

XYLENE

Dernière mise à jour : 03/04/2006

RESPONSABLE DU PROGRAMME

J.-M. BRIGNON : jean-marc.brignon@ineris.fr

EXPERTS AYANT PARTICIPE A LA REDACTION

S. SUREAU

XYLENE

SOMMAIRE

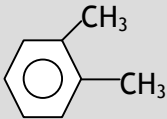
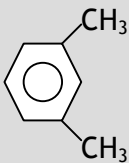
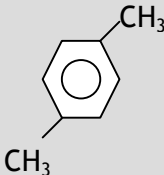
1	Généralités	3
1.1	Définition et caractéristiques principales	3
1.2	Réglementations	4
2	Production et utilisations.....	5
2.1	Production et vente	5
2.2	Utilisations.....	6
2.3	Production non intentionnelle	8
3	Rejets et présence dans l'environnement	8
3.1	Comportement dans l'environnement	8
3.2	Présence dans l'environnement	9
3.3	Principales sources de rejet.....	9
3.4	Rejets industriels	10
3.5	Rejets liés à l'utilisation de produits	10
3.6	Pollutions historiques	12
4	Possibilités de réduction des rejets.....	12
4.1	Produits de substitution.....	12
4.2	Réduction des émissions industrielles	15
5	Aspects économiques	22
5.1	Place de la substance dans l'économie française	22
5.2	Impact économique des mesures de réduction.....	22
6	Conclusions	25
7	Références.....	27
7.1	Entreprises, organismes et experts interrogés	27
7.2	Bibliographie	27

XYLENE

1 GENERALITES

1.1 Définition et caractéristiques principales

Tableau 1.1 présentation des xylènes

Substance chimique	N° CAS	N° EINECS	Synonymes	Forme physique (*)
Xylène C_8H_{10}	1330-20-7	215-535-7	Diméthylbenzène Méthyltoluène Xylène commercial	Liquide
o-xylène 	95-47-6	202-422-2	1,2-xylène ortho-xylène 1,2-diméthylbenzène o-diméthylbenzène	Liquide
m-xylène 	108-38-3	203-576-3	1,3-xylène méta-xylène 1,3-diméthylbenzène m-diméthylbenzène	Liquide
p-xylène 	106-42-3	203-396-5	1,4-xylène para-xylène 1,4-diméthylbenzène p-diméthylbenzène	Liquide

(*) dans les conditions ambiantes habituelles

Les xylènes sont des hydrocarbures aromatiques extraits du pétrole. Il existe trois isomères du xylène qui se différencient par la place de leur seconde ramification. Le xylène commercial est un mélange des trois isomères et de l'éthylbenzène contenus dans des proportions différentes. Le composé prédominant est toujours le m-xylène. La forme simple de ces molécules en font des substances de base de la pétrochimie, et de la plasturgie. Ils font tous

XYLENE

partie de la famille des composés organiques volatils (COV) et possèdent des solubilités faibles dans l'eau :

- o-xylène : 175 mg.L-1 à 20°C
- m-xylène : 151 mg.L-1 à 20°C
- p-xylène : 177 mg.L-1 à 20°C

1.2 Réglementations

Selon l'arrêté du 20 avril 1994¹, le xylène commercial ainsi que tous ses isomères purs sont considérés comme des produits nocifs (Xn ; R20/21²), irritants (R38³) et inflammables (R10⁴). En revanche, selon ce même arrêté, ils ne sont pas classés comme dangereux pour l'environnement.

Leur fabrication, utilisation, transport et stockage sont réglementés, en partie par les législations relatives aux installations classées pour la protection de l'environnement. Les xylènes sont, en particulier, définis comme des liquides inflammables selon les rubriques 1431, 1432, 1433, 1434, de la nomenclature des ICPE⁵.

Les rejets de xylènes sont réglementés par l'arrêté du 2 février 1998. Le xylène est considéré comme une substance toxique, bioaccumulable ou nocive pour l'environnement. La valeur limite de concentration (moyenne mensuelle) dans des rejets ne doit pas dépasser 1,5 mg.L⁻¹ si le flux du rejet dépasse 10 g.j⁻¹. Selon l'arrêté du 20 avril 2005 relatif au programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses, la norme de qualité des eaux a été fixée pour le xylène à 10 µg.L⁻¹.

¹ Arrêté relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substance chimiques complété jusqu'à la directive 2004/73/CE de la commission du 29 avril 2004 portant la 29^{ème} adaptation au progrès technique de la directive 67/548/CEE.

² Nocif par inhalation et par contact avec la peau

³ Irritant pour la peau

⁴ Inflammable

⁵ Décret 53-578 du 20 mai 1953 modifié, relatif à la nomenclature des installations classée pour la protection de l'environnement mise à jour par le ministère de l'environnement et du développement durable.

XYLENE

En ce qui concerne les réglementations relatives à la qualité des eaux de consommation, les xylènes ne sont ni concernés par le décret n°2001-1220⁶, ni par la directive 98/83/CE⁷. En revanche pour l'OMS⁸ la teneur limite en xylènes pour des eaux de consommation est de 500 µg.L⁻¹.

Enfin, les xylènes étant des COV, leurs utilisations sont soumises à la directive 1999/13/CE qui vise à réduire les émissions de COV en Europe (objectif de réduction globale de 40% en 2010 pour la France (MEDD, 2003)). Cette directive peut-être complétée par la directive 94/63/CEE du 20 décembre 1994 relative à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils (COV) résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service.

2 PRODUCTION ET UTILISATIONS

2.1 Production et vente

Les xylènes sont produits à partir de matières premières brutes issues du pétrole par reformage catalytique (entre 85 et 90% de la production de xylène) ou par vapocraquage (IPPC, 2003). La teneur en xylènes dépend de la composition du naphta employé et des conditions de reformage. Le choix des huiles brutes naphténiques permet d'obtenir des fractions de naphta bien adaptées pour le reformage et la production d'aromatiques. La teneur en xylènes des essences obtenues par vapocraquage dépend des hydrocarbures utilisés comme matière première. Seule l'utilisation d'hydrocarbures ayant un point d'ébullition élevé permet d'obtenir des concentrations en xylènes exploitables.

Ces opérations permettent d'obtenir du xylène mélangé, ou xylène commercial. Ce produit contient alors à la fois les trois isomères du xylène, mais également de l'éthylbenzène et quelques autres impuretés comme du benzène, du toluène, du phénol... En fonction des procédés et des conditions opératoires employées, on obtient des compositions de xylènes différentes, pour lesquelles le m-xylène est toujours majoritaire. Par reformage catalytique on obtient par exemple du xylène commercial contenant 44% de m-xylène, 20% de o-xylène, 20% de p-xylène et 15% d'éthylbenzène (ATSDR, 2005).

