

# Aspects sanitaires des sources d'énergie

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Généralités

- Effets à court terme
  - Accidents
    - Blessures éventuellement mortelles
    - Intoxications aiguës
    - Brûlures
- Effets à long terme
  - Maladies chroniques
  - Cancers
- Les guerres de l'énergie

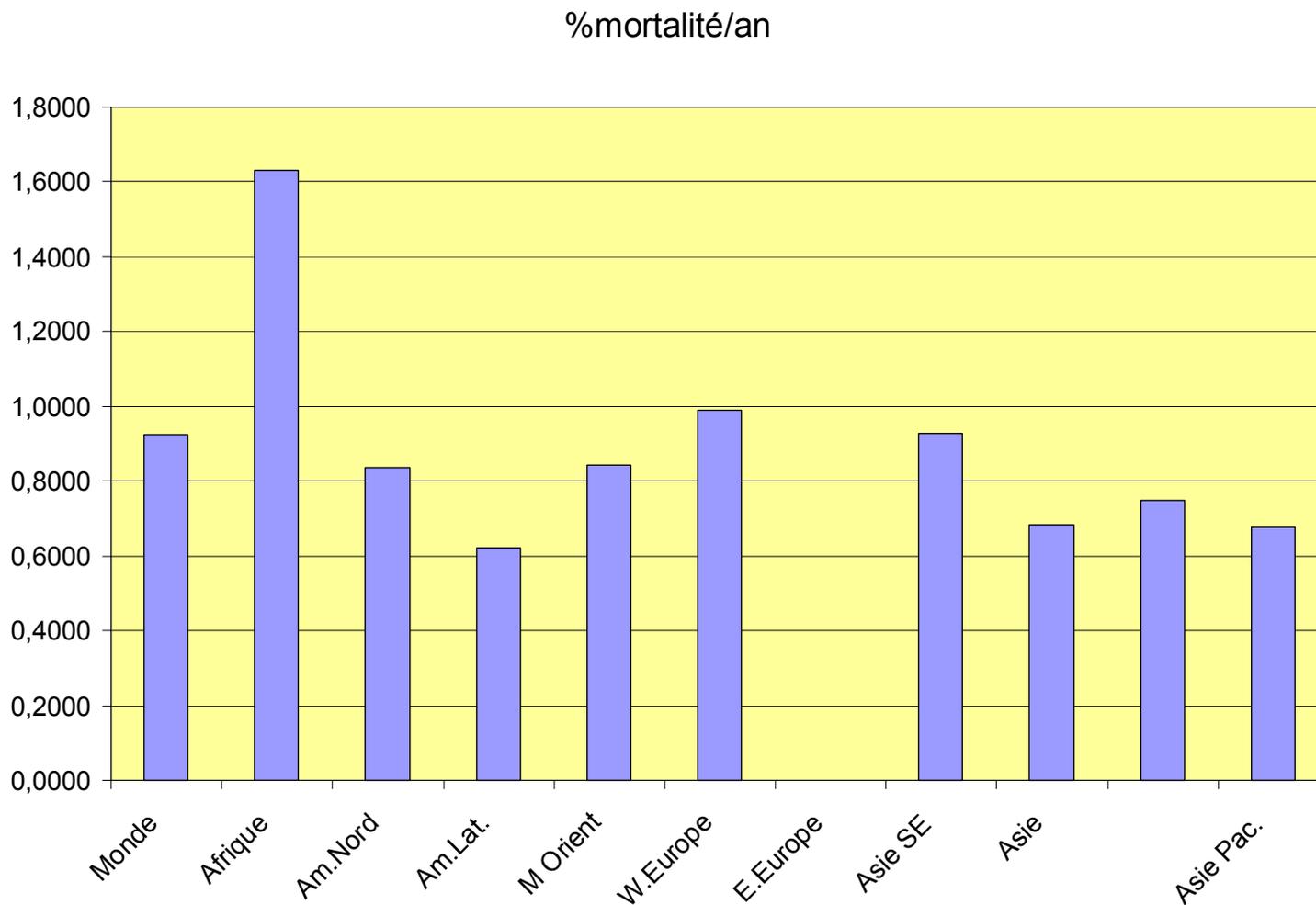
# Difficultés d'évaluation

- Manque de spécificité
- Retard entre agression et effets
- Manque de statistique des études épidémiologiques
- Facteurs confondants
- Problème des indemnisations dans les cas d'incertitude.

