

Pollution particulaire en Île-de-France : éléments pour un bilan

On a souvent comparé l'écosystème urbain à un organisme vivant. Comme lui il vit, se développe, s'épuise et se régénère. Pour assurer ses fonctions vitales, il importe des biens ou les produit, les consomme et en rejette les déchets. L'Île-de-France n'échappe pas à cette analogie. Ses activités industrielles et urbaines génèrent des nuisances qui affectent l'environnement et la santé de ses onze millions d'habitants. L'identification, l'évaluation des flux de polluants, leur cycle dans le milieu sont des données nécessaires pour en maîtriser les impacts. La présente note apporte une contribution à la connaissance de la pollution métallique et organique de l'écosystème francilien.



© Ctrif

Composants particuliers majeurs de la pollution des villes

Des métaux lourds (voir encadré) sont rejetés sous une forme microparticulaire dans l'atmosphère par certains procédés industriels. Ils proviennent également du métabolisme humain et animal, des rejets liquides des usines, du ruissellement pluvial. Ils sont aussi libérés lors du traitement des déchets.

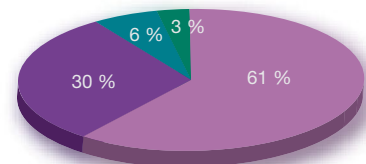
Les métaux lourds sont à la fois bénéfiques et toxiques pour l'organisme. Absorbés en très faibles quantités, certains, comme le cobalt, le cuivre, le molybdène, le zinc, sont indispensables au métabolisme. À fortes doses, ils deviennent toxiques, dans la mesure où, étant non biodégradables, ils s'accumulent et perturbent le fonctionnement de l'organisme. Distribués par voie sanguine, ils sont surtout stockés dans le foie, les reins, les os et les dents. Ils contaminent également l'eau et les récoltes.

Les valeurs limites de la toxicité des métaux lourds intègrent plusieurs facteurs : la toxicité intrinsèque de l'élé-

ment, le mode d'exposition, la forme chimique sous laquelle il se trouve. En principe, les métaux lourds ne sont toxiques qu'au-delà de leur dose hebdomadaire tolérable provisoire (DHTP), définie pour chaque élément. Les émissions de cadmium, de chrome, de cuivre, de mercure, de nickel, de plomb et de zinc, qui présentent un risque pour les populations, sont réglementées par la législation française.

Les composés traces organiques, notamment les polluants organiques persistants (POP), sont des substances hautement toxiques, (voir encadré) particulièrement nocives pour la santé.

Sources des métaux lourds en Île-de-France



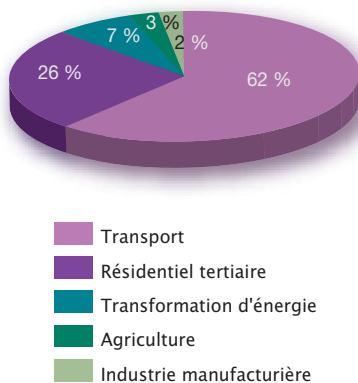
Source : CITEPA, 2004

**Pollution particulaire en Île-de-France :
éléments pour un bilan**

Leur mobilité, à l'échelle de la planète, et leur dangerosité ont conduit à en contrôler les émissions par des règlements internationaux (protocole d'Aarhus et convention de Stockholm). La législation française retient comme indicateurs, en imposant des valeurs limites d'émission, les composés des familles des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HPA), des poly-chloro-biphényles (PCB) et des poly-chloro-dibenzo-dioxines/furannes (PCDDF), réputés pour leur résistance à la biodégradation et par leurs caractères cancérogènes et génotoxiques.

Les pesticides contiennent des substances actives qui entrent dans la famille des POP. Leur épandage concernent tous les milieux et conduit à une volatilisation des produits non négligeable. L'extrapolation des retombées atmosphériques de pesticides organochlorés (lindane, hexa-chlorophène, dichloro-diphényléthane) mesurées sur un site urbain (Paris) et rural, indiquent des retombées d'une cinquantaine de tonnes sur la partie urbaine et de 220 tonnes sur la partie rurale de la région. La grande majorité des pesticides non agricoles est lessivée et rejoint les réseaux d'assainissement ou directement les eaux de surface ; le coefficient de perte serait de 75 à 95 %.

