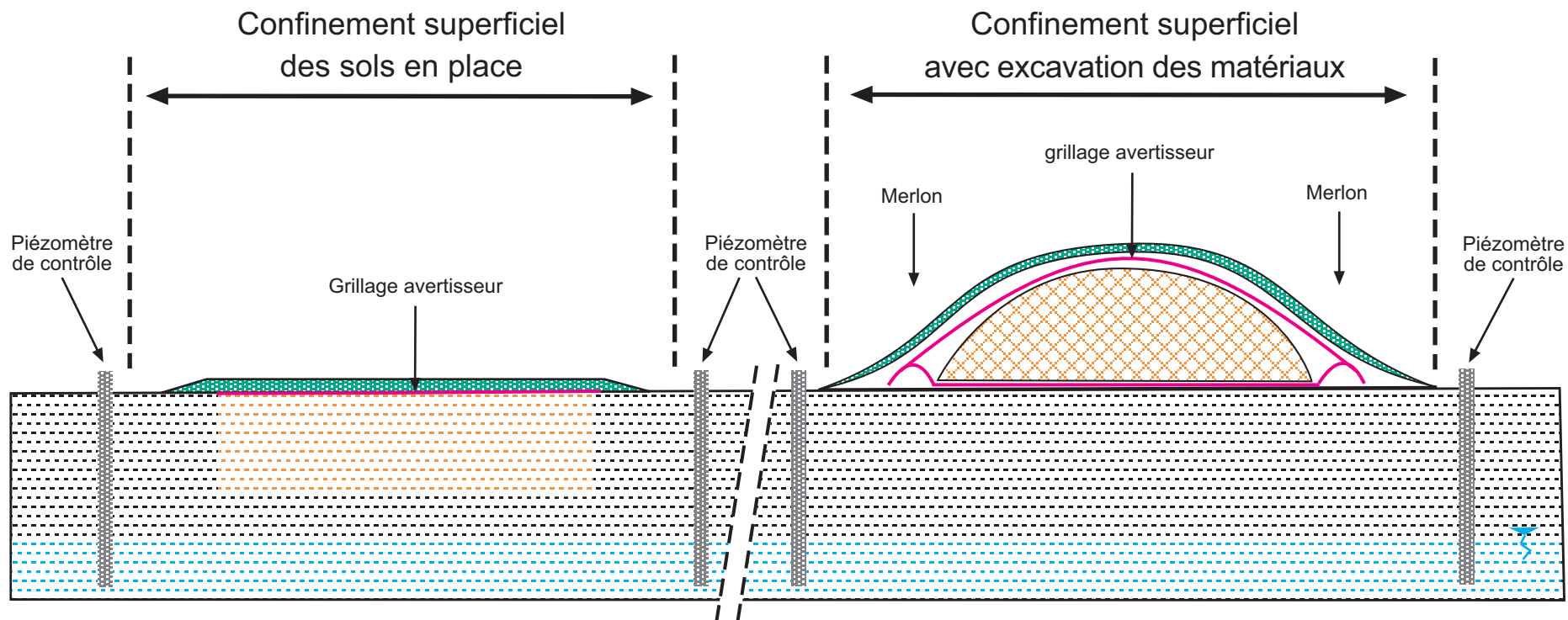






# ANNEXES

# **- Annexe 1 - Schémas de confinements**



-  Matériaux d'apport de type terre végétale pour recouvrement superficiel de 30 cm minimum (provenant soit d'une zone d'emprunt sur site soit de l'extérieur) ou surface étanche (bitum, béton)
-  Matériaux excavés nécessitant un confinement superficiel
-  Matériaux initialement en place nécessitant un confinement superficiel
-  Matériaux initialement en place ne nécessitant pas de confinement

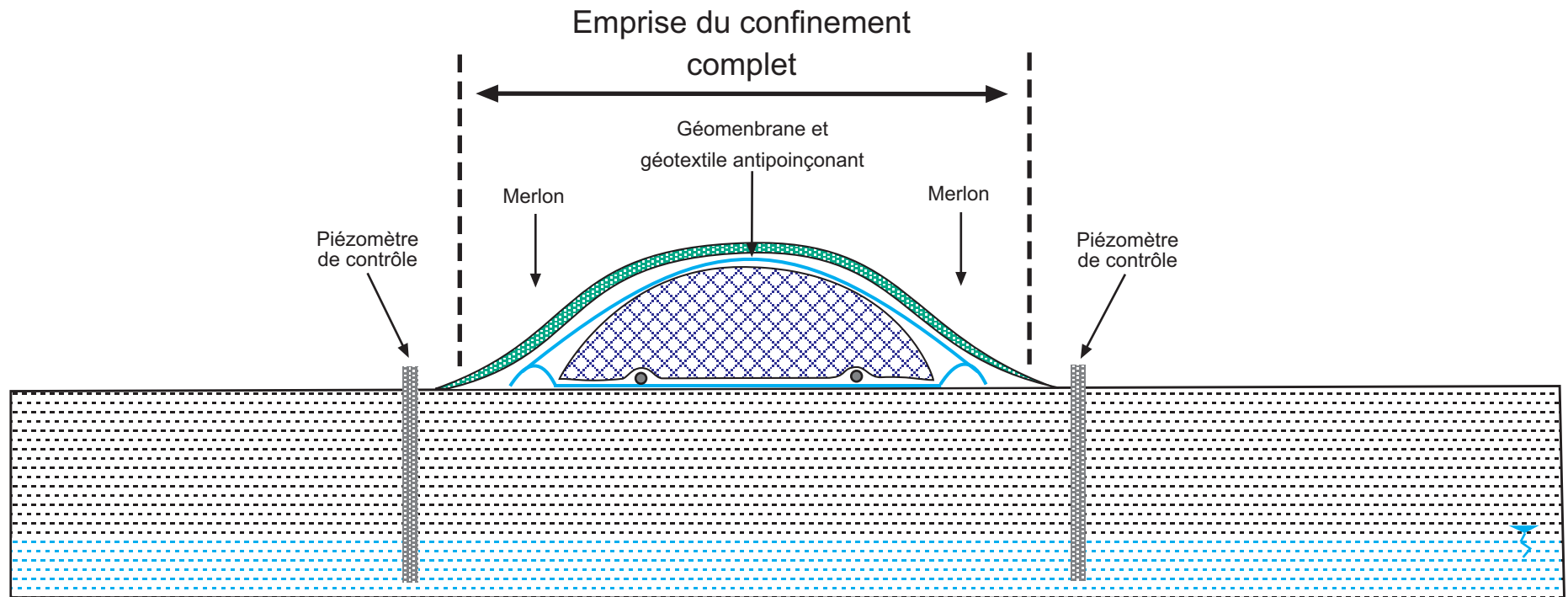





VILLE DE FUMEL (47) / Plan de gestion - Ancien site du crassier de la fonderie

Esquisse des confinements superficiels envisagés - vue en coupe

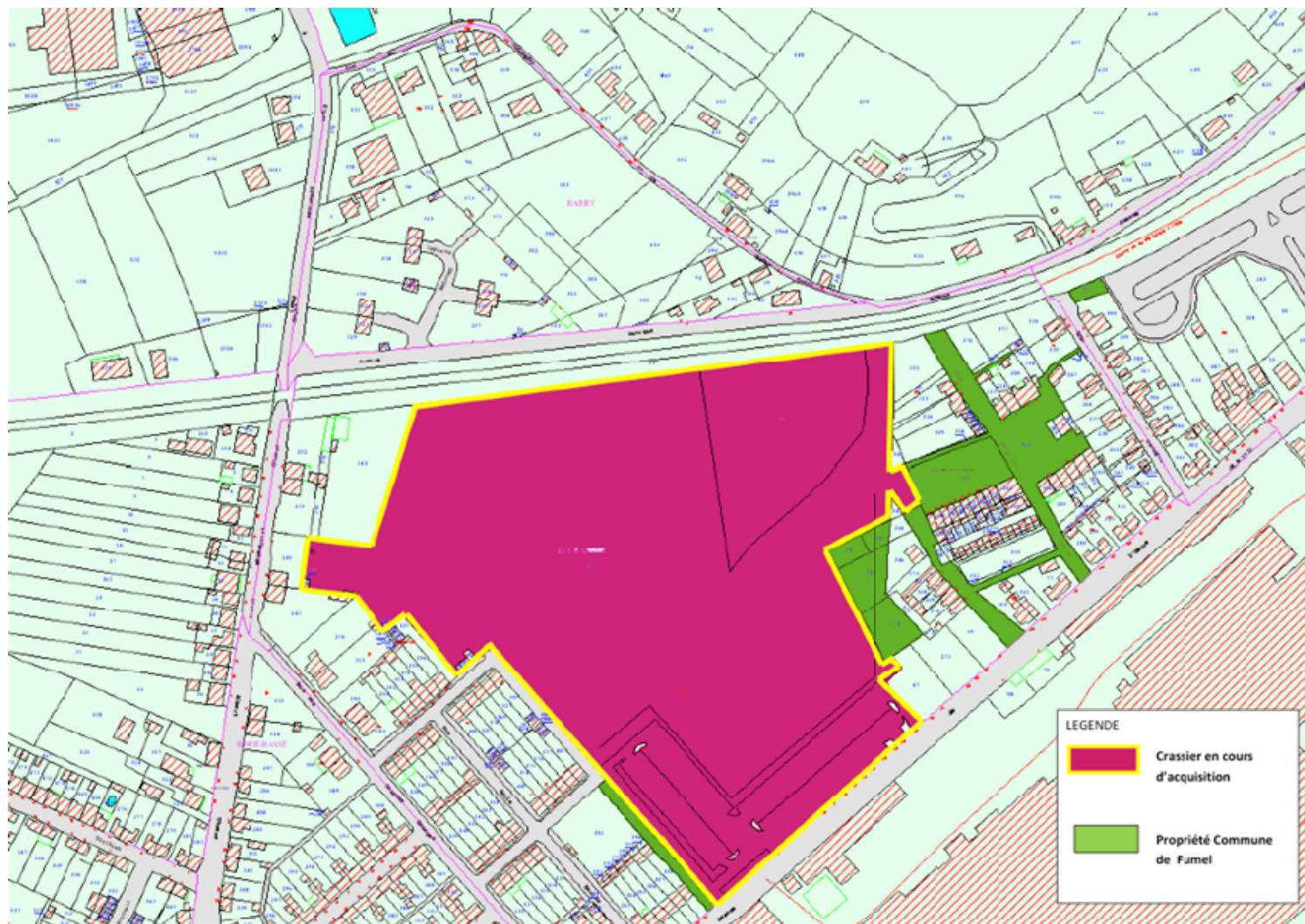
Annexe

RSSPSO00139  
CBxZ08 0841



-  Matériaux d'apport de type terre végétale pour recouvrement superficiel de 30 cm minimum (provenant soit d'une zone d'emprunt sur site soit de l'extérieur) ou surface étanche (bitum, béton)
-  Matériaux nécessitant un confinement complet
-  Matériaux initialement en place
- Drain de collecte de lixiviats

# **- Annexe 2 - Plan foncier pour le projet d'aménagement**



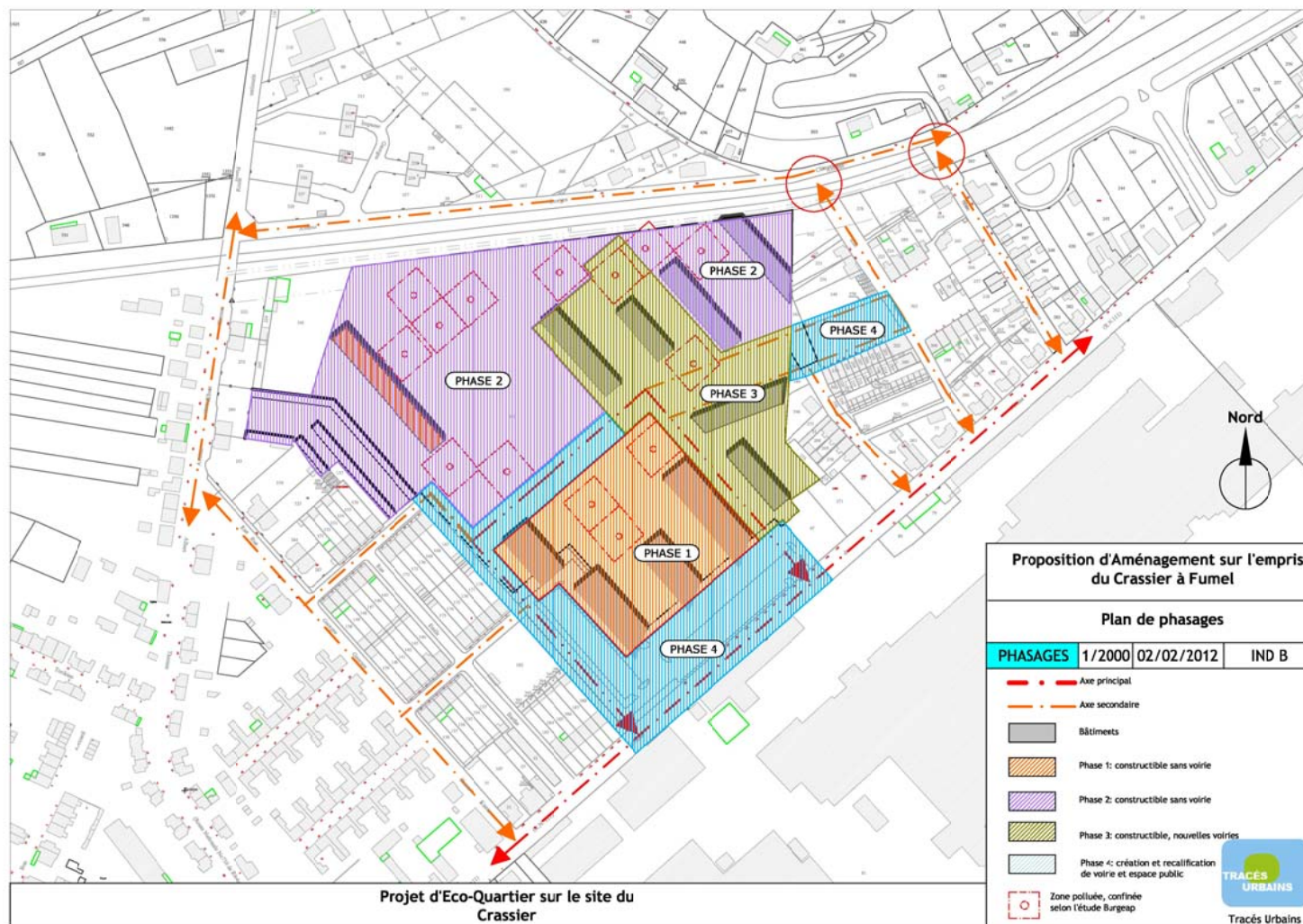
RSSPSO00139-02/CBXZ080841

BB/AJ/ABI - JBL - FT

Août 2012

Page 60

# **- Annexe 3 - Phasage du projet d'aménagement**



# **- Annexe 4 - Concentrations dans les sols et choix des composés**

Tableau 1 : Choix des composés et des concentrations dans les sols

		Bruit de fond géochimique (mg/kg)	Seuil déchet inerte arrêté du 15/03/06	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S9	S11	S12	S13	S14	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23	S24		
				(0.2-0.4)	(0.2-0.3)	(0.3-0.45)	(0-1.1)	(0.3-1)	(0-1)	(0.45-1.5)	(0.3-0.5)	(0.3-1.3)	(1.3-2)	(0.5-0.9)	(0.1-0.3)	(0.2-0.7)	(0.1-0.4)	(0.2-0.5)	(0.15-0.25)	(0.2-0.7)	(0.1-0.5)	(0.2-0.3)	(0.5-0.9)	(0.1-0.2)	(0.2-0.5)	(0.2-0.5)		
				R sablo-graveleux marron	R sablo-graveleux marron	R sablo-graveleux marron foncé	R sableux marron+ cendres	R sableux marron+ cendres	R sablo-graveleux +ferrailles, briques	R sablo-graveleux (+cendres, briques)	R sablo-graveleux marron (+briques)	R sableux gris-noir (+cendres, ferrailles, castine)	R sableux noir +cendres, ferrailles	R sableux +briques	R sablo-graveleux+ briques	R sableux +castine	R calcaire	R sableux noir +cendres vitrifiées	R sableux marron foncé	R sableux marron-noir +cendres vitrifiées, briques, ferrailles	R sableux noir +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux	Sable graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées, briques, ferrailles	R sablo-graveleux +briques		
<b>DIVERS</b>																												
Cyanures libres	mg/kg Ms																											
Cyanures totaux	mg/kg Ms																											
Indice phénol	mg/kg Ms		1		<0,10	<0,10																						
Sulfates (SO4)	mg/kg Ms																											
<b>METAUX</b>																												
Aluminium (Al)	mg/kg Ms																											
Arsenic (As)	mg/kg Ms	1-25																										
Cadmium (Cd)	mg/kg Ms	0.05-0.45		0,19	<0,10	1,1	1,3	1,4	<0,10	<0,10	<0,10	0,91	0,66	<0,10	0,75	0,34	0,72	0,15	1,2	0,39	1,5	0,35	0,23	0,33	0,15	<0,10		
Chrome (Cr)	mg/kg Ms	10-90																										
Cuivre (Cu)	mg/kg Ms	2-20																										
Manganèse (Mn)	mg/kg Ms	110-4600																										
Mercuré (Hg)	mg/kg Ms	0.02-0.2																										
Nickel (Ni)	mg/kg Ms	2-60		12	15	16	16	13	35	8,2	15	18	22	24	16	11	21	13	150	35	46	13	12	12	11	5,3		
Plomb (Pb)	mg/kg Ms	9-50		23	19	62	46	410	42	11	30	79	18	29	130	34	59	18	410	250	1400	51	150	46	26	45		
Zinc (Zn)	mg/kg Ms	10-100		95	78	330	280	590	230	51	100	620	90	69	290	120	280	47	770	240	530	510	75	120	45	35		
<b>HAP</b>																												
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15											<2,0	0,86														
Acénaphthylène	mg/kg Ms												<2,0	<2,0														
Acénaphthène	mg/kg Ms												<2,0	0,11														
Fluorène	mg/kg Ms												1,2	0,065														
Phénanthrène	mg/kg Ms												8,8	2,2														
Anthracène	mg/kg Ms												2,3	0,28														
Fluoranthène	mg/kg Ms												11	3,9														
Pyrène	mg/kg Ms												9,5	2,8														
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms												4,7	1,7														
Chrysène	mg/kg Ms												4,1	2														
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms												3,3	1,9														
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms												1,9	0,93														
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms												4,1	2														
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms												0,41	0,24														
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg Ms												2,6	1,3														
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms												2,8	1,5														
HAP (EPA) - somme	mg/kg Ms	25	50										57	22														
<b>BTEX</b>																												
Benzène	mg/kg Ms																											
Toluène	mg/kg Ms																											
Ethylbenzène	mg/kg Ms																											
m,p-Xylène	mg/kg Ms																											
o-Xylène	mg/kg Ms																											
Somme Xylènes	mg/kg Ms																											
somme BTEX			6																									
<b>HCT</b>																												
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms		500																									
Fraction C10-C12	mg/kg Ms																											
Fraction C12-C16	mg/kg Ms																											
Fraction C16-C20	mg/kg Ms																											
Fraction C20-C24	mg/kg Ms																											
Fraction C24-C28	mg/kg Ms																											
Fraction C28-C32	mg/kg Ms																											
Fraction C32-C36	mg/kg Ms																											
Fraction C36-C40	mg/kg Ms																											
Hydrocarbures volatils C6-C10	mg/kg Ms																											

		Bruit de fond géochimique (mg/kg)	Seuil déchet inerte arrêté du 15/03/06	S24 (0.5-0.8)	S25 (0.2-0.7)	S26 (0-0.5)	S27 (0.2-1)	S29 (0.2-0.6)	S30 (0-0.5)	S31 (0.05-1.4)	S32 (0-0.7)	S33 (0.15-0.6)	S34 (0-0.8)	S35 (0.2-1.4)	S37 (0.6-0.9)	S38 (0.15-0.8)	S39 (0.1-1)	S40 (0-0.3)	S41 (0-0.6)	S42 (0.3-1.5)	S44 (0.1-0.5)	S45 (0.2-0.7)	S46 (0.1-0.5)	S47 (0-0.8)	S48 (0.1-1.6)	S49 (0.2-0.9)
<b>DIVERS</b>				R sablo-graveleux marron-noir	R sablo-graveleux gris-noir	R sablo-graveleux +briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux gris-noir +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +béton +cendres vitrifiées	R sableux +béton, tuiles, tuyaux, carrelage	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux noir	R sablo-graveleux +bois, briques, tuyaux, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +briques, câbles, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +béton, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +béton, briques, plastique	R sablo-graveleux +briques	R sablo-graveleux marron-noir+briques, plastique, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux marron-noir +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +béton, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +briques	R sablo-graveleux gris+briques	R sablo-graveleux +briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +béton, ferrailles, plastique, cendres vitrifiées, fonte...	R sablo-limoneux +briques, cendres vitrifiées
Cyanures libres	mg/kg Ms				<1,0															<1,0						
Cyanures totaux	mg/kg Ms				<1,0															<1,0						
Indice phénol	mg/kg Ms	1		<0,10	<0,10							<0,10								<0,10	<0,10	<0,10	<0,10			<0,10
Sulfates (SO4)	mg/kg Ms						43																			
<b>METAUX</b>																										
Aluminium (Al)	mg/kg Ms						18000																			
Arsenic (As)	mg/kg Ms	1-25					41																			
Cadmium (Cd)	mg/kg Ms	0.05-0.45		<0,10	0,76	1,1	2,7	1,6	<0,10	1,2	1,1	1,6	0,84	2,6	<0,10	<0,10	75	0,49	<0,10	0,47	<0,10	<0,10	<0,10	0,58	1,6	0,56
Chrome (Cr)	mg/kg Ms	10-90					44																			
Cuivre (Cu)	mg/kg Ms	2-20					62																			
Manganèse (Mn)	mg/kg Ms	110-4600					1100																			
Mercurure (Hg)	mg/kg Ms	0.02-0.2					0,27																			
Nickel (Ni)	mg/kg Ms	2-60		13	40	50	24	21	20	19	19	28	19	46	4,3	6,3	14	22	39	130	25	6,6	7,4	46	21	34
Plomb (Pb)	mg/kg Ms	9-50		40	100	270	230	110	170	140	82	100	90	100	10	11	9900	110	190	120	20	20	22	170	180	140
Zinc (Zn)	mg/kg Ms	10-100		66	260	450	500	730	490	440	420	460	370	330	18	17	23000	190	140	180	95	34	40	330	480	310
<b>HAP</b>																										
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15		<0,050	<0,50							0,16								0,14						<0,050
Acénaphthylène	mg/kg Ms			<0,10	<5,0							<0,50								<1,0						<0,050
Acénaphthène	mg/kg Ms			<0,050	<1,0							<0,050								<0,050						<0,050
Fluorène	mg/kg Ms			<0,010	0,55							0,024								0,053						0,016
Phénanthrène	mg/kg Ms			0,095	6,9							0,62								1,4						0,093
Anthracène	mg/kg Ms			0,017	1,4							0,1								0,31						0,047
Fluoranthène	mg/kg Ms			0,13	8,2							1,2								4,1						0,26
Pyrène	mg/kg Ms			0,11	6,7							0,78								3						0,22
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms			0,082	3,5							0,61								1,8						0,12
Chrysène	mg/kg Ms			0,084	2,9							0,64								1,6						0,14
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms			0,05	2,4							0,65								1,4						0,13
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms			0,036	1,3							0,32								0,83						0,08
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms			0,038	2,5							0,65								1,7						0,14
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms			<0,010	0,29							0,095								0,18						0,014
Benzo(g,h,i)peryène	mg/kg Ms			<0,10	1,9							0,47								0,91						0,12
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms			<0,010	1,9							0,53								1,3						0,13
HAP (EPA) - somme	mg/kg Ms	25	50	0,64	40							6,8								19						1,5
<b>BTEX</b>																										
Benzéne	mg/kg Ms				<0,05		<0,05					<0,05								<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Toluène	mg/kg Ms				<0,05		<0,05					<0,05								<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Ethylbenzéne	mg/kg Ms				<0,05		<0,05					<0,05								<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<0,05		<0,05					<0,05								<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
o-Xylène	mg/kg Ms				<0,05		<0,05					<0,05								<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Somme Xylènes	mg/kg Ms				n.a.		n.a.					n.a.								n.a.			n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
somme BTEX			6																							
<b>HCT</b>																										
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms		500	43	22							37		60	<20				90	58	31		25		1510	<20
Fraction C10-C12	mg/kg Ms			<4	<4							<4		<4	<4				<4	<4	<4		<4		6	<4
Fraction C12-C16	mg/kg Ms			<4	<4							<4		7	<4				<4	<4	<4		<4		8	<4
Fraction C16-C20	mg/kg Ms			<2	<2							4		8	<2				7	7	2		<2		46	3
Fraction C20-C24	mg/kg Ms			5	3							5		10	<2				15	9	4		<2		230	3
Fraction C24-C28	mg/kg Ms			12	5							4		11	<2				17	11	7		5		410	3
Fraction C28-C32	mg/kg Ms			14	6							9		12	3				31	16	9		8		360	4
Fraction C32-C36	mg/kg Ms			7	3							8		9	7				13	7	5		7		280	<2
Fraction C36-C40	mg/kg Ms			4	<2							4		<2	6				5	<2	3		<2		160	<2
Hydrocarbures volatils C6-C10	mg/kg Ms				<1,0							<1,0														