# Etat sanitaire mondial

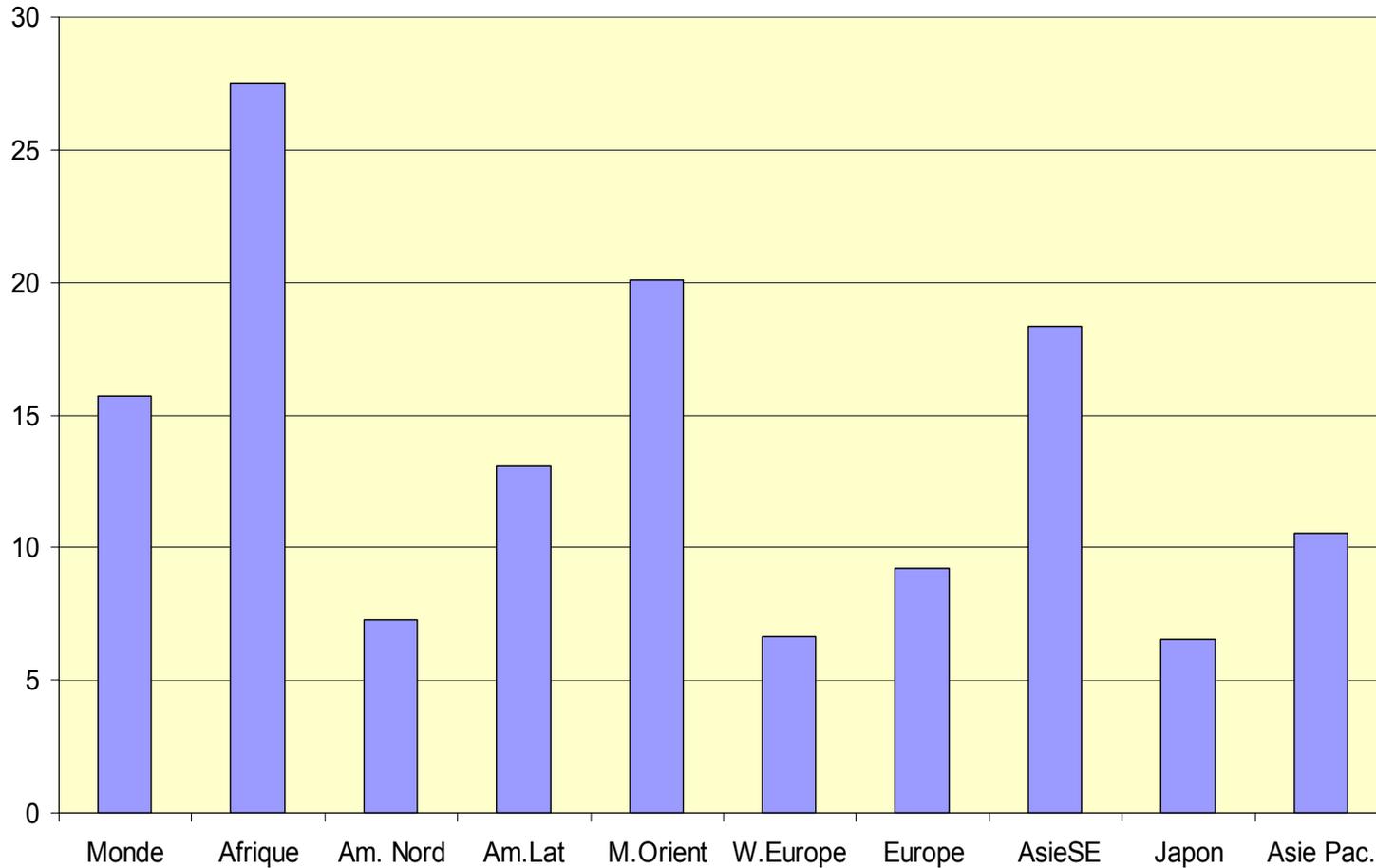
- Nécessité de mettre les effets sanitaires de la production d'énergie dans leur contexte
- Statistiques de l'OMS
- Nombre de décès prématurés
- Nombre d'années de vie perdues