⁶ Décret du 20 décembre 2001 relatif aux eaux destinées à la consommation humaine à l'exclusion des eaux minérales naturelles.

⁷ Directive du conseil du 3 novembre 1998 relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine.

⁸ Directive de la qualité pour l'eau de boisson (2004).

XYLENE

Les isomères du xylène sont produits à partir du xylène commercial. Le p-xylène est obtenu par cristallisation et extraction au solvant. Le m-xylène et o-xylène sont ensuite séparés par distillation. Le o-xylène peut également être produit par isomérisation du m-xylène.

Paradoxalement, c'est le m-xylène pur qui parmi les trois isomères est le moins produit. Les capacités de production annuelles de xylène étaient en 1995, dans le monde, de (Vignes, J.L., *et al*, 1998):

- 165 000 t pour le m-xylène;
- 3 098 000 t pour le o-xylène;
- 11 720 000 t pour le p-xylène.

En 1995, la production totale de xylènes en Europe occidentale était de 2,7 millions de tonnes (Ullman, 1996).

En 1993, les capacités de production française étaient de 90 000 t/an pour le o-xylène et de 90 000 t/an pour le p-xylène. Ces xylènes étaient exclusivement fabriqués par le groupe Total dans la raffinerie de Gonfreville l'Orcher (76).

2.2 Utilisations

2.2.1 Xylène commercial

Le xylène est un solvant essentiellement utilisé dans la fabrication des peintures, des vernis, des colles, des encres d'imprimerie, mais également dans la synthèse des insecticides, des matières colorantes, dans l'industrie du caoutchouc et des produits pharmaceutiques (INERIS, 2005). Toutefois, dans le secteur des peintures, encres et vernis, de nombreux efforts ont déjà été réalisés pour réduire les COV. Par exemple, les fabricants de peintures décoratives utilisent aujourd'hui des solvants à base de white spirit désaromatisé. Le xylène n'est utilisé comme solvant que pour des peintures contenant des plastifiants uniquement solubles dans des solvants aromatiques (Akzo Nobel, 2005). La consommation mondiale de xylène s'est élevée en 1995 à environ 1,5 million de tonnes (Vignes, J.L., 1998). En France, le xylène est le solvant hydrocarboné le plus utilisé avec 34 000 t en 2004 (INRS, 2005).

XYLENE

Tableau 2.2.1. répartition des utilisations de xylène en tant que solvant

Secteur	En tant que composant d'un produit				utilisé tel que			
	Produits détergents	Produits agrochimiques	Secteur des peintures, vernis, encre	Autres produits chimiques à usages industriels	peinture	Fabrication de pièces techniques en matières plastiques	Fabrication de meubles meublants	Fabrication de meuble de cuisine
Pourcentage	2,8	20	57	0,6	1	7	0,8	1,8

2.2.2 Isomères

2.2.2.1 p-xylène

Le principal débouché du p-xylène est la fabrication de l'acide téréphtalique (72% du tonnage consommé en 1994 en Europe) ou de son ester, le diméthyltéréphtalate (26% du tonnage consommé en 1994 en Europe), servant à la fabrication du PET (polyéthylène téréphtalate) et des fibres polyester, comme par exemple, le "Tergal" (Alario, F., et al., 2005).

En 1995, la consommation mondiale de paraxylène était de 10,5 millions de tonnes (Vignes, J.L., 1998). En 2003, la production française de PET à été de 110 000 t. La production de PET en Europe est en croissance d'environ 1% par an depuis quelques années.

2.2.2.2 o-xylène

L'unique débouché du o-xylène est la fabrication de l'anhydride phtalique utilisé à plus de 60 % pour la fabrication de plastifiants pour PVC (phtalates en particulier le DEHP) ainsi que pour la fabrication de résines polyester insaturées employées dans des composites (domaine maritime et construction) et de résines alkydes servant de revêtement de surface. Il remplace, pour la fabrication de l'anhydride phtalique, de plus en plus, le naphtalène.

Le DEHP est classé en catégorie 2 pour la reproduction et le développement dans l'annexe I de la directive 1967/548/CEE, et est une substance prioritaire de la Directive Cadre Eau. Le marché du DEHP présente une tendance à la baisse dans certains domaines d'emploi (câblerie, films, peintures, caoutchouc). Cette tendance est due à sa classification comme substance de catégorie 2 pour la reproduction et le développement. Elle s'explique également par la concurrence d'autres produits. (Brignon, J.M., et al, 2005)

En 1995, la consommation mondiale de orthoxylène était de 2,6 millions de tonnes (Vignes, J.L., 1998). L'anhydride phtalique a été produit, en 1998, à 26 000 t, dans l'union Européenne, avec une tendance à une forte diminution.

XYLENE

2.2.2.3 m-xylène

Le m-xylène est employé, quasi exclusivement, dans la production d'acide isophtalique destiné à la synthèse de résines polyester insaturées, de résines alkydes et de comonomère dans la production de résines polyéthylènetéréphtalate.

En 1995, la consommation mondiale de m-xylène était de 140 000 tonnes (Vignes, J.L., 1998).

2.2.3 Carburants

Le xylène est un hydrocarbure aromatique, et comme les autres aromatiques issus du pétrole (toluène, benzène...), il est un constituant des essences (Alario, F., *et al.*, 2005). La composition des essences est très variable, et à ce jour, nous n'avons trouvé aucun chiffre concernant la consommation de xylène dans les carburants en France. Mais, selon l'UFIP, le xylène représenterait moins de 1% des essences. Or en 2004, les véhicules français ont consommé 11 675 kt d'essences (CPDP, 2005). Ce qui représenterait donc près de 117 000 t de xylène en mélange utilisé pour les carburants automobiles.

2.3 Production non intentionnelle

Comme tous les hydrocarbures aromatiques, le xylène se forme naturellement lorsque des matières organiques sont exposées à des phénomènes de combustion ou de pyrolyse. C'est par exemple le cas lors de feux de forêts, d'éruptions volcaniques, ou dans la fumée de cigarettes. C'est également le cas lors de la combustion de biomasse pour le chauffage. Cette dernière source d'émission semble représenter une source importante de rejets de COV dans l'air, mais à ce jour nous n'avons trouvé aucune étude quantifiant les retombées indirectes de xylènes dans les milieux aqueux.

