

Micropolluants présents dans les milieux aquatiques  
et leur impact sur la santé humaine

Exemple de l'agglomération parisienne

## Définitions générales des micropolluants et des risques émergents associés, en l'état actuel des connaissances et de la réglementation

**Pr. Yves LEVI** – Université Paris sud, UMR 8079, CNRS, AgroParisTech  
Vice-Président de l'Académie de l'Eau



- L'importance environnementale, sanitaire, économique et sociétale des micropolluants implique une grande rigueur sémantique pour ne pas laisser s'entretenir de **confusions**
- Le terme « micropolluants » est souvent : mal attribué, assimilé à une seule classe de contaminants, attribué seulement aux eau non traitées...
- La confusion est permanente entre les **dangers** et les **risques**
- Les macro-polluants seraient-ils moins intéressants ? Inexistants ?
- Les micropolluants sont-ils un enjeu **pour eux même** ou au regard des **risques qu'ils engendrent** ?

## Micro

- ▶ Théorie : des concentrations proches du microgramme par litre ( $\mu\text{g/L}$ ),
- ▶ Réalité : de la centaine de  $\mu\text{g/L}$  jusqu'aux limites de détection des systèmes analytiques actuels ( $\text{ng/L}$  et inférieur).

## Polluants

Qui sont considérés :

- ▶ Indésirables ?
- ▶ d'origine anthropique (produits de synthèse),
- ▶ certains d'origine naturelle (toxines, métabolites odorants, hydrocarbures...).

## Nature

- ▶ le plus souvent des molécules organiques,
- ▶ concerne aussi des métaux, métalloïdes.

Des éléments et molécules présents dans l'environnement en de très faibles concentrations et considérés comme peu / in –désirables.

Notion à objectiver.

Ne surtout pas généraliser.

- La forme dissoute est la plus étudiée mais également adsorbés sur des particules ou liés à des matières organiques : bilan matière et transferts
- Présents dans tous les compartiments de l'environnement
- Identifiés dans quasiment toutes les eaux et rarement uniques
- Caractéristiques propres : polarité, hydrophobicité, biodégradabilité, stabilité à la lumière, hydrolyse, bioaccumulation, toxicité ...
- Groupés en « familles » mais au sein d'une famille les caractéristiques peuvent être différentes
- Émergents ? Personne n'avait l'idée de les analyser, méthodes d'analyse non développées, n'existaient pas, inférieurs aux limites de détection, cachés par effets de matrice ...

