

Cycle de l'eau et cycle de l'azote, Paris, 1800-1937.

Sabine Barles (Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR CNRS 7543, Institut Français d'Urbanisme)

1. Introduction

La période qui court de la fin de l'Ancien Régime à la seconde guerre mondiale est marquée par une profonde transformation des acteurs, des objectifs, des principes, des techniques et du financement de l'assainissement urbain à Paris comme dans de nombreuses villes européennes. Dans le cas de la capitale française, de nombreux travaux ont analysé ces changements ainsi que les enjeux qui y sont attachés, enjeux multiples et qui dépassent l'impératif hygiéniste, lui-même d'ailleurs polymorphe (Jacquemet, 1979 ; Cebron de Lisle, 1991 ; Jugie, 1993 ; Gandy, 1999 ; Barles, 1999). En revanche, ils ne se placent guère du point de vue des interactions entre la ville et le milieu au sens naturaliste du terme. S'il est couramment admis que la pression anthropique (*i. e.* de l'homme et des sociétés humaines) a considérablement augmenté au cours des deux derniers siècles, celle-ci n'a pas été analysée précisément, notamment en ce qui concerne la pression urbaine¹.

C'est ce point de vue que nous souhaiterions adopter, à travers le cas du cycle de l'eau et des matières qu'elle transporte. Nous faisons l'hypothèse selon laquelle la pression anthropique n'est pas monotonement croissante (*i. e.* qu'elle ne croît pas sans cesse), mais qu'elle s'exerce différemment selon les contextes et les choix politiques et techniques. Il ne s'agit pas cependant de se livrer à une forme de *retrospective technology assessment* (Koppitz, Voegelé, 1999 ; Tarr, 1996), mais plus modestement d'analyser, autant que faire se peut, la réponse du milieu à la pression urbaine.

Pour ce qui nous concerne, nous avons choisi dans un premier temps de nous cantonner à la ville de Paris. Cette limite spatiale semble pertinente pour le XIXe siècle, dans la mesure où Paris concentre l'essentiel de la population de l'agglomération : 99 % en 1811, encore 76 % en 1901, 68 % en 1921 (Dupeux, 1981). Elle est plus contestable dès lors que, simultanément, Paris stagne puis se vide et ses environs s'urbanisent. Nous la retenons néanmoins pour des raisons pratiques (abondance et homogénéité relatives des sources statistiques) pour cette première phase du travail qui s'arrête aux années 1930.

Nous avons choisi d'aborder deux composantes de la pression urbaine mises en jeu dans le cadre de l'assainissement de la capitale : le cycle de l'eau et le cycle de l'azote. La transformation du premier est exemplaire des effets de la révolution industrielle, de l'urbanisation et de l'évolution des modes de vie, son analyse est par ailleurs indispensable à celle du second, qui a été retenue pour deux raisons. D'une part, outre son rôle dans l'économie de la nature, l'azote joue par un rôle essentiel dans les activités artisanales et industrielles de la période considérée : la ville brasse ainsi des quantités d'azote considérables, dont elle rejette une partie dans le milieu, ce qui a des conséquences non négligeables pour celui-ci. D'autre part, les sources statistiques sont assez nombreuses, bien que parfois insuffisantes, compte tenu de l'intérêt suscité par cet élément dès le XVIIIe siècle.

Le travail passe par la constitution de chroniques statistiques portant sur un certain nombre de variables, puis, pour quelques années retenues soit pour leur représentativité, soit pour leur caractère exceptionnel, soit, et c'est le plus souvent le cas, pour l'abondance des sources, par l'établissement d'un bilan d'eau ou de matières. Par conséquent, les sources mobilisées sont nombreuses : publications statistiques de l'administration parisienne, mémoires d'ingénieurs détachés auprès d'elle, rapport des commissions dédiées à l'assainissement, des inspecteurs de la salubrité, publiés ou contenus dans les cartons des archives de Paris (série VO3 "Eaux, canaux, égouts"), etc. La qualité n'en est pas toujours irréprochable, elles font parfois défaut : ces limites seront abordées au fil du texte, comme les méthodes adoptées pour leur traitement.

¹ De telles analyses sont néanmoins conduites hors de nos frontières. Voir par exemple, pour des travaux récents (*Nature...*, 1999).

Après la phase exploratoire présentée dans le précédent rapport d'activité, le travail conduit en 2000 a été plus systématique. Les chroniques ébauchées ont été complétées et prolongées, permettant des analyses plus fines et la précision des méthodes à adopter pour les mener à bien.

2. Cycle de l'eau

2.1. Apports

La capitale reçoit des eaux pluviales, dont on connaît avec une relative précision la quantité. Les hauteurs d'eau ont en effet été mesurées dès 1689 à l'observatoire de Paris. D'après Jean Dettwiller, " Il semble qu'à partir de 1806, les mesures [...] présentent de bonnes garanties d'homogénéité" Cependant, elles sont effectuées jusqu'en 1817 sur la terrasse de l'observatoire et présentent un déficit du fait de l'effet du vent, déficit évalué à 10 % par rapport aux relevés effectués dans la cour de l'observatoire à partir de 1817. Avant cette date, les données de la terrasse sont donc corrigées afin de les rendre compatibles avec celles de la cour, que nous avons utilisées pour les années suivantes et qui sont, toujours d'après Dettwiller, fiables jusqu'en 1857, date à laquelle une plantation de peupliers à proximité du pluviomètre entraîne un déficit de l'ordre de 10 % ; les mesures sont donc corrigées en ce sens. Malgré la disparition des peupliers en 1877, les mesures sont " douteuses " jusqu'en 1900. À partir de 1873, les hauteurs d'eau sont aussi mesurées à Montsouris, la série présentant de " très bonnes garanties d'homogénéité ", nous l'avons donc adoptée (Dettwiller, 1970). Il est certain que la série ainsi établie, associant des mesures effectuées à l'aide d'instruments différents implantés dans des lieux eux aussi différents n'est pas homogène. Comme nous le verrons, les apports pluviaux deviennent de plus en plus marginaux au fur et à mesure que les apports anthropiques augmentent : la précision de la série nous semble donc suffisante dans le cadre que nous nous sommes fixé¹.

Aux apports pluviaux s'ajoutent les apports anthropiques liés aux activités humaines et urbaines. Il n'existe pas de chronique des prélèvements avant le Second Empire, pour lequel nous devons nous contenter d'évaluations ponctuelles². Pour préciser ces données, nous avons eu recours au travail de Philippe Cebron de Lisle, qui nous en fournit une analyse critique (Cebron de Lisle, 1991). De la fin de l'Ancien Régime au Consulat, la consommation urbaine s'appuie principalement, pour ce qui concerne la distribution publique, sur la Seine³ (pompes à feu de Chaillot et du Gros Caillou, machine hydraulique du Pont Notre-Dame), et accessoirement sur quelques sources (Belleville, Pré-Saint-Gervais, Arcueil). La mise en service progressive du canal de l'Ourcq (achèvement du bassin de la Villette en 1808, mise en exploitation du canal en 1824 (Girard, 1831)) augmente considérablement la capacité de production qui passe de 8 070 m³/j en 1800 (Cebron de Lisle, 1991) à 20 000 m³/j en 1823 (*Recherches...*, 1823), mais cette eau est principalement destinée au nettoyage et à l'embellissement de l'espace public. La Monarchie de Juillet et la Préfecture de Rambuteau sont essentiellement consacrées à l'extension du réseau — et très accessoirement au forage du puits artésien de Grenelle —, portant la capacité de production à 150 000 m³/j en 1854, pour 86 737 m³/j effectivement distribués (Cebron de Lisle, 1991)⁴. Il faut y ajouter la consommation particulière, qui échappe au service : on compte 25 000 à 30 000 puits particuliers vers 1830 (Girard, Parent-Duchâtelet, 1833), mais les volumes qui y sont prélevés n'ont fait l'objet d'aucune évaluation

¹ Une autre possibilité aurait consisté à utiliser la série Saint-Maur reconstituée par Dettwiller sur la base de moyennes décennales. Nous ne l'avons pas retenue car les moyennes décennales conduisent à une perte d'information si nous souhaitons analyser l'effet d'une pluviométrie exceptionnelle (qu'elle soit faible ou élevée) sur le cycle de l'eau.

² En prenant garde de ne pas confondre la capacité de distribution (ce qu'il est possible de distribuer compte tenu des équipements en service) et la distribution effective, généralement inférieure.

³ La Bièvre est mise à contribution par les activités artisanales, avec 102 établissements et usines dans le département de la Seine dont 90 à Paris vers 1823 (*Recherches...*, 1823).

⁴ Jusqu'au Second Empire et au-delà, les propriétaires répugnent à s'abonner aux eaux de la ville en raison de la fréquence accrue des vidanges de fosses d'aisances que la consommation domestique entraîne.

à notre connaissance — nous avons fait l'hypothèse d'un prélèvement de 20 litres par puits et par jour, hypothèse non vérifiable aujourd'hui — ; les puisages directs en Seine sont inconnus¹.

