

ANNEXE B6 : OUTILS POUR LE CALCUL DE L'INDICE DE RISQUE GLOBAL POUR UN ORGANE-CIBLE ($IRG_{\text{organe-cible}}$) – EFFETS SYNERGIQUES

B6-1 Méthode de calcul des risques globaux – Effets synergiques

Afin d'évaluer les risques associés à l'**effet de mélange** de plusieurs polluants au sein d'une même zone récepteur, un Indice de Risque Global (IRG) est calculé comme la somme des valeurs d'Indices de Risques des différents polluants (voir encadré ci-dessous pour la sélection des polluants) susceptibles d'avoir :

- soit des effets de même type (le cancer dans le cas de polluants à effets « sans seuil ») ;
- soit d'agir sur un même organe-cible par le biais d'une **voie d'administration** donnée (soit voie par ingestion et contact cutané, soit par inhalation) (cas des polluants à effets « à seuil »),

et exprimées en valeurs relatives par rapport aux valeurs d'Indices de Risque d'Intervention (IR-I) applicables :

$$IRG_{organe-cible\ j, voie\ k, cible} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{IR_{voie\ k}}{IR_{voie\ k} - I} \right)_i$$

Symbole	Paramètres	Unités
$(IR_{voie\ k})_i$	Indice de Risque associé à la voie d'administration k et calculé pour le polluant i compris dans la série des polluants susceptibles d'avoir des effets de même type ou de concerner de mêmes organes-cibles d'après le tableau repris à la section B6-2	-
$(IR_{voie\ k-I})_i$	Indice de Risque d'Intervention applicable pour le polluant i d'après le tableau repris à la section B6-3 et associé à la voie d'administration k	-
n	Nombre de polluants agissant par la voie d'administration k sur l'organe-cible j	

On obtient ainsi pour chaque cible (enfant, adulte, vie entière), pour chaque organe-cible et pour chaque **voie d'administration**, un Indice de Risque Global :

- pour les effets « à seuil » :
 - $IRG_{organe-cible,or,c}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par ingestion (et contact cutané) pour la cible enfant ;
 - $IRG_{organe-cible,or,a}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par ingestion (et contact cutané) pour la cible adulte ;
 - $IRG_{organe-cible,inh,c}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par inhalation pour la cible enfant ;
 - $IRG_{organe-cible,inh,a}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par inhalation pour la cible adulte.
- pour les effets « sans seuil » :
 - $IRG_{organe-cible,or,vie\ entière}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par ingestion (et contact cutané) pour la cible « vie entière » ;
 - $IRG_{organe-cible,inh,vie\ entière}$: Indice de risque global pour l'organe-cible par inhalation pour la cible « vie entière ».

Un Indice de Risque Global (IRG) pour chaque organe-cible peut être obtenu en additionnant l'Indice de Risque Global pour la voie orale (IRG_{or}) et l'Indice de risque Global pour la voie par inhalation

(IR_{inh}), supposant ainsi l'additivité des **voies d'administration** pour un même organe-cible (cf. section 2.14.2) :

$$IRG_{organe-cible\ j,\ cible} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{IR_{or}}{IR_{or} - I} \right)_i + \sum_{i=1}^m \left(\frac{IR_{inh}}{IR_{inh} - I} \right)_i$$

Symbole	Paramètres	Unités
$(IR_{or})_i$	Indice de Risque associé à la voie orale (et contact cutané) et calculé pour le polluant i compris dans la série des polluants susceptibles d'avoir des effets sur l'organe-cible j	-
$(IR_{inh})_i$	Indice de Risque associé à la voie par inhalation (et contact cutané) et calculé pour le polluant i compris dans la série des polluants susceptibles d'avoir des effets sur l'organe-cible j	-
$(IR_{or-I})_i$	Indice de Risque d'Intervention applicable pour le polluant i et associé à la voie orale (et contact cutané) ; il vaut 2, 5 ou 10 (cf Tableau 3)	-
$(IR_{inh-I})_i$	Indice de Risque d'Intervention applicable pour le polluant i et associé à la voie par inhalation ; il vaut 2, 5 ou 10 (cf. Tableau 3)	-
n	Nombre de polluants agissant par la voie orale sur l'organe-cible j (cf. section B6-2)	-
m	Nombre de polluants agissant par la voie par inhalation (et contact cutané) sur l'organe-cible j (cf. section B6-2), avec m pouvant être différent de n	-

On obtient ainsi, en distinguant séparément chacune des cibles (enfant, adulte, vie entière) :

- $IRG_{organe-cible,c}$: Indice de risque global pour l'organe-cible pour la cible enfant ;
- $IRG_{organe-cible,a}$: Indice de risque global pour l'organe-cible pour la cible adulte ;
- $IRG_{organe-cible,vie\ entière}$: Indice de risque global pour l'organe-cible pour la cible « vie entière ».