		Bruit de fond géochimique (mg/kg)	Seuil déchet inerte arrêté du 15/03/06	S50 (0.2-1.1)	S51 (0.2-0.9)	S52 (0.1-1.4)	S53 (0-1.4)	S54 (0-1.3)	S55 (0.2-1)	S56 (0-0.7)	S57 (0-0.9)	S58 (0-0.4)	S59 (0.3-0.8)	S60 (0-1)	S61 (0-0.6)	S62 (0.3-1)	S63 (0-0.5)	S64 (0-1.5)	S66 (0-0.6)	S66 (0.6-2)	S67 (0-0.6)	S68 (1.5-2)	S69 (0-1)	S70 (0-1)	S71 (0-0.8)	S72 (0-0.5)		
				R sablo-graveleux marron-noir+briques vitrifiées	R sablo-graveleux marron-noir+briques vitrifiées	R sablo-graveleux +béton, ferraille, cendres, fonte	R sablo-graveleux +briques, fonte, coke...	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées, bois...	R sableux +calcaire	cendres grises+R graveleux	R sableux +ferraille, briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux gris-noir +plastique, briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux noir +cendres vitrifiées, coke	R sablo-graveleux +briques, cendres vitrifiées, ferraille...	R sablo-graveleux noir+briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux marron-noir	R sablo-graveleux +cendres, tuyaux, ferraille, bidons plastique...	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées, coke...	sable marron +cendres, qq mcx moules	R sablo-graveleux +briques, cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +ferraille, fonte, bois, briques...	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées, ferraille...	R graveleux +cendres vitrifiées	R sablo-graveleux +cendres vitrifiées, plastique, briques...	R sablo-graveleux		
<b>DIVERS</b>																												
Cyanures libres	mg/kg Ms					<1,0				<1,0				<1,0					<1,0	<1,0								
Cyanures totaux	mg/kg Ms					1,7				<1,0				<1,0					<1,0	<1,0								
Indice phénol	mg/kg Ms		1			<0,10				0,15	1,3		<0,10	<0,10					<0,10	<0,10		<0,10					0,4	
Sulfates (SO4)	mg/kg Ms					181												55										
<b>METAUX</b>																												
Aluminium (Al)	mg/kg Ms					10000													8000									
Arsenic (As)	mg/kg Ms	1-25				5,4	9,1												12									
Cadmium (Cd)	mg/kg Ms	0.05-0.45		0,77	2,2	1,9	<0,1	0,34	<0,10	<0,10	0,13	<0,10	0,38	0,33	2,3	0,4	<0,10	1,2	0,2	0,11	<0,10	<0,10	0,15	<0,10	<0,10	0,88		
Chrome (Cr)	mg/kg Ms	10-90				52	180												76									
Cuivre (Cu)	mg/kg Ms	2-20				180	150												96									
Manganèse (Mn)	mg/kg Ms	110-4600				910													920									
Mercure (Hg)	mg/kg Ms	0.02-0.2				0,29	<0,05												0,08									
Nickel (Ni)	mg/kg Ms	2-60		15	27	28	38	7	4,4	27	42	23	24	22	54	45	11	29	13	9,1	300	54	20	72	100	26		
Plomb (Pb)	mg/kg Ms	9-50		78	260	840	38	34	17	32	26	44	110	150	430	430	15	73	120	32	61	69	56	79	13	190		
Zinc (Zn)	mg/kg Ms	10-100		180	750	830	190	160	50	530	510	200	140	150	680	220	470	530	94	68	230	250	140	3900	310	500		
<b>HAP</b>																												
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15								0,5				0,22					0,54	0,11		0,28					0,72	
Acénaphthylène	mg/kg Ms									<0,50				<0,20					<0,20	<0,20		<0,20					<1,0	
Acénaphthène	mg/kg Ms									<0,050				<0,10					<0,20	<0,050		<0,20					<0,10	
Fluorène	mg/kg Ms									0,023				0,12					0,11	0,025		0,089					0,056	
Phénanthrène	mg/kg Ms									0,47				0,86					0,67	0,23		0,97					0,47	
Anthracène	mg/kg Ms									0,033				0,31					0,073	0,024		0,19					0,081	
Fluoranthène	mg/kg Ms									0,13				1,2					0,4	0,21		1,8					0,7	
Pyrène	mg/kg Ms									0,1				0,98					0,31	0,19		1,6					0,65	
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms									0,058				0,56					0,16	0,11		0,97					0,43	
Chrysène	mg/kg Ms									0,081				0,51					0,17	0,13		0,95					0,44	
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms									0,062				0,43					0,15	0,12		1					0,51	
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms									0,027				0,24					0,078	0,059		0,55					0,25	
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms									0,034				0,46					0,14	0,089		1					0,43	
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms									<0,010				0,05					0,017	0,013		0,13					0,059	
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg Ms									0,041				0,31					0,12	0,12		0,9					0,43	
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms									0,032				0,3					0,13	0,1		0,88					0,42	
HAP (EPA) - somme	mg/kg Ms	25	50							1,6				6,6					3,1	1,5		11					5,6	
<b>BTEX</b>																												
Benzène	mg/kg Ms									<0,05	<0,05			<0,05					<0,05	<0,05		<0,05	<0,05				<0,05	
Toluène	mg/kg Ms									0,07	<0,05			<0,05					<0,05	<0,05		<0,05	<0,05				0,06	
Ethylbenzène	mg/kg Ms									<0,05	<0,05			<0,05					<0,05	<0,05		<0,05	<0,05				<0,05	
m,p-Xylène	mg/kg Ms									0,07	0,07			<0,05					<0,05	<0,05		<0,05	<0,05				0,11	
o-Xylène	mg/kg Ms									<0,05	<0,05			<0,05					<0,05	<0,05		<0,05	<0,05				<0,05	
Somme Xylènes	mg/kg Ms									0,07	0,07			n.a.					n.a.	n.a.		n.a.	n.a.				0,11	
somme BTEX			6							0,21	0,14																0,28	
<b>HCT</b>																												
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms		500			174		<20		168				159					138	24	<20		100	154			272	
Fraction C10-C12	mg/kg Ms					<4		<4		<4				<4					<4	<4		<4	<4				<4	
Fraction C12-C16	mg/kg Ms					<4		<4		5				10					7	<4	<4	<4	<4	<4			13	
Fraction C16-C20	mg/kg Ms					10		<2		12				38					13	<2	<2		10	5			24	
Fraction C20-C24	mg/kg Ms					27		<2		13				23					17	2	3		19	15			39	
Fraction C24-C28	mg/kg Ms					39		5		37				24					37	8	4		21	47			65	
Fraction C28-C32	mg/kg Ms					44		7		46				30					37	7	6		26	58			66	
Fraction C32-C36	mg/kg Ms					30		4		41				24					23	4	2		14	20			42	
Fraction C36-C40	mg/kg Ms					20		<2		13				9					5	<2	<2		8	7			23	
Hydrocarbures volatils C6-C10	mg/kg Ms													<1,0														

		Bruit de fond geochimique (mg/kg)	Seuil déchet inerte arrête du 15/03/06	S74 (0.1-1)	S75 (0-1)	S76 (0-0.7)	S77 (0-0.8)	S78 (0-0.8)	S79 (0-1.1)	S79 (1.1-2)	Concentration moyenne	Concentration maximale	Nombre d'analyses
				R sablo- graveleux +cendres vitrifiées	R sablo- graveleux noir+briques, cendres vitrifiées	R sablo- graveleux +briques, cendres vitrifiées	R sablo- graveleux +briques, cendres vitrifiées	R sablo- graveleux+ cendres	R sablo- graveleux gris +cendres, cendres vitrifiées, plastiques	R sablo- graveleux marron-noir +cendres vitrifiées	Prise en compte pour l'exposition par le contact direct et l'inhalation au droit des espaces verts	Prise en compte pour l'exposition par l'inhalation au droit des bâtiments et garages	
<b>DIVERS</b>													
Cyanures libres	mg/kg Ms				<1,0	<1,0			<1,0		<1,0	<1,0	14
Cyanures totaux	mg/kg Ms				<1,0	<1,0			<1,0		1,05	1,70	14
Indice phénol	mg/kg Ms		1		<0,10	<0,10			2,6	0,63	0,26	2,6	29
Sulfates (SO4)	mg/kg Ms										93	181	3
<b>METAUX</b>													
Aluminium (Al)	mg/kg Ms										12000	18000	3
Arsenic (As)	mg/kg Ms	1-25									17	41	4
Cadmium (Cd)	mg/kg Ms	0.05-0.45		<0,10	1,3	0,93	0,75	0,25	0,63	1,2	2	75	76
Chrome (Cr)	mg/kg Ms	10-90									88	180	4
Cuivre (Cu)	mg/kg Ms	2-20									122	180	4
Manganèse (Mn)	mg/kg Ms	110-4600									977	1100	3
Mercure (Hg)	mg/kg Ms	0.02-0.2									0,21	<b>0,29</b>	4
Nickel (Ni)	mg/kg Ms	2-60		42	25	14	16	36	28	23	31	300	76
Plomb (Pb)	mg/kg Ms	9-50		72	230	180	95	38	64	170	<b>260</b>	9900	76
Zinc (Zn)	mg/kg Ms	10-100		130	310	310	190	340	1100	1800	<b>661</b>	23000	76
<b>HAP</b>													
Naphtalène	mg/kg Ms	0,15			0,52	<1,0			1	1,3	<b>0,55</b>	<b>1,30</b>	19
Acénaphthylène	mg/kg Ms				<1,0	<1,0			<20	<1,0	<1	<1	19
Acénaphthène	mg/kg Ms				<0,50	<1,0			<0,50	<0,050	0,33	2,00	19
Fluorène	mg/kg Ms				0,56	<0,010			0,21	0,14	0,18	1,20	19
Phénanthrène	mg/kg Ms				3,7	2,7			0,06	0,39	1,72	8,80	19
Anthracène	mg/kg Ms				0,92	0,67			0,11	0,038	0,39	2,30	19
Fluoranthène	mg/kg Ms				5,2	3,2			0,17	0,13	2,51	11,00	19
Pyrène	mg/kg Ms				4,2	<5,0			0,17	0,11	2,12	9,50	19
Benzo(a)anthracène	mg/kg Ms				2,4	1,9			0,12	<0,10	1,20	4,70	19
Chrysène	mg/kg Ms				2,1	1,8			0,18	<0,10	1,13	4,10	19
Benzo(b)fluoranthène	mg/kg Ms				2	1,4			0,12	0,058	1,03	3,30	19
Benzo(k)fluoranthène	mg/kg Ms				1,1	0,84			0,055	0,023	0,55	1,90	19
Benzo(a)pyrène	mg/kg Ms				2,2	1,5			0,077	0,03	1,10	4,10	19
Dibenzo(a,h)anthracène	mg/kg Ms				0,25	0,16			<0,010	<0,010	0,13	0,41	19
Benzo(g,h,i)pérylène	mg/kg Ms				1,7	1			0,08	0,034	0,77	2,60	19
Indéno(1,2,3-cd)pyrène	mg/kg Ms				1,7	1			0,061	0,023	0,85	2,80	19
HAP (EPA) - somme	mg/kg Ms	25	50		29	16			2,4	2,3	13,74	57,00	19
<b>BTEX</b>													
Benzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05			<0,05	0,07	0,05	<b>0,07</b>	25
Toluène	mg/kg Ms				<0,05	0,06			<0,05	0,11	0,05	<b>0,11</b>	25
Ethylbenzène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	25
m,p-Xylène	mg/kg Ms				<0,05	0,07			<0,05	0,11	0,06	0,11	25
o-Xylène	mg/kg Ms				<0,05	<0,05			<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	25
Somme Xylènes	mg/kg Ms				n.a.	0,07			n.a.	0,11	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>	25
somme BTEX			6			0,2				0,4	0,40	0,50	5
<b>HCT</b>													
Hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg Ms		500		153	70			77	350	140	1510	32
Fraction C10-C12	mg/kg Ms				<4	5			6	<4	<4	<b>6</b>	32
Fraction C12-C16	mg/kg Ms				6	13			12	14	<b>6</b>	<b>21</b>	32
Fraction C16-C20	mg/kg Ms				11	12			5	25	<b>10</b>	58	32
Fraction C20-C24	mg/kg Ms				24	11			9	38	<b>20</b>	230	32
Fraction C24-C28	mg/kg Ms				40	10			17	77	<b>33</b>	410	32
Fraction C28-C32	mg/kg Ms				39	12			19	86	<b>35</b>	360	32
Fraction C32-C36	mg/kg Ms				24	7			8	69	<b>24</b>	280	32
Fraction C36-C40	mg/kg Ms				8	<2			<2	40	<b>12</b>	160	32
Hydrocarbures volatils C6-C10	mg/kg Ms										<1	<1	8

Les teneurs prises en compte dans les calculs des risques sanitaires, sont indiquées dans la colonne « Teneur maximale » ou « Teneur moyenne » en gras.

# **- Annexe 5 - Valeurs toxicologiques de référence**

# R&D

## BASE DE DONNEES

# Identification des dangers Relations dose-réponse Valeurs toxicologiques de référence

« R&DNa038 –diffusable »

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 1

## R&amp;D

**BASE DE DONNEE**  
**Identification des dangers**  
**Relations dose – réponse**  
**Valeurs toxicologiques de référence**

Intitulé du rapport	n° rapport	Date	Indice	Rédaction	Validation
Document R&D Danger, Relation doses – réponses et VTR Document initial	R&DNa038	24/07/2005		Christelle LE DEVEHAT	Sylvie TRAVERSE
Actualisation mars 2006 (IRIS, ATSDR, RIVM, OEHHA, INERIS, santé canada)	R&DNa038a	20/03/2006	a	Sylvie TRAVERSE et ingénieurs de projets	Sylvie TRAVERSE
Actualisation sept-octobre 2006	R&DNa038b	16/10/2006	b	ingénieurs de projet Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE	Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE
<i>Modifications ponctuelles janv 2007 (chloroforme, bruit de fond air des OHV, et naphthalène)</i>	<i>R&amp;DNa038c</i>	<i>3/01/2007</i>	<i>c</i>	<i>ingénieurs de projet Sylvie TRAVERSE</i>	<i>Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE</i>
<i>Actualisation et intégration de nombreuses nouvelles substances</i>	<i>R&amp;DNa038d</i>	<i>Octobre 2008</i>	<i>d</i>	<i>Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE</i>	<i>Sylvie TRAVERSE</i>
<i>Modifciation de la sélection de la VTR du benzène (effet à seuil uniquement)</i>	<i>R&amp;DNa038d</i>	<i>Décembre 2008</i>	<i>d</i>	<i>Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE</i>	<i>Sylvie TRAVERSE</i>
<i>Actualisation</i>	<i>R&amp;DNa038e</i>	<i>octobre 2009</i>	<i>e</i>	<i>Christelle LE DEVEHAT Sylvie TRAVERSE</i>	<i>Sylvie TRAVERSE</i>
<i>Actualisation</i>	<i>R&amp;DNa038f</i>	<i>Décembre 2011</i>	<i>f</i>	<i>Christelle LE DEVEHAT</i>	<i>Sylvie TRAVERSE</i>

**Le document initial a été rédigé avec l'appui de Gérard Larbaigt**

BURGEAP  
27, rue de Vanves  
92772 BOULOGNE BILLANCOURT Cedex  
Tél : 01.46.10.25.20 / Fax : 01.46.10.25.64  
Internet : [www.burgeap.fr](http://www.burgeap.fr)

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 2

<b>1</b>	<b>APPROCHE METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>4</b>
	A) Identification des dangers .....	4
	B) Types d'effets distingués.....	4
	C) Relations dose-effet/dose-réponse.....	7
	D) Critères de choix des VTR .....	8
	E) Transposition voie à voie des VTR .....	9
	F) VTR pour la voie cutanée .....	10
	G) Autres valeurs de comparaison utilisées .....	10
	G-1) Valeurs réglementaires .....	11
	G-2) Valeurs guides .....	12
	H) Organismes consultés pour la recherche de VTR .....	14
	I) Symboles et phrases de risques .....	15
	J) Définition des COV .....	18
<b>2</b>	<b>SUBSTANCES.....</b>	<b>19</b>
	LES HYDROCARBURES (APPROCHE DU TPHCWG ET MADEP) .....	19
	HAM - HYDROCARBURES MONOAROMATIQUES.....	27
	Benzène (CAS n° 71-43-2) .....	27
	Toluène (CAS n°108-88-3) .....	31
	Xylènes (CAS n°1330-20-7) .....	35
	HAP – HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES.....	38
	Naphtalène (Cas n°91-20-3).....	43
	Facteur d'équivalent toxique des HAP (TEF).....	44
	METAUX ET METALLOÏDES .....	50
	Mercure (Hg).....	50
	ORGANO-SOLUBLES (cétones, aldéhydes, phénols, éthers de glycol, alcools, etc.)... 54	
	Phénol (CAS N°108-95-2) .....	54

# 1 Approche méthodologique

## A) Identification des dangers

En termes sanitaires, un danger désigne tout effet toxique, c'est-à-dire un dysfonctionnement cellulaire ou organique lié à l'interaction entre un organisme vivant et un agent chimique, physique ou biologique. La toxicité d'un composé dépend de la durée et de la voie d'exposition de l'organisme humain.

Tous les modes d'exposition seront traités en **effets chroniques**, correspondant à de longues durées d'exposition (supérieures à 7 ans pour l'US-EPA et supérieures à 1 an pour l'ATSDR).

## B) Types d'effets distingués

Par chaque substance, différents effets toxiques peuvent être considérés. On distinguera dans le présent document les effets cancérogènes (apparition de tumeurs), les effets mutagènes (ou tératogènes consistant à la modification de l'ADN en particulier), les effets sur la reproduction (reprotoxicité) des autres effets toxiques.

Différents organismes internationaux (l'OMS, l'Union Européenne et l'US-EPA) ont classés les effets suscités en catégories ou classes. Celles-ci sont présentées en page suivante. Seule la classification de l'Union Européenne a un caractère réglementaire. C'est également la seule qui classe les substances chimiques quant-à leur caractère mutagène et reprotoxique.

Les phrases de risques des substances sont présentées en préambule ainsi que les symboles (T, F, Xn, Xi, N) qui les représentent. Ces phrases de risques sont liées au classement établi par l'Union Européenne. Le classement établi au sein de l'Union Européenne (ECB) par confrontation des avis d'experts, de tous les pays membres, a une portée beaucoup plus générale que les fiches de sécurité, qui reprennent seulement ces classements pour définir les conditions de sécurité sur les lieux de travail.

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 4

## Classification en termes de cancérogénicité

UE	US-EPA	CIRC
<b>Carc.1</b> : Substance que l'on sait être <b>cancérogène</b> pour l'homme. (R45 ou R49)	<b>A</b> : Preuves suffisantes chez l'homme	<b>1</b> : Agent ou mélange cancérogène pour l'homme
<b>Carc.2</b> : Substance devant être <b>assimilée à des substances cancérogènes</b> pour l'homme. (R45 ou R49)	<b>B1</b> : Preuves limitées chez l'homme <b>B2</b> : Preuves non adéquates chez l'homme et preuves suffisantes chez l'animal	<b>2A</b> : Agent ou mélange probablement cancérogène pour l'homme
<b>Carc.3</b> : Substance <b>préoccupante</b> pour l'homme en raison d'effets cancérogènes possibles (R40)	<b>C</b> : Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal	<b>2B</b> : Agent ou mélange peut-être cancérogène pour l'homme
Substance non classée en matière de cancérogénicité	<b>D</b> : Preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal <b>E</b> : Indications d'absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal	<b>3</b> : Agent ou mélange inclassables quant-à sa cancérogénicité pour l'homme <b>4</b> : Agent ou mélange probablement non cancérogène chez l'homme -

## Classification en termes de mutagénicité

UE
<p align="center"><b>Muta.1</b></p> <p>Substances que l'on sait être <b>mutagènes</b> pour l'homme. L'introduction de la substance dans la catégorie 1, repose sur des études épidémiologiques qui établissent l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à de telles substances et les défauts génétiques héréditaires. (R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires)</p>
<p align="center"><b>Muta.2</b></p> <p>Substances devant être <b>assimilées à des substances mutagènes</b> pour l'homme. On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption que l'exposition de l'homme à de telles substances peut entraîner des défauts génétiques héréditaires. Cette présomption est en général fondée sur : les études appropriées sur l'animal ; d'autres informations appropriées. (R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires)</p>
<p align="center"><b>Muta. 3</b></p> <p>Substances <b>préoccupantes pour l'homme en raison d'effets mutagènes</b> possibles. Des études appropriées de mutagénicité ont fourni des éléments, mais ils sont insuffisants pour classer ces substances dans la deuxième catégorie. (R68 : possibilité d'effets irréversibles)</p>

### Classification en termes d'effets reprotoxiques

La toxicité pour la reproduction comprend l'altération des fonctions ou de la capacité de reproduction chez l'homme ou la femme et l'induction d'effets néfastes non héréditaires sur la descendance.

Les effets sur la fertilité masculine ou féminine recouvrent les effets néfastes sur :

- sur la libido,
- le comportement sexuel,
- les différents aspects de la spermatogenèse ou de l'oogénèse,
- l'activité hormonale ou la réponse physiologique qui perturberaient la fécondation
- la fécondation elle même ou le développement de l'ovule fécondé.

La toxicité pour le développement est considérée dans son sens le plus large, perturbant le développement normal aussi bien avant qu'après la naissance.

Les produits chimiques les plus préoccupants sont ceux qui sont toxiques pour la reproduction à des niveaux d'exposition qui ne donnent pas d'autres signes de toxicité.

UE
<b>Repro.1</b>
<p>substances <b>altérant la fertilité</b> ou causant des <b>effets toxiques sur le développement</b> dans l'espèce humaine.</p> <p>La classification de substance dans la première catégorie repose sur des données épidémiologiques. On dispose de suffisamment d'éléments pour établir l'existence d'une relation de cause à effet entre l'exposition de l'homme à la substance et une altération de la fertilité, ou des effets toxiques ultérieurs sur le développement.</p> <p>(<b>R60</b> : peut altérer la fertilité et <b>R61</b> : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)</p>
<b>Repro.2</b>
<p>Substances <b>devant être assimilées</b> à des substances altérant la fertilité ou causant des effets toxiques sur le développement dans l'espèce humaine.</p> <p>On dispose de suffisamment d'éléments pour justifier une forte présomption : la nette mise en évidence dans des études sur l'animal, d'une altération de la fertilité ou d'effets sur le développement soit en absence d'effets toxiques, soit à des niveaux de doses proches des doses toxiques, mais qui n'est pas un effet non spécifique secondaire aux effets toxiques. d'autres informations pertinentes.</p> <p>(<b>R60</b> : peut altérer la fertilité et <b>R61</b> : risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)</p>
<b>Repro.3</b>
<p>Substances <b>préoccupantes</b> pour la fertilité dans l'espèce humaine ou préoccupantes en raison d'effets toxiques possibles sur le développement,</p> <p>La classification de substance dans la troisième catégorie s'effectue au vue : de résultats d'études appropriées sur l'animal fournissent suffisamment d'éléments pour entraîner une forte suspicion, les preuves étant toutefois insuffisantes pour classer la substance dans la deuxième catégorie, d'autres informations pertinentes.</p> <p>(<b>R62</b> : risque possible d'altération de la fertilité et <b>R63</b> : risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant)</p>

## C) Relations dose-effet/dose-réponse

La dose est la quantité d'agent dangereux mise en contact avec un organisme vivant. Elle s'exprime généralement en milligramme par kilo de poids corporel et par jour (mg/kg/j).

La relation entre une dose et son effet est représentée par une grandeur numérique appelée Valeur Toxicologique de Référence (VTR). Etablies par diverses instances internationales ou nationales<sup>1</sup> (Cf § H) sur l'analyse des connaissances toxicologiques animales et épidémiologiques, ces VTR sont une appellation générique regroupant tous les types d'indices toxicologiques établissant une relation quantitative entre une dose et un effet (toxiques à seuil de dose) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxiques sans seuil de dose).

Selon les mécanismes toxicologiques en jeu et pour des expositions chroniques, deux grands types d'effets sanitaires peuvent être distingués : **les effets à seuil** de dose (effets non cancérogènes et effets cancérogènes à seuil<sup>2</sup>) et **les effets sans seuil** de dose (substances cancérogènes génotoxiques). Une même substance peut produire ces deux types d'effets.

Pour les **effets à seuil de dose**, on dispose en pratique et dans le meilleur des cas :

- d'un niveau d'exposition sans effet observé (NOEL : no observed effect level),
- d'un niveau d'exposition sans effet néfaste observé (NOAEL : no observed adverse effect level),
- d'un niveau d'exposition le plus faible ayant entraîné un effet (LOEL : lowest observed effect level),
- le niveau d'exposition le plus faible auquel un effet néfaste apparaît (LOAEL : lowest observed adverse effect level).

Ces seuils sont issus d'expérimentations animales, d'études épidémiologiques ou d'essais de toxicologie clinique. A partir de ces seuils, des DJT (dose journalière tolérable) ou des CA (concentration admissible) applicables à l'homme sont définies en divisant les seuils précédents par des facteurs de sécurité liés aux types d'expérimentations ayant permis d'obtenir ces données. Les DJT et CA sont habituellement qualifiées de « valeur toxicologiques de références » (VTR).

Les **effets sans seuil de dose** sont exprimés au travers d'un indice représentant un excès de risque unitaire (ERU) qui traduit la relation entre le niveau d'exposition chez l'homme et la probabilité de développer l'effet. Les ERU sont définis à partir d'études épidémiologiques ou animales. Les niveaux d'exposition appliqués à l'animal sont convertis en niveaux d'exposition équivalents pour l'homme.

**Pour les effets à seuil de dose**, les VTR sont exprimées en mg/kg/j pour l'ingestion et en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'inhalation, avec des dénominations variables selon les pays et les organismes, les principales dénominations sont reprises ci-dessous :

- DJT (dose journalière tolérable - France)
- RfD (Reference Dose – US-EPA)
- RfC (Reference Concentration – US-EPA)

<sup>1</sup> ATSDR Toxicological Profiles (US Agency for Toxic Substances and Disease Registry)  
IRIS US-EPA (Integrated Risk Information System ; US Environmental Protection Agency)  
OMS. Guidelines for drinking-water quality.

INCHEM-IPCS (International Program on Chemical Safety, OMS)

En France, l'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) peut également produire des VTR

<sup>2</sup> Cancérogènes épigénétiques ou non génotoxiques

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 7

- ADI (Acceptable Daily Intake – US-EPA)
- MRL (Minimum Reasonable Level - ATSDR)
- REL (Reference Exposure Level – OEHHA)
- TDI (Tolerable Daily Intake –RIVM)
- CAA (Concentration dans l’Air Admissible – OMS);

En France, la dénomination retenue par l’AFSSET<sup>3</sup> (devenue ANSES<sup>4</sup> depuis sa fusion avec l’AFSSA<sup>5</sup> en juillet 2010) pour l’ensemble de ses valeurs est la dénomination générique « VTR » (Valeur Toxicologique de Référence)

**Pour les effets sans seuil de dose**, les VTR seront présentées sous formes d’excès de risque unitaire (ERU). Cet ERU représente la probabilité de survenue d’un effet cancérogène pour une exposition à une unité de dose donnée. Les dénominations proposées les plus classiques sont les suivantes :

- l’excès de risque unitaire lié à la voie d’exposition orale : ERUo en (mg/kg/j)<sup>-1</sup>,
- l’excès de risque unitaire par inhalation : ERUi en (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup>.

## D) Critères de choix des VTR

La circulaire DGS/SD. 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006 relative aux modalités de sélection des substances chimiques et de choix des valeurs toxicologiques de référence pour mener les évaluations de risques sanitaires dans le cadre des études d’impact est prise en compte pour la sélection des VTR.

Par ailleurs, le 25 juillet 2007, l’AFSSET s’est vu confiée la mission de construction de VTR par ses ministères de tutelle. Le 31 décembre 2008, les premiers avis de l’AFSSET sont publiés concernant les VTR pour les effets cancérogènes de 3 substances. Au niveau national, **les VTR éditées par L’AFSSET/ANSES priment sur l’application de l’ordre cité dans la circulaire DGS.**

En l’absence de VTR établie par l’ANSES, en complément à la circulaire DGS précitée, pour chaque substance, les différentes VTR actuellement disponibles seront recherchées de façon à discuter le choix réalisé sur les critères suivants :

- les valeurs issues d’études chez l’homme par rapport à des valeurs dérivées à partir d’études sur les animaux. Par ailleurs, la qualité de l’étude pivot sera également prise en compte (protocole, taille de l’échantillon, ...),
- les modes de calcul (degré de transparence dans l’établissement de la VTR) et les facteurs de sécurité appliqués constitueront également un critère de choix.
- les valeurs représentatives issues d’organismes reconnus (européens ou autres). Lorsqu’aucun critère toxicologique ne permet de privilégier une valeur plutôt qu’une autre, la VTR sera retenue selon l’ordre de priorité des BDD défini par la circulaire DGS/SD. 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006 à savoir :
  - pour les substances à effets toxiques à seuil successivement US EPA puis ATSDR puis OMS/IPCS puis Health Canada puis RIVM et en dernier lieu OEHHA ;

<sup>3</sup> AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l’Environnement et du Travail

<sup>4</sup> ANSES : Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l’Alimentation, de l’Environnement et du Travail

<sup>5</sup> AFSSA : Agence Française de Sécurité sanitaire de l’Alimentation

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 8

- o pour les substances à effets toxiques sans seuil successivement US EPA puis OMS/IPCS puis RIVM puis OEHHA.