## Phtalates diesters, effets testiculaires chez le rat

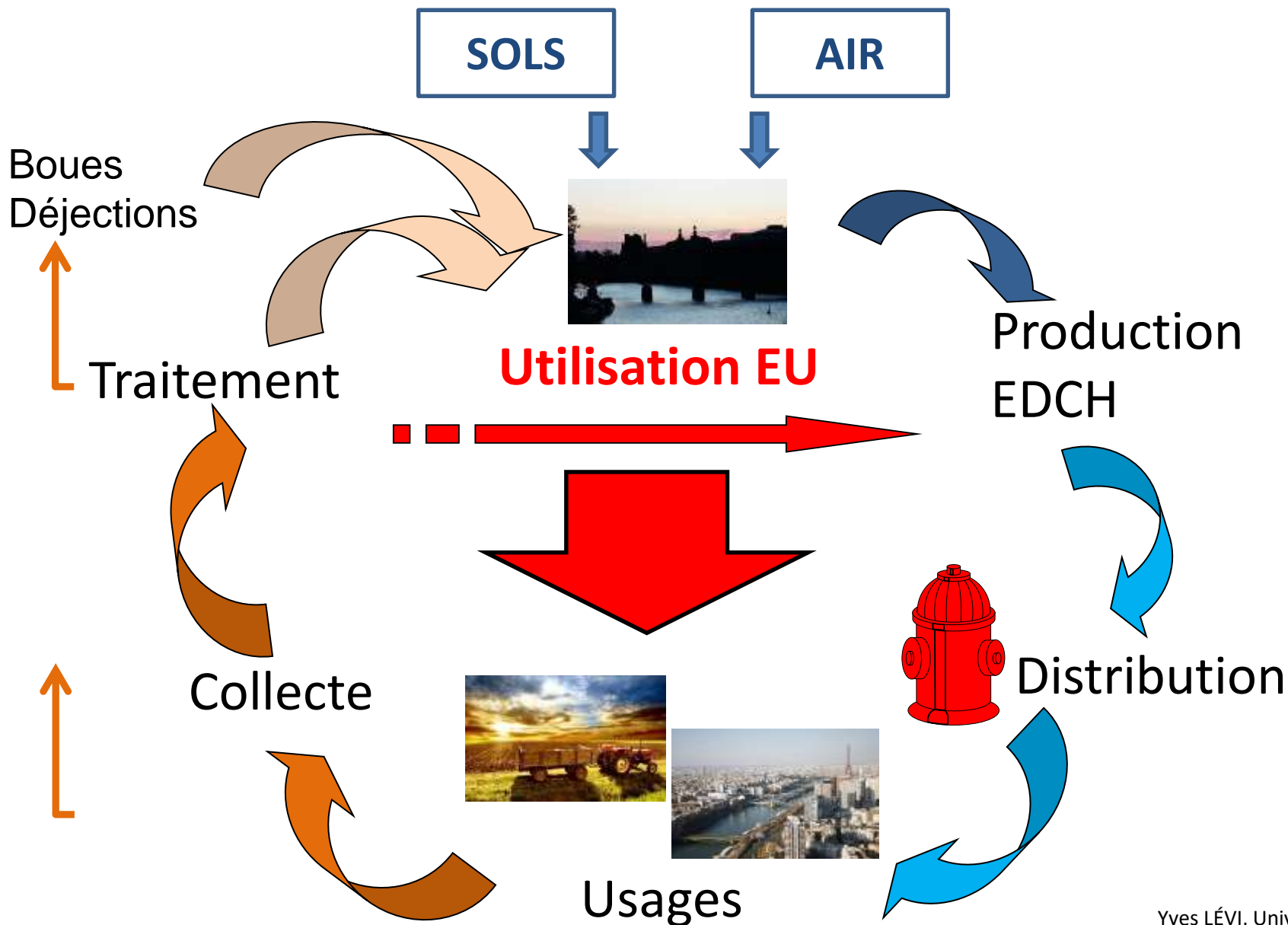
Active Compounds	Inactive Compounds
<b>Linear Dialkyl Phthalates</b>	
di- <i>n</i> -propyl <i>o</i> -phthalate (DPP) <sup>a, b</sup>	dimethyl <i>o</i> -phthalate (DMP) <sup>a, c, d</sup>
di- <i>n</i> -butyl <i>o</i> -phthalate (DBP) <sup>a</sup>	diethyl <i>o</i> -phthalate (DET) <sup>a, c, d</sup>
di- <i>n</i> -pentyl <i>o</i> -phthalate <sup>a</sup>	di- <i>n</i> -butyl isophthalate <sup>b</sup>
di- <i>n</i> -hexyl <i>o</i> -phthalate <sup>a</sup>	di- <i>n</i> -butyl terephthalate <sup>b</sup>
	di- <i>n</i> -heptyl <i>o</i> -phthalate <sup>a</sup>
	di- <i>n</i> -octyl <i>o</i> -phthalate (DnOP) <sup>a</sup>
<b>Branched Dialkyl Phthalates</b>	
di- <i>n</i> -butyl <i>o</i> -phthalate (DBP) <sup>b</sup>	di- <i>tert</i> -butyl <i>o</i> -phthalate <sup>b</sup>
di-isobutyl <i>o</i> -phthalate <sup>b</sup>	di(2-ethylhexyl) terephthalate (DOTP) <sup>c, d</sup>
di- <i>sec</i> -butyl <i>o</i> -phthalate <sup>b</sup>	
di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) <sup>c, d</sup>	
diisononyl phthalate (DINP) <sup>c, d</sup>	
benzyl butyl phthalate (BBP) <sup>c, d</sup>	

