

Azote urbain (XIXe-XXe siècle) (action 6.6)

Sabine Barles¹ et Laurence Lestel²

¹ *Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, FRE CNRS 2408 Cité, Institut français d'Urbanisme, 4 rue Nobel, Cité Descartes, F-77420 Champs-sur-Marne, sabine.barles@univ-paris8.fr*

² *CDHT-CNAM, 5 rue du Vertbois, 75003 Paris*

Azote urbain (XIXe-XXe siècle) (action 6.6)	1
1. Introduction	1
2. Ville, industrie et agriculture : une approche qualitative.....	2
2.1. La ville au secours de l'industrie.....	2
2.2. Rendre à la terre... ..	5
2.3. L'intégration des activités	7
2.4. Le divorce.....	9
2.5. Conclusion.....	10
3. Vers la quantification : premiers travaux	11
3.1. Apports et rejets.....	11
3.2. Le métabolisme industriel	15
3.2.1 L'industrie parisienne au début du XIXe siècle	15
3.2.2 L'industrie de l'azote au début du XXe siècle	17
4. Conclusion et perspectives	19
5. Bibliographie.....	19

1. Introduction

La phase III du PIREN-Seine a permis de lancer un certain nombre de travaux exploratoires et partiels concernant le cycle urbain de l'azote. L'impact des techniques de stockage, de collecte et de valorisation et ou de traitement des *excreta* humains et des eaux urbaines a ainsi pu être évalué pour les deux derniers siècles, bien que la quantification ne soit pas encore totalement aboutie. Pour la phase IV, il s'agit d'aller plus loin dans l'analyse du métabolisme urbain, et, en ce qui concerne l'action 6.6, du cycle parisien de l'azote et de l'effet trophique de la capitale.

Outre l'importance de celui-ci au titre des éléments biogènes, le choix de l'azote est motivé tant par le rôle considérable qu'il joue dans l'industrie parisienne dès le début du XIXe siècle, donc par les importants flux correspondants, que par l'abondance relative des sources disponibles compte tenu de l'intérêt porté par les contemporains à la « question de l'azote », qu'il soit envisagé comme une ressource industrielle ou agricole (fertilisant) ou comme un facteur de contamination de l'eau et d'insalubrité urbaine¹. À titre d'exemple, il est probable que l'étude directe du phosphore serait beaucoup plus hasardeuse, dans la mesure où l'intérêt pour cet élément est moins précoce et moins constant en milieu urbain².

Pour l'année 2002, les travaux se sont engagés dans plusieurs directions :

- analyse qualitative des interactions entre ville, industrie et agriculture, premiers essais de périodisation ;

¹ Cette thématique fera l'objet d'une communication à la 2^e conférence internationale de l'European Society for Environmental History (ESEH), Prague sept. 2003 : « The nitrogen question: urbanisation, industrialisation and river quality, Paris (France), 19th century ».

² Son analyse pourrait néanmoins être envisagée dans de futurs travaux.

- apports et rejets : dépouillement exploratoire des données de l'octroi parisien ; boues et ordures ménagères, chroniques, première analyse des modes de collecte et de traitement ;
- industrie : identification des sources, étude de certains procédés et processus.

2. Ville, industrie et agriculture : une approche qualitative³

Le rôle des agglomérations dans la dégradation environnementale, l'ouverture des cycles biogéochimiques, les déséquilibres qui affectent la biosphère tout entière est aujourd'hui largement débattu. Les villes apparaissent ainsi comme des systèmes entièrement dépendants de ressources extérieures qu'elles contribuent à épuiser, qui ne peuvent se maintenir qu'au prix d'importations massives de matières et d'énergie et d'exportations tout aussi importantes de polluants et déchets divers. Cette analyse, issue de l'écologie industrielle et de l'écologie urbaine telles qu'elles se sont constituées et formalisées à partir des années 1960, semble poser en principe la consubstantialité de l'industrialisation et du gaspillage, les politiques urbaines conduites depuis deux siècles n'ayant pas cherché à lutter contre les origines et les conséquences du second, l'hygiénisme ayant largement contribué à accroître la pression urbaine sur les milieux extérieurs et s'étant finalement désintéressé des effets néfastes pour l'environnement des techniques adoptées.

C'est cette vision monotone de l'évolution des rapports sociétés-milieux depuis deux siècles que nous interrogerons ici, en privilégiant une approche qualitative du métabolisme urbain, c'est-à-dire en nous intéressant aux matières qu'elle mobilise et à leur devenir⁴, au regard qui leur est porté par les acteurs urbains, édiles, ingénieurs, scientifiques, dans le cas particulier de la capitale française. Nous verrons ainsi que les deux derniers siècles peuvent être scindés en deux voire trois périodes se traduisant par les relations très différentes qui unissent la ville et son environnement. La première correspond à la première industrialisation, et est caractérisée par une imbrication très forte entre ville, industrie et campagne, et, partant, par une limitation tant de la production de déchets que de l'ouverture des cycles biogéochimiques. La deuxième, dont les bornes sont extrêmement difficiles à établir, possède des caractéristiques inverses : divorce ville-industrie-campagne, « création » des déchets urbains, ouverture généralisée des cycles. La troisième enfin, qui correspondrait aux dernières années et qui n'a probablement pas encore réellement débuté à Paris, se traduirait par une remise en cause de la deuxième et par la recherche d'une nouvelle forme de complémentarité visant à limiter les usages dissipatifs des matières et de ce fait la pression sur les ressources et la production de déchets inutiles.

2.1. La ville au secours de l'industrie

Le premier constat qu'est immédiatement conduit à faire qui veut tenter d'établir le métabolisme parisien du premier XIXe siècle est le caractère spatialement indissociable de Paris et de son industrie — en 1823 par exemple, on compte 102 usines et établissements établis sur les bords de la Bièvre dans le département de la Seine, dont 90 dans Paris (*Recherches...*, 1823) —, bien qu'elle se développe aussi aux portes de la capitale ou sur les berges de la Seine, à l'aval (Guillerme, Jigaudon, Lefort, 2002). Par conséquent, établir le métabolisme urbain signifie prendre en compte non seulement celui des ménages mais aussi celui de l'artisanat et de l'industrie. Mais la proximité spatiale n'est pas seule à justifier ce choix : l'examen des différents réactifs et matières utilisés par l'industrie chimique en plein essor montre qu'ils sont, en partie du moins, constitués de ce que nous avons choisi d'appeler des « matières premières urbaines » et qui constituent aujourd'hui, pour une grande partie d'entre elles, les déchets urbains (Tableau 1).

La mobilisation industrielle des produits de la ville n'est pas nouvelle, comme le montre l'exemple du salpêtre : ses matières premières lui sont fournies au XVIIIe siècle par le raclage des murs humides et la collecte des cendres, dans la plupart des cas après leur utilisation par les blanchisseurs (Lavoisier 1777) ; au début du siècle suivant, on ne racle plus mais on emploie les gravats parisiens, qui permettent encore la production de 450 t de poudre en 1824 dans le département

³ Ce texte reprend un article à paraître en 2003 (Barles, 2003b).

⁴ Nous ne traiterons pas de l'énergie, qui mériterait un travail approfondi.

de la Seine (qui compte alors 25 salpêtrières dont 24 à Paris) (*Recherches...*, 1826)⁵, bien que le salpêtre urbain soit alors en plein déclin compte tenu de la concurrence du salpêtre exotique. Les chiffons permettent la production du papier depuis le Bas Moyen Âge — mais il n’y a pas de papeterie à Paris, et peu en France sous l’Ancien Régime (André, 1996). D’ailleurs le chiffonnage « n’était pas une industrie dont pouvaient vivre ceux qui s’y adonnaient. Il en fut ainsi jusqu’à la Révolution » (Barberet, 1887).

Tableau 1: Les matières premières urbaines, première moitié du XIXe siècle*.

Matériau	Utilisation industrielle	Utilisation agricole (engrais)
Co-produits de la viande, équarrissage	Suif	
	Tableterie	
	Colle et gélatine	Marc de colle
	Sulfate d’ammoniaque (alun)	Sulfate d’ammoniaque
	Produits ammoniacaux divers	
	Sang (raffinage du sucre)	Sang desséché
		Engrais composés
Vieilles chaussures	Charbon animal (raffinage du sucre)	Noir animal (après 1822)
Chiffons de laine	Fabrication de drap (effilochage)	Engrais (emploi direct)
	Cyanoferrure de potassium	
	Papier (petites quantités)	
Chiffons de chanvre, lin, coton	Papier	
Vieux papiers	Carton	
Verre cassé	Verre	
Cendres	Potasse factice	Cendres lessivées ou charrées
	Blanchisserie	
	Savonnerie	
	Salpêtre	
Matériaux de démolition		
	Épuration du gaz d’éclairage	
Boues et gadoues		Gadoues vertes/noires
Urines et excréments humains et animaux		Poudrette
		Fumiers
		Urate
		Engrais composés
		Sulfate d’ammoniaque et produits ammoniacaux divers
Co-produits de la fabrication du gaz d’éclairage	Alcali volatil	
	Goudron	
	Coke	

* Bilan provisoire, métaux non compris.

Le XIXe siècle est marqué par un recours plus intense aux matières premières urbaines, qui seules permettent l’essor industriel de la capitale qui est la plus à même, compte tenu de l’abondance et de la densité de sa population, de fournir la demande de l’industrie naissante. Le chiffon d’origine végétale en est l’un des exemples les plus connus⁶, puisqu’il a fallu que les hommes et les femmes s’habillassent, que le textile usé existât, pour que la production de papier fût possible.

⁵ On en produisait 300 t par an à Paris au moment de la Révolution. (*Mémoire pour les salpêtriers de Paris...*, 179., p. 22).

⁶ L’enjeu est tel que l’exportation des chiffons est interdite de 1771 à 1863 ; ils sont frappés d’un droit de douane jusqu’en 1881.

L'industrialisation et la mécanisation de la papeterie — qui permet d'ailleurs l'utilisation des chiffons de coton, de plus en plus nombreux, en complément de ceux de chanvre et de lin —, l'augmentation de la consommation de papier⁷, la diversification de ses usages font monter le cours du chiffon, qui entre pour moitié dans le coût de fabrication (André, 1996), et dont il faut environ 1,5 kg pour fabriquer un kilogramme de papier (Firmin-Didot, 1854, p.83). Louis André (1996) montre ainsi que l'une des conséquences de la mécanisation de la papeterie est la réorganisation de la profession des marchands de chiffon, et le poids toujours plus considérable de Paris, centre de consommation du papier, centre de production du chiffon, où de nombreux négociants vont installer leurs dépôts.

