

Chapitre 3 :Caractérisation des eaux usées

Le terme de pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui, sans être vraiment dangereuses pour les organismes vivants, exercent une influence perturbatrice sur l'environnement.

Polluer signifie étymologiquement profaner, souiller, salir, dégrader. Parmi les définitions données par les experts, nous retiendrons la suivante, publiée dans un rapport rédigé en 1965 par le comité scientifique officiel de la Maison Blanche (intitulé : "Pour restaurer la qualité de notre environnement") : **"La pollution est une modification défavorable du milieu naturel qui apparaît en totalité ou en partie comme un sous-produit de l'action humaine, au travers d'effets directs ou indirects altérant les critères de répartition des flux d'énergie, des niveaux de radiation, de la constitution physico- chimique du milieu naturel et de l'abondance des espèces vivantes. Ces modifications peuvent affecter l'homme directement ou à travers les ressources agricoles, en eau et autres produits biologiques. Elles peuvent aussi l'affecter en altérant les objets physiques qu'il possède, les possibilités récréatives du milieu ou encore en enlaidissant la nature"**.

La distinction entre eau polluée et eau non polluée est souvent relative et dépend des exigences d'utilisation. Les experts européens (1961) assimilaient la pollution à "une composition ou à un état directement ou indirectement modifiés du fait de l'activité de l'homme de telle façon que cela se traduit par une moindre utilisation de l'eau". Cette définition met bien en évidence la responsabilité humaine dans la pollution et les inconvénients qui en résultent. Les principales entrées dans le réseau d'assainissement unitaire sont synthétisées dans la Fig. Il s'agit essentiellement des retombées atmosphériques (entrée indirecte), de ruissellement urbain, de lavage de voiries et d'apports domestiques et professionnels.

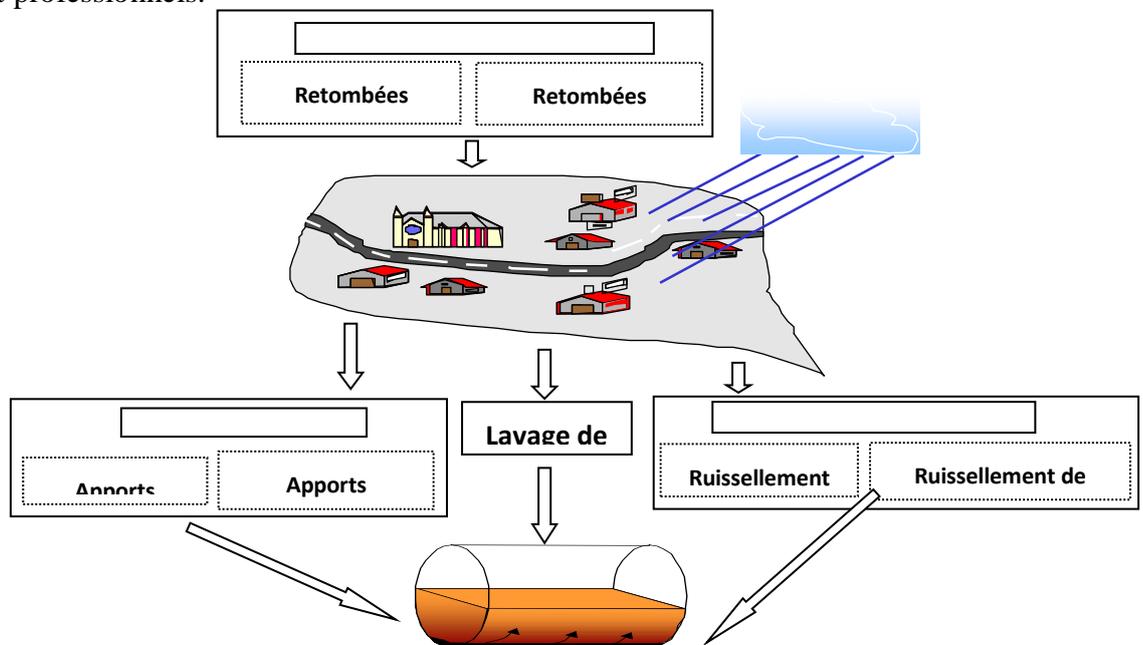


Figure19 : Principales entrées dans le réseau d'assainissement unitaire

3.1. Les retombées atmosphériques

Les polluants atmosphériques possèdent deux origines : naturelle (incendie, érosion des sols, volcanisme,...) et anthropique (chauffage domestique, usines industrielles et d'incinération d'ordures ménagères, trafic automobile.....). Ces polluants se manifestent par des retombées atmosphériques sèches et humides.

Les retombées atmosphériques sèches sont les retombées au sol des polluants atmosphériques gazeux et particulaires. Ces retombées font intervenir des processus physico-chimiques complexes dépendant de deux principaux paramètres (Zobrist et al, 1993 ; Golomb et al, 1997a) :

- La nature des particules, et plus particulièrement le type de source émettrice, la taille et la composition des particules et leur vitesse de chute ;
- les conditions extérieures : météorologiques (température, vitesse de vent, ...), et la nature des milieux récepteurs (herbes, sol, surface perméable, ...).

Les données en termes de retombées atmosphériques trouvées dans la littérature concernent essentiellement les métaux lourds et les hydrocarbures.

Les retombées atmosphériques sèches constituent un apport en particules fines, en hydrocarbures, en micropolluants organiques et surtout en métaux lourds.

Les études réalisées pour quantifier la pollution atmosphérique sèche (Tableau 10) ont montré qu'elle contient d'importantes quantités d'éléments métalliques.

Les retombées atmosphériques sèches sont variables d'un site de mesure à un autre. Ceci peut s'expliquer par une hétérogénéité de la production métallique particulaire et par la proximité des sites de mesure par rapport aux sources d'émission.

