

Qualité des eaux de ruissellement sur trois aéroports français : Nantes-Atlantique, Marseille-Provence et Lyon-Satolas

RÉSUMÉ

Cet article présente la synthèse des études de la qualité des eaux de ruissellement réalisées sur trois aéroports français, à Nantes, Marseille et Lyon, supportant des trafics compris entre 1,2 et 5,4 millions de passagers par an. Une vingtaine d'événements pluvieux ont été échantillonnés sur les aires de trafic de chaque site. Les eaux de ruissellement apparaissent faiblement ou modérément polluées par les matières en suspension, les hydrocarbures et, dans une moindre mesure, la demande chimique en oxygène. On observe une grande variabilité des charges de pollution rejetées entre les différents événements. Les charges annuelles de pollution sont généralement inférieures à celles mesurées sur les autoroutes. Les charges en demande chimique en oxygène et en hydrocarbures semblent bien reliées au trafic tandis que celles en matières en suspension semblent influencées par des facteurs climatiques. Les charges en azote Kjeldhal, nitrates, chlorures, sulfates et en métaux lourds (cadmium, cuivre, plomb et zinc) sont très faibles sur les trois sites étudiés. Enfin, aucun des sites n'a été soumis à des conditions hivernales rigoureuses permettant d'évaluer l'impact de l'utilisation de produits de dé verglaçage.

MOTS CLÉS : 15 - Pluie - Aéroport - Hydrocarbure - Pollution - Prélèvement - Eau - Ruissellement - Métal - Lourd - France - Qualité - Analyse (physicochim.).

Michel LEGRET
Directeur de recherche
Chef de la section Pollution des eaux
Laboratoire central des Ponts et Chaussées

Olivier THIRIONET
Ingénieur des Travaux publics de l'État
Chef de la subdivision Environnement
Service Technique des bases aériennes

Introduction

Les aéroports et le trafic aérien peuvent être à la source de différents types de nuisances et de pollutions : bruit, pollution atmosphérique, pollution des sols et des eaux.

La loi sur l'eau du 3 janvier 1992 institue un régime d'autorisation pour les ouvrages, installations, travaux et activités affectant la ressource en eau. Les aéroports sont concernés par cette procédure. Ils doivent notamment respecter des arrêtés d'autorisation leur imposant des seuils de rejets d'eaux pluviales compatibles avec les objectifs de qualité des milieux récepteurs.

Dans ce contexte général, la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) a chargé le Service Technique des Bases Aériennes (STBA) d'effectuer une étude concernant la qualité des eaux de ruissellement sur les aéroports afin de caractériser la nature et l'étendue de cette pollution.

Le STBA a confié au Laboratoire central des Ponts et Chaussées (LCPC) une série de campagnes de prélèvements et d'analyses des eaux pluviales sur trois aéroports (Nantes-Atlantique, Marseille-Provence et Lyon-Satolas), afin de prendre en compte les diversités géographiques, climatiques et de trafics.

Cet article présente une synthèse des principaux résultats obtenus au cours de ces campagnes (Legret et al., 1996).

Une recherche bibliographique réalisée en préalable à cette étude a permis de mieux préciser l'origine de la pollution des eaux pluviales sur les aéroports (Le Déan et al., 1995). Il est apparu que très peu de travaux ont été consacrés à l'étude de la pollution chronique des eaux de ruissellement (Christakos-Comack et Dugan, 1982), la plupart des travaux publiés concernant soit la description des sources de pollution et la gestion des eaux pluviales (Sierra et al., 1981 ; Gay et al., 1987 ; Stewart et Kaul, 1986) soit les problèmes spécifiques posés par l'utilisation de produits dégivrants (Thornton, 1989 ; Pearson, 1996 ; Betts, 1999).

Les sources de pollution des eaux pluviales sur les aéroports

Les aéroports sont des infrastructures ponctuelles composées pour une grande partie de surfaces imperméabilisées. Ils ne sollicitent pour la plupart que peu d'exutoires (Pour Roissy Charles de Gaulle : sur 3100 ha d'entreprise plus de 1000 ha sont imperméabilisés et les rejets s'effectuent dans la Reuneuse et le Saussent). Il s'agit dès lors d'évacuer le plus efficacement les eaux pluviales sans pour autant perturber le fonctionnement hydraulique de l'exutoire. Toutefois, les effluents doivent être traités de manière à être compatibles avec ses capacités d'élimination.

Pour l'essentiel des aéroports, le réseau de collecte des eaux de ruissellement est séparatif. La conception des réseaux est soumise à des contraintes spécifiques à l'activité aéronautique. Parmi elles, citons :

- les pentes des surfaces imperméabilisées doivent être faibles. Ainsi, pour une piste, la pente longitudinale doit être de 1% en moyenne,
- les fossés de drainage ne doivent pas être ouverts à côté des pistes : ils présenteraient des dangers pour les avions en cas de sortie de piste,
- les regards et fossés ne doivent pas fragiliser la chaussée. Un Boeing 747 à pleine charge pèse environ 350 tonnes réparties sur 16 roues (soit 22 tonnes par roues),
- le système d'assainissement doit prendre en compte le péril aviaire et éviter de constituer des points de nichage pour les oiseaux,
- les terrains adjacents aux pistes doivent être drainés afin d'éviter que les infiltrations ne ruisquent la structure de chaussée.

Les substances polluantes présentes dans les eaux de ruissellement sont liées à divers types de pollutions.

■ **La pollution chronique** est due aux activités spécifiques et régulières de la plate-forme :

- les émissions gazeuses provenant de la combustion des carburants des avions, des véhicules terrestres circulant sur la plate-forme et des installations industrielles (oxydes de carbone, oxydes d'azote, hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), plomb, dioxyde de soufre, etc.),
- l'usure des revêtements et des véhicules, comprenant notamment les traces de gomme qui se déposent lors de l'atterrissement (métaux lourds, etc.),
- les opérations de maintenance aéronautique (détecteurs, solvants, métaux lourds, etc.). En

particulier, le lavage des avions est une activité qui produit une charge organique importante (DCO),

➤ les opérations d'avitaillement (carburants, huiles, etc.). Pour des raisons de sécurité, les déversements de carburant lors des opérations d'avitaillement sont poussés à l'eau vers le réseau d'eau pluviale,

➤ les exercices d'incendie du Service de Sécurité incendie et sauvetage. Cette activité utilise des huiles et des mousses synthétiques présentant une demande biologique en oxygène (DBO) élevée,

➤ les lavages des aires de stationnement, pour lesquels sont utilisés des détergents et alcalins forts,

➤ le dégommage des pistes, à l'eau sous haute pression. Les gommes et les produits de dégommage sont récupérés. Cette opération n'est donc pas une source significative de pollution.