Le cas de l'os est moins connu mais très significatif. L'os constitue en effet une matière première non seulement anthropique (l'élevage est une activité anthropique) mais aussi urbaine (jusqu'aux années 1960, les abattoirs sont majoritairement implantés en milieu urbain, et les os employés au XIXe siècle sont quasi exclusivement d'origine urbaine, qu'ils proviennent des tueries, des boucheries, ou des ménages). Les os, qui représentent environ 20 % du poids total des animaux, se répartissent en os de grandes dimensions destinés à la tabletterie, « os très-minces et spongieux des têtes, de l'intérieur des cornes, etc. » (Payen, 1859, vol. 2, p. 488) à gélatine ou à colle, os secs et os gras humides, issus des boucheries, dont on extrait le suif. Dès les premières décennies du XIXe siècle, ces usages s'intensifient : Darcet fait la promotion de l'utilisation alimentaire de la gélatine lorsque le blocus fait craindre pour l'approvisionnement, gélatine qui a de beaux jours devant elle avec l'essor ultérieur de la photographie ; la tabletterie et ses multiples articles séduisent les citadins. S'y ajoute bientôt la production du phosphore, que l'on extrait des os à partir des années 1770 et qui trouve un débouché industriel dans les années 1830 lorsque est mise au point l'allumette inflammable par frottement, dont l'extrémité est enduite d'une pâte au phosphore. À la fin des années 1850, la fabrication des allumettes emploie déjà 1 500 ouvriers à Paris, 800 à 1 000 ailleurs en France (Payen, 1859, vol. 2, p. 562).

Mais le boum industriel de l'os vient d'ailleurs. Au tout début du XIXe siècle, le pharmacien Pierre Figuiet montre que, encore plus que le végétal, le charbon animal « a la propriété singulière d'absorber complètement la couleur d'un grand nombre de solutions végétales ou animales, et de rendre parfaitement limpide et incolore l'eau qui en était chargée » (Dumas, 1828-1833, vol. 1, p. 448). Avec quoi prépare-t-il son charbon ? « En calcinant dans un creuset fermé des os de bœuf ou de mouton » (Figuiet, 1873, vol. 2, p. 22). L'écho est immédiat dans le très petit monde de la sucrerie indigène, stimulé par le blocus qui prive la France de tout approvisionnement colonial. Limouzin, pharmacien à Albi, emploie le charbon animal à « la décoloration du sirop de raisin, succédané momentané du sucre de canne » (Figuiet, 1873, vol. 2, p. 23) ; dès 1813, Derosne et Payen l'utilisent dans leur usine de sucre de betterave de Grenelle, Pluvinet dans celle de Clichy (Payen, 1859, vol. 2, p. 487). L'emploi du charbon animal se généralise et permet l'augmentation de production de sucre indigène, le prix de revient passant de 12 F/kg en 1813 à 1,40 F/kg en 1815 (Figuiet, 1873, vol. 2, p. 26). Il est par la suite utilisé indifféremment lors de l'extraction et du raffinage du sucre brut — indigène ou colonial après le déclin provisoire du premier —, associé à un coagulant : une autre matière première urbaine, le sang de bœuf, autrefois utilisé seul, et, à défaut de sang, d'œufs « rarement employés en raison de leur prix élevé » (Orfila, 1831, vol. 2, p. 22 ; Payen, 1859, vol. 2, p. 249). Sa production se perfectionne (charbon en grains), et reste longtemps associée à celle des sels ammoniacaux, en partie destinés à la fabrication de l'alun. La consommation de sucre explosant — elle quintuple en France entre 1788 et 1887 (Payen, 1859, vol. 2, p. 176-177 ; Foville, 1890, p. 246) — la demande d'os suit.

Le marché du sucre étant essentiellement urbain — quand, dans les années 1850, la consommation française moyenne est de 5 kg/hab/an, elle dépasse 11 kg/hab/an à Paris (Payen, 1859, vol. 2, p. 177) —, les os l'étant aussi, les fabriques de charbon animal et les raffineries de sucre s'implantent préférentiellement aux abords des villes, et principalement à Paris et dans les ports. On compte ainsi 64 usines de charbon animal en France dans les années 1850 dont 31 à Paris (Moreau de Jonnés, 1856, p. 305) : « une grande partie du charbon d'os consommé en France et dans nos colonies, se fabrique dans le département de la Seine. On le comprend, car la matière première y est plus

⁷ Inférieure à 1,5 kg/hab en France en 1850, elle dépasse 3 kg/hab/an dans les années 1870 (Payen, 1877-78, vol. 2, p. 660) (et se monte à 180 kg/pers/an en 1999).

abondante que partout ailleurs » (Payen, 1859, vol. 2, p. 487). Dans ce cas, la localisation industrielle (charbon animal et sucre) est aussi bien due au fait bien connu que la ville est un lieu de concentration de la main d'œuvre, de consommation et de distribution, qu'à la nature spécifiquement urbaine d'une partie de la matière première.

« On peut se rendre compte de l'importance de ce produit, en disant qu'un kilogramme de sucre raffiné, sortant de fabrique, représente un kilogramme de noir. » (Barreswil, Girard, 1861-1862, vol. 2, p. 458) Le besoin d'os n'a de cesse, et explique en grande partie, aux côtés du besoin de chiffons, l'âge d'or que connaît le chiffonnage parisien (Tableau 2), d'autant plus que si ces deux matières constituent dans un premier temps ses principaux produits, de nombreux autres s'y ajoutent. Le chiffon de laine, quasiment inutilisable pour la papeterie, trouve un débouché agricole (Caillat, col. 135), puis industriel dans les usines d'effilochage et de trituration pour la fabrication de drap neuf (Fontaine, 1903, p. 60). Il en va de même du vieux papier, produit relativement nouveau qui naît avec la consommation de papier neuf : imprimé, il demeure de peu de valeur et sert essentiellement à l'emballage, blanc, il entre dans la fabrication des papiers de basse qualité et dans celle d'un matériau en plein essor, le carton ; des boîtes en fer, qui naissent avec la conserverie et sont à l'origine à partir des années 1850 d'une nouvelle activité, le désoudage, qui consiste à séparer l'étain de la soudure et le fer blanc de la boîte, tous deux revendus, douze établissements le pratiquent encore en 1902 dans le département de la Seine, employant plus de 150 personnes (Fontaine, 1903, p. 98). Et puis il y a les vieux bouchons de liège, que 2 000 ouvriers transforment en produits neufs à Paris au début des années 1880 ; les vieilles boîtes de sardines qui, si elles ne sont pas fondues, sont utilisées par les fabricants de jouets (*Bulletin...*, 1884, p. 174, 192) ; les écailles d'huîtres, dont Louis Figuiet (1873, vol. 2, p. 214) écrit qu'elles sont ramassées « depuis quelques années [...]. Ces débris de nos tables sont broyés, et vont enrichir nos champs d'un engrais fertilisant, composé de phosphate de chaux » — Paris consomme alors environ quinze millions d'huîtres par an. « On recueille même les écailles de moules, pour un usage industriel qui est encore tenu secret », ajoute Figuiet.

Tableau 2 : Effectif des chiffonniers parisiens, XIXe siècle.

Année	Effectif	Source
1828	50 000	Guiot, 1986
1830	2 000	Julliot, 1830
1851	25 000	Barberet, 1887
1853	14 000	Fontaine, 1903
1869	7 000	Lévy, 1869
1876	12 000 à 15 000	Bouchardat, 1876
1884	6 500	<i>Bulletin...</i> , 1884, p. 171
1884	7 050	<i>Bulletin...</i> , 1884, p. 211
1884	35 000	Barberet, 1887
1884	40 000	Barberet, 1887
1884	41 000	Barberet, 1887
1884	80 000	Barberet, 1887
1886	41 000	Luynes cité par Fontaine, 1903
1901	2 500	Vincey, 1901
1902	5 000	Fontaine, 1903
1902	20 000 à 30 000	syndicats cités Fontaine, 1903

2.2. Rendre à la terre...

Cependant un autre impératif se fait jour, alimentaire celui-ci. La population française augmente, l'urbanisation gagne. Il faut donc nourrir tout ce monde, et en particulier ces nouveaux citadins. De là le besoin, affirmé et réaffirmé, d'augmenter les rendements agricoles, notamment par un meilleur engraissement des sols. Comme le souligne Nathalie Jas (2001, p. 59) « dans les années 1820, bien avant que la science ne comprenne la nutrition végétale, s'organise en France une véritable chasse à l'engrais ». La ville en constituera bientôt la principale mine, dans les esprits sinon dans les faits, et Paris la plus grande d'entre elles.

L'*engrais humain*, telle est la question longuement débattue (Barles, 2002 ; Barles, 2003a). À Paris, on fabrique depuis la fin du XVIII^e siècle la poudrette, engrais sec et pulvérulent préparé à l'aide des vidanges des citadins, et l'assainissement domestique est une opération rentable non seulement pour les compagnies de vidanges mais aussi pour l'adjudicataire de la voirie de Montfaucon, qui vend l'engrais, et enfin pour la ville qui loue la voirie et en tire « un revenu qui n'est pas à négliger » (Girard, 1833, p. 64). La poudrette connaît un grand succès, mais a ses inconvénients : temps de fabrication (plusieurs années), faible concentration des principes fertilisants, fabrication rendue difficile par l'augmentation relative de la consommation d'eau qui dilue les vidanges et gêne leur dessiccation, qui la font qualifier de « méthode détestable, *barbare* » par Maxime Paulet (1853, p. 265) qui lui reproche la perte énorme d'azote gazeux due à la lenteur de la fabrication. Tout l'enjeu sera donc la mise au point d'« un autre produit, plus récent, plus industriellement obtenu [...] : c'est le sel ammoniacal. » (Commission des engrais, 1865-1866, vol. 1, p. 42). Le sulfate d'ammoniaque est extrait des urines recueillies à la voirie de Montfaucon dans les années 1830⁸ ; dès les années 1850, les usines d'engrais, employant des procédés divers, se multiplient autour de Paris et les investisseurs luttent d'influence pour prendre les vidanges de la capitale. En 1872 pour ne citer que cet exemple, une compagnie anglaise va jusqu'à proposer à la ville de Paris 6,07 F/m³ de vidanges pour en remporter l'adjudication, quand ses prédécesseurs n'en donnaient pas un franc (Archives de Paris, VO3 437). Certes, la compagnie anglaise tombe rapidement « en pleine déconfiture » (Archives de Paris, VO3 163), mais l'échec ne rebute pas ses concurrents et la préfecture de la Seine est assaillie de courriers, mémoires et brochures d'entrepreneurs qui se proposent de prendre en charge les vidanges parisiennes et qui tous reposent sur le même argumentaire : la solution proposée est conforme à l'intérêt général — salubrité urbaine et soutien à l'agriculture — et hautement rentable. Du receveur-buraliste de la Loire-Inférieure à Solvay, les candidats se bousculent (Archives de Paris, VO3 163). Alternative à la poudrette et aux autres procédés de transformation, la méthode flamande, qui consiste à épandre les vidanges fraîches, séduit brièvement les compagnies de chemins de fer, car « ces sortes de transports donnent de la charge aux trains, qui en manquent toujours à la sortie des villes » (Commission des engrais, 1865-1866, vol. 1, p. 515).