3 REJETS ET PRESENCE DANS L'ENVIRONNEMENT

3.1 Comportement dans l'environnement

Les isomères du xylène sont facilement dégradés dans l'atmosphère. Le processus le plus important est la photo-oxydation. Cette oxydation atmosphérique est rapide et a lieu par réaction avec les radicaux libres et principalement les radicaux hydroxyles. En se basant sur des données de concentration de radicaux hydroxyles dans l'air, Brice et Derwent, (1978) ont calculé des demi-vies atmosphériques de 2,6 h, 1,5 h et 2,4 h respectivement pour le o, m et p-xylène. En revanche les xylènes ne sont pas détruits directement par photolyse.

XYLENE

Etant donné leur volatilité importante, les xylènes ne sont généralement pas persistants dans les eaux de surface à des concentrations très importantes. Le m-xylène et le p-xylène sont facilement biodégradables : En 13 jours, ces deux isomères ont été dégradés par des microorganismes provenant de boues de station d'épuration (Tabak *et al.*, 1989). En revanche, l'o-xylène s'est avéré être moins biodégradable. La Commission Européenne (1996) propose d'utiliser une demi-vie de 150 jours dans les eaux de surface.

3.2 Présence dans l'environnement

Les concentrations ubiquitaires de xylène sont (INERIS, 2005) :

Milieu	Concentration
Air	1 à 2 $\mu\text{g.m}^{-3}$
Eau : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Eaux douces (de surface et souterraines) ▪ Eaux de mer 	< 0,1 $\mu\text{g.L}^{-1}$

3.3 Principales sources de rejet

Bien que les xylènes puissent être présents de façon naturelle dans l'environnement (feu de forêt, pétrole brut...), les rejets sont essentiellement d'origine humaine.

Comme les autres COV, le xylène est en très grande majorité rejeté dans l'environnement vers l'atmosphère (INERIS, 2005), en particulier à cause de sa forte présence dans les essences. Dans ce cas, le xylène est émis soit directement lors de la vaporisation des essences (station essence, transport et stockage des carburants...), soit dans les gaz d'échappements des véhicules à essences (imbrûlés, volatilisation...). Les autres émissions proviennent des vapeurs de xylène utilisé comme solvant et des rejets de production (INERIS, 2005).

XYLENE

3.4 Rejets industriels

Les rejets industriels sont à l'origine des principaux rejets directs de xylène dans l'eau. Ces rejets proviennent essentiellement des raffineries qui fabriquent de l'essence et des industriels qui utilisent le xylène comme solvant dans leur processus de fabrication. Ainsi, lors d'un premier inventaire des émissions polluantes réalisé entre 1991 et 2000 dans 9 régions françaises, on estimait que le flux total de xylène, émis par des installations industrielles était de 19 kg.j^{-1} (République française, 2005). De même, dans le cadre de l'action nationale de recherche et de réduction des substance dangereuses dans l'eau, des mesures ponctuelles ont été réalisées à la sortie de près d'un millier d'ICPE. Il apparaît que le flux total de xylène (somme des trois isomères) issu de ces installations est toujours de près de 19 kg.j^{-1} . Enfin, en région Rhône-Alpes, où deux inventaires des rejets de micropolluants, par des établissements industriels, ont été réalisé en 1993 et 1998, on constate une baisse des émissions de xylènes. Ainsi, le flux total de xylènes, qui représentait $8,8 \text{ kg.j}^{-1}$ en 1993 a baissé à $2,1 \text{ kg.j}^{-1}$ en 1998. Dans tous ces inventaires, les rejets sont dus pour l'essentiel au secteur des industries pétrolières (raffinage, stockage et distribution, production d'électricité) puis au secteur de la chimie et de la parachimie (peintures et polymères).

3.5 Rejets liés à l'utilisation de produits

Selon (Verschuere, K., 1996), les isomères m et p représentent de 1,3 à 5,6 % des hydrocarbures rejetés dans les fumées d'échappement des moteurs à essence. De même, d'après le tableau 3.5 (Guibet, J. C., 2005) on constate que le xylène représente 5% des émissions d'hydrocarbures imbrûlés dans les gaz d'échappement d'un moteur à essence.

XYLENE

Tableau 3.5 - Exemple de composition des « hydrocarbures imbrûlés » dans les gaz d'échappement d'un moteur à essence⁹

Constituant	Concentration relative ¹⁰
Méthane	9,6
Éthane	5,2
Éthylène	31,7
Propylène	24,8
Acétylène	15,6
Isobutane	3,5
Butane(E)	3,9
But-2-ène	2,3
But-1-ène	3,5
Isobutène	14,8
(Z) But-2-ène	1,7
Isopentane	13,5
Propyne	3,4
n -Pentane	4,8
Buta-1,3-diène	7,0
Hexanes	1,7
Benzène	24,3
Isooctane	19,1
Toluène	100
Éthylbenzène	52,2
Xylènes	23,9
Isopropylbenzène	6,1

⁹ Prélèvement en amont du catalyseur de post-traitement.

¹⁰ La teneur totale en HC, dans les gaz d'échappement secs, est de l'ordre de 500 ppm.

XYLENE

Ces rejets sont la source principale des rejets indirects du xylène dans les eaux (lessivage de l'atmosphère par la pluie, et rejets d'eaux pluviales polluées).

Les pulvérisations agricoles (insecticides, herbicides), les aérosols domestiques, spécialement les peintures et antirouilles contenant du xylène, la combustion du bois (poêles et cheminées domestiques), la fumée de tabac sont également responsables de la présence de xylène dans l'atmosphère. Ils représentent également tous des sources de rejets indirects dans les eaux.

Le déversement accidentel ou volontaire de produits (peintures, vernis...) peut également être une source importante de rejet direct de xylène dans les eaux, mais à ce jour nous n'avons trouvé aucune étude quantifiant de tels rejets. Toutefois, il est à noter qu'il n'existe pas aujourd'hui de filière nationale de collecte et de traitement des déchets de peintures, encres... (FIPEC, 2005).

3.6 Pollutions historiques

On peut retrouver des traces de xylène autour de lieux ayant subi des fuites d'hydrocarbures (stockage d'essence...) ou sur des lieux de décharge ou d'entreposage de produits contenant du xylène (peintures, vernis, solvant...).

4 POSSIBILITES DE REDUCTION DES REJETS

4.1 Produits de substitution

4.1.1 Xylène commercial

De façon générale, le meilleur moyen pour réduire les rejets de COV et donc de xylène est de limiter avant tout son utilisation et donc d'agir à la source de la pollution. Pour cela plusieurs solutions sont envisageables lorsque le xylène est en particulier employé comme solvant (ADEME, 2004).

Il est tout d'abord important de développer des bonnes pratiques au sein des unités utilisant des solvants :

- Bon entretien des équipements ;
- Confinement des machines pour organiser des circuits fermés ;
- Optimisation des rendements des procédés de nettoyage (rinçage à contre courant) utilisant les solvants ;
- Récupération et recyclage des solvants dans les procédés chimiques.
- Sensibilisation et formation du personnel vis à vis de la pollution des COV ;

XYLENE

Le tableau suivant fournit des exemples de produits de substitution pour certaines activités qui pourraient limiter l'usage du xylène :

Tableau 4.1.1.a : substitution des solvants organiques en peinture (toluène, xylène, éthylbenzène...)

