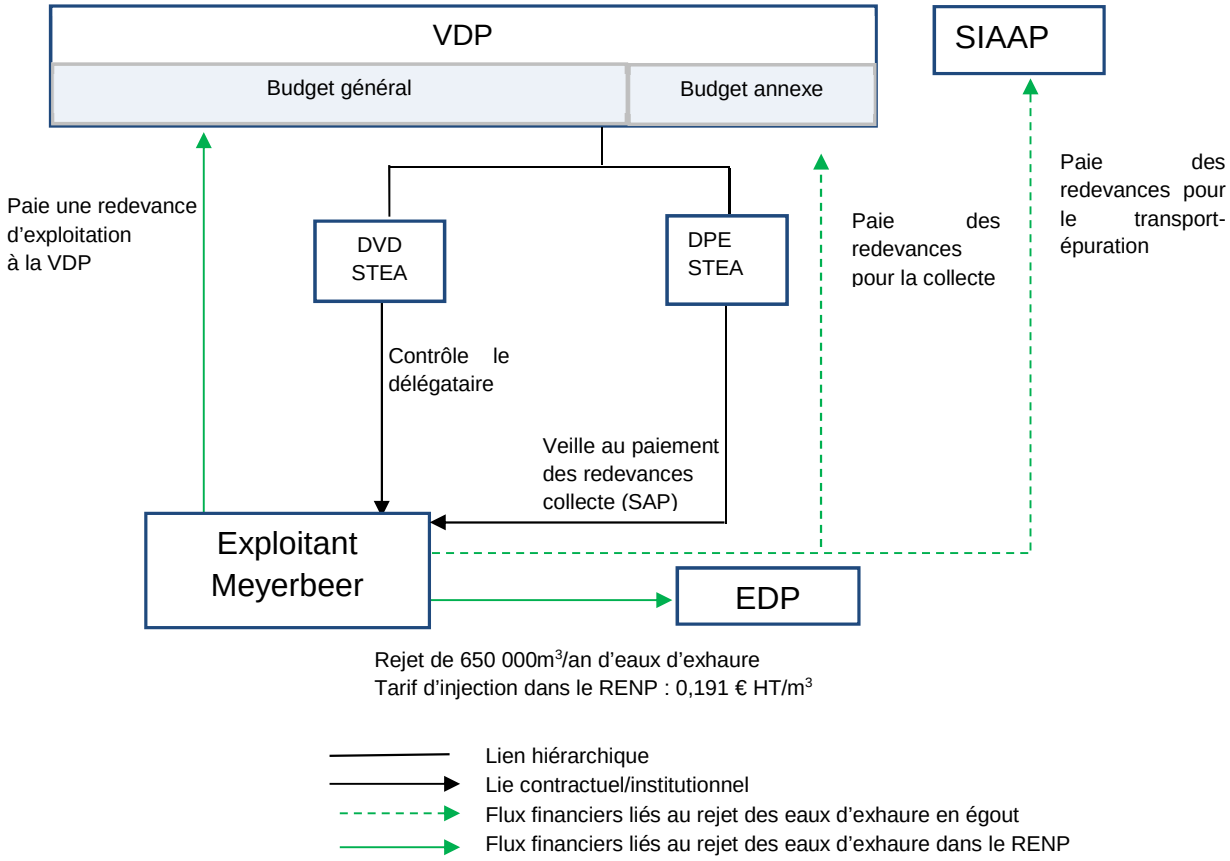


Figure 83: Flux financiers liés à l'injection des eaux d'exhaure dans les égouts ou dans le RENP

Dans la Figure 83, nous distinguons deux budgets de la VDP vers lesquels différents flux financiers se dirigent. Le premier budget est le budget dit « général », qui permet de financer les dépenses des différentes directions de la VDP (dans notre cas, la DVD). Le deuxième budget est le budget annexe de l'assainissement, qui est dédié à l'entretien et à la modernisation du réseau assainissement.

D'après cette Figure, on constate que les relations (et les flux financiers) en cas de rejet en égout sont principalement axées entre l'exploitant de Meyerbeer et la VDP : l'exploitant de Meyerbeer reverse une redevance d'exploitation à la VDP pour la mise à disposition du parking, cette redevance étant directement reversée au budget général de la VDP. Le montant de cette redevance, établi dès le début de contrat, se base sur l'estimation des recettes (liées au stationnement) et des charges (gestion du parking, redevances liées au rejet des eaux d'exhaure en égout). L'exploitant du parking reverse également une redevance transport-épuration au SIAAP et une redevance collecte à la VDP (vers le budget annexe de l'assainissement).

Dans le cas où les eaux d'exhaure sont rejetées dans le RENP, les flux financiers liés aux redevances assainissement (transport-épuration et collecte) n'existent plus entre

l'exploitant du parking, le SIAAP, et la VDP (budget annexe). A la place, le gestionnaire du parking reverse par contre un tarif d'injection à EDP pour l'injection du RENP.
Au niveau économique, l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP apparaît comme un scénario « gagnant-gagnant » pour le gestionnaire du parking et EDP. En effet, le gestionnaire ne paie plus des redevances assainissement et reverse à la place un tarif d'injection plus bas à EDP. EDP reçoit une recette pour l'injection d'une nouvelle ressource dans le RENP sans payer de taxes et de redevances à l'AESN et VNF.
Les enjeux économiques pour la VDP sont plus complexes, en raison de ses deux budgets. Ils seront plus amplement discutés dans le paragraphe 5.1.2.3.

L'injection des eaux d'exhaure dans le RENP n'a pas finalement pas été mise en œuvre durant notre recherche. L'arrêt de cette démarche ne s'est pas expliqué par les modifications des flux financiers liés au système de redevances, mais par les interrogations soulevées sur la qualité des eaux d'exhaure de Meyerbeer. En effet, EDP a établi en 2013 des limites de qualité des eaux d'exhaure à ne pas dépasser pour leur injection dans le RENP. Or, la qualité des eaux d'exhaure des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dépasse certains seuils de qualité, soulevant des interrogations fortes au sein d'EDP sur l'impact sur le RENP et ses usages. Nous présentons à présent l'ensemble de ces interrogations dans le paragraphe suivant.

5.1.2.2 Des interrogations fortes sur la qualité des eaux d'exhaure

En 2013, EDP, conjointement avec les services de la VDP (de la DPE et de la DEVE), a fait l'inventaire des paramètres de qualité et a établi des valeurs seuils de qualité vis-à-vis du rejet des eaux d'exhaure dans le RENP. Ces valeurs seuils se basent principalement sur plusieurs sources :

- Mairie de Paris (2011). Les canaux en partage : guide à l'usage des collectivités sur les prélèvements et les rejets d'eau dans les canaux. Document réalisé par le Service des Canaux de la DVD
- Préconisation du site internet Lenntech.com société spécialisée dans le traitement de l'eau
- L. Monition (1969). *Données sur l'utilisation des eaux selon leur qualité chimique*. BRGM.

D'autres paramètres et valeurs limites de rejet sont établis en 2015 et 2016, au fur à mesure de la réflexion sur les eaux d'exhaure. Dans un premier temps, nous évoquerons uniquement les seuils de 2013 et ceux de 2015, qui portent chacun sur des paramètres distincts[40].

Le Tableau 76 compare la qualité des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer aux seuils de qualité fixés par EDP en 2013 et en 2015.

[40] Les seuils en 2016 seront abordés plus tard ; la démarche de leur construction sera discutée plus amplement dans la suite de l'étude.

Tableau 76 : Comparaison de la qualité des eaux d'exhaure de Meyerbeer avec les seuils de qualité d'EDP en 2013 et 2015

Paramètres	Parking Meyerbeer CERECO (2015); EDP (2014)	Valeurs seuils fixées par Eau de Paris en 2013	Valeurs seuils fixées par Eau de Paris en 2015
Titre alcalimétrique	23	25	
Ammonium (NH4) (mg/L)	0,053	0,5	
Azote total Kjeldahl (N)	<1	0,5	
Nitrites (NO_2) (mg/L)	<0,03		1
Nitrates (NO_3) (mg/L)	32		30
COT (mg/L)	2,2	5	
Conductivité à 25°C (µS/cm)	2 550	700	
Température (°C)	25	30	
DCO (mg/O_2/L)	<30		40
DBO5 (mg/O_2/L)	<0,5		10
Dureté totale (°F)	157,2	30 (sans dilution)	
MES (mg/L)	<2	50 (sans dilution)	
Turbidité (FNU)	<0,1	10	
Chlorures (Cl)	82	200	
Sulfates (SO4) (mg/L)	1301	250	
Orthophosphates (mg/L)			1
Bore (B) (mg/L)	142	700	
Calcium (Ca) (mg/L)	514	100	
Sodium (Na) (mg/L)	56	70	
Strontium (mg/L)	13,1	-	
Entérocoque/100mL			100
Escherichia coli (UFC/100ml)	18,33		250

Le Tableau 76 montre que la qualité des eaux d'exhaure de Meyerbeer dépasse significativement les seuils de qualité d'EDP pour trois paramètres : la conductivité (2 500 au lieu de 700 µS/cm), la dureté (157 au lieu de 30°F) et de la concentration en sulfates (1301 au lieu de 250 mg/L). Ce dépassement laisse présager des potentiels risques liés à leur injection dans le RENP à deux niveaux : l'impact sur les plantes lors de l'arrosage (pour la conductivité), ainsi que l'entartrage et la corrosion dans les conduites en fer (dureté et sulfates).

En 2015, un bureau d'études est alors mandaté par la SAEMES pour étudier les technologies de traitement des eaux d'exhaure de Meyerbeer afin de répondre aux seuils de qualité fixés par EDP. Ce bureau identifie deux solutions. Un premier traitement repose sur des résines échangeuses d'ions : une station de déminéralisation permettrait d'abaisser les sulfates de 1301 à 250 mg/L et le TH de 157,2 à 30°F de TH. D'après ce bureau d'étude, cette technique engendrerait une augmentation en chlorures qui dépasserait la valeur limite fixée par EDP, en raison de l'échange d'ions sulfates pour les ions chlorures de la résine. Sa mise en œuvre ne paraît donc pas envisageable.
Un deuxième traitement possible est la nano filtration de 80% du débit de pointe, soit 95 m^3/h. Après traitement, les 95 m^3/h sont mélangés avec les 20% restant pour atteindre les seuils souhaités. Le mélange nécessite la pose d'une cuve de capacité minimale de 120 m^3, dont nous estimons que la mise en place nécessiterait la suppression d'une dizaine de places. Concernant les investissements, la mise en place des dispositifs d'équipement de traitement (« skids » de nanofiltration) est estimée par le bureau d'étude à 650 000 € HT.

Les coûts d'investissements et de traitement d'eaux ramenés au m^3 de cette seconde option sont établis et récapitulés dans le Tableau 77. Le montant des investissements ramenés au m^3 se base sur une durée d'amortissement de 15 ans. Le coût énergétique du traitement est évalué avec l'hypothèse d'une pression de 10 Bars de traitement (suite aux échanges avec les ingénieurs d'EDP) et un prix du kWh/m^3 à 6 ct €/m^3 (à partir des factures obtenues sur différents parkings).

Tableau 77 : Coûts de traitement par nanofiltration d'un m^3 d'eaux d'exhaure du parking Meyerbeer estimés pour respecter les seuils de qualité d'Eau de Paris

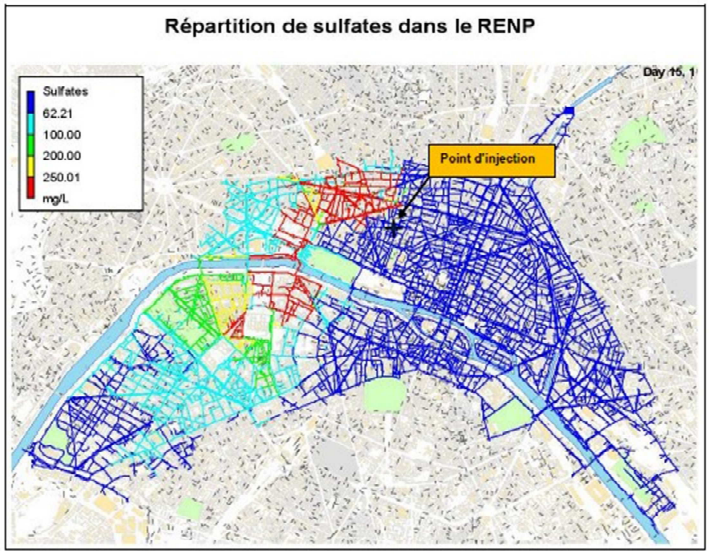
*Ne tient pas compte de l'ouvrage de génie civil, et du coût de maintenance et de gestion.

Coûts d'investissement	
Durée amortissement (ans)	15
Rejet annuel (10^3 m^3/an)	641
Coûts ramenés au m^3 (€/m^3)	0,067
Coûts de pompage	
Pression de traitement (Bar)	10
Consommation énergétique de traitement (kWh/m^3)	0,28
Prix de l'électricité HT (€/kWh)	0,06
Coûts ramenés au m^3 (€/m^3)	0,017
Coût global	
Coûts ramenés au m^3 (€/m^3)	0,083

Le coût d'investissements et de traitement ramené au m^3 est estimé à 8 ct/m^3. Sur la base de nos hypothèses, ce montant représente un surcoût négligeable devant les économies réalisées au niveau des redevances assainissement et collecte à payer. Toutefois cette valeur reste une estimation sommaire : pour les investissements, elle ne prend pas compte de l'ouvrage de génie civil et des conduites. Concernant les coûts d'exploitation, elle ne prend pas compte du coût humain de gestion et de maintenance.

Au vu de la technicité du dispositif du traitement et de l'ampleur des travaux, EDP et la VDP ont décidé d'engager une réflexion sur l'impact des eaux d'exhaure sur les usages actuels et futurs, en tenant compte de la dilution dans le RENP. En parallèle, le LEESU s'est intéressé à la qualité des eaux d'exhaure dans le cadre du projet IREX Ville10D et de nos travaux de thèse. Une collaboration entre l'ENPC et EDP en 2015 a permis de réaliser une étude de modélisation de l'injection des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer sur le Bas Ourcq avec le logiciel EPANET (Rossmann 2000).

L'évolution de la qualité des eaux du RENP a été simulée pour deux paramètres : les sulfates et la conductivité. Pour la modélisation, l'hypothèse a été émise que les sulfates et la conductivité sont des paramètres non dispersifs, c'est-à-dire que la qualité de l'ENP est proportion de la concentration d'eaux d'exhaure injectée.
Pour les deux paramètres, la répartition de l'eau dans le RENP en termes de qualité atteint quasiment son équilibre à partir d'une durée de 360 heures (15 jours). Les calculs de modélisation sont détaillés en Annexe 6. La Figure 84 illustre la répartition de la concentration des sulfates et de la conductivité sur le Bas-Ourcq au bout de 15 jours. Les couleurs, de bleu à rouge, indique par ordre croissant la concentration de ces paramètres dans le RENP.



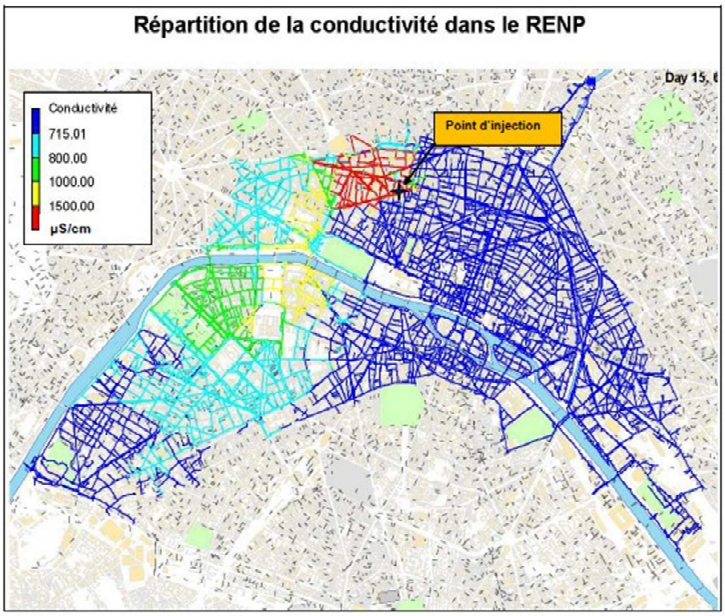


Figure 84 : Répartition de la conductivité et de la concentration en sulfate dans le RENP après injection des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dans le RENP (Wazzani 2015)

Pour les sulfates, les tronçons indiqués en rouge ont une concentration supérieure aux seuils proposés par EDP, soit de 250 mg/L. Le sous-réseau Bas-Ourcq étant gravitaire, la zone impactée se situe principalement au Sud de l'injection. Du point d'injection du coté de place d'Opéra jusqu'à l'esplanade des Invalides, la concentration des sulfates dans le RENP est supérieure à 250 mg/L. Au niveau du jardin du Champ de Mars, la concentration des sulfates varie entre 100 et 200 mg/L. Lorsqu'on considère la valeur de 575 mg/L (limite indiquée dans la règlementation portugaise NP 4334/2005 (*cf*. paragraphe 2.1.2.8), il apparaît que les concentrations en sulfates dans le réseau dépassent cette valeur sur une surface de l'ordre de 100 Ha.

Pour la conductivité, la valeur limite de la conductivité dans l'ENP proposée par EDP est de 700 µS/cm. D'autres valeurs limites constatées dans la bibliographie peuvent être proposées dans la discussion des résultats de modélisation : 1 000 µS/cm (valeur recommandée pour la règlementation portugaise) ou 3 000 µS/cm (valeur maximale pour la règlementation espagnole). Si on considère un seuil de conductivité de 1000 µS/cm, la zone impactée part du point d'injection jusqu'à l'Esplanade des Invalides. Elle représente 500 Ha, soit moins de 10% de la superficie du Bas-Ourcq.

Les résultats de l'étude hydraulique ont été présentés à la réunion de direction d'EDP en décembre 2015. Lors de cette réunion, la direction générale d'EDP a décidé de ne pas poursuivre l'étude de l'injection des eaux d'exhaure de Meyerbeer dans le RENP. En revanche, elle a demandé à la DRDQE de poursuivre des études complémentaires sur la qualité des eaux d'exhaure, en se basant sur les données des eaux d'exhaure de la RATP en 2002 (Compagnie générale des eaux 2002).

Entre-temps, EDP (notamment sa Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine) a été contactée par la VDP en juin 2015 sur les rejets d'eaux d'exhaure du parking Pyramides. Ce parc rejette certes un volume annuel d'eaux d'exhaure plus faible (63 10^3 m^3/an), soit dix fois moins que le parc de stationnement Meyerbeer, mais l'échéance du contrat d'affermage était proche (août 2017).
Sur la base de données de qualité transmises par la VDP, la DIP réalise une étude hydraulique sur le modèle hydraulique Bas Ourcq préalablement élaboré pour l'étude de Meyerbeer. Cette étude montre que malgré la prise en compte de l'effet de dilution, l'ENP après dilution des eaux d'exhaure continue à dépasser les seuils de dureté (49 au lieu de 30 TH), de conductivité (1062 au lieu de 700 µS/cm) et TAC (27 au lieu de 25°f). Seule la limite d'EDP est respectée pour les sulfates. Le Tableau 78 récapitule les résultats de l'étude hydraulique de modélisation.

Tableau 78 : Etude hydraulique de la dilution des eaux d'exhaure du parking Pyramides dans le réseau Bas Ourcq (EDP 2016b)

Paramètres	Parking Pyramides analyse CERECO (juillet 2014)	Valeur RENP Bas Ourcq	Valeur au niveau de l'injection (avec 37 m^3/h)	Valeur au niveau de l'injection (avec 95 m^3/h)	Valeurs seuils fixées par EDP en 2015
Dureté totale (°F)	67,2	35,4	49	56	30
Conductivité à 25°C (µS/cm)	1 532	715	1062	1250	700
Titre alcalimétrique	26,5	27,1	27	27	25
Sulfates (mg/L)	502	62,2	249	350	250

La DIP a transmis les résultats de cette étude à la direction d'EDP en charge de la qualité de l'eau, la DRDQE. Cette dernière juge qu'au vu de sa composition physico-chimique, cette eau présente principalement un risque élevé d'entartrage, ainsi qu'un risque de corrosion sur les équipements raccordés au RENP. En avril 2016, la décision est alors prise au sein de la DIP de ne pas poursuivre les études d'injection de ces eaux d'exhaure dans le RENP.

En juin 2016, la DRDQE remet ses études complémentaires sur la qualité des eaux d'exhaure la direction générale d'EDP et établit de nouveaux seuils (EDP 2016c). Sur la base de simulations de mélange d'ENP et d'eaux d'exhaure, elle estime aujourd'hui que la conductivité et la dureté des eaux d'exhaure ne doivent pas respectivement dépasser 1 000 µS/cm et 50°F, afin de ne pas avoir de risques d'entartrage et de corrosion dans le RENP.

Nous voyons ainsi que la qualité de ces eaux d'exhaure a suscité de nombreuses interrogations au sein d'EDP concernant son impact sur le RENP et ses usages. A cela se rajoutent d'autres interrogations sur les aspects économiques et organisationnels, qui sont l'objet du paragraphe suivant.

5.1.2.3 Des gains économiques discutables et des changements organisationnels à anticiper

Au niveau économique, l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP est initialement apparue comme un scénario « gagnant-gagnant » pour le gestionnaire du parking et EDP (*cf*. Figure 83). La question économique s'avère finalement plus complexe, et ce pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la question de la qualité des eaux d'exhaure de Meyerbeer induit des éventuels coûts de traitement. Les coûts d'investissement, d'exploitation mais aussi de maintenance associés seraient à prendre en charge par le gestionnaire du parking, et peuvent ainsi remettre en question le gain économique de l'injection dans le RENP pour cet acteur.
Par ailleurs, le gain économique pour la VDP est moins évident, en raison de ses deux budgets. Au niveau du budget général, la VDP reçoit une redevance d'exploitation du gestionnaire de parking plus importante, car ces charges liées aux rejets des eaux d'exhaure sont plus faibles. Au niveau du budget annexe, la SAP ne perçoit plus ses redevances pour la collecte des eaux usées. Ne recevant plus d'eaux d'exhaure dans ses égouts non plus, elle peut être amenée, en fonction de la pente des égouts au point de rejet, à utiliser de l'ENP à la place pour maintenir le curage des égouts.
EDP a un intérêt économique certain dans l'introduction de ces eaux, mais elle doit s'assurer que l'introduction de ces eaux ne détériore pas son RENP, et qu'elle n'impacte pas les usages. Au niveau organisationnel, EDP doit également établir une nouvelle relation avec un nouveau fournisseur d'eaux d'exhaure.
Enfin, un dernier acteur, le SIAAP, mérité d'être mentionné. Ce dernier ne reçoit plus les redevances transport-épuration pour des eaux qui ne nécessitaient pas de traitement mais qu'il continuera probablement à recevoir *in fine* dans ses collecteurs de transport en direction des STEP. En effet, les eaux d'exhaure injectées dans le

RENP seront principalement destinées aux usages municipaux, dont on estime que 90% sont rejetés en égouts. Or, les usages municipaux ne sont pas soumis à l'heure actuelle aux redevances assainissement.
A l'échelle de ce parking, l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP n'a qu'un impact faible sur le montant des redevances perçues par le SIAAP et la SAP. En effet, les eaux d'exhaure de Meyerbeer représentent aujourd'hui près de 1,76 10^3 m^3/j, ce qui représente 1% du volume total journalier moyen d'effluents traités par le SIAAP (SIAAP 2014b). Les enjeux économiques pour le SIAAP ne deviendront importants que si l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP est réalisée à plus grande échelle.

L'étude de ce cas met en avant les multiples rôles qu'endossent la VDP et ses directions respectives. Elle est gestionnaire du parking, gestionnaire des égouts, autorité organisatrice d'EDP et usager d'ENP. Elle doit arbitrer entre plusieurs enjeux qui ne sont pas forcément conciliables. Dans notre exemple, ces enjeux portent sur l'impact environnemental, les enjeux économiques, et les impacts sur les usages. Du point de vue environnemental, l'injection des eaux d'exhaure pourrait se justifier car elle permettrait de donner une seconde vie à ces eaux, et donc d'économiser le prélèvement dans les eaux de rivière. Toutefois, le gain environnemental est plus discutable si elle nécessite un traitement énergivore de ces eaux pour leur injection dans le RENP.
Sur le plan économique, nous voyons que le système de redevances rend les gains discutables pour la VDP et le SIAAP. Par ailleurs, la qualité des eaux d'exhaure fait apparaître le coût du traitement, ce qui rend la question économique encore plus complexe.
Enfin, l'impact sur le réseau et les usages est également un enjeu important, puisque l'introduction des eaux d'exhaure de Meyerbeer dans le RENP pose à la fois des questions d'entartrage et de corrosion pour le réseau, mais aussi sur l'arrosage. La modélisation introduit une réflexion sur la relation entre usages et ressources : est-il pertinent du point de vue de la durabilité d'adapter les usages (existants et futurs) en fonction de nouvelles ressources introduites dans le RENP ?

Nous remarquons également que le détenteur de la décision finale (ou plutôt le refus final) d'introduire les eaux d'exhaure dans le RENP n'était pas le même selon le parking considéré. Alors que le parking Meyerbeer a été l'objet d'un arbitrage par la Direction générale d'EDP, la décision concernant Pyramides a été prise à l'échelle de la DIP, direction d'EDP. Deux raisons sont possibles à cela. Tout d'abord, Meyerbeer était le premier parking étudié, nécessitant une décision de la Direction Générale d'EDP. Ensuite, les volumes d'eaux d'exhaure rejetés par Meyerbeer sont bien plus importants que Pyramides (facteur 10), ainsi les enjeux techniques et économiques n'étaient pas les mêmes.

En guise de conclusion, l'analyse de ces deux études de cas présentés (la gestion de l'Ourcq et l'introduction des eaux d'exhaure) nous confirment la nécessité pour les

acteurs décisionnaires du RENP de prendre en compte de multiples enjeux et de procéder à un arbitrage entre ceux-ci - ou *a minima* un compromis.
Ces exemples nous montrent également la nécessité d'avoir une vision large du système d'acteurs, qui ne se retreint pas qu'à la direction d'EDP et de la VDP. Alors que l'exemple de la rivière Ourcq a montré le rôle joué par les acteurs du Canal de l'Ourcq, l'exemple des eaux d'exhaure a montré l'importance des échanges entre services d'EDP dans le processus de décision sur la diversification des ressources.

Il nous parait ainsi pertinent d'analyser les positions de l'ensemble des acteurs par rapport à la diversification des ressources. Cette analyse est l'objet de la partie suivante.

5.2 Positions des acteurs par rapport à la diversification des ressources du RENP

Cette partie vise à comprendre à quelles conditions l'ensemble du système d'acteurs pourrait accepter la diversification des ressources. Pour cela, nous nous référons au système d'acteurs présentés dans la partie 3.2.4. Le Tableau 79 présente l'ensemble des acteurs identifiés pour l'analyse des positions. Il comporte les différents acteurs à EDP et à la VDP, et leur rôle respectif par rapport à l'ENP.
Il mentionne également les acteurs extérieurs à EDP et la VDP : l'AESN, l'EPTB, la DRIEE, VNF, SIAAP, SIAGRO et APUR. L'usager non municipal est représenté par le Muséum d'Histoire Naturelle qui utilise l'ENP pour l'arrosage et l'abreuvage des animaux. FNE est inclus, à la fois comme représentant d'un collectif de citoyens et membre du conseil d'administration d'EDP. La RATP est également incluse en tant que potentiel producteur d'eaux d'exhaure pour le RENP. Le Tableau indique également l'ensemble des acteurs identifiés, ainsi que le nombre de personnes enquêtées par type d'acteur identifié.

Tableau 79 : Acteurs identifiés pour l'analyse des positions

	Organisation: service de l'acteur	Abréviations	Rôle par rapport à l'ENP	Nb de personnes enquêtées
Eau de Paris	EDP: Direction de la Distribution	EDP:DD	Est exploitant et maître d'ouvrage du RENP	1
	EDP: Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine: Pôle Eau non potable et bois	EDP:DIP	Est maitre d'ouvrage délégué RENP et pilote les expérimentations	1
	EDP: Direction des Relations Extérieures et du Développement	EDP:DIRED	Décide des enjeux stratégiques, et en charge des relations institutionnelles avec la VDP	1
	EDP: Direction de la Ressource en Eau et de la Production	EDP:DIREP	Gère les usines de production d'EP et les captages	1
	EDP: Direction Recherche, Développement de la Qualité et de l'Eau	EDP:DRDQE	Expert sur la qualité de la ressource d'ENP	4
	EDP: Direction des Ressources Humaines et des Finances: Service aide au pilotage & contrôle de gestion	EDP:DRHF	Gère les enjeux financiers à l'ENP	1
Ville de Paris	VDP : adjoint au Maire / et président d'EDP	-	En charge à la VDP de toutes les questions relatives à l'eau et préside EDP	-
	VDP: Direction des Espaces Verts et de l'Environnement:Service Arbre et Bois	VDP:DEVE - BB	Est usager de l'ENP : gère les Bois de Boulogne	1
	VDP:Direction des Espaces Verts et de l'Environnement:Service Exploitation des Jardins-Mission Technique	VDP:DEVE-EV	Est usager de l'ENP : gère les espaces verts	1
	VDP:Direction de la Voierie et des Déplacements:Service des canaux	VDP:Canaux	Est fournisseur d'eau brute : gère le service canaux	1
	VDP:Direction de la Propreté et de l'Eau:Service Technique de la Propreté de Paris :Section de l'Assainissement de Paris:Division coordination de l'exploitation et guichet unique	VDP:SAP	Est usager de l'ENP : gère les réservoirs de chasse	1
	VDP:Direction de la Propreté et de l'Eau:Service Technique de l'Eau et de l'Assainissement:Section Politique des eaux	VDP:SPE	Est autorité organisatrice du service de l'eau	2
	VDP: Direction de la Propreté et de l'Eau:Service Technique de la Propreté de Paris:mission propreté	VDP:STPP	Est usager de l'ENP : gère le nettoyage des trottoirs et des chaussées	2
Autres	Agence de l'eau Seine Normandie:Direction Territoriale Rivières d'Ile de France:Service milieu aquatique et agriculture des rivières Ile de France	AESN	Collecte les redevances AESN, et veille au bon état des cours d'eau	1
	Atelier parisien d'urbanisme	APUR	Est expert d'aide à la décision à la VDP	2
	Etablissement Public Territorial de Bassin Seine Grands Lacs	EPTB	Soutient les cours d'eau en période d'étiage	1
	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Energie:Service Police de l'eau Axes - Paris-proche couronne	DRIEE	Veille au respect de la règlementation sur les cours d'eau	2
	France Nature Environnement	FNE	Société civile et membre du conseil d'administration d'EDP	1
	Muséum d'Histoire Naturelle:Direction de la Rénovation et de la Maintenance	Muséum	Usager non municipal de l'ENP	2
	Régie autonome des transports parisiens	RATP	Est potentiel fournisseur d'eau	2
	Syndicat intercommunal pour l'aménagement et la gestion de la rivière *Ourcq*	SIAGRO	Gère la rivière Ourcq en aval de la prise d'eau du Canal de l'Ourcq	1
	Syndicat interdépartemental pour l'assainissement de l'agglomération parisienne	SIAAP	Collecte:traite les effluents, potentiel fournisseur d'eau	3
	Voies Navigables de France	VNF	Gère les voies navigables (Seine, Marne) Collecte la taxe hydraulique AESN	1

Pour rappel, nous avions émis au début de notre recherche l'hypothèse que l**es acteurs se positionnent par rapport à la diversification des ressources en fonction de leur perception des avantages et des inconvénients qu'elle induit sur leur organisation.**

Cette hypothèse accorde une place fondamentale aux notions de représentation et de perception, qu'il convient de définir à présent. Etymologiquement, représenter vient du latin *repraesentare*, qui signifie « rendre présent ». A la frontière du psychologique et du social, les représentations sociales permettent aux individus d'avoir une prise sur leur environnement, de se l'approprier et d'agir sur lui. Abric définit la représentation comme une *«vision fonctionnelle du monde, qui permet à l'individu ou au groupe de donner un sens à ses conduites, et de comprendre la réalité, à travers son propre système de références, donc de s'y adapter, de s'y définir une place* » (Abric 1994). Nous nous intéressons, en particulier aux perceptions des acteurs qui résultent de représentations individuelles et collectives qu'ils ont de la gestion du RENP. Afin de définir plus précisément la perception, nous nous appuyons sur les travaux de E. Moulin qui définit la perception de l'habitant du risque d'inondation en ces termes suivants (Moulin 2015, 353) :

> « La perception s'entend par la manière dont l'habitant appréhende et comprend le risque d'inondation, de façon plus ou moins construite, en fonction du sens commun, de ce que disent les médias, les chercheurs et les professionnels du risque. Sa perception est liée à la fois à sa connaissance et à son jugement. Souvent, ces personnes ne se sont pas posé la question de manière discursive : leur perception peut donc être comprise comme une appréhension immédiate, parfois en l'absence de raisonnement ».

Nous reprendrons cette définition que nous réadaptons à notre recherche. La perception s'entend par la manière dont l'acteur appréhende et comprend le fonctionnement du RENP et de ses évolutions potentielles, en fonction de sa connaissance et de son jugement. Comme le précise Moulin ci-après leur perception peut également être « comprise comme une appréhension immédiate, parfois en l'absence de raisonnement » (Moulin 2015, 353).

Nous déclinerons ces hypothèses sous forme de trois sous-hypothèses présentées ci-après.

Une première hypothèse est émise selon laquelle **la perception de la diversification des ressources du RENP dépend de leur perception de la gestion actuelle du réseau**.
On émet cette hypothèse au regard du maintien du RENP décidé par la VDP en mars 2012. En effet, cette décision a été prise à l'issue de la conférence de consensus, pendant laquelle une des raisons principales évoquées pour le maintien du RENP portait sur les usages potentiels que ce réseau pouvait avoir vis-à-vis du changement climatique (VDP 2009a).
On pourrait ainsi déduire qu'avoir une vision positive des potentialités du réseau pourrait déteindre sur la vision de la gestion actuelle du RENP, et inversement. Cela

peut s'illustrer concrètement avec un extrait du Livre Bleu en 2012, où la VDP s'exprime sur le RENP en les termes suivants (VDP 2012c, 19):

> « À Paris, l'eau non potable présente de réels avantages pour faire face aux changements qui s'annoncent dans la gestion et la place de l'eau dans la ville, comme dans la métropole. Au regard de l'évolution du climat qui risque d'accroître les besoins en eau et de modifier le fonctionnement du cycle naturel de l'eau, l'existence d'un second réseau constitue en effet un atout de premier ordre pour minimiser la pression sur l'environnement en limitant la production d'eau potable, consommatrice d'énergie, aux seuls usages qui la nécessitent. Il répond également au souci de bonne maîtrise des consommations énergétiques puisque son fonctionnement est essentiellement gravitaire. »

Une seconde hypothèse **est émise selon laquelle la position des acteurs sur la diversification des ressources du RENP dépend des avantages et inconvénients causés par la diversification selon des critères identifiés pour leur organisation**. Cette hypothèse est émise au regard des arbitrages auxquels les acteurs ont dû faire face dans les deux exemples cités précédemment. Notre approche se rapproche de celle de l'analyse multicritère. Cette dernière est un outil d'aide à la décision usuellement développé qui permet au décisionnaire de se baser sur plusieurs critères afin de pouvoir choisir entre plusieurs actions potentielles. Pour cela, une famille de critères est construite, afin de permettre la comparaison entre deux actions potentielles (Merad 2010, 67).