Dans ces conditions, on pourrait penser que le tout-à-l'égout s'oppose à la complémentarité ville-agriculture. Néanmoins, le projet tel qu'il est mis au point dans les années 1860 par Adolphe-Auguste Mille et Alfred Durand-Claye, s'il entre bien dans le schéma de réticulation généralisée de la capitale, est indissociable de l'irrigation agricole par les eaux d'égout. L'objectif des ingénieurs publics n'est finalement pas différent de celui des entrepreneurs privés : on ne saurait laisser perdre ces matières, puisque « une tonne d'eau d'égout vaut 0f.10, ou si l'on veut, coûterait 0f. 10 à fabriquer, rien qu'en achat de matière première » (Mille, Durand-Claye, 1869, p. 10). Le moyen est cependant différent : envoyer les eaux-vannes à l'égout, irriguer de vastes surfaces à l'aide de ces eaux imprégnées de matières organiques et fertilisantes mais suffisamment diluées, c'est rentabiliser directement et en toute salubrité, disent-ils, les excréta des Parisiens, c'est aussi supprimer l'incommodité des opérations de vidanges, et reporter le bénéfice de leur exploitation sur la ville de Paris. Le projet rallie progressivement la communauté des ingénieurs, Eugène Belgrand y adhère en 1871 (Belgrand, 1888), le tout-à-l'égout est facultatif en 1885, obligatoire à partir de 1894, la surface d'épandage culmine en 1900 à 5 100 ha.

Parallèlement, les boues de rues, ce qu'il reste des futures ordures ménagères et déchets municipaux après chiffonnage, font l'objet d'une attention croissante et l'enjeu du nettoyage urbain, très caractéristique du XIX^e siècle, est encore une fois associé à l'enjeu agricole. Si leur qualité est controversée, les boues contribuent largement à la production alimentaire périurbaine. F. Julliot affirme en 1830 (p. 11) que « une grande partie des immondices est enlevée dès le grand matin par les habitants de la campagne », peut-être la moitié du volume total. Le reste est apporté aux voiries où elles confissent et mûrissent, et, de gadoues vertes, se transforment en gadoues noires, diversement exploitées par les cultivateurs. Après la suppression des voiries publiques et urbaines en 1831, les boues sont directement transportées chez leurs utilisateurs : en 1850, sur les 356 voies (700 m³) évacuées chaque jour de Paris, 353 sont apportées chez les fermiers (Darcy, 1850, p. 214). Le rôle des

⁸ D'abord production annexe, il devient la principale source de revenu de la voirie de Bondy dans les années 1890.

gadoues va grandissant au Second Empire et Bouchardat (1876, p. 4) écrit : « Ce mode d’opérer, véritable œuvre de génie qui, en sauvant la santé publique, a permis de fertiliser, à bas prix, les terres les plus incultes et de leur faire produire jusqu’à six récoltes annuelles de primeurs, ne saurait être abandonné. » Les projets du préfet Eugène Poubelle, s’ils visent à rationaliser le dépôt dans la rue, la collecte et l’évacuation hors la ville (Jugie, 1993), ne remettent d’ailleurs pas en cause la valorisation agricole : à la fin du XIXe siècle, la surface cultivée du département de la Seine se monte encore à 28 000 ha, dont 17 000 ha (60 %) fumés à la gadoue (Tableau 3), dont les excédents sont exportés dans les départements voisins (Vincey, 1896, p. 40). « C’est ainsi qu’à environ 25 kilomètres de Paris, le prix de location de terrains de culture à terre sablonneuse, a doublé en une quinzaine d’années », écrit Arthur Fontaine (1903, p. 74), qui ajoute que là où il fallait quarante hectares pour faire vivre une famille, il n’en faut plus que huit, grâce aux gadoues.

Tableau 3 : Engrais utilisés dans le département de la Seine (1892) (Vincey, 1896).

Gadoues (t)	Fumier de litière (t)	Eaux d’égout (m ³)	Engrais minéraux (t)	Vidanges (t)	Poudrette (t)
223 760	576 425	37 125 162	598	1 995	21

2.3. L’intégration des activités

Au-delà de ce que la ville donne à l’industrie d’une part, à l’agriculture d’autre part, on constate une imbrication toujours plus grande de ces trois pôles, ville, industrie et agriculture.

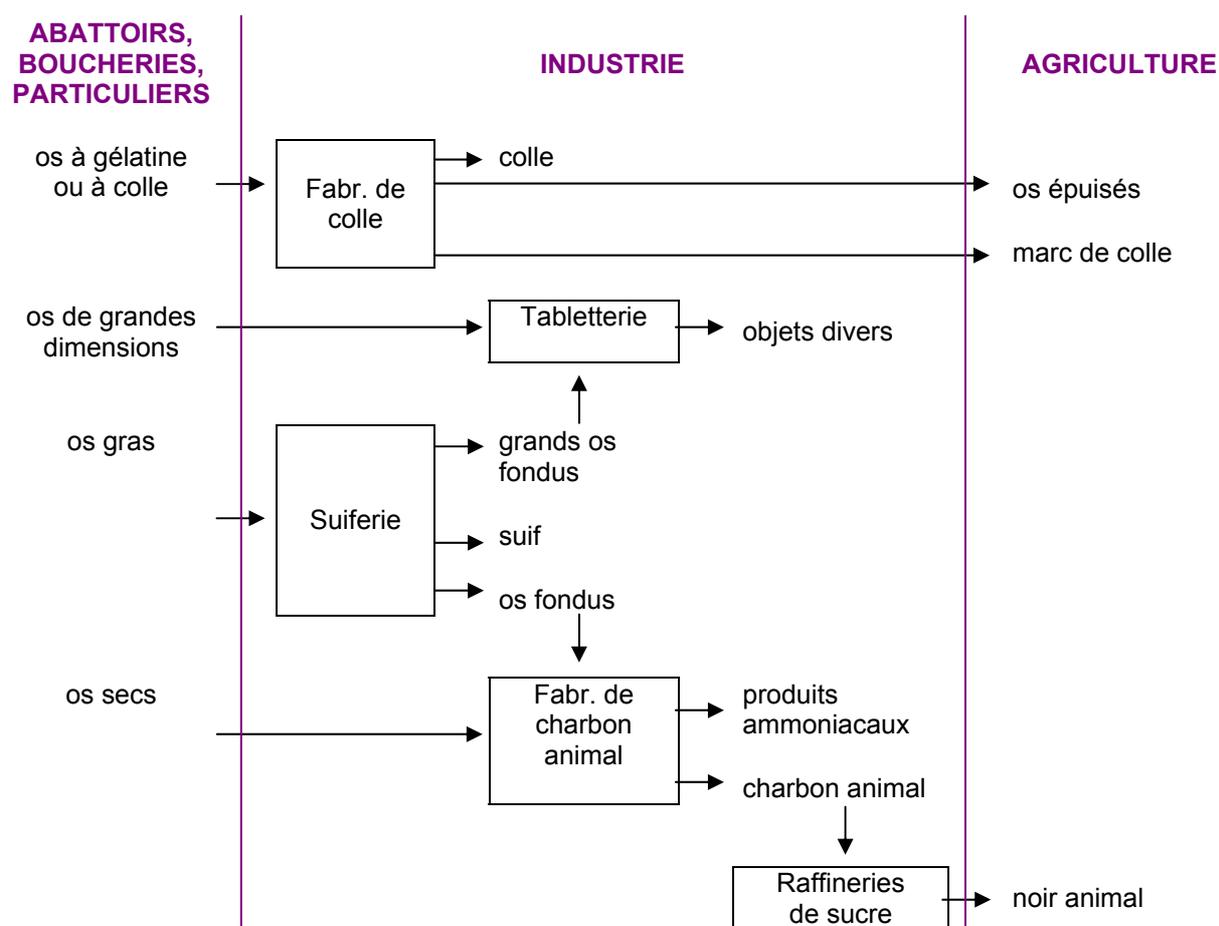


Figure 1 : Cycle de vie de l’os, Paris années 1820.

Revenons quelques instants aux os et charbon animal. Comme le remarque en 1878 Camille Vincent, « Dans les premières années de l'application, dans les raffineries, du noir fin et du sang de bœuf pour la décoloration et la clarification des sirops, le résidu de cette opération, mélange de charbon d'os et de sang coagulé, était entassé dans les sucreries et raffineries, puis transporté aux décharges publiques. En 1822, à la suite d'un concours où Payen avait indiqué l'application, nouvelle alors, qui en 1820 et 1821 avait réussi dans la culture des terres récemment défrichées, on essaya ces résidus comme engrais ; les résultats furent tellement heureux, que les raffineurs purent bientôt commencer à vendre cette matière, dont le cours, graduellement élevé, dépasse souvent aujourd'hui le prix du noir d'os en poudre fine. » (Payen, 1877-78, p. 706-707) Sa qualité lui vient précisément de ce qu'il mêle os carbonisés riches en phosphore et sang coagulé riche en azote : le charbon animal usé fournit un meilleur engrais que le neuf.

Ce processus d'optimisation des flux ne se limite donc pas à l'intégration verticale et à l'augmentation des rendements industriels, toutes deux bien réelles⁹, et la complémentarité ville-industrie-campagne se traduit, non pas par une ouverture délibérée des cycles biogéochimiques, mais plutôt par une tentative de bouclage en particulier en ce qui concerne les matières organiques. Il est d'ailleurs frappant que dans certains cas, la fabrication se substitue, au moins partiellement, à l'extraction¹⁰. Elle ne constitue en outre pas uniquement un héritage préindustriel, mais est bien significative de cette première industrialisation, et la ville n'impose pas ses résidus à l'agriculture et à l'industrie : celles-ci lui en font une pressante demande¹¹.

On pourrait arguer du fait que cette complémentarité n'est pas recherchée, mais s'établit de manière plus ou moins inconsciente, ou est dictée par les mécanismes du marché. On note en effet, et de manière constante, que certaines matières susceptibles de fournir des engrais de bonne qualité ne sont pas utilisées comme telles parce que trop onéreuses du fait de la demande industrielle. C'est le cas des cendres neuves, au sujet desquelles Caillat (1866, col. 438-439) signale : « Malgré l'efficacité de cet amendement, son usage est restreint en agriculture ; les cendres ont une valeur assez grande, à cause des nombreux usages qu'on en fait dans les arts, pour les lessives, les savonneries, etc. » ; dans cette perspective, l'utilisation des cendres lessivées apparaîtrait comme un pis-aller. Caillat note néanmoins que les cendres des savonneries fournissent de bons résultats « parce que, outre l'addition de chaux, elles peuvent être mélangées de certaines portions de graisse ou autres parties animales. » La cendre lessivée serait finalement à la cendre neuve ce que le charbon animal usé est au charbon animal neuf.