■ **La pollution saisonnière** est liée à l'exploitation de la plate-forme en période hivernale, notamment due à l'utilisation de fondants chimiques pour :

➤ le dégivrage (opération curative) et l'antigelage (opération préventive) des avions. Les produits utilisés sont à base d'éthylène glycol, de faible toxicité, non rémanant dans l'environnement mais présentant une DBO élevée. Entre 40 et 80 % du produit appliqué tombe directement sur le sol. On estime qu'en moyenne, il faut 750 l de solution de glycol à 60 % pour traiter un avion,

➤ le déverglaçage des aires de stationnement et des pistes. Longtemps employée, l'urée est abandonnée au profit des formates et acétates de potassium.

■ **La pollution accidentelle** survient à la suite d'accidents durant lesquels sont déversées de grandes quantités de carburant et autres matières dangereuses. La gravité de ce type de pollution dépend de la nature, des quantités de produits déversées et de la ressource susceptible d'être affectée. Cette pollution est, comme celle provenant d'un crash, imprévisible dans le temps et dans l'espace.

Les principales surfaces imperméabilisées, susceptibles d'accumuler des pollutions sur les aéroports sont constituées par :

➤ les aires de manœuvre comprenant les pistes et les taxiways. Cette zone est destinée à l'évolution des avions,

- les aires de trafic destinées à recevoir les avions lors des escales. L'avitaillement, les opérations techniques d'escales sont normalement effectuées sur ces zones,
- les aires de garages destinées au stationnement des avions en dehors des escales,
- les aires d'entretien destinées aux opérations d'entretien et de réparation qui ne peuvent être effectuées sur les autres aires.

Méthode expérimentale

Description des sites

L'étude a été réalisée sur trois aéroports supportant une activité importante et subissant des influences climatiques différentes. Il a été décidé de mesurer la qualité des effluents provenant des aires de trafic, surfaces sur lesquelles la concentration d'activité est la plus importante.

Les aéroports choisis sont les suivants :

- **Nantes-Atlantique** : situé sur les communes de Bouguenais et de St Aignan Grand Lieu à 8 km au sud ouest du centre de l'agglomération nantaise sur la rive gauche de la Loire. Il est classé au 10e rang des aéroports français pour son trafic. Sur cet aéroport, les eaux pluviales sont rejetées au milieu naturel sans traitement préalable.
- **Marseille-Provence** : contigu à l'étang de Berre, il est situé sur la commune de Marignane à 25 km de Marseille. Il s'agit du 3e aéroport français pour son trafic. Une partie des eaux plu-

viales de l'aéroport transite dans un bassin de rétention avant rejet dans l'étang de Berre.

- **Lyon-Satolas** : situé sur les communes de Colombier, Pusignan et Genas à 20 km du centre de Lyon. Il est classé au 4e rang des aéroports français. L'ensemble des eaux de ruissellement est traité par passage dans des séparateurs d'hydrocarbures et dans deux bassins de rétention avant réinfiltration dans la nappe phréatique.

Le tableau I rappelle les principales caractéristiques de ces aéroports lors de la campagne de mesure.

Prélèvements

Les eaux de ruissellement prélevées sur ces aéroports proviennent :

- pour Nantes, de la zone de stationnement et d'embarquement des avions face à l'aérogare,
- pour Marseille, d'une partie du bassin B9 de l'aéroport comprenant les installations de sécurité civile et de l'aire de stationnement pour avion de la Darse Nationale,
- pour Lyon, de la partie nord de la zone d'embarquement des avions, de l'aire de stationnement des avions de tourisme, zones sur lesquelles sont effectuées des opérations d'avitaillement et de dégivrage des avions.

Les prélèvements ont été effectués sur les eaux de ruissellement avant leur passage dans un quelconque dispositif de traitement.

Le tableau I résume les principales caractéristiques des impluviums concernés.

TABLEAU I
Caractéristiques des aéroports étudiés

Aéroports	Surface		Trafic (année de l'expérimentation)		Infrastructures	Aménagement du point de mesure		
	Emprise totale (ha)	Imp. (ha)	Passagers (millions)	Mvts		Surf. (ha)	Pente moy. (%)	Collect. (mm)
Nantes-Atlantique	340	37,8	1,2	79 687	2 pistes sécantes : 2 900 × 45 m 650 × 30 m	4,8	0,7	600
Marseille-Provence	550	165	5,4	116 342	2 pistes parallèles : 3 500 × 45 m 2 370 × 45 m	11,2	0,7	1 200
Lyon-Satolas	2 100	112	4,9	100 199	2 pistes parallèles : 4 000 × 45 m 2 670 × 45 m	17,2	0,7	1 500

Imp. : Surface imperméabilisée totale - Mvts : Nombre de mouvements d'avion - Surf. : Surface de l'impluvium - Pente moy. : Pente moyenne de l'impluvium - Collect. : Taille du collecteur d'eau pluviale.

Les données pluviométriques proviennent des stations météorologiques installées sur chacune de ces plates-formes.

Les eaux de ruissellement ont été prélevées à l'aide de préleveurs automatiques asservis au volume écoulé dans les collecteurs. Les mesures de débit ont été réalisées par des débitmètres à ultrasons immersés.

Les analyses sur les eaux de ruissellement ont été complétées par des prélèvements de sols et de sédiments à l'exutoire des collecteurs pluviaux.

➤ Aéroport de Nantes-Atlantique : les eaux pluviales sont évacuées dans un fossé qui se jette dans la rivière du Bougon. Quatre prélèvements situés respectivement à 3, 20, 50 et 400 mètres (échantillon témoin) en aval de l'exutoire principal ont été réalisés.

➤ Aéroport de Marseille-Provence : deux prélèvements ont été effectués en deux points, à l'exutoire du collecteur T130 provenant du terminal I de l'aéroport (recevant les eaux pluviales des toitures de l'aérogare et de la zone de fret) et dans un fossé circulaire (recevant les eaux pluviales du terminal II, des parkings véhicules, de la zone de la sécurité civile, de la centrale de climatisation après passage dans un bassin de décantation et les eaux industrielles traitées provenant d'une usine de construction aéronautique). Ils ont été complétés par deux prélèvements : l'un dans un ancien fossé d'évacuation des eaux pluviales et industrielles, et l'autre dans un fossé désaffecté près de la station météorologique.