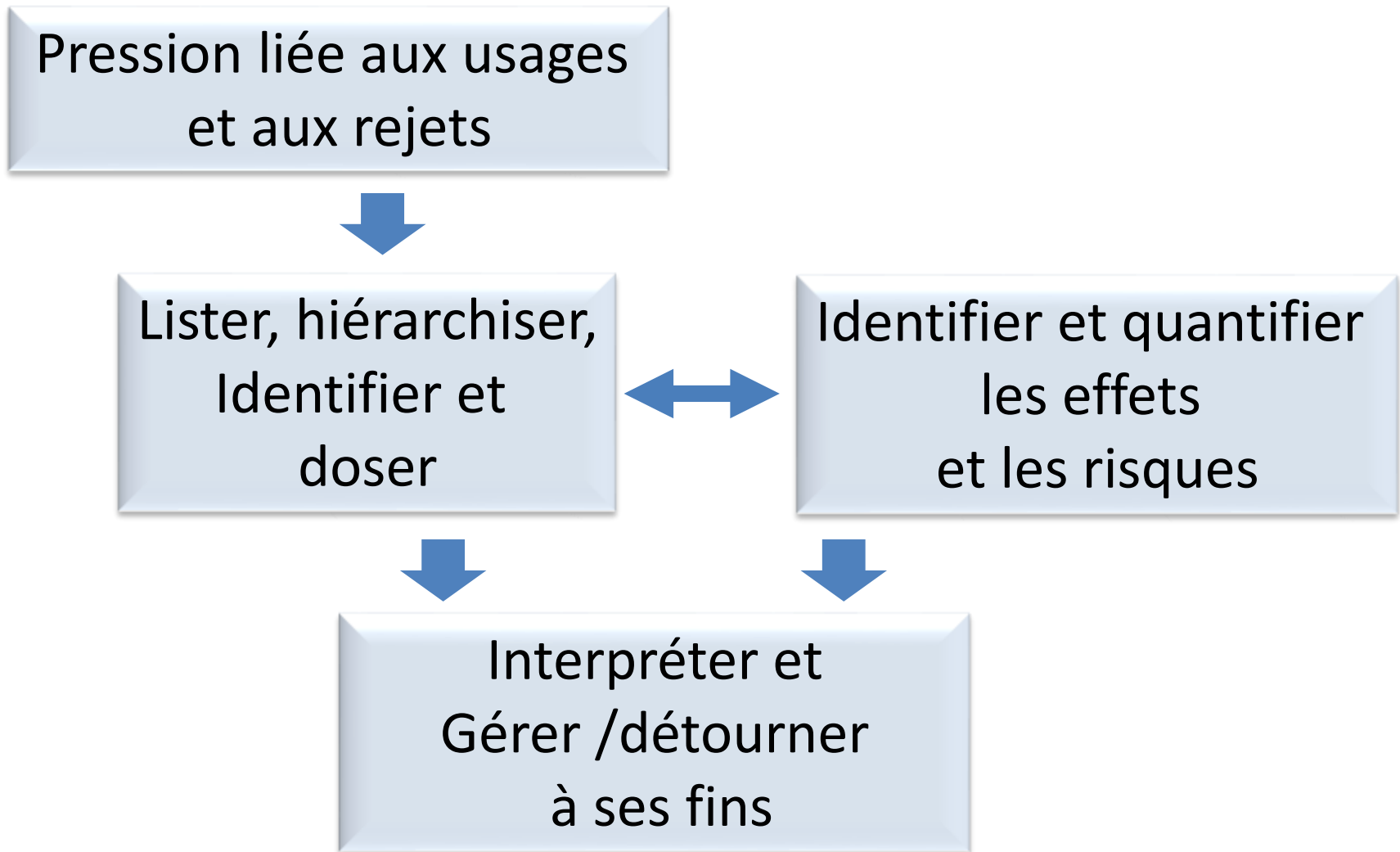
<sup>a</sup> Foster et al. 1980. Based on testicular atrophy in juvenile male SD rats.

<sup>b</sup> Foster et al. 1981. Based on testicular atrophy in juvenile male SD rats.

<sup>c</sup> Gray et al. 2000. Based on developmental effects in males following prenatal exposure.

<sup>d</sup> Ostby et al. 2000. Based on developmental effects in males following prenatal exposure.





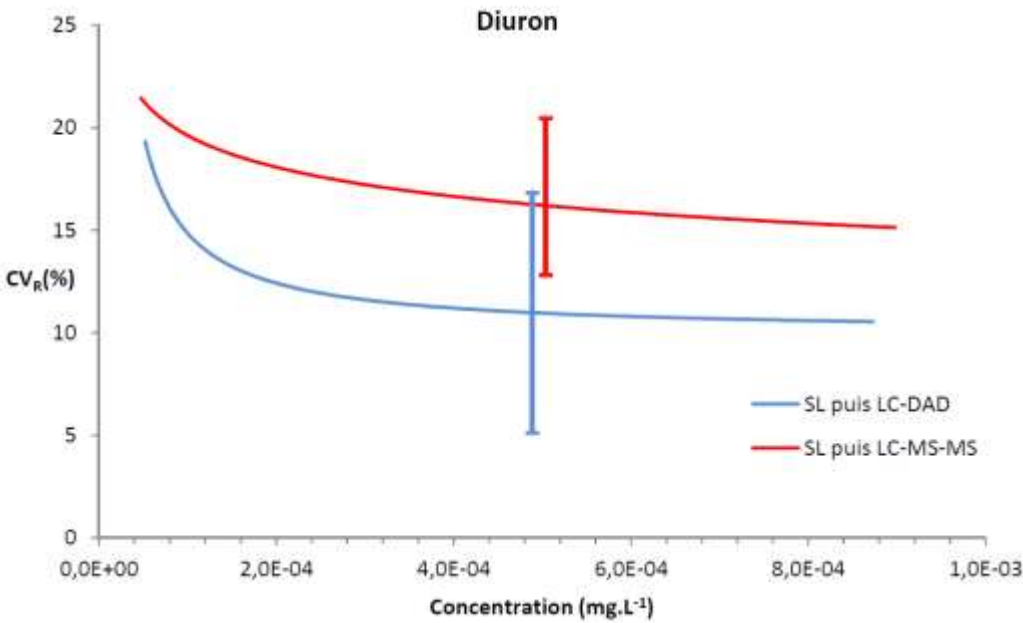
- Extrêmes sensibilité, précision et spécificité des outils analytiques (chromatographies couplées aux spectromètres de masse, ICP-masse ...)
- Prix d'analyse accessibles, haut débit