Les organes-cibles considérés pour les effets « à seuil » sont le foie, le rein, le sang, la diminution du poids corporel, le système nerveux central et le tractus respiratoire.

Le type d'effet et les organes-cibles associés aux VTR retenues dans le cadre de l'EDR-SH sont répertoriés dans le tableau repris à la section B6-2.

Un exemple illustre le calcul de l'IRG pour trois polluants pour lesquels les indices de risque correspondent à la plage orange : le chrome III, le fluoranthène et le trichlorométhane (Tableau 1 de l'annexe B6)

Zone récepteur 1																			
usage 1																			
tache de contamination 1																			
1. Polluants seuls	Organe-cible j	Effets sans seuil						Effets à seuil								plage orange	plage rouge		
		voie orale		voie inhalatoire		pondéré par IR-S	pondéré par IR-I	voie orale		voie inhalatoire		pondéré par IR-S		pondéré par IR-I					
Polluant i	Organe-cible j	IRor*	IRor-I*	IRinh*	IRinh-I*	IR retenu	IR retenu	IRor,c	IRor,a	IRor-I	IRinh,c	IRinh,a	IRinh-I	IR,c retenu	IR,a retenu	IR,c retenu	IR,a retenu		
Chrome III	rein							0.8	1.3	5	0.5	0.9	2	1.3	2.2	0.41	0.71		X
Chrome III	systeme cardiovasculaire							0.8	1.3	5				0.8	1.3	0.16	0.26	X	
Chrome III	foie							0.8	1.3	5				0.8	1.3	0.16	0.26	X	
Chrome III	poids corporel							0.8	1.3	5				0.8	1.3	0.16	0.26	X	
Fluoranthène	cancer			1.2	10	1.2	0.12												X
Fluoranthène	foie							2.5	5	10				2.5	5	0.25	0.5	X	
Fluoranthène	rein							2.5	5	10				2.5	5	0.25	0.5		X
Fluoranthène	sang							2.5	5	10				2.5	5	0.25	0.5	X	
Trichlorométhane	foie										2.5	1.1	5	2.5	1.1	0.5	0.22	X	
Trichlorométhane	cancer	6	10			6	0.6											X	

2. Effets synergiques							plage orange	plage rouge
Effets sans seuil	seuil d'acceptabilité	N**	IRGor*	IRGinh*	IRG*			
cancer	1	2	0.5	0.12	0.72	X		

Effets à seuil : organe-cible	seuil d'acceptabilité	N**	enfants			adultes			plage orange	plage rouge
			IRGor,c	IRGinh,c	IRG,c	IRGor,a	IRGinh,a	IRG,a		
foie	1	3	0.41	0.5	0.91	0.76	0.22	0.98	X	
rein	1	2	0.41	0.25	0.66	0.76	0.45	1.21		X
sang	1	1			0				X	
poids corporel	1	1			0				X	
systeme nerveux central	1									
tractus respiratoire	1									
systeme cardiovasculaire	1	1			0			0	X	
développement	1									
effets immunologiques	1									
rate	1									
effets endocriniens	1									
poids des organes	1									
systeme nerveux périphérique	1									
thymus	1									
systeme hématopoïétique	1									
Thyroïde	1									

* cf. concept clé "Indice de Risque", partie B §2.13
 ** Nombre de polluants agissant sur l'organe-cible j

Tableau 1 – Exemple de calcul d'un Indice de Risque Global pour trois polluants se trouvant dans la plage orange au terme de l'EDR-SH





Quels sont les polluants à considérer pour le calcul de l'IRG ?