À partir du Second Empire, les volumes distribués progressent au rythme des équipements de captage — dérivation des sources lointaines (Dhuys achevée en 1865, Vanne en 1875, Avre et Loing au tournant du siècle), multiplication des usines sur la Seine et sur la Marne (usines à vapeur d'Austerlitz et hydraulique de Saint-Maur mises en service dans les années 1860 ; usines à vapeur d'Ivry, de Javel et de Bercy dans les années 1880) —, de distribution — le réseau court sur 312 km en 1850, 1 370 km en 1875, 2 500 km en 1900, 3 000 km en 1930 (*Annuaire...*, 1880-) —, et des abonnements — 5 971 en 1850, 14 289 en 1860, 40 596 en 1875, 91 388 en 1900 (Cebron de Lisle, 1991). Les quantités distribuées sont évaluées annuellement par le service des eaux et des égouts, nous fournissant une chronique complète, publiée d'abord dans les mémoires d'Eugène Belgrand², puis dans les *Annuaire statistiques de la ville de Paris*. Les chiffres sont cependant entachés d'erreur dans la mesure où les premiers compteurs domestiques ne sont installés qu'en 1876, mais ne concernent encore que 21,2 % des abonnements en 1882, 76,6 % en 1889 (Csergo, 1990). Nous sommes en outre confrontée au même problème que précédemment en ce qui concerne la consommation hors service. Cependant, les puits privés tendent à disparaître : on en compte encore 30 000 en 1870, mais seulement 10 000 en service (Gerards, 1907) ; ils ne sont plus que quelques milliers au début du XXe siècle : les volumes mis en jeu sont très faibles, toute la politique de l'administration parisienne visant à inciter — voire à imposer — la distribution à domicile. En revanche, la consommation des puits forés privés destinés à l'usage artisanal et industriel est probablement très supérieure mais, elle aussi, inconnue³.

La figure 1 montre l'évolution spectaculaire des apports anthropiques entre 1807 et 1930⁴ : à cette date, Paris use 160 fois plus d'eau qu'en 1807, tandis que la consommation du Parisien est multipliée par 33.

¹ Les *Recherches statistiques* (...) signalent cinq établissements particuliers utilisant l'eau de la Seine en 1823, soit une capacité de production de 300 m³/j (*Recherches...*, 1823).

² Ingénieur des ponts et chaussées, directeur du service des eaux et des égouts de la ville de Paris de 1856 à 1878.

³ La *Carte hydrologique du département de la Seine* (1/25 000), dressée par Achille Delesse et publiée en 1862 mentionne 780 puits ordinaires et 86 puits forés (eau ascendante, parfois artésienne) à Paris, mais ne précise pas les conditions de sélection des puits retenus.

⁴ En 1860, l'annexion des communes périphériques apporte à Paris une population de 400 000 habitants environ d'où la chute de la consommation unitaire cette année-là.

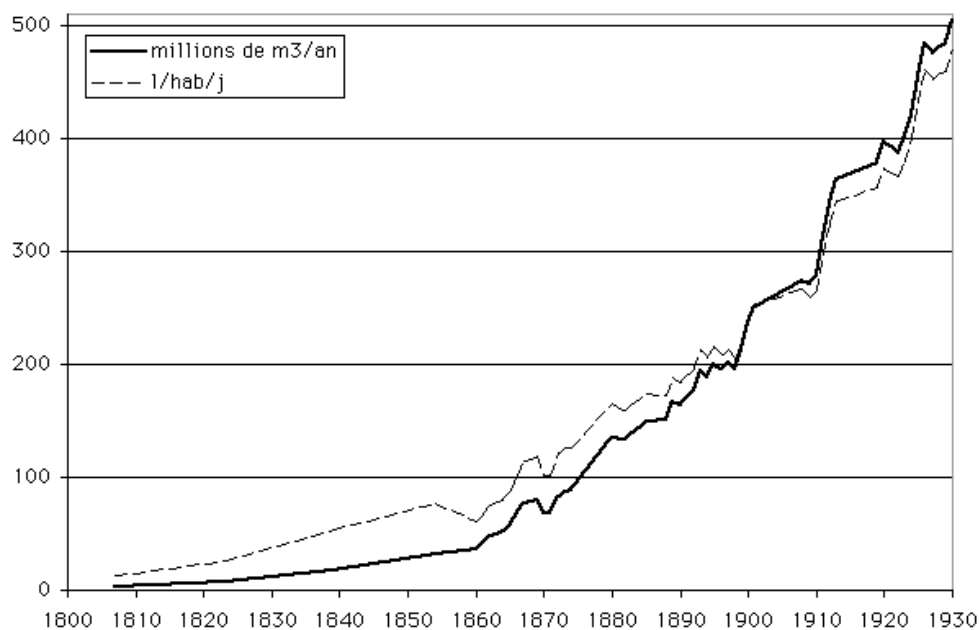


Figure 1. Paris, eau, apports anthropiques, 1807-1930 (10^6 m³/an et l/hab/j).

Bien que nous ayons pu constituer des chroniques complètes à partir du Second Empire, nous ne présentons ici que les résultats issus du traitement de quelques années réparties au cours de la période. Pour l'étude des apports totaux, nous ne pouvons nous contenter de retenir des volumes annuels. En effet, les limites administratives de Paris reculent au cours de la période concernée¹, et la comparaison des apports pluviaux n'est pas possible si l'on ne s'affranchit pas de ce paramètre. Il est donc plus pertinent de considérer les apports par unité de surface, *i. e.* les hauteurs d'eau mises en jeu. La figure 2 montre l'importance de ces apports, qui décuplent presque entre 1807 et 1930, où la lame d'eau atteint 6 600 mm. Les apports anthropiques dépassent déjà les apports pluviaux en 1847 : ils représentaient près de 90 % du total en 1807, mais ne comptent plus que pour 30 % en 1874, et environ 10 % dans le premier tiers du XXe siècle.

¹ Avec l'annexion du village d'Austerlitz en 1818, qui fait passer la superficie de la capitale de 3 370 ha à 3 402 ha, puis l'annexion des communes périphériques en 1860, qui la porte à 7 802 ha, enfin avec la destruction des fortifications, qui l'amène en 1926 à 8 622 ha (hors bois de Boulogne et de Vincennes).

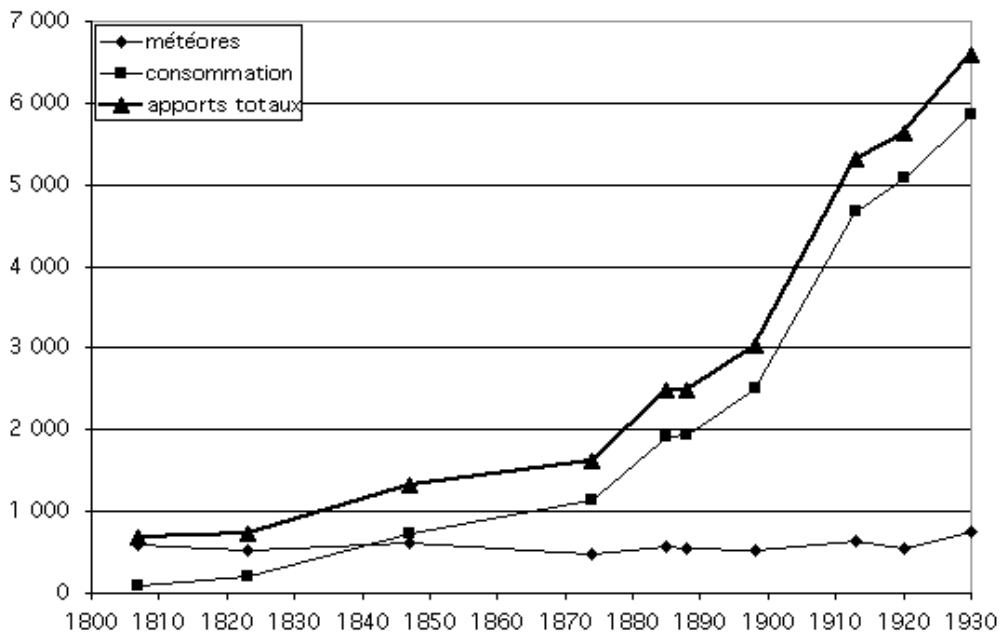


Figure 2. Paris, eau, apports totaux, 1807-1930 (mm).