*NB : L'INERIS<sup>6</sup>, dans son rapport d'étude N°DRC-08-94380 du 17 mars 2009, récapitule les VTR disponibles pour les substances ayant fait l'objet d'une fiche de données toxicologiques environnementales de l'INERIS et propose des choix de VTR. Ces choix restent cependant spécifiques à des études et cas particuliers et ils ne peuvent être appliqués dans toutes les circonstances.*

## E) Transposition voie à voie des VTR

Il n'existe des VTR que pour quelques centaines de substances chimiques et parmi elles, on ne dispose pas d'indice pour toutes les voies et durées d'exposition pertinentes. Pour ne pas éluder le risque lié à certaines voies d'exposition et ainsi sous évaluer le risque total, on pourra avoir recours au procédé de dérivation voie à voie des VTR. Quand les arguments toxicologiques l'autorisent et quand il existe des données utiles à la prise en compte de la biodisponibilité relative de la substance, l'analyse du risque peut être menée en transposant d'une voie à l'autre. Ce type d'extrapolation n'a bien sûr de sens que si le risque d'un effet lié à une voie d'exposition ne peut être exclu et si l'absorption par cette voie est possible. Lorsqu'ils sont disponibles, les facteurs d'absorption sont à prendre en considération. Dans le cas contraire, on considérera une absorption à 100 % du composé pour la voie considérée.

### 1-Préambule

On rappelle qu'il existe une différence entre la dose administrée (qui ne prend pas en compte le passage à travers la barrière de l'organe cible – taux d'absorption) et la dose absorbée (qui elle prend en compte ce taux d'absorption).

Les VTR données dans les bases de données internationales et nationales correspondent à des doses ou concentrations administrées. Généralement pour l'ingestion et l'inhalation les codes intégrés calculent des doses (ou concentrations) administrées.

### 2-Dérivation de la voie orale à la voie inhalation

#### Effets toxiques non cancérigènes

A VTR orale est définie par une dose administrée VTR<sub>0</sub> en mg/kg/j, on recherche une VTR inhalation qui constitue une concentration également administrée.

La dérivation se base sur une équivalence entre les doses absorbées seuils pour les différentes voies :

#### **Dose absorbée par inhalation = dose absorbée par ingestion**

$$\text{Soit : } VTR_i(mg/m^3) \cdot \frac{V_{resp}(m^3/j)}{P(kg)} FA_i = VTR_o(mg/kg/j) \cdot FA_o$$

$$\text{Soit : } VTR_i(mg/m^3) = VTR_o(mg/kg/j) \cdot \frac{P(kg)}{V_{resp}(m^3/j)} \frac{FA_o}{FA_i}$$

#### Effets cancérigènes

L'excès de risque unitaire par inhalation (correspondant à une administration) est :

$$ERU_i(mg/m^3)^{-1} = ERU_o(mg/kg/j)^{-1} \cdot \frac{V_{resp}(m^3/j)}{P(kg)} \frac{FA_i}{FA_o}$$

<sup>6</sup> INERIS : Institut National de l'Environnement et des Risques

### 3- Volumes respiratoires et poids retenus pour la dérivation voie à voie

Les volumes respiratoires moyens sont pris égaux à 20 m<sup>3</sup>/jour pour les adultes et les enfants à partir de 7 ans en référence aux débits considérés par les organismes internationaux pour la dérivation des valeurs toxicologiques. On notera cependant que la moyenne établie pour les hommes et les femmes adultes à partir des données de CIBLEX (ADEME, 2003) sont de 25,7 m<sup>3</sup>/jour en période active et 17.5m<sup>3</sup>/jour en période de sommeil, pour les enfants de 7 à 12 ans, la moyenne est de 20.9 m<sup>3</sup>/jour et de 21.4 m<sup>3</sup>/jour pour les adolescents de 12 à 17 ans. Pour les enfants de 0 à 7 ans, le volume respiratoire considéré est de 10 m<sup>3</sup>/jour (moyenne entre les garçons et les filles en période active à partir des données de CIBLEX).

Le poids corporel moyen d'un adulte est fixé à 60 kg pour les adultes à partir de 17 ans, 15 kg pour les enfants d'âge inférieur à 7 ans et 31 kg pour les enfants jusqu'à 12 ans. Les données ayant permis de faire ce choix sont issues de la base de données de CIBLEX (ADEME, 2003).

### F) VTR pour la voie cutanée

Lors de la réalisation d'évaluations des risques sanitaires en France, l'exposition cutanée n'est pas prise en compte, en raison de l'absence de valeurs toxicologiques de référence (VTR) et de méthodologie d'élaboration. De même, dans le milieu professionnel, aucune méthode n'est développée pour quantifier les effets induits après une exposition cutanée. Ainsi, l'INERIS a récemment travaillé sur la prise en compte de la voie cutanée et a proposé une méthode de construction de VTR pour des effets sensibilisants pour une exposition de la peau (INERIS, rapport DRC-07-85452-12062A, 2007).

Par ailleurs, la circulaire DGS mentionne que « en l'absence de procédures établies pour la construction de VTR pour la voie cutanée, il ne doit être envisagé aucune transposition à cette voie de VTR disponibles pour les voies orale ou respiratoire ».

A l'heure actuelle, l'INERIS continue son travail concernant les VTR pour des effets cutanés. L'objet de son rapport DRC-09-94380-01323A d'avril 2009, est d'ajuster la méthodologie précédemment proposée en prenant notamment en compte les recommandations du document guide développé pour la mise en oeuvre du règlement REACH relatif à une méthodologie d'établissement des DNEL (Derived No Effect Level) pour les effets sensibilisants. La méthodologie a été appliquée à trois substances sensibilisantes : l'hydroquinone, substance pour laquelle deux types de tests étaient disponibles (LLNA et GPMT) qui présentait ainsi une bonne étude de cas pour la méthodologie et le benzo(a)pyrène, substance couramment retrouvée en évaluation des risques. Le 3-méthyleugénol, faiblement sensibilisant, a également été étudié dans l'objectif d'avoir un aperçu sur l'étendue possible des valeurs des DNEL. Ces valeurs ne sont pas reprises dans le présent document.

### G) Autres valeurs de comparaison utilisées

L'utilisation d'autres valeurs que les Valeurs Toxicologiques de Référence peut être réalisée parallèlement à la quantification des risques sanitaires. Ces autres valeurs permettent en effet de discuter de l'exposition des individus et d'estimer l'état des milieux, à savoir si un impact est mesuré (ou mesurable) ou non.

Ces valeurs de comparaison regroupent des valeurs réglementaires (France et Europe), des valeurs guide (OMS, INDEX, CHSPF) qui sont généralement des valeurs qui servent de point de départ à

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 10

l'élaboration de valeurs réglementaires et, dans le contexte particulier du code du travail, des valeurs limites pour l'exposition professionnelle (VLEP) qu'elles soient réglementaires ou indicatives. Les VLEP peuvent en effet avec les seuils olfactifs être des éléments de l'interprétation de l'état du milieu air en l'absence de toute autre valeur guide.

Ces valeurs ne sont en aucun cas (conformément à la circulaire DGS de mai 2006) utilisées pour évaluer les Quotient de Danger (QD) et excès de risques individuels (ERI) faisant référence à une évaluation des risques sanitaires. Ces valeurs appelées valeurs de comparaison constituent des critères de gestion.

## G-1) Valeurs réglementaires

### Milieu EAU

Pour le milieu eau, les valeurs réglementaires pour les eaux potables issues de la réglementation française (décret 2007-49 et arrêté du 11 janvier 2007) mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique sont utilisées.

Les valeurs réglementaires existantes constituent les critères de gestion des eaux à vocation alimentaire (donc la valeur limite de concentrations des eaux au robinet des habitations), à ce titre, il n'est pas approprié d'établir un autre critère de gestion pour les eaux de nappe qui ont vocation à être utilisées à des fins alimentaires directement (ingestion de l'eau d'un puits sans traitement) ou indirectement (ingestion de l'eau après traitement, ingestion de produits alimentaires arrosés avec l'eau de nappe, etc.). Sont également présentées les limites de qualité des eaux brutes utilisées pour la production d'eau destinées à la consommation humaine issues de ce même décret.

Au niveau Européen, la directive de la communauté européenne : Directive de la CE (03/11/98) donnent également la majorité des valeurs françaises.

Pour la baignade les valeurs réglementaires définies dans le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) sont retenues.

### Milieu AIR

En France le décret 2002-213 de février 2002 donne la transposition en droit français des directives 1999/30/CE du conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du parlement européen et du conseil du 16 novembre 2000.

Le Décret n°2010-1250 du 21 octobre 2010 transpose la directive européenne 2008/50/CE concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe et précise notamment les nouvelles normes à appliquer.

Ces valeurs réglementaires françaises sont établies pour l'air atmosphérique extérieur, pour des durées d'exposition (3h, 24h ou vie entière) et sur la base de moyennes horaires, journalières ou annuelles. On distingue 5 niveaux de **valeurs réglementaires** :

- Objectif de qualité : niveau de concentration à atteindre à long terme et à maintenir, sauf lorsque cela n'est pas réalisable par des mesures proportionnées, afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement dans son ensemble.
- Valeur cible : niveau de concentration à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné, et fixé afin d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.
- Valeur limite pour la protection de la santé : niveau de concentration à atteindre dans un délai donné et à ne pas dépasser, et fixé sur la base des connaissances scientifiques afin d'éviter,

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 11

de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine ou l'environnement dans son ensemble.

- Seuil d'information et de recommandation : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de groupes particulièrement sensibles au sein de la population et qui rend nécessaires l'émission d'informations immédiates et adéquates à destination de ces groupes et des recommandations pour réduire certaines émissions.
- Seuil d'alerte de la population : niveau de concentration au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé de l'ensemble de la population ou de dégradation de l'environnement, justifiant l'intervention de mesures d'urgence.

Des valeurs réglementaires françaises existent pour le monoxyde de carbone, le benzène, le benzo(a)pyrène, les PM10 et PM2.5, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote, arsenic, cadmium, nickel et plomb.

Enfin, pour l'air intérieur des ERP (Etablissement recevant du public) des valeurs guides réglementées en France ont été mises en place, elles sont reprises dans le présent document. La loi du 1er août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » dans les ERP. Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur y pourvoit pour le formaldéhyde, gaz incolore principalement utilisé pour la fabrication de colles, liants ou résines, et pour le benzène, substance cancérigène aux effets hématologiques issue de phénomènes de combustion (gaz d'échappement, cheminée, cigarette, etc.). La valeur-guide pour le formaldéhyde est fixée pour une exposition de longue durée à 30 µg/m<sup>3</sup> au 1er janvier 2015 et à 10 µg/m<sup>3</sup> au 1er janvier 2023. La valeur-guide pour le benzène est fixée pour une exposition de longue durée à 5 µg/m<sup>3</sup> au 1<sup>er</sup> janvier 2013 et à 2 µg/m<sup>3</sup> au 1<sup>er</sup> janvier 2016.

#### Autres milieux

D'autres milieux sont concernés par des valeurs réglementaires en France (dans le domaine alimentaire par exemple). Celles-ci ne sont pas détaillées ici mais constituent au même titre que les concentrations dans l'eau et l'air des valeurs de gestion.

## G-2) Valeurs guides

Les valeurs guides peuvent porter sur le milieu eau, air, sol et matrices alimentaires (animales, végétales). Ces valeurs, bien que reposant sur des critères sanitaires sont considérées comme des valeurs de gestion, et ne constituent pas, stricto sensus, des valeurs toxicologiques de référence.

### **OMS –Eaux potables**

L'OMS édite un ouvrage intitulé « Guidelines for drinking water quality » qui reprend les valeurs guides pour les eaux potables de nombreuses substances. Cet ouvrage régulièrement mis à jour est actuellement à sa 4<sup>ème</sup> édition, elle date de 2011.

### **OMS –Air et air intérieur**

Le bureau Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé a publié en 2000 un document intitulé « Air Quality Guidelines in Europe » [WHO 2000]<sup>7</sup> dans lequel figurent des valeurs guides pour la qualité de l'air.

L'objet de ce guide est de fournir une base pour la protection de la santé publique contre les effets néfastes des polluants atmosphériques, dans la perspective d'une cessation ou d'une réduction de

<sup>7</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Second edition WHO Regional Publications, European Series, No. 91.2000, 273 pages.

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 12

l'exposition aux polluants qui nuisent certainement ou probablement à la santé ou au bien-être. Ce guide présente des informations générales et des conseils aux autorités internationales, nationales et locales qui souhaitent évaluer les risques et prendre des décisions concernant leur gestion. Ce guide établit des niveaux de polluants au-dessous desquels l'exposition (à vie ou pendant une période donnée) ne représente pas de risque important pour la santé publique.

En ce qui concerne les polluants abordés, les sections relatives à l'évaluation des risques pour la santé et aux valeurs-guides exposent les considérations les plus pertinentes qui ont conduit à l'adoption des valeurs-guides recommandées.

Certains polluants ont été revus par l'OMS en 2005 (WHO air quality guidelines, global update, 2005)<sup>8</sup>. Cette révision s'appuie sur l'ensemble des connaissances acquises ces dernières années (études épidémiologiques notamment).

Enfin, en 2010, l'OMS a publié un document intitulé « WHO guidelines for indoor air quality » [WHO 2010] dans lequel figurent des valeurs guides spécifiques pour la qualité de l'air intérieur.

### INDEX –Air intérieur

Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposures limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur propose des valeurs guide pour l'air intérieur.

Les substances listées dans ce document sont le benzène, le toluène, les xylènes, le styrène, le naphtalène, l'acétaldéhyde, le formaldéhyde, le dioxyde de carbone, le dioxyde d'azote, l'ammoniac, le limonène, l'alpha pinène.

Les informations sur les expositions, la toxicité et la caractérisation du risque ont conduit les membres du projet à donner des recommandations quant aux expositions dans l'air intérieur à ne pas dépasser pour différentes durées.

### ANSES – Air intérieur

L'ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail) a pour mission de contribuer à assurer la sécurité sanitaire humaine dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation, notamment en mobilisant une expertise scientifique et technique pluridisciplinaire nécessaire à l'évaluation des risques.

Pour faire face à l'enjeu que représente la qualité de l'air intérieur et apporter aux pouvoirs publics des informations utiles à la gestion de ce risque, l'ANSES s'est auto-saisie en octobre 2004, de l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air intérieur (VGAI) en France. Elles sont exclusivement construites sur des critères sanitaires. Elles sont exprimées sous forme de concentration dans l'air, associée à un temps d'exposition (VGAI court terme, VGAI long terme, VGAI intermédiaire), en dessous de laquelle aucun effet sanitaire, aucune nuisance, ou aucun effet indirect important sur la santé n'est en principe attendu pour la population générale.

Dans le cadre de substances dont les effets se manifestent sans seuil de dose, les VG sont exprimées sous la forme de niveaux de risque correspondant à une probabilité de survenue de la maladie.

En décembre 2011, date de la mise à jour de ce document, l'ANSES a publié des VGAI pour 6 substances identifiées comme prioritaires : formaldéhyde, monoxyde de carbone, benzène, naphtalène, tétrachloroéthylène, trichloroéthylène.

<sup>8</sup> WHO. Air Quality Guidelines. Global update 2005. Report on a working group meeting. Bonn, Germany. 18-20 october 2005.

Voir : <http://www.afsset.fr/index.php?pageid=829&parentid=424>

### CSHPF et HCSP

Le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) est une instance d'expertise scientifique et technique, placée auprès du ministre chargé de la santé. Cette instance a un rôle d'évaluation et de gestion des risques pour la santé de l'homme. Le CSHPF peut être consulté lorsque se posent des problèmes sanitaires. Les avis et les recommandations émis par le CSHPF constituent une base essentielle à la prise de décision en santé publique et peuvent également servir d'appui à l'élaboration de textes réglementaires.

Les avis et rapports du CSHPF sont consultables sur le site suivant : <http://www.sante.gouv.fr/avis-et-rapports-du-cshpf.html>

Le Haut Conseil de la santé publique a été officiellement installé le 14 mars 2007. Ses 105 membres ont élu leur président et leur vice-président. Le HCSP est une instance d'expertise créée par la Loi relative à la politique de santé publique du 9 août 2004. Il reprend, en les élargissant, les missions du Conseil supérieur d'hygiène publique de France (CSHPF) et celles du Haut Comité de la santé publique.

Les avis et rapports du HCSP sont consultables sur le site suivant :

<http://www.hcsp.fr/explore.cgi/accueil?ae=accueil>

## H) Organismes consultés pour la recherche de VTR

Les bases de données consultées pour la recherche des VTR sont les suivantes (présentée dans l'ordre de priorité préconisé par la circulaire DGS/SD. 7B n° 2006-234 du 30 mai 2006) :

- **US EPA** (United States Environmental Protection Agency – Etat Unis) dont dépend la base de données **IRIS** – Integrated Risk Information System).
- **ATSDR** (Agency for Toxic Substances and Disease Registry – Etats-Unis).
- **OMS** (Organisation Mondiale de la Santé – Bureau régional de l'Europe)/**IPCS** (International Program on Chemical Safety).

Ces organismes établissent leurs propres VTR à partir d'études expérimentales ou épidémiologiques. Les valeurs issues de ces bases de Données sont des données à caractère national mais elles sont internationalement reconnues. C'est la raison pour laquelle elles seront très souvent préférentiellement choisies.

Viennent ensuite les organismes pour lesquels la transparence dans l'établissement des valeurs n'est pas toujours adaptée à la sélection de leur VTR :

- **Health Canada = Santé Canada** (Ministère Fédéral de la Santé – Canada),
- **RIVM** (RijksInstituut voor Volksgezondheid en Milieu – Institut National de Santé Publique et de l'Environnement – Pays Bas),
- **OEHHA** (Office of Environmental Health Hazard Assessment of Californie – Etat Unis) qui établit également ces propres VTR. L'OEHHA se base souvent sur les mêmes études que l'US EPA mais les VTR sont souvent plus conservatoires.

Ces trois organismes établissent également leurs propres valeurs. Malgré le caractère national de ces valeurs, elles seront prises en compte selon les critères de choix préalablement cités.

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 14

En France, l'AFSSET<sup>9</sup> devenue **ANSES** depuis sa fusion avec l'AFSSA<sup>10</sup> en juillet 2010. Dans le cadre du PNSE<sup>11</sup>, l'ANSES s'est auto-saisie en 2003 pour proposer une méthode de construction de valeurs toxicologiques de référence fondées sur des effets reprotoxiques. Dans le cadre du Plan Cancer 2004, ces travaux ont été élargis à la construction de VTR fondées sur des effets cancérigènes. Le 25 juillet 2007, l'ANSES s'est vu confiée la mission de construction de VTR par ses ministères de tutelle.

Des recueils de données sont consultés par ailleurs car ils regroupent les VTR des différents organismes cités ci-avant. Ce sont :

- **TERA** (toxicology excellence for risk assessment), base de données de **ITER** (International Toxicity Estimates for Risk Database), établit une synthèse des données toxicologiques issues des autres bases de données.
- **INERIS** (Institut National de l'Environnement Industriel et des risques - France), établit des fiches de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques qui synthétisent notamment l'ensemble des données toxicologiques issues des autres bases de données - à l'heure actuelle ce programme contient une cinquantaine de fiches.
- **IPCS INCHEM** (International Programme on Chemical Safety) : Portail d'accès à de nombreux sites dont le **CIRC** (Centre International de Recherche sur le Cancer), le **JEFCA** (Joint Expert Committee on Food Additives) et autres instances internationales.

Le recueil de donnée **RAIS** (Risk Assessment Information System – Etat Unis) reprenant les valeurs des autres organismes américains, en particulier du **NTP** (National Toxicology Program) et de **IRIS** de l'US EPA, n'est pas considéré compte tenu de l'absence de toute transparence dans les valeurs affichées.

## I) Symboles et phrases de risques

Le SGH ou Système général harmonisé de classification et d'étiquetage des produits chimiques est un ensemble de recommandations élaborées au niveau international. Il vise à harmoniser les règles de classification des produits chimiques et de communication des dangers (étiquettes, fiches de données de sécurité). En Europe, dans les secteurs du travail et de la consommation, le SGH est mis en application via le règlement CLP. Le nouveau règlement européen CLP (*Classification, Labelling and Packaging*) 1272/2008 du 16 décembre 2008 relatif à la classification à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges et modifiant les directives 67/548/CEE, 1999/45/CE et le règlement 1907/2006 a été publié le 31 décembre 2008 au Journal officiel de l'Union européenne.

Le règlement CLP est entré en vigueur le **20 janvier 2009**. Il prévoit néanmoins une période de transition durant laquelle l'ancien et le nouveau système de classification et d'étiquetage coexisteront. Sauf dispositions particulières prévues par le texte, la mise en application du nouveau règlement devient obligatoire à partir du **1er décembre 2010** pour les **substances** et du **1er juin 2015** pour les **mélanges**. Il est à souligner que, pour éviter toute confusion, les produits ne peuvent porter de double étiquetage. Au 1er juin 2015, le système préexistant sera définitivement abrogé et la nouvelle réglementation sera la seule en vigueur.

Les principales nouveautés pour l'étiquette de sécurité sont l'apparition de nouveaux pictogrammes de danger, de forme losange et composés d'un symbole noir sur un fond blanc bordé de rouge, et l'ajout

<sup>9</sup> AFSSET : Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail

<sup>10</sup> AFSSA : Agence Française de Sécurité sanitaire de l'Alimentation

<sup>11</sup> PNSE : Plan National Santé environnement

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 15

de mention d'avertissement indiquant la gravité du danger ("DANGER", pour les produits les plus dangereux, et "ATTENTION"). Les étiquettes comporteront également des mentions de danger (ex: "Mortel par inhalation") en remplacement des phrases de risque (phrases R) et des nouveaux conseils de prudence (ex: "Éviter tout contact avec les yeux, la peau ou les vêtements").

Le CLP reprend les 27 classes de danger définies par le SGH. Il définit également une « classe de danger supplémentaire pour l'Union européenne », à savoir la classe de danger « dangereux pour la couche d'ozone ».

- 16 classes de danger physique :
  - explosibles
  - gaz inflammables
  - aérosols inflammables
  - gaz comburants
  - gaz sous pression
  - liquides inflammables
  - matières solides inflammables
  - substances et mélanges autoréactifs
  - liquides pyrophoriques
  - matières solides pyrophoriques
  - substances et mélanges auto-échauffants
  - substances et mélanges qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables
  - liquides comburants
  - matières solides comburantes
  - peroxydes organiques
  - substances ou mélanges corrosifs pour les métaux
- 10 classes de danger pour la santé
  - toxicité aiguë
  - corrosion cutanée/irritation cutanée
  - lésions oculaires graves/irritation oculaire
  - sensibilisation respiratoire ou cutanée
  - mutagénicité sur les cellules germinales
  - cancérogénicité
  - toxicité pour la reproduction
  - toxicité spécifique pour certains organes cibles-exposition unique
  - toxicité spécifique pour certains organes cibles-exposition répétée
  - danger par aspiration
- 2 classes de danger pour l'environnement
  - dangers pour le milieu aquatique
  - dangereux pour la couche d'ozone

Par ailleurs, au niveau national, nous conservons et présentons dans la présente base de donnée les anciens symboles et phrases de risques, extraits de l'Arrêté du 20 avril 1994 (transposition de la directive « substances ») relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances, modifié par l'arrêté du 7 janvier 1997.

#### Symboles de risques

- T : toxique
- T+ : très toxique
- Xn : nocif

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 16

- Xi : irritant
- F : facilement inflammable,
- F+ : extrêmement inflammable,
- N : dangereux pour l'environnement,
- C : corrosif, provoque des brûlures.

Phrases de risques

- R 1 Explosif à l'état sec.
- R 2 Risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition.
- R 3 Grand risque d'explosion par le choc, la friction, le feu ou d'autres sources d'ignition.
- R 4 Forme des composés métalliques explosifs très sensibles.
- R 5 Danger d'explosion sous l'action de la chaleur.
- R 6 Danger d'explosion en contact ou sans contact avec l'air.
- R 7 Peut provoquer un incendie.
- R 8 Favorise l'inflammation des matières combustibles.
- R 9 Peut exploser en mélange avec des matières combustibles.
- R 10 Inflammable.
- R 11 Facilement inflammable.
- R 12 Extrêmement inflammable.
- R 14 Réagit violemment au contact de l'eau.
- R 15 Au contact de l'eau, dégage des gaz extrêmement inflammables.
- R 16 Peut exploser en mélange avec des substances comburantes.
- R 17 Spontanément inflammable à l'air.
- R 18 Lors de l'utilisation, formation possible de mélange vapeur-air inflammable/explosif.
- R 19 Peut former des peroxydes explosifs.
- R 20 Nocif par inhalation.
- R 21 Nocif par contact avec la peau.
- R 22 Nocif en cas d'ingestion.
- R 23 Toxique par inhalation.
- R 24 Toxique par contact avec la peau.
- R 25 Toxique en cas d'ingestion.
- R 26 Très toxique par inhalation.
- R 27 Très toxique par contact avec la peau.
- R 28 Très toxique en cas d'ingestion.
- R 29 Au contact de l'eau, dégage des gaz toxiques.
- R 30 Peut devenir facilement inflammable pendant l'utilisation.
- R 31 Au contact d'un acide, dégage un gaz toxique.
- R 32 Au contact d'un acide, dégage un gaz très toxique.
- R 33 Danger d'effets cumulatifs.
- R 34 Provoque des brûlures.
- R 35 Provoque de graves brûlures.
- R 36 Irritant pour les yeux.
- R 37 Irritant pour les voies respiratoires.
- R 38 Irritant pour la peau.
- R 39 Danger d'effets irréversibles très graves.
- R 40 Effet cancérigène suspecté. Preuves insuffisantes (cancérogènes de catégorie 3).
- R 41 Risque de lésions oculaires graves.
- R 42 Peut entraîner une sensibilisation par inhalation.
- R 43 Peut entraîner une sensibilisation par contact avec la peau.
- R 44 Risque d'explosion si chauffé en ambiance confinée.
- R 45 Peut causer le cancer.
- R 46 Peut causer des altérations génétiques héréditaires.
- R 48 Risque d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée.
- R 49 Peut causer le cancer par inhalation.
- R 50 Très toxique pour les organismes aquatiques.
- R 51 Toxique pour les organismes aquatiques.
- R 52 Nocif pour les organismes aquatiques.
- R 53 Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique.

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 17

- R 54 Toxique pour la flore.
- R 55 Toxique pour la faune.
- R 56 Toxique pour les organismes du sol.
- R 57 Toxique pour les abeilles.
- R 58 Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement.
- R 59 Dangereux pour la couche d'ozone.
- R 60 Peut altérer la fertilité.
- R 61 Risque pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant.
- R 62 Risque possible d'altération de la fertilité.
- R 63 Risque possible pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant.
- R 64 Risque possible pour les bébés nourris au lait maternel.
- R 65 Nocif: peut provoquer une atteinte des poumons en cas d'ingestion.
- R 66 : l'exposition répétée peut provoquer dessèchement ou gerçures de la peau.
- R 67 : l'inhalation de vapeurs peut provoquer somnolences et vertiges
- R 68 : Possibilité d'effets irréversibles (mutagènes de catégorie 3).

## J) Définition des COV

Les COV constituent un ensemble complexe. Sont regroupés sous cette appellation plusieurs centaines de composés ayant des sources d'émission, des caractéristiques, des effets et un degré de connaissance pouvant être très différents. Les COV sont des composés organiques (molécules qui peuvent contenir des atomes H et C mais aussi d'autres éléments tels que O, N, Cl, F, P, S, ...et des métaux et/ou des métalloïdes).

La définition des « COV » a évolué et reste différente entre les versions de la réglementation française et américaine par exemple. En France, la définition des « COV » est donnée par l'arrêté ministériel du 2 février 1998 définit les Composés Organiques Volatils (COV) ainsi :

« Tous les composés contenant du carbone et de l'hydrogène, dans lesquels l'hydrogène peut être partiellement ou totalement remplacé par des halogènes, du soufre ou de l'azote, à l'exception des oxydes de carbones et des carbonates. Les COV ont une pression de vapeur supérieure ou égale à 0,01 kPa à 293.15°K (20°C). ».