Tableau 10: flux atmosphériques annuels des retombées atmosphériques sèches, en métaux lourds ($\mu\text{g}/\text{m}^2.\text{an}$)

| <i>Références</i> | | Cadmium | Plomb | Cuivre | Zinc |
|---------------------|--|---------|-------|--------|-------|
| Revitt, 1990 | zone résidentielle (banlieue Londres) | 332 | 6614 | 1745 | 6110 |
| Garnaud et al, 2001 | Chatou | 270 | 20500 | 5400 | 47600 |
| | Créteil | 840 | 29300 | 18300 | 83200 |
| | Paris | 150 | 26400 | 7800 | 38900 |

Notons que les dépôts secs qui se déposent par temps sec sont remis en suspension par temps de pluie sous l'effet de la pluie. Par ailleurs, d'autres mécanismes peuvent intervenir pour remobiliser

les polluants, tels que le balayage des rues, le nettoyage des places de marchés, le vent (Ball et al, 2000).

La densité du trafic automobile, la localisation des industries, et la direction du vent ont une influence non négligeable sur le dépôt des retombées atmosphériques sèches, en particulier les métaux lourds. De plus, la masse de polluants accumulée tend à augmenter avec la longueur de la période de temps sec précédent l'événement pluvieux.

Les retombées atmosphériques humides correspondent essentiellement à la pluie. Le lessivage de l'atmosphère par les eaux météoriques détermine la pollution de l'eau de pluie à l'instant où elle touche le sol.

Les ordres de grandeurs des concentrations de MES, des matières organiques, et des métaux dans les retombées atmosphériques humides, mesurés en zones urbaines en Allemagne [1], et en France : les Ulis et Maurepas [2], Chatou, Créteil, Paris, Fontainebleau [3], se trouvent dans le Tableau 11.

Tableau 11 : concentrations des paramètres globaux et des métaux lourds dans les retombées atmosphériques humides

| | [1] (Freitag et al, 1987 ; Göttle, 1978 ; Hahn, 1995) | [2] (Grange et Deutsch, 1986) | [3] (Garnaud, 2001) |
|------------|---|-------------------------------------|------------------------|
| MES (mg/l) | - | 1-16 | - |
| DCO (mg/l) | - | 2-7 | - |
| Cd (µg/l) | 1-3 | 0.15-2.4 | 0.03-3.32 |
| Pb (µg/l) | 30-110 | 1.2-12.1 | 0.8-28.4 |
| Cu (µg/l) | 7-150 | <7-33.4 | 1.1-13.7 |
| Zn (µg/l) | 50-150 | 4-198 | 2-82.4 |

Les résultats en termes de concentrations de métaux lourds dans les retombées atmosphériques humides sont très variables entre les sites de mesure. Cette variabilité est fonction des sources locales émettrices de polluants, des conditions météorologiques, des caractéristiques des sites de prélèvements, et aussi des méthodes d'échantillonnage et d'analyse.

Les flux annuels des retombées atmosphériques totales en métaux lourds, mesurés dans des zones fortement urbanisées et d'autres faiblement urbanisées sont synthétisés dans le

Tableau . Les flux mesurés en zones faiblement urbanisées sont relativement comparables entre les différents sites de mesure. Ceux mesurés en zones fortement urbanisées sont cependant très variables, quelque soit le métal étudié. Cette différence est attribuée à la proximité des sources métalliques par rapport aux différents sites de mesure.

Tableau 12 : flux atmosphériques totaux en métaux lourds ($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{an}$)

| <i>Références</i> | Cadmium | Plomb | Cuivre | Zinc |
|--|----------|-----------|------------|--------------|
| Lawlor et Tipping, 2003 ¹ | 80 | 2400 | 1200 | 7200 |
| Hovmand et Kemp, 1998 ¹ | 52 | 1300 | 860 | 10500 |
| Migon et al, 1997 ¹ | 66 | 3139 | 2190 | - |
| Garnaud et al , 2001 ² | 200-1090 | 3050-3910 | 7900-24700 | 46000-112900 |
| Golomb et al , 1997a ² | 270 | 1850 | 2500 | 7800 |
| Wong et al, 2003 ² | 70 | 12700 | 18600 | 104000 |
| 1 : zone faiblement urbanisée, 2 : zone fortement urbanisée, | | | | |

La contribution des retombées atmosphériques totales (sèches et humides) à la charge métallique véhiculée par les eaux de ruissellement urbaines varie entre 20-79% pour le cuivre et de 1-17% pour le zinc (Garnaud, 1999). Par ailleurs, la contribution du dépôt sec par rapport au dépôt atmosphérique total selon Garnaud (1999) est assez importante quel que soit le métal étudié (60 à 90%).

3.2. Le ruissellement urbain

Le ruissellement des différentes surfaces urbaines (chaussées, toitures, cours..) a été souvent étudié à cause des flux importants en polluants qu'il transfère jusqu'au réseau d'assainissement (WRc, 1994, Gromaire et Garnaud, 1998-1999).

3.2.1 Ruissellement des chaussées

Ce type de ruissellement contribue à l'apport des métaux lourds par temps sec (balayage et lavage des rues, des places de marchés), et par temps de pluie (lessivage des rues, trottoirs..).

Le ruissellement des chaussées constitue une source importante à la pollution des eaux unitaires (Thornton et al 2001). Plusieurs sources peuvent être distinguées (USEPA, 1972) :

- La perte des systèmes de lubrifications des véhicules ;
- La dégradation des pneus et des freins ;
- Les entretiens des routes et leur dégradation ;
- Les précipitations ;
- Les dépôts atmosphériques (dépôts secs).

Les concentrations des MES, des matières organiques et des métaux lourds dans les eaux de ruissellement de chaussées, de bassins versants de tailles différentes sont résumées dans le

quelle que soit la taille du bassin versant, le ruissellement des voiries se caractérise par de fortes concentrations en MES, en MO et en métaux lourds. D'après (Xanthopoulos et al ; 1993), 90% des MES transférées dans le réseau d'assainissement proviendraient de la voirie.