2.2. Un cycle hybride

Les égouts sont, au début du XIXe siècle, fort peu étendus : quelques lignes qui gagnent la Seine, la Bièvre *intra muros* ou le Grand-Égout (ruisseau de Ménilmontant). Les eaux pluviales s'infiltrent dans le sol, coulent dans les ruisseaux centraux des rues, comme les eaux ménagères. Jusqu'en 1830, on construit peu de galeries (*cf. infra*, figure 5). Mais le développement du réseau des bornes-fontaines (destinées au nettoyage des rues) et l'épidémie de choléra de 1832 montrent la nécessité de la canalisation souterraine de la capitale : comme la distribution d'eau, l'assainissement concerne avant tout l'espace public. Le programme élaboré par Henry-Charles Emmery¹ vise à obtenir dans chaque rue un courant d'eau suffisant pour la nettoyer — donc ne pas perdre trop rapidement les eaux dans l'égout — tout en minimisant le temps de séjour des eaux sales en surface “ afin de réduire autant que faire se peut, les dépôts dans les ruisseaux, de matières putréfiables, susceptibles par conséquent de produire, en été surtout, des exhalaisons désagréables ou malsaines.” La ville est découpée en bassins versants autonomes, avec des exutoires multiples *intra muros*. Au 1er janvier 1837, 1 545 hectares sont considérés comme asséchés et assainis, sur les 3 400 hectares que compte alors la capitale (Emmery, 1836). La longueur du réseau, qui atteint 24 km en 1806, passe à 42 km en 1831, 126 km en 1849 : c'est encore très peu. Le débit des égouts, d'ailleurs inconnu, ne peut nous permettre d'approcher la part du ruissellement qui a principalement lieu en surface, et est alimenté tant par les eaux pluviales que par les eaux distribuées.

En outre, et malgré la densification progressive de la capitale (550 000 habitants au recensement de 1801, 1 050 000 à celui de 1846, soit des densités respectives de 164 et 310 habitants par hectare), les sols sont encore de nature très variée, offrant beaucoup plus de surfaces perméables qu'aujourd'hui : jardins, cultures en tout genre, près, terres vaines, occupent environ 20 % de l'espace parisien en 1820 ; la voie publique (un peu moins de 20 % de la surface) ne peut pas être considérée comme totalement imperméable, compte tenu des revêtements adoptés (elle n'est pavée qu'à 40 % en 1820). De ce fait, le cycle de l'eau est en quelque sorte hybride. L'anthropisation est déjà déterminante : elle s'exprime dans les apports, dans les surfaces bâties, et encore dans le remodelage

¹ Ingénieur des ponts et chaussées responsable du service des eaux à partir de 1832.

des bassins versants. Pourtant le fonctionnement “naturel” domine encore puisque les eaux séjournent principalement en surface. Cette combinaison conduit à une situation qui traduit bien la complexité de la pression anthropique et de son évolution : alors que la ville préindustrielle est vilipendée pour son humidité et sa boue, que celle du XXe siècle finissant est caractérisée par sa sécheresse, il n’y a probablement jamais eu autant d’eau sur le sol de Paris qu’au cours de la Monarchie de Juillet : le passage de l’humide au sec n’est pas progressif.

Afin d’évaluer les parts respectives de l’évapotranspiration, du ruissellement et de l’infiltration, plusieurs méthodes ont successivement été testées pour deux années, 1823 et 1847. Les résultats de la plus aboutie (bien qu’elle ne soit pas exempte de critiques) sont présentés ici. Nous considérons que, si la pluie est uniformément répartie sur le territoire parisien, l’intégralité des eaux distribuées est rejetée sur la voie publique, en l’absence de raccordement à l’égout¹. Nous devons donc distinguer deux types de surfaces : la voie publique, qui reçoit des apports pluviaux et anthropiques, le reste, qui ne reçoit que des eaux pluviales. Au sein de chacun d’entre eux, nous procédons à une nouvelle distinction, selon la nature des sols ; à chaque type de sol sont affectés un coefficient de ruissellement C_R ² et un coefficient d’infiltration C_I ³, dont est déduit un coefficient d’évapotranspiration C_E (tableau 1).

Tableau 1. Paris, 1823 et 1847, affectation des sols et coefficients de ruissellement, d’infiltration et d’évapotranspiration⁴.

Nature des sols	Apports	C_R	C_I	C_E	Surface (ha)	
					1823	1847
VP pavée	EP+EA	0,6	0,015	0,385	247,08	360,00
VP empierrée	EP+EA	0,35	0,1	0,55	396,09	151,20
VP bitumée	EP+EA	0,9	0	0,1	0,00	88,80
Jardins, etc.	EP	0,1	0,15	0,75	713,10	499,62
Toitures	EP	0,7	0	0,3	1 943,35	2 200,00
Eau	EP	1,0	0	0	140,06	140,06
Total					3 439,68	3 439,68

VP : voie publique ; EP : eaux pluviales ; EA : eaux anthropiques.

On constate ainsi (figures 3 et 4) d’une part la faiblesse des infiltrations (qui diminuent en proportion entre les deux années mais augmentent en volume du fait de l’augmentation des apports), d’autre part l’importance du ruissellement de surface et de l’évapotranspiration qui concernent tant des eaux pluviales que des eaux anthropiques.

¹ Les déversements dans les fosses d’aisances, s’ils perturbent le fonctionnement du service des vidanges (*cf. infra*), sont négligeables au regard des volumes totaux mis en jeu.

² Coefficient couramment employé dans les méthodes classiques de calcul de débit à l’exutoire d’un bassin versant, mais généralement déterminé pour une pluie de période de retour donnée (décennale par exemple) ; il est moindre à l’échelle annuelle.

³ Évalué à 15 % pour les surfaces libres à Paris (Prunier-Leparmentier, 1988).

⁴ Pour la détermination de l’affectation des sols, voir (Barles, 1999).

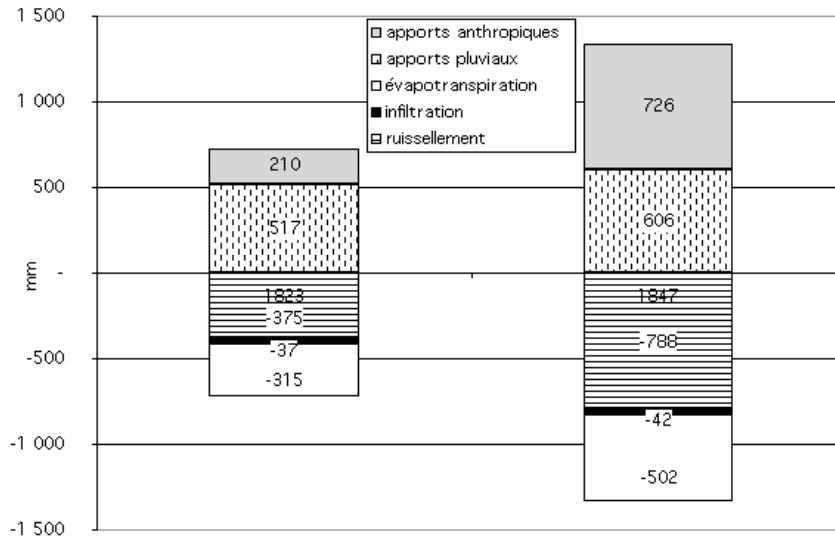


Figure 3. Paris, eau, apports et rejets, 1823 et 1847 (mm).

2.3. Le déplacement

À partir du Second Empire, le cycle urbain de l'eau connaît de profondes transformations. Les eaux issues des maisons sont progressivement collectées par les égouts : le décret du 26 mars 1852 stipule que " Toute construction nouvelle dans une rue pourvue d'égout devra être disposée de manière à y conduire souterrainement les eaux pluviales ou ménagères ; la même disposition sera prise pour toute maison en cas de grosses réparations, en tout cas avant dix ans. " (Belgrand, 1887). Le raccordement est cependant très progressif — 1 324 maisons raccordées en 1858 (Hausmann, 1979) sur un total d'environ 30 000. Par ailleurs, la question du coulage des eaux-vannes à l'égout est longuement débattue. À partir de 1850, les liquides des fosses d'aisances peuvent y être déversés sous réserve de désinfection préalable et de l'acquittement d'une taxe proportionnelle au volume de la fosse¹ ; les volumes mis en jeu sont néanmoins très faibles : 27 000 m³ en 1851 (Mille, 1854), 174 000 m³ en 1858 (Belgrand, 1887). En 1867, un arrêté du préfet de la Seine autorise " l'écoulement des eaux-vannes dans les égouts publics par voie directe " ² moyennant l'abonnement aux eaux et une taxe de 30 F par chute ; les matières solides issues des latrines sont alors recueillies dans des tinettes filtrantes. À partir de 1885, le tout-à-l'égout est facultatif, puis obligatoire dix ans plus tard. La loi du 10 juillet 1894 impose en effet aux propriétaires, dans un délai de trois ans pour les maisons anciennes, d'écouler directement et souterrainement à l'égout les eaux et matières provenant des lieux d'aisances³. Ces mesures se traduisent par la disparition progressive des eaux consommées de la voie publique. Mais si l'évolution du nombre de raccordements est bien connue, celle des volumes ainsi envoyés à l'égout nous échappe.