R&DNa038 diffusable	
Méthodologie	
31 Décembre 2011	Page : 18

## 2 Substances

### LES HYDROCARBURES (APPROCHE DU TPHCWG ET MADEP)

#### A) Propriétés intrinsèques

Le terme « hydrocarbures » constitue un nom générique pour rendre compte de nombreux mélanges de substances présentant des chaînes carbone-hydrogène. Les mélanges tels que les essences, fioul, huiles, etc. sont composés de plusieurs hydrocarbures en proportions différentes ; les propriétés physico-chimiques et toxicologiques de ces mélanges dépendent ainsi des proportions dans le mélange considéré.

Les hydrocarbures sont des liquides visqueux souvent odorants qui peuvent migrer dans les différents compartiments du système écologique. Le seuil olfactif dépend également de la composition des hydrocarbures, pour les solvants (de type white spirit à partir de C8), il est de l'ordre du ppm (INRS, fiche toxicologique FT94), soit entre 4 et 8 mg/m<sup>3</sup>. Pour l'hexane, l'heptane, etc (hydrocarbures aliphatiques inférieurs à C8), le seuil olfactif est plus élevé : de l'ordre de 150 ppm (INRS) soit l'ordre de 600 mg/m<sup>3</sup>.

Dans le cas d'une pollution complexe par des hydrocarbures les risques sanitaires non cancérogènes potentiellement induits peuvent être traités de deux manières :

- soit par substance (par exemple le méthane, les BTEX, etc.) mais les composés présents dans la famille de produits que constitue les hydrocarbures (avec des nombre de carbones allant de 6 à plus de 40) ne peuvent tous être analysés, les identifications de danger ne sont pas toutes étudiées ;
- soit en appliquant la méthode du TPHCWG<sup>12</sup> qui considère que les produits de nature chimique proche (aliphatiques ou aromatiques) ayant les mêmes températures d'ébullition se comporteront de manière similaire. Cette méthode permet de traiter conjointement des ensembles de composés et non chaque produit pris séparément.

Les familles de produits sont définies (6 familles pour les aliphatiques et 7 pour les aromatiques – dont le benzène et le toluène pris séparément). Pour chacune d'elle le TPHCWG a établi des caractéristiques physico-chimiques (une solubilité, une constante de Henry, etc.) et des valeurs toxicologiques pour les voies orale et inhalation.

#### Caractéristiques des classes d'hydrocarbures du TPHCWG

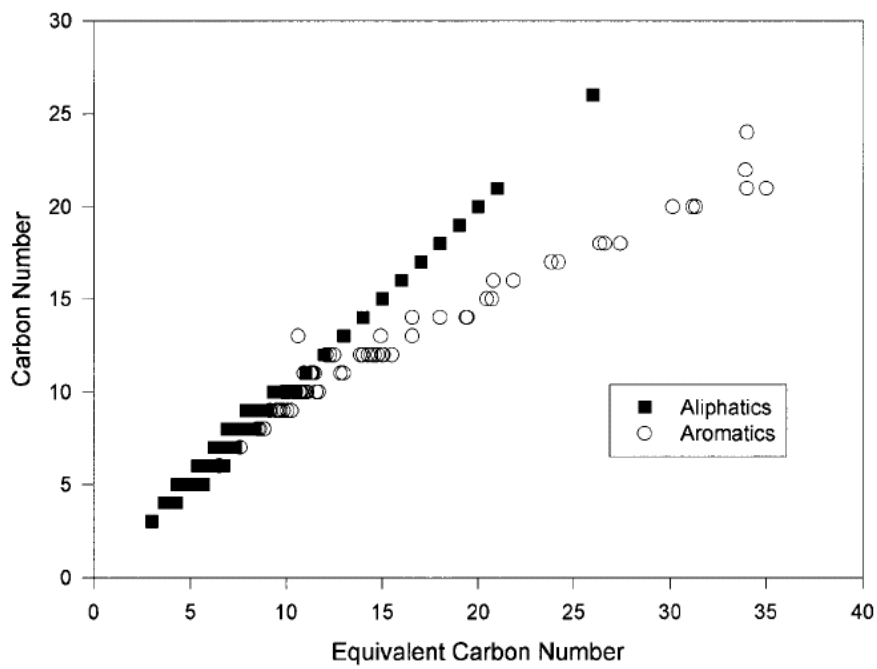
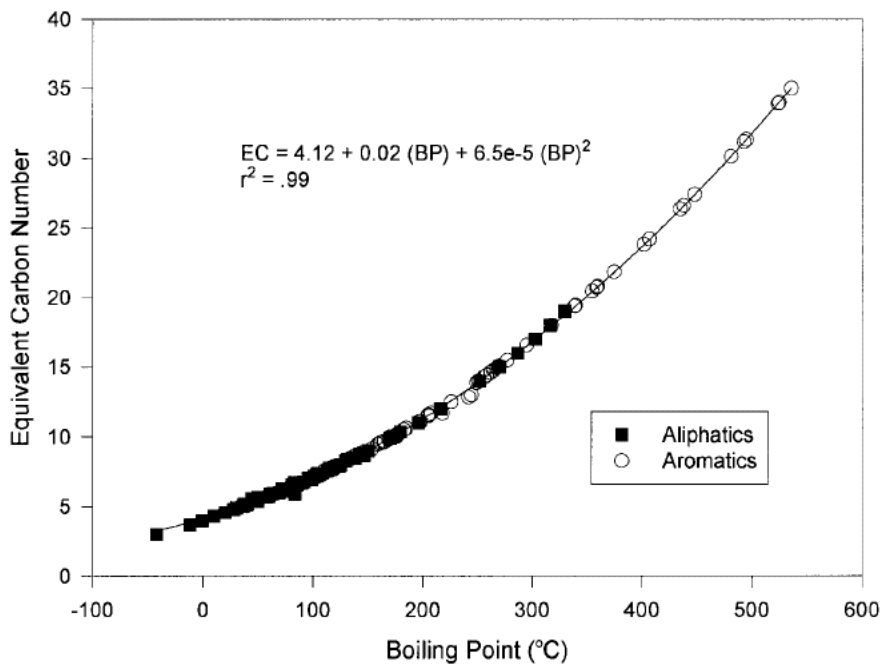
Les classes d'hydrocarbures sont définies à partir du nombre de carbones équivalents « nC » des substances considérées. Le tableau ci-dessous présente une synthèse non exhaustive des substances prises en compte dans chaque fraction (volume 3 du TPHWG).

Les deux figures ci-après donnent la méthode de calcul du nombre de carbone équivalent (en référence à la température d'ébullition de la substance) et la corrélation entre nombre de carbones (C) et nombre de carbone équivalent (EC). Par la suite BURGEAP utilise l'abréviation « nC » à la place de « EC ».

Le tableau donné à la suite reprend pour les différentes classes définies par le TPHCWG les principales substances contenues dans ces classes.

<sup>12</sup> Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working Group

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 19



Classes définies par le TPHCWG en nombre de carbone equivalent	Substances associées aux classes définies (C= nombre de carbone; nC= nombre de carbone équivalent)
Aliphatic nC>5-nC6	n-pentane (C= 5; nC=5), n-hexane (C=6 ; nC=6), penten , methyl-butane
Aliphatic nC>6-nC8	N-heptane, n-octane, hexen, heptene, methyl-butane, methyl-pentane, methyl-hexane, methyl-heptane,
Aliphatic nC>8-nC10	N_nonane, n-decane, octene, nonene, decene, methyl-hexane, methyl-heptane,ethyl-heptane, ethyl-heptane, merthyl-octane, methyl-nonane
Aliphatic nC>10-nC12	n-undenane, n-docecane,
Aliphatic nC>12-nC16	n-tridecane, jqa n-hexadecane
Aliphatic nC>16-nC35	Heptan, nona, octa-decane, eicosane, hen et hex- eicosane,
Aliphatic >nC35	Non définis
Aromatic nC>5-nC7 benzène	Benzène (C= 6; nC=6.5)
Aromatic nC>7-nC8 toluène	Toluène (C= 7; nC=7.58)
Aromatic nC>8-nC10	Ethylbenzène (C= 8; nC=8.5), xylènes (C= 8; nC=8.6 à 8.8), isopropyl-benzène (C= 9; nC=9.13), qq méthyl- ,1.2.3, 1.2.4 et 1.3.5 triméthyl-benzène (C=9 ; nC=9.5 à 9.8), qq butyl-benzènes (C=10 ; nC=9.8 à 9.9)
Aromatic nC>10-nC12	Naphtalène (C= 10; nC=11.7), methyl-lindan (C= 11; nC=11.3), Indan (C=9 ; nC=10.3) 1.2.3Triméthyl-benzène (C=9 ; nC=10.1), Methyl-propyl-benzène (C=10 ; nC=10.1), Diethyl-benzène (C= 10; nC=10.4), Dimethyl-ethyl-benzène (C= 10; nC=10.5 à 10.9), methyl-butyl-benzène (C= 11; nC=10.9), tetraméthyl-benzène (C= 10; nC=11.1à 11.6), n-pentyl-benzène (C=11 ; nC=11.5)
Aromatic nC>12-nC16	Methyl-naphtalène (C= 11; nC=12.9), Ethyl-naphtalène (C=12 ; nC=14 à 14.4), Dimethylnaphtalène (C=12 ; nC=13 à15) Acenaphtylène (C=12 ; nC=15.1), Acénaphtène (C=12 ; nC=15.5) Triethyl-benzène (C= 12; nC=12.1 à 12.3), n-hexyl-benzène (C= 12; nC=12.5), Biphenyl (C= 12; nC=14.3), Methyl-biphenyl (C=13 ; nC=14.9),
Aromatic nC>16-nC21	Fluorene(C= 13; nC=16.55), Phenantrene(C=14 ; nC=19.4), Anthracene(C= 14; nC=19.4), methyl-fluorene(C= 14; nC=18), Methyl-anthracene(C= 15; nC=20.5), methyl-phenantrene (C= 15; nC=20.7), Pyrene(C=16 ; nC=20.8),
Aromatic nC>21-nC35	Fluoranthene (C= 16 ; nC=21.9), BenzoFluorene (C= 17; nC=24), Benzo(a)Anthracene (C=18 ; nC=26.4), Chrysene (C= 18; nC=27.4), Benzo(b)Fluornathène (C= 20; nC=30.1), Benzo(k)Fluoranthène (C= 20; nC=30.1), Perylene (C= 20; nC=31.3), BaP (C= 20; nC=31.3), Indeno(1,2,3,cd)pyrene (C=21; nC=35), B(ghi)P (C= 21; nC=34), Dibenz-anthracene (C= 22; nC=34),

Les caractéristiques physicochimiques définies par le TPHCWG sont propres à chacune des classes prédéfinies.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 21

### Voies d'exposition et absorption

Les voies d'exposition principales varient en fonction de la classe d'hydrocarbures considérée. En effet, pour les plus volatils, la voie principale est l'inhalation, tandis que pour les familles d'hydrocarbures à nombre de carbone supérieur à 16, la voie principale d'exposition est l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption ne sont pas connus par classes d'hydrocarbures, nous considérerons que le taux d'absorption par voie orale est de 100% et de 10% par voie cutanée (en référence à la base de donnée de RISC 4.0). On notera cependant que le MADEP fournit des taux pour le contact cutané en fonction des classes qui varient de 10% à 100%.

## **B) valeurs guides**

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) ne présente pas de limite de qualité des eaux pour la consommation humaine pour les hydrocarbures au sens large.

La concentration limite dans les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable issue de ce même texte réglementaire est de 1000 µg/l pour la somme des hydrocarbures.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) propose une valeur guide de 300 µg/l pour les huiles minérales précisant que les eaux ne devront pas présenter de film en surface et d'odeurs.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) ne propose pas de valeur guide pour les eaux potables des hydrocarbures considérant que les hydrocarbures aromatiques les plus solubles seront détectables par le goût et l'odeur (à partir de quelques µg/l pour les alkylbenzène et alkylnaphtalènes) avant de présenter un risque aigu pour les populations. Cependant, l'OMS précise également que si une évaluation des risques est nécessaire, la prise en compte des relations doses-réponse des différentes classes du TPHCWG est approprié en considérant que l'eau de boisson intervient pour 10 % de la dose journalière acceptable (TDI).

Dans le précédent décret français (décret 89-3), la concentration admissible dans les eaux de boisson en France était de 10 µg/l.

Dans les sols et l'air, on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

## **C) Profil toxicologique**

### Classement

Les symboles classant les hydrocarbures de type white spirit, essences spéciales, solvants aromatiques légers, pétroles lampants (kérosène) dans les fiches INRS respectives FT94, FT96, FT106 et FT140 sont **Xn** (nocif) et **F** pour les essences (facilement inflammable).

Les phrases de risque<sup>13</sup> qui les représentent sont tout type d'hydrocarbures confondu : **R10/11** (inflammable), **R65** (nocif), **S23**, **S24**, **S62**

<sup>13</sup> La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 22

Effets Mutagènes ; Effets sur la reproduction ; Effets cancérigènes

Pour les white spirit (FT 94), plusieurs études chez l'homme mettent en évidence des cas de cancer (tout cancers confondus) et des effets sur la reproduction, cependant, dans aucune de ces études il n'est possible de faire la relation directe entre l'exposition aux white spirit seuls et les effets observés.

Pour les essences spéciales, la génotoxicité et les effets sur la reproduction ont été peu testés, les résultats disponibles ne montrent pas ce type d'effet (FT 96).

Concernant les solvants aromatiques, des effets sur la reproduction (en particulier une fœtotoxicité, et des effets sur le développement) ont été notés sur les animaux. Chez les femmes exposées dans l'industrie du caoutchouc, des troubles du cycle et une augmentation des nombres de fausses couches ont été notés. Par ailleurs, l'INRS précise que l'exposition de travailleurs à des solvants aromatiques chez les sujets exposés plus de 20 ans a montré une augmentation significative de cancer du poumon et de la prostate, mais la relation entre les substances incriminées et les cas de cancer n'a pu être réalisée.

Sur les animaux (rats et souris), des cancers de la peau ont été mis en évidence lors d'exposition à des hydrocarbures de type kérosène.

Autres effets toxiques

Différents types d'effets sur l'homme plus ou moins réversibles sont notés pour les différents hydrocarbures. Il s'agit d'irritation oculaire, cutanée, respiratoire mais aussi des symptômes de type céphalées, nausées, perte d'appétit, etc. et des effets neurologiques.

**D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence**

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (TPHCWG, MADEP).

On notera que le TPHCWG est constitué de représentant de divers horizons (militaires, industries du gaz et du pétrole, des agences de régulations et des agences des différents états des USA. L'approche est proposée pour l'ensemble des états des USA. Le MADEP (département de protection de l'environnement du Massachusetts) présente quant à lui des valeurs guides pour son état.

Valeurs toxicologiques du TPHCWG

TPHCWG's risk assessment methodology a établi des valeurs toxicologiques de équivalentes (RfD et RfC) pour le familles de produits précédemment cités. Celles-ci sont présentées dans le tableau ci-dessous qui reprend par ailleurs les liens entre les valeurs toxicologiques équivalentes et celles propres aux différentes substances choisies pour représenter la classe entière.

TPHCWG	RfD équivalente (1997)	Substance de la classe ayant cette VTR	RfC équivalente (1997)	Substance de la classe ayant cette VTR	Effets
Aliphatic nC>5-nC6	5 mg/kg/j (SF = 1000)	Hexane commercial (dérivé de RfC)	18.4 mg/m <sup>3</sup> (SF : 100)	Hexane commercial	neurotoxique
Aliphatic nC>6-nC8					
Aliphatic nC>8-nC10	0.1 mg/kg/j (SF = 1000)	C10-C13	1 mg/m <sup>3</sup> (SF = 1000)	White spirit desaromatisé C7-C11, isoparaffines C10-C11 et Fuel JP-8	Hepatotoxique et neurotoxique
Aliphatic nC>10-nC12					
Aliphatic nC>12-nC16					

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 23

TPHCWG	RfD équivalente (1997)	Substance de la classe ayant cette VTR	RfC équivalente (1997)	Substance de la classe ayant cette VTR	Effets
Aliphatic nC>16-nC35	2 mg/kg/j (SF = 100)	huiles	Non volatil	Non volatil	Tumeurs hépatiques
Aliphatic >nC35	20 mg/kg/j (SF = 100)	huiles	Non volatil	Non volatil	Tumeurs hépatiques
Aromatic nC>5-nC7	<i>Classe correspondant au benzène a prendre en tant que tel</i>				
Aromatic nC>7-nC8	0.2 mg/kg/j (SF = 1000)	styrène	0.4 mg/m <sup>3</sup> (SF = 300)	Toluène	Hepa et nephrotoxiques
Aromatic nC>8-nC10	0.04 mg/kg/j (SF = 10000)	Isopropylbenzene, naphthalène, fluoranthene, fluorene	0.2 mg/m <sup>3</sup> (SF = 1000)	C9-aromatiques	Diminution du poids
Aromatic nC>10-nC12					
Aromatic nC>12-nC16					
Aromatic nC>16-nC21	0.03 mg/kg/j (SF = 3000)	pyrene	Non volatil	Non volatil	nephrotoxiques
Aromatic nC>21-nC35					

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée

#### Valeurs toxicologiques du MADEP

Le département of environmental protection (DEP) de l'état du Massachusetts (MA) a établi des valeurs toxicologiques de références pour des classes d'hydrocarbures de la même manière que le TPHCWG, les premières valeurs établies en 1994 ont été revues en octobre 2003 et sont présentés dans le document "Updated Petroleum Hydrocarbon Fraction Toxicity Values for the VPH/EPH/APH Methodology" (October, 2003).

Le MADEP établi une distinction entre les fractions volatiles (VPH) and extractibles (EPH). Cette distinction n'est pas reprise ici.

Par ailleurs, on note que, à la différence du TPHCWG, le MADEP considère des fractions par nombre de carbone dans les molécules « C » et non les nombres de carbones équivalents « nC » du TPHCWG.

MADEP	RfD équivalente (2003)	Substance de la classe ayant cette VTR	RfC équivalente (2003)	Substance de la classe ayant cette VTR	Effets
Aliphatic C5-C6	0.04 mg/kg/j (SF=10000)	n-hexane	0.2 mg/m <sup>3</sup> (SF= 300)	n-hexane	neurotoxicité
Aliphatic C6-C8					
Aliphatic C8-C10	0.1 mg/kg/j (SF = 1000)	Isoparaffines, alcanes, naphtés	0.2 mg/m <sup>3</sup> (SF = 3000)	White spirit desaromatisé C7-C11, isoparaffines C10-C11	Cellules sanguines, liver, kidney (ing°) neurotoxique (inh°)
Aliphatic C10-C12					
Aliphatic C12-C18					
Aliphatic C19-C36	2 mg/kg/j (SF=100)	huiles	Non défini	-	Tumeurs hépatiques
Aliphatic >C36	20 mg/kg/j présenté mais non considéré (SF=100)	huiles	Non défini	-	Tumeurs hépatiques
Aromatic C5-C8	<i>Faire référence aux BTEX</i>				
Aromatic C9-C10	0.03 mg/kg/j (SF = 3000)	Pyrène (C16) ** en considérant que la valeur retenue est protectrice /rapport aux RfD des autres composés de C9 à C16	0.05 mg/m <sup>3</sup> (SF=3000)	Naphta aromatiques	Kidney effects (ing°) CNS effect, diminution du poids, rein, développement (inh°)
Aromatic C11-C12					
Aromatic C12-C16			Non défini	-	-
Aromatic C16-C22					
Aromatic >C22	Non défini				

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 24

\*\* US EPA-Derived Oral Toxicity Values for Compounds in the C9 - C32 Aromatic Fraction

Carbon number Compounds RfD mg/kg/d : C9 isopropylbenzene 0.1 mg/kg/d ; C10 naphthalene 0.02 mg/kg/d ; C12 acenaphthene 0.06 mg/kg/d ; C12 biphenyl 0.05 mg/kg/d ; C13 fluorene 0.04 mg/kg/d ; C14 anthracene 0.3 mg/kg/d ; C16 fluoranthene 0.04 mg/kg/d ; C16 pyrene 0.03 mg/kg/d :

### Les aliphatiques C5-C8

Le n-hexane est le plus nocif des hydrocarbures saturés en C<sub>6</sub>. Les propriétés toxicologiques de l'hexane commercial peuvent ainsi varier de manière significative en fonction de sa teneur en n-hexane. Les données expérimentales publiées se réfèrent en général au n-hexane pur (pureté supérieure à 95 %) ou à des mélanges dont la teneur en n-hexane est connue. En revanche, les observations chez l'homme font souvent suite à des expositions à des mélanges commerciaux de composition mal définie.

L'hexane que l'on trouve habituellement dans l'industrie correspond à un mélange d'hydrocarbures en C<sub>6</sub>. Le constituant principal est le plus souvent le n-hexane de formule CH<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>-CH<sub>3</sub>. Sa teneur se situe alors entre 40 et 50 %, mais il existe des mélanges commerciaux à teneur en n-hexane inférieur à 5 %.

## **E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques**

Les deux approches du TPHCWG et du MADEP sont différentes et complémentaires. Une des différences repose sur la prise en compte par le MADEP des nombres de carbones (C) et par le TPHCWG de nombre de carbones équivalent (nC ou EC). Par ailleurs, l'approche du TPHCWG est plus complète, basée à la fois sur les propriétés physico-chimiques et l'ensemble des données toxicologiques disponibles à l'époque (1997).

Globalement on peut conclure que l'approche du MADEP est vraisemblablement plus adaptée pour la prise en compte d'un contact direct avec des hydrocarbures et que l'approche développée par le TPHCWG est plus appropriée quand il s'agit de rendre compte d'un transfert de ces hydrocarbures vers les différents milieux (air, eaux).

Dans une approche prudence et proportionnelle, nous retiendrons les caractéristiques physico-chimiques des classes définies par le TPHCWG et les valeurs toxicologiques présentées dans le tableau suivant. Les raisons des choix y font référence aux points suivants :

1. pour l'ensemble des classes, les facteurs de sécurité appliqués aux NOAEL ou LOAEL sont parfois élevés (SF variant de 100 à 10000), nous jugeons que la prise en compte d'un facteur de 10000 rend la confiance dans la valeur affichée très faible et la valeur douteuse n'est pas retenue ;
2. pour les composés aromatiques la principale raison est le fait que les BTEX et HAP sont considérés dans les études de risques sanitaires de manière distincte (substance par substance) compte tenu de leur potentiel cancérigène non pris en compte par les deux approches ici présentées ;
3. pour les composés aromatiques à nombre de carbone équivalent supérieur à 21, compte tenu de la présence uniquement de HAP dans l'approche du TPHCWG pour lesquels les principaux effets sont cancérigènes et compte tenu du point 2. ci-dessus, nous ne retiendrons pas de VTR ;
4. l'établissement de nouvelles valeurs toxicologiques de référence par l'US-EPA en 2005.

En 2005, l'US-EPA dans la base de données IRIS donne pour le n-hexane une RfC de 0,7 mg/m<sup>3</sup>, cette valeur repose sur les observations d'anciennes et de plus récentes études et sur le fait que le principal effet est la neurotoxicité de cette substance. Le facteur de sécurité de 300 appliqué au LOAEL tient compte de la variabilité intra-espèce, de l'utilisation d'un LOAEL et du manque de données pour les effets par voie inhalation. La valeur présentée de

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 25

18,4 mg/m<sup>3</sup> pour l'hexane commercial retenue que nous avons retenu par le passé est remplacé par cette nouvelle RfC.

Dans cette fiche IRIS, l'US-EPA précise que la transposition de la toxicité voie inhalation à la voie orale n'est pas adaptée en l'absence totale d'étude des effets de l'exposition par voie orale au n-hexane. Ainsi, nous n'avons pas retenu de RfD pour les aliphatiques nC5 à nC8. Cette approche a été retenue en l'absence d'information, elle est cependant sans impact sur les risques qui sont généralement tirés par la voie inhalation. (NB la dérivation de la RFC donnerait une RfD de 0.2 mg/kg/j pour les adultes).

CHOIX DE VTR réalisé par BURGEAP	RfD équivalente (mg/kg/j)	Raison du choix	RfC équivalente (mg/m3)	Raison du choix	Effets
Aliphatic nC>5-nC6	-	<i>Commentaire IRIS (4.)</i>	<b>0.7</b>	<i>Nouvelle estimation (4.) (SF : 300)</i>	neurotoxique
Aliphatic nC>6-nC8					
Aliphatic nC>8-nC10	<b>0.1</b>	<i>Approches TPHCWG et MADEP (SF =1000)</i>	<b>1</b>	<i>Approche TPHCWG (1.) (SF = 1000)</i>	Hepatoxique et neurotoxique
Aliphatic nC>10-nC12					
Aliphatic nC>12-nC16					
Aliphatic nC>16-nC35	<b>2</b>	<i>Approches TPHCWG et MADEP (SF =100)</i>	Dérivation pour poussières si nécessaire	<i>Approches TPHCWG et MADEP Non volatils</i>	Tumeurs hépatiques
Aliphatic >nC35	<b>20</b>	<i>Approches TPHCWG et MADEP (SF =100)</i>	Dérivation pour poussières si nécessaire	<i>Approches TPHCWG et MADEP Non volatils</i>	Tumeurs hépatiques
Aromatic nC>5-nC7	<i>Classe correspondant au benzène a prendre en tant que tel</i>				
Aromatic nC>7-nC8	<i>Classe correspondant au toluène a prendre en tant que tel</i>				
Aromatic nC>8-nC10	<b>0.03</b>	<i>Approche MADEP (et 2.)</i>	<b>0.2</b>	<i>Approche TPHCWG (C9 aromatiques) (SF = 1000)</i>	Diminution du poids
Aromatic nC>10-nC12					
Aromatic nC>12-nC16					
Aromatic nC>16-nC21	<b>0.03</b>	<i>Approches TPHCWG et MADEP (SF =3000)</i>	Dérivation pour poussières si nécessaire	<i>Approches TPHCWG et MADEP Non volatils</i>	nephrotoxiques
Aromatic nC>21-nC35	-	<i>Approche MADEP (3.)</i>	-	<i>Approches MADEP (3.)</i>	-

SF : facteur de sécurité appliqué aux NOAEL ou autre valeurs pour établissement de la VTR sélectionnée

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 26

## HAM - HYDROCARBURES MONOAROMATIQUES

### Benzène (CAS n° 71-43-2)



#### A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le benzène (CAS n° 71-43-2) est un liquide plus léger que l'eau (densité=0,88 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 4,68 ppmV (INRS, 2004). 1ppmV correspond à 3,25 mg/m<sup>3</sup>.

La présence de benzène dans l'environnement est naturelle (feux de forêts, volcans) ou d'origine anthropique. L'automobile est en grande partie responsable de la pollution atmosphérique par le benzène (gaz d'échappement, émanation lors du remplissage des réservoirs), comme sous produit du pétrole, il entre dans la composition des essences. La fabrication du benzène et ses diverses utilisations libèrent également du benzène à l'atmosphère.

Parmi les composés des hydrocarbures, le benzène est rangé parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatiques monocycliques). Il est soluble (1860 mg/l à 10°C), volatil : pression de vapeur de 6031 Pa (10°C) et constante de Henry de 0,56 kPa.m<sup>3</sup>/mol (25°C) et biodégradable en milieu aérobie.

#### Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition au benzène est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont de 50% par inhalation (donnée sur l'homme), 97% du benzène ingéré est absorbé (donnée sur animaux), tandis que par contact cutané l'absorption est limitée (0,4 mg/cm<sup>2</sup>/h donnée sur l'homme) et reste secondaire par rapport à d'autres voies d'exposition.