Activités	Produits de substitutions	Avantage	Inconvénients
Revêtement	Peinture à haut extrait sec (peinture nécessitant moins de solvant)	Pas ou peu de modification de procédé.	Nettoyage à bas de solvants. Séchage plus long Coulures plus importantes
	Peinture en phase aqueuse (le solvant majoritaire est l'eau)	Nettoyage à l'eau	Préparation des surface Modification de procédés important Coût des produits plus élevé (20 à 30%)
	Peinture liquide sans solvants (peinture UV)	Séchage rapide Sans solvant	Surtout pour vernis transparent car sinon les UV ne passent pas à travers la peinture
	Peinture en poudre (peinture solide donc sans solvant)	Rendement de près de 85% si recyclage. Diminution des déchets	Température de cuisson élevée Préparation des surfaces
Encre	Encres à l'eau (Les liants sont mélangés à l'eau sous forme de solution ou d'émulsion)	Peu ou pas de solvants Energie nécessaire au séchage moins importante Nombreuses possibilités techniques	
Encre	Encres offset à base d'huile végétale (les solvants minéraux sont remplacé par des dérivés d'huiles végétales)	Pas de changement de procédé	Propriétés de pénétration différentes Coût des produits plus élevé
	Les encres UV (ni solvant, ni eau, l'encre sèche sous l'action des UV)	Pas de COV Pas de séchage	Matériel spécialisé

XYLENE

En 2003, en France, sur les 840 000 t de peintures et vernis produits, 375 000 t étaient à base de solvant aqueux, 36 000 t à base de poudre thermodurcissable et 5 000 t à séchage UV. Ainsi près de la moitié des peintures et vernis produits en France ne contiennent plus de solvant d'origine minérale (FIPEC, 2004). En dix ans, dans certains secteurs (peintures décoratives), le taux des peintures en phases aqueuse est passé de 40 à 60%. Selon la FIPEC, à cause des réglementations¹¹, les COV sont amenés à disparaître progressivement du secteur des peintures et encres sauf pour de rares applications pour lesquelles il n'existe pas encore de solutions de remplacement (marine, aérospatiale). Néanmoins, certaines nouvelles solutions comme les peintures à l'eau posent encore quelques problèmes de pollutions. Souvent les utilisateurs nettoient leurs matériels directement à l'eau alors qu'il est préférable de récupérer les eaux de nettoyage ainsi que les restes de produits pour les faire ensuite traiter. Une solution pourrait être des peintures aqueuses composées de plastifiants d'origine végétale.

De nombreuses entreprises proposent aujourd'hui des produits sans solvants dangereux servant à divers usages (décapages, peintures, nettoyage des surfaces, dégraissage). On peut citer une société qui propose un fluide multi-usages à base de solvants oxygénés, en substitution de diluants comme le xylène ou le toluène. D'autres entreprises développent des agro-solvants (Alcimed, 2002).

On peut également utiliser des procédés moins coûteux en matières premières.

Il existe donc de nombreuses autres solutions de substitutions du xylène lorsqu'il est employé comme solvant. Toutefois, avant de faire de telles substitutions, il est important de savoir si le nouveau procédé ou le nouveau produit utilisé aura moins d'impact sur l'environnement que le xylène. On peut faire appel, pour cela, à des études d'éco-conception ou d'analyse du cycle de vie. Il existe pour cela certains guides ou bases de données qui proposent des solvants de substitution¹².

4.1.2 Isomères du xylène

Nous n'avons pas trouvé de produits pouvant remplacer les isomères du xylène lorsqu'ils sont utilisés comme intermédiaires réactionnels.

¹¹ En particulier la directive 1999/13/CE.

¹² citons : l'Integrated solvent substitution data système (<http://es.epa.gov/issds/>)

Le solvent alternative guide (<http://clean.rti.org/>)

Le groupe européen de l'industrie des solvants (<http://esig.org>)

XYLENE

4.2 Réduction des émissions industrielles

Sous l'influence des DRIRE et des différentes législations, des actions de réduction des émissions de COV ont été menées par les industriels depuis plusieurs années. Elles auraient permis de réduire de 20% les émissions industrielles de COV entre 2000 et 2003 (MEDD, 2003).

4.2.1 Rejets atmosphériques

Comme pour tous les autres COV, les rejets gazeux représentent la très grande majorité des rejets de xylène. Il existe, pour traiter ces rejets différents procédés, le plus souvent généralisables à l'ensemble des COV (Techniques de l'ingénieur, 2005 ; IPPC, 2001). On distingue les procédés de récupération et les procédés de destruction.

XYLENE

Le tableau ci dessous présente les différents procédés applicable aux traitements des COV (IPPC, 2001)

Procédé	Application	Description	Performance du traitement	Coût	
				installation	exploitation
Séparation membranaire	Solvants et vapeurs d'hydrocarbures	Séparation des gaz en fonction de la perméabilité avec possibilité de recyclage	> 99,9 % pour COV 90-99 % pour hydrocarbure	300000€ (200 Nm ³ /h)	60000€/an
Condensation	Recondensation des COV concentrés pour la réutilisation	Condensation et récupération des vapeurs par réduction de la température	Division des concentrations de 500 à 1000	500000€ (1000 Nm ³ /h) pour une installation de cryogénéisation	
Adsorption	Récupération des COV pour réutilisation ou abattement de la pollution	Adsorption de surface des gaz sur des solides (charbon actif, zéolites)	COV : 80-95% Toluène : 90%	240 m€ pour 1000 Nm ³ /h avec régénération des charbons	1000€ par tonne de charbon
Lavage des gaz	Pour solvants solubles (ammonium, SO ₂) en vue d'une réutilisation	Les gaz solubles sont transférés dans la phase aqueuse	COV : 50-95%	Très variable en fonction du traitement : de 600 à 33500\$	
Biofiltration	Pour polluant facilement biodégradable (hydrocarbures...)	Les effluents gazeux passe à travers un lit biologique où les polluants sont détruits	Toluène : 80-95% Hydrocarbures : 75-95%	5000-20000€	200€ par m ³ de produits filtrant
Lavage des gaz avec action biologiques	Pour des mélanges de produits facilement biodégradables et solubles (peu efficace sur les hydrocarbures aromatiques)	Les gaz solubles sont transférés dans une phase aqueuse contenant des micro-organismes capables de traiter les polluants	COV : 80-90%	5000-15000€	