En outre, l'annexion des communes périphériques en 1860 se traduit, à la nouvelle échelle de la ville de Paris, par une brutale diminution de la part des surfaces bâties. La densification de la capitale (jusque dans les années 1920 où sa population culmine), les nombreux immeubles qui y sont bâtis entraîneront par la suite une augmentation du taux d'imperméabilisation, de même que l'utilisation plus fréquente de revêtements étanches : en 1909, les revêtements asphaltés, empierrés goudronnés ou bitumés couvrent un tiers des chaussées et trottoirs (Mazerolle, 1910). Nous ne disposons cependant pour l'instant d'aucun relevé nous permettant de préciser l'affectation des sols et donc la nature des surfaces.

¹ Ordonnance de police du 28 déc. 1850, remplacée et précisée par celle du 8 nov. 1851.

² Arrêté du 2 juil. 1867. Il semble que le coulage direct ait été toléré dès 1854.

³ Contre paiement d'une taxe annuelle de vidange de 10 à 1 500 F selon le revenu net imposé de l'immeuble (Cebron de Lisle, 1991).

Enfin, le réseau d'égouts s'étend. Les prédécesseurs de Belgrand l'avaient conçu afin d'en réduire le linéaire : seule la moitié des rues était canalisée. La ville impériale ne pouvait se satisfaire de cette demi-mesure : toutes les rues doivent être équipées. De plus, le réseau est unifié et les eaux sont conduites à l'aval de Paris afin de limiter l'infection de la Seine et les risques d'inondation *intra muros*. Ainsi est construit le collecteur d'Asnières qui gagne la Seine, à Clichy, en 1858, tandis que le collecteur de la rive gauche le rejoint après une traversée sous-fluviale en siphon. En 1877, alors que la superficie de Paris a plus que doublé, 6 500 hectares sont drainés par le réseau (Belgrand, 1887). La pression urbaine se déplace ainsi à l'aval de Paris, et touche essentiellement le fleuve. Cependant, afin notamment de faire face à son infection et de valoriser les eaux d'égouts, l'irrigation agricole est pratiquée à partir de 1869. Les champs d'épandage s'étendent progressivement à quelques centaines d'hectares sur le site de Gennevilliers ; en 1895 le site d'Achères est mis en service puis en 1900 ceux de Méry-Pierrelaye et Carrières-Triel, portant la surface d'épandage à 5 300 ha. Ce volet du cycle de l'eau est bien renseigné : nous disposons de chroniques relatives tant au linéaire des égouts qu'au débit des collecteurs, d'irrigation et des drains des champs d'épandage, facilement accessibles dans les *Annuaire statistiques de la ville de Paris*¹.

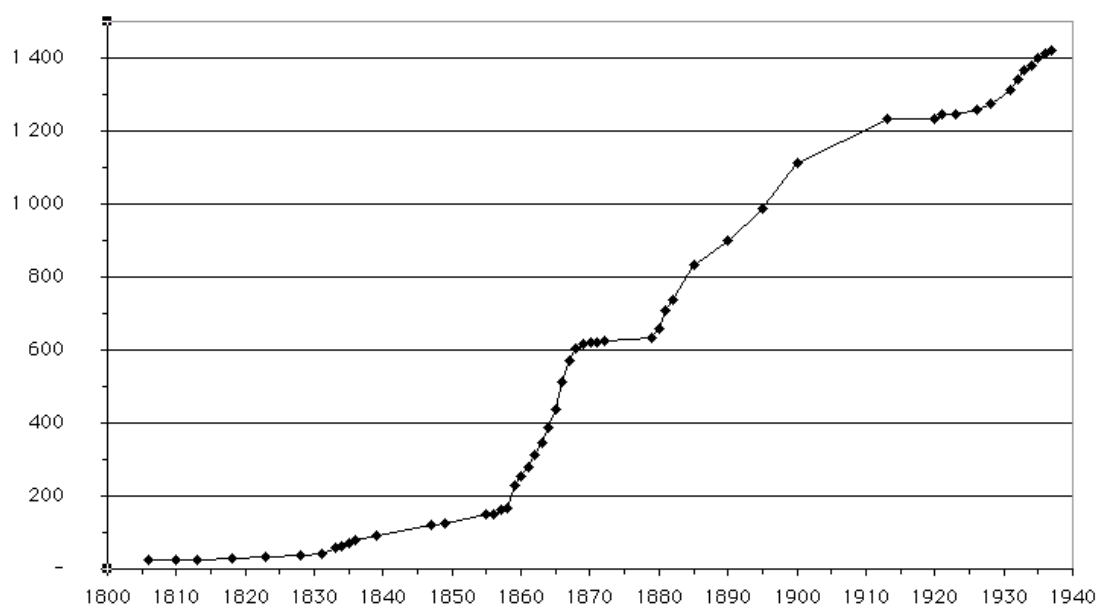


Figure 4. Paris, linéaire des égouts, 1806-1937 (km).

Afin de quantifier les rejets, ce sont ces dernières sources qui ont été mobilisées, la méthode développée pour le premier XIXe siècle n'étant plus applicable faute de sources et compte tenu des modifications du cycle de l'eau induites par les choix techniques. La figure 4 montre l'évolution du linéaire des égouts : il progresse rapidement de 1858 à 1868 environ, puis connaît une relative stagnation pendant une dizaine d'années avant de reprendre une progression rapide à partir de 1880, année où les odeurs de Paris suscitent l'inquiétude des citoyens et sont fortement médiatisées ; un nouveau creux pendant la première guerre mondiale est suivi par une reprise des travaux. Le débit des collecteurs quant à lui (figure 5) est beaucoup plus variable d'une année sur l'autre (effet de la variation des apports), mais ne présente pas les mêmes variations de tendance : malgré les ralentissements du programme de construction des égouts, les volumes collectés sont sans cesse plus importants, du fait de l'augmentation elle aussi incessante des apports. Le taux de collecte, *i. e.* le rapport entre les volumes collectés et les apports (pluie et distribution), stagne néanmoins (figure 5). Pour les années renseignées, il est au plus bas entre 1926 et 1928, en 1930 (45 à 50 %), au plus haut

¹ La mention du débit des drains disparaît malheureusement après la première guerre mondiale dans les *Annuaire statistiques (...)*.

en 1888 et 1935 (près de 80 %), mais n'atteint que 70 % en 1937 : le développement du réseau d'égouts arrive difficilement à rattraper l'envolée de la consommation d'eau.

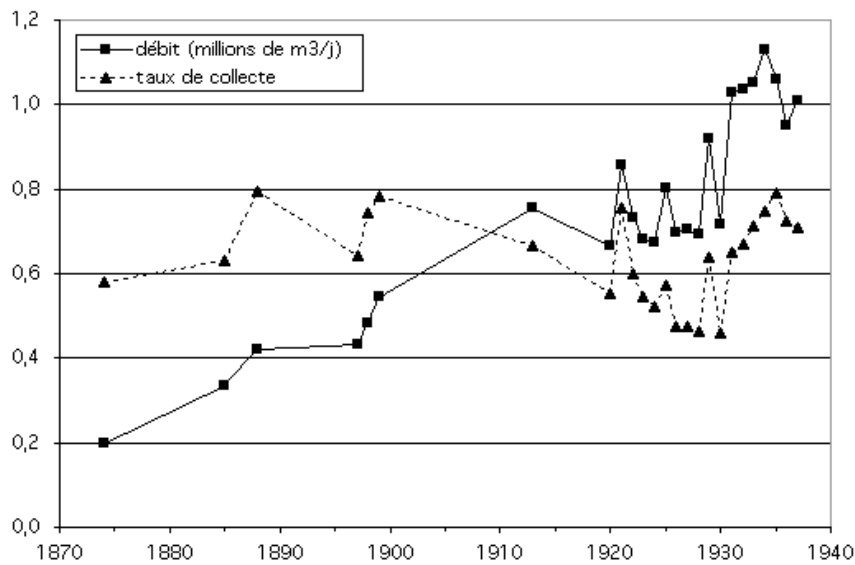


Figure 5. Paris, eau, débit des égouts ($10^6 \text{ m}^3/\text{an}$) et taux de collecte, 1874-1937.

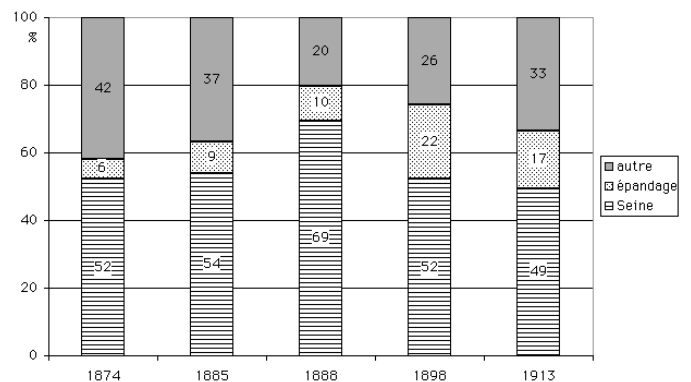


Figure 7. Paris, eau, rejets, 1874-1913 (%).

Figure 6. Paris, eau, rejets (mm) et taux d'épandage (%), 1874-1913.