Sources des POP en Île-de-France

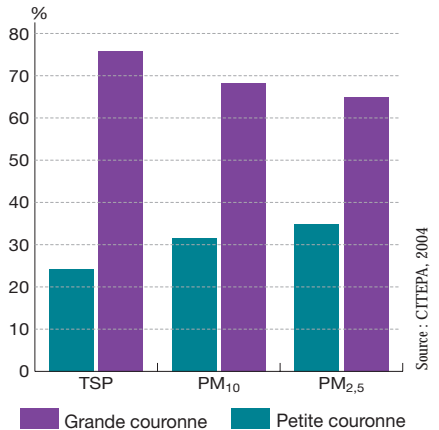


Des particules ou poussières, de diamètre compris entre un millionième et un dixième de millimètre, véhiculent une grande partie de la pollution métallique et organique dans l'atmosphère et agrègent également des éléments d'origine naturelle ou artificielle. Leurs caractéristiques dépendent de sources qui les produisent (voir encadré).

Les émissions annuelles en Île-de-France se situeraient, entre 59 000 et 77 000 tonnes s'agissant des TSP, entre 25 000 et 32 000 tonnes pour les PM₁₀, et autour de 17 000 tonnes pour les PM_{2,5}. L'industrie manufacturière et l'agriculture contribuent majoritairement aux émissions de TSP ; le transport routier, l'activité résidentielle et tertiaire sont les sources principales des émissions de particules fines.

Les particules sont ingérées et/ou inhalées. Plus elles sont fines, plus elles pénètrent profondément dans les poumons, et plus nocive est leur action dans la mesure où elles contaminent le flux sanguin en transitant dans les alvéoles pulmonaires. Les plus grosses pénètrent préférentiellement dans l'organisme par la voie digestive. L'Union européenne a fixé pour 2005 une valeur limite journalière de 50 microgrammes/m³ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an et une valeur limite annuelle de 40 microgrammes pour les PM₁₀. Ces valeurs seront progressivement abaissées pour atteindre, en 2010, 20 microgrammes en moyenne annuelle et 50 microgrammes en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de sept fois l'an. Les effets sanitaires des particules sont de nature essentiellement cardiovasculaires et respiratoires. Une récente évaluation des effets sanitaires de la pollution atmosphérique conduite dans vingt-six villes européennes soulignait leur dangerosité et concluait à l'impact positif de la réduction de leur concentration dans l'air sur la survenue de décès prématurés. Dans l'agglomération parisienne, on constate, depuis

Émission particulaire en Île-de-France



une cinquantaine d'années, une forte décroissance des niveaux de pollution particulaire et, depuis cinq ans, leur stabilisation. La même évaluation soulignait les bénéfices sanitaires qui pourraient résulter d'une nouvelle diminution des niveaux de pollution.

Déterminer le cycle de la pollution particulaire...

La ville rejette dans l'atmosphère des métaux lourds, des composés organiques, des particules. Une partie retombe en Île-de-France et l'autre hors région. Les retombées en zone urbaine rejoignent, par l'intermédiaire du ruissellement pluvial, le réseau de collecte des eaux usées qui véhiculent également les polluants domestiques et les effluents industriels. En zone rurale, une partie des retombées est entraînée par ruissellement vers les cours d'eau, une autre se fixe dans le sol et une autre partie migre vers les eaux souterraines. La destruction des déchets génère, de son côté, de grandes quantités de micropolluants. L'incinération en transfère une faible part dans l'air et en concentre la plus grande partie dans les REFIOM¹ et les mâchefers.

(1) Refus des fumées d'incinération des ordures ménagères.