- De façon générale, tout polluant dont la concentration en polluant dans le sol et/ou dans l'eau souterraine engendre un IR qui relève de la plage intermédiaire (plage orange) doit être pris en compte pour le calcul de l'IRG.
- Dans le cas particulier du mercure total, chacune des formes constituant le mélange hypothétique est à considérer pour le calcul de l'IRG, soit le mercure inorganique et méthylmercure (et ce quelle que soit la valeur de l'IR de ces polluants considérés individuellement).
- Pour les hydrocarbures pétroliers, doivent être distingués les cas où les résultats analytiques relatifs au sol ou à l'eau souterraine sont issus ou non d'un split aromatique/aliphatique au stade de l'EDR-SH.
 - Si un split aromatique/aliphatique a été réalisé, toutes les fractions aromatiques et/ou aliphatiques dont les concentrations en polluant dans le sol et/ou dans l'eau souterraine engendrent un IR qui relève de la plage intermédiaire (plage orange) doivent être considérées pour le calcul de l'IRG.
 - En l'absence d'un split aromatique/aliphatique, doivent être prises en compte toutes les fractions aromatique(s) et aliphatique(s) constituant chacune des fractions globales dont les concentrations globales en polluant dans le sol et/ou dans l'eau souterraine engendrent un IR qui relève de la plage intermédiaire (plage orange) (cf. Tableau 1 de l'annexe B8 pour la composition de chaque fraction globale).

B6-2 Tableau de synthèse des organes-cibles correspondant aux VTR présentées à l'Annexe B5

		Type d'effet et organes-cibles associés aux VTR retenues dans le cadre de l'EDR-SH (I = Inhalation / O = Oral / IO = Inhalation+Oral)																	
Polluants	Statut polluant	Effets cancérigènes	Effets non cancérigènes																
		Cancer	Foie	Rein	Sang	Diminution du poids corporel	Système nerveux central	Tractus respiratoire	Système cardiovasculaire	Effets sur le développement	Effets immunologiques	Rate	Effets endocriniens	Diminution du poids des organes	Système nerveux périphérique	Thymus	Système hématopoïétique	Thyroïde	
Arsenic	Mixte	I	O		O										O				
Cadmium	A seuil			IO															
Chrome III	A seuil		O	IO		O			O										
Chrome VI	Mixte	I																	
Chrome total	A seuil		O	IO		O			O										
Cuivre	A seuil					O			I				I						
Mercure	A seuil																		
Mercure inorganique	A seuil			IO										O					
Monométhylmercure	A seuil																		
Mercure élémentaire	A seuil								I										
Nickel	Mixte	I				O										O			
Plomb	A seuil				IO		O									O			
Zinc	A seuil				O				I										
Benzène	Sans seuil	IO																	
Ethylbenzène	A seuil		IO	IO															
Toluène	A seuil		O						I										
m-xylène	A seuil					O		I	I										
o-xylène	A seuil					O		I	I										
p-xylène	A seuil					O		I	I										
Styrène	A seuil					O		I											
Phénol	A seuil		I	I					I	I	O								
Naphtalène	A seuil					O			I										
Acénaphthylène	Sans seuil	IO																	
Acénaphthène	Mixte	I	O																
Fluorène	Mixte	I			O														
Phénanthrène	Mixte	I	O	O															
Anthracène	Mixte	I																	
Fluoranthène	Mixte	I	O	O	O														
Pyrène	Mixte	I		O															
Benzo(a)anthracène	Sans seuil	IO																	
Chrysène	Sans seuil	IO																	
Benzo(b)fluoranthène	Sans seuil	IO																	
Benzo(k)fluoranthène	Sans seuil	IO																	
Benzo(a)pyrène	Sans seuil	IO																	
Dibenzo(ah)anthracène	Sans seuil	IO																	
Benzo(g,h,i)pérylène	Mixte	I		O															
Indéno(1,2,3-c,d)pyrène	Sans seuil	IO																	
Dichlorométhane	A seuil		O		I														
Trichlorométhane	Mixte	O	I																
Tétrachlorométhane	A seuil		O	I															
Tétrachloroéthène (PCE)	A seuil		IO	I															
Trichloroéthène (TCE)	Mixte	I	O																
cis-1,2-Dichloroéthène (DCE)	A seuil				IO												O		
trans-1,2-Dichloroéthène (DCE)	A seuil		I		O				I								O		
Chloroéthène (VC)	Sans seuil	IO																	
1,1,1 - trichloroéthane (1,1,1-TCA)	A seuil			O				I											
1,1,2 - trichloroéthane (1,1,2 - TCA)	A seuil		I		O				I			O							
1,2 - dichloroéthane (1,2 - DCA)	Mixte	O	I																
Cyanures libres	A seuil				O		IO												I
Méthyl-tert-butyl-éther (MTBE)	A seuil			IO	O														
HC - pétrolier EC 5-8	A seuil																		
Arom-EC>6-7	A seuil																	IO	
Ali-EC5-6	A seuil		IO	IO															
Arom-EC>7-8	A seuil		O					I											
Ali-EC>6-8	A seuil		IO	IO															
HC - pétrolier EC > 8-10	A seuil																		
Arom-EC>8-10	A seuil					IO													
Ali-EC>8-10	A seuil		IO		IO														
HC - pétrolier EC > 10-12	A seuil																		
Arom-EC>10-12	A seuil					IO													
Ali-EC>10-12	A seuil		IO		IO														
HC - pétrolier EC > 12-16	A seuil																		
Arom-EC>12-16	A seuil					IO													
Ali-EC>12-16	A seuil		IO		IO														
HC - pétrolier EC > 16-21	A seuil																		
Arom-EC>16-21	A seuil			O															
Ali-EC>16-21	A seuil		O																
HC - pétrolier EC > 21-35	A seuil																		
Arom-EC>21-35	A seuil			O															
Ali-EC>21-35	A seuil		O																