Mais

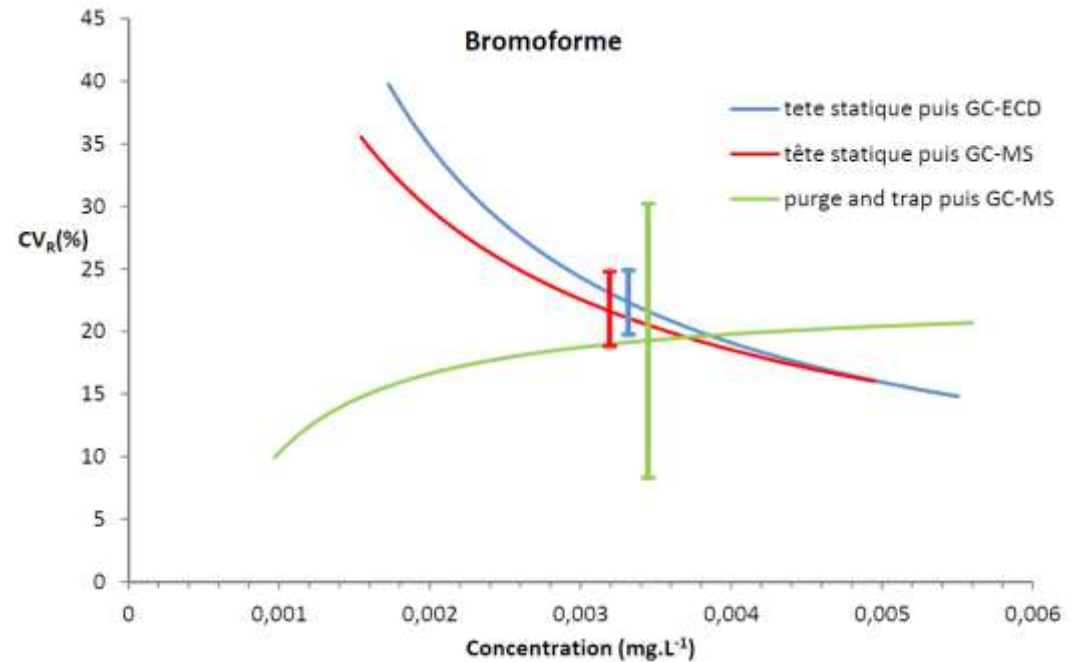
- Représentativité des résultats liée aux budgets disponibles (1 analyse/3ans, un ou deux échantillons pour une rivière...)
- Qualitatif ou quantitatif
- Variabilité liée aux stratégies et méthodes d'échantillonnages
- Variabilité de la qualité analytique selon les laboratoires
- Précision diminue à l'approche des limites de détection
- Des traces dans tout, partout ?

Vision analytique indispensable  
mais interprétation délicate et soumise à risques de subjectivité





**Et pourtant des normes « couperet » !**



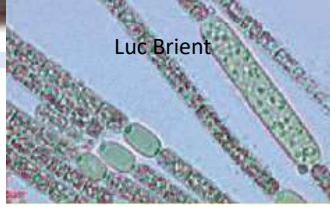
- Très grande diversité en évolution constante
- Très grande variabilité temporelle des niveaux de contamination / épisodes pluvieux / étiage ...
- Pratiquement aucune eau épargnée (superficielles > souterraines )
- Faible niveau de connaissance sur :
  - Nanoparticules
  - Molécules polaires,
  - Métabolites, produits de dégradation et de transformation
  - Molécules hors de « l'éclairage du réverbère »
- Large gamme de concentration
- Quasi absence d'indicateurs (existe partiellement en microbiologie)



Micropolluants présents dans les milieux aquatiques  
et leur impact sur la santé humaine