# Mortalité %/an

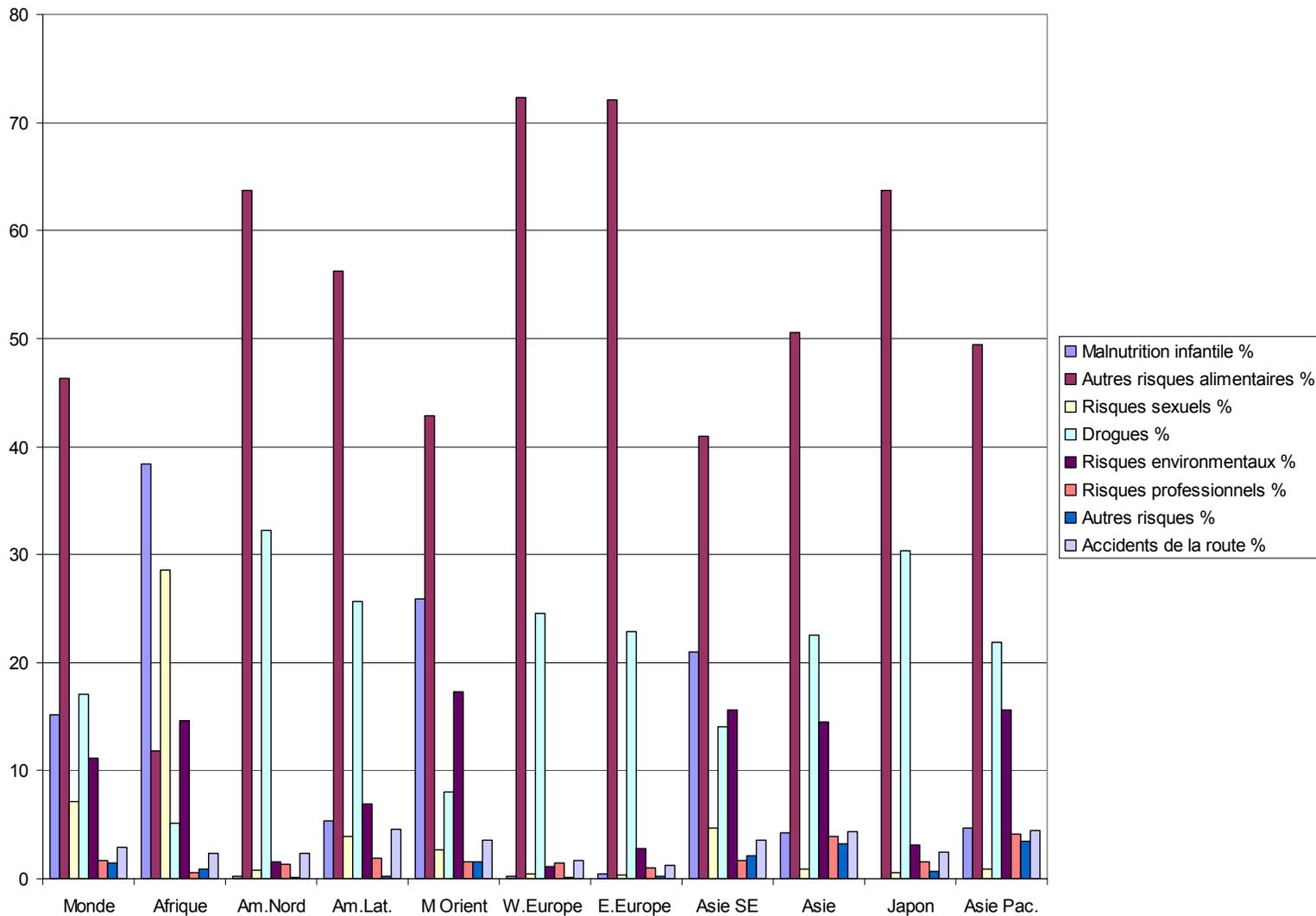


# Années perdues/décès attribuable

années perdues par décès attribuable



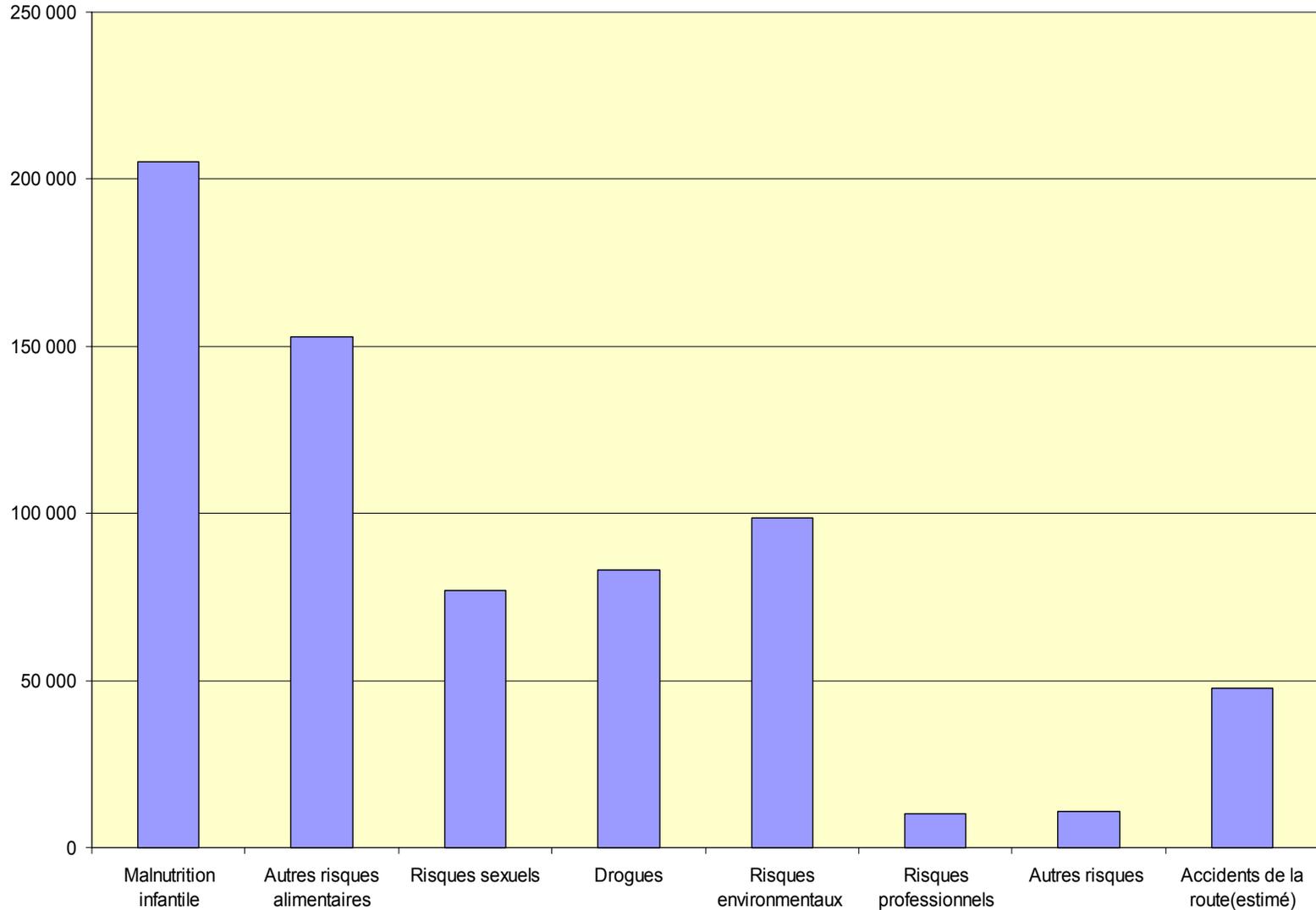
# Causes de décès évitable %



30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

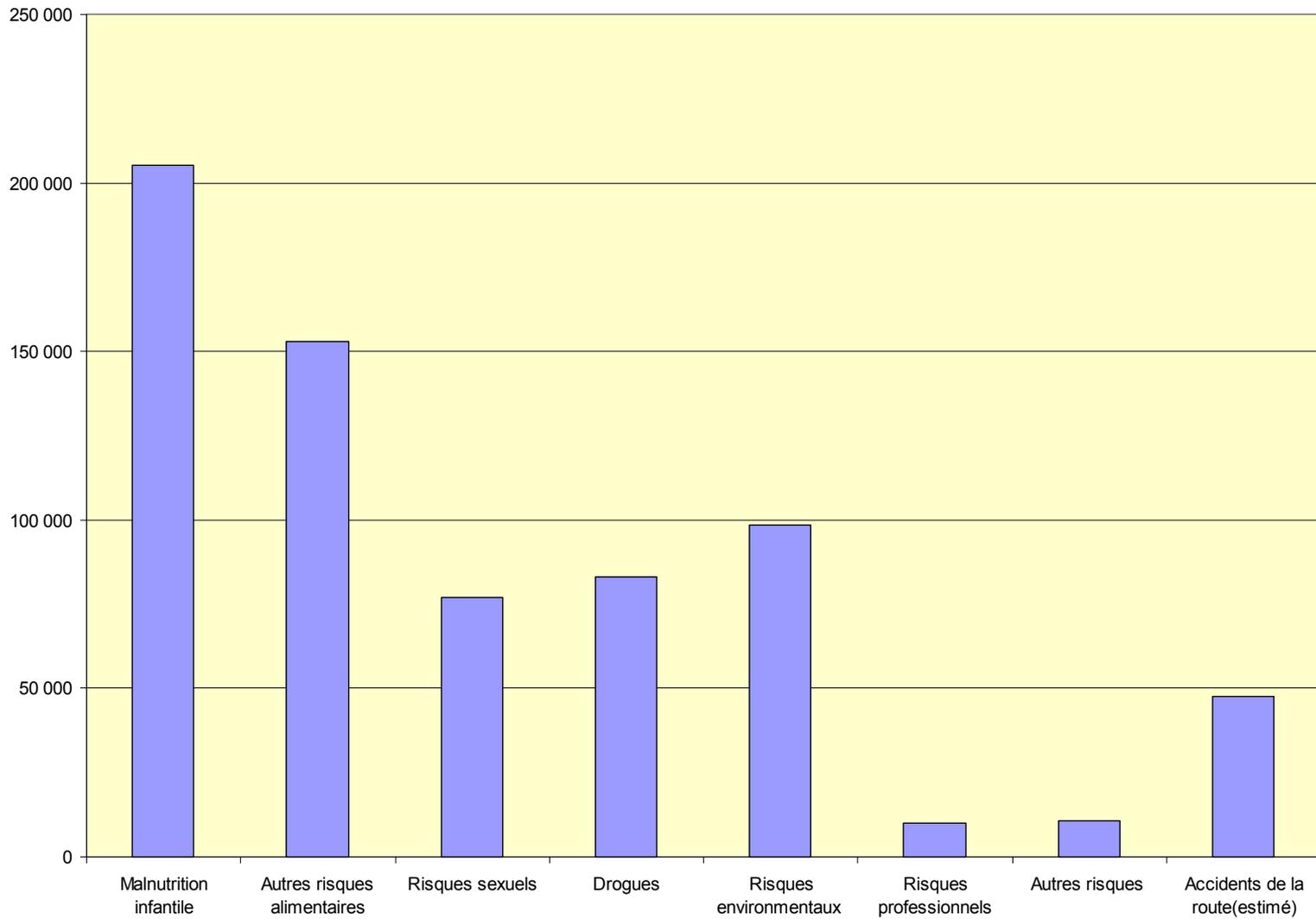
# Nombre de décès: Monde, milliers



30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

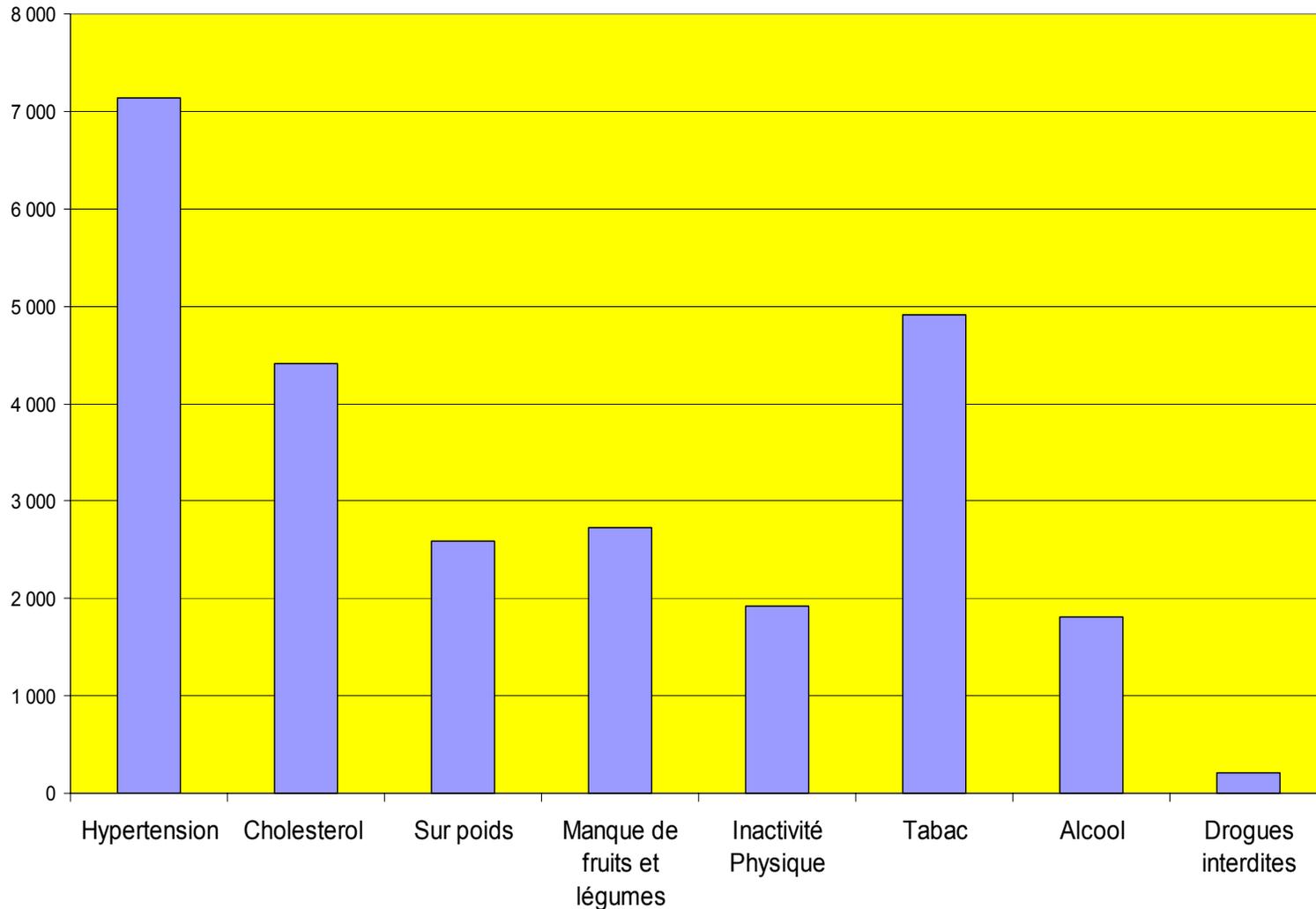
# Pertes d'années de vie: milliers



30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Détail décès mode de vie



30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Nombre de cas de cancer et pourcentage attribués aux différents facteurs en France en 2000

Facteurs de risque*	Hommes		Femmes		Deux sexes	
	Nbre	% tous cancers	Nbre	% tous cancers	Nbre	% tous cancers
Tabac	43 466	27.0	7 095	6.1	50 562	18.2
Alcool	17 398	10.8	5 272	4.5	22 670	8.1
Agents infectieux	4 206	2.6	4 871	4.2	9 077	3.3
Obésité et surpoids	2 293	1.4	3 936	3.4	6 229	2.2
Insuffisance activité physique	780	0.5	5 058	4.3	5 838	2.1
Exposition aux UV	2 380	1.5	3 234	2.8	5 614	2.0
Tts hormonaux	-	-	5 159	4.4	5 159	1.9
Professionnel	4 012	2.5	316	0.3	4 328	1.6
Facteurs de reproduction§	-	-	2 260	1.9	2 260	0.8
Polluants+	243(5000)	0.1(2)	174(3500)	0.1(2)	400(8500)	0.1(2)