➤ Aéroport de Lyon-Satolas : près des pistes, trois sondages ont été réalisés (un à l'extrémité sud des pistes, deux à l'extrémité nord de la piste A et de piste B). Trois autres sondages ont été effectués dans le bassin d'infiltration des eaux pluviales, exutoire de la plate forme (à 30, 60 et 100 mètres de l'entrée des eaux dans le bassin). Ils ont été complétés par deux prélèvements de surface, sous eau, à 30 et 60 mètres et par un témoin à proximité du bassin. Des sédiments ont aussi été prélevés dans le bassin de rétention situé près de la station météo (sur la membrane d'étanchéification et dans le canal d'entrée des eaux).

Analyses

Les analyses physico-chimiques effectuées sur les eaux prélevées sont les suivantes :

- pH,
- demande chimique en oxygène (DCO),
- matières en suspension (MES),
- azote Kjeldhal (NTK),

➤ plomb (Pb), cuivre (Cu), cadmium (Cd) et zinc (Zn) dans les eaux brutes acidifiées à pH inférieur à 2 et les eaux filtrées sur membranes de 0,45 µm de porosité puis acidifiées avec un pH inférieur à 2. Le seuil de détection pour les premiers événements à Lyon a été de 10 µg/l pour le Cd, il a été abaissé par la suite à 1 µg/l.

➤ hydrocarbures totaux (Hc),

➤ nitrates (NO₃⁻), chlorures (Cl⁻), sulfates (SO₄²⁻) sur les eaux filtrées sur membrane de 0,45 µm de porosité.

Les analyses ont été réalisées selon des méthodes normalisées (AFNOR, 1994a) : les métaux lourds (Pb, Cu, Cd et Zn) ont été déterminés par spectrométrie d'absorption atomique, les hydrocarbures totaux par spectrométrie infrarouge, les chlorures, les sulfates et les nitrates par chromatographie ionique.

Les analyses de sédiments ont été effectuées sur la fraction inférieure à 2 mm obtenue par tamisage sur des tamis en nylon et séchée par lyophilisation. Les paramètres analysés, selon les méthodes normalisées (AFNOR, 1994b), sont les suivants :

➤ matières volatiles (MV) à 550 °C,

➤ plomb (Pb), cuivre (Cu), cadmium (Cd) et zinc (Zn) par spectrométrie d'absorption atomique,

➤ hydrocarbures totaux (Hc) par spectrométrie infrarouge,

➤ granulométrie par tamisage pour les particules de taille supérieure à 500 µm et par diffraction laser pour les particules de taille inférieure à 500 µm.

Résultats des analyses des eaux de ruissellement

Bilan des prélèvements d'eaux de ruissellement

Une vingtaine d'événements pluvieux ayant donné lieu à un ruissellement ont été analysées sur chacun des sites. Le tableau II présente les principales caractéristiques des prélèvements d'eaux de ruissellement.

Les coefficients de ruissellement ont été calculés par événement, par rapport à la surface imperméabilisée raccordée au point de mesure. Ces coefficients présentent une variabilité importante et sont parfois supérieurs à 1 (2 événements à Nantes et à Marseille). Lors de fortes précipitations ou d'événements succédant à une période pluvieuse importante, certaines surfaces non

imperméables peuvent contribuer au ruissellement, notamment en raison de phénomènes de saturation du sol. Des problèmes de mesure ou la mise en charge du réseau lors de petits événements non pris en compte et précédant un événement plus important, peuvent également se traduire par une surestimation du volume écoulé.

Les pluies tombées pendant la période d'échantillonnage sur l'aéroport de Nantes sont conformes aux normales de la région nantaise, avec des précipitations nombreuses et de faibles intensités réparties sur toute l'année. Seule la hauteur de pluie précipitée pendant le mois de juin est assez faible par rapport aux normales

(7,8 mm au lieu de 45 mm pour la période 1961-1990). Sur l'aéroport de Marseille, l'année d'étude apparaît comme une année exceptionnelle marquée par de fortes précipitations en septembre, novembre 1996 et janvier 1997 suivie d'une période de sécheresse s'étendant de février à mai 1997. En ce qui concerne Lyon-Satolas, l'année d'étude apparaît comme étant une année moyenne pour la hauteur précipitée, mais marquée par de fortes précipitations en avril et septembre 1998, comblant ainsi le retard accumulé au fil des autres mois.

Le tableau III présente la répartition des pluies échantillonées en fonction de leur hauteur sur chaque site.

**TABLEAU II
Bilan des prélevements**

Aéroports	Nantes-Atlantique	Marseille-Provence	Lyon-Satolas
Hauteur moyenne annuelle de précipitation (mm)	787	538	949
Période de prélèvements	Mars-Août 1995	Juillet 1996-Juin 1997	Nov. 1997-Sept. 1998
Hauteur totale de pluie précipitée (mm)	259	579	650
Pluie ayant donné lieu à ruissellement			
Hauteur (mm)	232	556	635
Pourcentage (%)	90	96	98
Nombre de pluies analysées	20	20	21
Volume d'eau éculée (mm)	131	446	383
Coefficient de ruissellement			
Moyenne	0,65	0,75	0,63
Gamme	0,22-1,5	0,35-1,18	0,39-0,75
Écart-type	0,33	0,23	0,08
Intensité maximale sur 6 min (mm/h)			
Moyenne	12	19,6	21,7
Gamme	4-70	4-68	4-80
Écart-type	14,7	19,8	22,1

**TABLEAU III
Répartition des pluies échantillonées en fonction de la hauteur de pluie**

Aéroports	Hauteur de pluie			
	Inférieure à 10 mm	Entre 10 et 20 mm	Entre 20 et 40 mm	Supérieure à 40 mm
Nantes-Atlantique	11	7	1	1 à 43,4 mm
Marseille-Provence	2	9	5	4 dont 1 à 70 mm
Lyon-Satolas	4	6	9	2 dont 1 à 73 mm

Mesure des concentrations moyennes dans les eaux de ruissellement

Les tableaux IV et V présentent, respectivement pour les eaux brutes et les eaux filtrées, la synthèse des résultats des analyses effectuées sur les eaux de ruissellement sur chacun des sites. La moyenne pondérée est obtenue en divisant la somme des charges correspondant à chaque événement par le volume total écoulé.

Le tableau VI reprend différentes valeurs réglementaires, notamment :

- les valeurs limites pour les eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine, fixées par le décret 89-3 du 3 janvier 1989 (et décret 91-257 du 7 mars 1991) en ce qui concerne les eaux du groupe A3 devant subir un traitement physique et chimique poussé,
- les valeurs limites pour les eaux de rivières de qualité 1A, considérées comme exemptes de pollution, et 1B, de qualité légèrement moindre pouvant satisfaire tous les usages,
- les normes de rejets des stations d'épuration des eaux usées urbaines fixées par la directive de l'Union Européenne (UE) du 21 mai 1991.