Pollution particulaire en Île-de-France :
éléments pour un bilan

Le traitement organique en individuelle une fraction dans le compost, introduite ultérieurement dans les sols agricoles par épandage. L'épandage des boues d'épuration, des effluents de l'industrie agroalimentaire, la fertilisation par les engrais de synthèse et le recyclage des mâchefers transfèrent une partie du stock de la pollution métallique et organique des villes dans les sols ruraux. En définitive, seule une part des métaux lourds générés par l'écosystème urbain rejoint les eaux de surface et quitte la région. La majorité des polluants est retenue par l'épuration des effluents avant leur rejet ou est piégée momentanément dans les sols agricoles, les dépôts sur les parois des réseaux d'eaux usées, la sédimentation dans le lit des rivières. Les métaux lourds et polluants organiques des déchets bruts, des mâchefers et des REFIOM sont, quant à eux, confinés dans les décharges contrôlées.

... en préciser le bilan matière

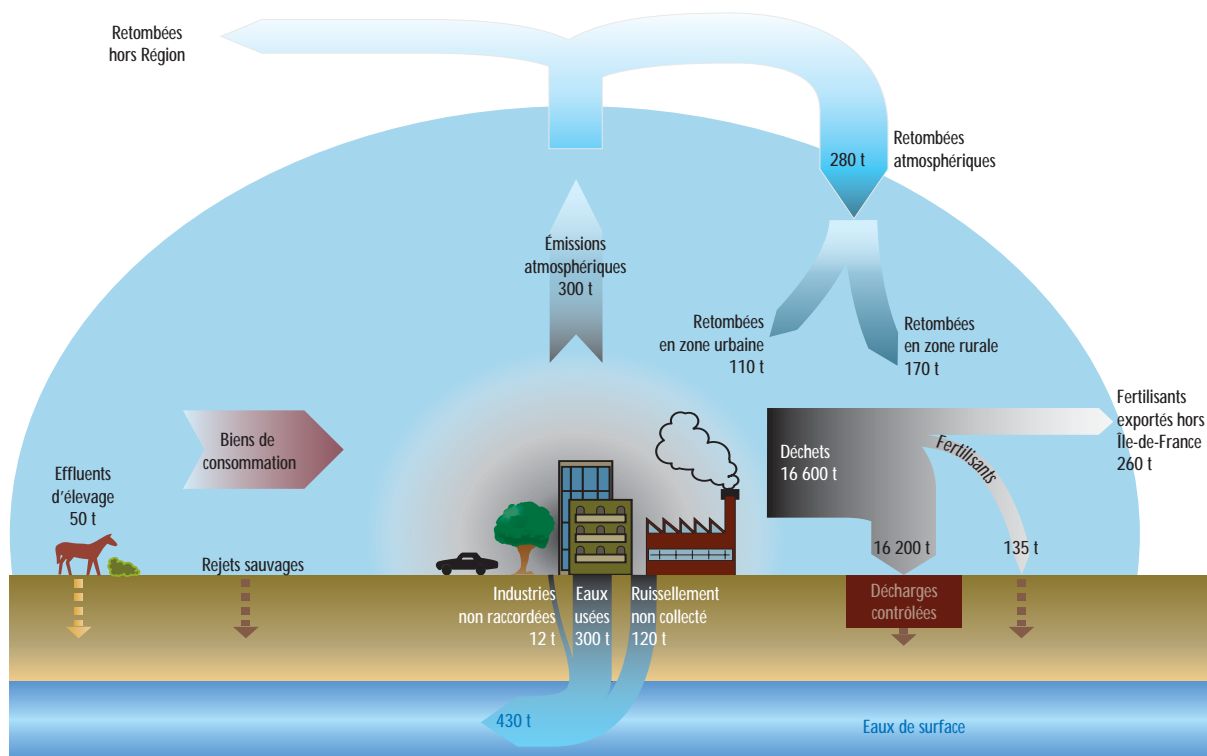
Quelles quantités de polluants interviennent dans ce cycle en Île-de-France ? Quelle fraction est retenue dans la région et quelle quantité en sort ? Tenter de répondre à ces questions revient à établir le bilan matière de la pollution, un exercice délicat à réaliser dans la mesure où de nombreuses données sont fragmentaires, et incomplètes.