**Pesticides**



**Cyanotoxines**



**Plastifiants**



**Engrais**



**Médicaments  
Bioproduits**



**Detergents  
Biocides**

Effets sanitaires

Effets environnementaux

**Cosmétiques**



**Métaux/-oïdes**

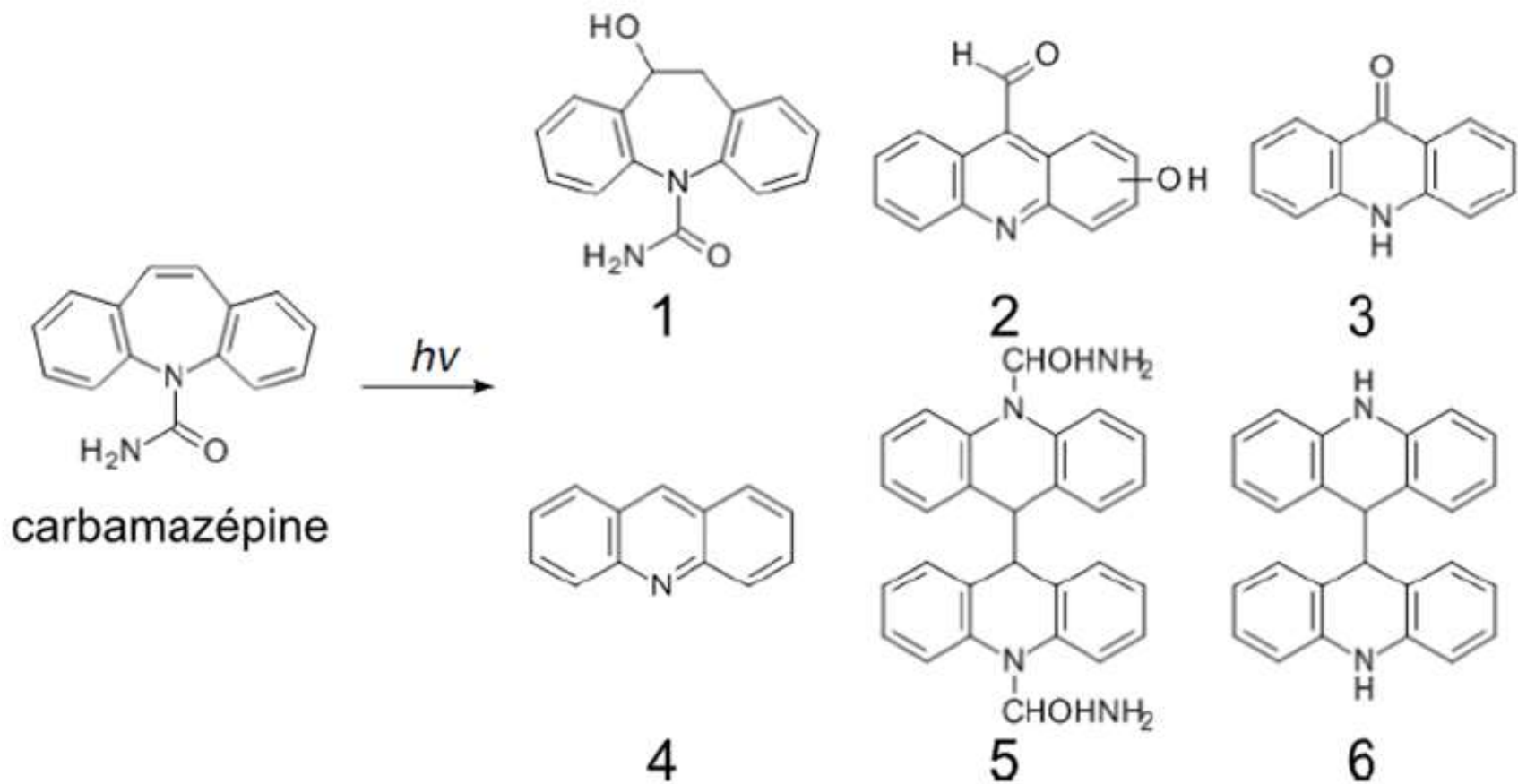
**Solvants**

**Nanoparticules**

**Hydrocarbures**

**Sous-produits  
désinfections**





Produits de la photolyse directe de la carbamazépine  
d'après (Chiron et al., 2006).

- **Très grande inquiétude alimentée par :**
  - lancements d'**alertes** (vraies ou fausses)
  - **pressions** commerciales (technologies, eaux conditionnées, livres ...)
  - une dose de théorie du **complot**
  - un **découplage** entre les « sachants » (chercheurs, techniciens) qui se parlent au sein des congrès et des revues scientifiques et Des décideurs qui n'ont plus le temps, ne veulent pas ou ne savent pas se faire livrer les **informations objectives**.  
Faibles financements publics de la recherche au regard des enjeux : sujets jugés pas assez fondamentaux hors crises (Europe, fonds privés), « base-sommet »
  - le **doute** des sachants et le **délai** qu'ils réclament pour affirmer les résultats (écotoxicologie, écologie, effets des mélanges...)
  
- **Induisant**
  - pression sur les décideurs (gestionnaires, législateurs, élus...)
  - effet « caméléon » (copie de décisions de gestion sur celle des autres)
  - manque de confiance envers les résultats
  - abus d'interprétation, oubli d'objectivité
  - lenteur de la réglementation qui stimule un doute sur le « complot » ...

- Des décisions sont forcément prises (bonnes ou mauvaises)
  - ▶ **Éclairées** basées sur les évaluations des risques quantifiées grâce aux expertises collectives indépendantes
  - ▶ **Principes** de prévention ou de protection sur la base d'une analyse de risques incomplète ou impossible
  - ▶ **Biaisées**
  - ▶ En omettant parfois des conséquences (ne pas supprimer le bon)