Seine = collecteurs + drains des champs d'épandage

Épandage = irrigation – drains

Autre = apports totaux - (Seine + épandage)

épandage tt/apports = irrigation / apports totaux

épandage tt/égouts = irrigation / collecteurs

La figure 6, relative au devenir des eaux qu'elles aient été collectées ou pas, montre l'importance des rejets en Seine et le rôle croissant joué par les champs d'épandage dans le cycle de l'eau, en faveur de l'évapotranspiration et de l'infiltration, qui se déplacent ainsi de la ville vers les espaces périurbains. L'examen des pourcentages respectifs (figure 7) traduit pourtant une certaine stabilité des rejets en Seine (environ 50 % des apports), à l'exception de 1888 où elle atteint 70 %. Cette année-là, les apports sont à peu près identiques à ceux de 1885, mais les volumes collectés augmentent : nous sommes en phase d'extension du réseau ; depuis trois ans, le tout-à-l'égout est facultatif ; parallèlement, les surfaces irriguées à Gennevilliers stagnent. En revanche, leur extension

ultérieure leur confère un rôle de plus en plus important puisqu'ils soustraient à la Seine environ 20 % des apports. Cependant, ils ne suffisent pas à éponger l'augmentation parallèle de la consommation d'eau, comme le montre l'importance croissante de la rubrique " autre ", qui comprend non seulement l'évapotranspiration *intra muros* et le ruissellement hors réseau (de surface ou issu de déversoirs d'orage), mais aussi et dans une moindre mesure l'infiltration et les eaux collectées par les égouts particuliers (négligeables : environ 0,2 % des apports totaux (Vincey, 1910)).

3. Cycle de l'azote

Nous avons choisi dans un premier temps de nous intéresser à l'effet de l'évolution des politiques et techniques d'assainissement domestique sur le devenir de l'azote consommé par les Parisiens.

3.1. Des vidanges à l'égout

Jusqu'en 1848, les excréta humains (urines et matières fécales) sont gérés indépendamment de l'eau et recueillis dans les fosses d'aisances creusées sous ou à côté des maisons. Celles-ci sont périodiquement vidangées et les matières qui en sont retirées — les vidanges — sont acheminées à la voirie de Montfaucon, située depuis 1761 au pied de la Butte Chaumont, unique voirie parisienne à partir de 1781. Leur transformation par dessiccation permet la fabrication de la poudrette¹, engrais commercialisé par l'exploitant de la voirie auprès des agriculteurs : les vidanges participent ainsi à une forme de mutualisme entre la ville et la campagne.

Ce système n'est pas exempt de critiques et connaît un certain nombre de dysfonctionnements dès le début du XIXe siècle. On s'émeut alors de la contamination du sous-sol parisien et les décrets de 1809 et 1819 ordonnent la création de fosses étanches et fixent leur mode de construction (Belgrand, 1887). Par ailleurs, deux tendances s'affirment déjà : l'augmentation des volumes collectés (figure 9), celle de la part des liquides dans ceux-ci. L'augmentation de la population urbaine n'est pas seule en cause : l'amélioration des fosses peut en faible partie expliquer cette évolution (nous y reviendrons), comme l'essor très relatif de la consommation d'eau : adoption chez de rares citoyens des toilettes à l'anglaise (équipées de chasses d'eau) et, surtout, déversement de l'eau des baignoires à domicile dans les latrines (Labarraque *et al.*, 1835). Par ailleurs, la voirie de Montfaucon suscite de nombreuses plaintes. C'est pourquoi une nouvelle voirie est mise en service en 1818 à Bondy, au bord du canal de l'Ourcq (Belgrand, 1887). Les vidanges — 20 à 30 % du total — y sont acheminées par voie d'eau à partir de 1824 (Archives de Paris, VO3 462).

La situation n'en est guère améliorée : les volumes continuent d'augmenter — ils quintuplent entre 1797 et 1834 —, la fabrication de l'engrais est compromise par l'abondance des liquides. L'idée qui prévaut alors est qu'il faut préserver l'industrie de la poudrette et plusieurs solutions sont proposées, voire adoptées. À Montfaucon, les eaux en excès sont envoyées à l'égout, à Bondy elles sont perdues dans le sous-sol à partir de 1832, puis rejetées à l'égout, peut-être à partir de 1842 (Barles, 1992). Cependant, on pense très tôt à exploiter ces liquides. Une partie des eaux de Montfaucon permet la production de produits ammoniacaux dès 1836 (Belgrand, 1887)², produits en partie destinés à l'agriculture.

La solution ne semblait pourtant pas satisfaisante, puisqu'une commission fut réunie en 1835 qui conclut " que l'embarras actuel de l'administration provenait du mélange des matières solides avec les matières liquides " et qui préconise une séparation à la source (et non à la voirie) par l'intermédiaire de tinettes filtrantes, ajoutant " tout prouve que l'on peut, sans inconvénient, envoyer à la Seine les liquides provenant des fosses d'aisances " (Labarraque *et al.*, 1835). Cette dernière proposition ne fut pas suivie d'effet, mais le principe de la séparation à la source adopté — bien qu'il ne concerne alors qu'un petit nombre de fosses.

¹ Le brevet — contesté — de la poudrette est déposé en 1796 (Paulet, 1853).

² Un rapport anonyme de 1866 (archives de Paris, VO3 450) signale que cette exploitation, confiée à un fermier distinct de celui de la voirie moyennant une redevance annuelle de 80 000 F, débute dès les années 1820. Nous n'avons pas trouvé trace de cet exploitant.

En outre, Montfaucon continue à émouvoir par sa trop grande proximité de Paris. Cette voirie est fermée en 1848 et le dépotoir de la Villette mis en service en 1849 : les vidanges “solides” (issues des fosses d’aisances traditionnelles et solides des tinettes filtrantes) sont chargées sur des bateaux, tandis que les liquides sont chassés par une conduite, le tout gagnant Bondy. On y produit alors de la poudrette, du sulfate et du muriate d’ammoniaque, de l’alcali volatil (Mille, 1854).

Cependant, la question du devenir des vidanges, et principalement de leur phase liquide, demeure. Les enjeux sont multiples : salubrité, économie, circulation. D’un côté, la vidange apparaît non seulement comme dangereuse — pour les vidangeurs, pour les citadins qui vivent sur un foyer de miasmes, pour les ouvriers et riverains des voiries — mais aussi facteur d’embarras dans un réseau viaire saturé, bien que les vidanges soient effectuées nuitamment. De l’autre, les ingénieurs de la ville de Paris restent convaincus de la valeur des excréta et de la nécessité d’en tirer parti.

Une solution locale est trouvée à Bondy : en 1855, une conduite emmène les eaux en excès vers l’égout de Pantin, qui rejoint le collecteur départemental de Saint-Denis et son exutoire en Seine. Par ailleurs, comme nous l’avons vu précédemment, l’expansion des liquides des fosses d’aisances (1850) puis des eaux-vannes (1867) et enfin de l’intégralité des excréta (1885 et 1894) est progressivement tolérée, puis encouragée, enfin imposée. De ce fait, le circuit des excréta se complique et se diversifie : au Second Empire, ils abondent non seulement les vidanges, transformées à Bondy et dans les voiries particulières, dont l’exploitation est autorisée à partir de 1851¹ ; mais aussi les égouts sans aucune valorisation. Avec la mise en service des champs d’épandage, et malgré le maintien de la vidange dans de nombreuses maisons, ils sont en partie valorisés, sous forme liquide cette fois-ci.

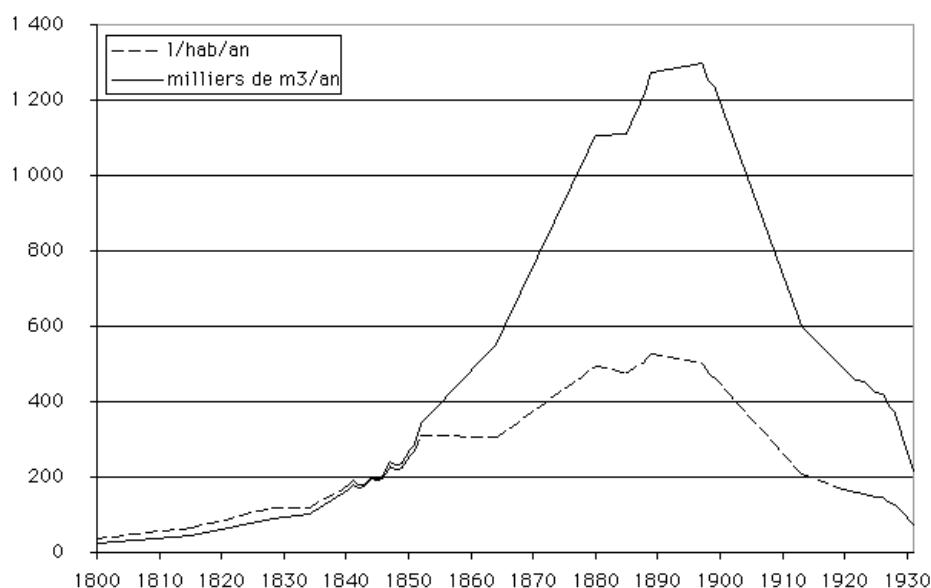


Figure 8. Paris, vidanges, 1800-1931 ($10^3 \text{ m}^3/\text{an}$ et $\text{l}/\text{hab}/\text{an}$).