30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

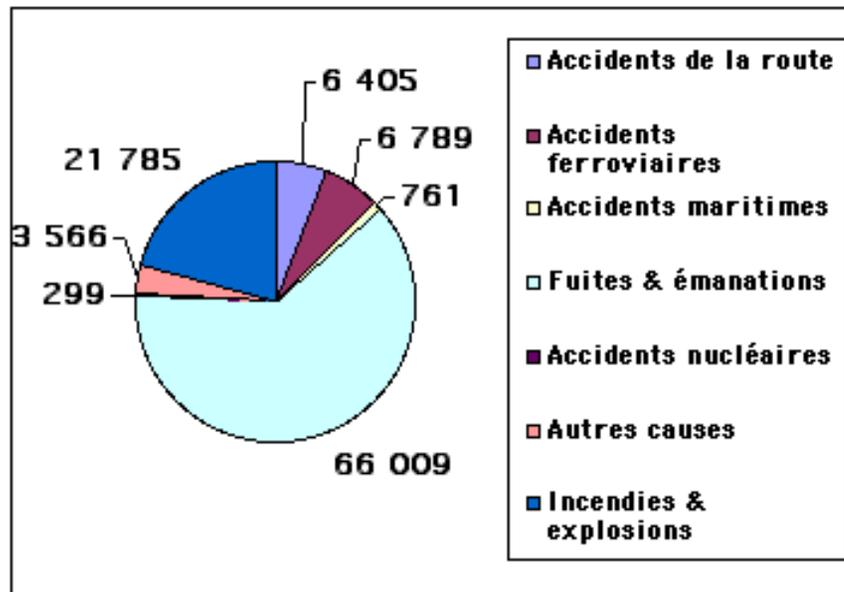
# Combustibles fossiles

30-05-2008

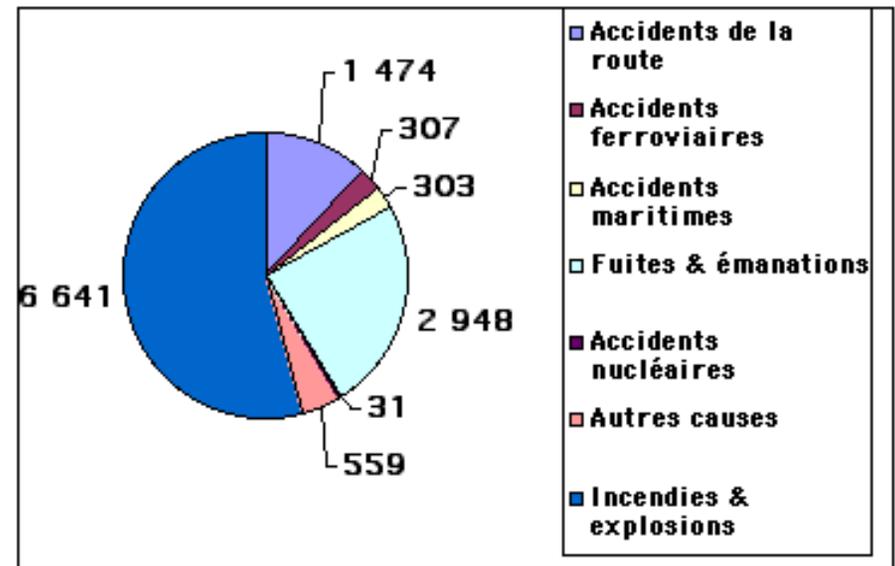
H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Statistique sur les accidents industriels majeurs 1970-1998. (Source ONU)