## ÉVALUATION du RISQUE

### Identification du danger



*Effets négatifs ?  
Cibles biologiques ?*

### Relation Dose-Effet



*Impacts sur Homme et  
écosystème ?*

### Mesure des expositions



*Dosages, modélisations*

Quantification du  
risque

*Incidences ?*

## GESTION du RISQUE

Évaluation des conséquences des  
solutions possibles

*(Législatif, réglementaire,  
technologies, acceptabilité,  
économie... )*

Decisions et actions

Communication

Évaluation de l'effet des actions

## Contact cutané

Baignades  
Activités aquatiques  
Travailleurs

## Inhalation

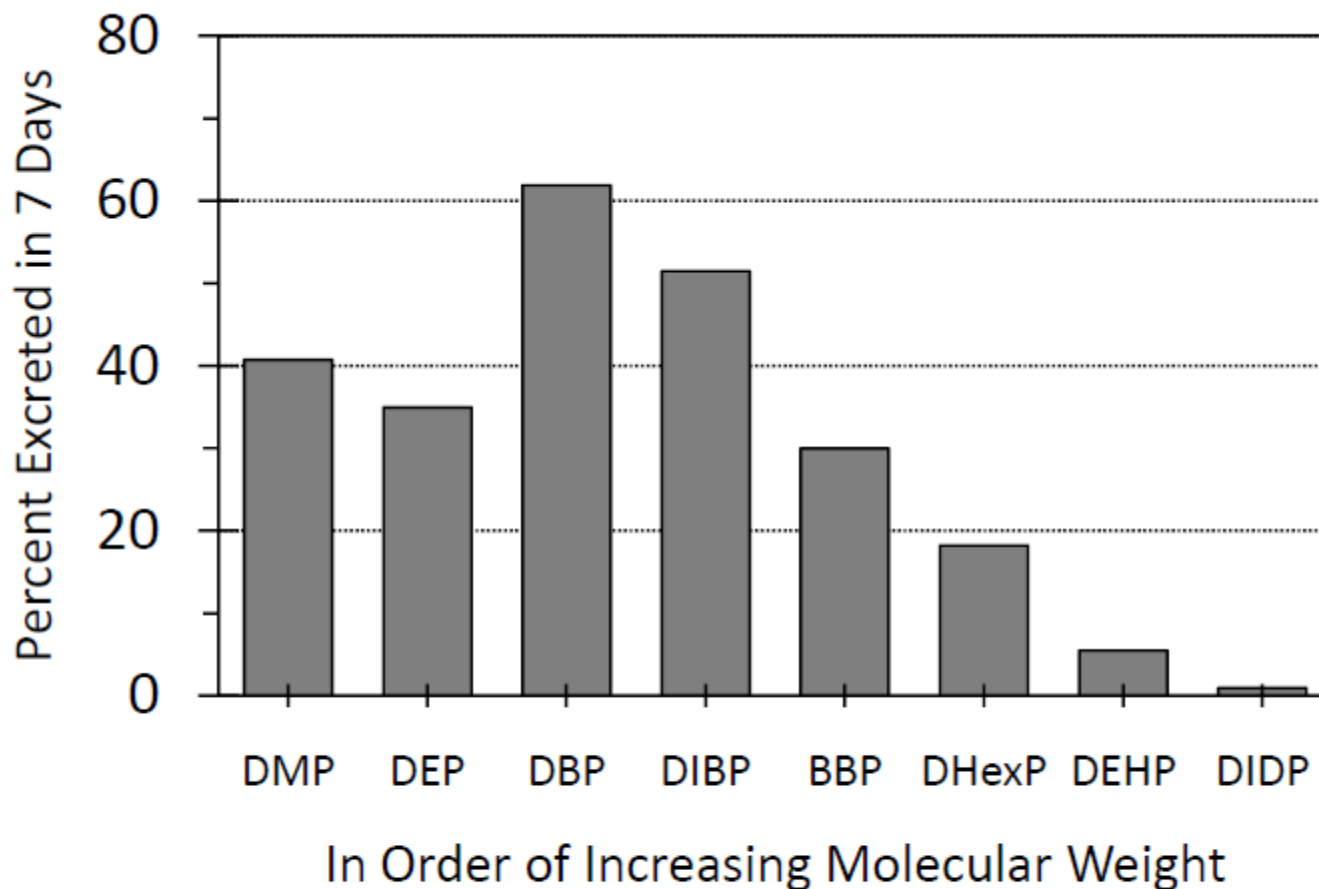
Aérosols

## Ingestion

Boisson  
Irrigation aliments  
Fruits de mer  
Poissons  
Viande...

Associer identification des dangers et exposome.