Les critères pour l'analyse des positions des acteurs de l'ENP ont été définis conjointement avec EDP. Ces critères se sont inspirés de travaux de L. Guérin-Schneider qui portaient sur les objectifs d'un service de l'eau et des indicateurs présentés par les services d'eau en France dans leur Rapport sur le Prix et la Qualité de Service (Guérin-Schneider 2001). Les critères, désignés par « facteurs » lors de la prise de contact avec les acteurs, sont présentés sur le Tableau 80.

Tableau 80 : Facteurs présentés aux acteurs pendant l'entretien

Facteurs à prendre en compte	Définition
Règlementation	Contraintes réglementaires comme les débits réservés, les possibles normes de qualité etc.
Contraintes d'usages	Contraintes d'usage (quantité, qualité) induites par les usages municipaux.
Respect des engagements contractuels	Respect des objectifs fixés par les acteurs (ex : contrat d'objectifs entre la Ville de Paris et Eau de Paris etc.)
Difficultés techniques d'exploitation	Problèmes au niveau de l'exploitation des infrastructures.
Changements organisationnels	Adaptation d'organisation des services existants en fonction des nouvelles relations comme par exemple la venue d'un nouvel acteur.
Intérêt économique	Gains et des coûts économiques selon les différents acteurs.
Impact environnemental	-Données quantitatives (consommations énergétiques, économies de prélèvement sur les eaux de rivières) -Données qualitatives (impact local sur les cours d'eau)
Acceptation sociale (société civile)	Importance de l'opinion publique (citoyen ? consommateurs ?) qui peut influer la prise de décision des acteurs.
Relations avec les acteurs territoriaux	Potentiels conflits d'usages entre les différents acteurs vis-à-vis de la ressource (exemple : Canal de l'Ourcq et Marne)

Enfin, une troisième hypothèse est émise, selon laquelle **la perception de la diversification des ressources du réseau d'eau non potable dépend du périmètre d'action de l'enquêté et de son lien avec l'ENP**.

On émet cette hypothèse suite aux échanges avec un gestionnaire des égouts de la VDP. Celui-ci nous avait expliqué l'historique du fonctionnement des RC, mentionné dans le paragraphe 3.1.2.1. Suite à l'arrêt des RC programmé en 1984, les égoutiers ont fait part d'une dégradation des conditions de salubrité lors de leur passage en égout, et l'associent à l'arrêt des RC. Nous pouvons alors estimer que les égoutiers se sentent proches « physiquement » de l'ENP et qu'elle leur paraît essentielle pour travailler des bonnes conditions dans les égouts. Il est alors probable qu'ils soient favorables à tout choix sur l'alimentation du RENP, tant qu'il permet une alimentation correcte des RC.

Afin de vérifier ces trois hypothèses, nous réalisons des entretiens semi-directifs auprès des acteurs. Un entretien semi-directif est défini par M. Soyer en les termes suivants (Soyer 2014, 40):

> « L'entretien semi-directif désigne une interview au cadre relativement souple. Un guide précautionneusement établi par le chercheur systématise les thèmes et les questions à aborder, mais la plupart d'entre elles sont ouvertes pour stimuler un échange relativement libre. La qualité des relances effectuées détermine en grande partie la qualité des données recueillies. Cet exercice cherche à recenser des données factuelles mais aussi modales, c'est à dire qui donnent à voir les représentations des acteurs, leurs raisonnements, leurs clés de lecture, la façon dont ils reconstruisent leurs actions et les interprètent. »

Avant l'entretien, une note explicative est envoyée à l'acteur afin de remettre en contexte l'entretien. Sur la base de ce document, l'acteur peut préparer la discussion sur les facteurs présentés ci-dessus. Pour notre part, avant chaque entretien, nous élaborons un *guide d'entretien* sous forme de liste récapitulative de thèmes et de questions à aborder. Ce guide vise à évoquer les thèmes suivants avec chaque acteur :

- son périmètre d'action et son lien avec l'ENP
- son point de vue sur la gestion actuelle du RENP et ses possibles évolutions
- sa propre définition des facteurs présentés
- lorsqu'il est possible, une hiérarchisation de ces facteurs identifiés pour accepter la diversification des ressources.

Un exemple d'entretien est présenté en Annexe 7. Avec l'accord des acteurs, les entretiens ont été enregistrés et retranscrits[41].La retranscription de l'entretien semi-directif rend possible l'analyse du discours des acteurs et permet de révéler « *une représentation du monde, une vision des problèmes et des solutions* » des enquêtés (Soyer 2014, 44). A partir des points de vue des acteurs recueillis, on caractérise leur représentation de la gestion actuelle du RENP et des évolutions possibles de son alimentation. A l'issue de chaque entretien, un compte-rendu est envoyé aux personnes interviewées pour confirmation.

Le déroulement des entretiens semi-directifs, avec notre double statut LEESU/EDP, a présenté des avantages mais montré aussi certaines limites. En effet, la représentation que l'enquêté a de l'enquêteur peut influer sa parole (Legavre 1996). Dans notre cas, notre statut n'était pas tout à fait neutre en raison de notre appartenance à EDP en tant que salarié. Ceci a également présenté des avantages : en effet, l'entretien avec les acteurs d'EDP a pu s'apparenter à un échange interne à EDP. Certains acteurs se sont parfois exprimés avec beaucoup de facilité. Toutefois, d'autres personnes avaient déjà échangé avec l'auteur sur le sujet, et évitaient donc intentionnellement de développer certains sujets. D'autre part, il est possible que certains services de la VDP aient utilisé l'entretien comme une opportunité de transmettre des messages à EDP.

[41] Deux acteurs ont refusé l'enregistrement de l'entretien : un compte-rendu leur est envoyé pour confirmation.

En effet, certains acteurs ont beaucoup parlé du fonctionnement actuel du RENP et se sont moins livrés à l'exercice de réfléchir à la diversification des ressources. Le statut EDP a posé aussi question au sein d'EDP, qui a vu dans ces entretiens des enjeux stratégiques, et qui a fait assister ses cadres aux premiers entretiens afin de valider la démarche. Afin de limiter ces biais, la grande majorité des entretiens ont été réalisés accompagné par un deuxième enquêteur issu du même milieu académique. Sur les 22 entretiens, 4 ont été réalisés par l'auteur seul, 17 en binôme avec un autre enquêteur, et 1 par un autre enquêteur seul. Ils ont été conduits pour la plupart d'avril à juillet 2016.
Par ailleurs, l'adjoint à la Maire de Paris chargé de toutes les questions relatives à l'environnement, au développement durable, à l'eau, à la politique des canaux et au « plan climat énergie territorial » étant difficilement accessible et la conduite d'entretiens ayant démarré tardivement pendant la thèse, il n'a pas été possible de réaliser un entretien avec cet acteur. Les documents officiels publiés par la VDP nous permettront de connaître la position de l'élu parisien.

L'analyse des entretiens a permis de montrer les convergences et divergences d'opinion entre les acteurs sur la gestion actuelle du RENP et la diversification de ses ressources. Cette analyse qualitative s'accompagne également d'une illustration sous forme d'échelle graduée, appelée dans la suite « axe de perception » pour chaque thème abordé. Chaque axe, en fonction de chaque thème abordé, comporte quatre catégories : « positif » ; « négatif » ; « avec réserve » « sans avis ». Ces catégories sont décrites ici avec un exemple de thème abordé « l'adéquation de l'ENP aux usages existants en termes de débits et pression » :

- « Positif » : l'acteur pense que l'ENP satisfait correctement les usages existants
- « Négatif » : l'acteur pense que l'ENP ne satisfait pas correctement les usages existants
- « Avec réserves » : l'acteur a une vision plus nuancée sur cette adéquation entre ENP et usages et explique ses arguments.
- « Sans avis » : l'acteur n'exprime pas d'avis sur l'adéquation entre ENP et usages. Cette catégorie ne sera pas représentée sur l'axe et comporte par défaut tous les acteurs non représentés sur l'illustration.

Le positionnement des acteurs sur ces axes se base sur une analyse qualitative des discours (en tenant compte par exemple des champs lexicaux, des occurrences et du ton de la voix).
Au sein de chaque catégorie d'axe (par exemple, « favorable »), l'analyse des entretiens peut nous amener à distinguer différents types de « degrés », comme « plutôt favorable » et « très favorable ». Les acteurs sont positionnés au sein de la catégorie en fonction du nombre de degrés identifiés. Si un seul degré est identifié dans la catégorie favorable, l'acteur (ou le groupe d'acteurs) est positionné au milieu de la catégorie. Si on identifie deux degrés dans une même catégorie, les deux groupes d'acteurs sont positionnés de manière uniforme dans la catégorie.

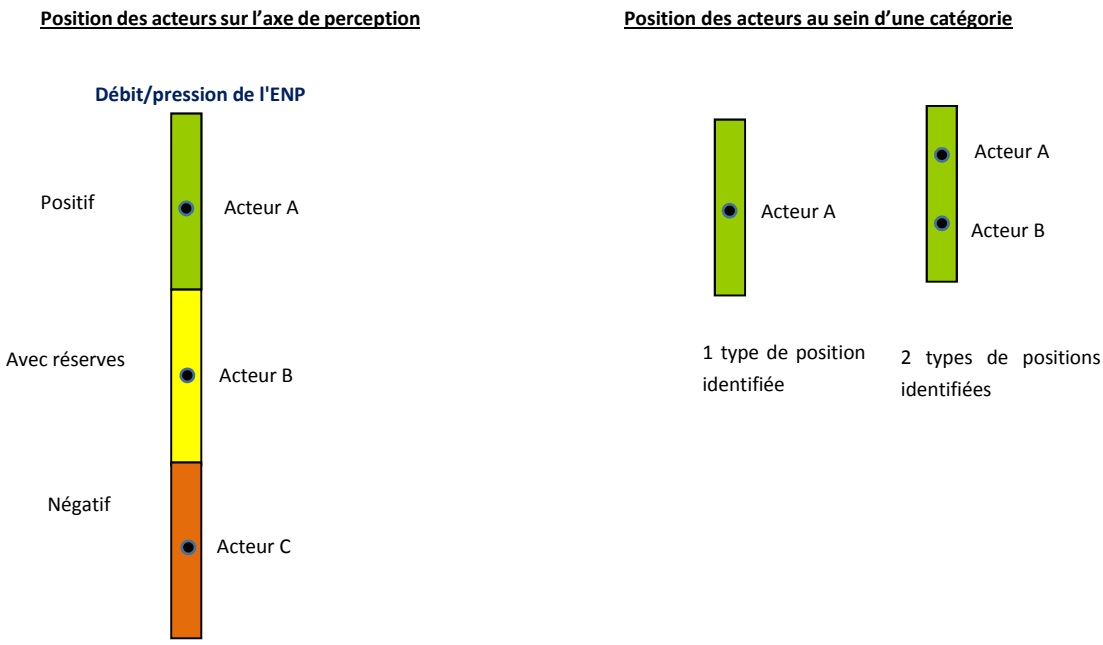


Figure 85 : Positionnement des acteurs sur l'axe de perception

Dans la suite, la partie 5.2.1 traitera d'abord des convergences et divergences d'opinion sur la gestion actuelle du RENP. Certains acteurs se sont exprimés sur les potentialités du RENP, c'est-à-dire les avantages possibles de son utilisation (gain économique, préservation de la ressource, etc.). On émettra une hypothèse intermédiaire selon laquelle la perception des potentialités du RENP peut expliquer la perception de la diversification des ressources du RENP. Il nous paraitra alors pertinent de comparer les différents axes de perception en situation actuelle par rapport à l'axe de perception « potentialités du RENP ». Une focale sera portée dans cette partie 5.2.1.6 sur lien entre l'acteur et l'ENP dans sa perception des potentialités du RENP.

Dans la partie 5.2.2, nous présenterons les convergences et divergences d'opinion sur la diversification des ressources du RENP. Nous vérifierons l'hypothèse intermédiaire selon laquelle la perception des potentialités du RENP peut expliquer la perception de la diversification des ressources du RENP. La discussion des facteurs avec les acteurs permettra de connaitre les facteurs que les acteurs considèrent comme les plus importants pour accepter la mise en place de la diversification des ressources du RENP.

Enfin, une analyse sera réalisée plus globalement dans la partie 5.2.3 afin de déterminer les freins et les leviers pour la mise en place de la diversification des ressources du RENP à l'échelle du système d'acteurs.

5.2.1 Perception de la gestion actuelle du RENP

Le RENP est décrit par les acteurs comme un objet technique composé de tuyaux, de réservoirs et d'installations de pompage. En particulier, ceux-ci s'expriment spontanément sur les *potentialités* que le RENP pourrait avoir par rapport à son fonctionnement actuel. Nous définissons les potentialités du réseau comme les avantages possibles que le réseau peut avoir selon des objectifs bien définis : la préservation des ressources en eau, l'adaptation de la ville au changement climatique, les gains économiques, etc. Ces potentialités sont ainsi variées et peuvent être différentes selon l'acteur considéré.
Par ailleurs, les acteurs abordent systématiquement l'adéquation de l'ENP avec les usages existants, en termes de volumes comme de qualité. Certains s'expriment également sur le schéma d'alimentation actuel du RENP, et plus largement sur la disponibilité de la ressource en eau. Enfin, quelques acteurs évoquent leur besoin d'information de la part du gestionnaire du RENP, EDP. Nous présentons désormais les convergences et divergences d'opinion des acteurs sur chacun de ces aspects.

5.2.1.1 Un RENP essentiel pour les usagers, dont l'état est discuté

La perception du RENP ne fait pas l'objet de questions directes lors de l'entretien. En effet, les questions posées[42] portent plutôt sur l'adéquation entre le RENP et ses usages ; la perception du RENP est donc un résultat des analyses. Certains acteurs donnent spontanément leur opinion sur le RENP, alors que d'autres acteurs apportent des éléments factuels sur le RENP.
Plusieurs aspects du RENP ont été abordés par les acteurs pendant l'entretien : son importance, son état, sa gestion, et ses potentialités.

Importance

Le RENP est perçu comme essentiel pour l'activité des usagers, car il constitue une entrée d'eau pour leurs usages. Par exemple, le Muséum d'Histoire Naturelle a déjà engagé des travaux importants pour l'arrosage avec l'ENP entre 2006 et 2007. Depuis, les gestionnaires du Muséum ont entendu parler d'une délibération en 2012 en cours d'élaboration à la VDP qui ne serait peut-être pas favorable au maintien du RENP. Les incertitudes liées au devenir du RENP ont été source d'inquiétudes pour ces acteurs, comme l'illustre cet extrait d'entretien :

> **«Z13** [Enquêté 1] : on nous a dit qu'il y avait peut-être une délibération en cours qui ne serait peut-être pas favorable à l'utilisation de l'eau non potable
> **Y23** [Enquêté 2] : c'était en 2010 je crois, l'APUR a mené les travaux sur les réflexions stratégiques sur le maintien ou non de l'eau non potable. Ces travaux ont eu une issue favorable, a priori.
> **Z14** [Enquêté 1] : En 2012, on attendait la décision !
> **Y24** [Enquêté 2] C'était un peu stressant. »

[42] Les questions préparées dans le guide d'entretien sont indiquées en Annexe 7.

L'acteur VDP:STPP considère l'usage de l'ENP comme historique, et insiste sur l'importance de l'eau pour le travail de l'agent de la propreté : « *Notre organisation est uniquement basée sur un bonhomme, un balai, et de l'eau dans le caniveau. Donc si on enlève l'eau du caniveau, il lui reste un balai, donc rien enfin pas grand-chose »*

Etat

Le réseau est perçu comme étant en mauvais état et fragile par les acteurs EDP:DRHF, EDP:DRDQE et VDP:SPE. Ceci est exprimé de manière explicite (par des formulations du type « *il est en mauvais état* ») ou de manière implicite (par des formulations du type « *le RENP est l'objet actuel de nombreux investissements »*).
L'exploitant du RENP, EDP:DD, a une vision plus nuancée sur l'état du réseau. Il met en avant le travail de son équipe sur la gestion du RENP et sur la réparation des casses : le rendement du RENP et la connaissance patrimoniale du SIG ne doivent être pas sous-estimés selon lui. Il exprime cependant des craintes si on « *chahute* » ce réseau et évoque ses nombreuses casses passées.
D'autres acteurs se caractérisent par une perception plutôt positive de l'état du réseau. L'acteur VDP:DEVE-EV a une vision optimiste sur l'état du RENP qui sera amélioré selon lui à long-terme au vu des investissements réalisés. L'APUR, d'après les échanges qu'il a eu avec les égoutiers de la RENP, pense que le RENP n'est pas si « *fuyard* ». En effet, le RENP est « *colmaté* », ce qui peut ainsi réduire ses fuites.
Ces divergences d'opinion s'expliquent en partie par le manque de données précises à l'heure actuelle sur l'état du RENP et sur son rendement (*cf.* partie 3.1.2.).

Gestion

Le RENP est perçu comme un objet complexe à gérer par quelques acteurs. La complexité porte sur la caractérisation de ses entrées et sorties d'eau. L'acteur à EDP chargé de caractériser la qualité de l'ENP, EDP:DRDQE, trouve que les entrées et sorties du RENP restent « *floues* ». FNE évoque le RENP comme un « *monstre* » qui sera amené à se complexifier selon lui si l'on diversifie ses ressources. Les acteurs VDP:SPE et FNE expriment un besoin de connaissance, et d'une plus grande maîtrise des volumes et de la qualité de l'ENP distribuée.
A l'inverse, l'exploitant du RENP, EDP:DD, pense qu'on peut aisément mieux connaître le RENP (par exemple son rendement) grâce à une instrumentation mise en place. Il évoque cependant la nécessité des moyens techniques, humains et financiers à mettre en œuvre.

Potentialités

Enfin, le RENP est vu chez certains acteurs comme un instrument avec de nombreuses potentialités : adaptation climatique (FNE), préservation des ressources (AESN, DRIEE, FNE, RATP), gain économique et environnemental (RATP). L'acteur VDP:DEVE-EV, responsable de la conversion de l'arrosage EP:ENP des espaces

verts, voit le RENP comme un instrument pour réduire les consommations d'EP. Le Muséum voit également dans le RENP une opportunité au niveau environnemental et économique. Quelques extraits d'entretiens permettent d'illustrer ces positions ci-dessous :

> « [Favoriser les consommations d'eau non potable par rapport à l'eau potable] permet d'éviter d'utiliser une eau qui est traitée a priori pour être apte à la consommation, donc d'un point de vue environnemental, c'est quand même tout à fait bénéfique. D'un point de vue financier, l'ENP est également une eau qui est bien moins chère, donc qui est intéressante à exploiter». Acteur VDP :DEVE-EV.

> « L'eau non potable devient un outil essentiel pour une revégétalisation de la ville, pour que la ville s'adapte […]. Il y a la tendance de l'offre technologique, de l'aspersion de flotte, tout un tas de systèmes plus ou moins sophistiqués […] Pour faire ça, il faut absolument au moins au démarrage et puis pour l'entretien une eau qui soit non potable mais une eau qui soit accessible pour ce type de choses ». Acteur FNE.

L'APUR se distingue des autres acteurs, en pensant que la « *force du réseau est le réseau* » : il peut à la fois contribuer à la préservation des ressources et au développement de nouveaux usages, comme le rafraîchissement urbain dans un contexte de changement climatique.
Inversement, des acteurs expriment des réserves sur les potentialités du RENP. L'acteur VDP:STPP exprime des réserves sur le développement des nouveaux usages de l'ENP tels que la climatisation. L'acteur EDP:DRDQE pense que diversifier les ressources et les usages du RENP ne ferait que compliquer la situation actuelle. De même, la VDP:SPE préfère se concentrer sur l'amélioration de la gestion actuelle du RENP avant de réfléchir sur les prospectives.

La Figure 86 présente les axes des différents aspects identifiés sur la perception du RENP : son importance, sa gestion, son état et ses potentialités. L'axe « potentialités du RENP » est comparé avec les autres axes.

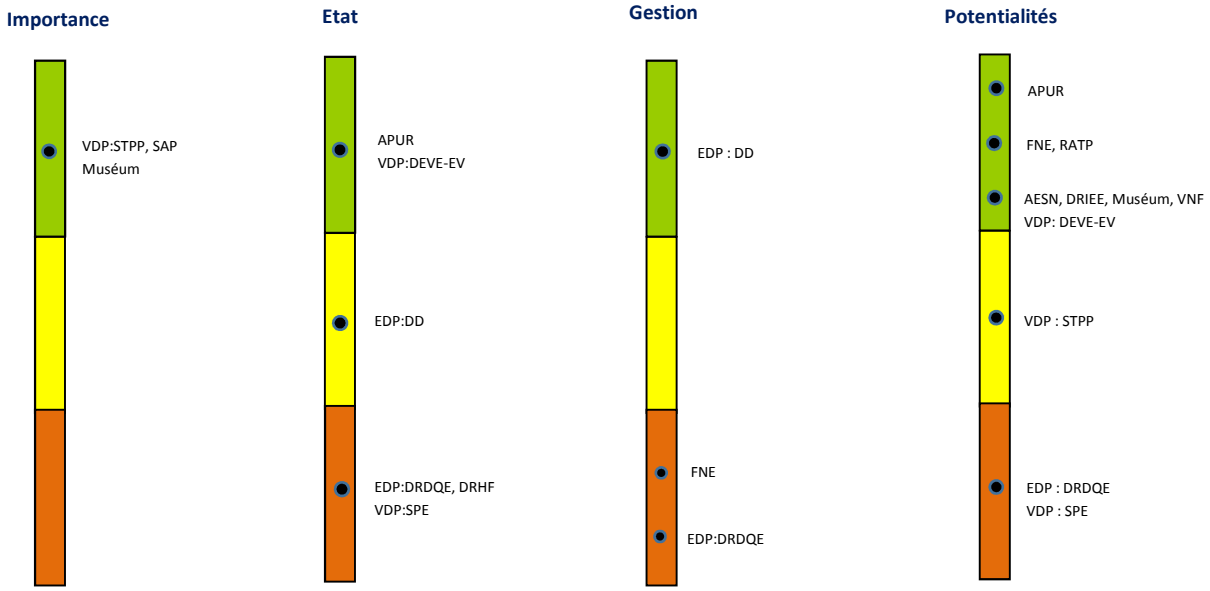


Figure 86 : Axes de perception des acteurs du RENP

D'abord, les axes « importance du RENP » et « potentialités du RENP » sont considérés. On observe que les usagers qui insistent sur l'importance du RENP ont généralement une position non tranchée sur les potentialités du RENP. Ainsi, le Muséum, le VDP:STPP et la VDP:SAP insistent sur l'importance du RENP ; leurs positions sur les potentialités du RENP diffèrent, mais restent peu tranchées. Alors que le Muséum voit le RENP comme une opportunité au niveau environnemental et économique, le VDP:STPP exprime des réserves sur le développement de nouveaux usages comme la climatisation. La VDP:SAP n'exprime pas d'avis quant aux potentialités du RENP.

Ensuite, les axes « état du RENP » et « potentialités du RENP » sont comparés. Il apparaît que les acteurs avec une perception positive de l'état du RENP ont une perception positive des potentialités de ce RENP. C'est le cas des acteurs APUR et VDP:DEVE-EV. D'autre part, les acteurs n'ayant pas exprimé d'avis sur l'état du RENP ont une vision positive des potentialités du RENP (FNE, RATP, AESN et DRIEE).

Enfin, les axes « gestion du RENP » et « potentialités du RENP » sont comparés. On remarque que l'acteur EDP:DRDQE a une perception d'un réseau complexe et en mauvais état ; il a également une perception négative des potentialités du RENP.

En résumé, le RENP est perçu par les usagers comme essentiel pour leur activité. Néanmoins sur l'ensemble des acteurs enquêtés, des divergences portent sur l'état du RENP et ses potentialités.

En plus d'évoquer le réseau en tant que tuyaux, les acteurs s'expriment sur l'adéquation de l'ENP aux usages, aussi bien en termes de quantité (débit et pression) que de qualité (physico-chimique et microbiologique). Nous abordons ces questions dans la suite.

5.2.1.2 Des divergences sur l'adéquation de l'ENP aux usages en termes de débit et de pression

Les acteurs ne sont pas unanimes sur la capacité du RENP à distribuer une eau qui satisfait les usages existants, en termes de débit et de pression. Ceci se traduit par la distinction de plusieurs types de groupes d'acteurs.

Le premier groupe d'acteurs pense que l'ENP mise en distribution à l'heure satisfait les usages existants au niveau du débit et de la pression. L'acteur VDP :DEVE-EV est globalement satisfait du débit et de la pression de l'ENP alimentant actuellement ses jardins. Il mentionne quelques zones mal desservies, qui restent toutefois minoritaires. Il est plutôt optimiste sur l'amélioration de la pression du RENP avec les travaux actuellement en cours du le RENP :

> « A mon avis, la pression ne va pas se détériorer. Comme Eau de Paris travaille actuellement sur le renouvellement des conduites, plus le linéaire de conduites changées sera important, plus la qualité de pression sera uniforme et satisfaisante. »

Il insiste plutôt sur la nécessité de pouvoir mettre en place un surpresseur (c'est-à-dire des pompes) directement raccordé au RENP, sans passer par une bâche intermédiaire. EDP n'autorise pas actuellement la surpression en direct sur le RENP, qui, en cas d'arrêt de pompes, génère des phénomènes transitoires pouvant aboutir à des ruptures de canalisations. La conversion de l'alimentation en EP vers l'ENP des jardins de la DEVE nécessite la présence d'une bâche intermédiaire qui doit être installée entre le RENP et les équipements d'arrosage. Le montant important des travaux pour la mise en place de cette bâche pourrait remettre en cause la pertinence économique du projet de conversion d'EP vers l'ENP.
Les acteurs VDP:DEVE-BB et le Muséum jugent, quant à eux, la distribution de l'ENP correcte. Celle-ci s'est largement améliorée depuis le maintien du RENP (VDP/DEVE-BB) ou depuis la prise en main d'EDP de la gestion de l'eau (Muséum).
Enfin, l'APUR avait interrogé les usagers d'ENP pour l'élaboration de ses études sur l'ENP. D'après ces retours, une faible pression pourrait être palliée par la mise en place d'un surpresseur. L'APUR voit par ailleurs la faible pression du RENP comme un avantage au niveau des consommations énergétiques, en raison de son fonctionnement gravitaire. Cette position est également reprise par la VDP dans son Livre Bleu (VDP 2012c) : « *il* [*le réseau*] *répond également au souci de bonne maîtrise des consommations énergétiques puisque son fonctionnement est essentiellement gravitaire* ».

Un deuxième groupe d'acteurs a une position plus nuancée. La VDP:SAP a réalisé des interventions en égouts pour réaliser les diagnostics des RC. Une fois sur place, les égoutiers ont parfois constaté une trop faible pression du RENP, ce qui ne pouvait pas permettre d'alimenter les RC en eau. Ils ne pouvaient pas alors tester le fonctionnement des réservoirs et réaliser leur diagnostic. Ainsi, un manque de continuité de débit et de pression peut être très gênant pour le travail des égoutiers. Toutefois, des tests réalisés *a posteriori* avec les égoutiers ont montré une

alimentation en ENP relativement stable, en tout cas pendant la période de tests réalisés.
A EDP, des acteurs adoptent une position de *statu quo* : la pression et le débit sont certes inégaux, mais le RENP actuel ne peut pas garantir une continuité de pression et de débit. Certains le disent explicitement (EDP:DIP) ou le sous-entendent (EDP:DRDQE, EDP:DRHF).

Un troisième groupe d'acteurs pense que le débit et la pression sont insuffisants au regard des usages actuels et futurs. A EDP, des acteurs responsables de l'exploitation (EDP:DD) et de la stratégie (EDP:DIRED) ont une vision stratégique pour le développement du service de l'ENP. L'absence de garanties actuelles en termes de débit et de pression leur semble être un frein dans un contexte où EDP souhaite aujourd'hui promouvoir les usages de l'ENP. A titre d'exemple, l'acteur EDP:DIRED évoque le cas d'une expérimentation d'un nouvel usage de l'ENP, la climatisation. Pendant l'expérimentation, la mise en distribution de l'ENP a présenté des problèmes de continuité, en termes de débit et de pression. Cela a amené les gestionnaires de climatisation à finalement alimenter les installations en EP. Ce genre de dysfonctionnement leur semble délicat si EDP souhaite aujourd'hui développer les usages d'ENP.
Le VDP:STPP juge également la pression et le débit insatisfaisants pour assurer le nettoyage des trottoirs correctement. Il a fait part de ces retours à l'autorité organisatrice, la VDP:SPE, qui est du même avis. Cette dernière évoque également la nécessité d'un comptage précis des volumes consommés, afin d'établir une facture au m^3, mais aussi dans l'objectif d'anticiper une évolution des autorisations de prélèvement sur les cours d'eau.

Enfin, des acteurs ayant une vision plus éloignée du RENP ne s'expriment pas sur l'adéquation entre l'ENP et les usages existants, du point de vue du débit et de la pression. FNE et l'AESN s'expriment plutôt sur les volumes représentés par les usages. Ils insistent sur la sobriété des usages, notamment chez les équipements d'arrosage avec l'ENP.

La Figure 87 présente les axes de perception de la pression et du débit de l'ENP. Elle comporte également l'axe de perception des potentialités du RENP.

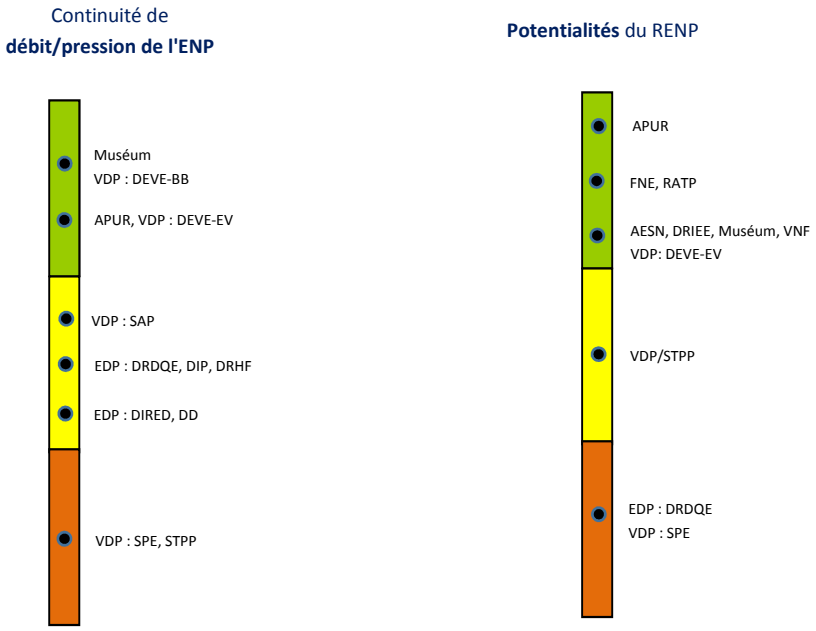


Figure 87 : Axe de perception du débit et de la pression de l'ENP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP

Il apparaît que des acteurs qui ont une forte perception négative du débit et de la pression actuels de l'ENP ont une perception peu ou fortement négative des potentialités. C'est le cas des acteurs VDP:STPP et VDP:SPE.

En dépit des divergences constatées précédemment, il est intéressant de noter qu'à l'exception du VDP:STPP, tous les usagers pensent que l'ENP est distribuée de manière correcte en termes quantitatifs. Dans le paragraphe suivant, nous verrons que les convergences sont plus fortes sur l'adéquation entre l'ENP et les usages, en termes de qualité.

5.2.1.3 La qualité de l'ENP plus questionnée pour les usages futurs que les usages actuels

La majorité des acteurs s'accorde à penser que la qualité de l'ENP satisfait les usages existants. Différents groupes d'acteurs sont toutefois distingués.

Le premier groupe d'acteurs pense que la qualité physico-chimique de l'ENP est adaptée aux usages existants**.** La VDP:SAP et la VDP:STPP pensent que leurs usages ne nécessitent pas forcément une EP. L'usage de l'ENP est considéré comme historique par les acteurs VDP:SAP, VDP:STPP et le Muséum. L'ENP peut avoir des avantages pour l'arrosage par rapport à l'EP : elle est plus riche en nutriments (VDP:DEVE-EV), et moins froide que l'EP (VDP:DEVE-BB). L'acteur VDP:DEVE-EV s'exprime sur la qualité de l'ENP en les termes suivants :

> « La qualité de l'eau ne pose aucun problème. Au contraire, comme elle est assez chargée, elle fournit directement des aliments aux plantes, et donc permet un développement intéressant de ces plantes. »

Toutefois, quelques difficultés sont mentionnées. Par exemple, l'acteur VDP:DEVE-BB évoque l'encrassement des filtres d'arrosage dont le nettoyage nécessite une main-d'œuvre et une surveillance importantes. Il évoque aussi, pendant l'été, la température et la DBO_5 de l'ENP distribuée qui impactent négativement la faune et la flore des lacs du Bois de Boulogne.
Pour ce groupe, les questions sanitaires se posent dans un deuxième temps. Des usagers évoquent ces questions lorsqu'ils envisagent de modifier ou d'étendre leurs usages. La VDP:DEVE-EV exprime un besoin d'encadrement réglementaire des usages de l'ENP au vu de l'ouverture des jardins 24h/24 décidée par la VDP. Le Muséum s'est interrogé sur les risques sanitaires de l'ENP lorsqu'il a envisagé d'utiliser l'ENP pour la brumisation. Pour le VDP:STPP, la question des risques sanitaires ne s'est jamais posée pour des raisons historiques, mais elle mériterait aujourd'hui d'être posée vis-à-vis des agents travaillant dans la propreté.
Le fait que les usagers actuels ne se posent la question des risques sanitaires que dans un second temps s'explique pour plusieurs raisons. Tout d'abord, ils souhaitent avoir davantage d'informations, certains suggérant d'obtenir des données de qualité sur l'ENP (Muséum et VDP:STPP). D'autre part, ils ont conscience que s'ils demandent une meilleure qualité, cela peut se répercuter sur leur facture d'ENP (VDP:STPP). Toutefois, l'importance de l'intérêt économique reste à nuancer par rapport à la santé (VDP:STPP) :« *Peut-être qu'il faudrait regarder la qualité mais bon après ça obligerait Eau de Paris à traiter un peu plus, et donc à nous vendre l'eau un peu plus chère, et donc ça coûterait plus cher, non,… La santé ça n'a pas de prix, enfin me semble-t-il*. »

Le deuxième groupe comporte essentiellement des acteurs à EDP. Pour ces acteurs, la qualité de l'ENP ne peut être jugée qu'au vu des usages. Ces usages ne sont pas considérés comme « *nobles* » (EDP:DRDQE) et fonctionnent bien jusqu'à aujourd'hui (EDP:DIREP). Ainsi, si l'usager décide d'acheter de l'ENP, il doit s'adapter à l'ENP

actuelle et modifier ses équipements si besoin (EDP:DIRED, EDP:DIREP, et EDP:DIP).
Ces acteurs abordent spontanément la question des risques sanitaires, car ils savent que c'est une préoccupation chez les potentiels nouveaux usagers. La plupart évoquent la difficulté de se positionner sur cette question, et ce pour plusieurs raisons. La première raison porte sur l'absence de réglementation actuelle sur les usages de l'ENP. Pour les acteurs EDP:DIP et EDP:DD, c'est aux organismes réglementaires de se positionner, et non à eux. L'acteur EDP:DRDQE, expert sur la qualité de l'eau, s'appuie à l'heure actuelle sur la réglementation sur les eaux usées traitées et sur les eaux de pluie dans ses préconisations aux usagers. La deuxième raison est d'ordre stratégique. Afin de justifier le maintien du RENP, l'acteur en charge de la stratégie à EDP, EDP:DIRED, indique qu'il est important de distinguer les deux « *produits* » ENP et EP, donc la qualité de ces deux produits. Ainsi, les acteurs EDP:DIP, EDP:DIRED, EDP:DIREP s'accordent à dire que c'est à l'usager de choisir la qualité adéquate en fonction de l'usage qu'ils veulent en faire. S'il décide d'utiliser l'ENP, c'est à l'usager d'adapter son équipement (buse d'arrosage, traitement potentiel complémentaire) pour ses usages.