XYLENE

Procédé	Application	Description	Performance du traitement	Coût	
				installation	exploitation
Lavage des gaz avec lit bactérien	Surtout des produits solubles (acides et alcool)	Comme précédemment à la différence que les micro-organismes sont fixés sur un support	CVM : 99% COV : 80-95%	5000-20000€	
Oxydation thermique	Tout gaz combustibles	Les effluents gazeux sont brûlés en présence d'air ou d'oxygène et transformés en eau et CO ₂ . Pour les composés halogénés des conditions d'utilisations particulières sont nécessaires	Cov : > 95%	Entre 10000 et 50000€ selon les technologies	>25000€ pour les combustion simple sans récupération de chaleur
Oxydation catalytique	Tout type de gaz, même moins combustibles que dans la technique d'oxydation thermique simple	Les effluents gazeux une fois chauffés passe à travers un catalyseur afin d'accélérer la réaction d'oxydation ou de détruire des composés plus faiblement combustibles	COV : > 95%	10000-80000€	3000-21000€ pour la technique non régénératrice
Torchage	Essentiellement dans le secteur pétrolier et pétrochimique	Consiste à brûler à haute température des gaz combustibles	COV : >98%	8300-560000€ en fonction des dimension de la torchère	Jusqu'à 36000€

XYLENE

4.2.2 Traitement des effluents liquides

Les procédés de traitement des xylènes peuvent être très variables. Toutefois citons quelques exemples (IPPC, 2001):

Dans les raffineries de pétrole, on fait appel à des procédés de déshuilage et dégraissage associés généralement à des procédés de flottation et de coagulation. Ils permettent d'extraire des matières flottantes d'une densité inférieure à celle de l'eau comme c'est le cas pour les hydrocarbures (Boeglin J.L., 1998). Dans le cas d'un système API (américain petroleum institute separator) on peut atteindre des performances entre 90 et 95%. Le coût d'un tel procédé est de 2 millions d'€ pour une capacité de traitement de 1200 m³/h.

On peut également citer le procédé de stripping adapté aux polluants volatils (Boeglin, J.L., 1998). Ce procédé correspond à l'entraînement de produits volatils dissous dans l'eau par l'action d'un autre gaz. Les produits ainsi récupérés peuvent être soit réutilisés dans les processus de fabrication, soit détruits par combustion dans un four ou récupérés dans des solutions où ils sont fixés et/ou oxydés (Cf. paragraphe traitement des effluents gazeux). Ce procédé est particulièrement efficace pour les hydrocarbures aromatiques (BTX) pour lesquels on peut atteindre 99% de performances. Le coût d'une telle installation est de 4 à 5 millions d'€ (exemple d'une raffinerie avec un traitement par stripping d'eau de 30 m³/h).

Il est également possible d'utiliser des procédés par adsorption sur charbon actif dans le cas où les polluants sont peu concentrés. Un tel procédé capable de traiter jusqu'à 60 m³/h d'effluents coûte 75 000 £, auquel il faut ajouter 1000 à 2000 £ pour le retraitement d'une tonne de charbon actif.

4.2.3 Xylène dans les carburants

Les émissions de xylène sont liées d'une part aux pertes par évaporation de carburant, d'autre part aux émissions à l'échappement :

- En Europe, les émissions par évaporation tendent à se réduire, en raison de la généralisation de systèmes de récupération des vapeurs d'essence sur les modèles récents de véhicules. Les constructeurs automobiles installent aujourd'hui des procédés (canister) qui stockent les vapeurs d'essence provenant du réservoir, et permet au moteur de les recycler évitant ainsi une partie des rejets de COV (Peugeot, 2005).

XYLENE

- De même, depuis 2001, les postes de chargement des dépôts et raffineries, les cuves de stations services et les camions de ravitaillement sont équipés d'unités de récupération des COV. Les systèmes de distribution des stations services seront quant à eux progressivement équipés d'un dispositif de récupération des vapeurs d'essence. Grâce à l'emploi de ces techniques, les émissions de COVNM, dus à la chaîne pétrolière hors terminaux pétrolier, ont été réduits de 98 000 t, passant de 153 000 t en 1990 à 55 000 t en 2003 (UFIP, 2005). Il n'y a aujourd'hui, pratiquement plus d'émissions canalisées de COV, mais seulement des émissions diffuses.
- Depuis 1993, les constructeurs ont équipé les voitures nouvellement fabriquées, de filtres et de pots catalytiques. Actuellement, la meilleure technique disponible est le pot catalytique à trois voies et en boucle fermée (UNECE, 2005). Ces pots permettent en théorie de détruire 99% des émissions toxiques. Toutefois, les réactions catalytiques se font entre 300°C et 1000°C, elles n'ont donc pas lieu tant que le pot catalytique n'a pas atteint sa température de fonctionnement, ce qui prend en général 3 minutes (correspondance IFP, 2005). La catalyse des hydrocarbures imbrûlés en sortie de pots d'échappements des moteurs à essence n'a donc pas lieu sur des petits parcours. De plus, les pots perdent de leur efficacité avec le temps et l'usure du moteur. Ils doivent donc être changés régulièrement (2 ans en moyenne). Même si elle ne les supprime pas, l'utilisation des pots catalytiques permet de diminuer sensiblement les rejets de COV.

Grâce à ces procédés, les émissions de COVNM, ont diminué, en France, de 984 tonnes entre 1988 et 2004, passant de 1 176 t à 291 t (CITEPA, 2005). Et la généralisation de ces dispositifs permettrait de diviser par 5 les rejets de COV dus au transport routier, en Europe, entre 1995 et 2000 (MEDD, 2003).

En outre, pour réduire les émissions de xylène à l'échappement on peut modifier la composition des essences, et en particulier réduire les teneurs en aromatiques. La teneur maximale des essences en aromatiques était jusqu'en 2005 de 42 %, mais cette valeur limite est passée à 35 % en Janvier 2005. La Commission pourrait proposer avant 2006 de nouvelles normes sur le benzène et les aromatiques à respecter à compter de Janvier 2009 (IFP, 2003).

De plus, les émissions de COV dépendent de la tension de vapeur saturante des essences. Plus cette tension est faible, plus les émissions diminuent. Les fabricants d'essences, ont donc réduit la tension de vapeur de 80 à 60 kPa.