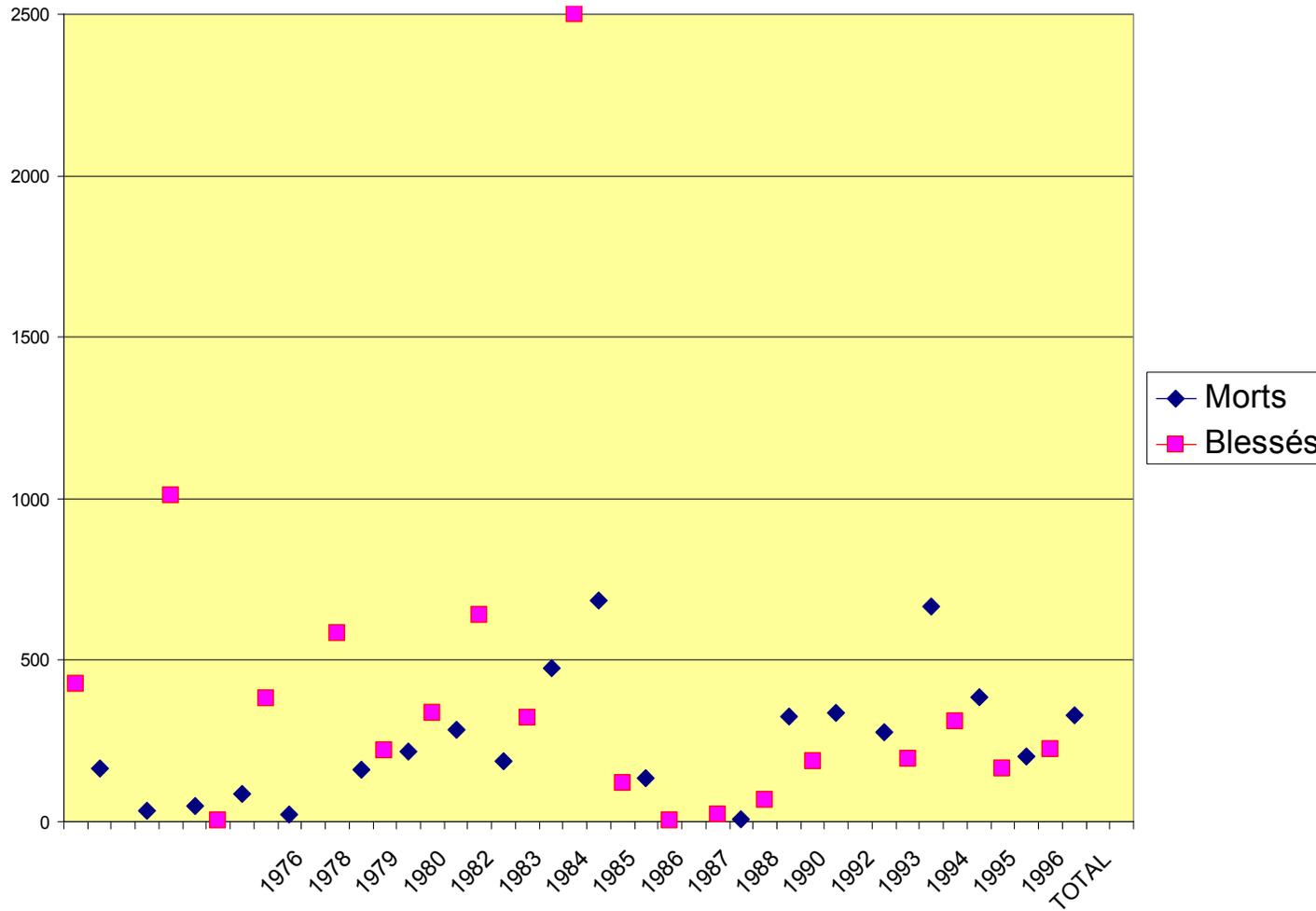
Nb blessés > 125



Nb morts > 25



# Fossiles:accidents



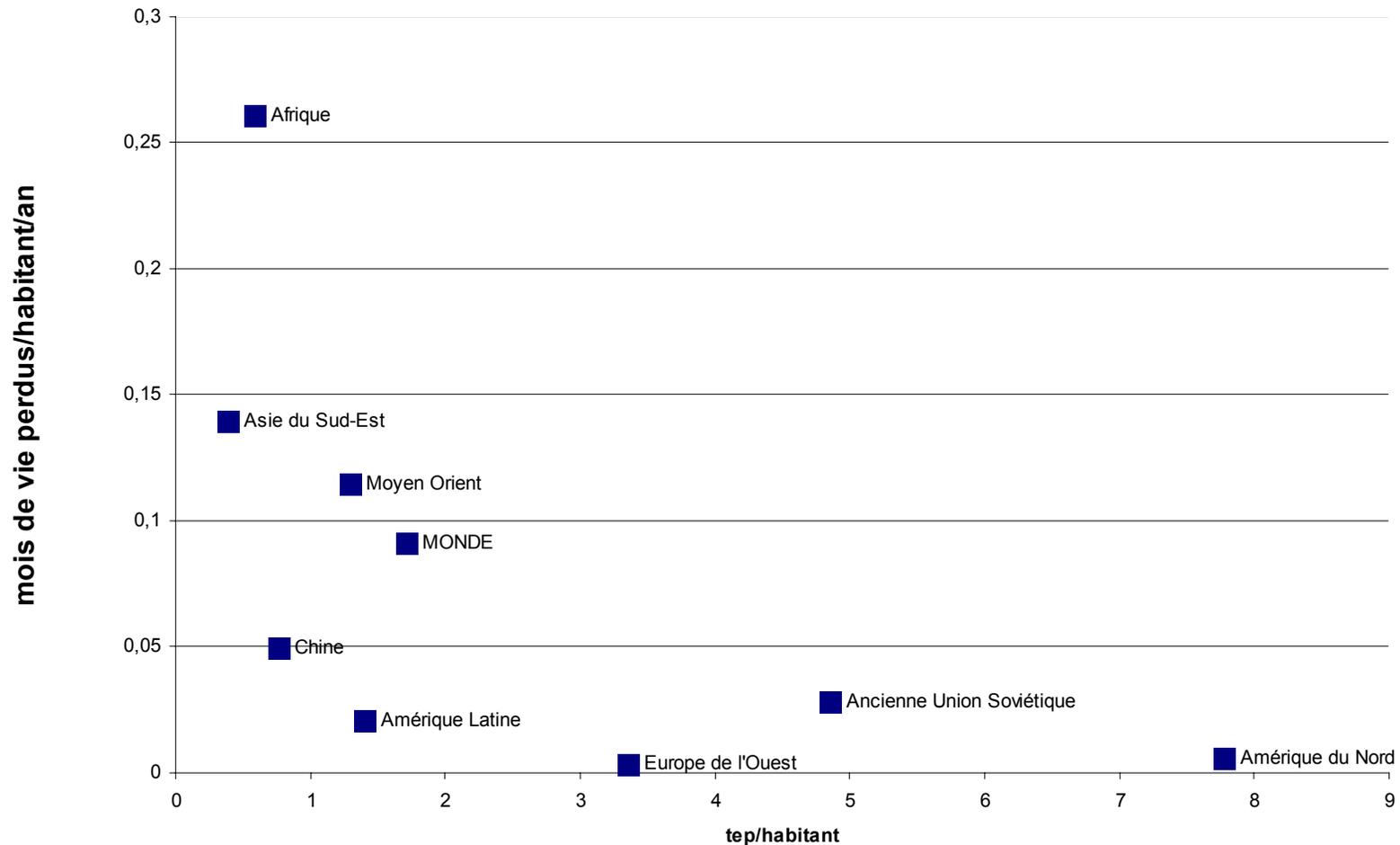
30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