Enfin, deux acteurs expriment de fortes préoccupations sur les risques sanitaires liés à l'ENP actuelle. C'est le cas de l'autorité organisatrice VDP:SPE et de la RATP, qui constituent le troisième groupe d'acteurs. Pour la VDP:SPE, la question aurait émergé après la réunion de suivi du schéma directeur sur l'ENP. Lors de cette réunion, la VDP : SPE a réalisé en introduction une présentation sur la qualité de l'ENP et les questions sanitaires associées. Puis, la VDP:DEVE aurait soulevé des questions sur les risques sanitaires de l'ENP au vu de l'ouverture 24h/24 des jardins envisagée par la VDP. Toujours d'après l'entretien avec la VDP:SPE, la VDP et EDP prévoient de présenter un dossier à l'Agence Régionale de Santé, afin que celle-ci se positionne sur les risques sanitaires liés aux usages de l'ENP.
Quant à la RATP, celle-ci poursuit un objectif de réduction de la consommation d'EP. Les acteurs de la RATP pensent que l'ENP représente une potentielle ressource pour certains usages de la RATP (arrosage des pelouses, lavage des machines). A leur niveau de connaissance, une certaine « *constance* » leur semble nécessaire au niveau de certains paramètres physico-chimiques, en particulier en raison des limites de qualité imposées à la RATP pour ses rejets en réseau d'assainissement. Mais le principal obstacle pour la RATP porte sur l'estimation des risques sanitaires de l'ENP vis-à-vis de certains procédés de pulvérisation internes (buses des machines à laver, buse d'arrosage, karchers). En particulier, un des deux acteurs enquêtés à la RATP juge qu'il ne sait pas évaluer à quels risques les agents de la RATP peuvent être exposés ; il n'a pas engagé de démarches d'expertise au sein de leur comité d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail :

> « Vraiment, ce qui me chagrine, c'est qu'on est beaucoup sur des processus qui font de la pulvérisation […]. On a des agents à qui on souhaite garantir une sécurité au niveau santé. Et aujourd'hui moi je n'ai pas suffisamment de recul sur la qualité des eaux du réseau ENP pour dire « je peux les introduire sans risque dans un processus » […]. Et je n'ai pas non plus les moyens de dire à nos salariés ''mettez un masque à cartouche parce qu'on n'est pas sûrs de notre coup ''. Clairement en termes de message, ce n'est pas possible ».

Dans l'ensemble, les acteurs ne souhaitent pas se positionner sur les risques sanitaires, car ils considèrent que cela ne relève pas de leur responsabilité. En l'absence de réglementation, EDP pense que c'est à l'usager de se prémunir des risques sanitaires. Les usagers actuels ne voient pas d'urgence à traiter la question des risques sanitaires, hormis la VDP:DEVE au vu de l'ouverture des jardins 24h/24. La VDP:SPE considère que c'est à EDP, en tant que PRPDE, de présenter une demande à l'Agence Régionale de Santé sur les risques associés à l'ENP.

Plusieurs acteurs évoquent la nécessité que les acteurs régulateurs se positionnent sur les aspects sanitaires. Les enquêtés mentionnent l'Agence Régionale de Santé (DRIEE), le Ministère des Affaires Sociales et de la Santé (EDP:DIP), ou l'Assemblée Nationale (EDP:DD).

La Figure 88 présente l'axe de perception de la qualité de l'ENP et celui des potentialités du RENP. Plus les acteurs sont positionnés en haut des axes, plus ils ont une perception positive de la qualité de l'ENP. Inversement, plus ils sont positionnés en bas de l'axe, plus ils ont une perception négative de la qualité ou plus ils se posent des questions sur celle-ci. En particulier, un acteur se pose de nombreuses questions sur la qualité de l'ENP, et a en même temps une perception négative des potentialités du RENP. C'est le cas de la VDP:SPE qui souhaite mieux caractériser la qualité de l'ENP avant de se pencher sur la prospective.
On note le cas particulier de la RATP qui se positionne à la fois en tant que potentiel usager et fournisseur d'eau brute. En tant que potentiel usager, la RATP exprime de nombreuses interrogations sur la qualité de l'ENP. En tant que potentiel fournisseur, elle juge ses eaux d'exhaure adéquates aux usages de l'ENP en termes de qualité ; elle perçoit le RENP comme une opportunité d'y introduire ses eaux d'exhaure.

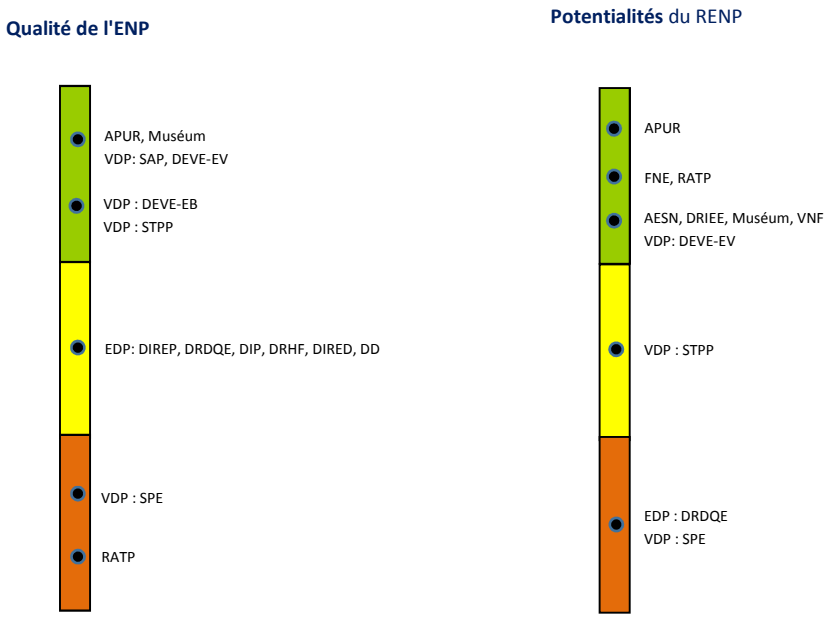


Figure 88 : Axe de perception de la qualité de l'ENP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP

5.2.1.4 Un consensus sur la nécessité de préserver la ressource en eau

Les acteurs s'accordent généralement à penser qu'il est nécessaire de préserver la ressource en eau.
Un premier groupe d'acteurs exprime de fortes réserves sur la pérennité du schéma d'alimentation actuel du RENP. C'est le cas des acteurs EDP:DIP, EDP:DIREP, APUR, FNE, VDP:SPE, et le SIAAP. Ils expriment des préoccupations sur la disponibilité des ressources à court et moyen terme. Au vu des durcissements possibles des autorisations de prélèvement en eaux de rivière, l'acteur VDP:SPE insiste sur la nécessité de connaitre les volumes d'ENP consommés.

L'acteur EDP:DIP s'interroge sur la pertinence du choix de répartition actuelle 80% Ourcq et 20% du point de vue de l'exploitation:

> « Il faut avoir bien en tête que la répartition de 80% [Ourcq] -20% [Seine] est une répartition qui, dans un sens, s'impose à Eau de Paris puisqu'elle est basée sur le fait d'une redevance que nous payons au niveau du bassin de La Villette. Donc en fait c'est un choix financier qui induit un choix d'exploitation. En conséquence, 80% du volume d'ENP mis en distribution est issue de l'Ourcq, et 20% sont issus des usines d'Auteuil et d'Austerlitz prélevant en Seine. Cela signifie qu'il y a quand même des équipements qui tournent moins, notamment à Austerlitz. Est-ce que c'est bien pour les usines ? Est-ce que ce n'est pas bien de solliciter trop une usine, et pas assez une deuxième ? Disons ce que n'est pas équilibré. Aujourd'hui ça fonctionne bien mais disons que c'est un choix financier qui guide un choix d'exploitation».

Un deuxième groupe d'acteurs évoque de manière plus globale les potentiels problèmes de disponibilité de la ressource, au-delà de la question du RENP. Le RENP leur semble être un instrument pour résoudre ces problèmes de disponibilité. C'est le

cas des acteurs APUR, EPTB, DRIEE et RATP. Pour l'AESN, l'existence du RENP peut contribuer à la préservation des ressources à condition de ne pas impacter négativement le bassin versant de la Marne :

> « On utilise de l'eau non potable justement pour diminuer l'impact sur les prélèvements d'eau en rivières, notamment en Seine et en Marne. Mais si c'est pour pénaliser un certain nombre, le bassin versant de la Marne par ailleurs, à un moment donné il faut peser le pour et le contre. »

Enfin, un troisième groupe n'exprime pas de position sur ce sujet, à moins d'être relancé sur le sujet. Ce groupe comporte tous les autres acteurs. Quelques acteurs d'EDP (DD, DRHF, DIREP) mentionnent les potentiels déversements d'EP dans le RENP qui remettent en cause le gain environnemental du RENP. L'exploitant du RENP, EDP:DD, pense que l'alimentation 80% (Ourcq)-20% (Seine) est une contrainte imposée par la VDP et à laquelle EDP doit s'adapter. Cette contrainte ne sera pas selon lui amenée à évoluer.

La Figure 89 présente l'axe de perception de la ressource en eau alimentant actuellement le RENP et celui des potentialités du RENP. Plus les acteurs sont positionnés en haut de l'axe de perception de l'eau brute, plus ils expriment la nécessité de préserver la ressource en eau. On observe, sur la Figure, qu'une vigilance accordée à la disponibilité des ressources n'explique pas, pour tous les acteurs, une perception positive des potentialités du RENP.
En effet, l'APUR et FNE expriment des préoccupations par rapport à la disponibilité des ressources actuelles du RENP, et perçoivent en même temps le RENP comme un instrument d'adaptation au changement climatique. Il n'en est pas de même avec la VDP:SPE. Celle-ci exprime des préoccupations par rapport à la potentielle baisse de la disponibilité des ressources, il lui semble alors important de d'abord instrumenter le RENP pour mieux maîtriser les consommations actuelles. Réfléchir sur les prospectives lui semble donc secondaire.

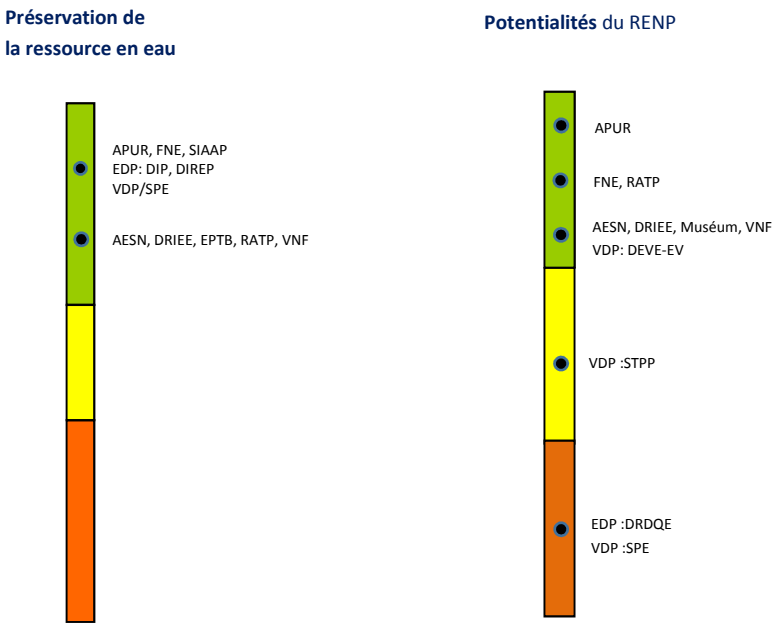


Figure 89 : Axe de perception de la ressource en eau. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP

5.2.1.5 Un besoin d'information exprimé par les acteurs vis-à-vis d'Eau de Paris

Plusieurs acteurs extérieurs à EDP, comme les services de la VDP, le Muséum, et FNE, jugent que les échanges d'information avec EDP sont au moins aussi importants que la fourniture en ENP. Ce besoin d'information est plus ou moins satisfait, selon les enquêtés.

Un premier groupe d'acteurs estime recevoir suffisamment d'informations de la part d'EDP concernant à la gestion du RENP. Les acteurs VDP:DEVE-BB et le VDP:canaux échangent surtout avec les exploitants d'EDP. Ils estiment que la circulation de l'information est fluide et que les échanges se font de manière informelle au quotidien, comme l'illustrent les propos de l'acteur DEVE-BB :

> « En fait, je suis directement en contact avec eux [les exploitants du RENP]. Quand on ouvre l'ENP pour les lacs, forcément les exploitants d'EDP voient tout de suite une baisse de pression et un débit important. Donc on s'appelle régulièrement avec le *dispatching*. […] 90 % du temps, ça se passe comme ça :
>
> - « Qu'est-ce que tu fais [avec les Bois] ? J'ai un gros débit ! »
> - « Ah ! c'est pas moi. Tu es dans le pétrin, il y a une fuite [dans le réseau ENP d'Eau de Paris].» [Rires] »

L'acteur VDP:DEVE-EV est également satisfait des échanges avec EDP. Le Muséum d'histoire naturelle a un interlocuteur commercial à EDP, avec lequel il juge les échanges d'informations efficaces et constructifs :

> « [Enquêté 1] : Le dialogue est en train de se nouer sérieusement avec Eau de Paris. On a eu une réunion l'année dernière, très intéressante, avec les services techniques.
> [Enquêté 2] : Et puis on a des interlocuteurs maintenant avec qui on peut dialoguer assez facilement, et on voit que ça une efficacité sur le terrain. »

L'acteur FNE, qui est aussi membre du conseil d'administration d'EDP, apprécie le fait d'être traité de la même manière que les autres membres concernant l'accès à l'information :

> « Ils ne font pas de différence entre élus ou membres professionnels et puis associations. Parce c'est souvent le cas : on voit des traitements différenciés selon le public, concernant l'accès à l'information, les discussions et les votes etc. Pour nous, c'est important de pouvoir être considéré à part entière, c'est vrai que c'est un plus. Je crois qu'il y a rarement des endroits où on a un tel accès en termes de gouvernance […]. »

Le deuxième groupe exprime, à l'inverse, le besoin de recevoir davantage d'informations de la part d'EDP - lorsque ces informations sont disponibles. Dans son discours, la VDP:SPE exprime un besoin important d'informations et de retours d'EDP sur l'ENP, par exemple sur la communication réalisée sur l'ENP, les indicateurs et l'avancement par rapport au schéma directeur.
L'acteur du VDP : STPP n'a pas d'interlocuteur direct à EDP, ce qui entrave selon lui le travail des agents de propreté. En effet, en cas de dysfonctionnement de BL et de BRT, les informations remontées du terrain passent par plusieurs interlocuteurs (hiérarchie au sein du VDP:STPP, puis VDP:STEA), avant d'arriver à EDP. Inversement, lorsqu'EDP ne peut pas réparer une conduite, les retours ne sont pas transmis rapidement aux agents du STPP, ce qui crée de la frustration auprès de ces derniers :

> « L'indisponibilité d'une bouche de lavage peut être estimée à deux mois si tout va bien. Mais l'agent sur le terrain ne dispose pas de cette information. Si c'est un bon agent, il est dépité, il est complètement désespéré parce que… vraiment ça l'embête. »

Enfin, l'acteur VDP:SAP exprime des difficultés à connaître l'état du RENP qui est essentielle pour les diagnostics des RC. Il reconnait toutefois que les informations demandées ne sont pas toujours facilement mobilisables au sein d'EDP.

> « J'ai beaucoup de difficultés honnêtement auprès de Eau de Paris pour obtenir l'information sur l'état de leur réseau. J'ai bataillé pour avoir eu cette carte sur les travaux du RENP que j'ai eue l'an dernier, mais ils m'ont dit clairement qu'ils ne pouvaient pas la mettre à jour régulièrement, […] A l'époque, j'avais un gros souci lorsqu'on envoyait des équipes pour mettre en service des réservoirs de chasse. Lorsqu'ils [les égoutiers] arrivaient, il n'y avait pas d'eau, donc ils pouvaient rien faire. […] Donc on ne peut pas faire le diagnostic, on ne sait pas s'il y a un problème de maçonnerie, on ne sait pas s'il y a un problème de cloche, on ne peut rien faire s'il y a pas d'eau, donc il faut y retourner. »

La Figure 90 présente l'axe de perception du besoin d'information et l'axe de perception des potentialités du RENP. Lorsque les acteurs sont positionnés en haut de l'axe de perception du besoin d'information, ceux-ci estiment que l'information est suffisamment transmise par EDP. Inversement, lorsqu'ils sont positionnés en bas de l'axe, les acteurs expriment un défaut d'informations de la part d'EDP. Il apparaît que des acteurs qui expriment un manque d'information d'EDP ont une perception négative des potentialités du RENP (VDP:SPE), ou expriment des réserves sur ce sujet (VDP:STPP).

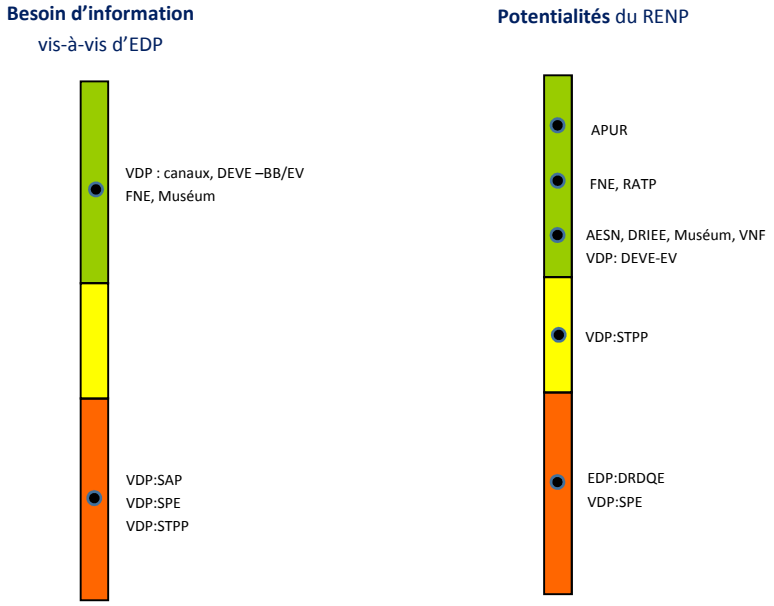


Figure 90 : Axe de perception du besoin d'information vis-à-vis d'EDP. Mise en comparaison avec l'axe des potentialités du RENP

5.2.1.6 L'importance du lien entre l'acteur et le RENP dans sa perception des potentialités du réseau

Afin d'étudier le lien entre l'acteur et le réseau, nous choisissons de caractériser sa *proximité* au réseau, et son niveau de *connaissance* sur le sujet.

Nous définissons la proximité avec le RENP comme la distance que l'acteur entretient avec la gestion de l'ENP, par son périmètre d'action. Ainsi, on distingue quatre groupes d'acteurs, du plus proche au moins proche du RENP.

Les acteurs de l'ENP sont considérés comme les plus proches du RENP. En effet, c'est l'entreprise publique EDP qui gère le service de l'ENP. La gestion de ce service comporte différents types de missions. Ces missions peuvent être d'ordre technique : sur le RENP lui-même (exploitation et maintenance, renouvellement patrimonial) ou sur les entrées et sorties d'ENP (gestion des flux hydriques, caractérisation des données de qualité). Elles peuvent aussi être d'ordre économique (gestion des flux financiers) et stratégique (promotion du service de l'ENP).

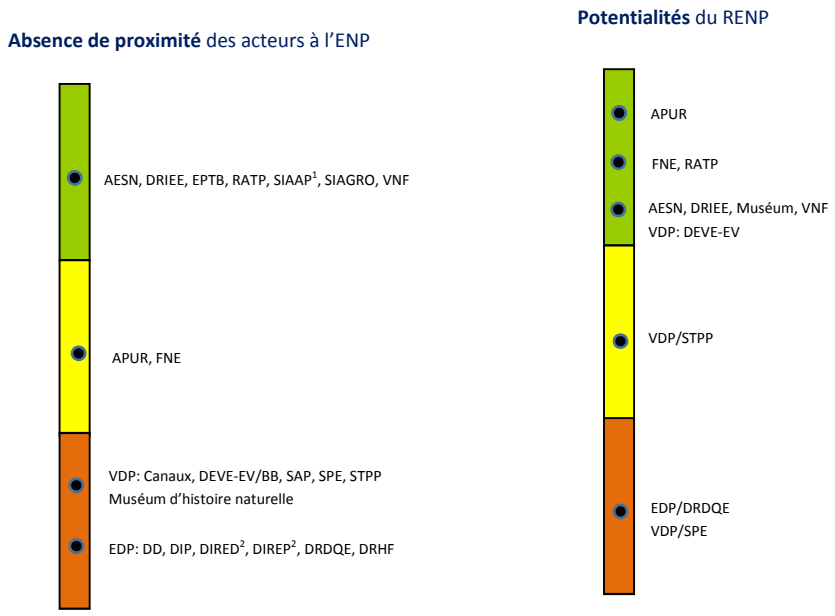
Le deuxième groupe d'acteurs entretient un lien avec le RENP moins fort que le premier groupe. Il comporte les acteurs de la VDP et les usagers non municipaux de l'ENP, qui utilisent l'ENP après filtration sommaire et mise sous pression par EDP. La VDP en tant qu'autorité organisatrice détermine certes les orientations sur le devenir du RENP, mais c'est EDP qui les met concrètement en œuvre. Le service des canaux quant à lui fournit certes de l'eau brute, mais son lien au RENP s'arrête une fois l'eau brute arrivée à l'usine de la Villette.

Le troisième groupe inclut FNE et l'APUR. Ces deux acteurs sont moins proches du RENP que les acteurs d'EDP et de la VDP. Toutefois, ils ont déjà travaillé sur des sujets en lien avec l'ENP : par exemple la demande d'un schéma directeur de l'ENP au sein du conseil d'administration d'EDP (FNE) ou encore la réalisation d'études sur le RENP (APUR).

Le quatrième groupe comporte tous les autres acteurs, soit l'AESN, l'EPTB, la DRIEE, le SIAAP, SIAGRO et VNF. Leur périmètre d'action porte sur les cours d'eau sollicités pour le RENP (AESN, EPTB, DRIEE et SIAGRO) et sur les potentielles ressources du RENP (SIAAP et RATP).

Par ailleurs, le niveau de connaissance nous paraît être un élément important, dans la mesure où il permet de nuancer la distinction des groupes d'acteurs en fonction de leur proximité au RENP. En effet, le niveau de connaissance est lié à la proximité de l'enquêté à l'ENP, mais il dépend aussi de l'ancienneté et des connaissances propres de la personne enquêtée. Ainsi, les acteurs qui ont une faible connaissance du RENP l'affirment en général d'eux-mêmes, au début de l'entretien ou juste avant de répondre aux questions. C'est le cas de certains acteurs à EDP (EDP:DIRED, ED:DIREP) et extérieurs à EDP (EPTB).
Ceux qui connaissent bien le RENP apportent spontanément des informations complémentaires sur ce dernier sans être relancés, par exemple en évoquant des références historiques (EDP:DIP, SIAAP).

La Figure 91 présente l'axe de proximité des acteurs de l'ENP et l'axe de perception des potentialités du RENP. Cette fois, l'axe de proximité est présenté dans le sens inverse, afin de faciliter la comparaison entre les axes : plus les acteurs sont positionnés en haut de l'axe, plus ils sont considérés comme éloignés du RENP. Des précisions sur la connaissance des acteurs sont indiquées à côté de l'axe, lorsqu'elles sont jugées nécessaires.



[1] a une bonne connaissance du RENP car a travaillé avec l'APUR sur l'ENP
[2] ancienneté de moins d'un an lors de l'entretien

Figure 91: Axe de proximité des acteurs au RENP. Mise en comparaison avec l'axe de perception des potentialités du RENP

Des acteurs éloignés, comme l'AESN, la DRIEE, FNE, et la RATP ont une perception positive des potentialités du RENP. D'autres, comme l'EPTB, SIAGRO et VNF, ne se prononcent pas là-dessus.
Les acteurs d'EDP et de la VDP, plus proches du RENP, ont des positions qui diffèrent, mais qui restent peu tranchées. Alors que les acteurs EDP:DRDQE, VDP:STPP et VDP:SPE expriment des réserves par rapport aux potentialités du RENP, la VDP:DEVE-EV et le Muséum ont, inversement, une vision positive des potentialités du RENP. De nombreux acteurs à EDP et la VDP ne s'expriment pas sur les potentialités du RENP.

Il apparait que la proximité des acteurs à l'ENP n'explique pas, pour tous les acteurs, la perception des potentialités du RENP. Elle semble cependant jouer un rôle chez quelques acteurs éloignés (AESN, DRIEE, FNE, et RATP) qui ont une perception positive des potentialités du RENP. Elle semble aussi jouer un rôle chez certains acteurs proches (EDP:DRDQE, VDP:STPP, VDP:SPE VDP:DEVE-EV et le Muséum) qui n'ont pas de position tranchée par rapport aux potentialités du RENP. Cette analyse sera complétée dans la suite avec la perception de la diversification des ressources du RENP.

5.2.2 Perception de la diversification des ressources du RENP

Dans cette partie, nous présentons les convergences et divergences d'opinions des acteurs sur la diversification des ressources du RENP. Par la suite, la discussion des facteurs avec les acteurs permet de connaitre les conditions exprimées par les acteurs pour accepter la mise en place de la diversification des ressources du RENP.

5.2.2.1 Des acteurs majoritairement favorables ou en demande d'études complémentaires

Lorsqu'on interroge les différents acteurs sur la diversification des ressources, près de la moitié d'entre eux n'ont pas d'avis tranché et préfèrent décider au cas par cas. Plusieurs acteurs d'EDP sont en demande d'études complémentaires afin d'évaluer l'intérêt environnemental et économique de la diversification des ressources (EDP : DD, DIRED, DRHF, DIREP). En effet, l'idée peut paraître « *belle* » (EDP:DIREP) et « *séduisante* » (VDP:canaux) ; mais il ne faut pas se fier à « *l'intuition* » (EDP:DIRED). Un *business plan* leur semble nécessaire afin d'évaluer tous les coûts, que ce soient des coûts d'étude (EDP:DRHF) ou de maintenance préventive et corrective (EDP:DD). En particulier, l'acteur EDP:DD a une perception aiguë des potentiels inconvénients et insiste sur la nécessité de les anticiper :

> « C'est une bonne idée si on peut rajouter de l'eau dans le réseau qu'on ne pompe pas. Tant mieux s'il n'y a pas de coûts énergétiques, ou même de charge écologique au sens large. Je ne suis contre rien. Après il faut savoir que, si on monte une usine à gaz à chaque point de réinjection, il faut juste intégrer dedans la maintenance, c'est tout. Le calcul doit intégrer la maintenance préventive et corrective. Après, si ça permet de limiter la consommation en énergie à l'usine de la Villette, je ne suis contre rien.»

Dans la même logique, les acteurs FNE et VDP:canaux ont une vision plutôt technicienne de la démarche, et proposent une méthodologie pour l'étude de la faisabilité. L'acteur FNE, bien qu'il défende les intérêts environnementaux de l'association, accorde la priorité à la faisabilité à la fois technique et économique de la démarche.
L'acteur EDP:DIREP a une vision légèrement différente. L'idée de diversifier les ressources lui semble belle, mais nécessite d'être solidement cadrée en amont :

> « Personne ne croit plus au prince charmant, pour être très clair. C'est une belle idée, mais elle doit rester dans le cadre du raisonnable pour pouvoir avoir une chance de vivre. Donc, pour ça, il faut une législation, à la fois pour réglementer son usage, mais aussi pour rassurer, […] Derrière, il faut des vraies études techniques pour chacun des cadres qu'on veut utiliser pour savoir quels sont ceux qui sont véritablement intéressants économiquement et aussi du point de vue du développement durable. Et puis après, il faudra […], construire le pack de vente de ce service auprès des usagers. »

Tous les usagers enquêtés sont favorables à la diversification des ressources du RENP, sous réserve de ne pas être impactés négativement (Muséum, VDP:SAP, VDP:DEVE-EV, VDP:DEVE-BB et VDP:STPP). En particulier, ils ne souhaitent pas de modification de la qualité actuelle de l'ENP ni d'augmentation de leur facture d'ENP.
Des acteurs plus éloignés de l'ENP (AESN, DRIEE, EPTB, SIAGRO et VNF) sont *a priori* favorables à la diversification au vu des impacts potentiellement bénéfiques sur l'environnement.

Deux groupes d'acteurs ont des positions plus radicales par rapport à la diversification des ressources. Les acteurs APUR et EDP:DIP y sont fortement favorables et pensent qu'il faut tenter les expérimentations. Sur les eaux d'exhaure, l'acteur EDP:DIP pense que les discussions menées à EDP restent théoriques et qu'elles gagnent à être enrichies par une expérimentation. Les acteurs de l'APUR pensent qu'il faut identifier tous les leviers possibles à la mise en place de la diversification des ressources du RENP et encouragent également l'expérimentation :

> **«** [Il faut expérimenter] partout où c'est possible. Par exemple, il ne s'agit pas nécessairement de mettre en place le cadre complet contractuel avec la RATP pour que tous ces postes d'épuisement d'exhaure soient connectés au RENP, il s'agit peut-être, déjà, de se dire : ''Tiens, là on en a un, ça peut être intéressant soit par rapport à l'alimentation des réservoirs de chasse" […] ''Enfin, on peut imaginer plein de choses, du coup on fait l'expérimentation tout de suite. On prend les mesures, on adapte, on le fait et c'est là qu'Eau de Paris peut être très fort dans sa culture d'entreprise historique, c'est qu'il sait aussi usiner des pièces, il sait monter et démonter du réseau, il sait tester des pompes, il sait faire des choses. Vous voyez ? Et ça, ça fait partie de la force de cette entreprise, de mon point de vue. Donc, expérimenter, expérimenter, quand c'est possible. »

Inversement, les acteurs VDP:SPE et EDP:DRDQE expriment de fortes réserves vis-à-vis de la diversification des ressources. Pour les acteurs de la VDP:SPE, les priorités doivent porter la remise en état du réseau et l'évaluation des consommations en ENP. Ci-dessous un extrait de l'entretien avec les acteurs VDP:SPE qui illustre leur position :

> «A15 [Enquêté 1] : Mettons en place un réseau qui marche bien, qui donne une pression, arrêtons l'eau potable en appoint de l'eau non potable enfin, mettons déjà tout ça bien au carré *[pause]*, faisons des comptages qui tiennent la route, parce que franchement aujourd'hui il faut savoir compter ça mieux, c'est indispensable. Puis derrière, il faut commencer la prospective sans doute axée vers autre chose. Au niveau d'une thèse ou d'un stage, c'est très bien, mais je pense que les forces vives doivent être concentrées quand même sur…après moi, c'est comme ça que je le vois, *[hésite]*…
> C16 [Enquêteur 1] : L'appropriation du réseau et du fonctionnement existant, une meilleure connaissance du réseau existant, c'est ça ?
> B10 [Enquêté 2] : Un meilleur état des lieux.
> A16 [Enquêté 1] : Oui, et puis une valorisation patrimoniale, c'est-à-dire un vrai travail de remise à niveau de ce réseau »

Par ailleurs, ils expriment un besoin de mieux caractériser la qualité actuelle de l'ENP et jugent que la réutilisation des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées pour des usages locaux est plus pertinente que leur introduction dans le RENP. Concernant la qualité, cette position est à remettre en perspective aux vu des études menées par EDP pour la VDP sur les bilans de qualité du RENP (*cf.* partie 3.1.1.3). Plus généralement, les positions recueillies auprès des acteurs VDP:SPE seront à remettre en contexte avec le parcours et les ressentis des acteurs, qui seront traités spécifiquement dans le paragraphe 5.2.3. En continuité avec la position de VDP:SPE, les acteurs de l'EDP:DRDQE évoquent la gestion de l'ENP et de son cadre règlementaire en ces termes : *« Encore une fois, le cadre au départ est déjà flou, pour l'eau non potable. Et donc rajouter d'autres intrants ne fait que complexifier le système, parce qu'on sait plus de quoi on parle. Donc ça c'est une difficulté ».*

La Figure 92 présente les positions des acteurs sur un axe de perception de la diversification des ressources. L'axe de perception de la diversification des ressources est ici comparé à celui de la perception des potentialités du RENP.

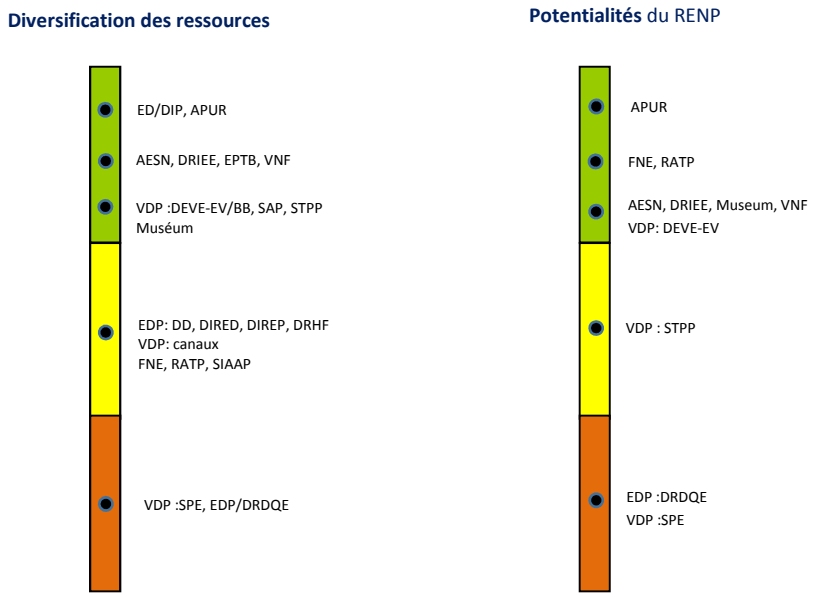


Figure 92 : Axe de perception de la diversification des ressources. Mise en comparaison avec l'axe de perception des potentialités du RENP

Il apparaît que six acteurs (sur les onze positionnés) sur l'axe des potentialités du RENP ont les mêmes positions sur les deux axes.
Quatre acteurs ont une perception positive des potentialités du RENP (APUR, AESN, DRIEE et VNF) et de la diversification des ressources. Par ailleurs, les deux acteurs ont une perception négative des potentialités du RENP (VDP:SPE, EDP:DRDQE) et de la diversification des ressources.
Cette comparaison a des limites, car de nombreux acteurs (11 sur 22) ne se sont pas exprimés sur les potentialités du RENP. Avec une certaine vigilance, nous pouvons cependant en conclure que l'hypothèse selon laquelle « la perception des potentialités

du RENP peut expliquer une perception de la diversification de ses ressources » est validée, notamment chez les acteurs éloignés du RENP.