L'examen des valeurs de concentration met en évidence les points suivants :

- Le pH est proche de la neutralité et varie peu.
- Les valeurs des MES sur les aéroports de Nantes et Lyon sont faibles et ne dépassent que très rarement la norme UE (dépassement pour trois événements à Nantes et deux à Lyon). Toutefois, à Marseille, la valeur moyenne des MES est de 82 mg/l et les valeurs sont assez dispersées. La norme UE est dépassée pour 50 % des événements mesurés. Des pics de concentrations sont apparus pour les événements qui ont succédé à une très longue période de temps sec entre janvier et avril 1997 (90 jours de temps sec).
- La DCO est particulièrement faible sur Nantes et la norme de rejets UE n'est généralement pas dépassées. Sur Lyon et Marseille, la valeur moyenne est de l'ordre de 70 mgO₂/l. Seuls trois événements sur ces deux sites dépassent la valeur de la directive : de même que pour les MES, des concentrations élevées ont été mesurées à Marseille après une longue période de temps sec et des pics de DCO ont été mesurés à Lyon après des événements hivernaux et un événement orageux de forte intensité.
- Les teneurs en azote Kjeldhal sont faibles sur les trois aéroports. Une seule pluie à Marseille a dépassé le seuil de 10 mgN/l de la directive UE.
- Les valeurs moyennes en hydrocarbures totaux sont faibles sur les aéroports de Nantes et de Lyon, respectivement 0,08 mg/l et 0,67 mg/l. Seules six

valeurs sur Lyon, dépassent la teneur limite de 1 mg/l fixée par le décret 89-3 pour la qualité des eaux brutes destinées à la production d'eau de consommation. À Marseille, les concentrations en hydrocarbures sont assez dispersées. Si la moyenne est de 1,6 mg/l, seules quatre valeurs sur les quatorze mesurées sont supérieures ou égales à la teneur limite fixée par le décret 89-3. En particulier, la concentration atteint 15 mg/l lors d'un événement et sept valeurs sont inférieures au seuil de détection de 0,1 mg/l.

□ Le plomb est en général, principalement présent sous forme particulaire (85 % à Nantes et 76 % à Marseille mais seulement 46 % à Lyon). Les valeurs sont faibles et restent généralement inférieures au seuil limite de 50 µg/l fixé par le décret 89-3 (respectivement un et deux dépassements sur Nantes et sur Marseille).

□ Le cuivre apparaît majoritairement sous forme dissoute à Nantes (76 %) mais se répartit également entre les deux phases sur les autres sites. Les valeurs sont toutes inférieures au seuil fixé par le décret 89-3 (1 mg/l).

□ Le cadmium est surtout présent sous forme dissoute (100 % à Lyon et 63 % à Nantes). Les valeurs ne dépassent pas le seuil du décret 89-3 (5 µg/l). Le maximum de 10 µg/l sur Lyon-Satolas correspond au seuil de détection utilisé pour les premiers échantillons et constitue un majorant de la concentration. À Marseille, le cadmium se trouve sous forme particulaire pour 78 % et si, pour les événements survenus après la période de temps sec, les concentrations (26 et 33 µg/l) sont très supérieures à la valeur limite du décret 89-3, la moyenne n'est pas élevée (4,5 µg/l).

□ Le zinc est surtout présent sous forme dissoute sur le site nantais (76 %). À Lyon et à Marseille, il se trouve plutôt sous forme particulaire (respectivement 70 et 60 %). Les valeurs observées sur les trois sites sont bien inférieures à celle du décret 89-3 (5 mg/l).

□ Sur les eaux filtrées, les concentrations en nitrates, chlorures et sulfates sont toujours très inférieures aux seuils fixés par le décret 89-3 (respectivement 50, 200 et 250 mg/l).

En conclusion, il apparaît que les eaux de ruissellement sur ces aéroports sont faiblement ou modérément polluées par la présence de MES, d'hydrocarbures et dans une moindre mesure de DCO. Les eaux de ruissellement de l'aéroport de Marseille semblent plus chargées que les autres en MES ou en métaux lourds (notamment pour le Pb et pour le Zn qui se retrouve principalement sous forme particulaire sur cet aéroport). Ces teneurs peuvent être mises en relation avec les paramètres climatiques (sécheresse, vent violent qui peuvent apporter des poussières sur les surfaces imperméabilisées, intensité des pluies) et avec l'environnement industriel du site marseillais.

TABLEAU IV
Synthèse des résultats des analyses des eaux brutes

Aéroports	pH	MES (mg/l)	DCO (mg O ₂ /l)	NTK (mg N/l)	Hc (mg/l)	Pb (µg/l)	Cu (µg/l)	Cd (µg/l)	Zn (µg/l)
Nantes-Atlantique									
Nombre d'événements	19	20	20	12	15	18	19	19	19
Moyenne	7,1	18	42	1,9	0,08	10	33	1,9	87
Moyenne pondérée	-	14	33	1,4	0,07	7,3	23	1,6	57
Gamme	6,4-7,6	5,9-83	< 10-122	0,3-3,7	< 0,01-0,17	2-66	7-91	0,7-3,6	23-212
Écart-type	0,3	18	33	1,2	0,04	15	26	0,96	66
Marseille-Provence									
Nombre d'événements	20	20	20	18	14	20	20	20	20
Moyenne	7,4	82	74	2,3	1,6	23	14	4,5	210
Moyenne pondérée	-	52	55	1,8	0,8	21	14	2,3	148
Gamme	6,9-8	< 1-530	< 30-300	0,2-16	< 0,1-15	2-70	5-45	0,5-33	60-900
Écart-type	0,3	129	74	3,5	3,9	20	11	8,7	207
Lyon-Satolas									
Nombre d'événements	21	21	21	21	21	20	20	20	20
Moyenne	7,4	16	70	1,4	0,67	11	16	4	85
Moyenne pondérée	-	11	61	1,4	0,56	9	14	4	80
Gamme	7,1-7,8	< 2-41,4	< 30-355	< 0,5-3,1	0,06-2	2-46	< 4-52	< 1-< 10	< 10-370
Écart-type	0,2	13	74	0,6	0,66	12	13	4	73
MES : Matières en suspension - DCO : Demande chimique en oxygène - NTK : Azote Kjeldhal - Hc : Hydrocarbures totaux - Pb : Plomb - Cu : Cuivre - Cd : Cadmium - Zn : Zinc.									