#### B) Valeurs guides

##### Valeurs guides pour l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) présente une limite de qualité des eaux pour la consommation humaine de 1µg/l pour le benzène.

Aucune valeur limite pour les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable n'est présentée dans ce texte.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) ne présente pas de valeur réglementaire pour cette substance dans les eaux de baignade.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) propose une valeur guide pour les eaux potables de 10 µg/l.

##### Valeurs guides pour l'air

L'objectif de qualité de l'air correspond en France à une concentration de 2 µg/m<sup>3</sup> (décret 2002-213 de février 2002).

La commission européenne dans le rapport du projet INDEX (critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU) ainsi que l'OMS (WHO Guidelines for Indoor Air

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 27

Quality : Selected Pollutants, 2010) recommandent un objectif de concentration dans l'air intérieur aussi bas que possible sans fixer de valeur. L'OMS précise que l'excès de risque de Leucémie pour une exposition à  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  est de  $6.10^{-6}$ . La concentration associée à un excès de risque de  $10^{-5}$  est de  $1,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Les valeurs guide air intérieur VGAI définies par l'AFSSET/ANSES sont les suivantes, celle en gras doit être retenue pour la prise en compte de l'ensemble des effets chroniques :

- VGAI long terme, pour les effets hématologiques non cancérogènes :  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une durée d'exposition supérieure à 1 an,
- **VGAI long terme, pour les effets hématologiques cancérogènes :  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (durée d'exposition "vie entière"), correspondant à un excès de risque de  $10^{-5}$ ,**
- VGAI long terme, pour les effets hématologiques cancérogènes :  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour une durée d'exposition "vie entière", correspondant à un excès de risque de  $10^{-6}$ ,
- VGAI intermédiaire :  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 1 an pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène,
- VGAI court terme :  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 14 jours pour les effets hématologiques non cancérogènes prenant en compte des effets cumulatifs du benzène,

La loi du 1<sup>er</sup> août 2008 relative à la responsabilité environnementale oblige à définir des « valeurs-guides pour l'air intérieur » dans les ERP. Le décret n° 2011-1727 du 2 décembre 2011, définit la valeur-guide pour le benzène pour une exposition de longue durée à  **$5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au 1er janvier 2013** et à  **$2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au 1er janvier 2016**.

#### Valeurs guides pour les sols

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

### C) Profil toxicologique

#### Classement

Les symboles classant le benzène sont **F** (facilement inflammable) et **T** (toxique).

Les phrases de risque<sup>14</sup> qui le représentent sont : **R45** (peut causer le cancer), **R11** (inflammable), **R48/23/24/25** (toxique : risque d'effets graves en cas d'exposition prolongée, par contact avec la peau et par ingestion).

#### Effets cancérogènes

Le benzène est actuellement le seul hydrocarbure aromatique monocycliques (HAM) considéré comme cancérogène pour l'homme. Il a été placé dans le **groupe 1** par le CIRC-IARC en 1987, dans la **classe A** par l'US-EPA en 1998 et **CARC 1** par l'UE.

#### Effets Mutagènes

Le benzène est classé **Muta 2** par l'Union Européenne.

#### Effets reprotoxiques

Le benzène n'est pas classé reprotoxique par l'UE.

<sup>14</sup> La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 28

Autres effets toxiques

La cible principale du benzène après une exposition à long terme est le système sanguin, avec des conséquences sur la moelle osseuse, une diminution des globules rouges, une anémie ou plus rarement une polyglobulie (lignée des globules rouges), une leucopénie ou parfois une hyperleucocytose (globules blancs), une thrombopénies (plaquettes). Ces manifestations sont réversibles après cessation de l'exposition.

A un stade plus important cette toxicité hématologique peut se manifester par une aplasie médullaire, dépression totale de la reproduction des cellules sanguines. Ces atteintes ont été décrites dans plusieurs études épidémiologiques, notamment chez des travailleurs exposés à de fortes concentrations de benzène.

Le Syndrome psycho-organique (troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, insomnie, diminution des performances intellectuelles correspondant à des effets sur le système nerveux central) a été décrit lors d'exposition chronique au benzène. Ce syndrome est également noté pour le toluène et les styrènes.

Par ailleurs, des effets cardio-vasculaires ont été décrits lors de l'exposition par inhalation aux vapeurs de benzène.

Enfin, la myelotoxicité et la génotoxicité pourraient résulter de l'action synergique des divers composés issus du métabolisme hépatique du benzène (INCHEM, 1996).

Peu d'informations relatives aux autres effets toxiques du benzène sont disponibles chez l'homme.

**D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence**

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets sans seuil du benzène et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 3/ mars 2006).

<b>Benzène (Cas n°71-43-2) – Effets toxiques sans seuil</b>				
Voie d'exposition	Type d'effets considérés	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Leucémies	homme	ERUi = 2,2 à <b>7,8 10<sup>-6</sup> (µg/m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup></b>	US EPA (2000)
		homme	ERUi = 6 10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	OMS (1997)
		homme	CR = 5.10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	RIVM (2001)
		homme	ERUi = 2,9 10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	OEHHA (2002)
		homme	CT <sub>0.05</sub> = 15 mg/m <sup>3</sup> correspond à ERUi = 3 10 <sup>-6</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Santé Canada (1991)
Ingestion	Leucémies	homme	ERUo = 1,5.10 <sup>-2</sup> à <b>5,5.10<sup>-2</sup> (mg/kg/j)<sup>-1</sup></b>	US EPA (2000)
		homme	ERUo = 0,1 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	OEHHA (2002)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 29

Benzène (Cas n°71-43-2) – Effets toxiques à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	Organe Critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	immunitaire	homme	10	MRL (0.003 ppm)= <b>10 µg.m<sup>-3</sup></b>	ATSDR (2007)
		Cellules sanguines	homme	300	RfC = 30 µg.m <sup>-3</sup>	US EPA (2003)
		Cellules sanguines, nerveux, développement	homme	10	REL = 60 µg.m <sup>-3</sup>	OEHHA (2002)
Chronique	Ingestion	Cellules sanguines	homme	300	RfD = 4.10 <sup>-3</sup> mg/kg/j	US EPA (2003)
		immunitaire	homme	30	MRL = <b>5.10<sup>-4</sup> mg/kg/j</b>	ATSDR (2007)

### E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR se base sur les principes évoqués au chapitre 1.

La VTR retenue pour les risques chroniques cancérogènes par ingestion est la borne haute de l'US-EPA, soit un ERUo de  $5,5 \cdot 10^{-2} \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$  qui correspond à la valeur la plus prudente disponible.

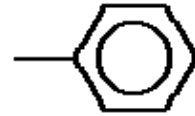
La VTR retenue pour les risques chroniques cancérogènes par inhalation est la borne haute de l'US-EPA, soit un ERUi de  $7,8 \cdot 10^{-6} \text{ (µg/m}^3\text{)}^{-1}$  qui correspond à la valeur la plus prudente disponible. On rappellera néanmoins que l'ERUi de l'OMS ( $6 \cdot 10^{-6} \text{ (µg/m}^3\text{)}^{-1}$ ) a été retenue en France sur recommandation du CSHPF, pour définir l'objectif de qualité de l'air fixé par le décret 2002-213 de février 2002 à  $2 \text{ µg/m}^3$  valeur considérée par le CSHPF comme non différente de la concentration de  $1,7 \text{ µg/m}^3$  dans l'air ambiant, susceptible de conduire à une probabilité d'excès de risque  $1 \cdot 10^{-5}$ .

La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérogènes par inhalation est de  $10 \text{ µg/m}^3$ , il s'agit de la valeur la plus précautionneuse établie par l'ATSDR (2007), fondée sur des données sur l'homme récentes (2004). Elle concerne par ailleurs l'organe critique reconnu par l'ensemble des organismes (système sanguin). On notera enfin que l'AFSSET s'est basé sur cette VTR pour établir sa valeur guide VGAI pour les effets chroniques hors cancer.

La VTR retenue pour les risques chroniques non cancérogènes par ingestion est de  $5 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg/j}$  établie par l'ATSDR (2007) à partir de la même étude et issue de la dérivation voie à voie.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 30

Toluène (CAS n°108-88-3)



### A) Propriétés intrinsèques de la substance

Le toluène (CAS n°108-88-3) est un liquide plus léger que l'eau (densité=0,87 à 15°C), incolore, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 2.5 ppmV (INRS, 2005). Le facteur de conversion est 1ppmV = 3,75 mg/m<sup>3</sup>.

Le toluène est un solvant utilisé dans le nombreux produits, y compris de consommation courante : diluants, adhésifs, peintures, vernis, encres, laques ou en tant que matière première en synthèse organique. Comme sous produit du pétrole, il entre dans la composition des essences. La fabrication du toluène et ses diverses utilisations libèrent également du toluène à l'atmosphère.

Parmi les composés des hydrocarbures, le toluène est rangé parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatiques monocycliques). Il est soluble (590 mg/l à 10°C), volatil : pression de vapeur de 1650 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.64 kPa.m<sup>3</sup>/mol (25°C) et biodégradable en milieu aérobie.

#### Voies d'exposition et absorption

Les taux d'absorption sont (INERIS, 2005) par inhalation 50% du toluène inhalé est absorbé (donnée sur l'homme), par voie orale, 100% du toluène ingéré est absorbé. Par contact cutané l'absorption n'est pas connue.

### B) valeurs guides

#### Valeurs guides dans l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) ne présente pas de limite de qualité des eaux pour la consommation humaine pour le toluène.

Aucune valeur limite pour les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable n'est présentée dans ce texte.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) ne présente pas de valeur réglementaire pour cette substance dans les eaux de baignade.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) propose une valeur guide pour les eaux potables de 700 µg/l. On notera cependant que cette valeur dépasse la concentration reportée par l'OMS à partir de laquelle des odeurs peuvent être notées (24 µg/l).

#### Valeurs guides dans l'air

En France le décret 2002-213 de février 2002 sur les objectifs de qualité de l'air ne propose pas de valeur guide pour le toluène.

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide de **260 µg/m<sup>3</sup>** (à ne pas dépasser en moyenne pour une exposition hebdomadaire). La valeur proposée par l'OMS est recommandée par cette instance pour la qualité de l'air en Europe, vis-à-vis de l'ensemble des effets toxiques du toluène. Cette valeur a été établie à partir de la même étude cas/témoins que celle retenue par l'US-EPA en 1992 (Foo et coll., 1990) en retenant une LOAEL pour une exposition continue plus faible en raison du facteur d'ajustement adopté.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 31

Dans l'air intérieur, le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour le toluène une concentration d'exposition limite sur le long terme de **300 µg/m<sup>3</sup>**. Les concentrations dans l'air intérieur en Europe seraient de l'ordre de 16 fois inférieures à cette limite et le centile 90 des mesures de l'ordre de 5 fois inférieur (INDEX, 2005).

#### Valeurs guides dans les sols

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

### C) Profil toxicologique

#### Classement

Les symboles classant le toluène sont **F** (facilement inflammable) et **Xn** (nocif).

Les phrases de risque<sup>15</sup> qui le représentent (classification revue en 2004 par les experts européens et publiée dans la directive 2004/73/CE) sont : **R11** (facilement inflammable), **R48/R20** (risques d'effets graves pour la santé en cas d'exposition prolongée par inhalation), **R63** (risques possibles pendant la grossesse d'effets néfastes pour l'enfant), **R65** (peut provoquer une atteinte des poumons en cas d'ingestion), **R67** (l'inhalation de vapeurs peut provoquer nuisances et vertiges).

#### Effets cancérigènes

Le toluène n'est pas considéré comme une substance cancérogène : il a été placé dans le **groupe 3 par le CIRC-IARC en 1999** en raison de l'absence de preuves chez l'homme et d'études chez l'animal qui montrent l'absence de ce type d'effets. Le toluène a été placé dans la **classe D par l'US-EPA en 1994**, en précisant que les recherches de génotoxicité connues sont toutes négatives.

Le toluène n'est pas classé cancérigène par l'UE.

#### Effets Mutagènes

Le toluène n'est pas classé mutagène par l'UE.

#### Effets reprotoxiques

Le toluène a été classé en 2004 par l'union Européenne en **repro 3** (substance préoccupante) par rapport à ses effets potentiels sur la reproduction.

#### Autres effets toxiques

En exposition répétée ou prolongée, le toluène provoque chez le rat et la souris une augmentation du poids de nombreux organes, une modification du taux de neurotransmetteurs, une neurotoxicité et une perte d'audition.

Lorsque l'exposition au toluène est répétée quotidiennement, les atteintes décrites sont neurologiques et hépatiques.

Le syndrome psycho-organique (sur le système nerveux central) est l'effet toxique chronique majeur du toluène : les stades les plus avancés sont irréversibles. Il associe des troubles de la mémoire, de la concentration, de la personnalité, une insomnie, une diminution des performances intellectuelles.

<sup>15</sup> La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 32

## D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version n°3-2 de novembre 2005).

Toluène (Cas n°108-88-3) – Effets toxiques à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	Organe Critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	10	RfC = 5 mg/m <sup>3</sup>	US-EPA (2005)
		Système nerveux	homme	100	MRL = <b>0.3 mg/m<sup>3</sup></b>	ATSDR (2000)
		Système nerveux	Rat/homme	100	REL = 0.3 mg/m <sup>3</sup>	OEHHA (2003)
		Système nerveux	homme	300	TCA = 0.4 mg/m <sup>3</sup>	RIVM (2001)
	orale	Systèmes hépatique et rénal	Rat/souris	3000	RfD = <b>0.08 mg/kg/j</b>	US-EPA (2005)
		Système hépatique	souris	1000	DJT = 0.223 mg/kg	OMS (1996)
		foie et reins	rat	1000	DJA = 0.22 mg/kg/j	Santé Canada (1991)
		Système hépatique	souris	1000	TDI = 0.223 mg/kg/j	RIVM (2001)

## E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR repose sur les principes évoqués au chapitre 1.

L'US-EPA en 2005 a établi une RfC de 5 mg/m<sup>3</sup> sur la base de la synthèse des études menées sur l'homme (identiques à celles utilisées par les autres organismes). Cette valeur n'est pas retenue, les principales raisons sont d'une part l'absence de nouvelles études dans l'approche retenue par l'US-EPA (seul le facteur de sécurité est modifié) et d'autre part la disproportionnalité entre cette VTR et celles des autres hydrocarbures aromatiques volatils.

La VTR retenue pour les risques chroniques par inhalation du toluène est de 300 µg/m<sup>3</sup> (ATSDR, 2000) valeur établie à partir de suivi de travailleurs correspondant à la plus pénalisante entre les différents organismes US-EPA, ATSDR ; elle repose sur les effets neurologiques du toluène. Cette valeur est proche de celle recommandée par l'OMS pour la qualité de l'air en Europe, vis-à-vis de l'ensemble des effets toxiques du toluène.

La VTR retenue pour les risques chroniques par ingestion du toluène est de 0,08 mg/kg/j (US-EPA, 2005) la valeur retenue est associée à des effets toxiques observés sur le système hépatique et sur le foie et les reins. Bien que le degré de confiance est jugé moyen par l'US-EPA, cette valeur est retenue

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 33

par principe de prudence, on note en effet que cette valeur est 3 fois plus contraignante que celle des autres organismes internationaux (OMS, RIVM, Santé Canada).

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 34

## Xylènes (CAS n°1330-20-7)

### A) Propriétés intrinsèques de la substance

Les xylènes (isomères m, p, et o,) (CAS n°1330-20-7) sont des liquides plus légers que l'eau (densité=de 0,86 à 0,88 à 15°C), incolores, d'odeur aromatique, perceptible à l'odorat à partir de 0.07 ppmV (INRS, 2005). Le facteur de conversion est  $1 \text{ ppmV} = 4,4 \text{ mg/m}^3$ .

Les xylènes sont des solvants utilisés dans de nombreux produits, y compris de consommation courante : diluants, adhésifs, peintures, vernis, encres, laques ou en tant que matière première en synthèse organique. Par ailleurs, comme sous-produit du pétrole, ils entrent dans la composition des carburants et solvants pétroliers.

Parmi les composés des hydrocarbures, les xylènes sont rangés parmi les COV (composés organiques volatils) et plus précisément parmi les HAM (hydrocarbures aromatique monocyclique). Ils sont solubles (190 à 240 mg/l à 10°C), volatils : pression de vapeur de 340 à 460 Pa (10°C) et constante de Henry de 0.42 à 0.69 kPa.m<sup>3</sup>/mol (25°C).

#### Voies d'exposition et absorption

La principale voie d'exposition aux xylènes est l'inhalation, puis dans une moindre mesure, l'ingestion et le contact cutané.

Les taux d'absorption sont par inhalation : 59 à 64% des xylènes inhalés sont absorbés (donnée sur l'homme) ; par voie orale, chez l'animal, les xylènes sont rapidement et facilement absorbés (absence de données sur l'homme). Par voie cutanée avec les sols, aucune donnée n'est disponible.

### B) valeurs guides

#### Valeurs guides dans l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) ne présente pas de limite de qualité des eaux pour la consommation humaine pour les xylènes.

Aucune valeur limite pour les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable n'est présentée dans ce texte.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) ne présente pas de valeur réglementaire pour cette substance dans les eaux de baignade.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) propose une valeur guide pour les eaux potables de 500 µg/l, notant par ailleurs que cette valeur est supérieure à la limite olfactive de la substance dans l'eau.

#### Valeurs guides dans l'air

En France le décret 2002-213 de février 2002 sur les objectifs de qualité de l'air ne propose pas de valeur guide pour les xylènes. L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas non plus de valeur guide.

Dans l'air intérieur, Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour les xylènes une concentration d'exposition limite sur le long

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 35

terme de 200 µg/m<sup>3</sup>. Les concentrations dans l'air intérieur en Europe seraient de l'ordre de 20 fois inférieures à cette limite et le centile 90 des mesures de l'ordre de 6 fois inférieur (INDEX, 2005).

#### Valeurs guides dans les sols

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

### C) Profil toxicologique

#### Classement

Les symboles classant les xylènes sont **Xn** (nocif) et **Xi** (irritant).

Les phrases de risque<sup>16</sup> qui le représentent sont : **R10** (inflammable), **R20/R21** (nocif par inhalation et contact avec la peau), **R38** (irritant pour la peau).

#### Effets cancérigènes

Le CIRC- IARC a placé les xylènes dans le **groupe 3** (1999).

#### Effets Mutagènes

Les xylènes ne sont pas considérés en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets mutagènes (absence de classement par l'UE).

#### Effets reprotoxiques

Les xylènes ne sont cependant pas classés quant à leurs effets reprotoxiques par l'UE.

#### Autres effets toxiques

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées chez des salariés exposés à long terme et de façon répétée aux vapeurs de xylènes. Ces études ont montré pour certains sujets une respiration difficile et à une altération de certaines fonctions pulmonaires. Une augmentation significative des irritations du nez et de la gorge a été notée chez des salariés exposés à une concentration moyenne de 14 ppm (61 mg/m<sup>3</sup>) de vapeurs de xylènes. Les xylènes induisent également par voie pulmonaire des atteintes neurologiques.

Des troubles hématologiques ont été notés, mais compte tenu de la coexistence du benzène avec les xylènes étudiés, le lien de causalité ne peut être établi.

Enfin, concernant les effets immunologiques, une diminution du nombre des lymphocytes a été observée chez les travailleurs exposés.

### D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques des xylènes.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS : version 2-1, juin 2006).

<sup>16</sup> La définition de ces phrases de risques est donnée dans le chapitre général méthodologique (chapitre 1)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 36

Xylènes (Cas n° 1330-20-7)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe ou effet critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Système neurologique	homme	300	MRL (0.05 ppm)= 220 µg/m <sup>3</sup>	ATSDR (2007)
		Système neurologique	rat	300	RfC = <b>100 µg/m<sup>3</sup></b>	US EPA (2003)
		Systèmes neurologique et respiratoire	homme	30	REL = 700 µg/m <sup>3</sup>	OEHHA (2002)
		Système neurologique	rat	1000	TCA = 870 µg/m <sup>3</sup>	RIVM (2001)
		foetotoxicité	rat	1000	TC provisoire = 180 µg/m <sup>3</sup>	Santé Canada (1991)
	Ingestion	Diminution poids corporel	rat	1000	MRL = 0.2 mg/kg/j	ATSDR (2007)
		Diminution poids corporel	rat	1000	RfD = <b>0,2 mg/kg/j</b>	US EPA (2003)
		Syst. rénal	rat	1000	TDI = 0,15 mg/kg/j	RIVM (2001)
		Diminution poids corporel	rat	1000	DJT = 0.179 mg/kg/j	OMS (1996)
		Syst. hépatique	rat	100	TDI = 1.5 mg/kg/j	Santé Canada (1991)

### E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

La sélection des VTR repose sur les critères évoqués au chapitre 1.

La VTR retenue pour l'exposition chronique par inhalation aux xylènes est la RfC établie par l'US EPA (2003), soit 100 µg/m<sup>3</sup> qui correspond aux effets psycho-moteurs attribués généralement aux xylènes. Le niveau de confiance accordé à cette valeur par l'US-EPA est le niveau moyen, on peut considérer qu'il s'agit d'une valeur qui surestime le danger compte tenu de l'effet toxique retenu et du facteur d'ajustement adopté.

La VTR retenue pour l'exposition chronique par ingestion aux xylènes est la RfD établie par l'US EPA (2003), soit 0.2 mg/kg/j. On notera que cette valeur est du même ordre de grandeur que celles de l'OMS et du RIVM. Compte tenu de l'étude expérimentale menée, la prise en compte d'un facteur de sécurité de 1000 semble majorant. Enfin, la confiance accordée par l'US-EPA sur la RfD obtenue est moyenne.

Nous ne retiendrons pas de VTR spécifiques pour chaque isomère (bien que certaines bases de données en proposent) car les études pivots ayant servies à l'établissement des VTR des différents isomères sont basées sur des mélanges de xylènes.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 37

## HAP – HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES

### A) Propriétés intrinsèques des HAP

Les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) sont formés lors de combustions incomplètes (bois, charbon, fioul, essence, goudrons de houille, cigarettes...) puis rejetés dans l'atmosphère où ils sont présents majoritairement dans la phase particulaire du fait de leur faible volatilité.

Il s'agit de molécules ayant deux (naphtalène) à plus de cinq (benzo-a-pyrène) noyaux benzéniques. Les propriétés toxiques et physicochimiques des molécules sont variables et dépendent en partie du nombre de noyaux benzénique. On compte 16 molécules les plus communément étudiées (liste de l'EPA reprise dans les paragraphes suivants).

Les émissions des cheminées et des fours à bois domestiques, des incinérateurs d'ordures ménagères, des unités de production de goudron et d'asphalte, des unités de craquage du pétrole, constituent les principales sources anthropiques. Ces sources stationnaires représentent environ 80 % des émissions. Les sources mobiles sont constituées par les échappements des véhicules essence et diesel.

La présence de HAP dans les eaux de surface provient du dépôt de particules en suspension dans l'atmosphère, des rejets de lixiviation des aires de stockage de charbon, des effluents des usines de traitement du bois et autres industries, on note par ailleurs que les HAP sont également contenus dans certains insecticides ou fongicides.

Les 16 HAP possèdent des propriétés physico-chimiques très variables :

les solubilités (à 25°C) sont comprises entre  $2,6 \cdot 10^{-4}$  mg/l pour le B[g,h,i]P et 32 mg/l pour le naphtalène,

les pressions de vapeur (à 25°C) sont comprises entre  $1,3 \cdot 10^{-8}$  Pa pour le B[g,h,i]P et 11.3 Pa pour le naphtalène (qui est le seul HAP que l'on peut classer dans les COV :  $P_v > 10$  Pa),

les constantes de Henry (à 25°C) sont comprises entre  $2,69 \cdot 10^{-5}$  kPa.m<sup>3</sup>/mol pour B[g,h,i]P et 0.045 kPa.m<sup>3</sup>/mol pour le naphtalène.

On note que les propriétés physico-chimiques du B[a]P sont proches de celles du B[g,h,i]P : solubilité de 0.0016 mg/l (25 °C), une pression de vapeur de  $7,32 \cdot 10^{-7}$  Pa (25°C) et une constante de Henry de  $4,63 \cdot 10^{-5}$  kPa.m<sup>3</sup>/mol.

L'ensemble des HAP sont facilement sorbés sur les sols, en effet, leurs constantes de partage octanol-eau (logKOW) sont élevées et compris entre 3,3 (naphtalène) et 6,84 (B[k]F).

#### Voies d'exposition et absorption

L'inhalation et l'ingestion d'aliments constituent chez l'homme les 2 voies d'exposition principales aux HAP, alors que l'exposition par la consommation d'eau de boisson reste minime (1% d'après OMS, 1998). L'exposition par inhalation dépend spécifiquement de la taille des particules sur lesquelles les HAP sont adsorbés.

#### Taux d'absorption cutané

Wester et al. (1990) ont réalisés des mesures de taux d'absorption sur le B(a)P à partir d'échantillons de peau humaine. Il en ressort que 24,6 % de la dose B(a)P (en solution dans de l'acétone) ont été absorbé au niveau de la peau mais que seulement 0,09 % a traversé la barrière cutanée au bout de 24 heures. Dans les mêmes conditions et pour la même quantité de B(a)P, pour une matrice sol, le taux d'absorption est de 13,2 % sur la peau du singe et 1,41 % sur la peau de l'homme avec 0,01 % ayant traversé la barrière cutanée. Ainsi, la présence de la matrice sableuse (ou sol) réduit la

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 38

biodisponibilité du polluant. Wester et al. déduit donc une réduction de 75 % de l'absorption cutanée à partir du matrice sol par rapport à une matrice aqueuse.

Par voie cutanée, le taux d'absorption cutané du B(a)P est estimé à 3 % (fiche INERIS) après 24 heures sur un modèle *in vitro* de peau d'origine humaine (Kao et al., 1985). La littérature montre que le taux est très variable en fonction de la durée et des cibles étudiées (entre 0,3 et 3 %).

Les études recensées et synthétisées par l'INERIS et l'INVS<sup>17</sup> les ont incité à prendre des taux d'absorption pour l'ensemble des HAP de 5 % pour 8 heures et 4 % pour 6 heures d'exposition. Ramené à la journée (24 h), le taux d'absorption serait de 16 %.

L'US-EPA<sup>18</sup> recommande de prendre en compte un taux de 13 % sur 24 heures.

Enfin, la base de données du logiciel RISC (dont les équations sont utilisées pour le calcul de la dose par contact cutané) propose un taux d'absorption cutané pour l'ensemble des HAP de 10%.

Compte tenu de la variabilité des données et dans la mesure où l'évaluation détaillée des risques doit être à la fois conservatrice et proportionnée, nous retiendrons un taux d'absorption cutané de 10 % pour les HAP excepté le phénanthrène pour lequel des études particulières<sup>19</sup> ont montré un taux plus important de 80 %.

#### Taux d'absorption orale

Le taux d'absorption orale du B(a)P est de 40 % chez l'homme (fiche INERIS). Pour les autres HAP, les taux ne sont pas disponibles ni sur l'homme ni sur les animaux excepté pour l'antracène où il varie entre 53 et 74 % chez les animaux. Nous considérerons que l'ensemble des HAP possèdent un taux d'absorption orale identique à celui du B(a)P, soit 40 %.

#### Taux d'absorption inhalation

Les taux d'absorption des HAP par inhalation n'ont pas été étudiés en particulier. Nous prendrons donc un taux de 100%.

## **B) valeurs guides**

### Valeurs guides dans l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) ne présente pas de limite de qualité des eaux pour la consommation humaine pour la somme des HAP mais présente une valeur pour le benzo-a-pyrène : 0.01 µg/l et pour la somme des benzo-b-fluoranthène, benzo-k-fluoranthène, indéno (1.2.3) c,d pyrène, et benzo-g,h,i)pérylène de 0.1 µg/l.