Quel que soit le paramètre polluant étudié, les concentrations de ruissellement des chaussées sont variables d'un site de mesure à un autre. L'importance de la pollution des eaux de ruissellement des voiries varie en fonction de l'occupation du sol et l'intensité du trafic routier.

Tableau 13: concentrations moyennes des MES, matières organiques et des métaux lourds dans les eaux de ruissellement de chaussées, par temps de pluie

| pays | référence | MES (mg/l) | DCO (mg/l) | DBO5 (mg/l) | Cadmiu m (µg/l) | Plom b (µg/l) | Cuivre (µg/l) | Zinc (µg/l) |
|-----------|--------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------------|------------------|----------------|
| France | Gromaire (1998) | 97 | 135 | 31 | 0.5 | 138 | 63 | 560 |
| | Laurenst (1998) | 538 | 436 | 79 | - | 100 | 80 | 300 |
| Allemagne | Xanthopoulos et Hahn (1993) | 564 | 49 | | 6.4 | 311 | 108 | 603 |
| | Dierkes und Geiger (2000) | - | - | - | 1.6 | 28 | 125 | - |
| USA | Pitt et al. (1995) | 49 | - | - | 37 | 43 | 280 | 58 |

L'apport en Cu, Pb et Zn des eaux de ruissellement de chaussées provient essentiellement de l'usure des plaquettes de freins des véhicules (Sörme et al, 2002 ; et Legret et al, 1999) (Tableau 14).

Tableau 14 : teneurs en métaux lourds dans différentes parties des véhicules

| mg/Kg | Cd | | Cu | | Pb | | Zn | |
|--|-----|-----|-------|--------|-------|------|-------------|-------|
| | [1] | [2] | [1] | [2] | [1] | [2] | [1] | [2] |
| Freins | - | 2.7 | 62050 | 142000 | 11405 | 3900 | 12450 | 21800 |
| Pneus | - | 2.6 | - | 1.8 | - | 6.3 | - | 10250 |
| Huile | <1 | 0.2 | <1 | 0.5 | <1 | 3.3 | 400- 800 | 0.5 |
| [1] : Sörme et al (2002) ; [2] : Legret et al (1999) | | | | | | | | |

En plus du trafic routier, la dégradation des chaussées et le type des rues peuvent participer à l'apport en métaux lourds. Muschack (1999) a calculé les flux d'émissions du Cu, Pb, et Zn dans différents types de rue se trouvant en zone urbaine (rue résidentielle, route principale, autoroute) (Tableau 13). Il apparaît clairement que plus la route est fréquentée, et plus la dégradation des chaussées est importante, et plus grande sera la quantité de métaux dégagée.

Tableau 15 : flux d'émissions de Cu, Pb, et Zn en fonction des types de rues

| Type de rue | Abrasion totale (Kg/ha de route/an) | Cu (g/ha de route/an) | Pb (g/ha de route/an) | Zn (g/ha de route/an) |
|-------------------|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Rue résidentielle | 2148 | 110 | 219 | 352 |
| Route principale | 7665 | 391 | 782 | 1257 |
| Autoroute | 10000 | 510 | 1020 | 1640 |

Le plomb et le zinc des eaux de ruissellement des voiries sont majoritairement associés aux particules. Gromaire (1998) estime respectivement la proportion de cuivre, de plomb et de zinc liée aux particules, dans les eaux de ruissellement de chaussées à 67%, 97% et 52%. Laurensot (1998) trouve un résultat similaire pour les mêmes métaux : 62% pour le Cu, 95% pour le Pb et 75% pour le zinc.

3.2.2 Ruissellement des toitures

Le ruissellement des toitures peut être considéré comme très polluant tout comme le ruissellement des chaussées (Herrmann et al, 1994 ; Förster, 1999). Les effets de cette pollution sont d'autant plus importants quand les sources de la pollution sont les matériaux de fabrication des toitures elles-mêmes (Förster, 1999).

Förster, (1999) a trouvé que les concentrations en zinc dans les eaux de ruissellement des toitures en feuille de zinc sont 2 à 3 fois supérieures à celles des eaux de ruissellement de toitures fabriquées sans aucun métal (exemple les toitures en ciment fibreux).

De nombreuses études ont été réalisées pour caractériser la pollution des eaux de ruissellement de toitures (Tableau 14).

D'après ces données, les eaux de ruissellement de toitures contiennent de faibles quantités de matières en suspension et en matières organiques, en comparaison avec les eaux de voiries. En effet, la charge moyenne par évènement pluvieux est de 0.85Kg/ha pour les MES, 0.24 Kg/ha pour la DCO et 0.12 Kg/ha pour la DBO5 (Sakakibara, 1996).

En revanche, les eaux de ruissellement des toitures se caractérisent par des concentrations en métaux lourds significatives. Ces concentrations sont variables d'un site de mesure à un autre.

Les concentrations en métaux lourds mesurées par Gromaire (1998) dans les eaux de ruissellement des toitures du Marais sont largement supérieures à celles mesurées dans les eaux de voiries. Cependant, l'inverse se produit à Nancy (Laurensot, 1998) où les concentrations du Pb et du Cu mesurées dans les eaux de ruissellement des toitures sont inférieures à celles des voiries. Ceci peut être liée aux types de toitures étudiées.