Tableau 4 : Statistique des principes de la fertilité agricole, Paris, 1895 (kilogrammes)
(Vincey, 1901).

	Azote	Acide phosphorique	Potasse
Approvisionnement			
Animaux	6 828 516	2 182 839	3 655 609
Humains	16 626 460	6 078 457	5 596 455
Évacuation			
Gadoues	2 166 129	1 767 105	1 197 071
Fumiers	3 917 631	2 508 491	1 197 321
Vidange	3 981 204	452 409	193 889
Eaux d'égout	13 174 179	3 445 576	5 934 047

Le bouclage des cycles de matières¹² apparaît en outre de manière de plus en plus explicite au XIXe siècle comme un enjeu de gestion urbaine, au même titre que la salubrité et l'hygiène. Nombreux sont les scientifiques et les intellectuels qui militent pour la restitution de ces « matières dont les villes doivent compte à la terre » (Commission des engrais, 1865-66, vol. 2, p. xxxi), *i. e.* les

⁹ Il suffit pour s'en convaincre de lire les éditions successives du *Précis de chimie industrielle* de Payen.

¹⁰ Je remercie Laurence Lestel, qui m'a fourni d'utiles précisions sur ce point.

¹¹ Ce qui ne signifie pas que les riverains aient accepté les activités concernées.

¹² La notion de cycle de matière émerge au XVIIIe siècle, notamment chez Lavoisier (Drouin, 1991 ; Barles, 1999).

urines et excréments humains. Le titre de l'article publié par Durand-Claye en 1872 est à ce titre révélateur : « Assainissement municipal : quantité de matière azotée expulsée chaque jour de Paris ». Au-delà de la description, Durand-Claye se demande comment boucler le cycle de l'azote ; l'enjeu est de taille, puisque de ce bouclage dépend la capacité de nourrir une population en pleine croissance. De même, quand Vincey (1901) établit sa « Statistique des principes de la fertilité agricole » (Tableau 4) pour Paris, il ne fait rien d'autre qu'établir un bilan de matière, bref, un métabolisme urbain.

2.4. Le divorce

Cette forme d'équilibre ne durera pas, bien que la résistance à l'ouverture des cycles soit longue et que la date du divorce varie d'un secteur à l'autre.

Dans le cas du papier, le tournant serait pris en France à partir des années 1860, avec l'émergence des succédanés du chiffon. Le chiffon imposait en effet une double contrainte à l'industrie papetière : économique d'une part, du fait de son poids dans le coût de production, quantitative d'autre part : « les débris des tissus des diverses substances textiles deviennent de jour en jour plus insuffisants, à mesure que la consommation de papier atteint de plus grandes proportions, que l'instruction se propage et que la publicité prend un essor plus rapide », écrit Vincent (Payen, 1877-78, vol. 2, p. 605). Si la recherche de succédanés débute dès le XVIII^e siècle, elle ne devient industriellement compétitive que dans les années 1860 (André, 1996), si bien que, dans les années 1870, « il n'entre plus ni lin, ni chanvre, ni coton dans la plus grande partie des papiers de journaux et des papiers de qualité moyenne, mais uniquement de la paille, du sparte, et du bois », tandis que « l'emploi du chiffon, en raison de son prix de revient élevé, tend à se restreindre de plus en plus à la fabrication des papiers fins » (Payen, 1877-78, vol. 2, p. 608).

Dans d'autres cas, une concurrence émerge entre matières premières d'origine végétale et animale respectivement, conduisant à la suppression de « l'étape urbaine » dans la filière de production. C'est le cas du charbon animal, progressivement remplacé par le charbon actif, produit de la combustion incomplète de bois, noyaux d'olive, coque de noix de coco, tourbe, pâtes à bois, etc.¹³ ; c'est aussi le cas de la colle pour la fabrication de laquelle l'amidon, la fécule, la dextrine (obtenue par hydrolyse de l'amidon) s'imposent au XX^e siècle¹⁴, avant le développement de produits synthétiques. De ce fait, même si la production de gélatine perdure, comme celle de suif à usage non alimentaire, les principaux débouchés des co-produits des abattoirs ont connu une transformation radicale au XX^e siècle, avec une réorientation vers l'alimentation animale. Parallèlement, les abattoirs se sont déplacés des villes vers les centres d'élevage, si bien que si la dénomination de matières premières anthropiques demeure valable, celles-ci ne sont plus urbaines. De même, l'*os de Paris*, très prisé pour la tabletterie au XIX^e siècle, est-il détrôné par les grandes conserveries étrangères, plus rurales qu'urbaines.

Ce désintérêt pour les matières premières urbaines frappe en premier lieu les chiffonniers parisiens, par ailleurs très malmenés par la généralisation des boîtes à ordures et dont l'industrie est en crise dès la fin du XIX^e siècle. Si la commission municipale de 1862 relative aux ordures ménagères concluait : « Cette industrie, dont le mode est repoussant, doit être encouragée à cause des produits utiles qu'elle donne à la fabrication du papier, du carton, du noir animal » (*Bulletin...*, 1884, p. 171), d'utilitaire, le discours relatif aux chiffonniers se fait social : mieux vaut des chiffonniers que des chômeurs et des voleurs.

La rupture ville-industrie est ainsi doublement consommée, d'une part parce qu'une partie des activités s'éloigne de la ville, d'autre part, et surtout, parce que l'industrie chimique va chercher ailleurs ses matières premières. La seule exception significative concerne probablement la verrerie, qui a de manière continue reposé sur l'utilisation de verre de récupération (calcin).

La rupture ville-campagne est tout aussi significative et a contribué à l'instauration de deux nouvelles catégories, le déchet urbain et les eaux usées, deux expressions absentes de la littérature du XIX^e siècle. Dans le cas parisien, la résistance a été longue, et ce n'est que dans l'entre-deux-guerres que ville et agriculture se séparent. L'essor de la population, l'extension spatiale de l'agglomération

¹³ Nous ne sommes pas encore en mesure de préciser les circonstances de cette mutation.

¹⁴ Les colles à base de caséine ne nécessitent pas le passage par la ville.

parisienne, la généralisation de la distribution d'eau à domicile, celle, plus lente, du tout-à-l'égout, l'évolution des modes de vie et de consommation entraînent une augmentation continue des excréta urbains, que seules les deux guerres freineront momentanément. Paris et son agglomération produisent des ordures ménagères et des eaux résiduaires en quantités toujours plus considérables et, qui plus est, en continu, tandis que l'agriculture, dont la demande est saisonnière, s'éloigne de la capitale (le territoire cultivé du département de la Seine tombe à 14 000 ha en 1929, 7 000 ha en 1952 (Ministère de l'Agriculture, 1960)).

Les premiers efforts de l'administration visent à s'adapter à ces contraintes, d'une part en tentant une industrialisation du chiffonnage et une rationalisation du tri des ordures dans les usines de traitement mises en service à partir de 1896 ; d'autre part en cherchant de nouveaux débouchés pour les gadoues : l'incinération des ordures ménagères, qui suscite l'opposition d'agronomes tels Vincey, est expérimentée dès les années 1890 ; rapidement la récupération d'énergie est adoptée, consacrant une nouvelle forme de valorisation. « Le principe est des plus séduisants. Les ordures elles-mêmes produisent la force nécessaire à leur enlèvement » (Girard, 1923, p. 359)¹⁵ : elles sont chargées sur des tombereaux électriques alimentés par les usines qui les brûlent, tandis que les mâchefers sont utilisés en remblai ou à la fabrication de briques. Bref, on affirme encore en 1923 que « Le problème dans toute sa généralité consiste à extraire le plus de sous-produits *marchands* possible » (Pautot, 1923, p. 345). Cependant, dès les années 1930 la capacité d'incinération et la demande agricole ne suffisent plus à écouler les ordures ménagères : la mise en décharge débute en 1938.

Du côté des égouts, la situation n'est pas meilleure. Les surfaces d'épandage s'avèrent rapidement insuffisantes et dans les années 1920 on songe à en irriguer et fertiliser la Champagne sèche, pauvre et dévastée par la guerre ; le projet n'est pas mis en œuvre¹⁶ et dès les années 1930 le principe d'une station d'épuration est admis et inscrit dans le Schéma général d'assainissement de la Seine ; la première tranche de la station d'épuration d'Achères est mise en service en 1940. La coïncidence des dates n'est pas fortuite.

En outre, le marché des engrais a évolué. De nouvelles productions, plus commodes, plus fiables, viennent concurrencer les engrais humains et urbains, d'autant plus que l'augmentation des rendements nécessite des apports toujours plus importants de fertilisants. Ces nouveaux produits sont issus soit de gisements naturels (superphosphates mis au point dans les années 1840 en Angleterre, dont la production commence en France dans les années 1860 ; extraction des sels de potasse en Allemagne à partir des années 1860, importations françaises à partir de 1880 (Daujat, 1957)) ; soit de la récupération industrielle (scories de déphosphoration à la fin du XIXe siècle ; sulfate d'ammoniaque issu des fours à coke à la fin du XIXe siècle) ; soit de la synthèse (ammoniac à partir de 1905) (Matignon, 1931). Dès l'entre-deux-guerres, les fertilisants urbains (sulfate d'ammoniaque excepté, mais il disparaîtra de la ville avec le gaz de houille) deviennent marginaux : la ville n'est plus une mine d'engrais.

Ces ruptures ont des conséquences non négligeables en termes d'impacts sur les milieux. En effet, dès lors que la gestion des excréta, d'activité essentielle non seulement à la salubrité mais aussi à l'économie, à l'industrie et à l'alimentation, devient « une charge inéluctable » (Joulot, 1946, p. 175) dont le seul objectif est de préserver la santé des citadins et la propreté urbaine, les efforts de réduction des rejets s'amenuisent, les équipements de traitement marquent un retard constant par rapport aux besoins. De là la multiplication des décharges, de là le sacrifice de la Seine.

2.5. Conclusion

Nous nous en sommes tenue à une approche essentiellement qualitative du métabolisme parisien et des rapports ville, industrie, agriculture. Il faudrait la compléter par une quantification de ces échanges de matières qui montrerait probablement, comme nous l'ont suggéré quelques travaux exploratoires, que l'optimisation tant recherchée au XIXe siècle, bien qu'effective, n'a pas eu tous les

¹⁵ Le procédé, expérimenté de 1914 à 1920, est abandonné compte tenu du coût élevé de la traction électrique, mais la valorisation énergétique demeure pour d'autres usages.