Voie d'exposition considérée pour le couple polluant/type d'effet ou pour le couple polluant/organe-cible

Voie orale seule
Voie inhalatoire seule
Voie orale et inhalatoire

B6-3 Valeur de l'Indice de Risque d'Intervention (IR-I) à considérer pour la limite entre la plage orange et rouge du modèle des feux de signalisation ("Traffic lights model") en vue de l'interprétation des résultats de l'EDR-SH en termes d'acceptation des risques

Voie exposition	orale			inhalation		
UF pour l'obtention de la VTR	1<UF≤10	10<UF≤500	>500	1<UF≤10	10<UF≤500	>500
Valeur de l'IR-I à considérer	2	5	10	2	5	10
Polluants	Arsenic Cadmium Plomb Zinc Monométhylmercure	chrome (III) chrome total Cuivre Nickel Phenanthrene Ali-EC5-6 Ali-EC>6-8 Ali-EC>16-21 Ali-EC>21-35 Arom-EC>6-7 Arom-EC>8-10 Arom-EC>10-12 Arom-EC>12-16 Cyanures libres	chrome (VI) Mercure Inorganique Toluene Ethylbenzene M-xylene O-xylene P-xylene Styrene Phenol MTBE Acenaphtene Anthracene Benzo(ghi)perylene Fluoranthene Fluorene Naphtalene Pyrene Ali-EC>8-10 Ali-EC>10-12 Ali-EC>12-16 Arom-EC>7-8 Arom-EC>16-21 Arom-EC>21-35 Dichloromethane Dichloroethene (cis-1,2-) Dichloroethene (trans-1,2-) Tetrachloroethene (pce) Tetrachloromethane Trichloroethane (1,1,1-) Trichloroethane (1,1,2-) Trichloroethene (tce)	chrome (III) chrome total Toluene Arom-EC>7-8 Trichloroethane (1,1,1-) Cadmium Mercure Inorganique Plomb Ali-EC>16-21 Ali-EC>21-35 Arom-EC>16-21 Arom-EC>21-35	Cuivre Zinc Mercure elementaire Ethylbenzene M-xylene O-xylene P-xylene Styrene MTBE Ali-EC5-6 Ali-EC>6-8 Arom-EC>6-7 Dichloroethane (1,2-) Dichloromethane Tetrachloroethene (pce) Tetrachloromethane Trichloromethane (chloroforme) Cyanures libres	Phenol Naphtalene Ali-EC>8-10 Ali-EC>10-12 Ali-EC>12-16 Arom-EC>8-10 Arom-EC>10-12 Arom-EC>12-16 Dichloroethene (cis-1,2-) Dichloroethene (trans-1,2-) Trichloroethane (1,1,2-)

polluant mixte (prise en compte des effets « à seuil » et « sans seuil »)

1 seule VTR pour le calcul de VS_H

UF non disponible

polluant mixte et UF non disponible