Bien que la grande majorité des acteurs soient favorables à la diversification des ressources du RENP ou en demandes d'études complémentaires, les positions des acteurs diffèrent selon la ressource potentielle considérée (eaux d'exhaure et eau usée traitées). Dans la suite, nous présentons les positions des acteurs par rapport à ces deux potentielles ressources.

5.2.2.2 Des interrogations ciblées sur la qualité

Pour les eaux d'exhaure comme pour les eaux usées traitées, les acteurs abordent de manière récurrente les thèmes suivants : les contraintes d'usages, les enjeux techniques, l'impact environnemental, les changements organisationnels et les enjeux économiques.

Eaux d'exhaure

Chez tous les acteurs, l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP soulève d'abord des questions de qualité par rapport aux usages existants.

Au sein d'EDP, de nombreux acteurs se réfèrent à la réflexion engagée sur l'introduction des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dans le RENP (EDP:DIREP, EDP:DIRED, EDP:DD). Le projet d'injection a été mis en suspens, en raison de la qualité de ces eaux jugées inadéquates d'après EDP pour l'arrosage, notamment pour la conductivité et les sulfates. Les acteurs d'EDP enquêtés perçoivent donc la qualité des eaux d'exhaure comme un point bloquant. Un des acteurs EDP:DRDQE exprime de fortes réserves sur la qualité de ces eau :

> « [Les eaux d'exhaure] sont très dures et très corrosives donc vous allez abîmer votre réseau intérieur…pas tellement le réseau de distribution parce que c'est de la fonte, mais si vous avez de l'acier galvanisé ou du plastique, avec le plastique ça va s'entartrer et avec l'acier galvanisé, ça va se corroder. Et puis si vous l'utilisez en climatisation, vous allez boucher les buses, c'est une eau qui est très très dures. »

La VDP:SAP exprime également des inquiétudes sur la corrosivité des eaux d'exhaure qui peut dégrader le fonctionnement actuel des RC. La teneur en sulfates des eaux d'exhaure semble incompatible d'après la VDP:SPE avec l'arrosage.
Le Muséum mentionne quant à lui la potentielle teneur en polluants, notamment en hydrocarbures, des eaux de parking. Sans pour autant exprimer d'inquiétudes, les acteurs FNE, VDP:DEVE-EV et VDP:DEVE-BB s'interrogent sur la qualité de ces eaux par rapport aux usages existants. Pour les acteurs SIAAP et EDP:DIREP, l'impact de la qualité des eaux d'exhaure sur les usages nécessiterait d'évaluer « *l'effet tampon* » du RENP, c'est-à-dire sa capacité à diminuer l'impact de la qualité de ces eaux sur les usages grâce à l'effet de dilution.

Certains acteurs, *a contrario*, ont une perception plutôt bonne de la qualité des eaux d'exhaure pour le fonctionnement du RENP et ses usages. Pour le VDP:canaux, les eaux d'exhaure sont rejetées dans les canaux, donc la qualité devrait être adéquate au RENP. La RATP, potentiel fournisseur d'eau d'exhaure, pense que ces eaux sont filtrées dans le sol et qu'elles sont de bonne qualité, tout au moins au niveau sanitaire. L'acteur EDP:DIP pense que les discussions menées à EDP restent théoriques et suggère la mise en place d'une expérimentation. Enfin, l'APUR considère que les rejets en eaux d'exhaure sont permanents et connaissent des faibles variations à l'échelle annuelle, ce qui en fait une ressource pérenne et donc intéressante pour le RENP.

Concernant l'impact environnemental, les positions divergent. Certains, comme les acteurs AESN, DRIEE, RATP et EDP:DIP, sont favorables à l'introduction des eaux d'exhaure. Leur valorisation dans le réseau permettrait de donner une deuxième vie à cette eau et *in fine* de réduire les prélèvements en eaux de rivières. D'autres acteurs, comme EDP:DRDQE et EPTB, pensent qu'il faut évaluer l'impact environnemental à l'échelle locale et globale. A son niveau de connaissance, l'EPTB s'interroge sur l'impact environnemental de l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP.

> « [l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP] est un chemin différent du chemin actuel. Il faut regarder si ce chemin différent court-circuite, dans le chemin actuel, un endroit où il y a une demande. Si au lieu de remettre de l'eau ici, on la remet là, n'y aurait-il pas une demande qui va en pâtir ?»

Les enjeux techniques sont principalement associés à la qualité des eaux d'exhaure. Pour l'acteur EDP:DRDQE, la qualité des eaux d'exhaure impacterait moins le RENP que les infrastructures liées aux usages tels que l'arrosage et la climatisation. Les acteurs évoquent les potentiels à-coups hydrauliques seulement lorsqu'ils sont relancés sur le sujet. Alors que l'exploitant du RENP, EDP:DD, exprime des préoccupations sur le sujet, l'acteur EDP:DIP pense que ces à-coups sont techniquement gérables.

Concernant les changements organisationnels, la plupart s'accordent sur la nécessité d'échanger et de suivre les données de qualité. Toutefois, quelques divergences peuvent être constatées. L'exploitant d'EDP, EDP:DD, ne veut pas créer « *d'usine à gaz »* pour chaque injection. Il souhaiterait avoir un même cadre organisationnel pour son équipe d'agents d'exploitation. Pour l'acteur EDP:DIP, les problèmes organisationnels peuvent être anticipés et encadrés par l'établissement d'une convention.

L'APUR, au contraire, pense qu'une relation entre fournisseur et distributeur peut être établie entre la RATP et EDP :

> **«** Là où c'est simple entre guillemets, c'est que ce sont des acteurs uniques. Ce n'est pas une succession d'acteurs, ce n'est pas des successions de chantier avec des acteurs différents qui vont avoir des pompages et des rejets ponctuels d'exhaure. La RATP a des rejets permanents en égouts parce qu'ils ne peuvent pas faire autrement. Entre la RATP, la Ville et Eau de Paris, ça doit quand même être possible de se parler».

Enfin, la perception des coûts économiques est également clivante. Les acteurs EDP : DIP et APUR y voient un scénario gagnant-gagnant, au sein duquel la RATP ne rejette plus ses eaux d'exhaure en égouts qui sont soumises aux redevances assainissement, et EDP reçoit une nouvelle ressource dans son réseau. A l'inverse, les acteurs EDP:DRHF et EDP:DD sont plus sceptiques et insistent sur la nécessité de chiffrer tous les coûts. En particulier, l'acteur EDP:DRHF estime que les coûts d'études réalisées en interne d'EDP se sont révélés improductifs dans le cas de Meyerbeer.

> « Sur cette partie [l'injection des eaux d'exhaure dans le RENP], si je me mets de mon côté exclusivement financièrement, ce n'est que du bénéfice, il n'y a même pas de sujet. Maintenant, si c'est dans des proportions aussi faibles comme que ce qu'on a vu aujourd'hui, cela me semble totalement improductif. Avec Meyerbeer, typiquement, c'est un investissement en temps homme énorme pour un résultat quasi *peanuts* […], pour s'entendre dire ''mais non la qualité Meyerbeer est trop mauvaise donc on ne peut pas faire ça''».

Cette position est toutefois à remettre en perspective, dans la mesure où les études de modélisation sur l'injection des eaux d'exhaure dans le Bas Ourcq ont été réalisées par l'ENPC, en collaboration avec EDP. Les études complémentaires réalisées par la DRDQE ont porté sur des sites autres que Meyerbeer et ont été finalisées pendant la période de conduite d'entretiens.

La Figure 93 illustre les positions des acteurs sur l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP pour les cinq thèmes identifiés. Ceux-ci peuvent représenter un point d'adhésion (indiqué en vert), d'interrogation (indiqué en orange) ou un point bloquant (indiqué en rouge) pour les acteurs. Les acteurs peuvent aussi ne pas exprimer d'avis (indiqué en blanc) sur l'un de ces cinq thèmes.

AESN	AESN	APUR	AESN	AESN
APUR	APUR	EDP:DD	DRIEE	DRIEE
DRIEE	DRIEE	EDP:DIP	EDP:DIRED	EDP:DIRED
VNF	EDP:DIP	EDP:DIRED	EDP:DIREP	EDP:DIREP
EDP:DIP	EDP:DIRED	EDP:DIREP	EDP:DRDQE	EDP:DRDQE
RATP	EDP:DIREP	EDP:DRDQE	EDP:DRHF	EPTB
VDP:canaux	EDP:DRDQE	EDP:DRHF	EPTB	FNE
EDP:DD	EDP:DRHF	EPTB	FNE	Muséum
EDP:DIRED	EPTB	FNE	Muséum	SIAAP
EDP:DIREP	FNE	Muséum	RATP	VDP:canaux
EDP:DRHF	Muséum	SIAAP	SIAAP	VDP:DEVE-BB
FNE	RATP	VDP:canaux	VDP:canaux	VDP:DEVE-EV
SIAAP	SIAAP	VDP:DEVE-	VDP:DEVE-BB	VDP:SAP
VDP:DEVE-BB	VDP:canaux	VDP:DEVE-	VDP:DEVE-EV	VDP:SPE
VDP:DEVE-EV	VDP:DEVE-BB	VDP:SAP	VDP:SAP	VDP:STPP
VDP:STPP	VDP:DEVE-EV	VDP:SPE	VDP:SPE	VNF
VDP:SPE	VDP:SAP	VDP:STPP,	VDP:STPP	APUR
EDP:DRDQE	VDP:SPE	VNF	VNF	EDP:DIP
EPTB	VDP:STPP	AESN,	APUR	RATP
Muséum	VNF	DRIEE	EDP:DIP	EDP:DD
VDP:SAP	EDP:DD	RATP	EDP:DD	EDP:DRHF
Contraintes d'usage	Difficultés techniques	Impact environ-nemental	Changements organisa-tionnels	Enjeux économiques

Point d'adhésion
Pas d'avis exprimé
Point d'interrogation
Potentiel point bloquant

Figure 93 : Position des acteurs sur l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP

D'après cette Figure, on constate que le thème le plus clivant pour les eaux d'exhaure porte sur les contraintes d'usages. Il est intéressant de noter que parmi les acteurs qui considèrent la qualité comme un point de blocage, seuls deux acteurs sont des usagers. Au sein d'EDP, de nombreux acteurs s'interrogent sur la qualité de cette ressource par rapport aux usages d'ENP. Ces nombreuses interrogations s'expliquent par le fait que la qualité de cette ressource pourrait impacter négativement les clients d'EDP, et donc les relations qu'EDP entretient avec eux.

Eaux usées traitées

Les acteurs abordent également spontanément les questions de la qualité des eaux usées traitées par rapport aux usages existants. Les acteurs AESN, EDP:DIP et VDP:DEVE-EV s'interrogent sur la qualité des eaux usées traitées, qu'ils admettent ne pas connaitre. La RATP évoque leurs potentielles teneurs en médicaments et en hormones.

Les acteurs VDP:STPP et VDP:canaux ont une position moins tranchée. Ils considèrent que si ces eaux sont rejetées en milieu naturel, leur qualité devrait être

adéquate aux usages du RENP. La VDP:SAP pense que les eaux usées traitées sont de qualité satisfaisante pour le curage des égouts. Pour les acteurs VDP:SPE, la qualité de ces eaux parait également adéquate à l'irrigation et l'arrosage, même si l'usage local devrait selon eux être privilégié. En termes de volumes, l'acteur EPTB considère que cette ressource est peut-être la plus durable, car les volumes évolueront moins dans le futur que ceux des autres ressources.

Le gain environnemental de la réutilisation des eaux usées traitées ne semble pas évident aux yeux des acteurs. Par exemple, les acteurs EDP:DRDQE, Muséum et SIAAP pensent que l'argument de la préservation de la ressource est discutable car les eaux usées traitées équivalent aux eaux de rivières.
Lorsqu'on évoque la STEP Seine Morée comme potentiel site de production d'eaux usées traitées pour le RENP, la DRIEE et le SIAAP expriment des réserves quant à la réutilisation de ces eaux, car les rejets actuels de la STEP La Morée permettent de restaurer localement le cours d'eau (appelé « La Morée ») en sortie de l'usine. L'extrait de l'entretien avec la DRIEE illustre ce propos :

> « Y28 : l'usine Seine Morée a été construite avec un rejet dans le cours d'eau qui s'appelle la Morée, qui est un tout petit cours d'eau en très mauvais état. […] L'usine Seine Morée a été construite avec un traitement membranaire pour justement atteindre le bon état de la Morée. Si vous envoyez toutes les eaux traitées par la Seine Morée dans le réseau d'eau non potable, cela pose question par rapport à l'atteinte du bon état sur la Morée […]. Il faut voir aussi dans quel calendrier ça peut se passe. Ça peut aussi être une perspective à 30 ans, d'ici là on aura peut-être réussi à reconquérir quand même la qualité de la Morée, je l'espère »

Concernant les enjeux techniques, les acteurs s'interrogent sur la distance des STEP au RENP (FNE, DRIEE, et EDP:DIREP). Les acteurs EDP:DIREP et VDP:SPE pensent qu'il vaut mieux privilégier l'usage local des ressources potentielles plutôt que d'envisager leur introduction dans le RENP. Ci-dessous est l'extrait d'entretien de l'acteur EDP:DIREP :

> **«** Pour avoir travaillé en d'autres lieux sur beaucoup de *reuse*, c'est toujours de très bonnes idées, mais […] Ça se confronte à beaucoup de réalités, on va dire. La première réalité que j'ai connue sur le *reuse*, c'est que, oui, on fait du *reuse*, mais après il faut acheminer cette eau. […] Donc, quand on est sur place, c'est bien sûr une très bonne idée. J'ai pu étudier, dans le sud de la France, des solutions avec des golfes qui étaient à côté des stations d'épuration, là on est dans des choses qui sont économiquement envisageables. Là, je ne vois pas sur l'ENP comment on pourrait ramener l'eau de Valenton ou de Achères. Peut-être qu'il y a des solutions, mais en tout cas, s'il faut tirer des tuyaux, ça va être tout de suite rédhibitoire ».

Les changements organisationnels sont évoqués par le SIAAP et EDP:DRDQE. Ceux-ci s'accordent sur la nécessité d'un suivi des analyses de qualité, mais il reste à déterminer qui assurerait le suivi et le contrôle des analyses.

Enfin, le coût économique paraît également très dissuasif par rapport au gain environnemental possible, notamment pour le SIAAP. Ce dernier insiste sur l'importance des surcoûts engendrés. Ces surcoûts portent à la fois sur la pose de

conduites, mais aussi sur les éventuels traitements supplémentaires. Une variable inconnue, non évoquée par les acteurs, porte sur la répartition des coûts.

Deux positions particulières ressortent de l'analyse des entretiens. Tout d'abord, on peut évoquer l'APUR, qui a proposé des idées d'injection des eaux usées traitées dans le RENP dans le cadre de ses études établies en 2013. Il défend donc l'introduction de cette ressource dans le RENP. Par ailleurs, l'APUR pense qu'une relation peut être « *simplement* » établie entre des grands acteurs comme le SIAAP et EDP.
A l'inverse, le SIAAP est fortement défavorable à l'introduction des eaux usées traitées dans le RENP. Comme évoqué précédemment, les acteurs du SIAAP font référence à plusieurs reprises aux coûts économiques importants engendrés, comme l'illustre cet extrait.

> **«** Il faut vraiment faire une analyse économique. […]. Déjà je vois deux éléments qui vont coûter cher. Pour le premier élément, ce n'est pas la peine d'aller chercher trop loin, ce sont les réseaux qui coûtent très cher. Et le deuxième élément qui coûte cher, c'est l'éventuel traitement spécifique. »

Par ailleurs, les acteurs perçoivent de nombreuses contraintes au niveau technique et organisationnel, car l'introduction des eaux usées traitées dans le RENP peut impacter le fonctionnement des usines et nécessiter une modification de leurs arrêtés de rejet. Pour le SIAAP, ces contraintes semblent nombreuses pour un gain évalué *a priori* comme faible. Au cours de l'entretien, un des acteurs du SIAAP s'interroge sur la nécessité d'interagir avec EDP si le SIAAP souhaite valoriser ses eaux usées traitées *: « À la limite, si c'était vraiment intéressant, le SIAAP a intérêt à le faire pour lui-même. Je ne sais pas, je me pose la question. Je réfléchis tout haut*. »

La Figure 94 récapitule les positions des acteurs sur l'introduction des eaux usées traitées dans le RENP pour les cinq thèmes identifiés. En analogie aux eaux d'exhaure, ceux-ci peuvent représenter un point d'adhésion (indiqué en vert), d'interrogation (indiqué en orange) ou un point bloquant (indiqué en rouge), ou ne pas susciter d'avis (indiqué en blanc).

APUR	AESN	AESN	AESN	AESN
DRIEE	APUR	EDP:DD	DRIEE	APUR
EDP:DD	EDP:DD	EDP:DIP	EDP:DD	DRIEE
EDP:DIRED	EDP:DIP	EDP:DIRED	EDP:DIP	EDP:DD
EDP:DIREP	EDP:DIRED	EDP:DIREP	EDP:DIRED	EDP:DIP
EDP:DRHF	EDP:DRDQE	EDP:DRHF	EDP:DIREP	EDP:DIRED
FNE	EDP:DRHF	EPTB	EDP:DRDQE	EDP:DIREP
Muséum	EPTB	FNE	EDP:DRHF	EDP:DRDQE
VDP:DEVE-BB	Muséum	RATP	EPTB	EDP:DRHF
VNF	RATP	VDP:canaux	FNE	EPTB
EPTB	VDP:canaux	VDP:DEVE-BB	Muséum	FNE
VDP:canaux	VDP:DEVE-BB	VDP:DEVE-EV	RATP	Muséum
VDP:SAP	VDP:DEVE-EV	VDP:SAP	VDP:canaux	RATP
VDP:SPE	VDP:SAP	VDP:SPE	VDP:DEVE-BB	VDP:canaux
VDP:STPP	VDP:SPE	VDP:STPP,	VDP:DEVE-EV	VDP:DEVE-BB
AESN	VDP:STPP	VNF	VDP:SAP	VDP:DEVE-EV
EDP:DIP	VNF	APUR	VDP:SPE	VDP:SAP
EDP:DRDQE	DRIEE	EDP:DRDQE	VDP:STPP	VDP:SPE
RATP	EDP:DIREP	DRIEE	VNF	VDP:STPP
SIAAP	FNE	Muséum	APUR	VNF
VDP:DEVE-EV	SIAAP	SIAAP	SIAAP	SIAAP
Contraintes d'usage	Difficultés techniques	Impact environ-	Changements organisa-	Enjeux économiques

Point d'adhésion
Pas d'avis exprimé
Point d'interrogation
Potentiel point bloquant

Figure 94 : Position des acteurs sur l'introduction des eaux usées traitées dans le RENP

On constate que les contraintes d'usages représentent le thème qui soulève le plus d'interrogations chez les acteurs enquêtés, comme pour les eaux d'exhaure. Toutefois, l'introduction des eaux usées traitées génère moins de clivage que les eaux d'exhaure. Une raison peut être le fait que l'introduction des eaux usées traitées, du fait de la distance des STEP au RENP, paraît beaucoup plus prospective que les eaux d'exhaure.
On note également que l'acteur le plus opposé à la réutilisation des eaux usées traitées est le SIAAP. Cet acteur y voit de nombreuses contraintes et de nombreux risques qui relèveraient de sa responsabilité, pour un gain estimé très faible.

Jusqu'à présent, nous nous sommes intéressés aux interrogations que les acteurs ont soulevées sur les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Nous étudions dans la suite les conditions que les acteurs poseraient pour accepter la diversification des ressources du RENP. L'étude de ces conditions passe par la discussion des facteurs.

5.2.2.3 Les facteurs les plus importants : l'impact environnemental, la règlementation et les contraintes d'usages

Pendant l'entretien, la discussion autour des facteurs a visé à expliciter les conditions posées par les acteurs pour accepter la diversification des ressources. Pour cela, il a été demandé aux acteurs de donner leur propre définition de chaque facteur et de les hiérarchiser par ordre d'importance décroissant.

Dans l'ensemble, l'exercice de hiérarchisation a été bien compris et approprié par la majorité des acteurs. Certains acteurs indiquent qu'ils hiérarchisent des facteurs à titre personnel (EDP:DRHF, VDP:STPP), sous-entendant alors que leur classification vis-à-vis de l'organisation aurait été probablement différente. Quelques acteurs ont exprimé des difficultés à comprendre ou à hiérarchiser les facteurs, bien qu'ils aient lu la note explicative avant l'entretien (EPTB, RATP, FNE). En particulier, l'EPTB définit ses propres facteurs : le stock en eau disponible dans le bassin et la demande en eau par les usages. Au vu du périmètre d'action de l'EPTB, nous les assimilerons aux « engagement avec les acteurs territoriaux ».
Enfin, les acteurs de l'APUR se sont distanciés par rapport à l'exercice de hiérarchisation, dans la mesure où les facteurs mentionnés s'apparentaient fortement à des « *contraintes ».* A la place, il leur a semblé préférable d'identifier plutôt les leviers possibles à la diversification des ressources.

Ainsi, le nombre de facteurs évoqués comme les plus importants varie selon les acteurs. Certains n'ont évoqué qu'un ou deux facteurs qu'ils ont jugé le plus important, comme l'AESN. D'autres acteurs mettent plusieurs facteurs au même pied d'égalité. Par exemple, l'acteur EDP:DEVE-EV évoque par ordre décroissant, la règlementation, les contraintes d'usages, l'intérêt économique et l'impact environnemental au même pied d'égalité, et enfin l'acceptation sociale.

La Figure 95 présente par ordre décroissant les facteurs nommés par le plus grand nombre d'acteurs. La Figure indique les facteurs mentionnés par les acteurs parmi les trois plus importants. Lorsque les facteurs cités sont inférieurs à 3 (1 ou 2 facteurs cités) ou supérieurs à 3 (4 facteurs cités), ils sont présentés tels quels dans la Figure. Celle-ci distingue les acteurs d'EDP, de la VDP, et les autres acteurs.

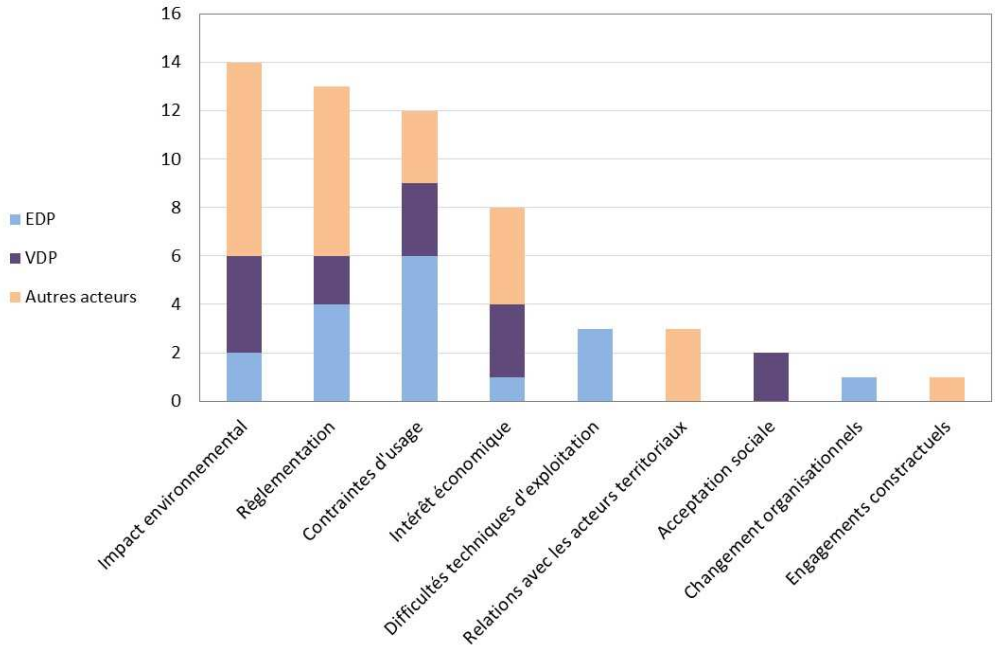


Figure 95 : Désignation des facteurs les plus importants pour les acteurs. Indication par ordre décroissant

L'impact environnemental est le facteur mentionné par le plus grand nombre d'acteurs. Certains acteurs précisent qu'ils le nomment parmi les plus importants à titre personnel, comme l'acteur EDP:DRHF, en charge des finances à EDP. D'autres acteurs représentent des institutions dont le rôle est consacré à la protection de l'environnement, comme la DRIEE, FNE et l'AESN. Ils peuvent être aussi en charge des questions environnementales dans leur organisation, comme l'acteur enquêté à la RATP.

Il est intéressant de constater que tous les usagers d'ENP enquêtés, hormis la VDP:SAP, mentionnent le facteur impact environnemental parmi les plus importants. Cette importance accordée à l'impact environnemental peut s'expliquer par la nature des usages d'ENP. En effet, hormis la VDP:SAP qui utilise l'ENP pour le curage des égouts, les usagers d'ENP enquêtés utilisent l'ENP en plein air, dans un environnement urbain au contact de la population. L'impact environnemental est alors défini de manière large par ces usagers : il inclut l'impact sur la santé des populations (VDP:STPP), et l'environnement dans lesquels ils travaillent (VDP:STPP et VDP:DEVE-BB). Un des acteurs enquêtés du VDP:STPP l'exprime en ces termes :

> « Je pense que l'impact environnemental concerne tout le monde, c'est au plus large. C'est pertinent de le prendre en compte et de voir s'il y a effectivement des risques sur les utilisateurs. Après, c'est possible de s'apercevoir que ces risques seront minimes, je ne sais pas. Mais je pense que plus la réflexion est globale, plus elle est pertinente, mais elle est aussi plus difficile. »

La réglementation apparaît comme le second facteur le plus fréquemment nommé. Les acteurs accordent une grande importance au respect du cadre réglementaire, même s'il reste encore flou pour l'ENP. Ils sont également vigilants quant aux potentielles évolutions de la réglementation. La réglementation est évoquée par les

acteurs d'EDP, la VDP et les autres acteurs. Ces derniers représentent près de la moitié des acteurs qui ont mentionné la réglementation parmi les facteurs les plus importants. Ceci peut s'expliquer par le rôle que certains d'entre eux jouent vis-à-vis de la règlementation. En effet, parmi ces acteurs figurent la DRIEE, l'AESN, FNE et VNF, qui ont pour mission d'inciter ou de veiller au respect de la réglementation sur l'environnement.

Les contraintes d'usage constituent le troisième facteur le plus mentionné. Elles sont mentionnées à la fois par des usagers, mais aussi par tous les acteurs d'EDP enquêtés. Les acteurs d'EDP accordent ainsi une grande vigilance à l'impact de la qualité sur les usages d'ENP.

Le facteur économique, quatrième facteur le plus mentionné, est évoqué par quelques usagers d'ENP. En effet, ceux-ci sont conscients qu'une demande d'amélioration du service d'ENP nécessiterait une contribution financière plus importante de leur part. L'intérêt économique est également un enjeu important pour les potentiels fournisseurs d'eau, la RATP et le SIAAP. Même s'il n'a pas toujours été identifié parmi les facteurs mentionnés, les enjeux financiers ont été abordés quasiment par tous les acteurs pendant l'entretien.

Les difficultés techniques d'exploitation et les relations avec les acteurs territoriaux sont évoquées par un nombre moins élevé d'acteurs. Les difficultés techniques d'exploitation sont surtout évoquées par les acteurs d'EDP. Ceci peut paraître logique, car ce facteur concernait principalement les infrastructures d'EDP. Il est possible que des acteurs plus éloignés du RENP, comme les acteurs règlementaires, n'aient pas évoqué ces facteurs en raison de leur niveau de connaissance qu'ils jugent trop faible pour aborder ce facteur. La DRIEE et VNF, du fait de leur périmètre d'action, accordent une vigilance aux conflits d'usages autour de l'eau, et mentionnent donc les relations avec les acteurs territoriaux parmi les facteurs les plus importants. Par ailleurs, l'EPTB définit ses propres facteurs que nous avons assimilés, au vu de son périmètre d'action, au facteur « relation avec acteurs territoriaux ».

Enfin, l'acceptation sociale, les changements organisationnels et les engagements contractuels figurent parmi les facteurs les moins nommés. Les acteurs VDP:canaux et VDP:SPE accordent une grande importance à l'acceptation sociale, ici définie comme l'opinion publique du citoyen. L'exploitant du RENP, EDP:DD, associe les changements organisationnels aux difficultés d'exploitation.

Les échanges avec les acteurs sur les facteurs, et plus généralement sur la diversification des ressources, nous ont permis d'identifier les conditions exprimées individuellement par les acteurs.
Dans la partie suivante, nous souhaitons comprendre à quelles conditions *le système d'acteurs* dans son ensemble pourrait accepter la diversification des ressources du RENP. Pour cela, nous étudierons les conditions exprimées par les acteurs sur les

changements possibles du RENP au regard de leur perception de la gestion actuelle du RENP, et des liens qu'ils tissent entre eux. Cette analyse plus globale permet d'identifier ces conditions, sous forme de freins et les leviers à la mise en place de la diversification des ressources du RENP à l'échelle du *système*.

5.2.3 Des freins et des leviers à la diversification des ressources du RENP à l'échelle du système d'acteurs

A l'échelle du système d'acteurs global, nous identifions plusieurs sujets qui constituent à la fois des freins et des leviers à la mise en place de la diversification des ressources.
Le premier sujet porte sur la circulation de l'information entre acteurs. En effet, des échanges fluides d'information entre acteurs s'avèrent essentielles à une bonne perception de la gestion actuelle du RENP, et *in fine* de la diversification de ses ressources.
La perception des incertitudes joue également un grand rôle dans la prise des positions des acteurs. En fonction des acteurs enquêtés, l'incertitude constitue un frein ou un levier à la mise en place de la diversification des ressources.
Enfin, la réduction de certaines incertitudes nécessite de faire appel à l'expertise de certains acteurs dans le processus. Toutefois, nous verrons qu'une croyance exagérée en l'expertise peut constituer un frein, dans la mesure où l'expert ne peut réduire toutes les incertitudes. Seule l'acceptation des incertitudes et des limites du périmètre d'action de l'expert parait être un levier pour la mise en place de la diversification des ressources.

Cette partie se termine avec la remise en perspective des positions recueillies auprès des acteurs. Ceux-ci se sont exprimés certes majoritairement comme représentant de leur institution, toutefois certains ont indiqué s'être exprimés à titre personnel à plusieurs reprises. Nous montrerons également comment, le parcours et l'engagement personnel peut transparaître dans le discours de l'acteur enquêté, et comment ils peuvent l'amener à devenir une personne « frein » ou « moteur » à la mise en place de la diversification des ressources.

5.2.3.1 L'information, le nerf de la guerre

La notion d'*information* a été un élément central dans l'analyse des discours des acteurs. Il apparaît que l'information sur le RENP n'est pas forcément disponible, par exemple sur les consommations en ENP. Elle nécessite alors de réaliser des études à partir d'autres informations, elles-mêmes fragmentaires. A titre d'exemple, nous pouvons mentionner, pour notre part, notre estimation des consommations en ENP pour le nettoyage des voiries, à partir de mesures de débits et à partir d'échanges avec les exploitants des services de propreté (*cf*. paragraphe 3.1.2.2.).

Comme évoqué précédemment, les acteurs VDP:SPE ont exprimé le souhait d'améliorer la connaissance de ce réseau (notamment ses volumes et la qualité) avant

de réfléchir sur la prospective. Le souhait de mieux caractériser la qualité de l'ENP peut s'avérer cependant discutable, dans la mesure où EDP réalise déjà des études de qualité sur l'ENP qu'il livre à la VDP depuis 2013. Ainsi, en dépit de ces rendus déjà existants, ce besoin exprimé de connaissance du RENP semble témoigner d'un déséquilibre ressenti par les acteurs de la VDP:SPE dans leurs relations avec EDP. Ce ressenti est partagé par les acteurs VDP:SAP et VDP:STPP qui expriment un besoin important d'information et de retours de la part d'EDP sur l'état du réseau et les travaux actuellement engagés. Ces acteurs de la VDP s'estiment dépendants d'EDP à deux niveaux. Sur le plan de la fourniture d'eau, ils dépendent d'EDP pour satisfaire principalement leurs usages de « nettoyage » (égouts et voiries). Par ailleurs, la VDP étant l'usager principal d'ENP, sa facture d'ENP est automatiquement impactée si des investissements majeurs sont entrepris sur le RENP.

Inversement, les acteurs d'EDP se perçoivent comme dépendants de la VDP. Du point de vue économique, la VDP représente quasiment l'unique client d'ENP. Sur les aspects institutionnels, elle est autorité organisatrice de l'eau, donc elle fixe le propre prix du produit qu'elle achète, en faisant valider le prix de l'ENP en Conseil de Paris, avant que ce prix ne soit proposé au conseil d'administration d'EDP. Enfin, la VDP est considérée comme détentrice finale de la décision sur le devenir du RENP (par exemple sur l'arrêt d'Auteuil), elle détient donc également l'information sur l'avenir du réseau.

Les personnes enquêtées se jugent fortement dépendants des autres acteurs dans la gestion actuelle du RENP. Cette perception de ces dépendances les amène à se focaliser sur la situation actuelle ; ils cherchent ainsi à rééquilibrer les relations et considèrent que la diversification des ressources risque de complexifier encore la situation actuelle.

Cette relation entre le pouvoir et les échanges d'information se retrouve dans les travaux de Crozier et al. (2012). Pour eux, le pouvoir peut « *se préciser comme une relation d'échange, donc réciproque, mais où les termes de l'échanges sont plus favorables à l'une des parties en présence*» (Crozier et al. 1992, 69). Ainsi, ils définissent le pouvoir comme *« la marge de liberté dont dispose chacun des partenaires engagés dans une relation de pouvoir* ». La détention de l'information peut donc devenir une source de pouvoir pour un acteur. En tout cas, elle peut être perçue comme une source de pouvoir chez ceux qui ne le détiennent pas. C'est le cas par exemple des acteurs de la VDP, qui pensent qu'EDP détient principalement l'information sur le RENP. De même, les acteurs d'EDP pensent que la VDP, en tant qu'autorité organisatrice, est détentrice de l'information sur le devenir du réseau.