TABLEAU V
Synthèse des résultats des analyses des eaux filtrées

Aéroports	NO ₃ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Pb (µg/l)	Cu (µg/l)	Cd (µg/l)	Zn (µg/l)
Nantes-Atlantique							
Nombre d'événements	19	19	19	19	19	19	19
Moyenne	6,6	6,9	15	1,5	25	1,2	66
Moyenne pondérée	5	7,5	16	1,1	17	1	43
Gamme	0,7-21	1,9-19	5-45	< 0,5-6,4	3,5-77	0,4-2,6	14-193
Écart-type	5,4	5,7	11	1,5	25	0,8	54
Marseille-Provence							
Nombre d'événements	20	19	19	19	19	19	19
Moyenne	5	5,4	22	6	6	1	84
Moyenne pondérée	5,1	5,1	21	5	6	1	75
Gamme	< 0,5-30	< 1-13	5-45	< 2-30	< 5-15	< 0,5-4	50-160
Écart-type	6,3	2,8	10	7	3	1	33
Lyon-Satolas							
Nombre d'événements	20	20	20	20	20	20	20
Moyenne	2,4	9,1	5	7	8	4	26
Moyenne pondérée	2,3	7,2	4,3	5	6	3	21
Gamme	< 2-5,3	< 0,5-167	< 2-37,2	< 2-30	< 3-30	< 1-10	< 10-150
Écart-type	0,8	37,3	7,8	8	7	4	31
NO ₃ : Nitrates - Cl ⁻ : Chlorures - SO ₄ ²⁻ : Sulfates - Pb : Plomb - Cu : Cuivre - Cd : Cadmium - Zn : Zinc.							

TABLEAU VI
Valeurs limites réglementaires de qualité des eaux

Paramètres	Décret 89-3*	Qualité des eaux de rivières		Directive UE Rejets STEP
	Groupe A3	1A	1B	
MES (mg/l)	-	30	30	35
DCO (mgO ₂ /l)	30**	20	25	125
NTK (mgN/l)	3**	1	2	10
Hc (mg/l)	1	-	-	-
Plomb (μg/l)	50	50	50	-
Cuivre (μg/l)	1 000**	20	50	-
Cadmium (μg/l)	5	1	1	-
Zinc (μg/l)	5 000	500	1 000	-
Nitrates (mg/l)	50	-	-	-
Chlorures (mg/l)	200**	-	-	-
Sulfates (mg/l)	250	-	-	-

* Eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinée à la consommation humaine.
** Valeur guide.
STEP : Station d'épuration.

TABLEAU VII
Résultat des analyses des eaux brutes des événements pluvieux succédant les opérations hivernales à Lyon-Satolas

Date	Temps sec avant la pluie (jours)	Durée pluie (hh:min)	Vol. écoulé (m ³)	Hauteur (mm)	Intensité		pH	MES (mg/l)	DCO (mgO ₂ /l)	NTK (mgN/l)	Hc (mg/l)					
					(mm/h)											
					Moy.	Max 6 min										
11/12/1997	0,6	4:24	605	5,4	1,2	12	7,5	36	134	1,6	1,6					
22/2/1998	27,8	15:48	2 762	25,6	1,6	6	7,5	27	150	3,1	2					

Vol. écoulé : Volume écoulé - MES : Matières en suspension - DCO : Demande chimique en oxygène - NTK : Azote Kjeldhal - Hc : Hydrocarbures totaux.

Durant cette expérimentation, il n'a pu être échantillonné, et uniquement sur le site de Lyon-Satolas, que deux pluies succédant à des opérations de dégivrage et de déverglaçage, dont une précédée d'une longue période de temps sec. Les résultats sont présentés dans le tableau VII. Il apparaît que ces opérations sont associées à une pointe de DCO.

Par comparaison, les concentrations moyennes observées sur l'aéroport de Honolulu (1 000 mouvements par jour en 1981) lors d'une campagne de mesures réalisées en divers emplacements de la zone d'activité aéroportuaire, pour une série de neuf événements, sont les suivantes (Christakos-Comack et Dugan, 1982) :

MES	74 mg/l	Pb	0,006 mg/l
DCO	118 mg/l	Cu	0,050 mg/l
Huiles et graisses	54 mg/l	Zn	0,400 mg/l

Ces résultats montrent également que les eaux de ruissellement sont faiblement chargées en métaux lourds, modérément contaminées par les MES et la DCO, mais peuvent contenir des quantités assez importantes d'hydrocarbures. De même, Stewart et Kaul (1986) ont relevé des concentrations en hydrocarbures pouvant atteindre 20 mg/l sur l'aéroport de Gatwick (15 mg/l maximum sur Marseille-Provence).

Etude des pollutogrammes

Des prélèvements (six pour Marseille, dix pour Nantes et sept pour Lyon) ont permis de réaliser des pollutogrammes. Pour la plupart de ces événements, les concentrations maximales en MES et DCO sont généralement rencontrées dans les premiers prélèvements et correspondent au début du lessivage des surfaces imperméabilisées. Les pointes de débit et les pointes de flux de pollution sont, elles aussi, bien corrélatées.

Un phénomène de premier flot peu accentué a pu être observé, notamment sur les MES :

- Entre 35 et 55 % de la charge en MES et entre 30 et 65 % de la charge en DCO sont entraînés par 30 % du volume écoulé à Nantes.
- Entre 35 et 80 % de la charge en MES et entre 40 et 60 % de la charge en DCO sont entraînées par 30 % du volume à Lyon.
- Entre 25 et 75 % de la charge en MES est entraînée par 30 % du volume à Marseille.

Néanmoins ce phénomène n'est pas systématique. Le tableau VIII présente les valeurs moyennes des indicateurs de volume écoulé (V10, V50, V90 pourcentage du volume écoulé par lequel ont été entraînés 10, 50 et 90 % de la charge de pollution) calculées pour les MES et la DCO.

Dans la perspective du traitement des eaux de ruissellement, la seule prise en compte du premier flot ne semble donc pas suffisante pour obtenir un abattement significatif de la charge polluante lors de certains événements.

Évaluation des charges de pollution

Les charges de pollution par événement sont calculées en multipliant la concentration moyenne en polluant par le volume écoulé lors de chaque événement. Les valeurs inférieures aux seuils de détection ont été prises égales à la valeur du seuil.

Les charges de pollution présentent une grande variabilité entre les différents événements. Certains événements apportent des charges de pollution particulièrement élevées. Ainsi :

■ Pour l'aéroport de Nantes-Atlantique

L'événement du 11 juillet 1995 est intervenu après 23 jours de temps sec et des opérations d'arrosage effectuées au cours de travaux sur les enrobés des aires de circulation. Cet épisode a duré 40 h 30. Il représente 7,4 % du volume écoulé et 3 % de la pluviométrie. Cet événement a entraîné 27,6 % de la charge totale mesurée en DCO, 23 % de la charge totale en cuivre et 14 % de la charge totale en zinc.