¹⁶ Les coûts d'investissement étaient considérables, tandis que les comptes d'exploitation des champs d'épandage parisiens montraient qu'on était loin des bénéfices escomptés grâce à la production agricole.

effets escomptés et en particulier que la ville rend finalement peu à la campagne, que l'industrie, bien qu'améliorant ses rendements, dissipe beaucoup — ne serait-ce que parce que les flux augmentent —, avec les effets que l'on imagine sur les milieux urbains et périurbains.

Se pose aussi la question de l'exemplarité parisienne. Comparée aux autres villes françaises, la capitale est celle où on a le plus recyclé et valorisé, parce que le plus grand et le plus dense gisement de matières premières urbaines, parce que la ville où la conjonction des impératifs hygiénistes, industriels, agricoles, alimentaires, économiques et politiques a été la plus forte. C'est aussi pourquoi le « divorce » y a été le plus tardif, d'autres villes ayant renoncé à la valorisation des excreta bien avant. Dès l'entre-deux-guerres, à Nice, « les ordures sont amenées, tous les deux jours, à l'aide d'un chaland qu'un petit remorqueur traîne jusqu'à environ 8 kilomètres du rivage. Mais les ordures reviennent souvent vers la côte de la baie des Anges, le long de la promenade des Anglais. » Marseille rejette ses eaux d'égouts à la mer « à 12 km. de la ville, derrière une colline, par un fond de 30 à 60 m. avec des courants allant au large. » (Courmont, 1932, p. 348-350). Beaucoup de villes rejettent dans les rivières et lacs. Le report des nuisances aux marges de la cité est ici bien réel, l'assainissement de la seconde se faisant par le sacrifice des premières.

Cependant, les questions débattues à Paris sont largement internationales, comme le devient le marché des matières premières urbaines au XIXe siècle, comme en témoignent la similitude des discours relatifs au recyclage en France, en Allemagne et en Angleterre (Marald, 1999), celle des techniques adoptées (irrigation agricole par les eaux d'égout (Tarr, 1988 ; Goddard, Sheail, 2001)). Comme en témoignent aussi les expériences conduites à l'étranger lorsque s'annonce la rupture entre ville, industrie et agriculture (incinération des ordures ménagères avec récupération d'énergie).

Nous avons par ailleurs suggéré, en introduisant ce texte, qu'une troisième période semble s'annoncer. La pression urbaine sur les ressources et les milieux est en effet dénoncée depuis les années 1960, sa maîtrise progressivement entrée dans les politiques publiques depuis. Si leur traduction au niveau francilien ou parisien a conduit à une nette amélioration de la gestion des eaux usées et des déchets au cours des quinze dernières années, les cycles biogéochimiques demeurent largement ouverts et leur fermeture semble relever de la gageure.

3. Vers la quantification : premiers travaux

3.1. Apports et rejets

La compréhension du métabolisme de l'azote passe en premier lieu par la quantification des entrées et sorties identifiables de matières. En ce qui concerne la ville de Paris, nous disposons d'une précieuse source, constituée par les relevés des matières soumises à l'octroi en vigueur jusqu'à la seconde guerre mondiale (Figure 2). Celle-ci permet de connaître avec une relative précision (relative compte tenu de la fraude) les entrées dans la capitale de :

- Matières alimentaires (à l'exception notable de la farine et du blé, non taxés, mais pour lesquelles d'autres sources existent) ;
- Combustibles (bois, charbon, houille, coke) ;
- Matériaux de construction ;
- Fourrages (foin et paille) et céréales destinés à l'alimentation animale (avoine et orge, en grande partie consommés par les chevaux) ;
- Ainsi que de quelques matières éparses (sel, cire, acides et bougies stéariques, suif, asphalte, bitume).

DÉSIGNATION DES OBJETS	UNITÉ sur laquelle portent les droits	QUANTITÉS soumises aux droits pendant l'exercice 1888	RÉSULTATS correspondants de l'exercice 1887	PRODUITS perçus en principal et décime pendant l'exercice 1888	PRODUITS correspondants de l'exercice 1887
1	2	3	4	5	6
Boissons					
Vins en cercles et en bouteilles.....	Hectolit.	4.344.609 53	4.287.671 89	46.144.026 98	45.539.317 90
Alcool pur et liqueurs.....	—	147.199 78 41	141.554 51 89	11.747.424 87	11.296.878 33
Alcool pur contenu dans les vins alcoolisés.....	—	1.419 14 67	1.393 91 62	226.763 58	222.721 97
Cidres, poirés } à l'entrée.....	—	477.211 63 1/2	474.062 80	708.846 54	696.254 20
et hydromels } à la fabrication.....	—	1.538 88	1.511 20	6.155 52	6.044 80
TOTAUX.....				58.833.217 49	57.761.214 20
Alcools dénaturés					
Alcool pur contenu dans les préparations dites alcool dénaturé.....	Hectolit.	20.205 54.05	19.619 69.21	151.571 23	147.474 59
Alcool pur contenu dans les préparations dites alcool dénaturé (ancien tarif).....	—	1.672 66.06	316 84.09	133.500 70	25.291 71
TOTAUX.....				285.071 93	172.463 30
Liquides autres que les boissons					
Vinaigre contenant en acide	Hectolit.	36.740 45	37.883 18	661.328 10	681.897 24
8 0/0 et au-dessous.....	—	1.457 14	1.527 14 1/2	39.342 78	41.232 92
9 à 12 0/0.....	—	84	05	30 24	1 80
13 à 16 0/0.....	—	1 02	01	68 86	68
17 à 30 0/0.....	—	146 92	461 83	13.222 80	14.565 42
31 à 40 0/0.....	—	57 44.75	63.09 1/2	10.340 55	11.357 10
au-dessus de 40 0/0.....	100 kil.	4.768 800	3.967 540	10.729 92	8.927.07
Acide acétique cristallisé.....	100 kil.	2.467 59 1/2	1.587 50	29.011 14	19.050 »
Fruits et conserves au vinaigre, lie de vin, verjus, sureau, etc.....	Hectolit.	1.314.313 1/2	1.278.325 1/2	689.461 99	670.582 36
Huile d'olive.....	100 kil.	12.938.376 700	11.393.937 54	4.242.691 38	3.736.261 78
Huile de toute autre espèce.....	—	66.273	70.325	21.749 96	23.078 75
Huile animale sortant des abattoirs.....	—	242.302 64	245.794 82 1/2	3.634.539 60	3.686.922 38
Bière.....	Hectolit.	19 541 24	17.223 22	293.118 60	258.348 30
à l'entrée.....	—	8.412.303	8.626.162	484.599 58	496.932 07
à la fabrication.....	—	227.653 24	211.207 58	4.917.375 08	4.562.143 58
Raisins.....	100 kil.	7.166 67 1/2	7.039 94	154.819 88	152.081 38
Huiles et essences minérales.....	Hectolit.	14.139 87 1/2	14.020 43 1/2	161.232 17	159.868 91
Vernis gras.....	—	26.427 75 1/2	25.674 21 1/2	269.616 96	261.923 67
Couleurs à l'huile.....	—	715.260	884.094	5.155 27	6.369 99
Essences autres que celles minérales.....	100 kil.	165 42.47	1.442 72.64	13.206 55	115.148 41
Goudron liquide à l'état brut.....	Hectolit.	1.811.906 1/2	325.292 1/2	577.285 85	103.641 33
Ether et chloroforme.....	100 kil.				
Raisins secs.....	100 kil.			16.229.527 26	15.010.335 14
TOTAUX.....					
Comestibles					
Enlèvement des abattoirs	100 kil.	127.177.543	128.421.012	12.381.723 93	12.502.744 13
Viande de boucherie.....	—	49.642.916	18.300.625	1.912.249 83	1.781.576 79
Viande de porc.....	—	34.756.314 1/2	31.072.138	4.033.894 69	3.606.339 64
Provenances de l'extérieur	—	2.784.504	3.706.101	323.237 18	430.182 99
Viande de porc.....	—	2.238.772 1/2	2.152.463	509.860 99	490.202 45
Charcuterie.....	—	96.849 5	141.529 85	139.469 49	160.608 90
Truffes, volaille et gibier truffés.....	—	1.419.906 1/2	1.299.685 1/2	511.166 34	467.886 78
Viandes confites, poissons marinés, etc.....	—	642.385	724.113 1/2	481.802 15	543.099 18
1 ^{re} catégorie.....	—	13.408.504 1/2	14.237.500	4.022.551 35	4.271.277 »
2 ^e —.....	—	4.046.950	4.645.922	728.451 »	836.265 96
3 ^e —.....	—	6.523.911 1/2	6.689.733 1/2	587.152 04	602.076 08
4 ^e —.....	—	2.219.272 1/2	2.348.088 1/2	892.237 18	944.014 69
1 ^{re} catégorie.....	—	2.113.421	2.220.318 1/2	456.559 21	479.643 58
2 ^e —.....	—	187.214	417.839	11.232 66	25.070 34
Huitres à coquilles lourdes.....	—	1.916.334	2.076.845 1/2	344.940 12	373.832 19
à coquilles légères.....	—	14.192 1/2	15.174 1/2	5.109 30	5.461 74
d'Ostende.....	—	5.743.819	5.276.236 1/2	342.829 14	316.574 19
de Portugal.....	—	3.454 1/2	3.873 1/2	414 54	464 82
marinées.....	—	18.823.870 1/2	17.999.916 1/2	2.710.832 81	2.592.196 63
Beurres de toute espèce.....	—	5.380.837	5.322.194 1/2	613.479 85	606.793 06
Fromages secs.....	—	21.469.885	21.405.844	901.921 14	899.230 54
Œufs (1).....	—				
TOTAUX.....				31.944.114 94	31.935.531 68

(1) On estime que 30 œufs pèsent en moyenne 1 kil.

Pour tous les articles, dont la taxe portée dans la colonne 2 correspond à 100 kilog. (comestibles, etc.), comme pour ceux imposés au nombre, tels que les ardoises au millier, ou les lattes, le foin et la paille, à la centaine de bottes, les quantités portées dans les colonnes 3 et 4 n'expriment que l'unité réelle, par dérogation à la règle adoptée pour les objets imposés à l'hectolitre, au stère ou au mètre cube, ainsi que pour les bateaux dont les quantités sont portées conformément à l'indication précise de la colonne 2.

Figure 2 : Matières soumises à l'octroi (extrait), 1887-1888 (Tableaux..., 1888)

Les relevés de l'octroi, qui peuvent être complétés par les statistiques du mouvement des tueries et abattoirs, halles et marchés, contribuent donc à la connaissance de la part humaine¹⁷ (Tableau 5) et animale des flux d'azote. Ils peuvent aussi, dans une certaine mesure, contribuer à celle de sa part industrielle, bien qu'ils ne puissent y suffire. À titre d'exemple, nous avons vu le rôle considérable joué par les co-produits de boucherie dans l'industrie parisienne ; on pourra facilement déduire du mouvement des abattoirs les importations d'os destinés en grande partie à la fabrication du charbon animal.