La connaissance du cycle partiel de l’azote passe donc en premier lieu par celle des volumes extraits des fosses d’aisances et du débit des collecteurs, d’irrigation et des drains des champs d’épandage. Nous avons vu que ces derniers étaient facilement accessibles. En ce qui concerne les vidanges, nous avons pu constituer une chronique assez complète, basée sur des sources certes hétérogènes (Belgrand, 1887 ; Mille, 1854 ; Labarraque *et al.*, 1835 ; Paulet, 1853 ; *Annuaire...*, 1881-1933), pour la période étudiée. La figure 8 montre leur croissance exponentielle jusqu’en 1880 environ, où elle ralentit pour entamer une chute rapide à partir de 1897, à tel point que les *Annuaire*

¹ Ordonnance de police du 8 nov. 1851.

statistiques (...) n'en font plus mention après 1931. L'examen de la production par habitant permet de mesurer l'effet de dilution des matières qui se traduit par une augmentation de la production par tête jusqu'en 1890 environ, augmentation qui suit le même rythme que celle du volume total jusqu'en 1850, puis adopte une marche plus lente que celui-ci, traduisant cette fois l'effet conjoint de l'augmentation de la population parisienne. La décroissance observée pour les deux courbes à partir du tournant du siècle permet de mesurer l'impact de la loi imposant le tout-à-l'égout, mais aussi la lenteur de son application, perceptible aussi dans l'évolution du taux de raccordement à l'égout¹ : 10 % en 1895, 32 % en 1900, 73 % en 1920, 88 % en 1931. Ce ne sont pas trois mais quarante ans qui auront été nécessaires pour que disparaissent les vidanges.

Une fois ces données acquises, et sur la base des teneurs en azote, il est possible de procéder à un bilan partiel. Il s'agit alors de confronter les quantités d'azote produites par les Parisiens à celles qui sont collectées (contenues dans les vidanges et ou dans les eaux d'égout), puis à celles qui sont valorisées (contenues dans les produits fabriqués aux voiries ou "captées" par les champs d'épandage). La première étape (de la production à la collecte) permet de définir un taux de collecte, la seconde (de la collecte à la transformation), un taux de valorisation. Le rendement total est établi en faisant le rapport entre l'azote valorisé et l'azote expulsé. La tâche n'est cependant pas aisée dans la mesure où la composition des matières n'est pas toujours connue, et où, quand elle l'est, se pose la question de la méthode et de la fiabilité de la mesure ; de ce fait, les résultats qui sont présentés ici doivent être considérés comme des ordres de grandeur.

3.2. 1815 et 1852 : azote produit, azote collecté, azote valorisé

Dans le premier tiers du XIXe siècle, le seul débouché des excréta est la poudrette. Sachant que chaque Parisien rejette 10 g d'azote par jour, la quantité totale d'azote expulsée représente, en 1815, environ 2 500 tonnes. Connaissant les volumes extraits des fosses d'aisances (45 000 m³), et en faisant l'hypothèse d'une teneur en azote de 20 kg/m³², nous pouvons en déduire la quantité d'azote contenue dans les vidanges, soit 900 t. Ce premier résultat montre que la perte d'azote dans les fosses d'aisances est considérable puisqu'elle représente deux tiers de l'azote expulsé ; il explique en grande partie la contamination des sols et de la nappe superficielle, d'ailleurs dénoncée par les contemporains. Le rendement en poudrette est alors estimé à 20 %³, c'est-à-dire que 100 m³ de vidange permettent la production de 20 m³ de poudrette, dont la teneur en azote est estimée à 13 kg/m³⁴. On aurait donc produit, en 1815, 9 000 m³ de poudrette contenant 120 tN. Là encore, les pertes sont très importantes, puisqu'elles représentent plus de 85 % de l'azote contenu dans les vidanges. L'azote perdu s'est en partie infiltré dans le sol de la voirie de Montfaucon, et en plus grande partie dissipé par voie atmosphérique. Ce faible rendement de la fabrication de la poudrette est d'ailleurs dénoncé dès les années 1850, le chimiste Maxime Paulet soulignant les " graves défauts de cette méthode, qui fait perdre dans l'atmosphère la plus grande partie des produits utiles à la végétation. " (Paulet, 1853). Quant au rendement total, il n'atteint pas 5 %.

Une démarche similaire a été adoptée pour l'année 1852, dont l'analyse est un peu plus complexe du fait de l'introduction du coulage à l'égout des liquides des fosses, de l'ouverture de voiries particulières et de la diversification des produits fabriqués. Cette année a été néanmoins retenue compte tenu des données disponibles (destination des produits collectés, produits fabriqués à Bondy). Les Parisiens produisent alors 4 000 tN, dont 42 % sont collectées (tableau 2).

Le coulage à l'égout n'entraîne aucune valorisation. En revanche, la transformation des matières à Bondy et dans les voiries particulières permet celle de 360 tN (tableau 3), soit un taux de

¹ Nombre d'immeubles raccordés / nombre total d'immeubles, taux établis à partir des données des *Annuaire statistiques (...)*.

² Nous ne disposons pas à ce jour d'analyses fiables pour cette période. Le chiffre de 20 kg/m³ a été établi sur la base d'analyses postérieures (années 1850 et 1860), corrigées puisque les vidanges sont beaucoup plus concentrées en 1815, concentration estimable à partir de la production par habitant (tant que le rejet à l'égout est négligeable).

³ Rapport anonyme, [1866]. Archives de Paris, VO3 450.

⁴ 15,6 kg/t selon Boussingault cité par Paulet (Paulet, 1853) ; 20 kg/t selon Belgrand (Belgrand, 1887). Une tonne de poudrette pèse 700 à 750 kg.

valorisation de 20 %. Ce résultat est néanmoins à considérer avec précaution si l'on souhaite juger de l'efficacité des procédés employés, dans la mesure où les produits traités ne correspondent pas forcément aux produits reçus aux voiries : tous ne sont peut-être pas traités (d'où la constitution d'un stock à la voirie) ; *a contrario*, des vidanges stockées dans les années antérieures ont peut-être été intégrées à la production (traitement du stock ancien). En outre, la fabrication de la poudrette est très lente. De ce fait, il faudrait pouvoir procéder à cette évaluation année par année à partir de l'ouverture de la voirie de Bondy afin d'effacer l'effet du stock et du temps de fabrication.

Tableau 2. Paris, azote collecté, 1852¹.

	volume (m ³)	azote (kg/m ³)	azote total (t)
liquides envoyés à Bondy	172 680	3,5	600
solides envoyés à Bondy	32 052	10,0	320
voiries particulières	82 910	5,5	460
coulage à l'égout	87 824	3,5	310
total	375 466	4,5	1 690

Tableau 3. Paris, azote valorisé, 1852.

		Quantité	Teneur en azote (kg/m ³ , kg/t)	Azote total (tN)
Bondy	Poudrette	10 000 m ³	13	130
	Sulfate d'ammoniaque	835 t	20	18
	Muriate d'ammoniaque	8 t	50	0,5
	Alcali volatil	40 t	80	3
Voiries part.	Poudrette	16 000 m ³	13	210
Total				360

Pour Bondy, (Beaudemoulin, 1853) ; pour les voiries particulières, sur la base d'un rendement en poudrette de 20 %, celles-ci recevant des " matières fortes ". Les teneurs ont été établies grâce au recoupement de plusieurs sources, imprimées ou manuscrites.

Entre 1815 et 1852, le taux de collecte serait ainsi passé de 36 à 42 % : autant dire que les mesures réglementaires concernant la construction des fosses d'aisances n'ont guère eu d'effet sur l'infection du sol. Les analyses menées par Boussingault en 1858 dans les puits parisiens en attestent, avec des concentrations d'azote pouvant atteindre 300 mg/l (Boussingault, 1858).

3.3. Le sacrifice de la Seine

Dès le Second Empire et plus encore sous la Troisième République, les égouts jouent un rôle de plus en plus important dans le cycle de l'azote. Pour quatre années retenues en raison de la qualité des informations disponibles — 1869, 1888, 1913 et 1931 —, nous avons calculé les quantités d'azote respectivement produites, collectées via les vidanges et collectées par les égouts (figure 10). Comme précédemment, la teneur en azote des vidanges a été établie grâce au recoupement de différentes analyses qui deviennent néanmoins très rares dès lors que l'administration et l'industrie se désintéressent de cette matière première. Les eaux d'égout en revanche font l'objet d'une attention

¹ Volumes établis d'après (*Annuaire...*, 1881 ; Mille, 1854, Paulet, 1853) ; teneurs établies grâce au recoupement de plusieurs sources, imprimées ou manuscrites.

particulière et d'analyses répétées (quelques-unes par an), synthétisées dans les *Annuaire statistiques* (...).