XYLENE

Pour modifier la composition des carburants on peut également avoir recours aux biocarburants. En effet, l'éthanol, l'ETBE et les huiles végétales pures (EMHV) améliorent la combustion des moteurs à essence, ce qui a pour conséquence de diminuer les émissions d'hydrocarbures imbrûlés. Une introduction de ces biocarburants dans des proportions admissibles par les moteurs actuels (20% au maximum) pourrait donc entraîner une diminution des rejets de xylènes. Toutefois, cette introduction doit tenir compte des normes de qualités des essences. Il ne faut pas en particulier que l'introduction d'éthanol entraîne une augmentations de la pression de vapeur saturante, ce qui aurait pour conséquence d'augmenter les émissions de COV. Pour cela, les producteurs d'essences doivent proposer de nouvelles compositions de leurs produits, ce qui pourrait entraîner des modifications importantes de leurs installations de productions. Dans un contexte français de surproduction d'essences ces modifications ne représentent pas forcément un intérêt économique pour les producteurs français.

Actuellement, les objectifs d'utilisation de biocarburants assignés aux États membres par la Commission européenne sont de 5,75 % de la consommation d'essence et de gazole en 2010, avec un objectif de 8 % en 2020. La France qui, actuellement, n'introduit en moyenne qu'un pour-cent de biocarburants dans les essences, a lancé un programme de développement de ces énergies, dont l'objectif est d'atteindre 10% de biocarburants inclus dans les carburants classiques en 2015.

L'amélioration du rendement des moteurs à essence, le recours à des voitures hybrides moins consommatrices, et l'augmentation du parc de véhicules diesel qui ne contient pas de xylène pourrait également entraîner une diminution des rejets. Toutefois, les réductions d'émission de xylène amenées par ces évolutions technologiques risquent d'être partiellement voire totalement compensées par l'augmentation des volumes de trafic prévue d'ici 2015.

En fait, pour diminuer plus durablement les émissions de xylène dues au trafic routier, il faudrait développer de nouvelles sources d'énergie pour les transports (électricité et piles à combustible...). Toutefois, de tels développements technologiques à grande échelle semblent peu probable d'ici à 2015. De même, une diminution du trafic routier entraînerait automatiquement une diminution des rejets de xylène, mais là encore les perspectives ne sont pas favorables.

4.2.4 Autres solutions

Quelque soit le solvant, un bon moyen de réduire les émissions consiste en la réduction de leur production. On peut, pour cela, les recycler, soit directement sur les sites d'utilisations (en récupérant par exemple les vapeurs) (Cf. § 4.2.1 : les techniques de récupération), soit en les faisant retraiter par des usines spécialisées.

XYLENE

5 ASPECTS ECONOMIQUES

5.1 Place de la substance dans l'économie française

En 1993, les capacités de production française étaient de 90 000 t/an pour le o-xylène et de 90 000 t/an pour le p-xylène. Ces xylènes étaient exclusivement fabriqués par le groupe Total dans la raffinerie de Gonfreville l'Orcher (76).

En outre, selon les chiffres du commerce extérieur (Direction générales des douanes, 2005), la France a importé en 2004 14 800 t de xylène commercial, 110 t de o-xylène et 1 879 t de p-xylène. Le prix de ces différents produits 'est établi entre 500 et 650 €/t en 2004. Toutefois, les xylènes étant des hydrocarbures, leurs prix varient entre autres selon le prix du pétrole. On constate donc une forte augmentation du coût de ces matières depuis ces 3 dernières années. Ainsi, le prix du xylène commercial a augmenté de 43% entre 2003 et 2005 (Direction générales des douanes, 2005).

Le p-xylène sert en grande partie à la synthèse du PET. En 2003, la production française de PET a été de 110 000 t alors que sa consommation a été de 410 000 t, en augmentation de 9% par rapport à 2002 (Syndicat des producteurs de matières plastiques, 2003). D'après les prévisions, la demande mondiale de PET devrait passer de 30 Mt en 2004 à 50 Mt en 2010 (technique de l'ingénieur, 2004). Le prix du PET dépend à 80% du prix des matières premières. Il fluctue donc avec le cours du pétrole.

Le o-xylène sert à la synthèse de l'anhydride phtalique. La capacité de production est en France de 90 000 t, et il est synthétisé uniquement par Arkema. Le prix de l'anhydride varie avec celui du o-xylène auquel il faut ajouter 120 € par tonne (Techniques de l'ingénieur, 2004). L'anhydride phtalique est ensuite transformé en dibutyl phtalate (DBP) utilisé comme plastifiant pour le PVC. Il en a été produit en 1998 près de 26 000 t dans l'union Européenne. Toutefois, cette production est en forte diminution puisqu'en 1994, la production de DBP s'élevait à 49 000 t (ECB, 2004).

5.2 Impact économique des mesures de réduction

Comme pour le toluène, la réduction des émissions de xylène est fortement liée à la réduction de son utilisation en tant qu'hydrocarbure. Or l'augmentation probablement durable des cours du pétrole amène les industriels et les pouvoirs publics à développer des solutions susceptibles de diminuer la consommation d'essence (moteur hybride, biocarburants...). Ces mesures représentent un coût très important impossible à chiffrer dans le cadre de notre étude. De plus, même si elles peuvent y contribuer, elles ne sont pas directement liées aux mesures de réduction des émissions de xylène, mais s'inscrivent dans une démarche plus globale de réduction des consommations de pétrole.

XYLENE

En revanche, on peut estimer le coûts de certains procédés de récupération et de traitement des COV :

Les pots catalytiques étant installés de série sur toutes les voitures neuves, le coût de ces derniers est donc intégré au prix général d'un véhicule. Pour les autres véhicules un pot catalytique coûte entre 200 et 500 € (UNECE, 2005). On estime qu'en 2005, la moitié des véhicules sont équipés d'un tel système (MEDD, 2003), et en considérant que le parc automobile de voitures se renouvelle tous les 15 ans, on peut espérer qu'à partir de 2010, toutes les voitures françaises seront équipées d'un pot catalytique.

Les coûts de traitements des COV sont très variables en fonction des techniques. Le tableau ci-dessous indique quelques exemples de coûts¹³ :

Procédé	installation	exploitation
Séparation membranaire	300000€ (200 Nm ³ /h)	60000€/an
Condensation	500000€ (1000 Nm ³ /h) pour une installation de cryogénéisation	
Adsorption	240 m€ pour 1000 Nm ³ /h avec régénération des charbons	1000€ par tonne de charbon
Lavage des gaz	Très variable en fonction du traitement : de 600 à 33500\$	
Biofiltration	5000-20000€	200€ par m ³ de produits filtrant
Lavage des gaz avec action biologiques	5000-15000€	
Lavage des gaz avec lit bactérien	5000-20000€	
Oxydation thermique	Entre 10000 et 50000€ selon les technologies	>25000€ pour les combustion simple sans récupération de chaleur
Oxydation catalytique	10000-80000€	3000-21000€ pour la technique non régénératrice
Torchère	8300-560000€ en fonction des dimension de la torchère	Jusqu'à 36000€

¹³ Voir également le paragraphe sur le traitements des effluents atmosphériques.