Tableau 5 : Importations alimentaires à destination humaine, Paris, vers 1810 d'après (Benoiston de Châteauneuf, 1820-21).

Denrées	kg/an	% N	tN/an
Pain	123 923 834	1,8	2 231
Viande	32 961 400	3,4	1 121
Poisson	4 859 920	3,4	165
Œufs	4 070 000	2,1	85
Beurre	3 042 000	0,14	4
Fromage	861 000	3,7	32
Sucre	5 368 472	0	0
Huile	1 545 000	0	0
Café	2 440 000	0,17	4
Cacao	122 500	0,17	0
Pruneaux	233 240	0,17	0
Vin	77 835 368	0,034	26
Eau de vie	4 400 000	0	0
Cidre	3 651 300	0,05	2
Bière	7 590 430	0,05	4
Total	272 904 464		3 675

Tableau 6 : Caractéristiques des chroniques relatives aux boues et ordures ménagères.

Période	Données	Unités de compte	Portée
1800-1867	Données très lacunaires	Volumes	Paris
1867-1899	Enlèvements annuels	Volumes	Paris
1900-1920	Enlèvements annuels	Volumes	Paris
	Destination (usines)	Volumes	Paris
	Modalités de traitement	Volumes	Paris
	1921-1929	Enlèvements annuels	Tonnages
Destination (usines)		Tonnages	Paris
Modalités de traitement		Tonnages	Paris
1930-1967	Enlèvements annuels	Tonnages	Paris
	Destination (usines)	Tonnages	Périmètre de la TIRU (Paris + 20
	Modalités de traitement	Tonnages	puis 32 puis 50 communes)

En outre, si la phase III du PIREN-Seine a permis la constitution de chroniques relatives aux vidanges et aux eaux usées, nous avons laissé de côté les rejets solides, boues et ordures ménagères. Ces chroniques ont pu être constituées en 2001 (Figure 3, Figure 4, Figure 5). Si jusqu'en 1929 les données concernent la seule capitale, elles sont étendues à certaines communes de banlieue à la fin des années 1920, à la création de la société TIRU (traitement industriel des résidus urbains) (Tableau 6). Par ailleurs, jusqu'en 1920 les boues et ordures ménagères sont mesurées en volume, puis en poids à partir de 1921. La concordance n'a pas encore pu être établie, dans la mesure où nous disposons de très peu de données renseignées pour les deux types de mesures et où ce changement correspond précisément à une période d'évolution importante de la composition des ordures ménagères, donc de

¹⁷ Voir la quantification effectuée par Gilles Billen lors de la précédente phase du PIREN-Seine (Barles *et al.*, 2002).

leur densité. Nous avons par ailleurs récolté un certain nombre de données relatives à leur composition, qui n'ont pas encore été exploitées.

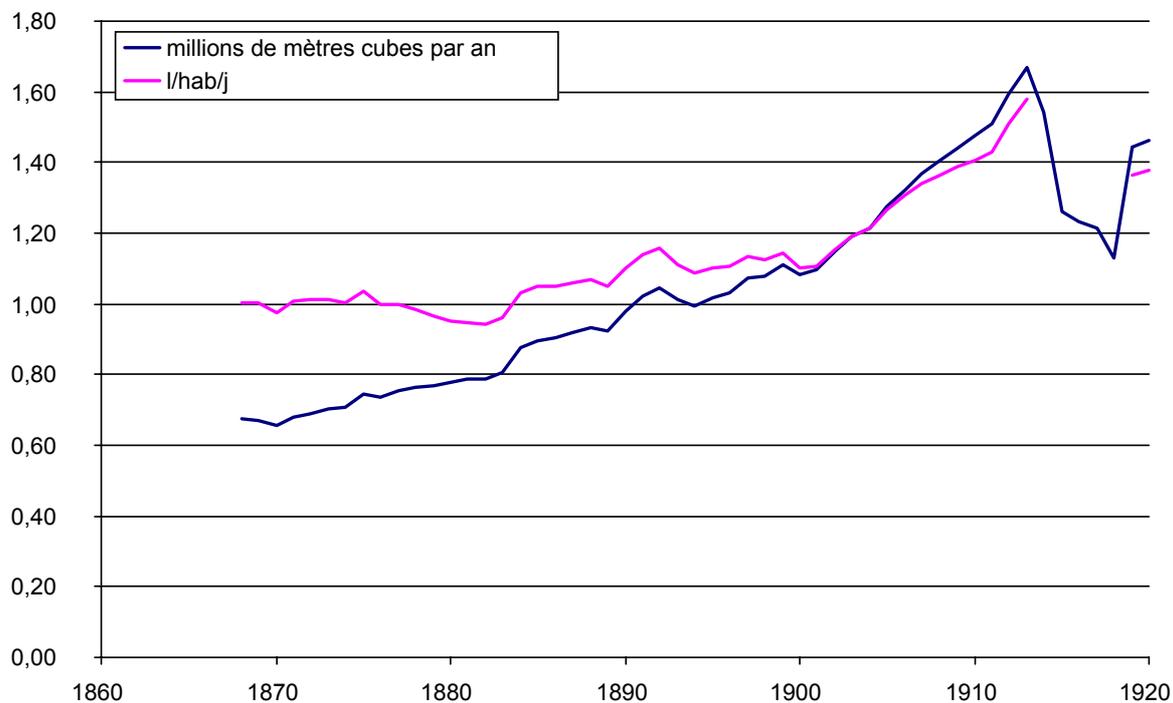


Figure 3 : Boues et ordures ménagères, enlèvements annuels, Paris, 1868-1920.

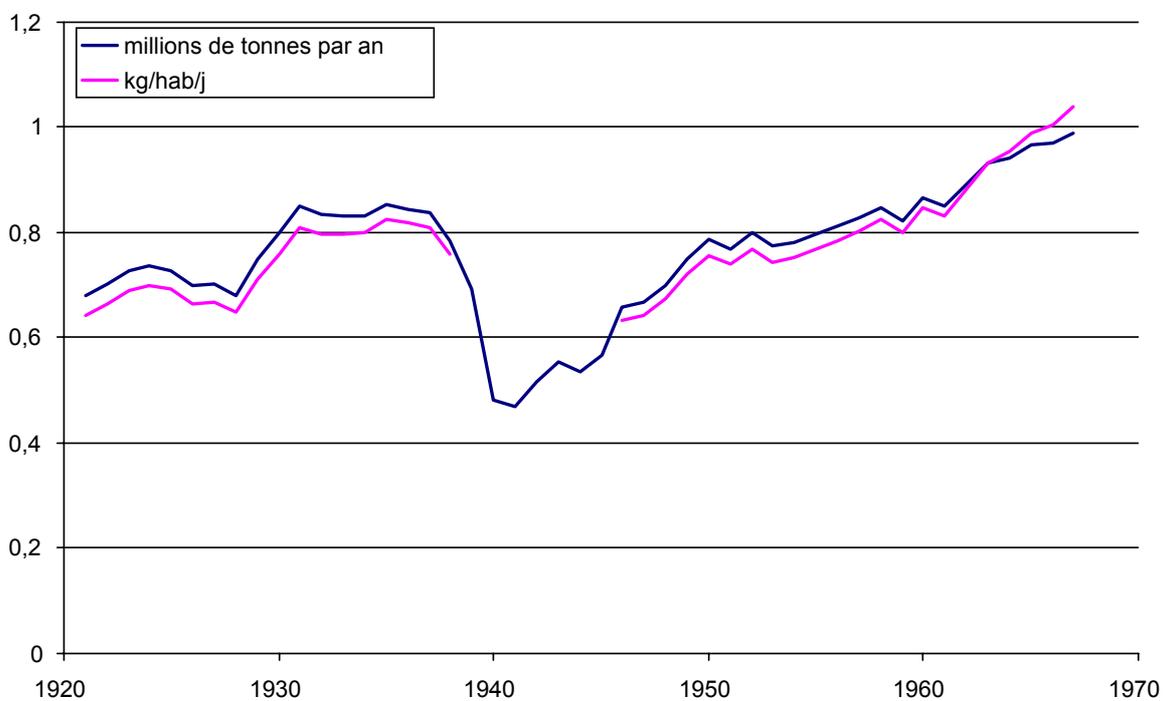


Figure 4 : Boues et ordures ménagères, enlèvements annuels, Paris, 1920-1967.

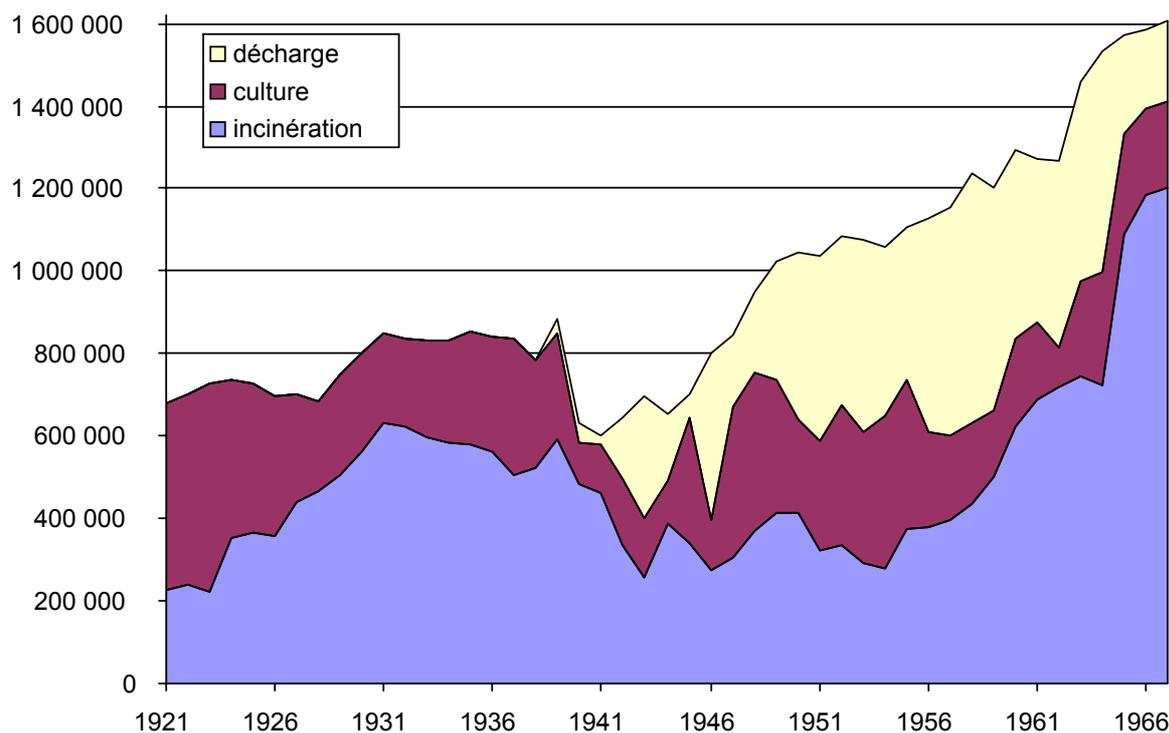


Figure 5 : Traitement des ordures ménagères, Paris et communes de banlieue, 1921-1967 (tonnes).