Une première constatation s'impose : pour les quatre années, l'addition de l'azote des égouts et de celui des vidanges donne un résultat supérieur à la quantité produite par les Parisiens. Plusieurs raisons expliquent ce taux de collecte supérieur à l'unité, au-delà des imprécisions des valeurs mentionnées. Les égouts reçoivent en effet un contingent départemental, *i. e.* des eaux provenant d'autres communes du département de la Seine qui représentent environ 10 % de leur débit total. Par ailleurs, une partie de l'azote des vidanges est *in fine* rejetée dans les collecteurs après leur traitement plus ou moins abouti à Bondy ou dans les voiries particulières. En 1869, la voirie municipale reçoit ainsi 600 000 m³ de matières, mais rejette 500 000 m³ d'eaux ammoniacales dans le collecteur de Saint-Denis (Belgrand, 1887). Ce volume est certes négligeable par rapport à celui des égouts (deux cents fois plus élevé), mais ces eaux, certes moins chargées en azote que les vidanges, le sont beaucoup plus que celles des égouts compte tenu du faible rendement des procédés de fabrication que nous avons déjà pu observer. L'azote ainsi transféré de Bondy au collecteur pourrait représenter plusieurs centaines de tonnes pour cette année 1869 ; ce transfert devient négligeable avec la disparition progressive des vidanges. Enfin, l'azote collecté par les égouts ne provient pas uniquement des latrines parisiennes : s'y ajoutent des eaux ménagères et industrielles, mais aussi des eaux de ruissellement qui se sont chargées en matières organiques au contact du sol — on compte près de 80 000 chevaux à Paris en 1880, 55 000 encore en 1912 (Bouchet, 1993). La notion de taux de collecte telle que nous l'avions définie précédemment devient donc caduque.

Néanmoins, la figure 9 traduit bien le transfert progressif de l'azote des vidanges vers les égouts et donc le report de la pression anthropique du sol (infiltrations) et de l'air (pertes d'azote gazeux liées aux procédés de transformation des vidanges) vers le milieu aquatique, pression d'autant plus importante que ce transfert coïncide avec une forte poussée démographique, la population parisienne augmentant jusqu'en 1921 puis stagnant jusqu'à la seconde guerre mondiale.

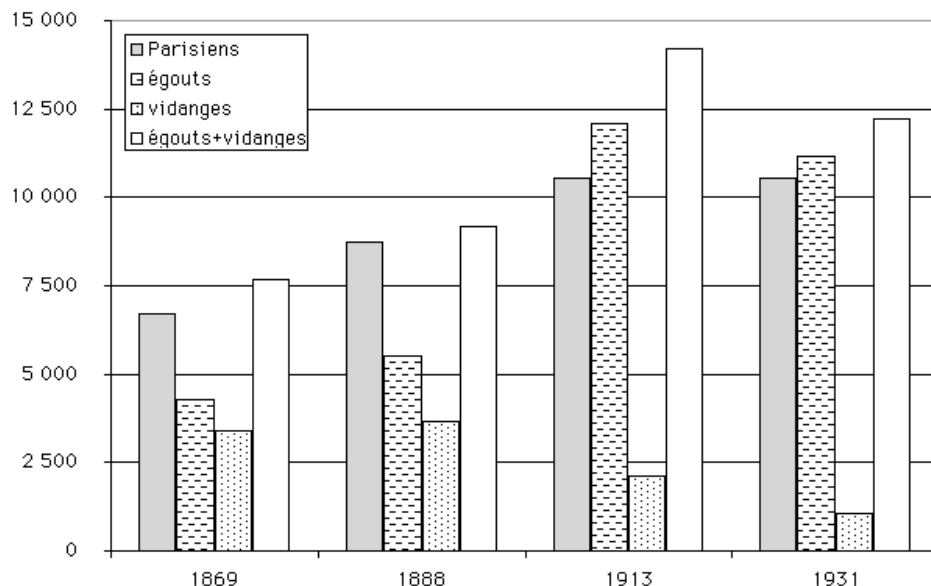


Figure 9. Paris, azote, vidanges et égouts, 1869-1931 (tN).

Reste à examiner le rôle de l'épandage agricole des eaux d'égout dans le cycle de l'azote. Nous avons vu son importance croissante dans le cycle de l'eau jusqu'à la première guerre mondiale : augmentation des volumes épandus, de la part de ceux-ci dans les rejets totaux (*cf. supra*, figure 6) — elle atteint 20 % en 1888, 70 % en 1913. Le même constat peut être fait en ce qui concerne l'azote, dans une proportion moindre cependant : en 1888, 20 % de l'azote contenu dans les eaux d'égout gagne les champs, 50 % en 1913. La part de l'azote rejeté en Seine (rejet direct et rejet *via* les drains

des champs d'épandage) passe ainsi de 99,5 % en 1869 à 86 % en 1888 et 68 % en 1913. Le taux de valorisation tel que défini précédemment serait donc de 32 % en 1913 : mieux qu'en 1815 et en 1852.

Mais ce résultat doit être nuancé (figure 10). En effet, le terme de valorisation n'est pas exact dans la mesure où tout l'azote retenu par les champs n'est pas utilisé par les végétaux. De plus, l'augmentation du taux de valorisation ne doit pas masquer celle des quantités rejetées dans le fleuve — près de 5 000 tN en 1888, plus de 8 000 tN en 1913 — : le développement de l'irrigation agricole ne suffit pas à absorber celui du tout-à-l'égout. Par ailleurs, l'efficacité de l'épandage a tendance à décroître, si l'on considère le rapport entre l'azote épandu et l'azote retenu par les champs : 80 % en 1888, plus que 60 % en 1913. L'augmentation des charges en est responsable : 30 000 m³/ha en 1888, 40 000 m³/ha en 1913.

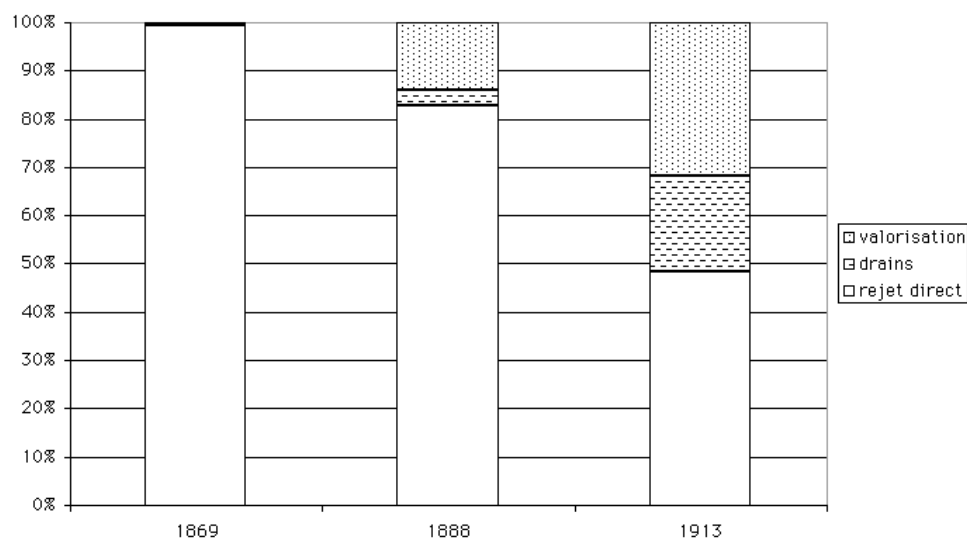


Figure 10. Paris, azote, égouts et épandage, 1869-1913 (%).

On mesure ainsi les limites de l'irrigation agricole, technique coûteuse¹, dévoreuse d'espace alors que l'agglomération parisienne est en pleine extension, et finalement inopérante compte tenu des volumes à traiter. Ce nouveau système technique, basé sur le passage de l'assainissement solide à l'assainissement liquide et sur le maintien de la valorisation des excréta, porté dès les années 1860 par les ingénieurs des ponts et chaussées détachés auprès de l'administration parisienne, est caduc avant même d'être arrivé à maturité. N'ayant pas encore eu accès aux sources concernant le débit des drains, nous n'avons pu établir de bilan d'azote pour l'entre-deux-guerres. Cependant, les volumes épandus montrent alors une tendance à la baisse : il semble que, déjà, l'administration parisienne ne croie plus à l'épandage². En 1929, le schéma général d'assainissement du département de la Seine consacre les eaux usées ; en 1940, la station d'épuration d'Achères est mise en service. Certes, l'épandage agricole sera pratiqué jusqu'en 1999, mais de façon très secondaire.