XYLENE

En outre, on peut estimer le coût de la réduction des émissions de COV par les industriels en étudiant le marché de la lutte contre les Composés Organiques Volatils. Celui-ci a été estimé à 32,4 Million € en 2004, en augmentation de +20% par rapport à 2003. Il devrait encore continuer à augmenter de 20% en 2005, pour atteindre 38,8 Million € (Actu® environnement, 2005). Selon l'UFIP, la réduction des émissions de COV, de 91 000t, tout au long de la chaîne pétrolière, a coûté 630 M€ au total, aux industriels du secteur.

Il est également difficile d'établir le coût de traitement des rejets aqueux d'hydrocarbures car ils vont dépendre de la nature des effluents et du milieu de rejet. Selon un industriel interrogé, spécialisé dans le traitement des hydrocarbures, le coût moyen de traitement d'une unité de déshuilage serait de 60€ par tonne d'effluents à traiter. Le BREF sur le traitement des effluents dans la chimie donne également quelques exemples de coûts. Ainsi, une unité de déshuilage coûte 2 M€, une unité de stripping traitant un flux de 30 m³ par heure est de 4 à 5M€, et une unité d'adsorption sur charbon actif de 75 000€ (IPPC, 2002).

Pour ce qui concerne les prix des produits de substitution, ils sont en général plus chers que le xylène, mais ont une plus faible fluctuation car ils dépendent moins du pétrole.

- le produit proposé par une entreprise pour le nettoyage des encres et des peintures et pour le dégraissage des surfaces est vendu en moyenne deux fois plus cher que le produit équivalent à base d'hydrocarbures uniquement.
- Une entreprise propose une gamme de produits dérivés d'esters de colza pour le nettoyage et le dégraissage ou pouvant servir d'additif dans les peintures. Ces produits vendus à partir de 1€.kg⁻¹ sont en moyenne deux fois plus chers que les équivalents pétroliers (white spirit), mais une augmentation de la demande et surtout une augmentation des capacités de production pourraient avoir un effet bénéfique sur le coût de ces produits.
- En revanche, le marché des peintures sans solvants est plus ancien (début des années 50) et beaucoup plus développé. Le prix de ces peintures est donc le même que le prix des peintures contenant des COV.

XYLENE

6 CONCLUSIONS

Les xylènes sont des hydrocarbures aromatiques volatils extraits du pétrole. Il existe trois isomères utilisés soit séparément soit en mélange avec de l'éthylbenzène. Ils forment alors le xylène commercial. Les xylènes sont uniquement produits dans la raffinerie de Gonfreville l'Orcher. On produit ainsi, par an, en France, respectivement près de 90 000 t de o et p-xylène. En France, le xylène commercial est le solvant hydrocarboné le plus utilisé avec 34 000 t en 2004. Il est utilisé essentiellement dans le secteur des peintures et du dégraissage. Les isomères servent quant à eux à la synthèse de polymères (PET, phtalate pour PVC...).

De par leur volatilité, les xylènes sont émis dans l'environnement principalement vers l'atmosphère. Ils peuvent ensuite être introduits indirectement dans les milieux aquatiques. Les rejets directs de xylènes proviennent pour l'essentiel des rejets d'usines produisant ou utilisant les xylènes, mais surtout des usines utilisant des solvants contenant du xylène.

La présence de xylène dans les milieux aquatiques est due tout d'abord aux **rejets indirects engendrés par le trafic routier**. Ces rejets proviennent soit de la vaporisation des essences (station essence, transport et stockage des carburants...), soit des gaz d'échappements des véhicules à essences (imbrûlés, volatilisation...). En se basant sur les chiffres du CITEPA (2005), on peut constater que les rejets dans l'air de COVNM provoqués par le transport routier ont été divisés par 2,4 entre 1995 et 2003. Ils ont aussi été divisés par 1,5 dans le secteur de la transformation d'énergie.

Ces évolutions ont plusieurs origines :

- Equipement des véhicules routiers en pots catalytiques ;
- Améliorations apportées dans le stockage et la distribution d'hydrocarbures ;
- Augmentation du parc de véhicules diesel de 9,9 % par an entre 1990 et 2004 (CCFA, 2005) ;
- Diminution de la consommation des véhicules à essences (véhicules hybrides, amélioration du couple carburant/moteur...) de -0,9% par an entre 1990 et 2004.

Ces réductions ont même pu avoir lieu dans un contexte d'augmentation du trafic routier de 1,6% par an entre 1990 et 2004 (CCFA, 2005).

On peut donc espérer que ces évolutions permettront une forte réduction, à l'horizon 2015, des rejets indirects de xylène engendrés par le trafic routier.

XYLENE

La seconde source importante de rejet de xylène est due aux **rejets indirects par évaporation des solvants aromatiques**. Depuis 1999, de nouvelles réglementations imposant la limitation des rejets de COV, ont obligé les industriels à réduire leurs émissions. Pour cela différentes solutions ont été développées.

- Développement de produits contenant peu ou pas de solvants aromatiques (peinture à l'eau, désaromatation du white spirit...);
- Utilisation de techniques sans solvants (peinture poudre, encre UV...);
- Utilisation de techniques moins consommatrices de solvant (rinçage à contre courant, pulvérisation plus précise...);
- Recyclage des solvants par des techniques récupératives.

Face à ces évolutions, le marché total des solvants en Europe a été en diminution régulière, passant de 5 260 000 t en 1990 à 4 000 000 t en 2000, soit une baisse de 24% (ADEME, 2003).

Parallèlement à cette diminution de consommation de solvants, on observe également une diminution des rejets industriels de COV vers l'atmosphère. Les émissions de COVNM des industries manufacturières ont ainsi diminué de 28% entre 1990 et 2003, passant de 591 kt à 425 kt. Aujourd'hui, les techniques de traitement des COV ont des rendements épuratoires supérieurs à 90% (IPPC, 2001), et elles ne cessent de se développer.

On peut donc espérer là aussi la poursuite de ces diminutions, entraînant par là même une forte réduction des rejets indirects de xylène dans les milieux aquatiques.

Pour ce qui concerne les rejets directs, il est difficile d'évaluer les possibilités de réduction des émissions car il n'y avait jusqu'à présent aucun suivi régulier des émissions et de la concentration des micro-polluants dans les milieux aquatiques français. Il est donc difficile d'établir une évolution des rejets directs de xylènes lors de ces dernières années. Seuls les deux inventaires des rejets de micro-polluants réalisés dans 168 établissements de la région Rhône-Alpes peuvent nous fournir quelques indications (DRIRE Rhône-alpes, 2001). Ces études montrent que entre 1993 et 1998, le flux total de xylène a été divisé par 4 en Rhône-Alpes, région particulièrement représentative de la diversité des activités industrielles françaises. On peut dès lors espérer une baisse des émissions directes de xylène dans les milieux aquatiques français à l'horizon 2015.