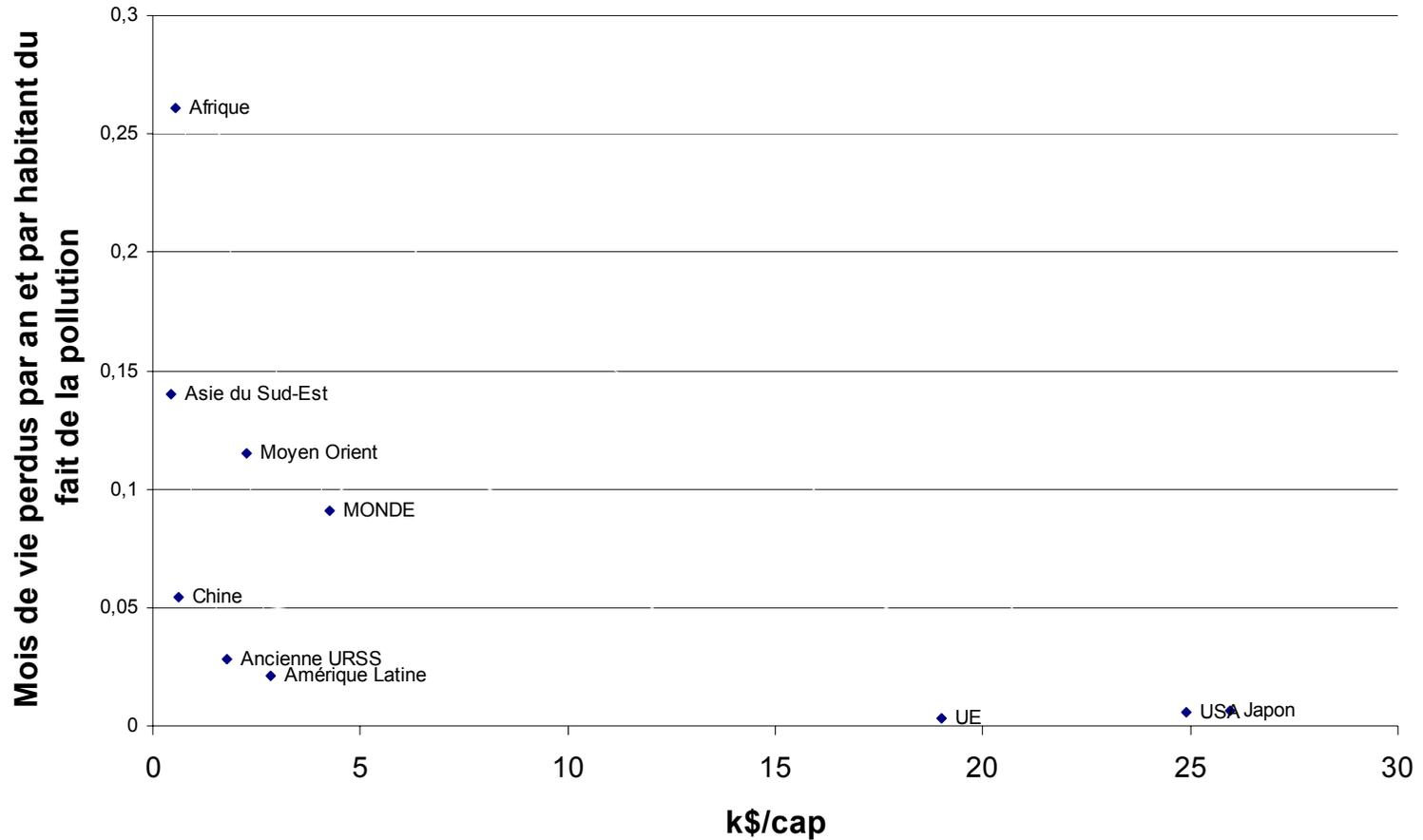
# Catastrophes

Date	Country and location	Origin of accident	Products involved	Deaths	Injured	Evacuated
1976						
<b>10.07</b>	<b>*Italy, Seveso</b>	<b>Air release</b>	<b>TCCD (Dioxine)</b>	<b>0</b>	<b>&gt;200</b>	<b>730</b>
1978						
15.07	Mexico, Xilatopec	Explosion (road transport)	Gas	100	200	
1980						
24.11	Turkey, Danaciobasi	Use/application	Butane	107		
29.11	Spain, Ortuella	Explosion	Propane	51	90	
1982						
25.04	Italy, Todi	Explosion (use/application)	Gas	34	140	
<b>19.12</b>	<b>Venezuela, Tacoa</b>	<b>Tank explosion</b>	<b>Fuel oil</b>	<b>153</b>	<b>500</b>	<b>40 000</b>
1983						
5	Egypt, Nile River	Explosion (transport)	LPG	<b>317</b>	44	
1984						
25.02	Brazil, Cubatao	Pipeline explosion	Gasoline	89		2 500
<b>19.11</b>	<b>Mexico, St. J. Ixhuatepec</b>	<b>Explosion (storage tank)</b>	<b>Gas (LPG)</b>	<b>500</b>	<b>2500</b>	<b>200000</b>
<b>3.12</b>	<b>*India, Bhopal</b>	<b>Leakage</b>	<b>Methyl isocyanate</b>	<b>2800</b>	<b>50 000</b>	<b>200000</b>
1986						
<b>26.04</b>	<b>USSR, Chernobyl Reactor</b>	<b>explosion</b>	<b>Nuclear</b>	<b>31</b>	<b>299</b>	<b>135000</b>
1990						
16.04	India, near Patna	Leakage, transport accident	Gas	100	100	
1992						
<b>22.04</b>	<b>*Mexico, Guadalajara</b>	<b>Explosion</b>	<b>Hydrocarbon oil,gas</b>	<b>206</b>	<b>1500</b>	<b>500</b>
1993						
4.08	Columbia, Remeios	Release	Crude oil	<b>430</b>		
1995						
12.03	India, Madras	Transport accident	Fuel	100	23	
<b>28.04</b>	<b>Korea, Taegu</b>	<b>Construction in the subway</b>	<b>LPG</b>	<b>101</b>	<b>140</b>	<b>10 000</b>
1996						
14.09	India, Wishakhaptnam	Refinery fire		34	31	<b>150000</b>
<b>14.02</b>	<b>Cameroon, Yaoundi</b>	<b>Transport accident</b>	<b>Petroleum pro</b>	<b>220</b>	<b>130</b>	