Tableau 16 : Concentrations moyennes en MES, en matières organiques et en métaux lourds dans les eaux de ruissellement des toitures

| | Références | MES (mg/l) | DCO (mg/l) | DBO5 (mg/l) | Cadmiu m (µg/l) | Plomb (µg/l) | Cuivre (µg/l) | Zinc (µg/l) |
|-------------|--------------------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| France | Gounou (2004) | - | - | - | 1.4 | 1485 | 1620 | 9353 |
| | Gromaire (1998) | 17 | 27 | 4 | 1.3 | 493 | 37 | 3422 |
| | Laurenst (1998) | - | - | - | - | 60 | 20 | 3000 |
| Allemagne | Xanthopoulos et Hahn (1993) | 60 | 22 | - | 1 | 104 | 235 | 24 |
| | Förster and Herrmann (1996) | 43.2 | - | - | - | - | - | - |
| | Gieska et al.(2000) | - | - | - | - | 21.5 | 33.6 | 2580 |
| Japon | Sakai et al.(1996) | - | 5.7 | 1.8 | - | - | - | - |
| Netherlands | Van Dam et al.(1989) | - | - | - | 0.5 | 10.1 | 5.7 | 33.4 |

Les concentrations en métaux lourds dans les eaux de ruissellement de différents types de toitures (tuile, zinc, ardoise) ont été mesurées par Gromaire (1999). Ces résultats montrent que la corrosion des toitures métalliques ou des éléments de toitures métalliques conduit à des concentrations très élevées en métaux lourds. Le Cd, et le Zn contenus dans les eaux de ruissellement peuvent provenir des toitures en zinc, le Cu provient des toitures munies de gouttières en cuivre alors que le Pb provient des toitures contenant des parties faites en plomb. En plus du ruissellement des toitures, le ruissellement de la pluie sur les façades des bâtiments et le mobilier urbain peuvent constituer une source de métaux lourds vers le réseau. Davis et al (1999) montrent que le plomb provient essentiellement des bâtiments à façade en bois peint (en moyenne $520\mu\text{g}/\text{m}^2$), ce qui amène à dire que les peintures sont également une source en Pb. Il a trouvé que le Cu provenait des façades en brique ($47\mu\text{g}/\text{m}^2$), alors que les bâtiments dont l'extérieur est fait en brique ($2100\mu\text{g}/\text{m}^2$) et en bois peint ($2800\mu\text{g}/\text{m}^2$) sont une source importante en zinc. Le plomb dans les eaux de ruissellement des toitures est essentiellement sous forme particulaire (en moyenne : 75% selon Laurenst, et 85% selon Gromaire). Par ailleurs, le zinc se trouve sous forme dissoute. La proportion de zinc liée aux particules est en moyenne de l'ordre de 20% selon Laurenst et 11% selon Gromaire. Le cuivre se répartit de façon équitable entre les deux phases.

3.2.3 Ruissellement d'autres surfaces urbaines (cours, parking...)

Les concentrations en MES et en métaux lourds (à l'exception du Zn) des eaux de ruissellement aux niveaux des cours (Gromaire, 1998) sont largement inférieures à celles mesurées dans les eaux de

ruissellement des parkings (Pitt et al, 1995) (Tableau 17). Les parkings constituent ainsi une source importante d'apport en Cd, Cu et Pb.

Tableau 17: concentrations moyennes en MES, en matières organiques et en métaux lourds dans les eaux de ruissellements des cours et parkings

| | | | MES (mg/l) | DCO (mg/l) | DBO5 (mg/l) | Cadmiu m (µg/l) | Plomb (µg/l) | Cuivre (µg/l) | Zinc (µg/l) |
|--------|----------|-----------------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|-----------------|------------------|----------------|
| France | Cours | Gromaire (1998) | 40 | 63 | 14 | 0.8 | 27 | 112 | 577 |
| USA | parkings | Pitt et al. (1995) | 110 | - | - | 37 | 43 | 280 | 58 |

La répartition dissous-particulaire au niveau des cours montre qu'à l'exception du zinc, les trois autres métaux sont majoritairement sous forme particulaire. Les pourcentages de la pollution métallique liée aux particules sont en moyenne respectivement de l'ordre de 90% pour le Cd, 65% pour le Cu, 92% pour le Pb et 46% pour le Zn (Gromaire, 1998).

3.2.4 Le lavage de voiries

Cette partie concerne essentiellement le nettoyage des voiries à Paris, et plus particulièrement sur le bassin versant du Marais (3^{ème} et 4^{ème} arrondissement). Le lavage des voiries et des trottoirs à Paris est assuré par les services de la Mairie de Paris, et il se fait selon plusieurs façons :

- Lavage manuel : ce type de lavage est quotidien et consiste en un lavage des caniveaux par ouverture des bornes fontaines et un balayage des trottoirs ;
- Le lavage au jet d'eau sous-pression : il est réalisé par une arroseuse-laveuse munie d'un jet d'eau. L'eau utilisée est celle des bornes fontaines. La fréquence du nettoyage varie entre 2 et 5 fois par semaine selon les voiries;
- Le nettoyage par aspiration mécanique: ce nettoyage se fait par des aspiratrices de chaussées motorisées équipées d'un gicleur servant à humecter la chaussée devant l'engin, d'une buse d'aspiration centrale et de deux brosses rotatives balayant une largeur de 1 à 2m. Ce nettoyage est réalisé quotidiennement, sauf le week-end.

Plusieurs campagnes de prélèvement d'eaux de lavage de voiries par temps sec ont été réalisées : Gromaire (1998), Garnaud (1999), Rocher (2003) et Gounou (2004). Le nettoyage au cours de ces campagnes s'est effectué avec balayage humide des caniveaux et l'utilisation d'un jet d'eau sous pression. Ainsi, le lavage se fait sur des portions de chaussées comprenant le trottoir, le caniveau et une demie route.

Les échantillons prélevés ont été analysés en terme de MES, MVS, DCO, DBO₅, métaux lourds, et HAP. Les masses polluantes produites par unité de longueur mesurées par Gromaire (1998) sont synthétisées dans leTableau 16.Les masses des MES et des matières oxydables varient d'un facteur

3 à 4 d'un site de mesure à un autre et d'une journée de mesure à une autre, et d'un facteur 7 à 30 dans le cas des métaux lourds.