Un épisode violent (5 août 1995), précédé de 8 jours de temps sec et long de 23 h 40, avec une intensité maximale sur 6 minutes de 70 mm/h et une intensité moyenne de 1,74 mm/h, a entraîné 20 % de la charge totale en MES. Il n'a pu être échantillonné qu'environ 75 % de la pluie représentant 12 % du volume écoulé et 18,6 % de la pluviométrie. La charge est donc sous estimée.

■ Pour l'aéroport de Marseille-Provence

Deux orages d'été survenus le 24 août et le 9 septembre 1996 (événements successifs d'intensité maximale sur 6 minutes respectives de 68 mm/h et 55 mm/h) représentant 18,2 % du volume total écoulé ont entraîné plus de 30 % de la charge totale en MES et DCO et plus de 40 % de la charge totale en plomb et cuivre.

De même, un seul événement intervenant après une très longue période de temps sec (89,6 jours), peut entraîner 18 % de la charge en MES, plus de 48 % des hydrocarbures et de 25 % du cadmium. Cet événement correspond à une précipitation de 13,8 mm soit 1,8 % du volume écoulé.

TABLEAU VIII
Moyennes des indicateurs de volume écoulé

Indicateurs	Nantes-Atlantique		Marseille-Provence		Lyon-Satolas	
	MES	DCO	MES	DCO	MES	DCO
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
V10	5	7	5	-	3	4
V50	35	35	30	-	24	29
V90	82	80	74	-	72	85

MES : Matières en suspension - DCO : Demande chimique en oxygène.

■ Pour l'aéroport de Lyon-Satolas

Deux événements hivernaux (du 11 décembre 1997 et du 22 février 98) correspondant à environ 13 % du volume total écoulé peuvent entraîner près de 23 % de la charge totale en MES et DCO ainsi que 36 % de celle en hydrocarbures.

Un épisode à caractère orageux, comme celui survenu le 14 juin 1998 après une courte période de temps sec de 0,2 jours (intensité moyenne de 16,2 mm/h avec une intensité maximale sur 6 minutes de 80 mm/h), peut entraîner 23 % de la charge en DCO, 19,3 % de plomb, 16,5 % de cuivre et 18,6 % de zinc.

Les coefficients de corrélation (R^2) ont été calculés, pour chaque site, entre les charges de pollution mesurées lors des événements. Les corrélations ont été calculées uniquement avec les valeurs de concentrations différentes des seuils de détections analytiques. L'azote Kjeldhal, les hydrocarbures, le cadmium et les ions nitrates, chlorures et sulfates n'ont pas été pris en compte sur les résultats de l'aéroport de Nantes-Atlantique. L'analyse de ces coefficients montre que :

■ Les MES et la DCO ne sont pas corrélées ($R^2 = 0,03$) à Nantes. Les matières en suspension sont probablement d'origine minérale sur ce site. Elles le sont plutôt bien à Marseille ($R^2 = 0,77$), ce qui laisserait penser que l'entraînement de ces charges s'effectue dans des conditions similaires ou que la présence des MES contribue à la création de DCO. À Lyon le coefficient de corrélation n'est pas significatif ($R^2 = 0,44$).

■ On observe une bonne corrélation entre le cuivre et le zinc sur les trois sites (R^2 compris entre 0,69 et 0,75). Ils pourraient avoir une origine commune (circulation des véhicules). Ces métaux lourds sont également bien corrélés à la DCO (R^2 supérieur à 0,8 sur les sites de Marseille et de Lyon) et peuvent être associés avec les matières organiques dans les eaux de ruissellement.

■ Le plomb est plutôt bien corrélé avec la DCO sur Marseille et sur Lyon (R^2 valant respectivement 0,89 et 0,77). Il ne l'est cependant pas sur Nantes, apparaissant plutôt lié aux MES (0,23 contre 0,62 pour les valeurs respectives de R^2).

■ Les hydrocarbures sont bien corrélés avec le cadmium ($R^2 = 0,97$) et l'azote total ($R^2 = 0,85$) sur l'aéroport de Marseille.

■ Les anions solubles nitrates, chlorures et sulfates sont corrélés entre eux sur l'aéroport de Lyon ($R^2 > 0,82$). Il semble que ces charges soient entraînées de façon similaire sur cet aéroport.

Les coefficients de corrélation ont été également calculés, sur les trois sites, entre les charges de pollution mesurées et les paramètres hydrologiques suivants :

- la hauteur de pluie totale (mm),
- la durée de temps sec ayant précédé l'événement (jours),
- la durée totale de l'événement (heures),
- l'intensité moyenne de la pluie (mm/h),
- l'intensité maximum de la pluie sur 6 minutes (mm/h),
- le débit maximum (l/s),
- le volume écoulé (m^3).

De même que précédemment, les corrélations ont été recherchées entre les événements pour lesquels les concentrations en polluant étaient supérieures aux seuils de détection.

Les corrélations obtenues sont généralement peu significatives. La durée de temps sec précédant l'événement ainsi que la durée totale de l'événement n'apparaissent pas comme étant des facteurs explicatifs. Des résultats similaires ont été obtenus lors d'études concernant la qualité des eaux de ruissellement de chaussées autoroutières (Legret et al, 1997). Les MES semblent plutôt corrélées avec l'intensité maximale et le débit maximum de l'événement, la DCO avec le débit maximum, l'azote Kjeldhal avec le volume écoulé et la hauteur de pluie, les métaux lourds avec le débit maximum.

Enfin, la charge totale de pollution transportée pendant la période de mesure est obtenue en faisant la somme des charges mesurées pour chaque événement. L'estimation des charges annuelles est obtenue par extrapolation sur la hauteur moyenne annuelle de précipitation du site, en considérant que le pourcentage de pluie donnant lieu à ruissellement est égal à celui mesuré lors de l'expérimentation, à l'aide de la formule suivante :

$$Q = \frac{Qm}{Pm} * P * F$$

Q	Charge annuelle de pollution (kg/ha)
Qm	Charge de pollution mesurée (kg/ha)
Pm	Hauteur de précipitation mesurée donnant lieu à ruissellement (mm)
P	Hauteur de précipitation moyenne annuelle (mm)
F	Facteur de correction qui tient compte des pluies donnant lieu à ruissellement

Le tableau IX présente les valeurs de charges de pollution annuelle par hectare imperméabilisé estimées sur les différents sites aéroportuaires ainsi que celles de différents tronçons autoroutiers.