La diminution des concentrations de xylènes dans les milieux aquatiques passe cependant par la réduction des émissions indirectes dues aux gaz d'échappement et aux émissions industrielles de COV.

XYLENE

7 REFERENCES

7.1 Entreprises, organismes et experts interrogés

Akzo Nobel

FIPEC (fédération des industries des peintures, encres, couleurs)

IFP (institut française du pétrole)

Novance

SID : société industrielle de diffusion : www.sid.tm.fr

UFIP (union française des industries pétrolières)

Contact d'entreprises pour le traitement des hydrocarbures aqueux (pollutec ou total).

Contact Arkema pour évolution du marché des toluène xylènes

7.2 Bibliographie

Actu® environnement, 2005. Après 8,5% de croissance en 2004, les éco-entreprises françaises devraient progresser de 3% en 2005. News de l'environnement du 08/11/05.

ADEME, 2004. Schéma de maîtrise des émissions de COV, secteurs de la mécanique, de la plasturgie de l'électricité et de l'électronique.

Air normand, 2004. Bilan des mesures : benzène, toluène, xylène. Bilan 2004. (<http://www.airnormand.asso.fr/>)

Alario, F., Marcilly, C., Barraqué, M., 2005. BTX : benzène, toluène, xylène, Techniques de l'ingénieur, 4p.

ALCIMED (2002), Analyse des marchés potentiels des agro-solvants et recommandations pour la conduite du programme AGRICE, ALCIMED Chemtechnologies, (http://www.ademe.fr/partenaires/agrice/publications/documents_francais/CP1.pdf)

ATSDR, 2005. Toxicological Profile for Xylene. (<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp71.html>)

Boeglin J.L., 1998. Lutte contre la pollution de l'eau, Inventaire des traitements. Techniques de l'ingénieur. G 1 250.

Boeglin J.L., 1998. Lutte contre la pollution de l'eau, traitement physico-chimique de la pollution soluble. Techniques de l'ingénieur. G 1271

Boeglin J.L., 1998. Lutte contre la pollution de l'eau, traitement physico-chimique de la pollution insoluble. Techniques de l'ingénieur. G 1270.

XYLENE

Brice K.A. and Derwent R.G., 1978. Emission inventory for hydrocarbons in the United Kingdom. *Atmos Environ*, 12, 2045-2054.

Brignon, J.-M., Malherbe, L., Soleille, S., 2005. Les substances dangereuses prioritaires de la directive cadre sur l'eau, Fiche de données technico-économiques, le DEHP.

Commission Européenne, 1996. Technical guidance document in support of Commission Directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and Commission Regulation (EC) N° 1488/94 on risk assessment for existing substances. Office for Official Publications of the European Commission. Luxembourg.

Direction générale des douanes, 2005. Le chiffre du commerce extérieur, Xylène. (http://lekiosque.finances.gouv.fr/Appchiffre/Portail_default.asp).

DRIRE Rhône-Alpes, 2005. 2^{ème} inventaire des rejets de micropolluants dans 168 établissements industriels de la région Rhône-Alpes.

CCFA, (Comité des constructeurs français d'automobile), 2005. La circulation routière.

CITEPA (Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution Atmosphérique), 2005. Emissions dans l'air en France métropolitaine- substances impliquées dans les phénomènes d'acidification, d'eutrophisation et de pollution photochimique.

CPDP (comité professionnel du pétrol), 2005. Consommation et prix de vente du pétrole en France en 2004. (<http://www.cpdp.org>)

ECB, 2003. European Union Risk assessment Report, toluene, volume 30.

ECB, 2004. European Union Risk assessment Report, dibutyl phtalate, volume 29.

FIPEC (fédération des industries des peintures, encres, couleurs,) 2004. Rapport d'activité : Chiffres de production en France - Année 2003.

Guibet, J.C., 2005. Les carburants et la combustion. technique de l'ingénieur, Doc. BM 2 520

INERIS, 2005. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, o-, m-, p-Xylènes et leurs mélanges.

INRS 2005. Panorama de l'utilisation des solvants en France fin 2004.

INRS, 2005. valeurs limite d'exposition professionnelle au agent chimique en France, note documentaire 2098, 23p.

IPPC, 2001. Best available techniques in common wste water and waste gas treatment / management systems in the chemical sector.

IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control), 2003. Best Available Techniques in the Large Volume Organic Chemical Industry. 432p.

XYLENE

Labrecque, M.H., 2003. Étude de la capacité de deux souches de levures à dégrader le xylène. Université de Laval (Canada), Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation.

Lepeltier, S., 2002. Les nuisances environnementales de l'automobile. Rapport d'information 113 (2001-2002) - Délégation du Sénat pour la planification.

MEDD (Ministère de l'environnement et du développement durable), 2003. La réduction des émissions des précurseurs de l'ozone.

Peugeot, 2005. Tout ce que vous devez savoir sur l'échappement. (<http://www.peugeot.fr/>)

République française, 2005. Programme national d'action contre la pollution des milieux aquatiques par certaines substances dangereuses. 61p.

Syndicat des producteurs de matières plastiques, 2003. Matières plastiques, chiffres 2003. (<http://www.spmp.org/>).

Tabak, Desai S. and Govind R., 1989. Determination of biodegradability kinetics of RCRA compounds using respirometry for structure-activity relationships. In: *44th Industrial Waste Conference*, pp 405-423.

Techniques de l'ingénieur, 2005. Procédés de traitement des COV ou composés organiques volatils.

Technique de l'ingénieur, 2004. Anhydride phtalique.

Ullmann (1996) - Xylenes. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, VCH. B. Elvers and S. Hawkins, vol A28, pp. 433-45, 5th Ed.

UNECE (United Nations Economic Commission for Europe), 2005. Protocole à la convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, de 1979, relatif à la lutte contre les émissions des composés organiques volatils ou leur flux transfrontières.

Verschueren K. (1996) - Xylènes. Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals. New York, Van Nostrand Reinhold Co, pp. 2189-2195, 3rd Ed.

VIGNES J.L, André, G., Kapala, F. et al, 1998. Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux, benzène toluène xylène, Société française de chimie, 7^{ème} édition, 1996-2005.

VIGNES J.L, André, G., Kapala, F. et al, 1998. Données industrielles, économiques, géographiques sur les principaux produits chimiques, métaux et matériaux ; Solvants chlorés, Société française de chimie, 7^{ème} édition, 1996-2005.