Tableau 18 :Masses polluantes journalières, par mètre de caniveau, des eaux de nettoyage de voirie

| | Eaux de nettoyage de voirie, Marais | | |
|---------------------------|--|---------|-----------------------|
| | 1 ^{er} déc. | médiane | 9 ^{ème} déc. |
| Volume (l/m) | 9.5 | 13.8 | 34.9 |
| MES (g/m) | 0.82 | 1.64 | 3.1 |
| MVS (g/m) | 0.36 | 0.92 | 1.46 |
| DCO (gO ₂ /m) | 1.18 | 2.54 | 5.04 |
| DBO5 (gO ₂ /m) | 0.34 | 0.67 | 1.41 |
| Cd (µg/m) | 1.29 | 2.58 | 10.99 |
| Cu (mg/m) | 0.33 | 0.62 | 1.33 |
| Pb (mg/m) | 0.63 | 1.06 | 7.55 |
| Zn (mg/m) | 1.93 | 4.57 | 8.91 |

Les concentrations en MES, en matières organiques et en métaux lourds mesurées dans les eaux de lavage des voiries du Marais sont regroupées dans le Tableau 19. Quelque soit le métal étudié, les concentrations mesurées par Garnaud (1999) sont largement inférieures à celles mesurées par Rocher (2003) et Gounou (2004). On observe par ailleurs, que les valeurs mesurées par Gounou (2004) sont très fortes. Cette différence peut être attribuée à la méthode de prélèvement.

Tableau 19:concentrations en MES, en matières organiques et en métaux lourds, des eaux de nettoyage de voirie

| (µg/l) | MES | MVS | DCO | DBO5 | Cadmiu m | Plomb | Cuivre | Zinc |
|---|---------------------|-----------------|----------------------|-----------------|-------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| Gromaire (1998) | 31- 216, (97) | 16-115, (50) | 54- 313, (179) | 12-113, (52) | - | - | - | - |
| Garnaud (1999) | - | - | | - | 0.06- 0.55, (0.2) | 35-318, (94) | 13-87, (38) | 148-537, (212) |
| Rocher (2003) | - | - | | - | 3.25-4.7, (3.8) | 512-621, (562) | 300- 382, (339) | 1096- 1296, (1107) |
| Gounou (2004) | - | - | | - | 4.5-12.6, (8.6) | 929-4535, (1808) | 555- 1202, (803) | 3912- 10142, (5499) |
| x-y,(z) : 1 ^{er} decile-9 ^{ième} décile,(médiane) | | | | | | | | |

Les concentrations métalliques totales dans les eaux de lavage des rues du Marais sont relativement homogène d'un site à un autre, mais présentent des variations significatives au sein d'un même site. Ces variations sont dues aux volumes d'eau utilisés, à la durée et à l'intensité du balayage (Garnaud, 1999). La comparaison avec les eaux potables montre qu'à l'exception du cuivre, les

concentrations des trois autres métaux dans les eaux de lavage de voirie sont nettement supérieures (4-8 fois). Ce résultat peut indiquer que le Pb et le Zn pourraient provenir essentiellement de la circulation automobile, par temps sec. En ce qui concerne le Cu, sa concentration dans les eaux de ruissellement de voirie est 3 fois inférieure à celle de l'eau potable. Il semble donc que ce métal provient de la corrosion des tuyaux d'alimentation des habitations. Les matières oxydables et le cuivre véhiculés par les eaux de lavage des voiries se répartissent de façon équitable entre la phase dissoute et particulaire. En revanche, le Cd, Pb et Zn sont essentiellement transportés sous forme particulaire (Gromaire et Garnaud) (Tableau 20).

Tableau 20: proportion de DCO, de DBO5 et de métaux lourds liée aux particules dans les eaux de nettoyage

| | 1 ^{er} décile | médiane | 9 ^{ème} décile |
|---------------------|------------------------|---------|-------------------------|
| % DCO particulaire | 43 | 59 | 74 |
| % DBO5 particulaire | 39 | 47 | 64 |
| % Cd particulaire | 59 | 94 | 97 |
| % Cu particulaire | 28 | 50 | 71 |
| % Pb particulaire | 68 | 90 | 98 |
| % Zn particulaire | 52 | 77 | 87 |

Les flux en MES, en matières organiques et en métaux par jour et par mètre linéaire de chaussée, des eaux de nettoyage de voirie du bassin versant du Marais estimés par (Gromaire et al; 2000) (Tableau 21) indique que le lavage de voirie est susceptible d'apporter des quantités importantes de métaux, de MES et de matières organiques vers le réseau. Ces quantités sont cependant considérablement variables d'une journée à une autre, et d'une rue à une autre.

Tableau 21 : flux métalliques engendrés par le lavage de la voirie sur l'ensemble du bassin versant du Marais (Gromaire et al; 2000)

| | 1 ^{er} décile | médiane | 9 ^{ème} décile |
|--|------------------------|---------|-------------------------|
| MES (g/m/j) | 0.08 | 1.1 | 3.6 |
| MVS (g/m/j) | 0.4 | 0.9 | 1.5 |
| DCO (g d'O ₂ /m/j) | 1.2 | 2.5 | 5.0 |
| DBO ₅ (g d'O ₂ /m/j) | 0.3 | 0.5 | 1.4 |
| Cd (µg/m/j) | 1.3 | 2.6 | 11.0 |
| Cu (mg/m/j) | 0.3 | 0.6 | 1.3 |
| Pb (mg/m/j) | 0.6 | 1.1 | 7.5 |
| Zn (mg/m/j) | 1.9 | 4.6 | 8.9 |

La comparaison entre les flux polluants apportés par les eaux de lavage des rues et ceux apportés par les eaux de ruissellement de voirie par temps de pluie montre que les masses médianes, par unité de surface, des MES, MVS et des matières organiques sont généralement comparables. En revanche, les masses des métaux lourds des eaux de ruissellement par temps de pluie sont 5 fois supérieures aux masses des eaux de lavage de voiries par temps sec (Gromaire et al, 2000). Par ailleurs, Gromaire (1998) trouve que les masses en métaux lourds issues du lavage des voiries sont

très faibles par rapport à celles des toitures et élevées par rapport aux cours pour le plomb, le cuivre et le zinc, à l'échelle d'un évènement pluvieux.