Un levier à la mise en place de la diversification des ressources du RENP consisterait justement à rééquilibrer ces relations de pouvoir, et donc à réduire ces sentiments de dépendance. L'échange d'informations, notamment d'informations techniques sur le RENP (données de qualité), permettrait ainsi de réduire la perception des incertitudes sur le RENP pour ces acteurs de la VDP. Dans le cadre de la VDP:SPE qui échange de manière formalisée avec les services d'EDP tous les trimestres, ces échanges

pourraient se faire de manière plus fréquente, et plus informelle. La Figure 91 représente ce type de rééquilibrage entre EDP et la VDP : d'une certaine manière, les flux d'informations apportés d'EDP vers la VDP permettraient de rééquilibrer les flux financiers des usagers de la VDP vers EDP.

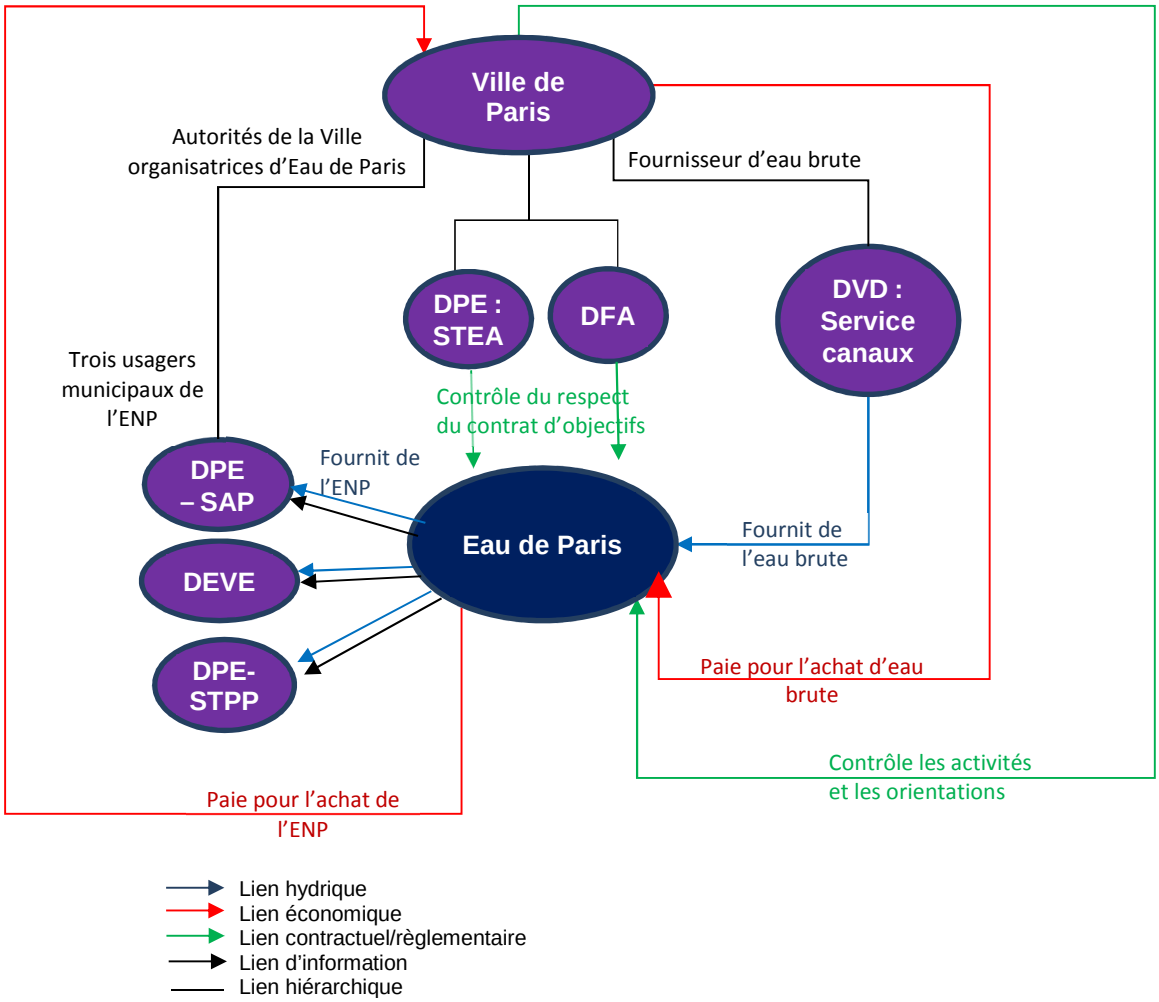


Figure 96 : Rééquilibrer les relations entre EDP et VDP par les échanges d'information

En résumé, la mise en place d'une diversification des ressources ne peut se faire sans un certain équilibre dans les rapports entre acteurs à l'heure actuelle. Cet équilibre passe notamment par une circulation fluide de l'information.
Cependant, il arrive que ni les acteurs d'EDP ni ceux de la VDP ne disposent de l'information sur certains sujets précis concernant le RENP (consommations en eau, risques sanitaires, etc.). Ces défauts d'information sont alors perçus comme des *incertitudes*, qui font l'objet du paragraphe suivant.

5.2.3.2 Une perception aiguë des incertitudes

A l'issue de l'analyse des discours des acteurs, nous constatons que la perception des *incertitudes* et des *risques* a joué un grand rôle dans les positions des acteurs.

Avant d'évoquer les résultats des entretiens, il convient d'abord d'opérer une brève définition de ces termes. Pour cela, nous nous appuyons sur les travaux de Callon qui les distingue de la manière suivante (Callon et al. 2001, 37). Le risque « *désigne un danger bien identifié, associé à l'occurrence d'un événement ou d'une série d'événements, parfaitement descriptibles, dont on ne sait pas s'ils se produiront mais dont on sait qu'ils sont susceptibles de se produire.* » L'incertitude est décrite plus succinctement (Callon et al. 2001, 40): « *on sait qu'on ne sait pas, mais c'est à peu près tout ce qu'on sait* ». Toutefois, les deux restent généralement indissociables. En effet, un risque potentiel est « *construit à partir d'un faisceau d'indices et d'hypothèses qui ne sont pas encore scientifiquement validées mais permettent de déclencher une alerte* » (Callon et al. 2001, 271). Une fois que le risque est avéré, les incertitudes sont réduites mais toutes n'ont pas forcément disparu.

Si l'on l'intéresse à la vision des acteurs sur leur perception des risques et des incertitudes, on distingue différents types d'incertitudes auxquelles des acteurs peuvent associer des risques potentiels.

Cadre règlementaire

Le premier type d'incertitudes porte la règlementation des usages, ou plutôt son absence de cadre. L'AESN, EDP:DRDQE et EPTB perçoivent l'absence de règlementation comme un frein à la diversification, au vu de potentielles restrictions règlementaires sur les usages de l'ENP. Par exemple, l'Agence Régionale de Santé pourrait se prononcer à moyen terme sur les risques associés aux usages de l'ENP et restreindre l'utilisation du RENP. A l'inverse, l'APUR pense que ce flou règlementaire est au contraire un levier pour faciliter la mise en place de la diversification des ressources.

Disponibilité des ressources en eau

Le second type d'incertitude porte sur la baisse de disponibilité de la ressource en eau de rivières dans les années à venir. Les positions divergent toutefois sur la perception de cette incertitude. Alors que l'acteur EDP:DIRED juge que les incertitudes sur l'évolution de la disponibilité de la ressource en eau demeurent élevées, les acteurs FNE et VDP:SPE sont très vigilants sur la potentielle baisse de la disponibilité en eau, qu'il faut selon eux anticiper. L'acteur EDP:DIP et EDP:DIREP mettent l'accent sur la potentielle baisse de disponibilité du Canal de l'Ourcq.
Certains acteurs y perçoivent un risque potentiel associé, et donc la nécessité de s'interroger sur la pérennité du schéma d'alimentation du RENP (FNE, EDP:DIREP, EDP:DIP). L'introduction de nouvelles ressources dans le RENP est une solution

possible pour contrer ce risque, mais elle ne semble pas unique. La maîtrise de la consommation des usages du RENP est une autre piste qui paraît également envisageable (VDP:SPE et FNE).

Conséquences sur le système socio-technique associé au RENP

Enfin, le dernier type d'incertitude porte plus largement sur les conséquences induites par la diversification des ressources plus largement sur le système socio-technique associé au RENP. Une première incertitude que l'on peut mentionner porte sur les changements organisationnels. Bien que ces derniers fassent partie des facteurs les moins mentionnés (*cf*. paragraphe 5.2.2.3), l'analyse des discours montre que les acteurs y accordent une grande importance. Ils font part de leurs inquiétudes sur les potentiels changements organisationnels induits par la diversification des ressources, mais proposent également les solutions possibles pour y pallier. L'acteur EDP:DD se réfère notamment à des événements passés à EDP. Il évoque une expérimentation réalisée sur le RENP (ex : expérimentation de l'usage de l'ENP pour la climatisation), pendant laquelle il juge que la répartition des responsabilités sur le suivi des analyses qualité n'a pas été assez cadrée. Il évoque également la mise en place de fontaines à eau pétillante pour l'EP :

> « Quand on a décidé de mettre des pétillantes, sur le réseau d'eau potable, c'était nouveau, c'est-à-dire qu'on a créé une petite équipe pétillante, et j'ai deux–trois spécialistes de l'eau et du gaz quoi... Et puis ce sont des petites usines avec du fin réglage, ce n'est pas de la grosse tuyauterie… mais moi je ne peux pas créer ''x'' petites équipes pour le pompage exhaure modèle RATP, modèle Vinci, modèle Louvre... Et donc s'il y a du pompage d'exhaure […] il faut que ce soit toujours le même modèle, et qu'on ait nous notre cadre technique. »

Par ailleurs, un des deux acteurs de RATP insiste sur la traçabilité des échanges. Il justifie l'importance de ce sujet en se référant à des projets précédents qu'ils ont menés avec des acteurs autres que la VDP et EDP.

> « Souvent ce sont les interlocuteurs qui font défaut, […]. A chaque fois, sur les projets, quand il faut redire les choses, revoir carrément la base du projet, c'est usant, et puis on n'est pas efficace. Donc au fur à mesure du projet, la transmission des données est hyper importante. La traçabilité, les choses bien établies… quitte à faire des points tous les ans sur le projet. Allez on se réunit tous et on revoit un petit peu les grandes lignes. Je pense que ça fait toujours du bien, une piqure de rappel. »

Les leviers possibles consistent ainsi à prendre en compte ces retours d'expériences auxquels les acteurs font référence pendant l'entretien. La répartition des responsabilités *via* des documents tels qu'une convention est également importante : qui est en charge de quelle tâche ? Qui finance quelle partie ? Toutes les situations doivent être envisagées, afin d'éviter l'indécision en cas de situation inédite. Enfin, dans le but de prendre en compte le ressenti des acteurs, il paraît important d'impliquer les acteurs en amont du processus de décision sur le cadrage des responsabilités.

Ceci a été exprimé par l'exploitant EDP:DD :

> « E73 [Enquêté] : s'il y a du pompage d'exhaure, il faut que ce soit toujours le même modèle et qu'on ait nous notre cadre technique.
> C65 [Enquêteur] : D'accord, donc un cadre technique.
> E74 [Enquêté] : Et assez proche de nos activités, de ce qu'on fait au quotidien.
> C66 [Enquêteur] : Quelque chose d'écrit, de tracé…
> E75 [Enquêté] : Oui, oui. Qu'on nous écoute, au moment où c'est fait, c'est tout. »

Par ailleurs, les acteurs évoquent de nombreuses incertitudes sur l'impact environnemental, les difficultés techniques d'exploitation et les enjeux économiques liés à la diversification des ressources. Face à des incertitudes qu'ils ne maîtrisent pas, les acteurs proposent de lancer des études pour les réduire. Ci-dessous est un extrait de l'entretien avec l'acteur EDP:DIRED, en charge de la stratégie à EDP, qui souligne l'importance des études pour sa prise de décision:

> « En termes d'opportunité, on ne peut qu'être favorable à la récupération de ressources. Encore une fois après il faut faire un bilan carbone par exemple. Il est compliqué, sans données objectives, de dire : '' Je suis pour '' ou '' Je suis contre ''. A priori, je suis pour [*rires*], mais l'idée c'est de voir quels sont effectivement les impacts, précisément sur l'infrastructure réseau, et puis d'évaluer aussi la pertinence [*souligne*] économique et surtout écologique de le faire. »

Toutefois, les études comporteront toujours des incertitudes, qui seront fonction du degré de précision choisi. Si le décisionnaire attend toujours qu'elles soient levées *via* les études, il peut alors demander des études complémentaires. Ces études ne permettront pas forcément de réduire les incertitudes, mais peuvent au contraire mettre en avant les éléments restants à préciser, et ainsi augmenter encore l'indécision.

Une autre approche adoptée consiste à penser que se focaliser sur les incertitudes est un prétexte pour ne pas agir. Cette approche est portée par les acteurs APUR et EDP:DIP. Pour l'APUR, les incertitudes semblent, au contraire, être un levier pour faciliter la mise en place de la diversification des ressources. Dans la même logique, l'acteur EDP:DIP pense qu'il faut sortir des discussions théoriques sur l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP, et mettre en place une expérimentation, sur le parking Meyerbeer ou sur un autre site.

Il apparaît ainsi qu'en fonction des acteurs, la perception des incertitudes peut être un frein ou un levier à la diversification des ressources. Si des études sont engagées afin de mieux appréhender ces incertitudes, il reste à identifier quel acteur se positionne par rapport aux résultats de ces études. Deux figures d'acteurs semblent jouer un rôle crucial : le décideur et l'expert. Nous traitons spécifiquement de la figure de l'expert dans le paragraphe suivant.

5.2.3.3 Une croyance absolue en l'expertise

L'importance accordée à la réalisation d'études pour maitriser les incertitudes témoigne d'une importance accordée à l'expertise dans le processus de décision.
Joly (2007) définit l'expertise en reprenant et complétant la définition de Roqueplo :

> « La traduction de l'énoncé d'une connaissance [acquise] dans une communauté scientifique dans un énoncé apporté en réponse à une question posée dans un objectif décisionnel (Roqueplo 1991). Les scientifiques s'en tiennent à l'énoncé des connaissances certifiées, ils ne répondent pas à la question posée par le politique. Inexorablement, l'expertise suppose de dépasser les limites de savoir du scientifique : c'est en raison même de la responsabilité qu'ils endossent en acceptant de contribuer à un processus décisionnel que les experts y sont conduits. »

D'après cette définition, l'expert se différencie de l'homme d'étude, dans la mesure où il prend une responsabilité dans le processus de décision.
Lorsqu'on en revient aux acteurs de l'ENP, on constate que plusieurs acteurs extérieurs à EDP attendent beaucoup de l'expertise d'EDP sur l'ENP, notamment concernant la qualité d'ENP. Quelques extraits d'entretien illustrent cette position ci-dessous :

> « Les eaux d'exhaure […], là aussi peut-être qu'Eau de Paris pourrait émettre des recommandations sur la qualité de ces eaux. Maintenant comment contrôler en permanence la qualité de ces eaux, je ne sais pas, c'est une question ». Acteur VDP/STPP.

> « Beaucoup, de nos espaces verts vont être ouverts au public 24 heures sur 24. […] Et donc du coup la question de l'arrosage en présence du public devient inévitable [pause]. Actuellement il y a une préconisation d'Eau de Paris de ne pas arroser en présence du public en référence à l'arrêté de 2008 sur les eaux pluviales […] ils [le service exploitation DEVE du Bois de Boulogne] nous appuient dans nos démarches avec Eau de Paris pour essayer de faire un petit peu évoluer les préconisations d'Eau de Paris pour l'usage de l'eau non potable». Acteur VDP : DEVE-EV.

Quant à EDP, les acteurs enquêtés considèrent la DRDQE (Direction de la Recherche et de la Qualité de l'eau) comme expert sur la question de la qualité de l'ENP. L'extrait de l'entretien avec l'acteur EDP:DIRED, en charge de la stratégie à EDP, illustre ce propos :

> **«** [Au sujet de l'introduction de nouvelles ressources dans le réseau] : Mon avis ne vaut pas grand-chose, parce que je ne maîtrise pas aujourd'hui techniquement l'impact de ces eaux sur le réseau. J'ai entendu de la part de la DRDQE que c'était quand même *a priori* un petit peu problématique. Donc je fais confiance en leur expertise […].»

Lorsqu'on interroge les acteurs de la DRDQE, ceux-ci considèrent que caractériser la qualité de l'ENP fait effectivement partie de leurs missions. Toutefois, ils expriment leurs difficultés à se positionner face aux interrogations sur les seuils de qualité de l'ENP pour les usages :

> « [sur les seuils de qualité de l'ENP pour les usages existants] : On est toujours peu embêté pour répondre… lorsque tu reprends l'arrosage avec l'eau de surface, c'est dans des champs normalement il n'y a pas beaucoup de risques à part le paysan lui-même, il n'y a pas de risques de contacts. Quand tu fais de l'arrosage urbain, soit c'est de l'eau potable et dans ce cas-là, il n'y a pas de risques, soit c'est de la réutilisation d'eaux usées et il y a différents critères de qualité qui sont utilisés selon les différents types d'arrosage. Là [en parlant de l'ENP] on va arroser par aspersion ou par autre chose, c'est-à-dire qu'on parle ''d'arrosage'' sans vraiment en définir les modalités. Avec une eau de surface, il y a probablement plein d'arrosages auxquels ils n'ont pas eu le droit, peut-être certains qui sont gênants. On n'a pas de réflexion, ni de réglementation à se raccrocher vraiment, c'est pour ça que c'est difficile de dire… »

Ainsi, dans leurs recommandations aux usagers d'ENP, la DRDQE se repose sur l'arrêté de réutilisation des eaux usées traitées, en estimant que l'eau de surface est *a priori* de meilleure qualité que les eaux usées traitées.
A la demande de la direction d'EDP, la DRDQE a poursuivi sa réflexion sur les seuils de qualité pour l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP, qu'elle avait initialement établis en concertation avec la VDP, (*cf*. paragraphe 5.1.2.2). Elle n'a plus répondu à la question : « *Est-ce faisable ?* » mais bien à la question « *A quelles conditions est-ce faisable* ? » Avec l'établissement de ces seuils limites, la direction d'EDP lui a demandé de réduire le plus possible les incertitudes, quitte à ce que la DRDQE sorte de son périmètre d'action d'expert.

Comme évoqué précédemment, le souhait perpétuel de réduire les incertitudes le plus possible peut constituer un frein à la mise en place de la diversification des ressources. L'expert est mis dans une situation délicate, dans la mesure où les études qu'il réalise comporteront toujours des incertitudes. Un levier résiderait donc dans l'acceptation des incertitudes, et des limites du périmètre d'intervention de l'expert. Ceci a été clairement exprimé par l'acteur EDP:DIP :

> « Je pense qu'il faut essayer de faire un test pour voir ce que ça donne vraiment, parce que sinon on sera toujours dans des discussions théoriques. On voit qu'il y a quand même d'autres sites où ça marche : certes, ce n'est pas réintroduit dans un réseau mais ils utilisent quand même l'eau d'exhaure pour un usage, ça fonctionne donc. Est-ce qu'on n'est pas trop drastique dans nos conclusions *?* »

Cette approche se retrouve également dans les travaux de M. Soyer en 2014 axés sur les observatoires en hydrologie urbaine. Les observatoires sont des structures locales composés de scientifiques et d'opérationnels des services d'eau et d'assainissement, travaillant sur la performance des systèmes d'assainissement et la qualité des eaux urbaines. Ses terrains de recherche ont été des collectivités avec observatoire (Paris, Lyon et Nantes), mais également sans observatoire (Rennes et la Communauté d'agglomération du Douaisis). Ses entretiens montrent que les collectivités sans observatoire « *évacuent le risque en l'acceptant* » (Soyer 2014, 367). L'auteur

constate deux types de réactions auprès des opérationnels de l'eau enquêtés dans ces deux collectivités. Une première approche consiste à penser que le risque est de toute façon impossible à maitriser (Soyer 2014, 367):

> « L'incertitude généralisée, paradoxalement, autorise à agir : quoi qu'il en soit, il faut bien faire, expérimenter, tâtonner. La collectivité n'a d'autre choix que de naviguer à vue. Dans un contexte d'ambigüité et de précarité des solutions, il est *a fortiori* difficile de distribuer des bons et des mauvais points, de sanctionner les uns ou les autres. Dès lors, le pragmatisme est le seul registre d'action possible. »

La deuxième approche constatée dans ses travaux consiste à relativiser les risques : l'acteur estime qu'il dispose déjà suffisamment de connaissances pour passer à l'action. Nous notons que pour ces deux collectivités sans observatoire, les opérationnels semblent en travailler en bonne entente avec l'élu. Alors que les acteurs enquêtés à Douai renvoient l'image d'un « *binôme ''technique/politique'' qui fonctionne bien* », les acteurs à Rennes se réfèrent durant l'entretien au soutien politique qu'ils jugent primordial.

La mise en place d'une expérimentation, avec le soutien de l'élu, semble être un levier à la mise en place de la diversification des ressources. Par ailleurs, l'importance accrue accordée aux incertitudes et à l'expertise peuvent s'expliquer par la nature des services techniques que la plupart des acteurs enquêtés représentent, mais également par leur expérience personnelle propre à l'individu. Nous notons par exemple que la personne enquêtée représentant EDP:DIP a suivi de près l'avancement de nos travaux de recherche, et a une bonne connaissance de ses enjeux. La parte suivante vise à remettre en perspective les positions recueillies auprès des acteurs.

5.2.3.4 Des positions à nuancer par rapport au parcours des personnes et à leurs engagements personnels

Durant la conduite d'entretiens, on constate que plusieurs personnes ont indiqué à plusieurs reprises s'exprimer à titre personnel, ce qui a pu amener à des résultats inattendus. A titre d'exemple, l'acteur EDP:DRHF en charge des finances de l'ENP mentionne que sa hiérarchisation des facteurs est personnelle et que le facteur le plus important est l'impact environnemental.
Par ailleurs, nous avons constaté que le parcours professionnel semblait transparaitre dans le discours de l'acteur. Par exemple, l'acteur FNE a mis l'accent à plusieurs reprises sur l'importance d'étudier la faisabilité technico-économique de la diversification des ressources. Cette vision technicienne peut s'expliquer par sa formation d'ingénieur agronome et le fait qu'il soit également membre du conseil d'administration d'EDP.
Nous pouvons également évoquer un des acteurs du service SPE qui a exprimé des fortes réserves sur la diversification des ressources du RENP, un élément pourtant clef du schéma directeur qu'il met en œuvre. Typiquement, cette position recueillie est à remettre en perspective avec le contexte de la conduite d'entretien. Cette personne a quitté son poste quelques jours après la conduite de l'entretien, dans une autre

direction de la VDP. Sa position a donc pu refléter un scepticisme réel par rapport à la diversification des ressources, mais également un certain désengagement vis-à-vis des objectifs de son service.
En fonction de leur conviction et de leur périmètre d'action, des personnes peuvent freiner la mise en place de la diversification des ressources, même si la volonté politique des élus a été affirmée dans ce sens. Par exemple, les personnes en charge de la mise en œuvre du schéma directeur peuvent ne pas être convaincues par tous les éléments qui y sont inscrits dans le schéma directeur ; elles auront tendance à prioriser certains éléments au détriment d'autres.

A l'inverse, des personnes, par leurs convictions personnelles, peuvent devenir des personnes « moteurs » à la mise en place de la diversification des ressources du RENP. Cette hypothèse a été émise suite à des visites de sites à Paris qui réutilisent localement des eaux d'exhaure : le quai Branly et le site Bibliothèque François Mitterrand de la Bibliothèque Nationale de France. Nos échanges ont montré que la mise en place de la réutilisation a été initiée par une ou deux personnes. Sur le site Bibliothèque François Mitterrand, elle a été impulsée par un responsable en maintenance et la responsable des espaces verts du site, motivés tous deux par les enjeux environnementaux de cette réutilisation. Au sein du quai Branly, elle a été initiée par le responsable des installations techniques, celui-ci étant principalement intéressé par l'aspect novateur du projet

Néanmoins, dissocier une position personnelle d'une position relevant de l'organisation reste complexe dans le cadre de l'analyse des entretiens. Nous avons pu le voir avec l'importance que les usagers d'ENP accordent à l'impact environnemental. Pour ces acteurs, l'environnement désigne le milieu naturel, mais également leur environnement de travail. Par ailleurs, EDP (et historiquement la SAGEP) dispose d'une direction consacrée à l'ingénierie et donc réalise elle-même ses études depuis plusieurs années. L'entreprise a donc une « culture de l'étude », ce qui peut expliquer le nombre important d'acteurs à EDP en demande d'études complémentaires. Ainsi, l'importance du parcours personnel et des engagements personnels des individus reste également à nuancer dans leur discours, car l'individu est forcément influencé par son environnement de travail, et par les intérêts de son organisation.

5.2.4 Un retour sur nos hypothèses formulées

Nous avons cherché à identifier à quelles conditions la diversification des ressources peut être mise en place et acceptée par le système d'acteurs. Trois hypothèses ont été émises, selon lesquelles la perception de la diversification des ressources du RENP dépend :

- de la perception de la gestion actuelle du RENP
- des avantages et inconvénients causés par la diversification selon des critères identifiés pour leur institution
- du périmètre d'action de l'enquêté et de son lien avec l'ENP.

L'ensemble de ces hypothèses a pu être vérifié par nos résultats, que nous présentons dans la suite.

La perception de la diversification des ressources du RENP dépend de la perception de la gestion actuelle du RENP.

Cette hypothèse a été vérifiée en particulier sur les positions extrêmes. Les acteurs VDP:SPE et EDP:DRDQE sont fortement défavorables à la diversification des ressources. Ils jugent qu'il est préférable de remettre en état ce réseau et de mieux caractériser ses entrées et sorties plutôt que de réfléchir sur la prospective. Bien que l'un des acteurs VDP:SPE soit particulièrement vigilant par rapport à la baisse de la disponibilité des ressources, il considère que la maitrise de la consommation des usages d'ENP et la réutilisation locale des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées sont plus importantes que la diversification des ressources.

Ceci reste également vrai pour les acteurs fortement favorables à la diversification des ressources. L'APUR et EDP:DIP n'ont pas une perception négative du RENP ni de l'ENP distribuée ; et tous deux sont vigilants par rapport à la disponibilité des ressources actuelles du RENP.

Cette hypothèse a été également vérifiée pour les usagers de l'ENP. La qualité de l'ENP leur parait aujourd'hui satisfaisante pour leurs usages actuels. A l'exception du VDP:STPP, tous les usagers pensent que l'ENP est distribuée de manière correcte en termes de débit et de pression. Dans l'ensemble, les usagers jugent que ce réseau fonctionne bien et qu'il est essentiel à leur activité. Ils sont donc favorables à la diversification de ses ressources tant qu'elle n'impacte pas négativement leurs usages.

Le « point de bascule » entre la perception de la gestion actuelle du RENP et de la diversification des ressources porte sur l'information - et lorsqu'elle est mobilisable, sa circulation entre acteurs.
Les acteurs VDP:SPE s'estiment très dépendants d'EDP du point de vue de l'information et préfèrent améliorer leur connaissance du RENP plutôt que de réfléchir sur les prospectives.

A l'inverse, VDP:DEVE-EV, VDP:DEVE-BB, FNE et le service des canaux, et le Muséum sont satisfaits des échanges avec EDP sur le RENP. Pour les acteurs VDP:canaux et VDP:DEVE-BB, les échanges se font au quotidien entre les exploitants des deux entités, de manière informelle ; ces acteurs sont en même temps favorables à la diversification des ressources.

Lorsqu'on aborde le sujet de la diversification des ressources avec les acteurs, on constate que la deuxième hypothèse est vérifiée, du moins en partie.

La perception de la diversification des ressources du RENP dépend des avantages et inconvénients causés par la diversification selon des critères identifiés pour leur organisation.

Pendant la première moitié de l'entretien (c'est-à-dire avant la discussion des facteurs), les acteurs s'interrogent sur la diversification des ressources du RENP autour des thèmes suivants : les contraintes d'usages, les enjeux techniques, l'impact environnemental, les changements organisationnels et les enjeux économiques.
En particulier, l'introduction des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées dans le RENP soulève principalement la question de la qualité. La qualité des eaux d'exhaure paraît être un point bloquant au sein d'EDP en raison de leur potentiel de corrosion et d'entartrage, surtout au niveau des branchements de raccordement comme l'arrosage ou la climatisation. La qualité des eaux usées traitées est moins clivante que celle des eaux d'exhaure (vis-à-vis de l'arrosage notamment), bien qu'elle génère des interrogations sur sa qualité microbiologique. Ceci peut s'expliquer par l'existence d'un cadre réglementaire pour les eaux usées traitées et par l'aspect prospectif de la réutilisation des eaux usées traitées. Seul le SIAAP exprime des réserves sur sa propre capacité à maintenir une continuité de qualité de rejet. Ces thèmes sont donc fortement en lien avec les facteurs définis en amont de l'entretien, qui sont discutés dans la seconde moitié de l'entretien.

La hiérarchisation des facteurs a été globalement appropriée et comprise par les acteurs. Elle les a amenés à s'exprimer sur les sujets qui leur ont paru les plus importants, et donc à expliciter leurs conditions pour accepter la diversification des ressources. L'impact environnemental, le respect de la réglementation et l'impact sur les usages sont les facteurs nommés par le plus grand nombre d'acteurs. Toutefois, cette méthode a présenté quelques limites. Certains acteurs ont rencontré des difficultés pour hiérarchiser ces facteurs, au vu de leur connaissance du réseau. L'APUR s'est distancié de cette méthode, estimant que ces facteurs s'apparentaient à des contraintes, et qu'il était préférable d'identifier les « *leviers* » possibles à la diversification des ressources.

Notre analyse du discours des acteurs a montré l'importance de la perception des incertitudes et des risques dans leur prise de position. Ces incertitudes ont porté sur l'avenir du fonctionnement du RENP, indépendamment de la diversification des

ressources : les évolutions règlementaires sur les usages de l'ENP et la disponibilité des ressources en eaux de rivière. Des incertitudes portent également sur les conséquences de la diversification des ressources induites sur le système socio-technique associé au RENP. Les acteurs se positionnent face à ces incertitudes de deux manières : ils les perçoivent comme un frein ou un levier à la diversification des ressources du RENP. Afin de maîtriser une partie des incertitudes, certains acteurs insistent sur la nécessité d'études exhaustives. Toutefois, les incertitudes existeront toujours selon le degré de précision choisi. L'importance accordée à l'expertise doit être cependant relativisée ; seule la mise en place d'une expérimentation, avec le soutien du pouvoir politique, permettrait d'évaluer ces incertitudes et de les réduire.

La perception de la diversification des ressources du RENP dépend du périmètre d'action de l'enquêté et de son lien avec l'ENP.

Afin de vérifier cette hypothèse, les acteurs ont été définis selon leur degré de proximité au RENP. A partir de cette distinction, on constate que les acteurs qui n'ont pas d'avis tranché sur la diversification des ressources ou qui sont en demande d'études complémentaires sont la majorité des acteurs d'EDP. La prudence affichée par ces acteurs d'EDP s'explique également par leur proximité au RENP : ils sont en charge de la gestion qui relève de leur responsabilité ; ils ont une conscience également plus aigüe des défaillances possibles.

A l'inverse, les acteurs AESN, DRIEE, EPTB et VNF sont *a priori* favorables à la diversification au vu des impacts potentiellement bénéfiques sur l'environnement. Ils sont éloignés du RENP et leur périmètre d'action porte sur les cours d'eau sollicités pour le RENP.

Nous constatons également que leurs parcours professionnels et leur engagement personnel jouent un rôle non négligeable dans leur prise de position. Cela a été constaté avec des acteurs qui sont certes moins proches du RENP, comme FNE et le SIAAP, mais qui, de par leur parcours, ont une vision très technicienne du RENP.

5.3 Conclusions

L'étude de nos deux exemples de jeux d'acteurs déroulés pendant la thèse ont permis d'illustrer la multiplicité des enjeux autour de l'alimentation du RENP. Ils montrent également la nécessité d'avoir une vision élargie du système d'acteurs, qui ne se retreint pas qu'à la direction d'EDP et de la VDP. En effet, alors que l'exemple de la rivière Ourcq a montré que les stratégies d'acteurs sur cette rivière peuvent se répercuter *in fine* sur l'alimentation du RENP, les réflexions menées en interne d'EDP et de la VDP sur les eaux d'exhaure a montré l'importance des échanges d'information entre ces services dans le processus de décision.

Par la suite, nous avons cherché à identifier à quelles conditions la diversification des ressources pourrait être acceptée par le système d'acteurs. Pour cela, la conduite d'entretiens nous a permis de recueillir la parole des services techniques d'EDP et de la VDP, ainsi que de l'ensemble des acteurs qui gravitent autour de ce réseau.
Il ressort de la hiérarchisation des facteurs que la majorité des acteurs sont convaincus de la nécessité de maintenir une bonne qualité de l'environnement. Leurs préoccupations portent également sur la qualité des ressources potentielles, en particulier celle des eaux d'exhaure et des conséquences sur les usages actuels d'ENP.
La majorité des acteurs (notamment à EDP) adoptent une posture de *statu quo* face à la diversification des ressources : diversifier n'est pas forcément synonyme de durabilité, d'où la nécessité de réaliser des études exhaustives. Cette forte demande d'études reflète également une perception aigüe des incertitudes qui, en fonction des acteurs enquêtés, représentent un frein ou un levier à l'action.

L'analyse des acteurs met à nouveau en avant le RENP comme système socio-technique, dans lequel acteurs, infrastructure techniques et milieu naturel sont intimement liés. Le RENP ne peut ainsi contribuer à une gestion durable des ressources qu'à condition que la configuration du système d'acteurs soit stabilisée dans la durée, avec des rapports de force *à minima* équilibrés. Au regard de ces considérations, nous revenons désormais sur notre question de recherche et présentons les réponses apportées par nos travaux de thèse.

6 Conclusions

Ces travaux de thèse ont visé à comprendre à quelles conditions une diversification des ressources du RENP parisien peut contribuer à une gestion durable des ressources, tout en étant acceptée par l'ensemble des acteurs associés au réseau.

Notre recherche a permis de mieux appréhender les doubles réseaux, qui ont fait l'objet d'assez peu de travaux scientifiques. L'état de l'art a montré que leur mise en place à l'échelle d'une ville est principalement motivée par la sécurisation des ressources en eau pour l'alimentation en eau potable. Toutefois, l'impact environnemental d'un double réseau par rapport au réseau unique reste encore peu étudié. Notre recherche axée sur le RENP parisien a permis de mettre la lumière sur les éléments présentés-ci après.