4. Conclusion

Les quelques résultats présentés ici sont loin d'être définitifs. Toutes les sources n'ont pas été localisées et exploitées ; de nombreuses incertitudes demeurent quant à la qualité de celles qui ont été mobilisées. Il nous semble néanmoins que la démarche adoptée s'avère fructueuse pour qui s'intéresse

¹ En 1900, les recettes des fermages et de la vente des légumes des jardins modèles de Gennevilliers et Achères se montent à peine à 130 421 F, tandis que les seuls frais d'exploitation atteignent 1 875 000 F (Martinet, 1912).

² Malgré le projet d'irrigation de la Champagne sèche dans les années 1920 (Védry, 1992).

à l'histoire de l'environnement. Elle permet de mesurer l'impact des politiques et techniques mises en œuvre sur le milieu et nous en retiendrons quelques éléments marquants.

L'augmentation de la pression anthropique ne fait aucun doute. On mesure bien ici les effets combinés de l'essor démographique, de l'urbanisation, de l'évolution de la société urbaine et industrielle. Le citadin ne rejette pas plus d'azote en 1930 qu'en 1815, mais les citadins sont beaucoup plus nombreux et par conséquent les quantités mises en jeu beaucoup plus importantes. En revanche, l'évolution de la consommation d'eau reflète aussi bien celle de la population que la diversification et l'intensification des usages qui ne se limitent pas à la sphère domestique — on arrose d'autant plus les chaussées que la circulation est intense, pour ne citer qu'un exemple.

La portée de la pression anthropique augmente. Au début du XIXe siècle, l'eau est captée et rejetée dans Paris ; les vidanges sont transformées à ses portes ; les engrais produits ne quittent pas le département. La construction du canal de l'Ourcq, le captage des sources, le forage des puits artésiens, plus tard la construction des barrages réservoirs ; l'éloignement des exutoires, la contamination de la Seine sur un linéaire qui dépasse et de loin la seule traversée de Paris montrent que l'urbanisation de ne se résume pas à une tache ni à la seule consommation d'espace.

Mais la pression anthropique se déplace aussi d'un compartiment de l'environnement à l'autre. Au cours du premier XIXe siècle, une grande partie de l'azote rejeté par les Parisiens gagne le sous-sol peu profond, une autre l'atmosphère ; la Seine semble, de ce point de vue¹, relativement épargnée ; dès la Troisième République, et malgré la valorisation agricole, le milieu aquatique devient le principal exutoire des rejets azotés : la ville y a gagné en salubrité en proportion de la dégradation du milieu. Scientifiques, politiques et techniciens en sont alors et d'ailleurs conscients. Nous n'en concluons pas à une faillite du modèle hygiéniste, dans la mesure où ses objectifs visaient non pas la protection du milieu, mais bien celle des populations, la première pouvant dans certains cas constituer un outil pour la seconde.

L'étude des rapports entre la ville et son milieu ne se réduit pas en effet à la seule approche quantitative qui a été ici privilégiée et qui n'a d'ailleurs été rendue possible que par une analyse préalable des enjeux de l'assainissement de la capitale, qu'elle soit de notre cru ou qu'elle nous ait été fournie par d'autres : l'histoire des vidanges pour ne citer qu'elles est indissociable de celles de l'industrie de l'azote, des engrais, de l'agriculture ; de celles des services publics, de l'administration parisienne, des marchés immobiliers ; de celles de la santé, du confort et des mentalités. L'avènement des eaux usées traduit aussi les mutations profondes de la ville industrielle.

5. Références et sources imprimées

Barles, S. (1992). Point, ligne, ou réseau : les puits artésiens d'absorption en France (1820-1840). *History and Technology* **8**, 167-191.

Barles, S. (1999). *La ville délétère : médecins et ingénieurs dans l'espace urbain, XVIIIe-XIXe siècle*. Champ Vallon, collection Milieux, Seyssel.

Beaudemoulin, L. A. Assainissement de Paris. *Revue de l'architecture et des travaux publics* **11**, 131-138.

Belgrand, E. (1887). *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts - les vidanges*. Paris.

Bouchet, G. (1993). *Le cheval à Paris de 1850 à 1914*. Libr. Droz, Genève.

Boussingault (1858). Note relative à l'emploi industriel et domestique des eaux de puits de Paris (faux titre). *Gazette hebdomadaire de médecine et de chirurgie* **5(29)**, 507-508.

Cebren de Lisle, P. (1991). *L'eau à Paris au XIXe siècle*. Thèse, histoire, Université de Paris I.

Csergo, J. (1990). L'eau à Paris au XIXe siècle : approvisionnement et consommation domestique. In *Paris et ses réseaux : Naissance d'un mode de vie urbain, XIXe-XXe siècles*. Bibliothèque historique de la ville de Paris, Paris. pp. 137-152.

¹ I. e. en omettant les autres types de rejets (artisanat notamment).

- Dacharry, M. (1984). Spécificité de l'hydrologie urbaine. *Bulletin de l'association des géographes français* **500-501**, 99-109.
- Dettwiller, J. (1970). Évolution séculaire du climat de Paris : influence de l'urbanisation. *Mémorial de la météorologie nationale* **52**, 1-77.
- Dupeux, G. (1981). *Atlas historique de l'urbanisation de la France (1811-1975)*. Éd. du CNRS, Paris.
- Emmery, H. C. (1836). Statistique des égouts de la ville de Paris (année 1836). *Annales des ponts et chaussées* **2e sem.**, 265-344.
- Gandy, M. (1999). The Paris sewers and the rationalization of urban space. *Transactions of the Institute of British Geographers* **24**, 23-44.
- Gerards, É. (1907). *Paris souterrain*. Paris.
- Girard, P. S. (1831). *Mémoires sur le canal de l'Ourcq*. Paris. Vol. 1.
- Girard, P. S., Parent-Duchâtelet, A. J. B. (1833). Des puits forés ou artésiens employés à l'évacuation des eaux sales et infectes et à l'assainissement de quelques fabriques. *Annales d'hygiène publique et de médecine légale* **10**, 317-366.
- Hausmann, G. E. (1979). *Mémoires*, vol. II, 1853-1870, *Grands travaux de Paris*. Rééd. [1ère éd. 1890], Guy Durier, Paris.
- Jacquemet, G. (1979). Urbanisme parisien : la bataille du tout à l'égout à la fin du XIXe siècle. *Revue d'histoire moderne et contemporaine* **26**, 505-548.
- Jugie, J. H. (1993). *Poubelle-Paris (1883-1896) : la collecte des ordures ménagères à la fin du XIXe siècle*. Larousse, collection Jeunes talents, Paris.
- Koppitz, U., Voegelé, J. (1999). Urban Metabolism and Statistics of the Rising Modern Water Management in Britain and Germany. In *Nature, Society, History : Long Term Dynamics of Social Metabolism*. Actes du colloque organisé par l'Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities, Vienne, 30 sept.-2 oct. 1999, [réf. du 11 déc. 2000] disponible sur la toile, <<http://www.univie.ac.at/iffsocec/conference99/pdf/ooKoppitz.pdf>>.
- Labarraque, Chevallier, A. A., Parent-Duchâtelet, A. J. B. (1835). Rapport sur les améliorations à introduire dans les fosses d'aisances, leur mode de vidange et les voiries de la ville de Paris. *Annales d'hygiène publique et de médecine légale* **14**, 258-331.
- Martinet (1902). *Encyclopédie municipale*. Paris.
- Mazerolle, L. (1910). Choix du mode de revêtement. In *Deuxième congrès international de la route*. Paris. Rapport 43.
- Mille, A. A. (1854). Mémoire sur le service des vidanges publiques de la ville de Paris. *Annales des ponts et chaussées* **1er sem.**, 129-157.
- Nature, Society, History : Long Term Dynamics of Social Metabolism*. Actes du colloque organisé par l'Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities, Vienne, 30 sept.-2 oct. 1999, [réf. du 11 déc. 2000] disponible sur la toile, <<http://www.univie.ac.at/iffsocec/conference99/index.html>>.
- Paulet, M. (1853). *L'engrais humain (...)*. Paris.
- Prunier-Leparmentier, A. M. (1988). *Les problèmes géologiques et géotechniques de la ville de Paris*. Thèse, géologie de l'ingénieur, École Nationale Supérieure des Mines de Paris.
- Tarr, J. A. (1996). Water and Wastes : A Retrospective Assessment of Wastewater Technology in the United States, 1800-1932. In Tarr. *The Search for the Ultimate Sink : Urban Pollution in Historical Perspective*. The University of Akron Press, Akron (Ohio). pp. 179-217.

Védry, B. (1992). *Contribution à l'histoire des procédés d'épuration biologiques des eaux résiduaires*. Mémoire de D.E.A., histoire des techniques, C.N.A.M., Université de Paris IV et de Paris VIII, E.H.E.S.S.

Vincey, P. (1910). *L'assainissement de la Seine et les champs d'épandage de la ville de Paris*. Paris.

Annuaire statistique de la ville de Paris, année... (1881-1940).

Recherches statistiques sur la ville de Paris et le département de la Seine. (1821, 1823). Paris. Vol. 1 & 2.