La concentration limite dans les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable issue de ce même texte réglementaire est de 1 µg/l pour la somme des benzo-b-fluoranthène, benzo-k-fluoranthène, indéno (1.2.3) c,d pyrène, et benzo-g,h,i)pérylène.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) ne présente pas de valeur réglementaire pour cette substance dans les eaux de baignade.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) propose une valeur guide pour les eaux potables pour les HAP à travers le B[a]P de 0.7 µg/l.

<sup>17</sup> Rapport d'évaluation du risque sanitaire résiduel pour les populations fréquentant les plages après dépollution du fioul de l'ERIKA. Juillet 2000

<sup>18</sup> dans l'ouvrage Risk assessment guidance for superfund, 2001

<sup>19</sup> voir fiche toxicologique de ce produit par l'INERIS

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 39

Valeurs guides dans l'air

L'objectif de qualité de l'air en France (décret 2002-213 de février 2002) ne fait pas référence aux HAP.

Dans l'air intérieur, l'OMS (2010) propose une valeur guide de 10 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle pour le naphthalène.

Dans l'air intérieur, Le rapport final du projet INDEX : « Critical Appraisal of the setting and implementation of indoor exposure limits in the EU », 2005 élaboré par l'institut de la protection de la santé et du consommateur établit pour le naphthalène une concentration d'exposition limite sur le long terme de 10 µg/m<sup>3</sup>. Les concentrations dans l'air intérieur en Europe seraient de l'ordre de 10 fois inférieures à cette limite (INDEX, 2005).

De manière analogue, compte tenu des connaissances actuelles, l'ANSES (2009) ne propose qu'une valeur guide pour des expositions chroniques au naphthalène pour des effets non cancérogènes : VGAI long terme de 10 µg/m<sup>3</sup>. L'OMS considère que la présence de HAP dans l'air (2000) et en particulier l'air intérieur (2010) est préoccupante pour la santé, proposant un Excès de risque unitaire, la concentration correspondant à un risque de 10<sup>-5</sup> pour l'OMS est de 0,12 µg/m<sup>3</sup> en B(a)P.

La transposition de la directive européenne 2004/107/CE en droit français, dans le Décret 2010-1250 du 21 octobre 2010 fixe, pour le BaP sous forme particulière, une valeur cible dans l'air de 0,001 µg/m<sup>3</sup>, applicable au 31/12/2012.

Valeurs guides dans les sols

Dans les sols on ne dispose pas de valeur guide réglementaire.

**C) Profil toxicologique**Classement

Parmi les HAP, seuls 5 d'entre eux présentent un symbole **T** (toxique), il s'agit grossièrement des substances les moins mobiles.

Les phrases de risques associées sont au minimum **R45** (peut causer le cancer).

Par ailleurs, deux d'entre elles (les benzo (b) et (k) fluoranthène) sont associées au symbole **N** (dangereux pour l'environnement).

Enfin, le naphthalène présente la phrase de risque **R22** (toxique par ingestion).

	Classement symboles	Phrase de risque	classement cancérogénicité		
			UE	CIRC (IARC)	EPA
Naphtalène	-	R22	3	2B	C
Acénaphthylène	-	-	-	-	D
Acénaphthène	-	-	-	-	-
Fluorène	-	-	-	3	D
Phénanthrène	-	-	-	3	D
Anthracène	-	-	-	3	D
Fluoranthène	-	-	-	3	D
Pyrène	-	-	-	3	D
Benzo(a)anthracène	T (toxique)	R45	Carc. cat (2)	2A	B2

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 40

	Classement symboles	Phrase de risque	classement cancérogénicité		
			UE	CIRC (IARC)	EPA
Chrysène	-	R45	Carc. cat (2) Mut. cat (3)	3	B2
benzo(b)fluoranthène	T (toxique), N (dangereux pour l'environnement)	R45	Carc. cat (2)	2B	B2
benzo(k)fluoranthène	T (toxique), N (dangereux pour l'environnement)	R45	Carc. cat (2)	2B	B2
<b>Benzo(a)pyrène</b>	T (toxique)	R45, R46, R60, R61	Carc. cat (2) Mut. cat (2) Repr. Cat (2)	2A	B2
Dibenzo(a,h)anthracène	T (toxique)	R45	Carc. cat (2)	2A	B2
benzo(g,h,i) pérylène	-	-	-	3	D
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	-	-	-	2B	B2

### Effets cancérigènes

Le benzo(a)pyrène est classé comme cancérigène chez l'homme par le CIRC-IARC (**groupe 2A**), l'US-EPA (**classe B2**) et l'UE (**Carc. 2**).

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques.

Le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérogénicité montre que l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, l'acénaphthylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénanthrène et le pyrène sont classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA. L'acénaphthène n'est pas classé.

Pour le naphthalène, le potentiel cancérigène n'a pas été prouvé et à la différence des HAP à plus de 3 noyaux aromatiques, il n'est pas mutagène directement. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a classé le naphthalène dans le groupe 2B, et non 2A, ce point de vue, c'est-à-dire l'impossibilité actuelle de conclure que le naphthalène est un cancérogène probable pour l'homme, est partagé par un grand nombre d'experts réunis par l'US-EPA (cf. résultats de la réunion sur le site US-EPA, en date de septembre 2004). Le mécanisme retenu par l'IARC (2002) est la formation de métabolites entraînant un turn-over important au niveau des épithéliums respiratoires et secondairement la formation de tumeurs. Le naphthalène pourrait avoir des effets clastogènes in vitro mais pas d'effets mutagènes.

Le naphthalène est classé **Carc. 3** par l'Union Européenne.

### Effets reprotoxiques

Parmi les HAP, seul le benzo[a]pyrène est classé par l'union Européenne par rapport à ses effets potentiels sur la reproduction (**catégorie 2** associé aux phrases de risque R60 : peut altérer la fertilité et R61 : risques pendant la grossesse d'effets néfastes sur l'enfant).

### Effets Mutagènes

Seul le benzo(a)pyrène est classé par l'Union Européenne pour ses effets mutagènes potentiels **catégorie 2** (associé à la phrase R46 : peut causer des altérations génétiques héréditaires).

Le chrysène est par ailleurs classé en catégorie 3 (substance préoccupante pour l'homme en raison des effets mutagènes possibles).

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 41

Le naphthalène n'est pas génotoxique en l'état des connaissances ce qui le différencie du benzo(a)pyrène et des autres HAP à plusieurs cycles qui ont des effets similaires à ceux du BaP chez l'homme et chez l'animal et pour lesquels l'approche par équivalents (TEF) est justifiée.

#### Autres effets toxiques

Les études actuelles sur les effets toxiques non cancérogènes du benzo(a)pyrène sur l'homme montrent que les effets principaux sont cutanés. Il a été observé des altérations cutanées (érythèmes, desquamation, hyper-kératose verruqueuse...) lors d'applications de benzo(a)pyrène à des fins thérapeutiques. De telles observations n'ont pas été décrites chez des personnes présentant des peaux saines.

Chez l'homme, aucune étude épidémiologique concernant l'effet de l'acénaphthène n'est disponible. L'exposition subchronique ou chronique à l'acénaphthène induit des troubles hépatiques, rénaux et hématologiques.

A notre connaissance, il n'existe pas de donnée disponible sur les effets toxiques non cancérogènes de l'anthracène, pour une exposition chronique, chez l'homme. Les études réalisées sur les souris montrent une augmentation de la mortalité et des signes cliniques sur le poids corporel et différents organes, l'ophtalmologie, l'hématologie et l'histopathologie.

L'organe cible pour les expositions au benzo(b)fluoranthène, benzo(k)fluoranthène et Dibenzo(a,h)Anthracène est le système immunologique.

Chez l'homme une seule étude traite de l'effet induit par une exposition par voie pulmonaire au fluoranthène. Dans cette étude les salariés ont été exposés par voie pulmonaire à un mélange de HAPs contenant du fluoranthène, du perylène, du pyrène, du benz(a)pyrène, du chrysène, du benzo(a)anthracène, du dibenz(a,h)anthracène et du benzo(g,h,i)perylène. L'exposition à de fortes concentrations de ce mélange (concentration non précisée) induit une diminution du taux d'immunoglobulines sériques (IgA, IgG et IgM) (Szczeklik *et al.*, 1994). Cette étude n'a toutefois pas permis d'identifier l'effet spécifique du fluoranthène. Les organes cibles identifiés sont le système sanguin et les reins.

L'étude principale mettant en évidence l'effet du fluoranthène administré par voie orale est l'étude de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluoranthène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à ces doses, le fluoranthène n'induisait pas d'effets sur le système respiratoire, cardiaque ou musculo-squelettique. Par contre, il a été montré une influence du fluoranthène sur l'augmentation du poids relatif du foie et l'augmentation du taux d'enzymes hépatiques.

Aucune étude épidémiologique ne traite des effets du fluorène chez l'homme lors d'une exposition chronique. Chez l'animal, l'exposition chronique au fluorène induit principalement des troubles hépatiques et hématologiques. L'étude principale de l'US EPA de 1988 (a,b,c) dans laquelle les souris mâles et femelles ont été exposées par voie orale (gavage) à 125, 250 ou à 500 mg/kg/j de fluorène pendant 13 semaines. Cette étude a montré qu'à la dose de 500 mg/kg/jour, les effets observés étaient une difficulté pour respirer, un ptosis (abaissement de la paupière supérieure, d'origine congénitale), une diminution du poids absolu du foie, une diminution du poids relatif du foie et de la rate, accompagnée par d'effets sur le système sanguin.

Pour le naphthalène, les données sont peu nombreuses. L'exposition par inhalation, par inhalation et passage cutané, par inhalation et absorption digestive sont responsables d'anémie hémolytique.

Plusieurs cas d'anémie hémolytique ont été décrits après inhalation et pénétration cutanée chez des nouveau-nés dont les vêtements et la literie ont été conservés avec des boules d'antimite (Cock, 1957 ; Dawson *et al.*, 1958 ; Schafer, 1951 ; Valaes, 1963). Ces anémies ont aussi été décrites après inhalation par des nouveau-nés de médicaments contenant du naphthalène (Hanssler, 1964 ; Irle, 1964). Les cas survenus chez des nouveau-nés sont parfois associés à des troubles neurologiques comme

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 42

une somnolence et une diminution des cris. Mais on peut dissocier ces troubles de ceux liés à la diminution des capacités de transport de l'oxygène.

Huit cas de cataracte ont été décelés chez un groupe de 21 employés d'une teinturerie industrielle où du naphthalène était utilisé. Sept cas sont survenus avant l'âge de 50 ans. Si l'hypothèse d'une causalité est possible, les niveaux d'exposition ne sont pas disponibles (Ghetti et Mariani, 1956).

Aucune étude concernant l'effet chronique du naphthalène après une exposition par voie orale n'est disponible. De plus, aucune relation directe entre l'exposition à long terme au naphthalène par voie cutanée et le développement de symptômes respiratoires, cardiovasculaires, gastro-intestinaux, rénaux et oculaires n'a été montrée (Ghetti et Mariani, 1956).

## D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Les tableaux ci-après présentent dans un premier temps les VTR correspondant aux effets cancérigènes des HAP et dans un second temps les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, US-EPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada). La plupart d'entre elles figurent dans :

- la fiche toxicologique de l'INERIS sur les HAP datant de décembre 2003
- la fiche toxicologique de l'INERIS pour le naphthalène (version 4, mars 2011)
- la fiche toxicologique de l'INERIS pour le benzo-ghi perylene (version 2.2, septembre 2011)

### D-1) Effets toxiques sans seuil

#### Naphtalène (Cas n°91-20-3)

Les VTR sans seuil disponibles dans la littérature sont résumées dans le tableau suivant. Elles sont issues des bases de données internationales et reprises dans la fiche toxicologique produite par l'INERIS (version n°4 de mars 2011).

Naphtalène (Cas n°91-20-3) – effets toxiques sans seuil				
Voie d'exposition	Type d'effet critique	Observations portant sur	Valeur	Source
Inhalation	Epithélium nasal	Rat et souris	ERUi = 3,4 10 <sup>-5</sup> (µg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	OEHHA (2005)
Orale	Epithélium nasal	Rat et souris	ERUo = 0,12 (mg/kg/j) <sup>-1</sup>	OEHHA (2005)

Actuellement, nous jugeons que les valeurs disponibles pour rendre compte des effets cancérigènes du naphthalène ne sont pas adaptées. Il s'agit soit de valeurs en cours de discussion au sein de l'US-EPA (donc non validées), soit de valeurs de l'OEHHA (2005) présentées ci-dessus.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 43

### Facteur d'équivalent toxique des HAP (TEF)

La position de l'OMS dans différents ouvrages ou publications et aussi celle de l'US-EPA est de considérer que le B(a)P a valeur d'indicateur pour les HAP potentiellement cancérigènes, qui ont plus de 3 noyaux aromatiques. Différentes possibilités sont laissées à l'initiative de l'évaluateur de risque, en particulier celle de recourir à la méthode des équivalents toxiques (méthode proposée par l'OMS) que nous utiliserons dans la présente étude.

L'excès de risque unitaire (ERU) pour un composé  $n$  est donné par la relation suivante :

$$\text{ERU (composé } n) = \text{TEF (composé } n) \times \text{ERU (du BaP)}$$

Les principaux TEF existants, considérés aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation sont présentés dans le tableau ci-dessous.

	US-EPA (1993)	Baars (2000)	Hempling et al. (1997)	WHO (1998)	Nisbet et Lagoy (1992)
Acénaphène	nr	0.01	0	nr	0.001
Acénaphthylène	nr	0.001	0.01	nr	0.001
Anthracène	nr	nc	0.01	0.28-0.32	0.01
Benzo(a)anthracène	0.1	0.1	0.1	0.014-0.0145	0.1
Benzo(a)pyrène	1	1	1	1	1
benzo(b)fluoranthène	0.1	0.1	1	0.1-0.141	0.1
benzo(k)fluoranthène	0.01	0.1	0.1	0.01-0.1	0.1
benzo(g,h,i) pérylène	nr	nc	0.01	nr	0.01
Chrysène	0.001	0.01	0.01	0.001-0.1	0.01
Dibenzo(a,h)anthracène	1	1	1	0.89-5	5
Fluoranthène	nr	0.01	0.01	0.001-0.01	0.001
Fluorène	nr	nc	0	nr	0.001
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0.1	0.1	0.01	0.067-0.232	0.1
Naphtalène	nr	nc	0	nr	0.001
Phénanthrène	nr	0.001	0	nr	0.001
Pyrène	nr	0.001	nr	nr	0.001

La comparaison entre le tableau ci-dessus et le tableau de synthèse des classifications des HAP par rapport à leur cancérogénicité montre que pour l'anthracène, le benzo(g,h,i)pérylène, l'acénaphthylène, le fluoranthène, le fluorène, le phénanthrène, le pyrène et l'acénaphène, bien que classés 3 par le CIRC et/ou D par l'US-EPA, ou non classé, des TEF sont proposés par certains auteurs. Il en est de même pour le naphtalène dont les effets cancérigènes sont considérés comme non associés à ceux des autres HAP.

### D-2) Effets toxiques à seuil

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 44

<b>Acénaphène (83-29-9)</b>						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Syst. hépatique	souris	3000	<b>RfD = 0.06 mg/kg/j</b>	US EPA (1994)

<b>Anthracène (120-12-7)</b>						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Subchronique	Orale	Syst. hépatique	souris	100	MRL = 10 mg/kg/j	ATSDR (1995)
Chronique	Orale	aucun	souris	3000	<b>RfD = 0.3 mg/kg/j</b>	US EPA (1993)

<b>Benzo(g,h,i)perylene (191-24-2)</b>						
Absence de valeur cohérente						

Le RIVM a cependant établi un TDI de 0.03 mg/kg/j pour une exposition chronique par voie orale au benzo(g,h,i)perylène (1999-2000) (Baars et al., 2001). La valeur toxicologique proposée par le RIVM est issue des travaux du TPHCWG. Le TPHCWG établit une RfD de 0.03 mg/kg-day pour les aromatiques avec un nombre de carbone équivalent compris entre 16 et 35, compte tenu que le benzo(g,h,i)perylène appartient à cette catégorie, le RIVM lui applique le TDI correspondant. Cette valeur n'est pas retenue car nous jugeons les incertitudes liées à l'extrapolation du RIVM trop importantes (en particulier le TDI retenu pour la classe nC16-nC35 correspond en fait à la RfD du pyrène – voir TPHCWG, vol.3, p.11).

<b>Fluoranthène (CAS n°206-44-0) et Fluorène (CAS n°86-73-7)</b>						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Néphrotoxicité	souris	3000	<b>RfD = 0.04 mg/kg/j</b>	US EPA (1993)

<b>Naphtalène (Cas n°91-20-3)</b>						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Inhalation	Syst. respiratoire	souris	300	MRL (0.7 ppb)= 4 µg/m <sup>3</sup>	ATSDR (2005)
			souris	3000	RfC = <b>3 µg/m<sup>3</sup></b>	US EPA (1998)
			souris	1000	REL = 9 µg/m <sup>3</sup>	OEHHA (2003)
	Orale	Diminution poids corporel	rat	3000	RfD = <b>0,02 mg/kg/j</b>	US EPA (1998)

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 45

Phénanthrène (Cas n° 85-01-8)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	Cf. les travaux du TPHCWG <sup>20</sup>			TDI = 0.04 mg/kg/j	RIVM (1999-2000)

Pyrène (Cas n° 129-00-0)						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	rein	souris	3000	RfD = 0.03 mg/kg/j	US-EPA (1989)

## E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

### E-1) Effets toxiques sans seuil

Le choix des valeurs toxicologiques de référence a été réalisé conformément à la position de l'INERIS<sup>21</sup> qui est reprise ci-après.

Pour une exposition par voie orale à un mélange de HAPs, l'INERIS propose d'utiliser l'approche substance par substance (TEF), car malgré les inconvénients que présente cette approche, elle est standardisée et permet d'évaluer le risque induit par tous les types de mélanges. De plus, l'approche par mélanges (approche par comparaison des potentiels toxiques des mélanges analogues et utilisation du benzo[a]pyrène comme indicateur d'un mélange) a été essentiellement élaborée dans le cas d'une exposition par inhalation.

L'INERIS appuie l'avis de l'AFSSA (2003) et propose de retenir l'ERUo établi par le RIVM de  $0,2 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ . L'étude critique choisie par le RIVM est de bonne qualité et le modèle mathématique utilisé est bien adapté. La valeur plus prudente de l'US-EPA ( $7,2 \text{ (mg/kg/j)}^{-1}$ ) n'est donc pas retenue.

Pour une exposition par inhalation à un mélange de HAPs, l'INERIS conseille de prendre en compte le seul Excès de Risque Unitaire (ERUi) spécifique du benzo[a]pyrène, soit l'ERUi de  $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$  proposé par l'OEHHA et de lui appliquer les FET. On notera cependant que cet ERUi a été établi à partir d'étude sur les animaux et est relatif au seul cancer du poumon (à la différence de l'ERUi de l'OMS établi à partir de données humaines pour plusieurs types de cancer). Par ailleurs, la valeur de l'OMS, non retenue, correspond à la valeur guide pour l'air en Europe (Air quality guidelines for Europe, OMS, 2000).

Dans le cas où le mélange de HAPs est similaire au profil à celui de l'étude critique retenue par l'OMS, il est plus approprié de retenir, sans application des FET, la valeur de  $8,7 \cdot 10^{-2} \text{ (}\mu\text{g/m}^3\text{)}^{-1}$  proposée par l'OMS (Le benzo[a]pyrène est alors considéré comme un indicateur d'un mélange de HAPs issu de cokeries). Cependant, ce cas est rarement rencontré en raison de la forte variabilité de la composition des mélanges en HAPs, même issus d'émissions de cokeries.

Pour certains mélanges particuliers tels les gaz d'échappement d'essence et de Diesel, les goudrons des toitures, les fumées de charbon et les fumées de bois, des potentiels cancérigènes exprimés en

<sup>20</sup> Total Petroleum Hydrocarbon Criteria Working group.

<sup>21</sup> INERIS. « Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs) Evaluation de la relation dose réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance : FET) et approche par mélange. » Rapport final, 18 décembre 2003.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 46

fonction du potentiel établi pour les émissions de fours à coke (OMS, 2000) sont à prendre en compte. Ces potentiels sont présentés dans le rapport INERIS.

#### *TEF choisis et VTR associées*

L'INERIS propose d'utiliser les TEF établis par Nisbet et LaGoy en 1992 en attribuant au dibenzo[a,h]anthracène un facteur de 1 au lieu de 5. Ces TEF sont considérés comme valables aussi bien pour la voie orale que la voie inhalation.

Les valeurs toxicologiques ainsi retenues sont présentées dans le tableau suivant. Les HAP pour lesquels les valeurs sont grisées sont discutés ci-après.

	TEF retenus	ERUo (mg/kg/j)-1	ERUi (µg/m <sup>3</sup> )-1
Naphtalène	0.001	0.0002	1.10E-06
Acénaphtylène	0.001	0.0002	1.10E-06
Acénaphène	0.001	0.0002	1.10E-06
Fluorène	0.001	0.0002	1.10E-06
Phénanthrène	0.001	0.0002	1.10E-06
Anthracène	0.01	0.002	1.10E-05
Fluoranthène	0.001	0.0002	1.10E-06
Pyrène	0.001	0.0002	1.10E-06
Benzo(a)anthracène	0.1	0.02	1.10E-04
Chrysène	0.01	0.002	1.10E-05
benzo(b)fluoranthène	0.1	0.02	1.10E-04
benzo(k)fluoranthène	0.1	0.02	1.10E-04
<b>Benzo(a)pyrène</b>	<b>1</b>	<b>0.2</b>	<b>1.10E-03</b>
Dibenzo(a,h)anthracène	1	0.2	1.10E-03
benzo(g,h,i) pérylène	0.01	0.002	1.10E-05
indéno(1,2,3-c,d)pyrène	0.1	0.02	1.10E-04

Pour un certain nombre de HAP (acénaphène, acénaphtylène, fluorène, fluoranthène, phénanthrène, anthracène, pyrène et benzo(g,h,i)pérylène), malgré l'absence de preuve sur leurs effets éventuellement cancérigènes (et les classements sur leur cancérogénicité associés), la position de l'INERIS suivie par BURGEAP de prendre en compte des TEF et des valeurs toxicologiques par voie orale, inhalation ou cutanée est fortement discutable et présente des incertitudes qu'il conviendra de souligner si nécessaire dans l'évaluation du risque sanitaire.

Pour le cas particulier du naphtalène, l'application des recommandations de l'INERIS n'est pas conforme à ce que l'on sait de la cancérogénicité du naphtalène (différente de celle des autres HAP) et de son caractère non génotoxique. Cependant, en l'absence de valeur de référence validée pour cette substance, afin de ne pas sous-estimer le risque cancérigène, les ERUo et ERUi présentés dans le tableau ci-dessus sont retenus. Cette approche fortement discutable devra être discutée dans les incertitudes de l'évaluation du risque sanitaire compte tenu en particulier du caractère volatil du naphtalène par rapport aux autres HAP considérés.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 47

On notera en particulier pour le naphthalène, que l'ERUi calculé à partir du TEF retenu par l'INERIS, de  $1,1 \cdot 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$  est moins pénalisant (d'un facteur 30) que la valeur proposée par l'OEHHA sur laquelle aucune information n'est disponible.

## E-2) Effets toxiques à seuil

### Acénaphène (83-29-9)

La VTR retenue pour les effets toxiques non cancérogènes pour des expositions chroniques par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.06 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC de l'acénaphène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,06 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale.

La RfC ainsi calculée serait de 72  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'adulte et 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'enfant de moins de 7 ans.

### Anthracène (120-12-7)

La VTR retenue pour les effets toxiques non cancérogènes pour des expositions chroniques par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.3 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC de l'anthracène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,3 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 360  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'adulte et 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'enfant de moins de 7 ans.

### Fluoranthène (CAS n°206-44-0) et Fluorène (CAS n°86-73-7)

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérogènes du fluoranthène et du fluorène par ingestion est celle proposée par l'US-EPA : RfD de 0.04 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

Les RfC du fluoranthène et du fluorène ne sont pas disponibles dans la littérature. Elles peuvent être dérivées à partir de la RfD (0,04 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'adulte et 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'enfant de moins de 7 ans.

### Naphtalène (Cas n°91-20-3)

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérogènes du naphthalène par ingestion est celle proposée par l'US-EPA de 0.02 mg/kg/j.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques non cancérogènes du naphthalène par inhalation est celle proposée par l'US-EPA de 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette valeur est du même ordre de grandeur que celle proposée par l'ATSDR en 2005. Bien que le facteur de sécurité appliqué paraisse trop élevé, elle est retenue à titre de prudence afin de prendre en compte les travaux en cours sur les effets cancérogènes du naphthalène.

### Phénanthrène (CAS n°85-01-8)

En l'absence d'autres valeurs spécifiques, compte tenu que l'absorption par voie cutanée du phénanthrène est importante au regard des autres HAP le TDI de 0.04 mg/kg/j est retenu, malgré les incertitudes importantes sur l'extrapolation réalisée par le RIVM.

La RfC du phénanthrène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,04 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 48

1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'adulte et 24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'enfant de moins de 7 ans.

On notera que ces valeurs sont entachées d'une incertitude importante.

#### **Pyrène (CAS n° 129-00-0)**

En l'absence d'autres valeurs spécifiques, nous retiendrons pour les effets chroniques non cancérogènes par ingestion du phénanthrène une VTR de 0,03 mg/kg/j, seule valeur disponible pour des durées d'exposition chroniques.

La RfC du pyrène n'est pas disponible dans la littérature. Elle peut être dérivée à partir de la RfD (0,03 mg/kg/j), pour les adultes et enfants en prenant les paramètres présentés dans le chapitre 1 et un taux d'absorption de 40 % par voie orale. La RfC ainsi calculée serait de 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'adulte et 18  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'enfant de moins de 7 ans.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 49

## METAUX ET METALLOÏDES

### Mercure (Hg)

#### A) Propriétés intrinsèques

##### *Propriétés physico-chimiques et origine*

Le mercure est le seul métal à se présenter sous forme liquide dans les conditions normales de température et de pression, conditions pour lesquelles il émet spontanément des vapeurs. La masse molaire du mercure métallique est de 200,59 g/mol, sa densité est de 13,55 et son point de fusion est de -38,9°C. Sa densité de vapeur est de 6,93.

Le mercure peut se présenter sous différentes formes :

- Le **mercure sous forme métallique (HgII) ou mercure élémentaire** (CAS n°7439-97-6) qui est toxique uniquement par inhalation. Le mercure est le seul métal pour lequel il peut y avoir une exposition environnementale significative à la forme élémentaire. Dans l'air, on va trouver le mercure essentiellement sous forme métallique. Il est à noter que ce métal a un fort potentiel de bioaccumulation, c'est-à-dire qu'il se fixera facilement dans les tissus lipidiques des êtres vivants.
- Le **mercure inorganique Hg** : essentiellement chlorure de mercure (CAS n°7487-94-7), sulfure de mercure (CAS n°1344-48-5), oxyde de mercure (CAS n°21908-53-2). Il se forme dans les sols par réduction du HgII et est toxique par voie orale et inhalation. Les composés inorganiques du mercure sont très peu volatils.
- Le **mercure organique** : essentiellement MeHg (méthylmercure, CAS n° 22967-92-6) mais aussi EtHg ou (Me)<sub>2</sub>Hg. Il peut être formé par processus microbien à partir du mercure métallique. Sous cette forme, le mercure est toxique par voie orale et inhalation. L'acidification du milieu augmente le taux de méthylation, en particulier chez les organismes aquatiques (poissons, mollusques..).