3.2.5 Les eaux domestiques

Les eaux usées correspondent à des eaux ayant été utilisées par l'homme et peuvent être d'origine soit domestique soit industrielle (Chocat ; 1997, Valiron ; 1992). Les eaux domestiques sont celles utilisées pour des usages domestiques (lavabo, évier, WC, douches et salle de bain, machine à laver...), alors que les eaux industrielles correspondent aux eaux utilisées dans le cadre d'une production industrielle (activités artisanales ou commerciale) et peuvent être mélangées aux eaux en provenance des toilettes,... A ces deux types d'eau, se rajoute les eaux résultantes du lavage des chaussées, des caniveaux et des places des marchés, les eaux d'infiltration, et les eaux des réservoirs de chasse. Les volumes totaux des eaux mesurées entre 1992 et 1994 aux trois principales stations d'épuration de l'agglomération Parisienne (Achères-Seine Aval-, Valenton-Seine Amont- et Noisy-Le-Grand-Marne Aval-) sont en moyenne de l'ordre de 300 l/hab/j (Fievet et al, 1998). Toutefois, ceux d'eaux domestiques mesurées, en France, en sortie d'habitation entre 1975 et 1980 (citées dans Artières ; 1987) varient entre 80 et 100 l/hab/j et sont fonction de l'équipement sanitaire de l'habitation. Les eaux usées domestiques sont composés d'apports physiologiques, d'apports divers (eaux vannes de toilettes, déchets solides rejetés dans les toilettes...), et d'eaux à usage domestiques (de lavabo, de bains et de douche, de lave vaisselle...).

A. Les apports physiologiques sont essentiellement les matières fécales et les urines humaines. Environ 30- 45kg de matières fécales humides sont produites par personne et par année, soit 10- 15kg de matières sèches fécales (Lentner et al, 1981). La production journalière moyenne par habitant d'urine et de matières fécales est respectivement de l'ordre de 1060ml/hab/j et 112g/hab/j

Tableau 22: production des matières fécales et des urines

| | [Laak ; 1974] | | [Almeida et al ; 1999] | [Vinneras, 2001) |
|----------------------------|---------------|----------|-------------------------------------|------------------|
| | 1 adulte | 1 enfant | Moyenne pour 8 adultes et 2 enfants | |
| Matières fécales (g/hab/j) | 130 | 90 | 115 | 110 |
| Urines (ml/hab/j) | 1200 | 800 | 1120 | - |

Almeida et al (1999) donnent les masses de matières en suspension, de matières organiques et azotées pour 1ml d'urine et 1g de matière fécale (Tableau 21) (Laak, 1974, Seigrist et al, 1976). D'après ces ordres de grandeurs, il apparaît que les matières fécales sont une source importante de MES et de DCO en comparaison avec l'urine. En parallèle, l'urine constitue une source de matières azotées.

Tableau 23 :Masse des MES, de matières organiques et azotées dans les excréments humains
(Laak, 1974; Seigrist et al, 1976)

| Mg | 1 g de matière fécale | 1 ml d'urine |
|-------|-----------------------|--------------|
| MES | 208 | 21 |
| DCO | 287 | 17,5 |
| NH3-N | 1.5 | 2.49 |
| NO3-N | 0,03 | 0,012 |

Plusieurs études ont été réalisées en France et à l'étranger pour déterminer les flux polluants des eaux usées domestiques rejetés par jour et par habitant. Ces dernières sont groupées dans les laires, ni eaux industrielles (Tableau 24). Celles effectuées en France ont été réalisées en zones d'habitat (quartier résidentiels et petites communes rurales), sur des eaux usées sans eaux claires, ni eaux industrielles.

Tableau 24 : charges polluantes des eaux usées domestiques

| (g/hab/j) | | MES | DCO | DBO5 | NTK |
|---|--------|-------|--------|-------|------|
| Rambaud et al (1997) | France | 35 | 75 | 40 | 6 |
| Bureau Véritas et SIVOM de Metz (1994) | | 42-51 | 82-103 | 37-47 | 9-11 |
| Pujol et al (1990) | | 25-30 | 75-80 | 30-35 | 8-9 |
| Blanic et al (1989) | | 28 | 89 | 34 | 9 |
| Besse <i>et al</i> (1989) | | 41 | 98 | 37 | 10 |
| Ministère de l'environnement du Québec (1989) | Canada | 60 | - | 50 | 10 |

D'après cette sélection bibliographique, la charge polluante en matières en suspension, générée quotidiennement par habitant, varie entre 25 et 60 g/hab/j, celle en DBO₅ est de l'ordre de 30 à 50 g/hab/j, alors que la masse en azote est de 6 à 11 g/hab/j. on remarque par ailleurs que les valeurs mesurées en France sont inférieures à celles mesurées à l'étranger. La production en eau usée par type d'usage domestique est présentée dans le (Tableau 25). Les résultats de cette étude bibliographique montrent une production totale allant de 84 à 117 l/hab/j. Selon le type d'usage, les toilettes contribuent fortement à l'apport en eaux usées, suivies des bains et des douches.

Tableau 25 : Production d'eau usée domestique par type d'usage (1 en Grande Bretagne ; 2 à Malte ; 3 en France)

| (l/hab/jour) | WC | Evier de cuisine | lavabo | Bain et douche | Machine à laver | Autres | Total |
|----------------------------------|----|------------------|--------|----------------|-----------------|--------|-------|
| Bulter (1995) ¹ | 31 | 13 | 13 | 28 | 17 | - | 102 |
| Gatt (1993) ² | 29 | 15 | 9 | 25 | 16 | - | 94 |
| Blanic et al (1989) ³ | 20 | 12 | - | 26 | 26 | - | 84 |
| Hall et al (1988) ¹ | 37 | - | - | 19 | 13 | 48 | 117 |

Les charges polluantes en MES, en matières oxydables et azotées dans les eaux domestiques en fonction du type d'usage (eaux de vannes, eaux de cuisine) (Tableau 26) montrent que la plus grande part des matières en suspension, des matières organiques et azotées proviennent essentiellement des eaux vannes, de cuisine et de lessive. Cependant, la plus faible charge provient généralement des eaux de bains.