Le bilan matière des métaux lourds tels que le cuivre, le cadmium, le chrome, le mercure, le nickel, le plomb et le zinc peut être proposé, sachant que certaines informations font défaut : les quantités de pollution atmosphérique entrantes en région et celles qui en sortent, le volume des rejets sauvages dans les eaux de surface, les apports en Seine extérieurs à la région, ceux

issus de la remise en suspension des métaux contenus dans les sédiments, ceux d'origine naturelle...

Les émissions atmosphériques et les retombées de métaux lourds sont du même ordre. Elles avoisinent respectivement 300 et 280 tonnes. Elles ont été émises par la zone agglomérée mais, de même qu'une fraction des émissions en Île-de-France retombe en dehors de ses limites, il n'est pas exclu qu'une fraction vienne de l'extérieur. Sur l'ensemble des retombées, environ 170 tonnes le seraient en zone rurale, venant s'ajouter aux métaux lourds des fertilisants. Selon les caractéristiques du milieu (relief, perméabilité, couvert végétal) et les conditions climatiques, les métaux pénètrent dans le sol, s'y fixent ou migrent en profondeur, ou bien sont entraînés en surface par ruissellement vers les eaux libres, autant de flux qu'il est impossible d'évaluer spécifiquement.

Le bilan matière des métaux lourds en Île-de-France



Sont représentés les tonnages de Cu, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb et Zn.

Bilan matière réalisé à partir des travaux du PIREN-Seine sur les retombées atmosphériques, des données du CITEPA, de l'AESN et de la DRIRE

La centaine de tonnes de métaux qui retomberait annuellement en zone urbaine est lessivée par la pluie et le nettoyage des chaussées vers les réseaux d'assainissement. Elle y rejoint les métaux lourds issus des déchets de voirie, ceux lessivés sur les toitures métalliques, ceux contenus dans les rejets domestiques et industriels. Ces pollutions sont difficiles, sinon impossibles à quantifier individuellement : le ruissellement sur les toits apporterait quelque 900 tonnes par an de Cd, Cu, Pb, Zn. On ne connaît pas la charge métallique entrante de la pollution domestique, ni celle des industries. Seule est estimée la charge annuelle sortante : une douzaine de tonnes pour les principales industries non raccordées, 300 tonnes sortant des stations du SIAAP², 120 tonnes issues du ruissellement non collecté, soit un total de 430 tonnes rejetées annuellement dans la Seine, en provenance de l'agglomération centrale essentiellement.

Émissions et retombées atmosphériques

Éléments	Émissions	Retombées
Cd	1,01	0,55
Cr	31,73	4,30
Cu	15,69	48,00
Ni	25,04	9,35
Pb	17,19	33
Zn	202,81	183,00
Total	293,46	278,20

Source : PIREN-Seine
En tonnes/an

Mais la source principale des métaux lourds est la destruction des déchets. L'industrie et les ménages franciliens en produisent annuellement près d'une douzaine de millions de tonnes (MT), hors déchets du bâtiment et des travaux publics. Environ 4,0 MT sont incinérées, 2,3 MT enfouies, 0,22 MT composées, 4,2 MT recyclées dont 0,5 MT

de déchets ménagers et, très hypothétiquement, 3,7 MT de déchets industriels banals (DIB). Cette destruction libère des métaux lourds : l'incinération en concentre trois mille tonnes dans les REFION, six mille dans les mâchefers et en rejette une dizaine de

tonnes dans l'atmosphère ; le traitement organique en concentre annuellement une cinquantaine de tonnes dans le compost. Quant aux décharges contrôlées, elles stockent quelque sept mille tonnes de métaux lourds contenus dans les déchets bruts non triés.

L'établissement du bilan matière

Les tonnages indiqués doivent être considérés comme des ordres de grandeur. Ils ne sont pas figés et fluctuent selon les années. La valeur des émissions provient des derniers inventaires du Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (CITEPA). L'estimation des rejets en rivière est tirée des rapports annuels d'activité de la DRIRE Île-de-France, des synthèses de l'Agence de bassin Seine Normandie réalisées dans le cadre de la directive européenne sur l'eau, et des données du SIAAP (Syndicat interdépartemental d'assainissement de l'agglomération parisienne).