**Figure 3. Percutaneous absorption of phthalate esters.** Percentage of the applied dose excreted in urine and feces following 7 days of exposure in F344 rats (Elsisi et al. 1989). Phthalate esters are arranged by order of increasing molecular weight.

substance	[Cmax]	PNEC	[Cmax]/PNEC
chlordecone/Képone	190	1	190
imidacloprid	1	0,1	10
triclosan	18,8	4,7	4
phosphamidon	26,2	8	3,275
carbofuran	17,8	20	0,89
métolachlor/s-métolachlo	21,5	38	0,565789474
bis Phénol A (BPA)	373,7	1600	0,2335625
méthoprène	14,3	89	0,160674157
di isobtuyl phthalalte	257,4	1800	0,143
kétoprofène	129,2	3120	0,041410256
dibenzothiophène	8,2	320	0,025625
NP1EO	6,8	330	0,020606061
NP2EO	4,4	420	0,01047619
di-n-butyl phthalate	99,2	10000	0,00992
carbamazépine	24,2	2500	0,00968
butyl benzyl phthalate	63,7	7500	0,008493333
4 octyl phénol éthoxylate	15,9	nd	
3-5 di ter butylphénol	3,4	nd	

substance	[C]max	PNEC	[C]/PNEC	substance	[C]max	PNEC	[C]/PNEC
dibutyl étain oxyde	140	0,003	48275,86	dibenzo (a,l) pyrene	23,21	113,4	0,20
plomb diéthyl	50,08	0,68	73,65	p,p' TDE	4,43	22,6	0,20
chlordecone	10,38	0,159	65,28	diosgenin	9,61	52,7	0,18
benzyl butyl phtalate	250,16	7,5	33,35	coronene	21,79	129,6	0,17
PFUnA	9,69	0,89	10,89	anthanthrene	22,87	142	0,16
benzo[c]phenanthrene	19,9	1,87	10,64	benzo(e)pyrene	100,4	629	0,16
PFDA	9,33	1,46	6,39	PFOSA	5	38,4	0,13
bisphénol A	225,92	60	3,77	triphenylene	30	397	0,08
terbutryn	0,2	0,077	2,60	dibenzothiophene	10,18	147	0,07
PFDoA	19,49	8,86	2,20	1-Methylpyrene	12,38	186	0,07
plomb triéthyl	0,86	0,68	1,26	HBCDD	35	709	0,05
NP1EO	43,9	50,8	0,86	diphényl étain dihydride	6,11	183	0,03
monophényl étain	216,32	283,1	0,76	chrysene, 1-methyl-	5,84	178,5	0,03
benzo(g,h,i)fluoranthene	18,94	28,2	0,67	amiodarone	1,53	48,1	0,03
octylphénol technique	10,16	16,9	0,60	dibenzo(a,i)pyrene	9,04	298,1	0,03
triclocarban	7,83	15,7	0,50	6-Methylchrysene	3,66	178,5	0,02
permethrin	3,38	7,22	0,47	BDE-209	28,32	1509	0,02
NP2EO	24,2	52,75	0,46	dibenzo(a,h)pyrene	5	298,1	0,02
lambda cyhalothrine	0,58	1,49	0,39	o,p'-DDD	0,74	71,9	0,01
acide niflumique	3,8	9,91	0,38	tetrabromo bisphénol A	5,6	647	0,01
decahydronaphtalene	1,61	5,04	0,32	o,p' 2,4'-DDE	1,28	191,8	0,01
p,p' DDE 44'	6,1	22,8	0,27	dimethylbenz(a)anthrac	1,49	278,5	0,01
dibenzo(a,e)pyrene	28,64	113,4	0,25	miconazole	0,76	3074	0,00
4-ter butylphénol	14,43	63,74	0,23				

*Substances pour lesquelles un dépassement de la PNEC a été identifié (matrice eau)*

Catégorie d'usage	Paramètre	LQ (µg/L)	PNEC (µg/L)	Fréquence de quantif (%)	MEC95 / PNEC	Moy/PNEC (valeurs <LQ remplacées par LQ/2)	Moy/PNEC (valeurs <LQ remplacées par LQ)
Produits industriels	3,4-Dichloroaniline	0,001	0,01	3%	170	12,53	23,01
Pesticides	Deltaméthrine	0,0001	0,0001	4%	74,9	1,33	1,81
Pesticides	Acétochlore	0,001	0,006	20%	73,3	3,26	3,55
Produits de soins corporels	Triclosan	0,003	0,0047	10%	21,3	2,19	3,00
Pesticides	Ométhoate	0,0001	0,0008	1%	7,4	0,13	0,19
Pesticides	Carbendazime	0,001	0,015	49%	5,4	0,53	0,56
Pesticides	Carbofuran	0,001	0,0094	7%	3,1	0,13	0,19
Pesticides	Trifloxystrobine	0,001	0,0053	4%	2,3	0,13	0,22
Pesticides	Malathion	0,0001	0,0006	4%	1,9	0,17	0,26
Pesticides	Spiroxamine	0,001	0,003	7%	1,8	0,21	0,37
Pesticides	Parathion éthyl	0,002	0,0025	0,3%	1,3	0,40	0,80

➤ Très diversifiés

- Génotoxicité
- Perturbation endocrinienne
- Troubles des comportements
- Toxicité par organe
- Troubles du développement, de la reproduction, du QI ...