Tableau 26 : charge polluante des eaux usées domestiques par type d'usage ([1] : Blanic et al (1989) ; [2] : Petit et al (1976) ; [3] : Siegrist et al (1976))

| (g/hab/j) | MES | | | DCO | | | DBO5 | | | Azote | | |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] |
| Références | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] | [1] | [2] | [3] |
| Eaux vannes | 16 | 8 | 13 | 29 | 22 | - | 9 | 12 | 11 | 7 | 3 | 4 |
| Eaux de cuisine | 23 | 7 | 9 | 17 | 26 | - | 10 | 12 | 21 | 0.3 | 0.8 | 0.9 |
| Eaux de lessive | 7 | 5 | 11 | 29 | 20 | - | 9 | 8 | 15 | 0.7 | 0.3 | 0.8 |
| Eaux de bain | 3 | 3 | 2 | 11 | 6 | - | 5 | 2 | 3 | 0.8 | 0.2 | 0.3 |

Les flux métalliques journaliers par habitant mesurés dans les eaux usées domestiques (Tableau 27) par (Comber et Gunn, 1996) montrent pour ce bassin versant que les matières fécales (toilettes) représentent une source majeure de Cd, Cu et Zn. Cependant, le Pb provient essentiellement des eaux de lave linge. Par ailleurs, il semble que les quantités de métaux lourds dans les eaux de bains ne sont pas négligeables devant les autres sources.

Tableau 27 : flux métalliques par type d'activité domestique (Comber et Gunn, 1996)

| (µg/hab/j) | Cd | Cu | Pb | Zn |
|------------------------|-----|-----|-----|------|
| Eaux de Lave linge | 11 | 977 | 515 | 4452 |
| Eaux de Lave vaisselle | 1.3 | 8 | 6 | 42 |

| | | | | |
|---------------------------------------|------|------|-----|-------|
| Eaux de lavage de vaisselle à la main | 7.8 | <20 | 46 | 110 |
| Eaux de bains | 13.1 | 67 | 45 | 1095 |
| Eaux de toilette (matières fécales) | 48 | 2104 | 121 | 11400 |
| Total | 81.2 | 3176 | 733 | 17 99 |

B. Les apports divers

peuvent contenir de la matière organique notamment les tampons et serviettes hygiéniques, les bâtonnets cure-oreilles, le papier toilette... Ashley (1999) estime en Grande Bretagne que 56 000 tonnes de matières plastiques et d'objets à usage sanitaire sont rejetées annuellement dans les toilettes et 2 500 000 de tampons et 1 400 000 serviettes hygiéniques sont rejetées quotidiennement dans les égouts. La quantité de papier toilette utilisée par personne et par an est de l'ordre de 8.5kg (Anonymus, 1994). Cependant, seulement 90% soit 7.7kg/hab/an est rejetée dans les toilettes. La pollution associée au papier toilette a été évaluée au cours des travaux de Almeida et al (1999). Ils se trouvent que 546 mg de MES par feuille de papier, 526 mg de MVS par feuille de papier et 706 mg de DCOt par feuille de papier sont associées au papier toilette.

C. Les apports à usage domestique contribuent à l'apport des matières organiques. Les concentrations des MES, MVS, et de la DCO totale et dissoute dans les eaux domestiques par différents types d'usage sont synthétisées dans le Tableau 28.

Tableau 28 : concentrations en MES, MVS et DCO t+d dans les eaux de différents dispositifs

| g/m ³ | MES | MVS | DCOt | DCOd |
|-------------------------|-----|-----|------|------|
| Eaux de Bain | 54 | 9 | 210 | 184 |
| Eaux de lavabo | 181 | 72 | 298 | 221 |
| Eaux de douche | 200 | 153 | 501 | 221 |
| Eaux de cuisine | 235 | 196 | 1079 | 644 |
| Eaux de machine à laver | 165 | 97 | 1815 | 1164 |

Ces valeurs montrent que les eaux de cuisines se caractérisent par de fortes concentrations en matières en suspension et en matières organiques ; en revanche, les eaux de machine à laver se distinguent des autres dispositifs par des concentrations en matières organiques très élevées. Par ailleurs, si on tient compte de tous les apports (physiologiques, eaux de toilette, eaux de différents dispositifs) (Tableau 29), il est clair que les eaux de toilette sont une source majeure des matières

organiques et $\text{NH}_3\text{-N}$. Par contre se sont les eaux de cuisine qui sont régulièrement à l'origine des nitrates rejetées dans le réseau (Almeida et al, 1999).

Tableau 29 :Contribution des différents dispositifs (Almeida et al, 1999)

| % | MES | DCOt | NH3-N | NO3-N |
|--------------------------------|------|------|-------|-------|
| Eaux de toilettes | 77.4 | 43.9 | 97.1 | 3.8 |
| Eaux de Bain | 1.3 | 2.5 | 0.6 | 15.3 |
| Eaux de lavabo | 2.1 | 1.7 | 0.1 | 10.7 |
| Eaux de douche | 5.1 | 6.4 | 0.7 | 24.6 |
| Eaux de cuisine | 10.1 | 23.2 | 0.3 | 38 |
| Eaux de machine à laver | 4.0 | 22.3 | 1.2 | 7.6 |

3.2.6 Les eaux industrielles et commerciales

Les eaux usées commerciales et industrielles et en particulier celles des restaurants, contiennent des quantités importantes de matières organiques. Les produits utilisés par les coiffeurs, les esthéticiens, en parfumerie, les produits pharmaceutiques, les plastifiants, les conservateurs, les antioxydants ou encore les solvants utilisés dans les industries ou dans les commerces constituent une source de matières organiques. Les flux annuels en Cd, Cu, Pb et Zn pour différentes sources commerciales et industrielles sont présentés dans le Tableau 30(Sörme et Lagerkvist, 2002), à l'échelle de quatre villes suédoises.