L'estimation des retombées est issue des importants travaux réalisés dans le cadre du programme de recherche sur l'environnement de la Seine (PIREN-Seine). Les flux sont extrapolés à la région, à partir de mesures de retombées annuelles, sur un certain nombre de sites urbains, suburbains et ruraux d'Île-de-France.

Les quantités de métaux lourds apportées par les déchets et leurs sous-produits sont calculées à partir des tonnages annuels et de leurs teneurs moyennes en métaux issus de la littérature ou communiqués par les maîtres d'ouvrages. Le calcul des tonnages de métaux

lourds (concernant les déchets, les boues d'épuration, les REFION, les mâchefers, les engrais, le compost) a été effectué à partir des productions de l'année 2000 ; ce qui signifie que les valeurs sont susceptibles de fluctuer d'année en année, de même que les flux des émissions qui concernent, dans cette note, l'année 2000 en général.

Les sources consultées

Les inventaires des émissions sectorielles et départementalisées du CITEPA pour l'année 2000.

L'ensemble des travaux de l'AESN réalisés dans le cadre des travaux préparatoires à l'établissement de l'état des lieux au titre de la directive européenne sur l'eau (2002, 2003). Les rapports d'activité 1999 à 2000 du PIREN (notamment les travaux Azimi, 2002, 2003, 2004 ; Garnaud, 1999 ; Kocillari, 1999 les travaux Azimi, 2002, 2003, 2004 ; Garnaud, 1999 ; Kocillari, 1999 ; Garban et al, 2002 ; Ollivon et al, 2000).

Divers travaux de l'Institut national de l'environnement urbain et des risques (INERIS) sur les REFION, les mâchefers, les dioxines. Les enquêtes sur les déchets de l'ORDIF (2000, 2002).

Origine et destinations des métaux lourds de l'écosystème francilien

Intrant	Production	Confinés en décharge	Transférés dans les sols	Rejetés vers la Seine
Émissions atmosphériques	300			
Retombées atmosphériques	280		170	
Bâti métallique et automobiles	900			
Ruissellement non collecté				121
Eaux usées				302
Industries non raccordées				12
Fertilisants agricoles	111	54	443	?
Total déchets (hors compost)	16 102	16 090	12	?
Total	17 582	16 144	625	435
Mesure en Seine en aval IDF				307

En tonnes/an

(2) Syndicat d'assainissement de l'agglomération parisienne.

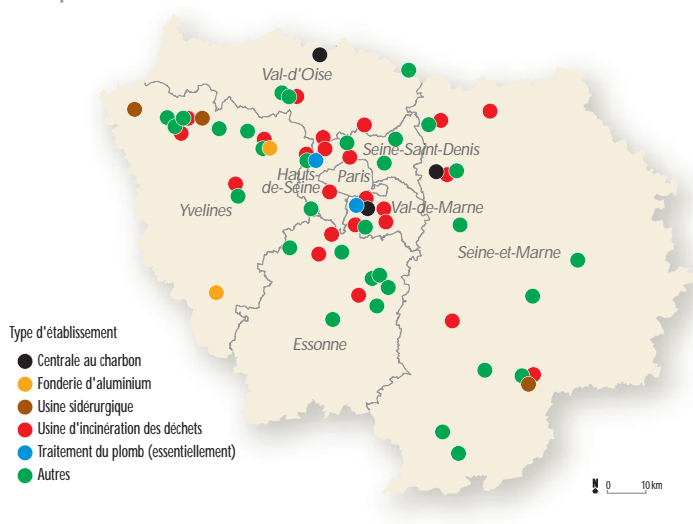
Pollution particulaire en Île-de-France : éléments pour un bilan

Finalement, les métaux lourds qui aboutissent dans la Seine, en Île-de-France, bien qu'ils comptent pour près de 70 % du flux mesuré à son estuaire, ne représentent qu'une très faible partie de toutes les émissions métalliques de la région. Sur une quantité annuelle de métaux lourds libérés par l'écosystème francilien évaluée à près de 18 000 tonnes, plus des 9/10 proviennent du traitement des déchets et sont sequestrés dans des décharges contrôlées. Environ 4 % sont transférés dans les sols de la zone rurale, via les retombées atmosphériques (moins de 200 tonnes), les fertilisants agricoles (autour de 500 tonnes), les mâchefers recyclés (une dizaine de tonnes), avec une possible migration d'une fraction vers les eaux de surface et souterraines. Seulement environ 2 % de métaux lourds sont rejetés en rivière.