3.2. Le métabolisme industriel

La phase III du PIREN-Seine a été l'occasion d'un premier bilan des sources statistiques relatives aux établissements industriels de Paris et de sa région (Derrien et Jigaudon, 2000), que nous ne reprendrons pas ici. Néanmoins, les sources couramment employées en la matière, consacrées pour l'essentiel à la socio-économie industrielle, fournissent rarement les données dont nous avons besoin, l'importance de tel ou tel établissement étant mesurée par son nombre d'employés ou son chiffre d'affaires, rarement par les quantités de matières premières et d'énergie utilisées. L'année 2002 a donc été consacrée à un complément de recherche en termes de sources.

3.2.1 L'industrie parisienne au début du XIXe siècle

Elle a permis de mettre en valeur une source rarement citée concernant l'industrie du département de la Seine vers 1820-22 (*Recherches...*, 1823, 1826), qui comprend un inventaire des activités, parfois leur localisation (en particulier dans ou hors Paris), mais aussi les matières premières et combustibles employés (et parfois leur origine, locale ou extérieure au département), ainsi que les produits fabriqués (à titre d'exemple, voir le Tableau 7 et le Tableau 8).

Cet inventaire n'est pas exhaustif, et malheureusement ses auteurs n'en précisent pas les modalités de réalisation, mais il nous semble pouvoir constituer une base de travail. Nous avons ainsi procédé à un premier recensement des matières premières azotées employées par ces industries (Tableau 9).

Tableau 7 : Compte de fabrication du charbon animal à Paris, début des années 1820 (huit établissements) (Recherches..., 1826).

		Quantité	Prix unitaire	Total (F)
Dépenses				
Main d'œuvre (travaillent 330 jours ou nuits par an)	Serruriers, maçons plombiers	10	4 F/j	
	Ouvriers	100	2,25 F/j	
	Manœuvres	5	2 F/j	
	Tonneliers	-	3 000 F/a	
	Chaudronniers	-	1 000 F/a	
Total				94 750
Matières premières	Os débouillis et autres déchets de tabletterie	4 435 384 kg	5 F/100 kg	221 769
	Os de chevaux	240 000 kg	2 F/100 kg	4 800
	Chiffons de soie, laine, débris de chaussures, etc.	30 000 kg	2,50 F/100 kg	750
	Acide sulfurique			11 600
	Sel marin	80 000 kg	38 F/100 kg	30 400
	Plâtre cru et chaux			2 800
Combustible	Bois à brûler	500 décastères	120 F/ds	60 000
	Charbon de bois	150 voies	7 F/voie	1 050
	Houille	250 voies	50 F/voie	12 500
Autres				145 500
Total			12,5 F/100 kg	585 919
Recettes				
Produits résultants	Vieille fonte des cylindres	20 000 kg	13 F/100 kg	2 600
	Vieille fonte des marmites	42 000 kg	9 F/100 kg	3 780
Produits fabriqués	Noir animal	2 400 000 kg	18 F/100 kg	432 000
	Sel ammoniac vert et gris	43 991 kg	4,55 F/kg	200 159
	Sulfate de soude	100 000 kg	25 F/100 kg	25 000
	Alcali volatil	4 000 kg	2 F/kg	8 000
	Sulfate d'ammoniaque	25 000 kg	78 F/100 kg	19 500
Total			14,8 F/100 kg	691 039

Tableau 8 : Compte de fabrication du salpêtre dans le département de la Seine (25 établissements dont 24 à Paris), début des années 1820 (huit établissements) (Recherches..., 1826).

		Quantité	Prix unitaire	Total (F)
Dépenses				
Main d'œuvre	Ouvriers (300 j/an)	200	3,75 F/j	225 000
Matières premières	Matériaux de démolition	-	-	0
	Potasse	162 500 kg	100 F/100 kg	162 500
	Cendres	-	-	30 000
Combustible	Houille	25 000 hl	4 F/hl	100 000
Autres	Transport	75 chevaux	900 F/cheval	67 500
	Divers			105 500
Total				690 500
Recettes				
Produits fabriqués	Muriate de soude	22 500 kg	22 F/100 kg	4 950
	Salpêtre livré à la direction générale des poudres et salpêtres	300 000 kg	2 F/kg	600 000
	Salpêtre vendu au commerce	150 000 kg	170 F/100 kg	255 000
Total				859 950

Tableau 9 : Les matières premières azotées dans l'industrie du département de la Seine, vers 1820) (Recherches..., 1823, 1826)*.

Matière	Quantité employée	Provenance	Utilisation
Os	6 000 t	Tueries, boucheries, particuliers	Charbon animal, colle, huile de pied de bœuf, suif, tabletterie
Œufs	1 008 000 unités		Raffinage du sucre
Sang de bœuf	5 544 barils	Tueries	Raffinage du sucre
Alun	52 t		Tanneries, colle forte
Boyaux, cæcums, colons	1 115 000 unités	Tueries, boucheries	Cordes, boyaux de charcuteries, préservatifs
Nitrate de potasse	435,5 t	Département (?)	Acide nitrique, affinage de l'or et de l'argent
Orge	82 460 hl	Champagne	Bière
Houblon	68 560 hl	Pays-Bas, Vosges, Nord	Bière
Bois de menuise	1 250 décastères	Nièvre	Acide pyroligneux
Peaux	2 700 t		Tanneries
Pommes de terre	20 580 t		Féculeries

* inventaire provisoire.

3.2.2 L'industrie de l'azote au début du XXe siècle

À l'autre bout de notre période, nous avons procédé au recensement des entreprises du département de la Seine manipulant des matières azotées entre 1898 et 1945 sur la base des *Rapports sur les opérations du Service d'Inspection des établissements classés dans le département de la Seine* (un volume par année entre 1898 et 1945).

Ce travail sera complété par le dépouillement exhaustif de ces mêmes rapports pour connaître l'évolution des procédés mis en œuvre dans ces établissements et donc l'évolution de leurs rejets (au moins dans un premier temps de manière qualitative) sur la même période.

Métiers recensés

- A. Acide nitrique (fabrication) ;
- B. Ammoniaque (Fabrication en grand) par décomposition des sels ammoniacaux ;
- C. Ammoniaque (Fabrication des sels) :
 - C.1. par traitement des matières animales,
 - C.2. par traitement des eaux d'épuration du gaz provenant de la distillation de combustibles minéraux ou végétaux ;
- D. Engrais (Dépôts d') au moyen de matières provenant de vidanges ou de débris animaux :
 - D.1. non préparés ou en magasin non couvert (devient dans tout autre cas),
 - D.2. desséchés ou désinfectés et en magasin couvert, quand la quantité excède 25.000 kilogrammes ;
- E. Engrais (Fabrication des) au moyen de matières animales ;
- F. Équarissage des animaux (Ateliers) ;
- G. Noir des raffineries et des sucreries (Revivification) ;
- H. Noir d'ivoire et noir animal (distillation des os ou fabrication) :
 - H.1. lorsqu'on n'y brûle pas les gaz,
 - H.2. lorsque les gaz sont brûlés ;
- I. Ordures ménagères (Incinération ou carbonisation) :
 - I.1. à l'état vert, s'il est traité au plus 150 tonnes par jour et si le traitement est opéré sans triage et exécuté dans les 24h de leur apport,
 - I.2. dans tout autre cas ;
- J. Orseille (Fabrication). En vase clos et employant l'ammoniaque à l'exclusion de l'urine ;
- K. Poudrette et autres engrais au moyen de matières animales.

Nombre d'établissements

Tableau 10 : L'industrie de l'azote dans le département de la Seine, 1902-1937 (nombre d'établissements).

Année (fin d'année)	A	B	C		D		E	F	G	H		I		J	K
			C1	C2	D1	D2				H1	H2	I1	I2		
1902	8	0	17		13	6	16	5	1	3		0		1	
1903	7	1	16		22		15	7	1	6		0		2	
1904	7	1	18	0	23		16	7	1	5	0	1		2	
1905	7	1	19		23		16	7	1	4		1		2	
1906	7	1	19	-	23		17	7	1	4		1		2	-
1907	7	1	16	2	16	7	17	7	1	2	2	4	0	2	12
1908	8	2	16	2	17	7	18	8	1	2	2	5		2	12
1909	10	2	14	5	17	7	18	8	1	2	2	6	0	2	12
1910	9	2	21	12	18	6	18	6	1	2	2	6		2	12
1911	8	2	22	10	19	4	18	6	0	2	2	6		2	12
1912	8	2	11	12	19	4	20	6	0	2	2	10		2	12
1913	8	2	12	13	21	4	19	7		2	2	8		2	12
1914	8	3	12	13	21	4	19	7		3	2	8		2	12
1915	10	3	11	14	20	5	18	7		3	2	8		2	12
1916	10	3	12	14	19	5	18	7		3	2	8	0	2	12
1928	7	2	9	13	1	20	19								
1929	8	3	9	15	1	19	18		1		4	2	6		
1930									1		4	2	6		
1931	8	3	9	15	1	18	18		1		4	2	6		
1932	7	4	9	15	1	17	18		1		4	2	6		
1933															
1934	7	4	8	14	2	16	19		1		4	3	6		
1935	7	4	7	14	2	16	18		2		4	4	6		
1936	7	4	6	14	2	16	17		2		4	3	6		
1937	7	4	6	14	2	16	17		1		3	4	6		