La description du RENP parisien nous a amenés à réfléchir sur l'emprise du territoire géographique associé à ce réseau. Notre terrain de recherche a compris le territoire de la Ville de Paris, incluant le Canal de l'Ourcq jusqu'aux affluents et la rivière Ourcq inférieure.
Au sein de Paris, la compréhension du fonctionnement technique du RENP et de son alimentation nous a confrontés à la variabilité des connaissances disponibles. Alors que les données de production d'ENP sont connues très précisément, les données sur les consommations en ENP sont en revanche moins bien connues. Les estimations de la thèse montrent que les principaux usages sont le nettoyage des voiries et le curage des égouts, représentant respectivement 38% et 42% des consommations d'eau non potable estimées. Des incertitudes fortes demeurent cependant sur les pertes associées à ce réseau.

Afin de satisfaire ces usages, le prélèvement du RENP porte principalement sur le Canal de l'Ourcq, lui-même alimenté par les affluents du canal, la rivière Ourcq et la Marne. Le Canal de l'Ourcq représente à lui seul de nombreux enjeux règlementaires, notamment sur le maintien des débits réservés des affluents et de la rivière Ourcq. Ainsi, il apparaît qu'une gestion durable des ressources en eau pour le RENP ne peut se faire sans une vision globale du bassin versant.

Lorsqu'on s'intéresse aux acteurs du service de l'ENP, on constate qu'il n'y a pas deux acteurs Ville de Paris et Eau de Paris, mais une multiplicité d'acteurs représentés par les services de ces organisations. Ceci s'explique par de nombreux liens d'interdépendance entretenus entre ces deux organisations sur les plans économiques, institutionnels et hydriques. Par ailleurs, les autres acteurs associés au schéma hydrologique du RENP jouent un rôle primordial dans la gestion du RENP, en intervenant par leur prélèvement dans les cours d'eau, par leur action règlementaire, par la perception de redevances, ou par l'assainissement des effluents.

Enfin, la littérature en en sciences de décision nous amène à considérer également les experts et hommes d'études (APUR, experts au sein d'EDP, doctorants CIFRE, etc.) et les acteurs qui militent pour la protection de l'environnement (FNE). L'ensemble des acteurs identifiés dans cette recherche forment un système, au sein duquel chacun a la capacité d'influencer directement ou indirectement le fonctionnement du RENP et ses possibles évolutions.

Parmi les différentes évolutions possibles du RENP, notre travail a porté sur la diversification de ses ressources, terme recouvrant toute modification d'alimentation du RENP, que ce soit les prélèvements dans les ressources actuelles ou l'introduction de nouvelles ressources.
Cette évolution paraît plausible à moyen et long terme, dans la mesure où la disponibilité des eaux de rivières pour le RENP peut être amenée à évoluer. En effet, les enjeux règlementaires liés à la restitution des débits réservés et les opportunités de prélèvement des communes dans le canal peuvent engendrer une diminution de la disponibilité du canal de l'Ourcq pour le RENP. Par ailleurs, l'arrêt envisagé de l'usine d'Auteuil prélevant en Seine nécessiterait une réallocation des ressources dans le RENP, renforçant la dépendance de ce réseau de l'eau du canal de l'Ourcq.
Ainsi, notre recherche s'est axée sur quatre ressources potentielles du RENP : les eaux de piscine, les eaux de pluie, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées. Les eaux de piscine et les eaux de pluie représentent chacune moins de 5% des volumes mis en distribution dans le RENP. Bien que leur qualité apparaisse satisfaisante pour les usages actuels d'ENP, les volumes disponibles estimés demeurent très modestes par rapport aux besoins du RENP. Ainsi, leur introduction n'a pas été approfondie dans la thèse.
Les eaux d'exhaure rejetées en égouts à Paris représentent 13% de volumes mis en distribution dans le RENP. De par son rejet en continu, cette ressource dispose déjà d'une partie des infrastructures indispensables pour une injection dans le RENP. En revanche, elle se caractérise par une concentration en sulfates au-delà de 500 mg/L et une conductivité deux à trois fois plus élevée que les ressources actuelles. Cette qualité nécessite alors des précautions d'usage, à la fois sur l'arrosage et les équipements raccordés au réseau.
Les eaux usées traitées en sortie de STEP représentent de loin la ressource la plus abondante pour le RENP, même lorsqu'on considère uniquement les STEP situées à un périmètre de 10 km autour du RENP. Les volumes équivalents représentent près de quatre fois les volumes d'ENP mis en distribution. Cependant, seule la STEP Seine Morée s'approche des seuils exigés par la règlementation sur la réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des espaces verts ouverts au public.
A l'issue de l'exploration de ce terrain de recherche et de l'étude de ses possibles évolutions, nous revenons à présent à notre question de recherche et deux hypothèses formulées au début de notre thèse.

6.1 Un nouveau regard sur nos hypothèses

La première hypothèse a porté sur l'impact énergétique de la diversification des ressources, en considérant que **la diversification des ressources du RENP était susceptible d'engendrer des consommations énergétiques supplémentaires à l'échelle globale.**

Nous avons étudié cette hypothèse grâce à la construction d'une méthode de calcul d'énergie basée sur un modèle hydraulique. Ce modèle représente à la fois les conduites principales du RENP et les conduites de pompage en Marne en amont du Canal. Malgré les simplifications réalisées sur le fonctionnement et l'alimentation du RENP, notre méthode de calcul a permis d'évaluer de manière fiable le bilan énergétique global de notre territoire. En effet, lorsqu'on compare notre méthode avec une autre approche basée sur les factures EDF, les résultats de ces deux méthodes pour l'année 2013 présentent un faible écart relatif (7%).

Différents choix d'alimentation, déclinés sous la forme de *scenarii,* ont été alors établis. Le premier *scenario* dit de « Référence » permet de représenter le fonctionnement du RENP en situation actuelle. D'autres *scenarii* sont élaborés afin d'étudier les modifications des prélèvements dans les ressources actuellement sollicitées (Seine, Ourcq et Marne) ainsi que l'introduction de deux ressources potentielles, les eaux d'exhaure et les eaux usées traitées.

Les résultats du calcul montrent qu'à l'échelle du territoire étudié, l'introduction de nouvelles ressources ne génère pas des coûts supplémentaires de pompage significatifs, contrairement à certaines réallocations d'eaux de rivières au sein du RENP. En effet, les écarts de consommations énergétiques entre le *scenario* « référence » et les autres *scenarii* s'élèvent à 13 % au maximum, notamment pour le *scenario* « Seine » qui prélève deux fois plus dans le fleuve que le *scenario* de « référence ». Il apparaît alors que l'arrêt d'Auteuil avec le prélèvement privilégié en Seine génère des augmentations significatives de consommation d'énergie à l'échelle du territoire étudié.

Les résultats montrent également l'apparition d'un « effet de compensation » au sein du territoire étudié, où toute augmentation du coût de pompage liée à une ressource est compensée partiellement par une économie de pompage liée à une autre ressource. A titre d'exemple, l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP génère des consommations supplémentaires de pompage par rapport à leur rejet en égout, néanmoins celles-ci sont compensées partiellement par des économies de pompage au niveau des installations de pompage du RENP. Par ailleurs, l'injection des eaux usées traitées de la station d'épuration Seine Centre engendre des coûts de pompage pour l'acheminement de l'eau usée traitée vers le RENP ; ces coûts sont cependant partiellement compensés par un moindre pompage de l'usine de La Villette vers le sous-réseau Passy. Enfin, l'effet de compensation apparaît également lorsqu'on considère l'arrêt de l'usine d'Auteuil avec le prélèvement privilégié dans l'Ourcq (*scenario* « Ourcq »). Ceci s'explique par le fait qu'un prélèvement privilégié dans le Canal Ourcq engendre moins de pompage en eau de Seine, en revanche il génère en revanche une augmentation de pompage en Marne.

Le bilan énergétique évalué pour chaque *scenario* permet également d'établir des ordres de grandeurs des coûts énergétiques par m^3 pour chaque ressource. Par d'exemple, pour le *scenario* « Exhaure », les consommations énergétiques par m^3 nécessaires au pompage des eaux de la Marne, de l'Ourcq, de la Seine, et des eaux d'exhaure sont respectivement de 0,128 ; 0,089 ; 0,176 ; et 0,071 kWh/m^3.
Il est intéressant de noter que la ressource d'eaux d'exhaure, bien qu'elle ait une contribution faible dans le bilan énergétique global au vu des faibles volumes introduits, présente la consommation d'énergie par m^3 le plus bas. Ce résultat repose sur l'hypothèse que ces eaux sont de toute façon évacuées en égouts, ce qui paraît légitime dans le contexte urbain de Paris.
La méthode de calcul développée, ainsi que les résultats de notre étude, permettent de contribuer à une réflexion plus globale sur l'impact environnemental des doubles réseaux. L'originalité de notre recherche réside dans le fait qu'elle ait étudié à la fois des ressources potentielles à la fois locales dans Paris (eaux d'exhaure) et plus éloignées (eaux usées traitées).

Si l'on s'intéresse aux *conditions de mise en œuvre* d'une gestion durable de l'eau, il apparaît que l'impact environnemental ne représente pas le seul critère de décision. Les acteurs gestionnaires de ce RENP doivent intégrer dans leur décision d'autres enjeux, comme les enjeux économiques et le respect des engagements contractuels. Nous portons désormais notre attention à notre seconde hypothèse, rappelée ci-dessous :
Les acteurs se positionnent par rapport à la diversification des ressources en fonction des avantages et des inconvénients qu'elle semble induire sur leur organisation.

Afin d'étudier cette hypothèse, nous avons examiné deux exemples de jeux d'acteurs à deux échelles différentes. Le premier exemple se place à l'échelle du bassin versant de la Seine, et porte plus spécifiquement sur la rivière Ourcq dite « inférieure », terme recouvrant une partie de la rivière Ourcq depuis la prise en eau à Mareuil-sur-Ourcq pour le canal jusqu'à la confluence avec la Marne. Pour rappel, cette rivière est actuellement gérée par un syndicat, constitué à part égale de la Ville de Paris (50 %) et de neuf communes (50%) situées au Nord Est de Paris. Aujourd'hui, la règlementation oblige à assurer un débit réservé à la rivière Ourcq en aval de la prise d'eau, nécessitant à l'heure actuelle des études techniques pour l'estimation de ce débit réservé. Si la valeur estimée de ce débit réservé s'avère élevée, le syndicat devra mener un arbitrage entre, d'une part la garantie du bon fonctionnement écologique de la rivière, et d'autre part la participation financière et technique de la Ville de Paris dans les activités du syndicat. En effet, si l'apport de l'Ourcq diminue, l'intérêt stratégique de cette ressource diminue pour la Ville de Paris, qui pourrait alors se retirer du syndicat. Cet exemple montre ainsi que des considérations d'ordre règlementaire – mais aussi environnemental et économique – sur des cours d'eau bien en amont du réseau peuvent impacter *in fine* son schéma d'alimentation.

Le deuxième exemple se recentre sur Paris – ou à l'échelle du quartier parisien – avec l'étude de l'injection des eaux d'exhaure de deux parkings parisiens dans le RENP. Le parking Meyerbeer, propriété de la Ville de Paris, constitue le second rejet le plus important d'eaux d'exhaure dans les égouts de tout Paris. Toutefois, ces eaux se caractérisent par une conductivité et une concentration en sulfates très élevées (respectivement de 2550 µS/cm et de 1300 mg/L), nécessitant alors des précautions d'usage. Cet exemple montre la nécessité d'un arbitrage entre les enjeux environnementaux et les précautions d'usage associé à cette injection. En effet, du point de vue environnemental, cette injection permettrait de donner une seconde vie à ces eaux, et donc d'économiser le prélèvement dans les eaux de rivière. Cependant, la qualité de ces eaux fait émerger la question d'un traitement, ce qui pourrait remettre en cause le gain environnemental de l'injection. L'étude de l'injection du parking Meyerbeer menée en interne à EDP sera suivie de celle des eaux du parking Pyramides. Cette étude ne donnera pas suite non plus à des démarches concrètes, car les eaux de ce parking sont également jugées inaptes pour le réseau.

Ces deux exemples mettent en avant la nécessité d'un arbitrage – ou *a minima* d'un compromis – entre des enjeux de différentes natures, concernant toute modification de l'alimentation du RENP. Ils montrent également la nécessité d'avoir une vision large du système d'acteurs, qui ne se retreint pas qu'à la direction d'Eau de Paris et de la Ville de Paris. Alors que l'exemple de la rivière Ourcq a montré que les stratégies des acteurs du Canal de l'Ourcq peut impacter l'alimentation du RENP, les réflexions menées en interne d'Eau de Paris et de la Ville de Paris sur les eaux d'exhaure a mis en évidence l'importance des échanges entre ces services dans le processus de décision.

Nous nous sommes ensuite intéressés au système d'acteurs *global*, afin de savoir à quelles conditions il accepterait la diversification des ressources du RENP. Il ressort de la conduite d'entretiens que la majorité des acteurs sont convaincus de la nécessité d'une protection de l'environnement, celui-ci étant défini au sens large (eau, air, sol, etc.). Cette dernière peut représenter un avantage pour leur organisation, dans la mesure où ces acteurs travaillent dans l'eau, et ont intérêt à maintenir une gestion durable des ressources en eau. Les avis divergent néanmoins sur la pertinence d'introduire de nouvelles ressources dans le RENP. Alors que certains acteurs trouvent que donner une seconde vie à ces eaux *via* l'injection dans le RENP est bénéfique sur le plan environnemental, d'autres jugent la réutilisation locale des eaux d'exhaure et des eaux usées traitées plus judicieuse. Leurs préoccupations portent également sur la qualité des ressources potentielles, en particulier celle des eaux d'exhaure et des conséquences sur les usages actuels d'eau non potable. Il est intéressant de noter que cette préoccupation n'est pas forcément formulée par les usagers de l'eau non potable, mais principalement par les services d'Eau de Paris. La question de la qualité représente ainsi un inconvénient pour Eau de Paris, dans la mesure celle-ci peut impacter négativement les clients, et donc les relations qu'Eau de Paris entretient avec eux. Ces éléments d'analyse nous amènent à valider notre seconde hypothèse.

Cette hypothèse mérite toutefois d'être nuancée. En effet, la majorité des acteurs (notamment à Eau de Paris) adoptent une posture de *statu quo* face à la diversification des ressources : diversifier n'est pas forcément synonyme de durabilité, d'où la nécessité de réaliser des études exhaustives. En revanche, il n'est pas certain que la réalisation d'études complémentaires leur permette d'exprimer des avis plus tranchés. En effet, cette forte demande d'études reflète également une perception aigüe des incertitudes, qui semblent jouer un rôle encore plus important que les avantages et inconvénients perçus de la diversification des ressources par les acteurs. En fonction des acteurs enquêtés, les incertitudes peuvent représenter un frein ou un levier à l'action. Cette perception des incertitudes peut aussi s'expliquer par les services, essentiellement techniques, que représentaient les enquêtés. Ces derniers considèrent qu'ils ont des leviers d'action très faibles, et que la décision finale est du ressort des élus parisiens. Néanmoins l'étude de l'exemple des eaux d'exhaure des parkings Meyerbeer et Pyramides a montré que les services techniques ont également la capacité de faire avancer ou de freiner la diversification des ressources. Ainsi, il apparaît qu'une acceptation des risques est nécessaire pour la mise en place d'une expérimentation, dont les conclusions permettraient de réduire les incertitudes et *in fine* d'amener les acteurs enquêtés à adopter un positionnement plus prononcé. En cela, notre analyse gagnerait à être remise en perspective avec l'entretien d'un élu parisien, dont l'arbitrage entre différents enjeux et la confrontation aux incertitudes est au cœur de son quotidien.

Enfin, des inconnues demeurent sur l'intervention des autres acteurs institutionnels, qui pourraient faire changer la donne et « modifier les règles de jeu » vis-à-vis de la diversification des ressources du RENP. Alors que la police de l'eau peut être amenée à réviser les autorisations de prélèvements sur les eaux de rivière, l'Agence de l'Eau Seine Normandie peut mettre en place des incitations financières pour la mise en place de la diversification des ressources.

Notre thèse a permis de poser les jalons d'une analyse des jeux d'acteurs associés aux doubles réseaux, qui est resté jusqu' alors un volet peu exploré dans la recherche. Au regard de notre étude de la rivière Ourcq, il apparaît que les acteurs parisiens du RENP ne peuvent valoriser ce réseau sans certaines formes de coopération avec d'autres acteurs du bassin versant de la Seine.

6.2 De nouvelles pistes à explorer

A l'issue de ces travaux de recherche, nous proposons à présent plusieurs pistes d'approfondissement, afin de poursuivre cette réflexion sur la contribution du RENP parisien à une gestion durable des ressources en eau.

Evaluer les consommations et pertes du RENP pour mieux les réduire

Si l'on souhaite aujourd'hui diminuer l'impact environnemental des activités humaines sur la ressource, la maitrise des consommations en eau paraît être une étape incontournable. Notre état des lieux sur le fonctionnement actuel du RENP a mis en lumière les fortes incertitudes qui résident encore sur les différents usages du RENP et les pertes associées. Ainsi, une instrumentation sur le RENP et les appareils hydrauliques raccordés permettrait de mieux évaluer les usages et de quantifier les pertes du RENP à l'échelle par exemple d'un quartier, afin de pouvoir ensuite définir les stratégies de réduction de consommation, ou de réhabilitation ou renouvellement des appareils hydrauliques et des conduites.

Approfondir le lien entre qualité et usages

La thèse axée sur le double réseau parisien a permis d'introduire une réflexion nouvelle sur le lien entre usages et qualité à l'échelle d'une ville. En particulier, les eaux d'exhaure constituent une ressource d'eau non potable intéressante, dans la mesure où elles sont susceptibles d'être présentes dans les villes qui sont situées à proximité d'un cours d'eau et qui possèdent des infrastructures souterraines. Il paraît intéressant d'approfondir la question de la variabilité spatiale de la qualité des eaux d'exhaure, notamment à Paris. De futurs travaux sur les eaux d'exhaure permettraient également de préciser les risques associés à la qualité de ces eaux sur l'arrosage et les équipements raccordés au réseau. La poursuite des travaux de modélisation permettrait également de comprendre les effets de mélange des eaux d'exhaure et de l'ENP.

En outre, ces travaux nous permettraient d'interroger le lien ressource-usage à travers le prisme de la durabilité : est-il plus durable d'adapter les usages aux ressources à disposition, ou d'adapter la ressource (et donc de la traiter) pour satisfaire des usages définis au préalable ? Par ailleurs, est-il plus durable d'utiliser l'eau potable pour l'arrosage ou de traiter les eaux d'exhaure pour réduire leurs concentrations en sulfates ?

Affiner la méthode de calcul énergétique à des fins multiples

Notre méthode de calcul énergétique gagne à être précisée, afin de pouvoir comparer plus finement le bilan énergétique global entre *scenarii*. En particulier, la quantification des incertitudes pourrait être évaluée, par une approche numérique du type méthode Monte Carlo.

Par ailleurs, notre démarche pourrait être étendue à des scénarios où les usages – et donc les demandes en eau non potable – varient. De tels *scenarii* seraient liés à la conversion de certains usages d'eau potable en eau non potable. Pour cela, les

consommations associées à ces usages doivent être supérieures aux incertitudes de calcul. Il serait également nécessaire de coupler notre modèle à un autre modèle représentant l'hydraulique du réseau d'eau potable, afin d'évaluer les économies faites en termes de coûts de distribution et de traitement en eau potable. Cette méthode permettrait d'apporter un regard critique et argumenté à l'égard de tout changement de statut de l'eau.

Appliquer de nouveaux indicateurs environnementaux au cas du RENP

L'indicateur énergétique ne saurait à lui seul caractériser l'impact environnemental si on ne précise pas la source d'énergie utilisée (par exemple, énergie renouvelable, charbon ou nucléaire). Un indicateur de l'impact environnemental pourrait ainsi s'exprimer en équivalents CO_2, et sera d'autant plus pertinent si Eau de Paris envisage de changer son mode d'alimentation en énergie, par exemple en produisant elle-même son énergie renouvelable qu'elle consommerait directement pour ses activités. Cette démarche de production d'énergie a déjà été initiée par Eau de Paris, par exemple avec la pose de panneaux photovoltaïques sur un de ses réservoirs, dont l'énergie générée sera à partir de 2018 directement injectée dans le réseau électrique français. Enfin, les émissions de CO_2 ne suffisent pas à elles seules à évaluer l'impact environnemental de la gestion de l'eau. Nous le constatons avec le prélèvement dans le Canal de l'Ourcq, dont la durabilité reste discutable car il est réalisé au détriment de cours d'eau naturel qui ont été court-circuités pour son alimentation. L'outil d'évaluation plus pertinent à notre connaissance pour réaliser ce travail serait l'Analyse de Cycle de Vie, qui permettrait d'associer à cette étude énergétique d'autres facteurs environnementaux, comme l'impact sur les cours d'eau. La délimitation du territoire restera néanmoins essentielle pour l'évaluation de l'impact environnemental.

Bibliographie

Abd El Lateef, E., J. Hall, P. Lawrence, et M. Negm. 2006. « Cairo-East Bank effluent re-use study 3 — Effect of field crop irrigation with secondary treated wastewater on biological and chemical properties of soil and groundwater ». *Biologia* 61 (19). doi:10.2478/s11756-006-0165-y.

Abdel-Dayem, S., F. Taha, R. Choukr-Allah, Claire A. Kfouri, C. C. Chung, et D. Al Saiid. 2011. « Water reuse in the arab world. From principle to practice. A summary of proceedings. Expert Consultation Wastewater Management in the Arab World. » En ligne sur: http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-reuse-wastewater-agriculture-1994.pdf.

Abric, J.-C. 1994. « Les représentations sociales : aspects théoriques ». In *Pratiques sociales et représentations*, par J.-C. Abric, PUF, 11‑36.

Adams, W.M. 2006. « Le futur de la durabilité : Repenser l'environnement et le développement au vingt et unième siècle. Union Internationale de Conservation de la Nature. » En ligne sur: http://cmsdata.iucn.org/downloads/iucn_future_of_sustanability_fr.pdf. Consulté le 2 avril 2017.

ADEME. 2015. « Un mix électrique 100% renouvelable ? Analyses et optimisations. » 166 p. En ligne sur: http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/rapport_final.pdf. Consulté le 5 octobre 2015.

AESN. 2009. « 10e Programme de mesures pour la période 2010-2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands. Volet consacré à l'Unité hydrographique "Ourcq". » 15 p.

———. 2016a. « A la Une - Le Bassin de la Seine ». En ligne sur: http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=1191. Consulté le 21 janvier 2016.

———. 2016b. « Agence de l'Eau Seine Normandie. Redevance pour prélèvement sur la ressource en eau. Consulté le 1/2/2016 ». http://www.eau-seine-normandie.fr/index.php?id=7866.

AESN, et DIREN. 2010. « Schéma Directeur d'Aménagement et de gestion des Eaux 2010- 2015 du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands pour un bon état des eaux en 2015. » Document établi par l'Agence de l'Eau Seine Normandie et l'ancienne Direction de l'Environnement du bassin Seine-Normandie.

Amdjar, M. 2016. « Valorisation des eaux de pluie et eaux de piscine dans Paris ». Mémoire de stage réalisé à Eau de Paris dans le cadre de la formation à l'Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris.

Amiantit. 2015. « Fiche descriptive d'une conduite en PRV Flowtite de diamètre 400 mm ». Données transmises par le fabricant en 2015.

APUR. 2010. « Etude sur le devenir du réseau d'eau non potable. Partie 1: Analyse et diagnostic ». 149 p. en ligne sur: http://www.apur.org/etude/etude-devenir-reseau-eau-non-potable-partie-1-analyse-diagnostic.

———. 2011. « Etude sur le devenir du réseau d'eau non potable. Partie 2: Rappel et nouvelles pistes de réflexions sur le devenir du réseau d'ENP ». 107 p. En ligne sur: http://www.apur.org/sites/default/files/documents/APBROAPU524_02.pdf.

———. 2013a. « L'eau dans les bois de Boulogne et de Vincennes. Valorisation de la ressource. Etude pour le compte de la Ville de Paris ». 72 p. En ligne sur: http://www.apur.org/sites/default/files/documents/eau_bois_boulogne_vincennes_ressources.pdf.

———. 2013b. « Du réseau d'eau non potable à l'optimisation de la ressource en eau. Partie 1: Cocktail d'eau et valorisation de la ressource. » 129 p. En ligne sur: http://www.apur.org/etude/reseau-eau-non-potable-optimisation-ressource-eau.

———. 2013c. « Du réseau d'eau non potable à l'optimisation de la ressource en eau. Partie 3 : Reconquête des usages de l'ENP ». 106 p. En ligne sur: http://www.apur.org/etude/reseau-eau-non-potable-optimisation-ressource-eau.

———. 2017. *Communications personnelles sur les réseaux hydrographiques des Bois de Boulogne et de Vincennes*.

ARS Bretagne. 2014. « Fonctionnement, hygiène et règles sanitaires relatives aux piscines ». En ligne sur: http://www.cotes-darmor.pref.gouv.fr/content/download/11289/74892/file/ARS%20R. Consulté le 3 mars 2014.

Atkinson, H., et W. Ros. 2013. « Education for Sustainable Development and Political Science: Making Change Happen ». *Policy & Practice: A Development Education Review* 17: 46‑69.

AWWA, éd. 2009. *Planning for the distribution of reclaimed water*. 3rd ed. AWWA manual M24. Denver, CO: American Water Works Association. ISBN: 978-1-58321-726-9.

Ayuntamiento de Madrid. 2006. « Ordenanza de Gestión y Uso Eficiente del Agua en la Ciudad de Madrid », juin. En ligne sur: http://www.madrid.es/UnidadWeb/UGNormativas/Normativa/2006/Ficheros/ANM200650.pdf. Consulté le 4 avril 2017.

———. 2013. « Site internet de la ville de Madrid ». En ligne sur: http://www.madrid.es/portal/site/munimadrid. Consulté par l'APUR dans le cadre de ses études.

Azevedo Xavier Thode, Beatriz de. 2014. « Valorisation des eaux d'exhaure à Paris. Projet de fin d'étude de Ecole de Mines ALES. Organisme d'accueil: LEESU ENPC Paris- Est Marne. Encadrants: Martin Seidl et Bruno Barroca ».

Barker, Z. A., A. S. Stillwell, et E. Z. Berglund. 2016. « Scenario Analysis of Energy and Water Trade-Offs in the Expansion of a Dual Water System ». *Journal of Water Resources Planning and Management* 142 (12): 05016012. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000714.

Beauchamps, J. 2006. « Qualité des eaux souterraines. Cours de l'université de Picardie Jules Verne ». En ligne sur: https://www.u-picardie.fr/beauchamp/cours.qge/du-8.htm. Consulté le 30 mars 2017.

Becerra-Castro, C., A. R. Lopes, I. Vaz-Moreira, E. F. Silva, C. M. Manaia, et O. C. Nunes. 2015. « Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health ». *Environment International* 75 (février): 117‑35. doi:10.1016/j.envint.2014.11.001.

Belgrand, E. 1882. *Les travaux souterrains de Paris. Première partie. Les eaux nouvelles*. Dunod. Paris. 422 p.

Benoît, M. 2013. « Nitrates ». In *Tout savoir sur l'eau du robinet*, édité par A. Euzen et Y. Levi, 142‑48. ISBN: 978-2-271-07873-5.

Besrest, S. 2011. « A vos marques, prêts, recyclez! » *Hydroplus*, n° n° 205 (septembre): 28‑34. En ligne sur:http://www.environnement‑magazine.fr/article/16042‑a‑vos‑marques‑prets‑recyclez/. Consulté le 30 mars 2017.

Bixio, D., C. Thoeye, J. De Koning, D. Joksimovic, D. Savic, T. Wintgens, et T. Melin. 2006. « Wastewater reuse in Europe ». *Desalination* 187 (1‑3): 89‑101. doi:10.1016/j.desal.2005.04.070.

Bixio, D., C. Thoeye, T. Wintgens, A. Ravazzini, V. Miska, M. Muston, H. Chikurel, A. Aharoni, D. Joksimovic, et T. Melin. 2008. « Water reclamation and reuse: implementation and management issues ». *Desalination* 218 (1‑3): 13‑23. doi:10.1016/j.desal.2006.10.039.

Bognon, S. 2009. « Les ressources alternatives à l'eau potable pour des usages urbains ». 92 p. Mémoire pour l'obtention du Master d'Urbanisme, spécialité Ville Durable.Université Paris 8-Vincennes Saint-Denis. Institut Français d'Urbanisme.

Boulanger, P.-M. 2004. « Les indicateurs de développement durable: un défi scientifique, un enjeu démocratique ». In *Les séminaires de l'Iddri*. Vol. 21/2004. IDDRI, Paris. En ligne sur: http://ide.consultant.free.fr/IMG/pdf/IDDRI_-_Indicateurs_DD_-_Juillet_2004.pdf.

Bourrier, R., et B. Selmi. 2010. *Techniques de la gestion et de la distribution de l'eau des ressources à la consommation écogérée*. Paris: Éd. le Moniteur.

Brandt, M., R. Middleton, G. Wheale, et F. Schulting. 2011. « Energy Efficiency in the Water Industry, a Global Research Project ». *Water Practice and Technology* 6 (2): wpt2011028. doi:10.2166/wpt.2011.028.

BRGM. 2012. « Le BRGM inaugure en Lorraine la première station de pompage et de traitement des eaux minières financée par l'Etat | BRGM ». novembre 30. En ligne sur: http://www.brgm.fr/publication-presse/brgm-inaugure-lorraine-premiere-station-pompage-traitement-eaux-minieres-financee. Consulté le 26 avril 2016.

Callon, M., P. Lascoumes, et Y. Barthe. 2001. « Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique. » Seuil, Paris. 357 p. ISBN: 2-02-040432-X.

Calvet, Raoul. 2003. *Le sol: propriétés et fonctions*. Paris: Éd. "France agricole. ISBN:978-2-85557-082-2; 978-2-85557-084-6.

Canal de Isabel II. 2017. « Canal de Isabel II Gestión. El ciclo integral del agua. » En ligne sur: http://www.canalciclointegraldelagua.es/captacion.html. Consulté le 4 avril 2017.

Canneva, G. 2009. « Réseaux d'eau non potable: enjeux et perspectives ». Document pédagogique préparatoire pour la conférence de consensus. 77 p.

Chang, N.-B., C. Qi, et Y. J. Yang. 2012. « Optimal Expansion of a Drinking Water Infrastructure System with Respect to Carbon Footprint, Cost-Effectiveness and Water Demand ». *Journal of Environmental Management* 110 (novembre): 194‑206. doi:10.1016/j.jenvman.2012.06.004.

Chatzis, Konstantinos. 1993. « La régulation des systèmes socio-techniques sur la longue durée : le cas du système d'assainissement urbain ». Thèse en Economies et Finances, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. En ligne sur: https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-00345049/.

Chocat, Bernard. 2015. « Est-il vrai que l'eau potable est fabriquée en recyclant des eaux usées ? » En ligne sur: https://www.graie.org/eaumelimelo/IMG/pdf/cycle_urbain_de_leau_def_cle8aeca4.pdf. Consulté le 31 janvier 2017.

CIE eau. 2017. « Les usage de l'eau: les usages domestiques ». En ligne sur: http://www.cieau.com/les-ressources-en-eau/en-france/les-usages-domestiques. Consulté le 3 avril 2017.

Cirelli, G.L., S. Consoli, F. Licciardello, R. Aiello, F. Giuffrida, et C. Leonardi. 2012. « Treated Municipal Wastewater Reuse in Vegetable Production ». *Agricultural Water Management* 104 (février): 163‑70. doi:10.1016/j.agwat.2011.12.011.

CMED. 1987. *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. En ligne sur: http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf.

Compagnie générale des eaux. 2002. « Recherche et exploration des opportunités de valorisation des eaux d'exhaure. » phase 2. Rapport confidentiel.

Comunidad de Madrid. 2016. « Actualidad - El agua regenerada de Canal Gestión llega ya hasta 24 municipios de la Comunidad ». août 20. En ligne sur: http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_Actualidad_FA&cid=1354606793904&language=es&pagename=ComunidadMadrid%2FEstructura. Consulté le 13 décembre 2016.

Crozier, M., et E. Friedberg. 1992. *L'acteur et le système*. Editions du Seuil. Points. Essais 248. 500p. ISBN: 978-2-02-018220-1.

Csergo, Julia. 1988. *Liberté, Egalité, propreté*. Albin Michel.

DDT Seine et Marne. 2013. « La Police de l'Eau en Seine-et-Marne ». juillet 17. http://www.seine-et-marne.gouv.fr/Politiques-publiques/Environnement-et-cadre-de-vie/Eau/Politique-de-l-eau-en-Seine-et-Marne/Organisation2/La-Police-de-l-Eau-en-Seine-et-Marne.

Degrémont. 2005. *Memento technique de l'eau. Tomes 1 et 2*. Rueil-Malmaison, France: Degrémont. ISBN: 978-2-7430-0717-1.

Deroubaix, J.-F., M. Seidl, et B. de Gouvello. 2015. « L'utilisation de ressources alternatives à l'eau potable révélatrice d'un nouveau rapport à l'eau en ville. Analyse des controverses autour de la conservation du réseau d'eau non potable. » En ligne sur: https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01214080.

Disneyland Paris, et Veolia Eau. 2010. *Disneyland Paris s'équipe de la première station de traitement des eaux usées dans un parc à thèmes en Europe*. En ligne: http://corporate.disneylandparis.fr/CORP/FR/Neutral/Images/fr-2010-09-30-station-traitement-eau.pdf. Consulté le 2 février 2017.

DRIEE. 2013. « Fiche de présentation du Service Police de l'Eau. Document téléchargeable sur le site Internet de la DRIEE-IF ». En ligne sur: http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/FICHE_POLICE_DE_LEAU_cle7f81cd.pdf. Consulté le 12 décembre 2014.

DRIEE IDF. 2017. « Continuité écologique. Définitions sur le site de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie de l'Ile-de-France ». mars 23. En ligne sur: http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/continuite-ecologique-r157.html. Consulté le 26 mars 2017.

Ducharne, A., F. Habets, P. Viennot, J. Boé, M. Bourqui, O. Crespi, M. Déqué, et al. 2009. « Le changement climatique menace-t-il les ressources en eau ? Le cas des bassins de la Seine et de la Somme ». Réseau de Recherche sur le Développement Soutenable. Eclairage sur notre futur commun (6). En ligne sur: https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00507505.

EDP. 2011. « Evolution de l'exploitation du réseau ENP et proposition d'investissement à 5 ans et 10 ans ». Document réalisé par la Direction de l'Ingénierie.

———. 2012. « Délibération 2012-184. Fixation des redevances applicables au prix de l'eau 2013- eau non potable. » Document interne.

———. 2013. « L'eau à Paris. Un service public ». Brochure institutionnelle. En ligne sur: http://www.eaudeparis.fr/uploads/tx_edpevents/Brochure_institutionnelle_FR_2013.pdf.

———. 2014a. « Bilan 2013. » Document interne réalisé par la Direction de la Distribution.

———. 2014b. « DEVE- Consommation d'Eau Non Potable 2013. » Intern document. Document interne réalisé par la Direction de l'Ingénierie et Patrimoine.

———. 2014c. « Synthèse des résultats d'analyses du réseau d'eau non potable. Campagne 2013. » Rapport interne réalisé par la Direction de la Recherche, du Développement et de la Qualité de l'Eau. 37 p.