➤ Effets additifs dans le cas de cibles identiques, synergies, effets non monotones

Avec des incidences :

**De la cellule à l'organe, de l'organe à l'organisme, de l'organisme à l'individu, de l'individu à la population, de la population à la communauté.**

**Concept ONE HEALTH**

- Épidémiologie, toxicologie, écotoxicologie, écologie
- Acceptabilité du risques, coût : sciences humaines et sociales

- De **grands progrès** accomplis : méthodes, outils, intégration dans les circuits de décision (Directives, cahiers des charges, agences d'évaluation, REACH ...)
- Mesurer la réalité de l'exposition et des interactions naturelles (dose délivrée, dose effective)
- Bioindicateurs, biomarqueurs et biodétecteurs
- *In vitro*
- *In vivo*
- micro-, méso- cosmes
- Batteries d'essais en cours d'évaluation
- *In silico*



Planaqua CEREAP

Ne pas se perdre, se doter des informations objectives pour interpréter

- Biodégradation : métabolites
- Adsorption : transfert de compartiment
- Rétention : devenir des concentrats
- Aération forcée : transfert de compartiments
- Oxydations : sous-produits

La structure des filières EP et EU tend à se rapprocher : CAG, CAP, Ozone, Membranes

Les options de gestion amont sont indispensables

molécule	taux d'abattement en STEP (réf.)	
acétaminophène	100% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
	98% <sup>b</sup>	(Ternes et al., 2001)
	>99% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
alprazolam	<10% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
amitriptyline	30-70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	<20% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
amphétamine	55-99% <sup>a</sup>	(Huerta-Fontela et al., 2008a)
	88-98% <sup>a</sup>	(Huerta-Fontela et al., 2008a)
benzoylecgonine	84-93% <sup>a</sup>	(Karolak et al., 2010)
	82% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
bromazépam	>70% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
	0% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
carbamazépine	7% <sup>b</sup>	(Ternes, 1998)
	<30% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	8%	(Heberer, 2002)
	<40% <sup>a</sup>	(Heberer et al., 2005)
	0%	(Heberer, 2002)
	30% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006a)
	<10% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
cocaïne	88-99% <sup>a</sup>	(Huerta-Fontela et al., 2008a)
	90-98% <sup>a</sup>	(Karolak et al., 2010)
	95% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
diazépam	<30% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	<10% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
diclofénac	33% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
	9-75% <sup>a</sup>	(Stumpf et al., 1999)
	<30% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	69% <sup>b</sup>	(Ternes, 1998)
	17% <sup>a</sup>	(Heberer, 2002)
	26% <sup>a</sup>	(Lindqvist et al., 2005)

<sup>a</sup> : avec traitement sur boue activée

<sup>b</sup> : sans traitement sur boue activée

molécule	taux d'abattement en STEP (réf.)	
doxépine	<30% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	30-70% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
EDDP	21% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
	33% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
fluoxétine	30-70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	<30% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
gabapentine	57% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
	96% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
ibuprofène	22-75% <sup>a</sup>	(Stumpf et al., 1999)
	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	90% <sup>b</sup>	(Ternes, 1998)
	95-99% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
imipramine	38-93% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006a)
	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
kétoprofène	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	78% <sup>a</sup>	(Lindqvist et al., 2005)
MDMA	50-80% <sup>a</sup>	(Huerta-Fontela et al., 2008a)
	68-80% <sup>a</sup>	(Karolak et al., 2010)
méthadone	63% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
	20% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
méthamphétamine	27% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
	44-99% <sup>a</sup>	(Huerta-Fontela et al., 2008a)
morphine	92% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
	73% <sup>a</sup>	(Castiglioni et al., 2006b)
naproxène	>70% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	66% <sup>b</sup>	(Ternes et al., 2001)
	80% <sup>a</sup>	(Lindqvist et al., 2005)
nordiazépam	<30% <sup>a</sup>	(AMPERES, 2010)
	<10% <sup>a</sup>	(Lardy-Fontan, 2008)
oxazépam	7% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
tramadol	21% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)
venlafaxine	0% <sup>a</sup>	(Escher et al., 2011)



- Une dégradation planétaire qu'elle n'a jamais connue dans son histoire avant les années 40 et en évolution permanente
- Une diversité chimique considérable et un coût exceptionnel
- Des effets multiples et des mélanges
- La France dispose d'excellentes compétences
- De très grands progrès accomplis
- Une intégration en évolution dans les directives européennes
- Une prise de conscience du besoin d'associer analyse chimique et analyse biologique

- Intensifier l'acquisition de connaissance et promouvoir la recherche
- Créer une structure type « GIEC » publiant régulièrement l'état de la contamination de la planète par les micropolluants
- Savoir se méfier des « solutions miracle » universelles
- Renouer un lien de partenariat entre les décideurs et les acteurs de l'évaluation pour travailler collectivement et objectivement à l'évaluation des risques, prioriser les risques et les gérer.
- Le cas des perturbateurs endocriniens est exemplaire (diversité des agents et des effets biologiques, effets faibles doses) mais ne doit pas cacher le reste
- Réduire les émissions
- Savoir rester modeste au regard du cas des nitrates toujours pas réglé !