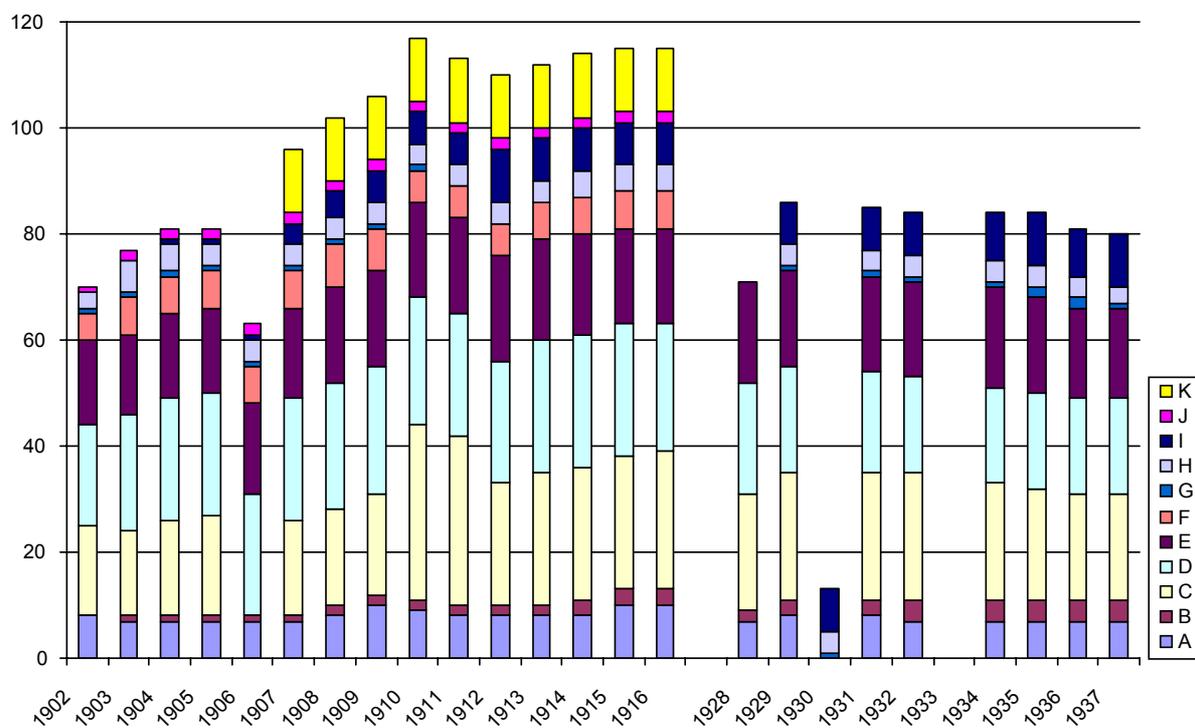


Figure 6 : L'industrie de l'azote dans le département de la Seine, 1902-1937 (nombre d'établissements).

4. Conclusion et perspectives

Le travail engagé est loin d'être abouti. Pour les années à venir, le travail s'orientera dans @ directions :

- Constitution de chroniques d'apports sur la base de l'octroi, du mouvement des marchés et des abattoirs,
- Analyse détaillée de procédés industriels déterminants dans le cycle de l'azote et de leur évolution,
- Analyse détaillée de quelques années-clefs.

Les résultats obtenus nourriront notamment l'action 6.5 « Rejets urbains et réponse du milieu (XIXe-XXe siècle) ».

5. Bibliographie

- André L. (1996). *Machines à papier. Innovations et transformations dans l'industrie papetière en France, 1798-1860*. Éd. de l'EHESS, Paris.
- Barberet J. (1887). *Le travail en France. Monographies professionnelles*. Paris. vol. 4.
- Barles S. (1999). *La ville délétère : médecins et ingénieurs dans l'espace urbain, XVIIIe-XIXe siècle*. Champ Vallon, Seyssel.
- Barles S. (2002). L'invention des eaux usées : L'assainissement de Paris de la fin de l'Ancien Régime à la Seconde guerre mondiale. Bernhardt C. et Massard-Guilbaud G. (eds). *Le Démon moderne. La pollution dans les sociétés urbaines et industrielles d'Europe / The Modern Demon. Pollution in Urban and Industrial European Societies*. Presses de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. pp. 129-56.
- Barles S. (2003a). Entre artisanat et industrie : l'engrais humain XIXe siècle. Hilaire-Perez L. et Verna C. (eds.). *Artisanat, industrie, nouvelles révolutions du Moyen Âge à nos jours*. ENS Éditions, Paris (à paraître).
- Barles S. (2003b). Urban metabolism, industrial metabolism and environmental history. Schott D., Luckin B., Massard-Guilbaud G. (eds.). *Urban Environment: Resources, Perceptions, Uses (19th-20th century)* [titre provisoire]. Ashgate (coll. « Historical Urban Studies »), à paraître.
- Barles S., Benoit P., Berthier K., Billen G., Boët P., Boyer F., Brunstein D., Garnier J., Guillerme A., Lestel L., Meybeck M. (2002). *Analyse rétrospective du système Seine*. Rapport de synthèse dans le cadre du programme PIREN-Seine 1998-2001. UMR CNRS 7619 Sisyphe, Paris.
- Barreswil C. L. et Girard A. (1861-62). *Dictionnaire de chimie industrielle*. Paris.
- Belgrand E. (1888). *Les travaux souterrains de Paris*, vol. 5, *Les égouts. Les vidanges*. Paris.
- Benoiston de Châteauneuf (1820-21). *Recherches sur les consommations en tout genre de la ville de Paris en 1817 comparées avec ce qu'elles étaient en 1789*. Paris.
- Bouchardat (1876). *Rapport présenté par M. le docteur Bouchardat au nom de la sous-commission du chiffonnage*. Paris.
- Caillat L. C. (1866). Amendements. Rénier L. (ed.). *Encyclopédie moderne (...)*. Nouv. éd. Paris. t. 2, col. 396-456.
- Caillat L. C. (1866). Engrais. Rénier L. (ed.). *Encyclopédie moderne (...)*. Nouv. éd. Paris. t. 14, col. 119-179.
- Commission des Engrais (1865-66). *Enquête sur les engrais industriels*. Paris.
- Courmont J. (1932). *Précis d'hygiène*. 4^e éd. Paris.
- Darcy H. (1850). Rapport à M. le ministre des travaux publics, sur le pavage et le macadamisage des chaussées de Londres et de Paris. *Annales des ponts et chaussées*, 2e sem. : 1-264.
- Daujat A. (1957). 200 ans d'évolution de la fertilité de la terre en France. *Chambres d'agriculture*, suppl. au n° 15 : 8-10.
- Derrien C., Jigaudon G. (2000). Les établissements industriels de la région parisienne. Documents statistiques 1830-1970. Programme 'PIREN-Seine'. *Rapport d'activité 1999*. UMR 7619 Sisyphe, Paris. pp A-16-A-22.

- Drouin J. M. (1991). *Réinventer la nature : L'écologie et son histoire*. Desclée de Brouwer, Paris.
- Dumas J. B. (1828-1833). *Traité de chimie appliquée aux arts*. Paris.
- Durand-Claye A. (1872). Assainissement municipal : quantité de matière azotée expulsée chaque jour de Paris. *Annales des ponts et chaussées*, 1er sem. : 410-12.
- Figuier L. ([1873]). *Les merveilles de l'industrie*. Paris.
- Firmin-Didot A. (1854). XVIIe jury. Imprimerie, librairie, papeterie et industries auxiliaires. *Exposition universelle de 1851. Travaux de la commission française sur l'industrie des nations*. Paris. t. 5.
- Fontaine A. (1903). *L'industrie du chiffon à Paris*. Paris.
- Foville A. de (1890). *La France économique. Statistique raisonnée et comparative*. Année 1889. Paris.
- Girard L. N. (1923). L'enlèvement des ordures ménagères de l'agglomération parisienne. *Où en est l'urbanisme en France et à l'étranger ?* Paris. pp. 353-367.
- Girard P. S. (1833). Du déplacement de la voirie de Montfaucon. *Annales d'hygiène publique et de médecine légale*, 9 : 59-84.
- Goddard N. et Sheail J. (2001). Victorian sanitary reform : where were the innovators. Bernhardt C. (ed.). *Environmental Problems in European Cities in the 19th and 20th Century*. Waxmann Verlag. Münster/New York. pp. 87-103.
- Guillaume A., Jigaudon G. et Lefort A. C. (2002). *Genèse d'un paysage industriel : la proche banlieue parisienne. Les effets du décret de 1810*. Rapport de recherche pour le compte du ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, CNAM-CDHT, Paris.
- Guiot D. (1986). *Chiffonniers et récupération. Du chiffonnage au XIXe siècle à Paris à la récupération au XXe*. Mémoire de maîtrise, Institut français d'urbanisme, université de Paris 8.
- Jas N. (2001). *Au carrefour de la chimie et de l'agriculture : les sciences agronomiques en France et en Allemagne, 1840-1914*. Éd. des Archives contemporaines, Paris.
- Joulot A. (1946). *Les ordures ménagères*. Paris.
- Jugie J. H. (1993). *Poubelle-Paris (1883-1896) : la collecte des ordures ménagères à la fin du XIXe siècle*. Larousse, Paris.
- Julliot F. (1830). *Notice sur le nettoyage des rues de Paris*. Paris.
- Lavoisier A. L. de (1777). Expériences sur la cendre qu'emploient les Salpêtriers de Paris (...). *Mémoires de l'Académie royale des sciences* : 123-136.
- Lévy M. (1869). *Traité d'hygiène publique et privée*. Paris.
- Marald E. (1999). Everything circulates : agricultural chemistry and re-cycling theories in the second half of the nineteenth century. *Nature, Society and History : Long Term Dynamics of Social Metabolism*. Vienne.
- Matignon C. (1931). Les progrès réalisés par l'industrie chimique dans le dernier demi-siècle. *Chimie et industrie*, 26(2) : 255-272.
- Mémoire pour les salpêtriers de Paris (...) contre les ci-devant fermiers & commissaire général des Poudres & Salpêtres (...)*. (179.). Paris.
- Mille A. A. et Durand-Claye A. (1869). *Compte rendu des essais d'utilisation et d'épuration*. Paris.
- Ministère de l'Agriculture (1960). *Monographies agricoles départementales : La Seine*. Paris.
- Moreau de Jonnés A. (1856). *Statistique de l'industrie de la France (...)*. Paris.
- Orfila M. (1831). *Éléments de chimie appliqués à la médecine et aux arts*. 5^e éd. Paris.
- Paulet M. (1853). *L'engrais humain*. Paris.
- Pautot L. (1923). Le problème des ordures ménagères. Leur collecte et leur traitement. *Où en est l'urbanisme en France et à l'étranger ?* Paris. pp. 342-349.
- Payen A. (1859). *Précis de chimie industrielle*. 4^e ed. Paris.
- Payen A. (1877-78). *Précis de chimie industrielle*. 6^e ed. Paris.

- Tarr J. A. (1988). Sewerage and the Development of the Networked City in the United States, 1850-1930. Tarr J. A. et Dupuy G. (eds.). *Technology and the Rise of the Networked City in Europe and America*. Philadelphie. pp. 159-85.
- Vincey P. (1896). *Les gadoues de Paris et l'agriculture du département de la Seine*. Paris.
- Vincey P. (1901). *Projet de régime nouveau pour les ordures ménagères de Paris*. Paris.
- Bulletin municipal officiel de la ville de Paris* (1884). Supplément, Compte rendu analytique de la séance du 6 févr. 1884.
- Recherches statistiques sur la ville de Paris et le département de la Seine*. (1823, 1826). Paris. Vol. 2 et 3.
- Tableaux mensuels de statistiques municipales de la ville de Paris* (1888). Paris.