La méthylation du mercure inorganique peut se faire de façon abiotique (en particulier dans les sédiments) ou biotique, grâce à l'action de bactéries ou d'organismes aquatiques. On trouve ainsi de 0,01 à 10% de mercure sous forme méthylée dans l'eau et les sédiments, environ 15% dans les algues, de 20 à 50% dans les invertébrés et de 80 à 99% dans les poissons.

##### *Voies d'exposition et absorption*

L'air ambiant et les amalgames dentaires sont les sources principales d'exposition aux vapeurs de mercure, alors que c'est la ration alimentaire qui est la source d'exposition aux composés du méthyle-mercure. L'exposition au méthyle-mercure aéroporté est de 2 ou 3 ordres de grandeur au-dessous de la prise quotidienne par la nourriture et, dans ce contexte, sera considérée comme insignifiante.

Le tableau suivant résume les taux d'absorption mis en évidence par les principales études sur l'absorption des différentes formes du mercure.

<i>Voie d'exposition</i>	<b>Mercure élémentaire</b>	<b>Mercure inorganique</b>	<b>Mercure organique</b>
<b>Orale</b>	< 0,01% (homme) * nd **	7 - 15% (homme) ** jusqu'à 10 % (homme) *	95% (homme) ** > 90 % (homme) *
<b>Inhalation</b>	75 - 85% (homme) **	40% (animal)**	-

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 50

	80 % (homme) *		
Cutanée	2,6% (homme) **	faible	75% (animal) **

\* source INRS, fiche biotox

\*\* source INERIS, fiche de mai 2005

nd \*\*: la valeur affichée dans le tableau de synthèse de l'INERIS fait vraisemblablement référence à une forme inorganique (chlorure mercurique)

## B) valeurs guides

### Valeurs guides dans l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) présente une limite de qualité des eaux pour la consommation humaine de 1 µg/l pour le mercure.

La concentration limite dans les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable issue de ce même texte réglementaire est de 1 µg/l.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) ne présente pas de valeur réglementaire pour cette substance dans les eaux de baignade.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) propose une valeur guide pour les eaux potables de 6 µg/l pour les formes inorganiques de mercure.

### Valeurs guides dans l'air

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) propose une valeur guide de 1 µg/m<sup>3</sup> pour les vapeurs de mercure inorganique pour une exposition moyenne annuelle. L'OMS précise cependant que des effets sur le système immunitaire ne peuvent être exclus à de plus faibles concentrations.

## C) Profil toxicologique

### Classement

Le symbole classant le mercure métal et ses composés inorganiques est T (toxique).

Les phrases de risque qui les représentent sont : **R23** (toxique par inhalation), **R33** (danger d'effet cumulatif)

### Effets cancérigènes

L'IARC (1997) a placé le **mercure métal et les composés inorganiques du mercure** dans le **groupe 3**, et le **méthylmercure** dans le **groupe 2B**.

Le **mercure élémentaire** (inorganique) est classé **D**, « preuves non adéquates chez l'homme et preuves insuffisantes chez l'animal » par l'US EPA. Le **chlorure mercurique** et le **méthylmercure** sont classés **C** « Preuves inadéquates chez l'homme et preuves limitées chez l'animal » par l'US EPA en 1995.

### Effets Mutagènes

Aucun des composés du mercure n'est classé mutagène par l'Union Européenne.

### Effets reprotoxiques

Aucun des composés du mercure n'est classé reprotoxique par l'Union Européenne.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 51

Autres effets toxiques

• **Mercuré élémentaire** : L'organe cible majeur est le système nerveux central. Des expositions à long terme et à faibles concentrations ( $25-80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) provoquent des tremblements, de l'irritabilité, une faible concentration intellectuelle et des troubles de la mémoire. On observe également une diminution de la capacité psychomotrice et de la neurotransmission. L'exposition à long terme au mercure élémentaire montre que le rein est également un organe cible. En cas de contact avec des plaies ouvertes, le mercure, à des concentrations très élevées, peut provoquer des inflammations locales.

• **Mercuré inorganique** : Le rein est l'organe cible après exposition par voie orale au mercure inorganique. En milieu industriel, l'exposition au mercure inorganique est associée à une protéinurie, et parfois à une néphropathie qui pourrait être d'origine immunitaire. Pour les voies d'absorption par contact cutané et par inhalation, les informations ne sont pas disponibles.

• **Mercuré organique** : La voie orale est la voie d'absorption principale du mercure organique et le cerveau est le principal organe cible. Les fonctions sensorielles telles que la vue et l'ouïe aussi bien que les zones du cerveau impliquées dans la coordination motrice sont généralement affectées.

**D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence**

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancer.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada) et tiennent compte des valeurs réglementaires appliquées en France. La plupart d'entre elles figurent dans la fiche toxicologique de l'INERIS (INERIS-DRC-00-N°25590–N°99DF389, version 4, septembre 2010).

Mercuré – effets toxiques à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	cible	espèce	Facteur de sécurité	valeur	source
<b>Mercuré élémentaire</b>						
chronique	Inhalation	Système nerveux	homme	300	REL = $0,03 \mu\text{g}/\text{m}^3$	OEHHA (2008)
				30	RfC = $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$	US EPA (1995)
				30	MRL = $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	ATSDR (1999)
				30	TCA = $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$	RIVM (2001)
<b>Mercuré inorganique (* : chlorure mercurique)</b>						
chronique	Ingestion	rein	rat	1000	RfD = $3 \cdot 10^{-4} \text{mg}/\text{kg}/\text{j} *$	US EPA (1995)
	Ingestion	rein	rat	100	TDI = $2 \cdot 10^{-3} \text{mg}/\text{kg}/\text{j} *$	RIVM (2001)
<b>Mercuré Organique (méthyl mercure : *, acétate de phényl mercure : **)</b>						
chronique	Orale	Effet sur le développement	enfant	10	TDI = $1 \cdot 10^{-4} \text{mg}/\text{kg}/\text{j} *$	RIVM (2000)
		Effet sur le	enfant	4,5	MRL =	ATSDR

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 52

		développement			$3 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg/j}^*$	(1999)
		Syst. nerveux	homme	10	RfD = $10^{-4} \text{ mg/kg/j}^*$	US EPA (2001)
		Syst. rénal	rat	100	RfD = $8 \cdot 10^{-5} \text{ mg/kg/j}^{**}$	US EPA (1996)
		-	homme	-	DJT = $4,7 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg/j}^*$	AFSSA 2002)
<b>Mercure Total</b>						
chronique	Orale	-	-	-	DHT = $5 \cdot 10^{-3} \text{ mg/kg/sem.}$	OMS (2004)
		-	-	-	DJT = $7,1 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg}$	AFSSA (2002)

### E) Valeurs toxicologiques de référence retenues pour les effets chroniques

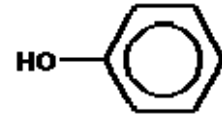
La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes** du mercure par **inhalation (élémentaire sous forme de vapeurs et inorganique sous forme de poussières)** est celle établie par l'ATSDR à  $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Cette valeur est jugée suffisante pour protéger le sous groupe le plus sensible (foetus et enfants), elle est légèrement plus faible que celle établie par l'US-EPA avec un degré de confiance moyen.

La VTR chronique retenue pour les effets toxiques **non cancérigènes** du mercure par **ingestion** est celle établie par l'US EPA, soit  $3 \cdot 10^{-4} \text{ mg/kg/j}$ . Cette valeur a été établie à partir d'études chez le rat, après ingestion de **chlorure mercurique**, elle correspond donc à la toxicité par ingestion des formes **inorganiques du mercure**, qui sont absorbées par la voie digestive, en tenant compte de plus d'effets très sensibles (effets immunitaires : glomérulonéphrite auto-immune), elle est donc très protectrice. Elle ne concerne pas le mercure métal, qui n'étant pas absorbé par la voie digestive n'a pas, sur le principe à être pris en compte selon cette voie d'absorption.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 53

**ORGANO-SOLUBLES (cétones, aldéhydes, phénols, éthers de glycol, alcools, etc.)**

**Phénol (CAS N°108-95-2)**



### **A) Propriétés intrinsèques de la substance**

Le phénol (CAS n°108-95-2) se trouve sous forme d'un solide cristallisé dans les conditions ambiantes, la densité du liquide à 20°C est de 1,049. Dégageant une odeur particulière à la fois acre et douçâtre, le seuil olfactif du phénol varie entre 0,006 et 7,9 ppm (INERIS, 2005), l'INRS, 2005 donne une limite olfactive de l'ordre de 0.04 ppm soit de 0,15 mg/m<sup>3</sup> (1ppmV = 3,8 mg/m<sup>3</sup>).

Le phénol est principalement utilisé en synthèse organique. Il constitue la matière première dans la fabrication des résines phénoliques, de nylon, etc. Il est également utilisé pour la désinfection, dans la fabrication de dissolvants pour peintures et vernis, dans la fabrication de laques, de peintures, de caoutchouc, d'adhésifs, de durcisseurs, de matériaux isolants et dans l'industrie pharmaceutique.

Le phénol est rangé parmi les COV (composés organiques volatils), sa solubilité dans l'eau est de 8.10<sup>4</sup> mg/l à 25°C, la pression de vapeur est égale à 47 Pa à 25°C et sa constante de Henry est égale à 7,7.10<sup>-5</sup> kPa.m<sup>3</sup>/mol. Sa capacité d'adsorption est modérée (log KOW=1.46 et log KOC=2.43).

#### Dégradation

Le phénol se dégrade tant en conditions aérobies qu'anaérobies.

#### Voies d'exposition et absorption

Le phénol pénètre rapidement dans l'organisme par toutes les voies, la voie cutanée étant prépondérante. Chez l'homme, les études ont montré que le phénol est absorbé à 90% par voie orale, environ 70 à 80% par voie cutanée et environ 60 à 88 % du phénol inhalé est retenu dans l'organisme (RIVM, 2001).

### **B) valeurs guides**

#### Valeurs guides dans l'eau

Le décret 2007-49 (et articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique) ne présente pas de limite de qualité des eaux pour la consommation humaine pour le phénol ou l'indice phénol.

La concentration limite dans les eaux brutes destinées à produire de l'eau potable issue de ce même texte réglementaire est de 100 µg/l pour l'indice phénol.

Le décret n°2003-462 du 21 mai 2003 relatif aux dispositions réglementaires des parties I, II et III du code de la santé (articles 1332, annexe 13-5) propose une valeur guide de 5 µg/l pour l'indice phénol dans les eaux de baignade précisant que les eaux ne devront pas présenter d'odeurs.

L'OMS (Guidelines for drinking water quality, 2011) ne propose pas de valeur guide pour les eaux potables du phénol ou de l'indice phénol.

#### Valeurs guides dans l'air

L'OMS (Air quality Guidelines for Europe, 2000) ne propose pas de valeur guide dans l'air.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 54

## C) Profil toxicologique

### Classement

Les symboles classant le phénol sont **T** (toxique), **Xn** (nocif) et **C** (corrosif).

Les phrases de risque qui le représentent sont : **R23/24/25** (toxique par inhalation, par le contact avec la peau, par ingestion), **R48/20/21/22** (risques d'effets graves pour la santé lors d'expositions prolongées par inhalation et ingestion), **R34** (provoque des brûlures).

### Effets cancérogènes

Le phénol est classé **D** par l'US EPA (preuves insuffisantes chez l'homme et l'animal) et **groupe 3** par le CIRC-IARC (ne peut être classé pour sa cancérogénicité pour l'homme).

Le phénol n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets cancérogènes par l'UE (absence de classement).

### Effets Mutagènes

Le phénol est classé mutagène **catégorie 3** (substance préoccupante pour l'homme en raison d'effets mutagènes) par l'Union Européenne (JOCE, 2004).

### Effets reprotoxiques

Le phénol n'est pas considéré en l'état actuel des connaissances comme présentant des effets reprotoxiques par l'UE (absence de classement).

### Autres effets toxiques

Plusieurs études réalisées en milieu professionnel rapportent des cas d'intoxication chronique au phénol connue sous le nom de marasme phénique. Chez un salarié exposé pendant 13 ans à des vapeurs de phénol, les symptômes observés étaient une anorexie, une perte de poids, des céphalées, de vertiges, une hyper-salivation et des urines teintées en noires (Merliss, 1972). Dans les cas sévères, on note une atteinte hépatique et rénale pouvant aller jusqu'à la mort.

Une étude (Baker et al 1978 repris par ATSDR, 1998) menée sur plusieurs dizaines de personnes ayant durant plusieurs semaines été exposées à des concentrations dans l'eau correspondant à des doses de 0.14 à 3.4 mg/kg/j a montré l'augmentation de symptômes gastro-intestinaux (nausées, rots).

## D) Relation Dose-réponse et valeurs toxicologiques de référence

Les relations doses – réponses se traduisent par des valeurs toxicologiques de référence (VTR) dont la définition est donnée dans le chapitre 1 du présent document. Le tableau ci-après présente les VTR correspondant aux effets toxiques hors cancers.

Ces VTR sont issues d'une recherche, actualisée régulièrement auprès des principales bases de données disponibles (ATSDR, OMS, USEPA, OEHHA, RIVM, Santé Canada).

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 55

Phénol (Cas n°108-95-2)- effets toxiques à seuil						
Exposition	Voie d'exposition	Organe critique	Observations portant sur	Facteur de sécurité	Valeur	Source
Chronique	Orale	poids maternel et ossification	rats	300	RfD = <b>0,3 mg/kg/j</b>	USEPA (2002)
		reproduction	rats	1000	TDI = 0,04 mg/kg/j	RIVM (2000)
		Reins	rats	100	DJA = 0,12 mg/kg/j	Santé Canada (1997)
Chronique	Inhalation	hépatiques, pulmonaires, rénaux et cardio-vasculaires	Singes, rats, souris	1000	pTCA = 0,02 mg/m <sup>3</sup>	RIVM (2000) prov
		Foie, système nerveux	Singes, rats, souris	100	REL = <b>0,2 mg/m<sup>3</sup></b>	OEHHA (2003)

### E) Valeurs toxicologiques de référence retenues

La valeur toxicologique de référence pour les effets hors cancer par ingestion de phénol retenue est la VTR définie par l'US-EPA de 0,3 mg/kg/j, sur la base des critères listés au paragraphe méthodologique (circ. DGS et construction par Benchmark dose de la RfD par l'US-EPA).

Compte tenu du caractère provisoire de la VTR du RIVM, la valeur toxicologique de référence pour les effets par inhalation de phénol retenue est celle proposée par l'OEHHA, soit 200 µg/m<sup>3</sup>. Cette valeur ne permet pas de se prémunir contre les éventuelles nuisances olfactives dont la limite de détection est variable et comprise entre 22 et 150 µg/m<sup>3</sup>, une discussion dépassant le seul critère des effets toxiques du phénol devra donc être conduite.

Mise à jour ponctuelle	
Relation dose – réponse	
31 décembre 2011	Page : 56

# **- Annexe 6 - Hypothèses et détails des calculs des risques sanitaires**

<b>1 Inhalation de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain pied ou cave sur dallage</b>	<b>70</b>
<b>2 Inhalation de vapeurs dans l'air extérieur .....</b>	<b>75</b>

# 1 Inhalation de vapeurs dans l'air intérieur - bâtiment de plain pied ou cave sur dallage

## Choix de l'outil de modélisation

La modélisation des transferts de l'air des sols vers l'air intérieur est associée au développement d'outils relativement récents (début des années 90). Ces outils sont très peu nombreux, les principaux utilisés en France qui intègrent et le transport diffusif et le transport convectif sont VOLASOIL<sup>10</sup> (Waitz et al, 1996) et le modèle dit de « Johnson and Ettinger »<sup>11</sup> (Johnson and Ettinger, 1991). D'autres outils plus simplifiés comme HESP® ne sont plus utilisés car ils ne considèrent que le flux diffusif à travers le dallage et peuvent donc dans certaines configurations sous-estimer le transfert.

VOLASOIL qui prend en compte un écoulement à travers les fissures des bétons de type POISSEUILLE, est utilisable pour des bâtiments avec vide sanitaire, il n'est pas en l'état adapté à la modélisation des transferts vers un bâtiment de plain pied. Johnson and Ettinger qui prend en compte une fissuration périphérique du dallage et un écoulement de type DARCY à travers ces fissures, est utilisable pour des bâtiments de plain pied.

Compte tenu du projet étudié (bâtiment de plain pied), le modèle de Johnson et Ettinger a été retenu.

## Description du modèle utilisé

La modélisation des expositions aux vapeurs est conduite sur la base des équations de Johnson & Ettinger (1991), dont la description est donnée ci-dessous. Les équations présentées dans la norme ASTM E 1739-95 et dans le logiciel intégré RISC v 4.0 (octobre 2001, Distribué par Waterloo hydrogeologic, développé par Lynn R.Spence et BP oil International) ont été réécrites par nos soins sous excel, les phénomènes considérés sont synthétisés ci-après.

La diffusion (équations de Millington and Quirck et équation de Fick) entraîne les polluants à travers le sol jusqu'à la zone d'influence du bâtiment où le phénomène convectif intervient. Le mouvement convectif, dû à une différence de pression entre l'air du sol et l'air intérieur des bâtiments (occasionnée par la combinaison du vent, du chauffage et des mécanismes de ventilation), transporte les vapeurs par les fissures des fondations et de la dalle béton.

La concentration dans l'air intérieur en régime permanent (source infinie) est calculée à partir de la concentration dans l'air des sols à la source comme suit:

$$C_{\text{int}} = \alpha \cdot C_{\text{vs}} \quad (1)$$

avec

$$\alpha = \frac{\left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] \times \left[ \exp\left( \frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) \right]}{\left[ \exp\left( \frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) + \left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right] + \left[ \frac{D_{\text{eff}} \times A_B}{Q_{\text{sol}} \times L_T} \right] \times \left[ \exp\left( \frac{Q_{\text{sol}} \times L_{\text{crack}}}{D_{\text{crack}} \times A_{\text{crack}}} \right) - 1 \right] \right]} \quad (2)$$

<sup>10</sup> Waitz *et al.*, 1996. The VOLASOIL risk assessment model based on CSOIL for soils contaminated with volatile compounds. M.F.W. Waitz; J.I. Freijer; F.A. Swartjes. May 1996. RIVM. Report n° 7581001.

<sup>11</sup> Johnson PC and Ettinger RA, 1991. Heuristic model for predicting the intrusion rate of contaminant vapors into buildings. Env. Sci. Technol. 25, p 1445-1452

$D_{eff}$  : coefficient de diffusion effectif (cm<sup>2</sup>/s) calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des différents horizons de sols entre la source de pollution et le dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après  
 $C_{vs}$  : concentration de vapeur dans la source (g/cm<sup>3</sup>)  
 $Q_{sol}$  : débit de gaz en provenance du sol dans le bâtiment (cm<sup>3</sup>/s), calculé à partir de la différence de pression et de la perméabilité des sols sous dallage  
 $D_{crack}$  : coefficient de diffusion effectif dans les fondations (cm<sup>2</sup>/s), calculé à partir de la porosité et de la teneur en eau des sols sous dallage par application des équations de Millington et Quirck détaillées ci-après  
 $A_{crack}$  : surface de fissures à travers lesquelles les vapeurs rentrent dans le bâtiment (cm<sup>2</sup>), correspondant au produit entre le taux de fissuration et la surface du dallage  
 $L_{crack}$  : épaisseur de la dalle (cm)  
 $A_B$  : surface des bâtiments (cm<sup>2</sup>)  
 $L_T$  : distance de la source au dallage (cm)  
 $Q_b$  : Débit de renouvellement d'air du bâtiment (m<sup>3</sup>/s), calculé à partir du nombre d'échanges d'air par jour et du volume du bâtiment

Le débit  $Q_{sol}$  est calculé à partir de l'équation suivante :

$$Q_{sol} = \frac{2 \times \pi \times (\Delta P) \times k_v \times X_{crack}}{\mu \ln[2 \times Z_{crack} / r_{crack}]} \quad (3)$$

avec  $\Delta P$  : gradient de pression entre le bâtiment et l'extérieur (g/cm<sup>2</sup>-s<sup>2</sup>)  
 $k_v$  : perméabilité intrinsèque des sols (cm<sup>2</sup>)  
 $\mu$  : viscosité des vapeurs (g/cm-s)  
 $X_{crack}$  : longueur du cylindre représentant la fissure, correspondant au périmètre du bâtiment considéré  
 $r_{crack}$  : rayon équivalent de la fissure, calculé par le rapport entre (fraction des fissures dans le dallage x surface du dallage) et le périmètre du bâtiment considéré  
 $Z_{crack}$  : profondeur des fissures sous le sol, correspondant à l'épaisseur du dallage considéré  
 $\pi$  : 3.14159

Le terme en exponentiel dans l'équation (2) suivant :

$$\left( \frac{Q_{sol} \times L_{crack}}{D_{crack} \times A_{crack}} \right)$$

représente le nombre de Péclet Equivalent pour le transport à travers les fondations du dallage, quand ce terme tend vers l'infini, la résolution de l'équation (2) approche :

$$\alpha = \frac{\left[ \frac{D_{eff} \times A_B}{Q_B \times L_T} \right]}{\left[ \left[ \frac{D_{eff} \times A_B}{Q_{sol} \times L_T} \right] + 1 \right]}$$

### Calcul des coefficients de diffusion

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective,  $D_{sa}$  dans l'air et  $D_w$  dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirk (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \tau_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau}/H) \times \theta_{eau} \times \tau_{eau}^{-1} \quad (2)$$

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents.

le coefficient de tortuosité ( $\tau^{-1}$ ) est défini de la manière suivante : dans l'air du sol :  $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$  et dans la phase aqueuse du sol :  $\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$ , avec :

H constante de Henry adimensionnelle,

- $\theta$  porosité totale,  
 $\theta_{\text{eau}}$  teneur en eau du sol,  
 $\theta_{\text{eau}}$  teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol est calculée correspond à la valeur minimale issue des équations suivantes :

$$C_{vs} = (C_t \times \rho_b \times K_H) / (\theta_a \times K_H + \theta_w + \rho_b \times F_{oc} \times K_{oc})$$

*Equation utilisée quand  $C_w < \text{Solubilité effective}$*

- Avec  $C_t$  : concentration en polluant dans le sol (mg/kg)  
 $\rho_b$  : densité du sol (g/cm<sup>3</sup>)  
 $F_{oc}$  : fraction de carbone organique dans le sol (g co/g sol)  
 $K_{oc}$  : coefficient de partition du carbone organique (mg/l/g)  
 $K_H$  : constante de Henry ((mg/l)/(mg/l))  
 $\theta_a$  : teneur en air dans les sols (cm<sup>3</sup> d'air/ cm<sup>3</sup> de sol)  
 $\theta_w$  : teneur en eau dans les sols (cm<sup>3</sup> d'eau/ cm<sup>3</sup> de sol)

$$C_{wi} = X \cdot S \quad \text{et} \quad C_{\text{eaudusol}} = \frac{C_{\text{airdusol}}}{H}$$

*Equation utilisée en présence de phase résiduelle dans les sols ( $C_w > \text{Solubilité}$ )*

- Avec  $C_{wi}$  : concentration de la substance i dans l'eau du sol (mg/l),  
 $H$  : constante de Henry (-)  
 $X$  : fraction molaire de la substance i dans le mélange (-)  
 $S$  : solubilité de la substance i (mg/l)

### Choix des paramètres

Pour l'exposition dans l'air intérieur les paramètres suivants ont été retenus.

#### Les paramètres des sols et bâtiments

- fraction de carbone organique dans les sols au niveau de la source de pollution prise en compte est de 0,5 %, elle correspond à la valeur extraite de la base de données du logiciel RISC 4.0. pour des terrains sablo-limoneux ;
- dans les remblais sablo-limoneux présents entre 0 et 1 mètre de profondeur et en particulier au niveau de la source de pollution, les teneurs en air et en eau suivantes sont retenues  $\theta_a$  : 10 %  
 $\theta_w$  : 15 % en référence à la base de donnée du logiciel RISC 4.0 pour des terrains sablo-limoneux ;
- densité du sol  $\rho_b$  : 1,7 g/cm<sup>3</sup> ;
- le coefficient de diffusion  $D_{\text{eff}}$  dans les sols est calculé à partir de :
  - o coefficients de diffusion dans l'eau et l'air,
  - o la constante de Henry,
  - o les porosités et teneurs en gaz et eau ci-dessus ;
- le coefficient de diffusion  $D_{\text{eff}}$  dans les structures (béton et fondations) est calculé à partir d'une porosité totale de 12 %<sup>12</sup>, constituée de 5 % d'air et de 7% d'eau ;
- la profondeur de la structure sous le niveau du sol : 0,05 m (correspondant à l'épaisseur de la dalle) ;
- la distance de la source-sol au dallage  $L_t$  a été prise égale à :

<sup>12</sup> Cette valeur est déterminée pour un béton ordinaire de rapport E/C = 0,48, d'après « Caractérisation des pâtes de ciments et des bétons – Méthodes, analyse, interprétation ». Véronique BAROGHEL-BOUNY. LCPC, 1994.

- 1 cm pour l'ensemble des substances excepté le mercure. Le modèle considéré ne tient pas compte de l'évolution de la source de pollution et des flux en fonction du temps (source infinie). Mais, compte tenu de la faible volatilité des substances considérées et des paramètres de sols peu favorables aux transferts de vapeur, nous retiendrons la profondeur de 1 cm par défaut. Ce choix et ses incidences seront discutés dans les incertitudes ;
- 1 m pour le mercure. En effet les concentrations maximales en mercure ont uniquement été observées au droit des couches de cendres de pyrites situées à 1 m de profondeur minimum.
- surface des fissures du béton  $A_{crack}$  :  $2 \cdot 10^{-4}$  (valeur par défaut proposée par l'US-EPA et le RIVM) ;
- la différence de pression entre l'air des bâtiments et l'air du sol  $\Delta P$  :  $40 \text{ g/cm-s}^2$  (valeur conservatoire définie par Johnson et Ettinger). Cette différence de pression varie dans la littérature de 0 à 20 Pa (1 Pa = 10 g/cm-s<sup>2</sup>). L'effet du vent et de la température (chauffage) induit des variations de pression comprises typiquement entre 4 et 5 Pa (Loureiro et al. 1990 ; Grimsrud et al. 1983). Johnson et Ettinger considère qu'un  $\Delta P$  de 4 Pa est conservatoire. On notera qu'en présence d'un vide sanitaire, le RIVM préconise de prendre une différence de pression entre le vide sanitaire et le sol de 1 Pa (report n°711701021 de mars 2001, Evaluation and revision of the CSOIL parameter set) ;
- la perméabilité des sols sous dallage a été estimée à  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$  (sols sablo-limoneux), Cette hypothèse sera discutée dans le paragraphe incertitude ;
- la perméabilité intrinsèque est obtenue à partir de la formule ci-dessous :

$$k_i = \frac{K \times \mu}{\rho \times g}$$

avec  $\mu$  : viscosité dynamique de l'eau ( $1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$ )  
 $\rho$  : masse volumique de l'eau ( $1\,000 \text{ kg/m}^3$ )  
 $g$  : accélération de la pesanteur ( $\text{m/s}^2$ )

La valeur ainsi obtenue est de  $1 \cdot 10^{-8} \text{ cm}^2$ .