———. 2014d. « Détermination des taux 2015 des redevances applicables au prix de l'eau. » Note interne rédigée par la Direction des Finances.

———. 2015a. « Bilan annuel de gestion de la régie en application du contrat d'objectifs. » Présenté en conseil d'administration 10 avril 2015. Délibération n° 2015 –021 de l'année 2014.

———. 2015b. « Délibération 2015-133. Révision et mise à jour des tarifs, redevances et barêmes de la régie Eau de Paris. » Document interne.

———. 2016a. « Branchement d'eau non potable. Guide pratique. » En ligne sur: http://www.eaudeparis.fr/uploads/tx_edpevents/Guide_branchement_eau_non_potable_2016.pdf.

———. 2016b. « Injection d'eaux d'exhaure- Parking Pyramides 75001 Paris. » Note réalisée par la Direction de l'Ingénierie et du Patrimoine.

———. 2016c. « Eaux d'exhaure et réseau d'eau non potable. Corrosivité et risques d'entartrage. » Note interne réalisée par la Direction de la Recherche et de la Qualité de l'Eau.

———. 2016d. « Plan climat énergie. résentation des engagements d'EDP pour le climat. »

———. 2016e. « Délibération 2016-114. Révision et mise à jour des tarifs, redevances et barêmes de la régie Eau de Paris. » Document interne.

Egis Eau. 2014. « Etude globale de la rivière Ourcq. Etude pour le compte du Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement et la Gestion de la Rivière Ourcq ». Etude réalisée pour le compte du Syndicat Intercommunal pour l'Aménagement et la Gestion de la Rivière Ourcq.

Elías-Maxil, J.A., J. P. van der Hoek, J. Hofman, et L. Rietveld. 2014. « Energy in the Urban Water Cycle: Actions to Reduce the Total Expenditure of Fossil Fuels with Emphasis on Heat Reclamation

from Urban Water ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (février): 808‑20. doi:10.1016/j.rser.2013.10.007.

Elkington, John. 1998. « Accounting for the Triple Bottom Line ». *Measuring Business Excellence* 2 (3): 18‑22. doi:10.1108/eb025539.

EPTB Seine Grands Lacs. 2017. « Les missions - EPTB Seine Grands Lacs ». En ligne sur: http://www.seinegrandslacs.fr/eptb-seine-grands-lacs/les-missions-de-l-eptb-seine-grands-lacs. Consulté le 14 février 2016.

Eriksson, E., K. Auffarth, M. Henze, et A. Ledin. 2002. « Characteristics of grey wastewater ». *Urban water* 4: 85–104.

EUR-LEX. 2000. *Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau*. En ligne sur: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32000L0060. Consulté le 8 mai 2017.

Evans, C.A., P.J. Coombes, et R.H. Dunstan. 2006. « Wind, Rain and Bacteria: The Effect of Weather on the Microbial Composition of Roof-Harvested Rainwater ». *Water Research* 40 (1): 37‑44. doi:10.1016/j.watres.2005.10.034.

Faby, J-A, et F. Brissaud. 1998. « L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation. » Documentation technique du Fonds National pour le Développement des Adductions d'Eau. Hors-série n°11.

Flanagan, K., P. Branchu, D. Ramier, et M.-C. Gromaire. 2017. « Evaluation of the Relative Roles of a Vegetative Filter Strip and a Biofiltration Swale in a Treatment Train for Road Runoff ». *Water Science and Technology*. Consulté le janvier 18. doi:10.2166/wst.2016.578.

Flygt. 2013. « Courbes de performance n° 53-640 de la pompe C3531/935 ». Données techniques fournies par le fabricant.

Gatta, G., A. Libutti, A. Gagliardi, L. Beneduce, L. Brusetti, L. Borruso, G. Disciglio, et E. Tarantino. 2015. « Treated Agro-Industrial Wastewater Irrigation of Tomato Crop: Effects on Qualitative/Quantitative Characteristics of Production and Microbiological Properties of the Soil ». *Agricultural Water Management* 149: 33‑43. doi:10.1016/j.agwat.2014.10.016.

Gazzaniga, J.-L., et J.-P. Ourliac. 1979. *Le droit de l'eau*. Paris: Librairies techniques. 548 p.ISBN:978-2-7111-0197-9.

Giddings, B., B. Hopwood, et G. O'Brien. 2002. « Environment, Economy and Society: Fitting Them Together into Sustainable Development ». *Sustainable Development* 10 (4): 187‑96. doi:10.1002/sd.199.

GIEC. 2011. *Sources d'énergie renouvelable et l'atténuation du changement climatique*. Genève: GIEC. 242 p. ISBN:978-92-9169-231-6. En ligne sur: https://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_fr.pdf.

———. 2013. *Changements climatiques 2013 les éléments scientifiques: résumé à l'intention des décideurs, résumé technique, et foire aux questions.* Geneva, Switzerland: Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Contribution du groupe de travail I. 222 p. en ligne sur: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_FRENCH.pdf.

GIP Seine-Aval. 2013. « Du bassin à la baie de Seine. » En ligne sur: http://seine-aval.crihan.fr/web/attached_file/componentId/kmelia218/attachmentId/32163/lang/fr/name/Bassin%20et%20baie%20de%20Seine.pdf. Consulté le 5 février 2016.

Gouvello, B. de, A. Gérolin, et N. Le Nouveau. 2012. « Panorama international de l'utilisation de l'eau de pluie. Volume 1: études de cas ».

Graber, F. 2009. *Paris a besoin d'eau: projet, dispute et délibération technique dans la France napoléonienne*. Paris: CNRS éditions. Histoire pour aujourd'hui.

Guérin-Schneider, L. 2001. « Introduire la mesure de performance dans la régulation des services d'eau et d'assainissement en France Instrumentation et organisation ». Thèse en gestion et management, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. 575 p. En ligne sur: https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00005754.

Habets, F., J. Boe, M. Déqué, A. Ducharne, S. Gascoin, A. Hachour, E. Martin, et al. 2011. *Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin versant de la Seine. Résultats du projet GICC-RExHySS*. Collection AESN/ GICC 13. Edition AESN/GICC.

Haney, Paul D., et Carl L. Hamann. 1965. « Dual Water Systems ». *Journal of American Water Works Association* 57 (9): 1073‑98.

Harding, R. 2006. « Ecologically sustainable development: origins, implementation and challenges ». *Desalination* 187 (1‑3): 229‑39. doi:10.1016/j.desal.2005.04.082.

Hausmann, G. E. Baron (1809-1891). 2000. *Mémoires du Baron Haussmann . Version intégrale précédée d'une introduction générale par Françoise Choay et d'une introduction technique par Bernard Landau et Vincent Sainte Marie Gauthier*. Paris: Seuil.

Hubert, G. 2001. « Aménagement et gestion locales des bassins hydrographiques. Procédures de planification et processus de décision ». 243p. Université François Tabelais de Tours. Habilitation à Diriger des Recherches en « Aménagement de l'espace et urbanisme ».

Hughes, T. P. 1986. « The Seamless Web: Technology, Science, Etcetera, Etcetera ». *Social Studies of Science* 16 (2): 281‑92.

Hydratec. 1997. « Diagnostic d'eau non potable de la Ville de Paris : dossier de synthèse. » 46p. Etude réalisée pour la Ville de Paris.

———. 2006. « Etude de faisabilité du rejet au milieu naturel des eaux d'exhaure. Rapports de phase 1. » 71 p. Etude pour le compte de la Ville de Paris.

———. 2014. « Etude relative à la restauration des fonctionnalités écologiques des affluents du canal de l'Ourcq: Clignon, Thérouanne, Beuvronne. Rapport de la phase 1. » Etude pour le compte de la Ville de Paris. 101p.

Hydratec, et Biotope. 2015. « Etude relative à la restauration des fonctionnalités écologiques des affluents du canal de l'Ourcq: Clignon, Thérouanne, Beuvronne. Rapport de la phase 2. » Etude pour le compte de la Ville de Paris. 101 p.

Hydrofrance. 2017. *Site en ligne de la Banque Hydro.* http://www.hydro.eaufrance.fr/.

IAU. 2003. *Base de données sur les modes d'occupation des sols de l'Instiut d'Aménagement et d'Urbanisme d'île de France*.

Inddigo. 2015a. « Audit énergétique. Usine de la Villette. Au sens de l'arrêté du 24 novembre 2014. » Etude réalisée pour le compte d'Eau de Paris.

———. 2015b. « Audit énergétique. Usine d'Austerlitz. Au sens de l'arrêté du 24 novembre 2014. » Etude réalisée pour le compte d'Eau de Paris.

———. 2015c. « Audit énergétique. Usine d'Auteuil. Au sens de l'arrêté du 24 novembre 2014. » Etude réalisée pour le compte d'Eau de Paris.

ISO. 1993. *International vocabulary of basic and general terms in metrology.* Genève. Suisse.

IUCN, UNEP, et WWF. 1980. « World conservation strategy. Living Resource Conservation for Sustainable Development. » 77p. En ligne sur: https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/wcs-004.pdf.

Jacquet-Lagrèze, E. 1981. « Systèmes de décision et acteurs multiples – Contribution à une théorie de l'action pour les sciences des organisations ». Thèse de doctorat d'Etat, Paris-Dauphine.

JCGM, et others. 2008. « Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. Joint Commitee for Guides in Metrologie, Working Group 1. First edition 2008, corrected version 2010 ». JCGM. En ligne sur: http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf.

Joksimovic, D., D.A. Savic, G.A. Walters, D. Bixio, K. Katsoufidou, et S.G. Yiantsios. 2008. « Development and validation of system design principles for water reuse systems ». *Desalination* 218 (1‑3): 142‑53. doi:10.1016/j.desal.2006.04.091.

Joly, P.-B. 2007. « L'expertise scientifique dans l'espace public ». *Réalités Industrielles*, mai, 23‑29.

JORF. 2015. *Arrêté du 27 juillet 2015 modifiant l'arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des*

eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement. Texte 4 sur 125.

Kang, D., et K. Lansey. 2012. « Dual Water Distribution Network Design under Triple-Bottom-Line Objectives ». *Journal of Water Resources Planning and Management* 138 (2): 162‑75. doi:10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000161.

Kinkade-Levario, H. 2007. « Design for Water. Rainwater harvesting, stormwater catchment and alternate water reuse ». New society publishers. 240 p. ISBN: 978-0-86571-580-6.

Kwaadsteniet, M. de, P. H. Dobrowsky, A. van Deventer, W. Khan, et T. E. Cloete. 2013. « Domestic Rainwater Harvesting: Microbial and Chemical Water Quality and Point-of-Use Treatment Systems ». *Water, Air, & Soil Pollution* 224 (7): 1629. doi:10.1007/s11270-013-1629-7.

Lafforgue, M., et V. Lenouvel. 2015. « Closing the Urban Water Loop: Lessons from Singapore and Windhoek ». *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* 1 (5): 622‑31. doi:10.1039/C5EW00056D.

Legavre, J.-B. 1996. « La «neutralité» dans l'entretien de recherche. Retour personnel sur une évidence ». *Politix* 9 (35): 207‑25. doi:10.3406/polix.1996.1965.

Legifrance. 1984. *Loi n°84-512 du 29 juin 1984 relative à la pêche en eau douce et à la gestion des ressources piscicoles. 84-512*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000692732.

———. 2006. *Article D1332-2 du Code de la santé publique*. *Code de la santé publique*. Vol. D1332-2. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072665&idArticle=LEGIARTI000006909908&dateTexte=&categorieLien=cid. Consulté le 29 mars 2017.

———. 2007a. *Article R1331-2 du Code de la Santé publique*. *Code de la santé publique*. Vol. R1331-2. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006909904&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20100401. Consulté le 9 mai 2017.

———. 2007b. *Article R1321-1 du Code de la santé publique*. *Code de la santé publique*. Vol. R1321-1. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072665&idArticle=LEGIARTI000006909454&dateTexte=&categorieLien=cid. Consulté le 3 avril 2017.

———. 2007c. *Article R214-109 du Code de l'environnement*. *Code de l'environnement*. Vol. R214-109. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006074220&idArticle=LEGIARTI000017832658. Consulté le 26 mars 2017.

———. 2008a. *Arrêté du 21 août 2008 relatif à la récupération des eaux de pluie et à leur usage à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000019386409. Consulté le 29 mars 2017.

———. 2008b. *Article D1332-1 du Code de la santé publique*. *Code de la santé publique*. Vol. D1332-1. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072665&idArticle=LEGIARTI000006909905&dateTexte=&categorieLien=cid. Consulté le 29 mars 2017.

———. 2009. *Arrêté du 23 novembre 1979 portant règlement sanitaire du département de Paris.* En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006070308&idArticle=LEGIARTI000006363876&dateTexte=20120223. Consulté le 30 mars 2017.

———. 2010a. *Arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022753522. Consulté le 9 mai 2017.

———. 2010b. *Arrêté du 21 janvier 2010 modifiant l'arrêté du 11 janvier 2007 relatif au programme de prélèvements et d'analyses du contrôle sanitaire pour les eaux fournies par un réseau de*

distribution, pris en application des articles R. 1321-10, R. 1321-15 et R. 1321-16 du code de la santé publique. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021923970&categorieLien=id.

———. 2010c. *Arrêté du 25 janvier 2010 relatif aux méthodes et critères d'évaluation de l'état écologique, de l'état chimique et du potentiel écologique des eaux de surface pris en application des articles R. 212-10, R. 212-11 et R. 212-18 du code de l'environnement.* En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000021865356. Consulté le 23 février 2017.

———. 2010d. *Loi n° 2006-1772 du 30 décembre 2006 sur l'eau et les milieux aquatiques*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000649171. Consulté le 22 mars 2017.

———. 2011a. *Article L4316-4 du Code des transports*. *Code des transports*. Vol. L4316-4. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000023086525&idArticle=LEGIARTI000025075981. Consulté le 18 janvier 2017.

———. 2011b. *Circulaire du 5 juillet 2011 relative à l'application de l'article L. 214-18 du code de l'environnement sur les débits réservés à maintenir en cours d'eau*. En ligne sur: http://circulaire.legifrance.gouv.fr/pdf/2011/07/cir_33531.pdf. Consulté le 8 mai 2017.

———. 2014a. *Arrêté du 25 juin 2014 modifiant l'arrêté du 2 août 2010 relatif à l'utilisation d'eaux issues du traitement d'épuration des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation de cultures ou d'espaces verts*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000029186641&categorieLien=id. Consulté le 19 janvier 2017.

———. 2014b. *Loi du 16 octobre 1919 relative à l'utilisation de l'énergie hydraulique*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000498687&dateTexte=20100713. consulté le 8 mai 2017.

———. 2015. *Arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000465574. Consulté le 19 mars 2017.

———. 2017a. *Arrêté du 7 avril 1981 relatif aux dispositions techniques applicables aux piscines*. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000673968. Consulté le 29 mars 2017.

———. 2017b. *Article R214-5 du Code de l'environnement*. *Code de l'environnement*. Vol. R214-5. En ligne sur: https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?idArticle=LEGIARTI000006835466&cidTexte=LEGITEXT000006074220. Consulté le 3 avril 2017.

Lencastre, Armando. 1995. *Hydraulique générale*. Paris: Eyrolles. 633p. ISBN: 978-2-212-01894-3.

Loiseau, E., G. Junqua, p. Roux, et V. Bellon-Maurel. 2012. « Environmental assessment of a territory: An overview of existing tools and methods ». *Journal of Environmental Management* 112 (décembre): 213‑25. doi:10.1016/j.jenvman.2012.07.024.

Lundie, S., G. M. Peters, et P. C. Beavis. 2004. « Life Cycle Assessment for Sustainable Metropolitan Water Systems Planning ». *Environmental Science & Technology* 38 (13): 3465‑73. doi:10.1021/es034206m.

Lundin, M., M. Bengtsson, et S. Molander. 2000. « Life Cycle Assessment of Wastewater Systems: Influence of System Boundaries and Scale on Calculated Environmental Loads ». *Environmental Science & Technology* 34 (1): 180‑86. doi:10.1021/es990003f.

Luneau, S. 2014. « Eaux traitées: les contraintes sanitaires freinent toujours leur recyclage ». *Techni.Cités*, n° 276 (octobre).

Maas, E. V. 1984. « Salt tolerance of plants ». In *Handbook of Plant Science in Agriculture*. Vol. 11. CRC Press.

Maas, E.V., et G.J. Hoffman. 1977. « Crop salt tolerance - current assessment ». *Journal of the irrigation and Drainage Division. American Society of Civil Engineers for publication* 103: 115‑34.

MAEDI. 2017. « Carte de Singapour. » Site du Ministère des Affaires étrangères et du Développement international. En ligne sur: http://www.diplomatie.gouv.fr/fr/dossiers-pays/singapour/. Consulté le 6 avril 2017.

Marsalek, J., B. J. Cisneros, M. Karamouz, P.-A. Malmquist, J. A. Goldenfum, et B. Chocat. 2008. *Urban Water Cycle Processes and Interactions: Urban Water Series-UNESCO-IHP*. Vol. 2. CRC Press. En ligne sur: https://hydrologie.org/BIB/Publ_UNESCO/TD_078_2006.pdf. Consulté le 30 janvier 2017.

Martinson, B., et T. Thomas. 2009. « Quantifying the first-flush phenomenon: effects of first-flush on water yield and quality ». In *14th International Rainwater Catchment Systems Conference*.

Mattio, F. 2016. « Quelle gouvernance pour le réseau d'eau non potable à Paris? L'étude des positions des acteurs face à la diversification des ressources d'eau non potable. » Mémoire de stage réalisé au LEESU de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, dans le cadre du Master « Techniques, Sciences, Décisions » à Sciences Po Grenoble. 105p.

MEEM. 2016. « L'eau paie l'eau ». Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer. En ligne sur: http://www.developpement-durable.gouv.fr/L-eau-paie-l-eau.html. Consulté le 14 février 2016.

Meera, V., et M. M. Ahammed. 2006. « Water quality of rooftop rainwater harvesting systems: a review ». *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA* 55 (4): 257–268.

Merad, M. 2010. *Aide à la décision et expertise en gestion des risques*. Paris: Tec & Doc Lavoisier. 268p. ISBN: 978-2-7430-1265-6.

Merlin. 1986. « Mémoire 9, l'eau non potable. » Etude réalisée pour la Ville de Paris. 55p.

MEVA. 2012. « Mesures et incertitudes. Ressources pour le cycle terminal général et technologique. . » Document destinés aux enseignants de sciences physiques et de mathématiques pour les lycées. En ligne sur: http://national.udppc.asso.fr/attachments/article/537/_ressources_MathPC_Mesure_et_incertitudes_eduscol_214070.pdf. Consulté le 7 mai 2017.

MNCA. 2013. « Rapport d'activité 2013. » Rapport sur le prix et la qualité du service public rédigé par la régie Métropole Nice Côte d'Azur. 96p. En ligne sur: http://www.nicecotedazur.org/uploads/media_items/rapport-activite-2013.original.pdf.

———. 2017. *Communications personnelles avec Métropole Nice Côte d'Azur*.

Möhle, K.-A. 1980. « Theorie und Praxis Doppelter Wasseversorgungsnetze ». *Wasser und Boden* 32 (10): 442‑51.

Moine, A. 2006. *Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie*. Vol. Tome 35. Belin. 978-2-7011-4324-8. En ligne sur: http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=EG_352_0115.

Montginoul, M. 2006. « Les eaux alternatives à l'eau du réseau d'eau potable pour les ménages: un état des lieux ». *Ingénierie*, n° 45 (mars): 49‑62.

Moulin, E. 2015. « Analyse des formes d'adaptation au risque dans la construction en zones inondables en région parisienne : ce pour quoi l'on décide de donner des gages et ce que l'on choisit d'ignorer ». Thèse en aménagement de l'espace et urbanisme, Paris Est. 443p. En ligne sur: http://www.theses.fr/2015PESC1085.

MTES. 2012. « Abandons de captages utilisés pour la production d'eau destinée à la consommation humaine. Bilan Février 2012. » Document réalisé par le Ministère du Travail et de la Santé. En ligne sur: http://social-sante.gouv.fr/IMG/pdf/bil0212.pdf.

Musy, A., et C. Higy. 2004. *Hydrologie: Une science de la nature*. PPUR presses polytechniques. 328p. ISBN: 978-2-88074-546-2.

Nezeys, A. 2013. « Un zonage pluvial pour Paris: Réintégrer les eaux pluviales dans le grand cycle de l'eau ». *NOVATECH 2013*. En ligne sur: http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/51293.

Nogueira Vilanova, M. R., et J. A. Perrella Balestieri. 2014. « Energy and Hydraulic Efficiency in Conventional Water Supply Systems ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30 (février): 701‑14. doi:10.1016/j.rser.2013.11.024.

North, D. C. 1993. « Five propositions about institutional change ». *Economics Working Paper Archive at WUSTL*. http://ecsocman.hse.ru/data/874/750/1216/9309001.pdf.

OIEau. 2009. « Organisation de la gestion de l'eau à Paris. » 36p.

Okun, D. A. 1996. « Water reclamation and nonpotable reuse: an option for meeting urban water supply needs ». *Desalination* 106 (1): 205–212.

———. 1997. « Distributing reclaimed water through dual systems ». *American Water Works Association. Journal* 89 (11): 52.

———. 2007. « Improving quality and conserving resources using dual water systems ». *Water 21 February 2007* Issue 9.1: 47‑49.

OMS, éd. 2006. *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume II: Wastewater Use in Agriculture*. 3. ed. Geneva: World Health Organization. 222p. ISBN: 978-92-4-154686-7. En ligne sur: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/gsuweg2/en/. Consulté le 23 février 2017.

ONEMA. 2016. « Le cycle de l'eau ». En ligne sur: http://www.onema.fr/sites/default/files/png/PNG%202011/3_fiche_cycle_de_l_eau_web.pdf. Consulté le 2 février 2017.

ONU. 1958. « Water for industrial use ». New York. Rapport n° E13058ST/ECA/50. Conseil économique et social. New York.

———. 2005. « Résolution adoptée par l'Assemblée Générale de l'ONU ». http://daccess-ods.un.org/access.nsf/Get?OpenAgent&DS=A/RES/60/1&Lang=E.

Perraud, A. 2005. « La récupération des eaux pluviales en milieu urbain. » Synthèse technique. ENGREF Montpellier-SAFEGE. 21p. En ligne sur: https://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/perraud.pdf.

PONT-A-MOUSSON S.A. 1989. *Formulaire. Troisième édition*. Lavoisier. 280p.

Prolog Ingenierie. 2009. « Expertise du diagnostic du réseau d'eau non potable décrit dans le schéma directeur de l'eau 2010-2015. » Etude réalisée pour la Ville de Paris. 59p.

PwC. 2009. « Bilan environnemental du système d'alimentation en eau non potable de Paris. » Etude réalisée pour la Ville de Paris. 84p.

Qi, C., et N.-B. Chang. 2013. « Integrated carbon footprint and cost evaluation of a drinking water infrastructure system for screening expansion alternatives ». *Journal of Cleaner Production*, Special Volume: Water, Women, Waste, Wisdom and Wealth, 60 (décembre): 170‑81. doi:10.1016/j.jclepro.2012.10.032.

Quantis. 2009. « Analyse du cycle de vie comparative des réseaux d'eau potable (EP) et d'eau non-potable (ENP) selon 2 scénarios. » Etude pour le compte d'Eau de Paris.

Racoviceanu, A. I., B. W. Karney, C. A. Kennedy, et A. F. Colombo. 2007. « Life-cycle energy use and greenhouse gas emissions inventory for water treatment systems ». *Journal of Infrastructure Systems* 13 (4): 261–270.

Reißmann, F. G., E. Schulze, et V. Albrecht. 2005. « Application of a Combined UF/RO System for the Reuse of Filter Backwash Water from Treated Swimming Pool Water ». *Desalination* 178 (1‑3): 41‑49. doi:10.1016/j.desal.2004.11.027.

Roberge, P. R. 2007. « Appendix B ». In *Corrosion Inspection and Monitoring*, 373‑76. John Wiley & Sons, Inc. doi:10.1002/9780470099766.app2.

Rodier, J., B. Legube, et N. Merlet. 2009. *L'analyse de l'eau*. Paris: Dunod.

Rossmann, L. A. 2000. « EPANET 2. Users Manual. United States Environmental Protection Agency. »

Roy, B. 1985. *Méthodologie multicritère d'aide à la décision*. Economica.

SAFEGE. 2008. « Schéma directeur “eau 2010-2025”. ’Etude prospective sur l’évolution des moyens de production et de distribution de l’eau à Paris ». Etude réalisée pour le compte de la Ville de Paris.

Sage, J. 2016. « Concevoir et optimiser la gestion hydrologique du ruissellement pour une maîtrise à la source de la contamination des eaux pluviales urbaines ». Thèse en Sciences et Techniques de l’Environnement, Champs sur Marne: Université Paris-Est. 370p.

SAGEP. 2004. « Rapport d’étude sur la destination et la mesure des volumes d’ENP librés aux services municipaux à Paris ».

Salgot, M., G. K. Priestley, et M. Folch. 2012. « Golf Course Irrigation with Reclaimed Water in the Mediterranean: A Risk Management Matter ». *Water* 4 (4): 389‑429. doi:10.3390/w4020389.

Seidl, M., G. Da, P. Ausset, S. Haenn, E. Géhin, et L. Moulin. 2016. « Evaluating Exposure of Pedestrians to Airborne Contaminants Associated with Non-Potable Water Use for Pavement Cleaning ». *Environmental Science and Pollution Research* 23 (7): 6091‑6101. doi:10.1007/s11356-015-5062-x.

Seidl, M., L. Moulin, C. Trinh, B. Barroca, et G. Hubert. 2016. « Seepage water. A new resource? Présentation dans le cadre du 49e congrès “International Association of Hydrogeologists”. » 25-29 septembre 2016.

SEPIA. 2016. « Etude sur l’utilisation des eaux pluviales. Comptes-rendus de visite et d’entretien des sites: Saint Christopher’s Inn-Belushi’s, le Jardin Serge Gainsbourg, l’Hôtel Saint Dominique, et les Jardins Rosa-Luxembourg ». Etude réalisée pour le compte de la Ville de Paris.

Sfez, L. 1988. *La décision*. PUF. Que sais-je? 128p. ISBN-10: 2130543138.

SIAAP. 2014a. « Règlement d’assainissement du SIAAP. » Adopté par le Conseil d’Administration du 15 octobre 2014.

———. 2014b. « Le SIAAP, référence publique pour l’assainissement francilien. » Dépliant institutionnel en ligne sur le site du SIAAP. En ligne sur: www.siaap.fr/fileadmin/user_upload/.../Maq_4VInstit_SIAAP_DEF.pdf.

SIAAP, et Eau de Paris. 2013. « Convention entre Eau de Paris et le SIAAP. Recouvrement de la redevance interdépartementale d’assainissement sur le territoire desservi par Eau de Paris-Part transport et épuration ».

Simon, H. A. 1959. « Theories of Decision-Making in Economics and Behavioral Science ». *The American Economic Review* 49 (3): 253‑83.

———. 1983. *Administration et processus de décision*. Paris: Economica.

Sinaï, A. 2013. *L’eau à Paris retour vers le public*. 118p. ISBN:978-2-95306663-4-0. En ligne sur: http://www.eaudeparis.fr/uploads/tx_edpevents/LivreRemunicipalisation_01.pdf.

Souriau, J. 2014. « Stratégies durables pour un service public d’eau à Paris. Analyser et gérer les politiques d’hier, d’aujourd’hui et de demain. » Thèse en science politique, Paris: AgroParis Tech. 461p. En ligne sur : https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01150236v2.

Soyer, M. 2014. « Solidité de l’expertise, prudence de l’innovation : chercheurs et praticiens dans les observatoires d’hydrologie urbaine ». Thèse en aménagement de l’espace et urbanisme, Paris Est. 569p. http://www.theses.fr/2014PEST1048.

Sposito, G., et S. V. Mattigod. 1977. « On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio ». *Soil Science Society of America Journal* 41 (2): 323–329.

Stokes, J., et A. Horvath. 2006. « Life Cycle Energy Assessment of Alternative Water Supply Systems (9 Pp) ». *The International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (5): 335‑43. doi:10.1065/lca2005.06.214.

SVGW. 2017. « Rétrospectives sur les consommations en eau potable en Suisse ». Site du Schweizerische Verein des Gas- und Wasserfaches. En ligne sur: http://www.svgw.ch/fileadmin/resources/svgw/web/Wasser-Eau/graph04_EntwicklungWasserabgabe1970_2014_DE.jpg. Consulté le 3 avril 2017.

Tang, S.L. 2000. « Dual water supply in Hong Kong ». In . Dhaka, Bangladesh.

Tang, S.L., D. P. Yue, et D. C. Ku. 2007. *Engineering and Costs of Dual Water Supply Systems*. International Water Association Publishing. 100p. ISBNs: 1843391325/9781843391326.

Tao, T., et K. Xin. 2014. « A sustainable plan for China's drinking water ». *Nature* 511 (7511): 527.

Tong, L., X. Liu, X. Liu, Z. Yuan, et Q. Zhang. 2013. « Life Cycle Assessment of Water Reuse Systems in an Industrial Park ». *Journal of Environmental Management* 129 (novembre): 471‑78. doi:10.1016/j.jenvman.2013.08.018.

UNESCO. 2014. « Le développement durable. » Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. En ligne sur: http://www.unesco.org/new/fr/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/. consulté le 16 avril 2014.

Van Der Steen, J. 2016. « Valorisation des eaux d'exhaure de Paris ». Rapport de Master 2 Systèmes aquatiques et gestion de l'eau. Champs sur Marne: Ecole des Ponts et Chaussées.

VDM. 2004. « Fiche n°50: Consommation d'eau potable par la collectivité. Document réalisé par l'Observatoire de l'Environnement de la Ville de Montreuil. » Site de la Ville de Montreuil. http://www.montreuil.fr/fileadmin/user_upload/Files/Environnement/etat_lieux_env/obsenv/fiche50.pdf. Consulté le 21 avril 2017.

VDP. 2007. « Les canaux de Paris. Un réseau fluvial à découvrir. » Brochure en ligne sur le site de la Ville de Paris. En ligne sur: http://www.paris.fr/services-et-infos-pratiques/environnement-et-espaces-verts/nature-et-espaces-verts/les-canaux-90. Consulté le 18 mai 2017.

———. 2009a. « Quel avenir pour le réseau d'eau non potable de Paris? » Actes de la conférence de consensus des 3 et 4 décembre 2009? Mairie de Paris, Direction de la Propreté et de l'Eau. En ligne sur: www.paris.fr/viewmultimediadocument?multimediadocument-id=94118. Consulté le 4 février 2016.

———. 2009b. « Utilisation de l'eau non potable par le STPP. » octobre 19. Document interne du Service Technique de la Propreté de Paris, de la Direction de la Propreté et de l'Eau.

———. 2011. « Les canaux en partage: guide à l'usage des collectivités sur les prélèvements et les rejets d'eau dans les canaux. » En ligne sur: http://www.observatoireparisiendeleau.fr/fichiers/89/get_file?sid=fichier.

———. 2012a. « Contrat d'objectifs du service public de l'eau de Paris. » Document révisé par délibération du conseil de Paris de mars 2012 et du conseil d'administration de la régie Eau de Paris d'avril 2012. En ligne sur: http://www.eaudeparis.fr/fileadmin/contribution/culture/mediatheque/publications/Contrat_dobjectifsEDP_Ville.pdf.

———. 2012b. « Délibération 2012 DPE 02: Maintien du réseau d'eau non potable et perspectives de développement de ses usages et de son extension géographique. » Extrait du registre des délibérations. Séances des 19 et 20 mars 2012.

———. 2012c. « Le Livre Bleu ». Adopté lors du conseil de Paris le 19 mars 2012. 66 p.

———. 2012d. « Rapport annuel sur le prix et la qualité des services publics d'eau potable et d'assainissement ».

———. 2013. « Règlement d'assainissement de paris. » Edition de 2013. En ligne sur: https://api-site-cdn.paris.fr/images/70548.

———. 2014. « Les canaux parisiens, trame bleue en milieu urbain dense. » mai 22.

———. 2015a. « Contrat d'objectifs du service public de l'eau de Paris. » Document voté par délibération du conseil de Paris de février 2015 et du conseil d'administration de la régie Eau de Paris de février 2015. En ligne sur: http://www.eaudeparis.fr/uploads/tx_edpevents/Contrat_d-objectifs_EdP-VdP_18_01_2016.pdf.

———. 2015b. « Schéma directeur des usages et du réseau d'eau non potable de Paris. 2015-2020 ». Approuvé en octobre 2015.

———. 2016a. « Réservoirs de chasse. » Présentation en mai 2016 de la Section de l'assainissement de Paris, du Service technique de l'eau et de l'assainissement, de la Direction de la Propreté et de l'Eau.

———. 2016b. « Lac Daumesnil: baignade autorisée en 2019 ». décembre. Site de la Ville de Paris. Sur: http://www.paris.fr/actualites/lac-daumesnil-baignade-autorisee-en-2019-4027.

———. 2017. *Communications personnelles avec le laboratoire d'agronomie de la Direction des Espaces Verts et de l'Environnement sur la Méthode d'Irrigation Raisonnée.*

Vialle, C. 2011. « Etude du comportement hydraulique, physico-chimique et microbiologique d'un système de récupération d'eaux de toiture. Evaluation de l'empreinte environnementale ». Thèse en Sciences des Agroressources., Université de Toulouse. 350p. En ligne sur: http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001664/01/vialle.pdf.

VNF. 2014a. « Report de la taxe hydraulique sur la facture d'eau. » En ligne sur: http://www.vnf.fr/vnf/img/cms/Transport_fluvialhidden/taxe_hydraulique_et_facture_20140625083830.pdf. Consulté le 1er février 2016.

———. 2014b. « Relever les défis du fluvial. » Plaquette institutionnelle en ligne sur: http://www.vnf.fr/vnf/img/cms/Transport_fluvialhidden/plaquette_institutionnelle_2014_20150213150713.pdf. consulté le 24/1/2016.

Wazzani, M. 2015. « Injection des eaux d'exhaure dans le réseau d'eau non potable ». Rapport de stage Master 2 dans le cadre du Master Geoenvironnement à l'Université Paris-Est Marne. Stage réalisé à l'Ecole des Ponts. 63p.

Weber, E. 1998. « Alimentation en eau potable. » Notions de calcul de réseaux en charge. Extraits du cours d'Hydraulique donné par M.Baudet à l'INFOMA Nancy.

Wilcox, L. V. 1948. « The Quality of Water for Irrigation Use. United States Department of Agriculture Washington D.C. » *Technical Bulletin*, n° 962 (septembre). https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT86200954/PDF.

Willis, R, R Stewart, et S Emmonds. 2010. « Pimpama-Coomera dual reticulation end use study: pre-commission baseline, context and post-commission end use prediction ». *IWA Water, Science and Technology: Water Supply* 10 (3): 302‑14.

WRF. 2013. « Dual Water Systems: Characterization and Performance for Distribution of Reclaimed Water ». En ligne sur: http://www.waterrf.org/PublicReportLibrary/4333.pdf. Consulté le 11 février 2017.