Le bilan des composés traces organiques n'a pu être établi. Leur grand nombre, les faibles concentrations en jeu et la rareté des mesures des retombées rendent prématurée sa réalisation. Bien que rejetés en moindres quantités, ces éléments induisent des risques sanitaires élevés. En 2000, en Île-de-France, leurs émissions atmosphériques étaient de 16,5 de HAP, de 4,7 tonnes de PCB et de 101 grammes pour les dioxines/furannes. La tendance indique une réduction de leurs émissions.

Ces composés sont réputés cancérigènes, notamment certaines dioxines. Ces dernières sont associées, dans l'esprit des gens, à l'incinération des ordures ménagères depuis que des concentrations élevées autour de certains incinérateurs ont conduit à des actions aussi radicales que leur fermeture et la destruction de cheptels et de récoltes. Mais cette activité n'en est pas l'unique source. Si les gros émetteurs de la région sont les 23 usines d'incinération de déchets, d'autres comme les centrales de chauffage au charbon, les usines sidérurgiques et les fonderies d'aluminium en émettent également.

Principaux établissements industriels



Source : DRIRE, IAURIF et autres © IAURIF - DEUR 2004

Métaux lourds

Quarante et un éléments chimiques

Les plus toxiques pour l'homme : le cadmium (Cd), le plomb (Pb), le mercure (Hg), le cuivre (Cu), le zinc (Zn), le chrome (Cr), le nickel (Ni), le vanadium (V), le cobalt (Co), le manganèse (Mn), l'argent (Ag), le molybdène (Mo), l'étain (Sn), le tantale (Ta), l'arsenic (As).

Caractères

Masse volumique égale ou supérieure à 4,5g/cm³. Très faible concentration dans l'écorce terrestre (moins de 1g/kg de matière sèche) et dans les organismes (moins de 0,1 g/kg de matière sèche), d'où l'appellation «éléments traces métalliques» (ETM). Émissions généralement sous une forme particulaire, mais également gazeuse (As, Hg). Faiblement volatils, non biodégradables. Fort pouvoir d'accumulation dans l'organisme.

Sources principales

Combustion de pétrole et de charbon. Métallurgie du fer, de l'acier, des métaux non ferreux. Incinération des déchets. Fabrication de ciment.

Composés traces organiques

Composition chimique

Formes moléculaires complexes associant des atomes de carbone, d'oxygène, parfois de chlore, en des chaînes linéaires ou polycycliques.

Principaux composés

Dioxines et furannes (PCDDF). Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). Polychlorobiphényles (PCB). Familles des pesticides : héxachlorobenzène, aldrine, chlordane, lindane...

Caractères principaux

Toxicité, résistance à la biodégradation, bioaccumulation dans la chaîne alimentaire, transport aérien sur de très longues distances.

Sources principales

Trafic routier. Divers procédés industriels faisant intervenir une combustion : chauffage urbain, incinération des déchets, incendies, volcanisme. Beaucoup de produits industriels et commerciaux dans la composition desquels ils entrent : pesticides, isolants, fluides caloporteurs, peintures, matières plastiques...

Particules ou poussières

Classification

Particules primaires : entrant directement dans l'air en tant que telles. Particules secondaires : formées dans l'atmosphère par la conversion gaz/particules initiée par les processus de combustion à haute température. Grosses particules (PM₁₀) : diamètre entre 10 et 2,5 microns (un micron équivaut à un millième de millimètre). Particules fines (PM_{2,5}) : diamètre inférieur à 2,5 microns. TSP : désigne les particules de toutes dimensions.

Composition

Éléments minéraux (oxydes d'aluminium et de silicium) et organiques, métaux lourds, sels, nitrates et sulfates, carbone.