- la taille des espaces clos retenues sont les suivantes :
  - garages : superficie de  $6 \text{ m}^2$  (3 m sur 2 m) et un volume de  $15 \text{ m}^3$  (hauteur sous plafond de 2,5 m) ; le périmètre associé a été pris égal à 10 m ;
  - logement (studio), bureau ou local commercial : superficie de  $25 \text{ m}^2$  (5 m sur 5 m) et un volume de  $62,5 \text{ m}^3$  (hauteur sous plafond de 2,5 m) ; le périmètre associé a été pris égal à 20 m ;
- le taux de ventilation retenu pour les habitations est de  $0,5 \text{ h}^{-1}$  ou encore  $12 \text{ j}^{-1}$ , valeur habituelle rencontrée dans les modèles intégrés de calcul de risque<sup>13</sup>. Dans l'arrêté du 24 mars 1982, le taux de renouvellement d'air minimal moyen modulé en fonction des pièces de l'habitat est de 0.5 vol/h (soit  $12 \text{ j}^{-1}$ ). L'arrêté modifié du 28 octobre 1983 permet dans le cas où un dispositif mécanique module automatiquement le renouvellement d'air d'abaisser la ventilation moyenne à 0.3 vol/h (soit  $7,2 \text{ j}^{-1}$ ) ;
- le taux de ventilation conservatoire retenu pour les bureaux (usage tertiaire) est de  $1 \text{ h}^{-1}$  ou encore  $24 \text{ j}^{-1}$ . Cette valeur est retenue compte tenu des usages de ces lieux de travail en référence à l'article R232-5-3 du décret n°84-1093 qui donne pour les bureaux ou locaux sans travail physique une aération de  $25 \text{ m}^3/\text{h}/\text{occupant}$  (soit pour un espace de  $25 \text{ m}^3$  par travailleur, le taux de ventilation serait de  $1 \text{ h}^{-1}$  ou encore  $24 \text{ j}^{-1}$ ) ;

<sup>13</sup> Le rapport RIVM/CLARINET (report 711701030/2002, « Variation in calculated human exposure. Comparaison of calculations with seven European human exposure models ») montre que 3 modèles prennent en compte un renouvellement d'air de  $0,5 \text{ h}^{-1}$ , deux d'entre eux prennent un taux de  $1,25 \text{ h}^{-1}$ , et l'un d'entre eux prend un taux de  $0,3 \text{ h}^{-1}$ .

- dans les garages fermés, nous considérerons un taux de ventilation faible de 0,26 changements d'air par heure ( $0,26\text{ j}^{-1}$ ).

## Inhalation de vapeurs dans l'air extérieur

Dans l'air extérieur, la modélisation des expositions est conduite sur la base des équations de Millington and Quirck et de l'équation de Fick. La dilution par le vent est ensuite calculée dans une boîte de taille fixée. Comme pour l'air intérieur, la source de pollution est considérée comme infinie.

Le calcul des concentrations diluées par le vent est effectué à l'aide de l'équation générique utilisée dans le logiciel RISC (modèle boîte) :

$$C_{i,air-ext} = \frac{F}{v} \cdot \frac{L}{H}$$

avec  $C_{i, air-ext}$  : concentration moyenne dans l'air extérieur ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à la hauteur de l'organe respiratoire (H)  
 F : flux de polluant à l'interface sol/air extérieur ( $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$ )  
 L : longueur de la zone de mélange (correspondant à la longueur de la zone polluée) (en m)  
 v : vitesse moyenne du vent (m/s).  
 H : hauteur de la zone de mélange (m) correspondant à la hauteur de l'organe respiratoire de la cible

Le flux vers l'air extérieur est calculé à partir de l'équation de FICK (flux diffusif seul) suivante :

$$\phi(g / m^2 - j) = D_{eff} * \frac{\partial C}{\partial z}$$

où :

- $dC/dz$  : gradient de concentration ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{m}$ ) entre la concentration à la source (la concentration dans les gaz à l'équilibre avec les sols pollués ou les eaux de la nappe polluée).
- le coefficient de diffusion effectif ( $D_{eff}$  en  $\text{m}^2/\text{j}$ ) dans le sol prend en considération à la fois la diffusion dans la phase aqueuse et dans la phase gazeuse<sup>14</sup> est donné ci-après.

Le coefficient de diffusion réel (appelé diffusion effective,  $D_{sa}$  dans l'air et  $D_w$  dans l'eau) est calculé par la solution analytique développée par Millington and Quirck (1981) à partir de la porosité des sols, de la teneur en air et en eau et des coefficients de diffusion de la substance dans l'air et dans l'eau.

$$D_{sa} = D_{air} \times \theta_{air} \times \tau_{air}^{-1} \quad (1)$$

$$D_w = (D_{eau} / H) \times \theta_{eau} \times \tau_{eau}^{-1} \quad (2)$$

Le coefficient de diffusion dans le milieu poreux est ensuite défini comme la somme des deux termes précédents. Le coefficient de tortuosité ( $\tau^{-1}$ ) est défini de la manière suivante :

dans l'air du sol :  $\tau_{air}^{-1} = \theta_{air}^{7/3} / \theta^2$  et dans la phase aqueuse du sol :  $\tau_{eau}^{-1} = \theta_{eau}^{7/3} / \theta^2$ , avec :

H constante de Henry adimensionnelle,  
 $\theta$  porosité totale,

<sup>14</sup> Dans la notice d'utilisation de VOLASOII, il est souligné qu' zone non saturée, le coefficient de diffusion dans la phase gazeuse est approximativement  $10^4$  fois plus grand que le coefficient de diffusion dans la phase aqueuse (Glotfely & Schomburg,1991).

$\theta_{\text{eau}}$  teneur en eau du sol,

$\theta_{\text{eau}}$  teneur en gaz du sol.

La concentration dans l'air du sol à la source est calculée à l'aide des équations génériques page 3.

Les paramètres suivants ont été utilisés :

- les paramètres de sols sont identiques à ceux considérés pour les calculs vers l'air intérieur ;
- la longueur de la zone polluée considérée est de 350 mètres correspondant à la dimension maximale du site dans la direction Ouest / Est (direction des vents dominants) ;
- d'après les données de vitesse du vent des stations d'AGEN et de STE-LIVRADE, nous prendrons une vitesse de vent à 1 mètre de 1 m/s ;
- H : hauteur de respiration des cibles :
  - H = 1,5 mètre, taille considérée pour les adultes sur site;
  - H = 1 mètre, taille considérée pour les enfants.
- la profondeur de la source,  $L_t$  sous le sol, est prise égale à 1 cm (valeur par défaut issue des études de sensibilité réalisées par BURGEAP) ;
- les terrains naturels pollués sont considérés comme recouverts soit par une couche de terre végétale propre (promenade verte) soit par une couche de bitume (parkings aériens).

Pour les espaces verts, nous avons donc pris en compte au dessus des sols « pollués » une couche de terrain de 50 cm d'épaisseur de porosité 30% rempli à 50% d'eau.

Pour les parkings aériens, nous avons pris en compte au dessus des sols « pollués » une couche de terrain de 10 cm d'épaisseur de porosité 2% (correspondant à la porosité efficace d'un béton) rempli à 50% d'eau (source : HESP).

# **- Annexe 7 - Résultats des calculs de risque sanitaire**

## INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR SCENARIO ESPACES VERTS

		Adulte	Enfant		
P=Poids corporel	Kg	60	15		
T=Durée d'exposition	an	40	6		
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330		
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70	70		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6		
Hauteur de respiration de la cible	m	1,5	1		
Longueur de la boîte, dans la direction principale du vent	m	350	350		
Vitesse moyenne du vent	m/j	86400	86400		

Concentration dans les sols		
		Concentration moyenne
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	0,42
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	0,55
<b>BTEX</b>		
M+p-Xylène	mg/kg	0,06
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	4,16
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	6,25
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	4,16
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	6,25
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	0,25

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
1,26E-01	2,05E-03
1,10E+00	3,43E-02
6,15E+00	2,27E-01
3,95E+02	2,08E+01
1,30E+02	6,82E+00
4,60E+01	2,43E+00
1,32E+01	6,95E-01
5,46E-03	1,14E-03

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur			
		Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m³	5,54E-06	8,31E-06
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m³	9,27E-05	1,39E-04
<b>BTEX</b>			
M+p-Xylène	mg/m³	6,12E-04	9,18E-04
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	5,62E-02	8,43E-02
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	1,84E-02	2,76E-02
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	6,55E-03	9,83E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	1,88E-03	2,82E-03
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m³	3,07E-06	4,60E-06

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur					
		Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>					
Mercure inorganique	mg/m³	2,09E-07	3,13E-07	1,19E-07	2,68E-08
<b>HAP</b>					
Naphtalène	mg/m³	3,49E-06	5,24E-06	2,00E-06	4,49E-07
<b>BTEX</b>					
M+p-Xylène	mg/m³	2,31E-05	3,46E-05	1,32E-05	2,97E-06
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	2,12E-03	3,18E-03	1,21E-03	2,72E-04
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	6,94E-04	1,04E-03	3,97E-04	8,92E-05
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	2,47E-04	3,70E-04	1,41E-04	3,17E-05
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	7,07E-05	1,06E-04	4,04E-05	9,10E-06
<b>Autres</b>					
Phénol	mg/m³	1,16E-07	1,73E-07	6,60E-08	1,49E-08

Quotient de danger ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur				
	Quotient de danger (OD)		Exces de risques individuel (ERI)	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>				
Mercure inorganique	1,04E-03	1,57E-03	0,00E+00	0,00E+00
<b>HAP</b>				
Naphtalène	1,16E-03	1,75E-03	2,20E-09	4,94E-10
<b>BTEX</b>				
M+p-Xylène	2,31E-04	3,46E-04	0,00E+00	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>				
Aliphatic nC10-nC12	2,12E-03	3,18E-03	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	6,94E-04	1,04E-03	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	1,23E-03	1,85E-03	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	3,54E-04	5,31E-04	0,00E+00	0,00E+00
<b>Autres</b>				
Phénol	5,78E-07	8,67E-07	0,00E+00	0,00E+00

Somme des QD & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	5,3E-03	7,9E-03	2,2E-09	4,9E-10
--	---------	---------	---------	---------

# INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR SCENARIO BATIMENTS TERTIAIRES

		Adulte
P=Poids corporel	Kg	60
T=Durée d'exposition	an	40
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	220
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	8
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40
Surface du bâtiment	m <sup>2</sup>	25
Volume intérieur du bâtiment	m <sup>3</sup>	62,5
Taux de ventilation	j <sup>-1</sup>	24

Concentration dans les sols		
		Concentration maximale
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	1,8
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	1,3
<b>BTEX</b>		
Benzène	mg/kg	0,07
Toluène	mg/kg	0,11
M+p-Xylène	mg/kg	0,11
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	21
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	21
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	2,6

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m <sup>3</sup> )	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m <sup>2</sup> /j)
5,38E-01	9,58E-04
2,59E+00	4,10E-02
3,09E+01	4,97E-01
1,79E+01	2,87E-01
1,13E+01	1,80E-01
5,70E+02	9,18E+00
3,95E+02	6,37E+00
6,64E+01	1,07E+00
4,43E+01	7,13E-01
5,68E-02	9,37E-04

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur		Adulte
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	1,60E-05
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	6,84E-04
<b>BTEX</b>		
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	8,28E-03
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	4,78E-03
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	2,99E-03
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	1,53E-01
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,06E-01
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	1,78E-02
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,19E-02
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	1,56E-05

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur			
		Effets toxiques à seuil	Effets cancérogènes (sans seuil)
		Adulte	Adulte
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	3,21E-06	1,83E-06
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	1,37E-04	7,85E-05
<b>BTEX</b>			
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	1,66E-03	9,51E-04
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	9,60E-04	5,48E-04
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	6,01E-04	3,44E-04
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	3,08E-02	1,76E-02
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	2,13E-02	1,22E-02
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	3,58E-03	2,05E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	2,39E-03	1,36E-03
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	3,14E-06	1,79E-06

Quotient de danger ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur		
	Quotient de danger (QD)	Exces de risques individuel (ERI)
	Adulte	Adulte
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	1,60E-02	0,00E+00
<b>HAP</b>		
Naphtalène	4,58E-02	8,64E-08
<b>BTEX</b>		
Benzène	1,66E-01	7,42E-06
Toluène	3,20E-03	0,00E+00
M+p-Xylène	6,01E-03	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	3,08E-02	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	2,13E-02	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	1,79E-02	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	1,19E-02	0,00E+00
<b>Autres</b>		
Phénol	1,57E-05	0,00E+00

Somme des QD & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	0,29	7,50E-06
--	------	----------

## INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR SCENARIO Aire de stationnement extérieure

		Adulte	Enfant		
P=Poids corporel	Kg	60	15		
T=Durée d'exposition	an	40	6		
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330		
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70	70		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6		
Hauteur de respiration de la cible	m	1,5	1		
Longueur de la boîte, dans la direction principale du vent	m	350	350		
Vitesse moyenne du vent	m/j	86400	86400		

Concentration dans les sols		
		Concentration moyenne
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	0,42
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	0,55
<b>BTEX</b>		
M+p-Xylène	mg/kg	0,06
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	4,16
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	6,25
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	4,16
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	6,25
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	0,25

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
1,26E-01	1,80E-04
1,10E+00	3,01E-03
6,15E+00	1,99E-02
3,95E+02	1,83E+00
1,30E+02	5,98E-01
4,60E+01	2,13E-01
1,32E+01	6,10E-02
5,46E-03	9,45E-05

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur			
		Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m³	4,86E-07	7,29E-07
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m³	8,12E-06	1,22E-05
<b>BTEX</b>			
M+p-Xylène	mg/m³	5,37E-05	8,05E-05
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	4,93E-03	7,40E-03
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	1,62E-03	2,42E-03
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	5,75E-04	8,62E-04
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	1,65E-04	2,47E-04
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m³	2,55E-07	3,83E-07

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur					
		Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>					
Mercure inorganique	mg/m³	1,83E-08	2,75E-08	1,05E-08	2,35E-09
<b>HAP</b>					
Naphtalène	mg/m³	3,06E-07	4,59E-07	1,75E-07	3,93E-08
<b>BTEX</b>					
M+p-Xylène	mg/m³	2,02E-06	3,03E-06	1,16E-06	2,60E-07
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	1,86E-04	2,79E-04	1,06E-04	2,39E-05
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	6,09E-05	9,13E-05	3,48E-05	7,83E-06
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	2,16E-05	3,25E-05	1,24E-05	2,78E-06
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	6,20E-06	9,30E-06	3,54E-06	7,97E-07
<b>Autres</b>					
Phénol	mg/m³	9,61E-09	1,44E-08	5,49E-09	1,24E-09

Quotient de danger ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur				
	Quotient de danger (OD)		Exces de risques individuel (ERI)	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>				
Mercure inorganique	9,15E-05	1,37E-04	0,00E+00	0,00E+00
<b>HAP</b>				
Naphtalène	1,02E-04	1,53E-04	1,92E-10	4,33E-11
<b>BTEX</b>				
M+p-Xylène	2,02E-05	3,03E-05	0,00E+00	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>				
Aliphatic nC10-nC12	1,86E-04	2,79E-04	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	6,09E-05	9,13E-05	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	1,08E-04	1,62E-04	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	3,10E-05	4,65E-05	0,00E+00	0,00E+00
<b>Autres</b>				
Phénol	4,81E-08	7,21E-08	0,00E+00	0,00E+00

Somme des QD & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	4,60E-04	6,91E-04	1,92E-10	4,33E-11
--	----------	----------	----------	----------

## INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR SCENARIO Aire de stationnement intérieure (garage fermé)

		Adulte	Enfant		
P=Poids corporel	Kg	60	15		
T=Durée d'exposition	an	40	6		
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330		
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	0,5	0,5		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70	70		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6		
Surface du bâtiment	m <sup>2</sup>	6	6		
Volume intérieur du bâtiment	m <sup>3</sup>	15	15		
Taux de ventilation	j <sup>-1</sup>	6	6		

Concentration dans les sols		
		Concentration maximale
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	1,8
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	1,3
<b>BTEX</b>		
Benzène	mg/kg	0,07
Toluène	mg/kg	0,11
M+p-Xylène	mg/kg	0,11
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	21
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	21
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	2,6

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m <sup>3</sup> )	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m <sup>2</sup> /j)
5,38E-01	1,01E-03
2,59E+00	7,36E-02
3,09E+01	9,00E-01
1,79E+01	5,19E-01
1,13E+01	3,24E-01
5,70E+02	1,67E+01
3,95E+02	1,16E+01
6,64E+01	1,94E+00
4,43E+01	1,30E+00
5,68E-02	1,74E-03

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur			
		Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	6,72E-05	6,72E-05
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	4,91E-03	4,91E-03
<b>BTEX</b>			
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	6,00E-02	6,00E-02
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	3,46E-02	3,46E-02
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	2,16E-02	2,16E-02
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	1,11E+00	1,11E+00
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	7,71E-01	7,71E-01
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	1,30E-01	1,30E-01
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	8,64E-02	8,64E-02
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	1,16E-04	1,16E-04

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur					
		Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>					
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	1,27E-06	1,27E-06	7,23E-07	1,08E-07
<b>HAP</b>					
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	9,24E-05	9,24E-05	5,28E-05	7,92E-06
<b>BTEX</b>					
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	1,13E-03	1,13E-03	6,46E-04	9,69E-05
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	6,52E-04	6,52E-04	3,73E-04	5,59E-05
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	4,06E-04	4,06E-04	2,32E-04	3,48E-05
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	2,10E-02	2,10E-02	1,20E-02	1,80E-03
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,45E-02	1,45E-02	8,30E-03	1,25E-03
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	2,44E-03	2,44E-03	1,39E-03	2,09E-04
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,63E-03	1,63E-03	9,30E-04	1,39E-04
<b>Autres</b>					
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	2,18E-06	2,18E-06	1,25E-06	1,87E-07

Quotient de danger ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur				
	Quotient de danger (OD)		Exces de risques individuel (ERI)	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>				
Mercure inorganique	6,33E-03	6,33E-03	0,00E+00	0,00E+00
<b>HAP</b>				
Naphtalène	3,08E-02	3,08E-02	5,81E-08	8,72E-09
<b>BTEX</b>				
Benzène	1,13E-01	1,13E-01	5,04E-06	7,56E-07
Toluène	2,17E-03	2,17E-03	0,00E+00	0,00E+00
M+p-Xylène	4,06E-03	4,06E-03	0,00E+00	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>				
Aliphatic nC10-nC12	2,10E-02	2,10E-02	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	1,45E-02	1,45E-02	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	1,22E-02	1,22E-02	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	8,14E-03	8,14E-03	0,00E+00	0,00E+00
<b>Autres</b>				
Phénol	1,09E-05	1,09E-05	0,00E+00	0,00E+00

Somme des OD & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	0,19	0,19	5,10E-06	7,65E-07
--	------	------	----------	----------

# INHALATION DE VAPEURS EN INTERIEUR SCENARIO HABITATION

		Adulte	Enfant		
P=Poids corporel	Kg	60	15		
T=Durée d'exposition	an	40	6		
F1=fréquence d'exposition en intérieur	jour/an	330	330		
F2 intérieur=fréquence d'exposition en intérieur	heure/jour	19	20		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70	70		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6		
Surface du bâtiment	m <sup>2</sup>	25	25		
Volume intérieur du bâtiment	m <sup>3</sup>	62,5	62,5		
Taux de ventilation	j <sup>-1</sup>	12	12		

Concentration dans les sols		
		Concentration maximale
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	1,8
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	0,54
<b>BTEX</b>		
Benzène	mg/kg	0
Toluène	mg/kg	0,07
M+p-Xylène	mg/kg	0,07
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	13
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	13
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	1,3

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m <sup>3</sup> )	Flux de vapeurs vers l'air intérieur (mg/m <sup>2</sup> /j)
5,38E-01	9,58E-04
1,08E+00	1,71E-02
0,00E+00	0,00E+00
1,14E+01	1,82E-01
7,17E+00	1,14E-01
5,70E+02	9,18E+00
2,69E+02	4,34E+00
6,64E+01	1,07E+00
2,74E+01	4,41E-01
2,84E-02	4,69E-04

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air intérieur			
		Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	3,19E-05	3,19E-05
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	5,68E-04	5,68E-04
<b>BTEX</b>			
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	6,08E-03	6,08E-03
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	3,81E-03	3,81E-03
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	3,06E-01	3,06E-01
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,45E-01	1,45E-01
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	3,56E-02	3,56E-02
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,47E-02	1,47E-02
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	1,56E-05	1,56E-05

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air intérieur					
		Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>					
Mercure inorganique	mg/m <sup>3</sup>	2,28E-05	2,41E-05	1,31E-05	2,06E-06
<b>HAP</b>					
Naphtalène	mg/m <sup>3</sup>	4,07E-04	4,28E-04	2,32E-04	3,67E-05
<b>BTEX</b>					
Benzène	mg/m <sup>3</sup>	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	mg/m <sup>3</sup>	4,35E-03	4,58E-03	2,49E-03	3,93E-04
M+p-Xylène	mg/m <sup>3</sup>	2,73E-03	2,87E-03	1,56E-03	2,46E-04
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	2,19E-01	2,31E-01	1,25E-01	1,98E-02
Aliphatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,04E-01	1,09E-01	5,92E-02	9,34E-03
Aromatic nC10-nC12	mg/m <sup>3</sup>	2,55E-02	2,69E-02	1,46E-02	2,30E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m <sup>3</sup>	1,05E-02	1,11E-02	6,02E-03	9,50E-04
<b>Autres</b>					
Phénol	mg/m <sup>3</sup>	1,12E-05	1,18E-05	6,39E-06	1,01E-06

Quotient de danger ou Exces de risque individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air intérieur				
	Quotient de danger (OD)		Exces de risques individuel (ERI)	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>				
Mercure inorganique	0,11	0,12	0,00E+00	0,00E+00
<b>HAP</b>				
Naphtalène	0,14	0,14	2,56E-07	4,04E-08
<b>BTEX</b>				
Benzène	0,00	0,00	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	0,01	0,02	0,00E+00	0,00E+00
M+p-Xylène	0,03	0,03	0,00E+00	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>				
Aliphatic nC10-nC12	0,22	0,23	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	0,10	0,11	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	0,13	0,13	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	0,05	0,06	0,00E+00	0,00E+00
<b>Autres</b>				
Phénol	5,59E-05	5,88E-05	0,00E+00	0,00E+00

Somme des OD & ERI INHALATION VAPEURS EN INTERIEUR	0,61	0,65	2,56E-07	4,04E-08
--	------	------	----------	----------

# INHALATION DE VAPEURS EN EXTERIEUR SCENARIO HABITATION

		Adulte	Enfant		
P=Poids corporel	Kg	60	15		
T=Durée d'exposition	an	40	6		
F1=fréquence d'exposition en extérieur	jour/an	330	330		
F2 intérieur=fréquence d'exposition en extérieur	heure/jour	1	1		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (cancérogène)	an	70	70		
Tm=période de temps sur laquelle l'exposition est moyennée (non canc.)	an	40	6		
Hauteur de respiration de la cible	m	1,5	1		
Longueur de la boîte, dans la direction principale du vent	m	350	350		
Vitesse moyenne du vent	m/j	86400	86400		

Concentration dans les sols		
		Concentration moyenne
<b>Métaux</b>		
Mercure inorganique	mg/kg	1,8
<b>HAP</b>		
Naphtalène	mg/kg	0,54
<b>BTEX</b>		
Benzène	mg/kg	0
Toluène	mg/kg	0,07
M+p-Xylène	mg/kg	0,07
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>		
Aliphatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aliphatic nC12-nC16	mg/kg	13
Aromatic nC10-nC12	mg/kg	6
Aromatic nC12-nC16	mg/kg	13
<b>Autres</b>		
Phénol	mg/kg	1,3

Conc° dans l'air du sol à la source (mg/m3)	Flux de vapeurs vers l'air extérieur (mg/m²/j)
5,38E-01	4,51E-04
1,08E+00	2,95E-03
1,14E+01	4,57E-02
7,17E+00	2,32E-02
5,70E+02	2,63E+00
2,69E+02	1,24E+00
6,64E+01	3,07E-01
2,74E+01	1,27E-01
2,84E-02	4,91E-04

Concentration de polluant sous forme VAPEUR dans l'air extérieur			
		Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>			
Mercure inorganique	mg/m³	1,22E-06	1,83E-06
<b>HAP</b>			
Naphtalène	mg/m³	7,97E-06	1,20E-05
<b>BTEX</b>			
Benzène	mg/m³	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	mg/m³	1,23E-04	1,85E-04
M+p-Xylène	mg/m³	6,26E-05	9,40E-05
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>			
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	7,11E-03	1,07E-02
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	3,36E-03	5,04E-03
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	8,29E-04	1,24E-03
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	3,42E-04	5,14E-04
<b>Autres</b>			
Phénol	mg/m³	1,33E-06	1,99E-06

Concentration moyenne de VAPEUR inhalée en air extérieur					
		Effets toxiques à seuil		Effets cancérogènes (sans seuil)	
		Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>					
Mercure inorganique	mg/m³	4,58E-08	6,88E-08	2,62E-08	5,89E-09
<b>HAP</b>					
Naphtalène	mg/m³	3,00E-07	4,51E-07	1,72E-07	3,86E-08
<b>BTEX</b>					
Benzène	mg/m³	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	mg/m³	4,65E-06	6,97E-06	2,66E-06	5,98E-07
M+p-Xylène	mg/m³	2,36E-06	3,54E-06	1,35E-06	3,03E-07
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>					
Aliphatic nC10-nC12	mg/m³	2,68E-04	4,02E-04	1,53E-04	3,44E-05
Aliphatic nC12-nC16	mg/m³	1,27E-04	1,90E-04	7,24E-05	1,63E-05
Aromatic nC10-nC12	mg/m³	3,12E-05	4,68E-05	1,78E-05	4,01E-06
Aromatic nC12-nC16	mg/m³	1,29E-05	1,94E-05	7,37E-06	1,66E-06
<b>Autres</b>					
Phénol	mg/m³	5,00E-08	7,50E-08	2,86E-08	6,43E-09

Quotient de danger ou Exces de risques individuel Pour l'inhalation de VAPEUR en air extérieur				
	Quotient de danger (OD)		Exces de risques individuel (ERI)	
	Adulte	Enfant	Adulte	Enfant
<b>Métaux</b>				
Mercure inorganique	2,29E-04	3,44E-04	0,00E+00	0,00E+00
<b>HAP</b>				
Naphtalène	1,00E-04	1,50E-04	1,89E-10	4,25E-11
<b>BTEX</b>				
Benzène	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Toluène	1,55E-05	2,32E-05	0,00E+00	0,00E+00
M+p-Xylène	2,36E-05	3,54E-05	0,00E+00	0,00E+00
<b>Hydrocarbures totaux (TPH)</b>				
Aliphatic nC10-nC12	2,68E-04	4,02E-04	0,00E+00	0,00E+00
Aliphatic nC12-nC16	1,27E-04	1,90E-04	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC10-nC12	1,56E-04	2,34E-04	0,00E+00	0,00E+00
Aromatic nC12-nC16	6,45E-05	9,68E-05	0,00E+00	0,00E+00
<b>Autres</b>				
Phénol	2,50E-07	3,75E-07	0,00E+00	0,00E+00

Somme des QD & ERI INHALATION VAPEURS EN EXTERIEUR	7,63E-04	1,14E-03	1,89E-10	4,25E-11
--	----------	----------	----------	----------

## **- Annexe 8 - Limites d'utilisation des études de sols**

1° Une étude de la pollution du milieu souterrain, ou d'un site de stockage de déchets a pour seule fonction de renseigner sur la qualité des sols, des eaux ou des déchets contenus dans le milieu souterrain. Toute utilisation en dehors de ce contexte, dans un but géotechnique par exemple, ne saurait engager la responsabilité de notre société.

2° Il est précisé que le diagnostic repose sur une reconnaissance du sous-sol réalisée au moyen de sondages répartis sur le site, soit selon un maillage régulier, soit de façon orientée en fonction des informations historiques ou bien encore en fonction de la localisation des installations qui ont été indiquées par l'exploitant comme pouvant être à l'origine d'une pollution. Ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas, dont l'extension possible est en relation inverse de la densité du maillage de sondages, et qui sont liés à des hétérogénéités toujours possibles en milieu naturel ou artificiel. Par ailleurs, l'inaccessibilité de certaines zones peut entraîner un défaut d'observation non imputable à notre société.