Les charges de pollution rencontrées sur les aéroports sont généralement inférieures à celles mesurées sur les autoroutes. La charge annuelle en MES apparaît plus élevée à Marseille-Provence et pourrait être, comme il l'a été remarqué précédemment, reliée à des facteurs climatiques (sécheresse et vent). La DCO et les hydrocarbures semblent bien être reliés au trafic des aéroports concernés. Les charges en azote Kjeldhal, nitrates, chlorures et sulfates sont généralement faibles et sont représentatives du bruit de fond local (influence de l'agriculture pour les formes de l'azote). Les charges en métaux lourds sont très faibles sur les trois sites étudiés.

Résultats des analyses de sédiments

Parallèlement au suivi de la qualité des eaux de ruissellement, des analyses de sédiments ont été effectuées.

Caractéristiques des échantillons

À Nantes, les sols sont de type sableux ou sablo-limoneux avec généralement plus de 50 % de particules de tailles supérieures à 200 µm. Les prélèvements se caractérisent par une phase argileuse peu représentée, moins de 3 %. L'échantillon prélevé à 50 m de l'exutoire présente, dans la couche 60-67 cm, une phase argileuse de 4,5 %.

Les sols de Marseille sont principalement constitués de limon (près de 60 %) pour la partie inférieure à 2 mm. La fraction sableuse représente entre 20 et 40 % des échantillons. La fraction inférieure à 125 µm est généralement supérieure à 70 %. Sur le prélèvement effectué en aval du collecteur T130, la partie inférieure à 2 mm est principalement constituée de sable (64,6 %) et ne contient que 46,3 % de particules inférieures à 125 µm.

Les prélèvements effectués dans le bassin de rétention à Lyon présentent, à l'entrée, essentiellement du sable grossier (> 200 µm) et, sur les bords, du sable et du limon (70 % des particules ont une taille inférieure à 200 µm). Dans le bassin d'infiltration, les échantillons de surface sont des limons sableux contenant plus de 80 % de particules inférieures à 200 µm. Les échantillons plus profonds et ceux des pistes sont majoritairement constitués de sables grossiers. Pour tous les échantillons, les quantités d'argiles sont très faibles, inférieures à 2 %.

Analyses physico-chimiques

Les analyses physico-chimiques ont été réalisées sur les fractions de sédiments de granulométrie inférieure à 2 mm afin d'éliminer les cailloux et gros débris susceptibles de créer des hétérogénéités dans les prises d'essai.

Le tableau X présente la synthèse des analyses des sédiments sur la fraction inférieure à 2 mm. À titre de comparaison, le tableau XI indique les valeurs de référence concernant les sols (arrêté du 8 janvier 1998 relatif aux limites autorisées en métaux des sols agricoles où peuvent être épandues des boues d'ouvrage de traitement des eaux urbaines et une norme hollandaise relative aux teneurs en métaux dans les sols pollués avec une valeur de base et une valeur d'intervention au delà de laquelle il est nécessaire de décontaminer le sol).

■ Les sédiments sont principalement de nature minérale, le taux de matières volatiles étant relativement faible. Seuls les sédiments prélevés dans le bassin de rétention et dans le bassin d'infiltration de l'aéroport de Lyon présentent une plus forte teneur en matières volatiles.

■ Les résultats à Nantes comme à Lyon mettent en évidence une contamination du sol par les hydrocarbures. Cette contamination est assez importante en surface (de l'ordre de 400 mg/kg) mais ne dépasse pas l'horizon 10-20 cm et s'atténue avec la distance du point de rejet. Cependant les boues recueillies sur les bords du bassin de rétention lyonnais sont très contaminées par les hydrocarbures (près de 5 g/kg). À Marseille, le sol apparaît très contaminé par les hydrocarbures (à l'exutoire T130 : plus de 4 g/kg à l'amont, dans le fossé circulaire : 2 g/kg, dans le fossé de l'usine aéronautique : de 0,2 à 0,4 g/kg). Cette pollution semble liée à l'activité de l'aéroport. Néanmoins les analyses sur la carotte de l'exutoire T130 montrent l'absence de migration importante des hydrocarbures dans le sol.

■ À Nantes, les concentrations en métaux sont toutes inférieures aux seuils d'intervention de la norme hollandaise. Elles semblent diminuer depuis l'exutoire dans les sédiments de surface et bien que les caractéristiques des différentes couches du sol soient assez différentes, depuis la surface. À Marseille, de même que pour les hydrocarbures, les sédiments de surface apparaissent fortement contaminés par les métaux lourds. Les sédiments de l'exutoire T130 et de l'ancien fossé de l'usine aéronautique sont fortement contaminés, dépassant même le seuil d'intervention de la norme hollandaise. À Lyon, dans le bassin d'infiltration, les échantillons de surface ont une concentration en métaux lourds environ dix fois plus élevée que le sol témoin.

TABLEAU IX
Comparaison des charges annuelles de pollution en kg/ha

Paramètres	Nantes-Atlantique	Marseille-Provence	Lyon-Satolas	Autoroute A 11 (1)	Autoroute A9 (2)	Autoroutes SETRA (3)
Trafic (véh./jour)				12 000	20 500	10 000
MES	54	223	65	371	162	200-1 200
DCO	131	232	365	420	201	230-400
NTK	5,3	7,9	8,2	10,2	3	-
Hc	0,3	3,3	3,4	5,8	27	1,7-5
Plomb	0,027	0,090	0,053	0,308	0,140	0,9-1,3
Cuivre	0,088	0,060	0,086	0,196	-	-
Cadmium	0,006	0,010	0,022	0,006	-	-
Zinc	0,225	0,630	0,495	1,736	1,391	1,5-2,5
Nitrates	19,4	21,8	13,7	23,9	12,4	40
Chlorures	29,2	21,6	44,3	2 680	-	637
Sulfates	62,6	88,5	26,7	318	-	174

(1) Legret al. (1997) - (2) Montrejaud-Vignoles et al. (1996) - (3) SETRA (1993).

MES : Matières en suspension - DCO : Demande chimique en oxygène - NTK : Azote Kjeldhal - Hc : Hydrocarbures totaux.

TABLEAU X
Résultats des analyses de sédiments sur la fraction inférieure à 2 mm

Aéroports		MV (%)	< 125 µm (%)	Hc (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Nantes-Atlantique	Mini	1	19	9	10	0,05	29	10
	Maxi	9,9	80	456	114	0,9	222	81
Marseille-Provence	Mini	4	57,5	< 0,7	8	0,1	29	7
	Maxi	9,7	99,7	4 450 (2 788)	246	10	687	221
Lyon-Satolas	Mini	0,9	-	< 0,4	11	0,1	20	4
	Maxi	15,9	-	4 747 (448)	383	4,46	1 242	399

MV : Matières volatiles - <125 µm : Fraction de sédiment inférieure à 125 µm - Hc : Hydrocarbures totaux - Pb : Plomb - Cd : Cadmium - Zn : Zinc - Cu : Cuivre - Entre parenthèses, deuxième valeur maximale.