WSAA. 2002. « Dual Water Supply Systems ». WSA 03-2002. First Edition. Melbourne Retail Water Agencies Edition of the Water Supply Code of Australia.

Wyczarska-Kokot, J. 2016. « The Study of Possibilities for Reuse of Washings from Swimming Pool Circulation Systems ». *Ecological Chemistry and Engineering S* 23 (3). doi:10.1515/eces-2016-0032.

Xylem. 2013. « Descriptif technique de la pompe CP3351/905. » Données fournies par le fabricant.

Annexes

Annexe 1 : Doubles réseaux étudiés sous le prisme de la durabilité

Dans son document pédagogique préparatoire pour la conférence de consensus, Canneva (2009) réalise un tableau que nous avons discuté dans la thèse (*cf*. paragraphe 2.4.2.4) que nous présentons ci-après.

Tableau 81 : Synthèse des dimensions de la durabilité pour les systèmes d'approvisionnement en eau urbains. Canneva (2009)

Dimension	Système d'alimentation en eau	Réseau double spécifiquement
Environnement et Santé publique	L'eau distribuée ne nuit-elle pas à la santé publique ? (conforme aux normes pour une eau potable) La ressource mobilisée est-elle menacée ? La production d'eau ne met-elle pas en danger l'environnement (prélèvement excessif) ?	L'utilisation de deux ressources différentes permet-elle de moins solliciter une ressource fragile ? Le traitement d'une partie seulement de l'eau pour un usage exigeant permet-il de diminuer l'impact environnemental du traitement ?
Economie	Le renouvellement du patrimoine est-il correctement provisionné ? Les recettes du service permettentelles l'entretien du patrimoine ?	Le surcoût du patrimoine (double réseau) est-il correctement provisionné ? Le traitement d'une partie seulement de l'eau pour un usage exigeant permet-il de diminuer les coûts ?
Social	Le tarif permettant une durabilité environnementale et économique est-il supportable par l'ensemble de la population ? y-compris par les usagers les moins aisés ?	S'il y a surcoût lié au double réseau, par qui est-il supporté ? N'engendre -t- il pas un coût plus élevé pour les usagers les moins aisés ?

Annexe 2 : Sites d'eaux d'exhaure cartographiés

Cet annexe présente les sites d'eaux d'exhaure cartographiés sur la Figure 41 de la Thèse. Les sites ont été anonymisés à la demande de la VDP. Pour chaque site, ce Tableau indique les adresses, et les volumes annuels moyens sur les années 2012, 2013 et 2014.

Site	Adresse	Volume (m^3/an
E1	rue Jean Maridor	739 561
E2	rue Meyerbeer	640 842
E3	rue Hautefeuille	333 239
E4	place de la Porte Maillot	323 967
E5	boulevard Saint Martin	322 288
E6	avenue de Porte de Clichy	274 523
E7	rue Broca	248 269
E8	place de la porte maillot	219 642
E9	rue du cirque	205 846
E10	rue Boudreau	195 941
E11	rue de Vaugirard	188 294
E12	place Henry Fresnay	186 191
E13	boulevard voltaire	149 135
E14	rue beaubourg	147 323
E15	rue de Grenelle	144 580
E16	rue Saint Just	140 592
E17	rue abel gance	134 763
E18	avenue Felix Faure	126 824
E19	rue saint charles	122 169
E20	rue Beaubourg	116 878

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E21	boulevard de Picpus	111 991
E21	boulevard de Picpus	111 991
E22	rue Leopold Bellan	111 083
E23	boulevard poissonnière	105 918
E24	rue saint martin	105 852
E25	place Balard	100 114
E26	Rue de Viarmes	99 771
E27	rue Pierre Lescot	94 345
E28	rue du sentier	92 654
E29	rue hector malot	90 627
E30	rue desaix	87 600
E31	rue Monge	84 097
E32	boulevard haussmann	82 730
E33	boulevard Raspail	78 887
E34	rue de Sèvres	78 372
E35	place des Invalide	76 384
E36	rue lagrange	76 350
E37	rue de Lyon	73 464
E38	rue de bearn	72 765
E39	rue de Bercy	71 321
E40	rue de l'université	70 879

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E41	avenue Ledru Rollin	70 704
E42	boulevard Haussmann	69 882
E43	rue de Provence	68 279
E44	rue de Rivoli	65 868
E45	place Auguste Baron	63 718
E46	rue des pyramides	63 370
E47	avenue Victoria	62 515
E48	rue Montalembert	61 265
E49	avenue du Général Lemonier	60 319
E50	rue Saint-Lazare	59 696
E51	avenue Gabriel	55 376
E52	avenue de la Motte Picquet	54 011
E53	rue Saint Martin	52 839
E54	quai Francois Mauriac	52 756
E55	rue Réaumur	50 483
E56	rue de Prony	47 847
E57	rue de Rome	46 266
E58	rue de Reuilly	45 764
E59	rue du Temple	44 590
E60	Place Moreau David	43 935

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E61	Place de la Bourse	43 081
E62	rue du Cirque	41 376
E63	rue des Haudriettes	40 095
E64	rue Caumartin	40 000
E65		39 767
E66	rue de Sèvres	38 643
E67	rue des Saints pères	38 349
E68	place du Marché Saint Honoré	38 260
E69	place de la Madeleine	36 123
E70	rue du Rivoli	35 189
E71	voie Mazas	34 113
E72	quai de la Rapée	32 856
E73	rue des Patriarches	31 482
E74	rue de Lutèce	31 377
E75	rue Monge	30 927
E76	Avenue Matignon	29 570
E77	rue Baron le Roy	29 407
E78	rue de l'Amiral de Coligny	29 109
E79	rue Tronchet	28 739
E80	boulevard de la Somme	26 909

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E81	98 rue de provence	26 768
E82	2/4 rue traversière	25 450
E83	Cour de l'arrivée	24 511
E84	rue de passy	23 681
E85	149 rue saint denis	23 652
E86	39 boulevard victor	23 296
E87	boulevard des invalides	21 074
E88	rue Emile Durkheim	19 895
E89	rue des Grands Moulins	19 773
E90	boulevard Saint Michel	19 469
E91	rue de Grenelle	18 903
E92	place de la Concorde	18 108
E93	rue de l'université	17 292
E94	rue des Anglais	16 694
E95	rue des Mathurins	16 167
E96	3 rue des Mathurins	16 146
E97	rue Hautefeuille	15 816
E98	rue du Four	15 437
E99	avenue de Suffren	15 371
E100	rue Linné	14 568

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E101	boulevard Murat	13 485
E102	Place Vendôme	13 092
E103	boulevard Saint-Denis	13 021
E104	boulevard Sébastopol	12 773
E105	rue Réaumur	11 165
E106	rue Reaumur	11 151
E107	avenue du Général Sarrail	10 184
E108	rue de la Croix Nivert	10 000
E109	avenue Gabriel	9 712
E110	quai Panhard et Levassor	8 739
E111	boulevard Haussmann	8 557
E112	rue de Vaugirard	8 347
E113	rue de Grenelle	8 332
E114	rue Fondary	7 668
E115	boulevard Diderot	7 636
E116	quai de la Gare	7 080
E117	boulevard Morland	6 892
E118	rue de Bercy	6 240
E119	avenue de la Porte de Sèvres	5 991
E120	rue Belgrand	5 836

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E121	quai de l'Hôtel de Ville	5 829
E122	boulevard Vincent Auriol	5 673
E123	rue de la Coutellerie	5 590
E124	boulevard de Bercy	5 565
E125	rue Paul Belmondo	5 410
E126	Cour Albert 1er	5 389
E127	avenue Daumesnil	5 167
E128	boulevard des Invalides	4 987
E129	rue de Lourmel	4 653
E130	rue de la Fédération	4 604
E131	rue des Ursins	4 274
E132	place de l'hôtel de ville	4 263
E133	avenue de la Porte de Sèvres	3 859
E134	rue Pernelle	2 864
E135	rue Aubert	2 763
E136	Quai des Célestins	2 656
E137	avenue de la Porte de la Chapelle	2 561
E138	rue Molitor	2 395
E139	rue de Lourmel	2 308
E140	rue de Lyon	2 247

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E141	boulevard Saint-Germain	2 112
E142	rue de Pommard	1 933
E143	place de l'Opéra	1 596
E144	quai Louis Blériot	1 557
E145	rue du Faubourg Saint-Antoine	1 542
E146	rue Casimir Perier	1 526
E147	rue Julia Bartet	1 485
E148	avenue Jean Jaurès	1 441
E149	quai Louis Bleriot	1 267
E150	rue de Rivoli	1 099
E151	rue Lafayette	864
E152	rue Velpeau	851
E153	rue de la Boétie	842
E154	place du Maréchal Juin	745
E155	rue de Palestro	739
E156	rue d'Avron	720
E157	rue Dupleix	457
E158	boulevard Montmartre	338
E159	quai de Bercy	235
E160	rue Oberkampf	235

Code	Adresse	Volume (m^3/an)
E161	rue du Louvre	193
E162	avenue de Flandre	177
E163	rue Saint-Antoine	150
E164	place de la Concorde	106
E165	boulevard Victor	105
E166	boulevard Haussmann	100
E167	place de la Madeleine	83
E168	rue de Mogador	77
E169	avenue de Taillebourg	61
E170	rue d'Avron	53
E171	boulevard Malesherbes	23
E172	rue Ordener	18
E173	rue de Reuilly	17
E174	place du Colonel Fabien	14
E175	rue Ordener	9
E176	rue de la Pépinière	9

Annexe 3 : Concentrations en sulfates des eaux d'exhaure à Paris

En complément du paragraphe 3.3.3 consacré aux eaux d'exhaure, la Figure 44 présente la répartition de la conductivité des eaux d'exhaure prélevées et analysés par le LEESU et EDP sur Paris en 2016.

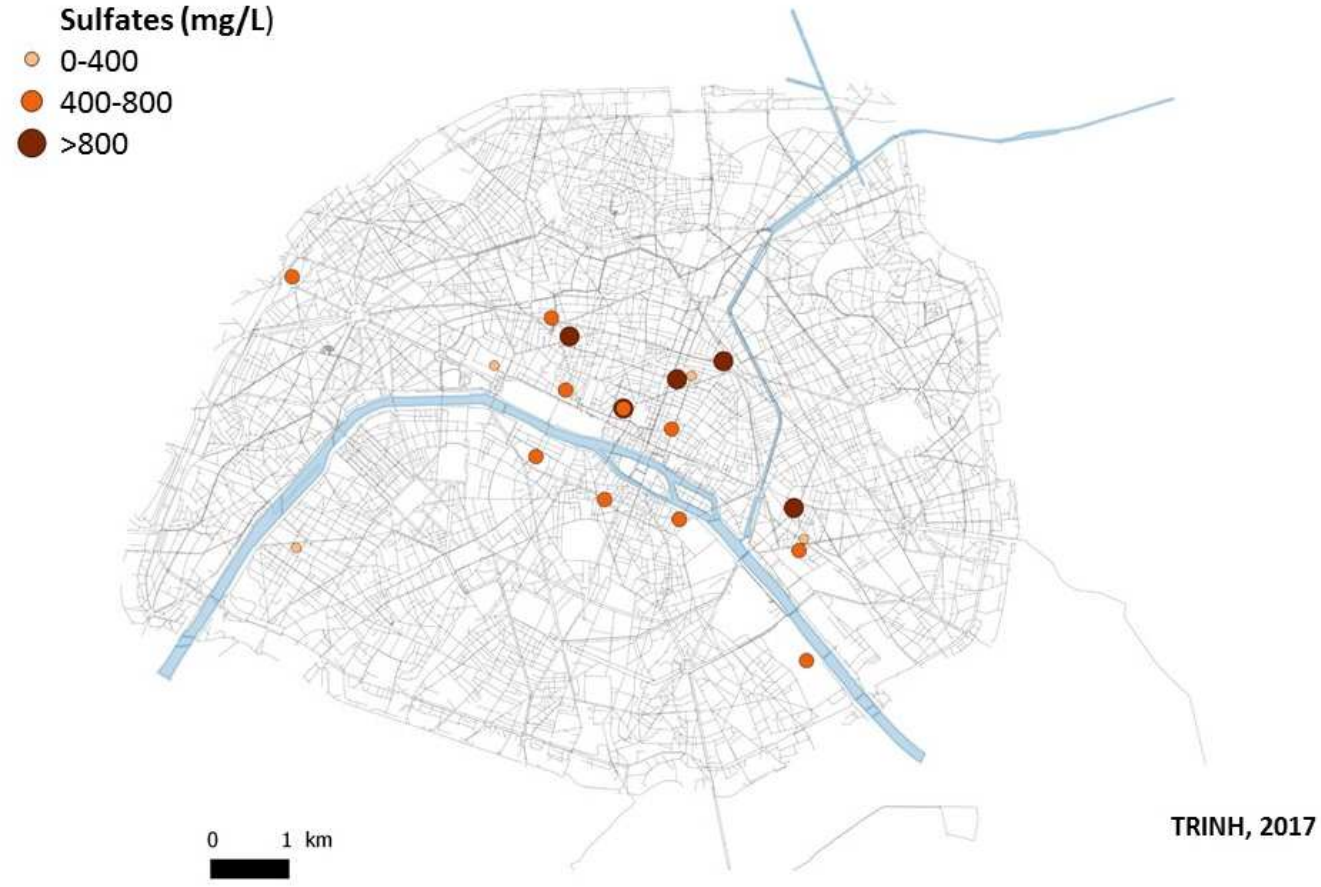


Figure 97 : Conductivité des eaux d'exhaure sur Paris. Prélèvement et analyses réalisés en 2016 par le LEESU et EDP

Annexe 4 : Principes de base sur le fonctionnement d'une pompe

Cet annexe présente les notions de base sur le fonctionnement d'une pompe.
Un moteur transforme une énergie électrique (ou thermique) en énergie mécanique afin de permettre aux pompes de déplacer un liquide d'un point à un autre. Cette transformation est possible grâce à un arbre mécanique qui relie le moteur à la pompe. La pompe transmet ensuite l'énergie mécanique au fluide mis en mouvement. Deux pertes d'énergie sont identifiées :

- Entre le moteur et la pompe : une partie de l'énergie électrique consommée par le moteur n'est pas entièrement transmise à la pompe. Le rendement électrique du moteur (η_e) est défini comme le rapport entre la puissance transmise en bout d'arbre de la pompe (P_P), et la puissance électrique mesurée aux bornes du moteur (P_M) :

$$\eta_e = \frac{P_P}{P_M} \tag{43}$$

η_e : rendement électrique du moteur
P_P : puissance transmise en bout d'arbre de la pompe (kW/j)
P_M : puissance électrique mesurée aux bornes du moteur (kW/j)

- Entre la pompe et le fluide : une partie de l'énergie mécanique reçue en bout d'arbre par la pompe n'est pas entièrement transmise au fluide pompé. Le rendement hydraulique de la pompe (η_e) est défini comme le rapport entre la puissance fournie au liquide pompé (P_L) et la puissance transmise en bout d'arbre de la pompe (P_P)

$$\eta_h = \frac{P_L}{P_P} \tag{44}$$

η_h : rendement hydraulique de la pompe
P_P : puissance transmise en bout d'arbre de la pompe (kW/j)
P_L : puissance fournie au liquide pompé (kW/j)

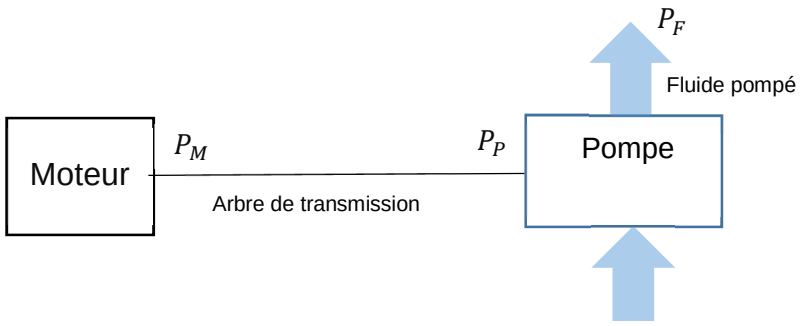


Figure 98 : Schéma de principe d'une pompe

Annexe 5 : Consommations énergétiques pour l'année 2013

En complément de la partie 4.3.1, cet Annexe présente les étapes de calculs intermédiaires pour les consommations énergétiques estimées issue de l'approche hydraulique pour l'année 2013 dans le Tableau 49 .

Tableau 82 : Calculs intermédiaires pour estimer les consommations énergétiques du RENP pour l'année 2013

Provenance eau	usine	Liaison	$H_{géo}$	Volume pompé en 2013 (m3/an)	H_{pdc} (m)	H_{MT} totale	Energie théorique (kWh)
Ourcq	St Pierre/ Rochechouart	avenue Trudaine -> Montmartre réservoir	51,53	3 223 800	1,23	52,76	463 499
Ourcq	Montmartre réservoir	Montmartre réservoir -> Montmartre cuve	13,32	148 400	0,00	13,32	5 388
Ourcq	La Villette	Bassin Villette -> Passy	23,23	5 000	0,00	23,23	317
Ourcq	La Villette	Bassin Villette -> Ménilmontant réservoir	47,66	19 124 000	0,87	48,53	2 528 906
Ourcq	La Villette	Ourcq -> Passy(injection)	23,23	13 962 000			
Ourcq	Haxo	Ménilmontant réservoir -> Belleville réservoir	30,8	2 635 900	0,05	30,85	221 565
Ourcq	Télégraphe	Ménilmontant réservoir -> Belleville réseau surpressé	16	1 436 500	1,34	17,26	67 556
Ourcq	Austerlitz	Austerlitz/Ourcq -> Charonne	34,47	7 089 338	1,51	35,99	695 192
Ourcq	Austerlitz	Austerlitz/Ourcq -> Villejuif	41,79	17 343 662	3,33	45,12	2 132 341
Seine	Austerlitz	Austerlitz/Seine -> Charonne	54,38	1 686 662	3,16	57,54	264 458
Seine	Austerlitz	Austerlitz/Seine -> Villejuif	61,7	3 787 338	1,71	63,41	654 385
Seine	Auteuil	Auteuil/Seine -> Passy	48,15	11 485 000	12,86	61,01	1 909 377
Seine	Austerlitz	Austerlitz/Seine -> Réseau Bas	24,92	0	0	24,92	0
Ourcq	La Villette	Ourcq -> Réseau Bas Ourcq	gravitaire	16 185 000	gravitaire	gravitaire	-
Marne (tout usage)	Trilbardou	Marne/Trilbardou -> Canal de l'Ourcq	14	9 779 000	0,02	14,02	373 534
Marne(ENP)	Trilbardou	Marne/Trilbardou -> Canal de l'Ourcq	14	5 146 483			196 583

Annexe 6 : Modélisation de l'injection des eaux d'exhaure du parking Meyerbeer dans le RENP

Cet Annexe présente la démarche de modélisation évoquée dans la partie 5.1.2. La modélisation a été réalisée à l'issue de deux stages réalisés au LEESU en collaboration avec EDP (Wazzani 2015; de Azevedo Xavier Thode 2014).

L'étude de la dilution des eaux d'exhaure dans le RENP a nécessité la modélisation du réseau Bas-Ourcq. L'outil de modélisation utilisée est EPANET, un programme informatique qui permet des simulations du comportement hydraulique dans les réseaux. Il permet de calculer l'écoulement de l'eau dans chaque tronçon, la pression à chaque nœud, la hauteur de l'eau dans le réservoir, et la concentration d'une espèce chimique partout dans le réseau pendant une période de simulation pour des pas de temps multiples (Rossmann 2000).
Le modèle EPANET du réseau Bas Ourcq a été construit à partir de données extraites du SIG d'EDP. Il comporte les conduites d'ENP, mais également les appareils hydrauliques pour les usages d'ENP municipaux (BL, BA, BRT, RC).

Caractéristiques des tronçons
Plusieurs hypothèses ont été prises pour la caractérisation des tronçons. La rugosité varie suivant l'âge et la nature de la canalisation et permet de refléter les sollicitations subies par les conduites. À partir du SIG on identifie 61% conduites en fonte et 37% indéterminé. Afin de simplifier la modélisation, toutes les conduites ont été considérées comme en fonte. Les conduites de RENP pouvant dater de plus un siècle et présenter des altérations de parois, on choisit une rugosité de 2 mm, ce qui correspond à un tuyau en fonte avec dépôt (Lencastre 1995).
D'autre part, l'encrassement de conduites est représenté par une réduction de diamètre. Cette réduction consiste à supposer la présence d'une couche d'encrassement sur l'ensemble des tronçons. L'ensemble des diamètres des tronçons ont été réduits de 10% après discussions avec les hydrauliciens d'EDP.

Données d'entrées et sortie du réseau Bas-Ourcq
Le Bas Ourcq est alimenté par l'usine de La Villette. Afin d'estime le débit journalier affecté au nœud du modèle correspondant à l'usine, on s'appuie sur les mesures des débitmètres sur le RENP. Deux types de données de débit ont été utilisés pour la modélisation :

- Entrées du réseau de Bas-Ourcq : l'usine de la Villette alimente le Bas-Ourcq par trois entrées : OU1, OU2 et FON équipées chacune par un débitmètre. La somme des mesures des trois débitmètres corresponde à l'entrée du réseau.
- Sortie du Bas-Ourcq : celles-ci sont calculées à partir de la somme des mesures des deux débitmètres (AZRG, AZRD) à l'entrée de l'usine d'Austerlitz. En effet, ces débits mesurés correspondent à l'alimentation de l'usine d'Austerlitz *via* la canalisation de fonçage. Le positionnement est indiqué sur la Figure ci-dessous.

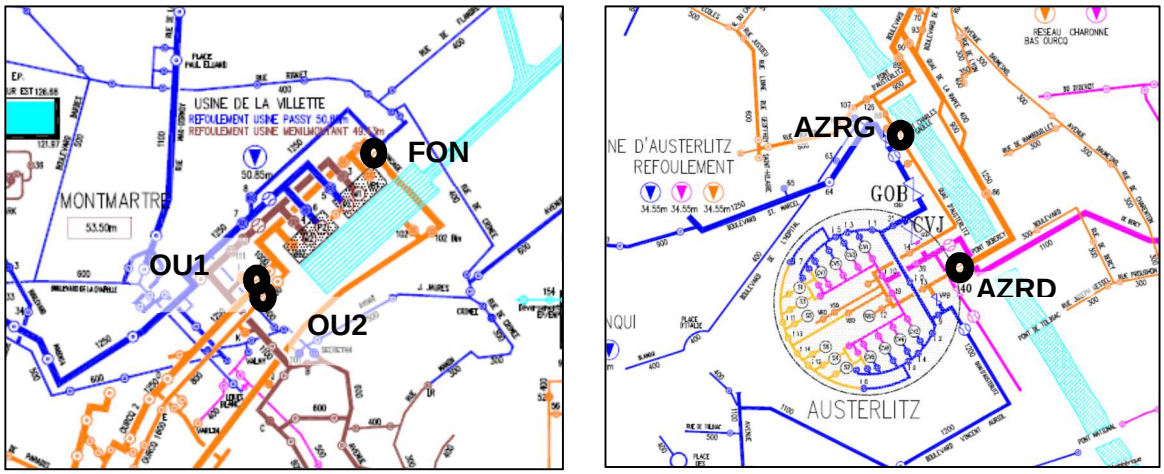


Figure 99 : Position des débitmètres utilisés pour évaluer les volumes mis en distribution dans le Bas Ourcq

Afin d'estimer les conséquences de l'injection sur l'arrosage des espaces verts, la période étudiée des débits a été le mois d'août 2014. Les débits mis en distribution dans le Bas-Ourcq estimés sont de l'ordre de 36 500 m^3/jour.

La dilution des eaux d'exhaure dans le RENP a nécessité de connaitre le comportement hydraulique des RENP, et donc d'estimer spatialement et temporellement les consommations de chaque usage d'ENP dans le Bas Ourcq. Les usages d'ENP sur ce réseau sont les suivants : curage des égouts, nettoyage des voiries, arrosage des espaces verts et alimentation des bassins et fontaines, et usages non municipaux. Les consommations des usages sont estimées en deux étapes.
Dans un premier temps, elles ont été estimées à partir des études précédentes sur l'ENP, des visites de terrain (organisées avec les services de propreté et des espaces verts de Paris), et des données de compteurs (pour les usagers non municipaux).
Dans un second temps, l'ensemble des consommations ont été réajustées vis-à-vis des débits transitant dans le sous-réseau Bas-Ourcq.

Le Tableau présente les volumes d'eau estimés pour chaque équipement pour la modélisation.

Tableau 83 : Volumes consommés par chaque type d'équipement

	Nombre	Volume (m^3/j)	Consommation par équipement (m^3/j)
RC	1 058	22 320	21
BL	4 391	4 848	1,1
BA	1 358	1 404	1,04
BRT	169	723	4,28
Abonnés privés	27	46	1,70

Le volume des fuites est réparti uniformément sur tous les nœuds de réseau, avec une valeur moyenne affectée à chaque nœud. Suite au réajustement par rapport aux volumes d'alimentation du sous-réseau Bas-Ourcq, on a attribué à chaque nœud du modèle un débit de fuite qui présente 15% des volumes mis en distribution dans le Bas-Ourcq.

La Figure 100 présente une synthèse sur la répartition des différentes consommations d'ENP dans la journée.

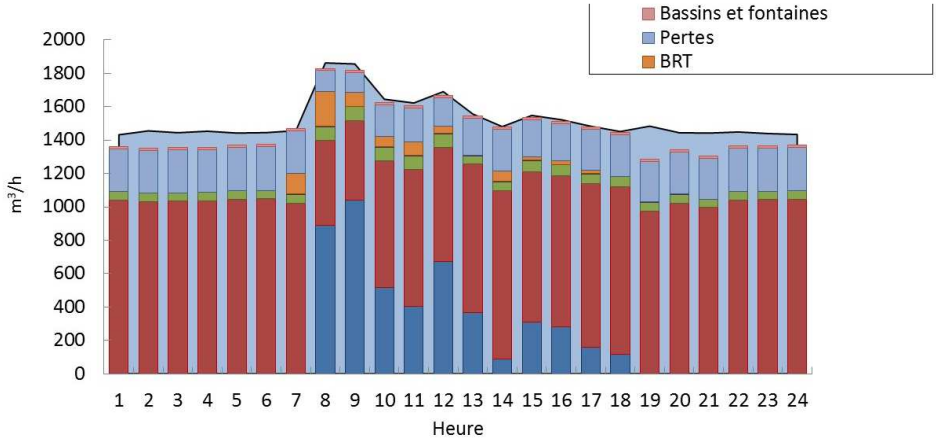


Figure 100 : Consommations d'ENP du Bas Ourcq estimés et réajustés par rapport aux débits mis en distribution dans le Bas Ourcq (Wazzani 2015)

Annexe 7 : Exemple de guide d'entretien

Cet Annexe présente un exemple de guide d'entretien prévu avec un acteur de la RATP. Cette liste reste indicative : en effet, la formulation et l'ordre des questions sont modifiés en fonction du déroulement de l'entretien. Les guides ont été préparés avec F. Mattio dans le cadre de son stage au LEESU en 2016 (Mattio 2016)

1. Présentation des thèmes à aborder

Thématiques	**Questions & Relances**	**Objectifs & Analyses escomptées**
Cadrage	*Présentation des enquêteurs* *Présentation très générale de la thèse* *Présentation de la note* *Précisions techniques* (demande d'enregistrement, et si besoin anonymat et explications) *Explicitation du choix de la personne :* central d'avoir le point de vue d'un potentiel fournisseur d'une nouvelle ressource d'ENP : avoir leur position et leurs enjeux (intérêts et contraintes). *Consigne générale* : Nous aimerions que vous nous parliez de votre travail et de vos expériences en lien avec l'eau non potable et de la façon dont vous voyez les possibilités de changement du RENP vous impliquant.	Mettre en confiance Présenter le sujet de recherche sans induire de problématiques, ou de directions pour l'enquêté.
Périmètre d'action et lien de l'organisation avec le RENP	Q : Pouvez-vous nous parler de votre travail et de ses liens possibles avec le RENP ? *Relances :* Quel est votre périmètre d'action (missions et territoires) ? A quelles occasions êtes-vous amené à traiter de la question de l'ENP ? En lien avec quels acteurs ?	Identifier le profil de la personne interviewée Comprendre : -les objectifs de l'entreprise -le périmètre d'action de l'entreprise et de l'interviewé
Connaissance et perception du fonctionnement actuel du RENP	Q : Nous vous avions remis une note sur le RENP avant cet entretien, quels commentaires ou analyses avez-vous à faire sur cette note et le RENP en général ? *Relances:* Y a-t-il des points sur lesquels vous aimeriez revenir, qui vous surprennent ou qui ne vous semblent pas clairs ? Que pensez-vous de l'approvisionnement actuel du RENP, notamment au regard des usages actuels ? La RATP pourrait-elle utiliser de l'ENP ?	Transition : discuter autour de la note Voir ce que l'enquêté a retenu de la note, et quelles ressources il présente spontanément et dans quel ordre

Position des acteurs sur les potentiels changements	Q : Que pensez-vous des changements possibles de l'approvisionnement du RENP ? *Relances :* Dans quelle mesure les eaux d'exhaure font-elles partie de votre mission ? Depuis combien de temps la RATP pense-t-elle à valoriser les eaux d'exhaure dans le RENP ? Quels en sont les motifs principaux ? Quels sont les avantages et limites que cette utilisation présente pour votre organisation ? Quels enseignements avez-vous tiré de votre utilisation des eaux d'exhaure pour l'arrosage des pelouses et le nettoyage des machines ? D'après vous, à quels enjeux répond l'utilisation des ressources nouvelles ? Selon quelles conditions l'utilisation de ressources nouvelles vous paraît-elle faisable ? Plus particulièrement pour les eaux d'exhaure ? L'utilisation des eaux d'exhaure est-elle un sujet de discussion au sein de la RATP ? Pour qui est-ce un problème, pour qui est-ce une solution ?	Identifier les arguments mobilisés Moduler les questions en fonction du profil de la personne Rechercher la cohérence de son discours : identifier les contradictions entre ses arguments, et donc entre sa position et celle de son organisation.
Revue des facteurs à prendre en compte et hiérarchisation	Q : Quels sont, selon vous, les facteurs à prendre en compte dans le choix d'une nouvelle ressource potentielle pour alimenter le RENP ? *(cf. partie 2 du document)* *Relances :* <u>Revue du tableau :</u> Relances dans tableau des facteurs ci-après. *(cf. partie 2 du document)* <u>Hiérarchisation :</u> La définition des facteurs proposée vous satisfait-elle ? Quelle serait votre propre définition ? Pourriez-vous classer les facteurs selon des catégories d'importance (incontournable/très important, à prendre en compte, secondaire) ? Quels sont les cinq plus importants pour vous? par ordre décroissant ?	Discuter sur les définitions des facteurs selon l'interviewé *Moduler les relances en fonction de la personne* Discuter sur l'importance des facteurs selon l'interviewé : définition de catégories, hiérarchisation
Questions de synthèse	Q : Si je résume votre position par rapport à la diversification des ressources du RENP, « … », cela correspond bien à ce que vous vouliez dire ? Q : Vous avez accepté de vous prêter à l'exercice de l'entretien. Pourquoi ? Quel est votre intérêt et quel est l'intérêt de votre organisation de vous prêter à ce travail ? Q : Avez-vous des questions, ou voulez-vous rajouter quelque chose ?	Synthétiser la pensée de l'enquêté pour voir si on a bien compris la même chose, ou s'il veut à nouveau s'exprimer quand on reformule (s'il a oublié quelque chose, s'il a défendu une position différente,…).
Questions biographiques	Profession/fonction exacte dans l'organisation Diplôme/Formation Parcours professionnel	Situer l'enquêté dans l'ensemble des enquêtés, et identifier quelle influence son profil personnel peut avoir sur son discours.

2. Guide détaillé pour la revue des facteurs

Cette seconde partie du guide présente les questions spécifiques aux facteurs. Il n'est pas demandé à l'interviewé d'avoir une expertise technique sur tous les facteurs. L'interviewé est amené à exprimer un avis sur les différents facteurs, certains facteurs pouvant ne pas appeler de commentaires particuliers.

Facteurs à prendre en compte	**Questions& Relances**
Réglementation	A quels enjeux réglementaires répond actuellement l'introduction des eaux d'exhaure dans le RENP ? et l'utilisation des eaux d'exhaure pour les usages tels que l'arrosage, ou lavage des tram ? A quels enjeux réglementaires doit selon vous répondre la gestion actuelle de l'ENP ? La diversification des ressources nécessite-t-elle selon vous de respecter d'autres contraintes réglementaires ?
Contraintes d'usage	Quelles caractéristiques que l'ENP devrait-elle avoir/conserver selon vous pour répondre aux usages ? Vous avez déjà utilisé des eaux d'exhaure pour vos usages. D'après les retours d'expérience que vous avez eus, quelles caractéristiques doivent-elles avoir (qualité, quantité, proximité à l'usage) pour satisfaire vos usages ?
Respect des engagements contractuels	Est-ce que la valorisation des eaux d'exhaure vous permet de respecter les objectifs internes de la RATP ? Et particulièrement les objectifs de développement durable de la RATP ? Et vis-à-vis d'autres acteurs ?
Difficultés techniques d'exploitation	Quelles sont selon vous les avantages ou difficultés techniques engendrés par l'introduction de nouvelles ressources dans le RENP ?
Changements organisationnels	A Paris quelles conséquences pourrait avoir selon vous une modification du schéma d'alimentation du RENP sur les relations entre les acteurs gestionnaires, les acteurs fournisseurs et les usagers de l'ENP ?
Intérêt économique	Quel intérêt économique représente selon vous la diversification des ressources du RENP ? Dans quelle mesure cette injection d'eaux d'exhaure dans le RENP permettrait-elle de réduire les redevances assainissement de la RATP ?
Impact environnemental	Quel impact environnemental (positif ou négatif) aurait selon vous la diversification des ressources ? Dans quelle mesure l'utilisation de l'ENP contribue à la préservation des ressources en eau ? Quel impact les eaux d'exhaure ont-elles eu sur les gazons de la RATP où elles ont été utilisées ? De quelle manière l'utilisation des eaux d'exhaure dans le RENP s'insère-t-elle dans la politique de développement durable défendue par la RATP ?
Acceptation sociale	Communiquez-vous autour de l'utilisation potentielle des eaux d'exhaure ? Avez-vous eu des questions des usagers sur la gestion de l'eau de la RATP ? Comment s'insère l'utilisation des eaux d'exhaure dans la communication que la RATP réalise actuellement autour du développement durable (cf. campagnes de publicité RATP) ? Comment intégrez vous les retours de la société civile (citoyens, usagers de la RATP) dans vos prises de décision ?
Relations avec les acteurs territoriaux	A une échelle plus large que celle de Paris, quelles peuvent être les conséquences d'un schéma d'alimentation et d'usages différents de l'ENP sur les acteurs de l'eau (SIAAP, communes limitrophes, usagers non municipaux) selon vous ? En quoi l'utilisation des eaux d'exhaure pourrait-elle changer vos relations avec le SIAAP et la Ville de Paris ? Ou avec d'autres acteurs, comme les communes extramuros que dessert la RATP par ailleurs ?