Tableau 30 : Flux annuels en métaux lourds pour quelques sources

| (Kg/an) | Cd | Cu | Pb | Zn |
|-----------------------|------|------|-----|------|
| Grandes entreprises | 0.47 | 87 | 21 | 200 |
| Lavage de voiture | 7.7 | 300 | 240 | 2300 |
| Dentistes | - | - | - | - |
| Conduites et robinets | - | 1200 | - | 200 |
| Totale | 8.17 | 1587 | 261 | 2700 |

D'après Sörme et Lagerkvist (2002), le lavage des voitures peut être considéré comme une source principale pour l'apport en Cd, Pb et Zn. Par ailleurs, le Cu a tendance de provenir de la corrosion du réseau de tuyauterie. Les concentrations en métaux lourds dans les eaux usées d'origine commerciale et industrielle, pour différents pays européens sont synthétisées dans le Tableau 31.

Tableau 31 : Concentrations en métaux lourds des effluents industriels et commerciaux

| | Type d'industrie ou de commerce | Concentrations (µg/l) | pays | références |
|-----------|---------------------------------|-----------------------|-----------|-------------------|
| Cd | ▪ Tous secteurs | 3-1250 | Allemagne | Wilder et al 1997 |
| | ▪ Industrie pétrolière | 300-400 | Grèce | NTUA, 1985 |

| µg/l | 1er décile | médiane | 9ième décile |
|------|------------|---------|--------------|
| Cd | - | 0.2 | - |
| Cu | 91 | 92 | 101 |
| Pb | 15 | 19 | 31 |
| Zn | 86 | 92 | 422 |

| | | | | |
|-----------|---------------------------------------|------------|-----------|---|
| Cu | ▪ Tous secteurs | 37-26000 | Allemagne | Wilder et al 1997 NTUA, 1985 EBAV, 1996 |
| | ▪ Industries électriques et de métaux | 5000-10000 | Grèce | |
| | ▪ Magasins d'artisanat | 20500 | Italie | |
| | ▪ Bijouteries | 700-1900 | | |
| Pb | ▪ Tous secteurs | <50-13400 | Allemagne | Wilder et al 1997 NTUA, 1985 EBAV, 1996 |
| | ▪ Industries électriques et de métaux | 50 | Grèce | |
| | ▪ Magasins de céramique | 6000 | Italie | |
| Zn | ▪ Tous secteurs | 30-133000 | Allemagne | Wilder et al 1997 NTUA, 1985 EBAV, 1996 |
| | ▪ Industries électriques et de métaux | 60-2830 | Grèce | |
| | ▪ Bijouteries | 1000 | Italie | |
| | | | | |

Ces concentrations sont très variables selon le site de mesure et le type d'industrie ou de commerce. Les concentrations des eaux rejetées par différentes activités industrielles et commerciales (les entreprises de traitement de surface, les restaurants, les commerces de vêtements, de chaussures, les hôpitaux...) à Paris sont regroupées dans le Tableau 30.

. Ces valeurs varient considérablement selon le type d'activité, en particulier les concentrations en métaux lourds. Les concentrations en métaux lourds des eaux industrielles et commerciales sont largement supérieures à celles des eaux usées domestiques (Tableau 33).

Tableau 33 : concentrations des MES, et des matières organiques et azotées, dans les eaux usées commerciales et industrielles par type d'activité (cellule des contrôles des eaux, 2003)

| mg/l | MES | DCO | DBO5 | NTK |
|---|-----------------|------------------|-----------------|---------------|
| Traitement de surface | 30-399, (163) | 132-871, (468) | - | - |
| Etablissement soins | 146-489, (135) | 157-1112, (373) | 29-239, (106) | 16-74, (33) |
| Restauration | 118-1481, (506) | 461-2837, (1400) | 181-1380, (511) | 20-142, (70) |
| Pressing et teinturerie | 164-963, (327) | 321-1920, (614) | (334) | 26-84, (59) |
| Blanchisserie | 141-376, (165) | 322-853, (404) | - | 12-63, (35) |
| Ateliers | 170-1636, (742) | 504-1452, (945) | 402-831, (617) | 86-182, (147) |
| Garage | 166-1054, (457) | 838-2204, (1630) | - | 54-128, (89) |
| Laboratoire photo | 262-1228, (864) | 571-3402, (1331) | 166-827, (291) | 62-44, (139) |
| Laboratoire d'analyse | 20-834, (151) | 67-986, (359) | 7-447, (166) | 14-122, (58) |
| Autres | (697) | (1630) | (458) | (89) |
| x-y,(z) : 1 ^{er} decile-9 ^{ième} décile,(médiane) | | | | |

Tableau 34 : concentrations des métaux lourds, dans les eaux usées commerciales et industrielles par type d'activité (cellule des contrôles des eaux, 2003)

| µg/l | Cd | Cu | Pb | Zn |
|---|--------|------------------------|----------------|--------------------------|
| Traitement de surface | 14-19, | 130-1408, | 51-59, | 222-902, |
| | µg/l | 1 ^{er} décile | médiane | 9 ^{ième} décile |
| | Cd | - | 0.2 | - |
| | Cu | 91 | 92 | 101 |
| | Pb | 15 | 19 | 31 |
| | Zn | 86 | 92 | 422 |
| Traitement de surface | -17 | -490 | -55 | -410 |
| Etablissement de soins | <8 | 50-180, -90 | <50-60 | 134-500, -250 |
| Restauration | - | - | - | - |
| Pressing et teinturerie | - | - | - | - |
| Blanchisserie | - | - | - | - |
| Ateliers | <8 | 91-212, -155 | <50 | 367-482, -435 |
| Garage | <8 | 104-424, -300 | 58-700, -80 | 270-732, -390 |
| Laboratoire photo | - | - | - | - |
| Laboratoire d'analyse | <8 | 54-236, -70 | 58-106, -90 | 135-580, -325 |
| Autres | <9 | 390 | 250 | 650 |
| x-y,(z) : 1 ^{er} décile-9 ^{ième} décile,(médiane) | | | | |

Tableau 35 : concentrations en métaux lourds dans les eaux usées domestiques (Cellules de contrôles des eaux)