TABLEAU XI
Valeurs réglementaires pour les sols (mg/kg)

Paramètres		Hc (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Norme hollandaise	Valeur de base	-	85	0,8	140	36
	Valeur d'intervention	5 000	530	12	720	190
Arrêté du 8 janvier 1998	Sols	-	100	2	300	100
	Boues	-	800	20	3 000	1 000

Hc : Hydrocarbures totaux - Pb : Plomb - Cd : Cadmium - Zn : Zinc - Cu : Cuivre.

Toutefois aucune valeur ne dépasse les teneurs limites fixées par les valeurs d'intervention de la norme hollandaise. Le sol du bassin est donc modérément contaminé sur une épaisseur d'au moins 20 cm. Par contre les boues recueillies sur les bords du bassin de rétention sont très contaminées par les métaux lourds dont les concentrations dépassent les valeurs d'intervention de la norme hollandaise.

Il n'a pu être étudié d'eaux de ruissellement provenant des pistes. Cependant sur l'aéroport de Lyon-Satolas, des sédiments ont été prélevés près des pistes. Ils présentent des teneurs en métaux lourds et en hydrocarbures plutôt faibles et les valeurs réglementaires ne sont pas dépassées.

Conclusion

L'étude de la qualité des eaux de ruissellement provenant des aires de stationnement de trois aéroports à partir d'une campagne de mesure de longue durée montre l'existence d'une pollution

chronique modérée par les matières en suspension, la demande chimique en oxygène et les hydrocarbures. La charge annuelle en matière en suspension semble plus influencée par des facteurs climatiques que par le trafic de l'aéroport. La pollution par les métaux lourds, les nitrates, les chlorures et les sulfates est, quant à elle, très faible.

Les sédiments prélevés aux exutoires des collecteurs des eaux pluviales sont contaminés par les métaux lourds et les hydrocarbures. Cette contamination peut résulter soit de l'accumulation d'une pollution chronique pendant une longue durée, soit de déversements accidentels importants. Il faut cependant tenir compte du fait que ces exutoires ne reçoivent pas uniquement les eaux de ruissellement des aires de stationnement mais également les eaux pluviales des toitures, des parkings automobiles, etc.

Enfin, aucun des sites étudiés n'a été soumis à des conditions hivernales rigoureuses. En particulier, les eaux de ruissellement des pistes contaminées par des produits de déneigement n'ont pu être analysées.

Remerciements

Les auteurs remercient les Chambres de Commerce et de l'Industrie de Nantes, Marseille et Lyon, les subdivisions des Bases Aériennes de Nantes et Lyon, le Service Spécial des Bases Aériennes de Marseille, ainsi que les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées d'Aix-en-Provence et de Lyon qui les ont aidés à la réalisation de cette étude.

Les auteurs remercient également R. Aymard, D. Demare, G. Dormal, P. Dumas, C. Le Marc, L. Lumière, L. Mahaut, et F. Stefanini qui ont participé au suivi des sites expérimentaux.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AFNOR (1994a), *Recueil de normes françaises, Qualité de l'eau*, Édition AFNOR, Paris, 862 pages.

AFNOR (1994b), *Recueil de normes françaises, Qualité des sols*, Edition AFNOR, Paris, 250 pages.

BETTS K. S. (1999), Airport pollution prevention takes off, *Environ. Sci. Technol.*, **33**, pp. 210A-212A.

CHRISTAKOS-COMACK E., DUGAN G.L. (1982), *Water quality of airport runoff*, Techn. Report n° 144, Water Resources Research Center, University of Hawaïi, 30 pages.

GAY J., JEFFCOATE R., DUNN P.J., HAWKINS J.E. (1987), Stormwater contamination at airports and remedial options with particular references to Stansted, *J. Inst. Wat. Environ. Manage.*, **3**, pp. 253-262.

LE DEAN A., TABARD L., LEGRET M. (1995), *Pollution des eaux de ruissellement sur les aéroports, origine et traitement, Etude bibliographique*, Rapport LCPC-STBA, 129 pages.

LEGRET M., LE MARC C., DEMARE D., DAYET P. (1996), La pollution des eaux de ruissellement de l'aéroport de Nantes-Atlantique, *RGRA, Hors série*, pp. 27-31.

LEGRET M., LE MARC C., DEMARE D. (1997), Pollution des eaux de ruissellement de chaussées autoroutières : l'autoroute A11 près de Nantes, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, **211**, pp. 101-115.

MONTREJAUD-VIGNOLES M., ROGER S., HERREMANS L. (1996), *Runoff water pollution of*

motorway pavement in mediterranean area, Proc. 7th Intern. Conf. Urban Storm Drainage, Hannover, Germany, pp. 247-252.

PEARSON J.M. (1996), Control of surface water pollution caused by deicing at four regional airports, *Proc. Instn. Civ. Engrs. Transp.*, **117**, pp. 104-105.

SETRA (1993) , *L'eau et la route*, volume 2, B 93348, Édition SETRA, Bagneux, 48 pages.

SIERRA E., SHAHANE A.N., VILLATE J. (1981), Airport wastes and water quality, *Wat. Resour. Bull.*, **17**, pp. 190-196.

STEWART J., KAUL F.J. (1986), Hydrological and pollution aspects of airport drainage, *Public Health Eng.*, **14**, pp. 25-32.

THORNTON R. (1989), Control of stormwater runoff containing aircraft deicing fluids, *Wat. Environ. Technol.*, **1**, pp. 12-13.

ABSTRACT

Surface water quality at three french airports Nantes-Atlantique, Marseille-Provence and Lyon-Satolas

M. LEGRET, O. THIRIONET

This paper brings together the results of studies of surface water quality at three French airports, Nantes, Marseille and Lyon, with annual traffic of between 1.2 and 5.4 million passengers. A sample of about twenty rainfall events was selected on the aprons at each site. The surface water had a slight or moderate level of pollution in terms of suspended matter, hydrocarbons and, to a lesser degree, chemical oxygen demand. Pollution loads varied considerably from one event to another. Annual pollution loads were generally lower than those measured on motorways. Chemical oxygen demand loads and hydrocarbon loads seem to be linked to traffic levels while suspended matter seems to be affected by climatic factors. Kjedhal nitrogen, nitrate, sulphate and heavy metal loads (cadmium, copper, lead and zinc) were very low on all three studied sites. None of the studied sites was subjected to the harsh winter conditions which would have allowed us to evaluate the impact of de-icing salts.