Sources principales

Moteurs automobiles, usines d'incinération, centrales thermiques, agriculture, activité minière, activité du bâtiment, volcanisme, feux de forêt, etc. Particules ou poussières.

Pollution particulaire en Île-de-France :
éléments pour un bilan

En 2000, en Île-de-France, l'incinération a rejeté dans ses fumées 23 g de dioxines/furannes, mais en a confiné la grande majorité dans les REFIOM (600 g).

Dans l'écosystème, les flux des composés organiques procèdent du même cycle que celui des métaux lourds : émissions dans l'air, retombées en milieu urbain, lessivage vers les réseaux de collecte et concentration dans les boues d'épuration ; en milieu non urbanisé : transfert dans le sol, faible lessivage par les eaux de pluie. La contamination des sols par les POP affecte donc essentiellement, ici encore, les espaces non urbanisés par les retombées atmosphériques et les épandages de boues d'épuration.

Une prise de conscience qui doit déboucher sur des actions de prévention

Une dépollution insuffisante

Environ 400 tonnes de métaux lourds s'évacueraient donc hors région dans la Seine, une quantité qui n'est pas en contradiction avec le flux mesuré par le PIREN en Seine aval d'Île-de-France. Ces métaux sont issus des rejets des stations d'épuration et du ruissellement non collecté, témoignant d'une dépollution encore insuffisante, même si la très grande majorité de la pollution reste confinée en Île-de-France. Ce confinement qui immobilise des quantités énormes de métaux lourds, en provenance des REFIOM notamment, pose à terme le problème de la pérennité des installations qui leur sont dédiées.

Combiner recyclage, progrès techniques et réglementation...

Si, en l'état actuel, la réduction des flux de REFIOM n'est envisageable qu'en limitant l'incinération, celle des déchets bruts et des DIB est possible par le recyclage : le tri des emballages restreint l'enfouissement et, en conséquence, limite les quantités de métaux lourds dans les décharges de déchets ménagers et assimilés.

L'évolution des émissions depuis le début des années 1990 indique une diminution des rejets de métaux lourds et de composés traces organiques, symptomatique de l'imposition de normes de plus en plus restrictives et de progrès techniques. À titre d'exemple, les émissions de plomb ont été réduites de 95 % en France de 1990 à 2002, notamment grâce à son interdiction (depuis 2000) dans l'essence. Celles des dioxines ont été réduites de près de 80 %, grâce, surtout, aux progrès de la sidérurgie et de l'incinération. En Île-de-France, la réduction des émissions de plomb a été du même ordre de grandeur entre 1995 et 2000, et la quantité de dioxines émises, sur cette même période, est passée de 158 g à une centaine de grammes.

... avec la réduction de la pollution à la source

Pour une maîtrise plus durable des émissions de polluants, des initiatives sont nécessaires en amont des filières d'où elles sont issues. Des préconisations destinées à réduire la pollution à la source sont inscrites dans la loi sur les déchets du 13 juillet 1992, dans le but de «prévenir ou réduire la production

ou la nocivité des déchets [...] en agissant sur la fabrication [...] des produits», à savoir : la mise en œuvre de technologies propres, les recherches sur les éco-produits, la réduction des déchets par l'amélioration qualitative et quantitative des produits, notamment des emballages. Leur application sera déterminante pour limiter le flux des polluants, même si les effets ne se feront sentir qu'à long terme. Dans l'immédiat, les performances épuratoires des équipements de traitement des déchets et des établissements industriels doivent continuer d'être améliorées en Île-de-France pour offrir une meilleure qualité de vie aux habitants dans un environnement restauré et préservé.

Pour en savoir plus :

Azimi S., *Sources, flux et bilan des retombées atmosphériques de métaux en Île-de-France*, Thèse de doctorat, École nationale des ponts et chaussées, 2004.

Franconi A. et Camard JP., *Les apports de matières fertilisantes et de pesticides dans les sols franciliens*, IAURIF, 2004.

Ensemble des documents publiés par l'AESN en vue de l'établissement de l'état des lieux au titre de la directive cadre sur l'eau.