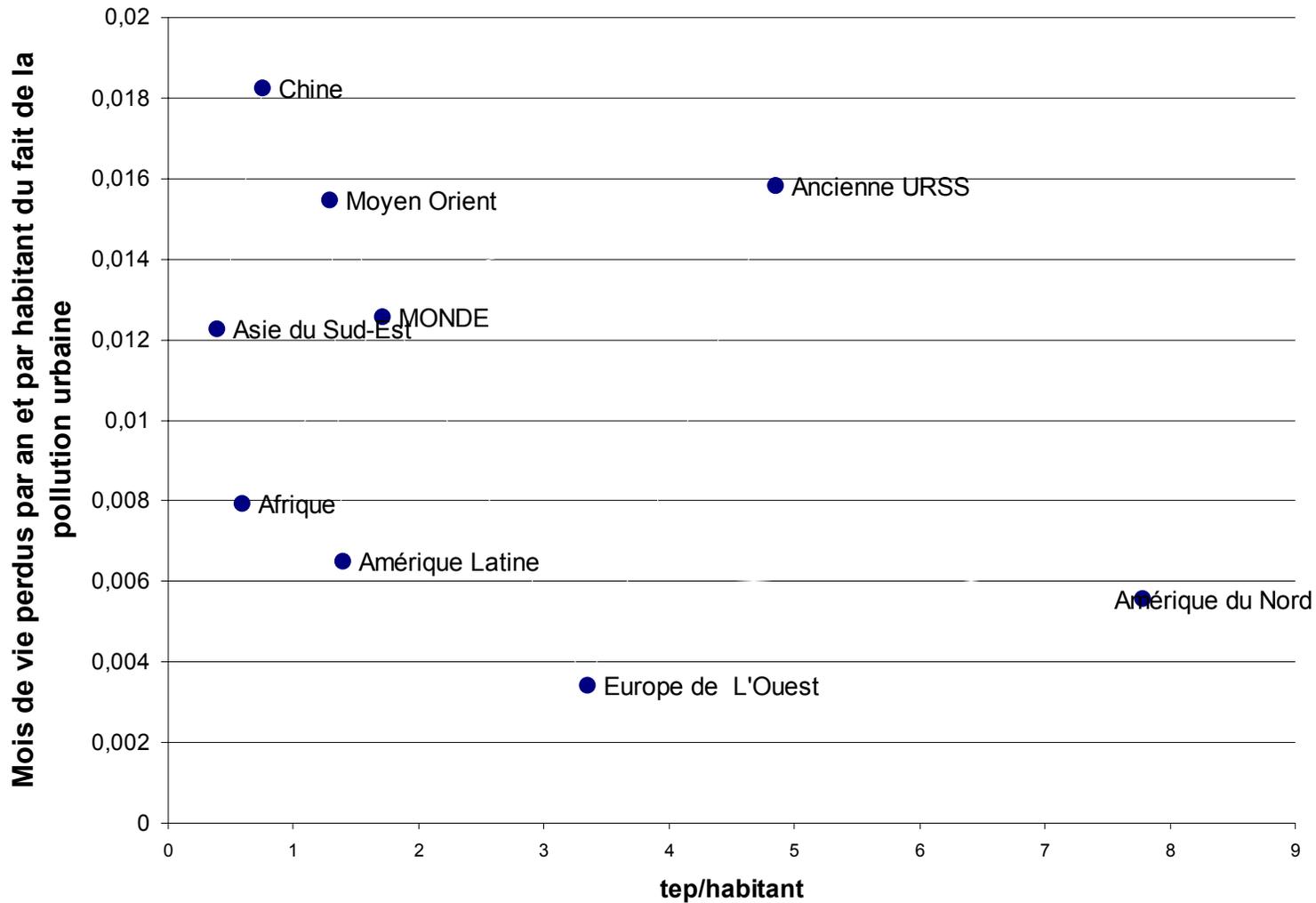
# Décès dus à consommation d'énergie vs PIB/cap



# Les riches consomment et ont une bonne santé!

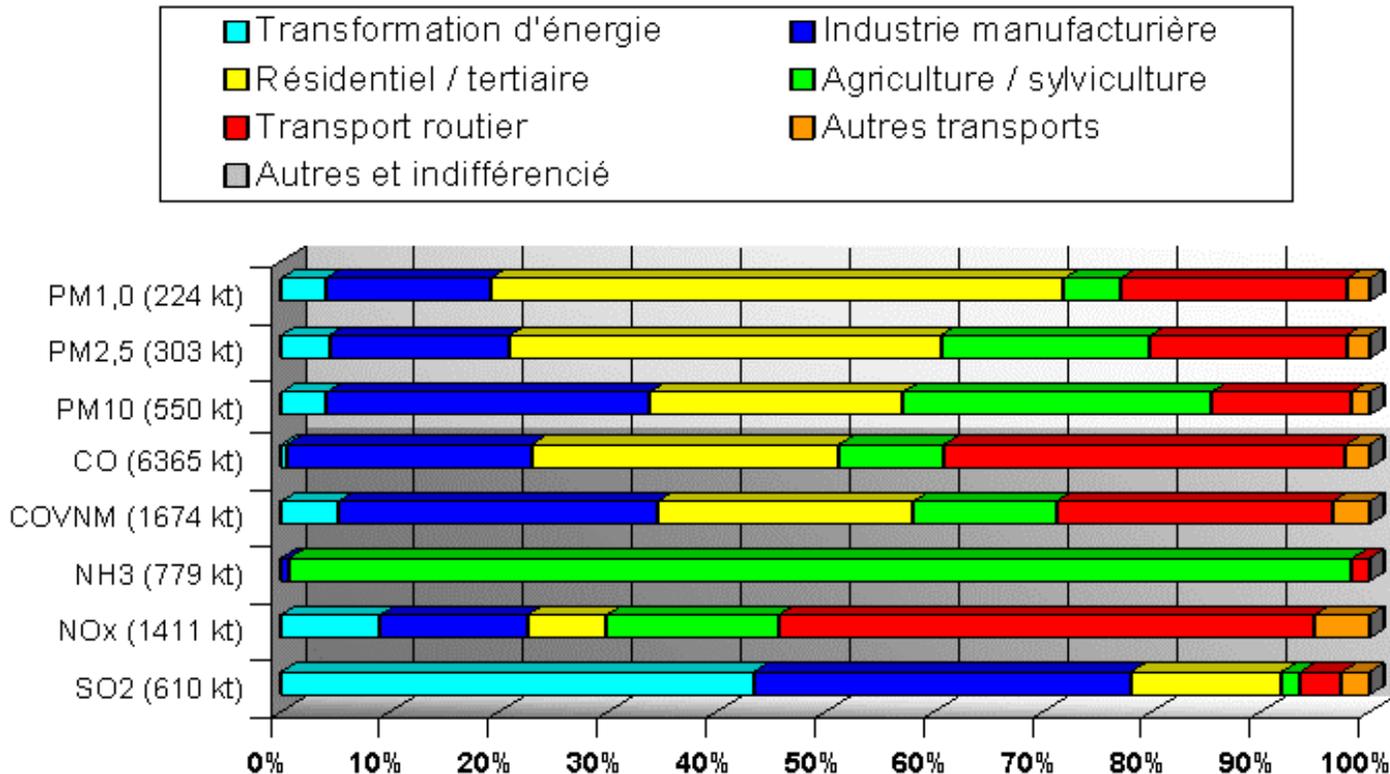


# Décès dus à la pollution urbaine

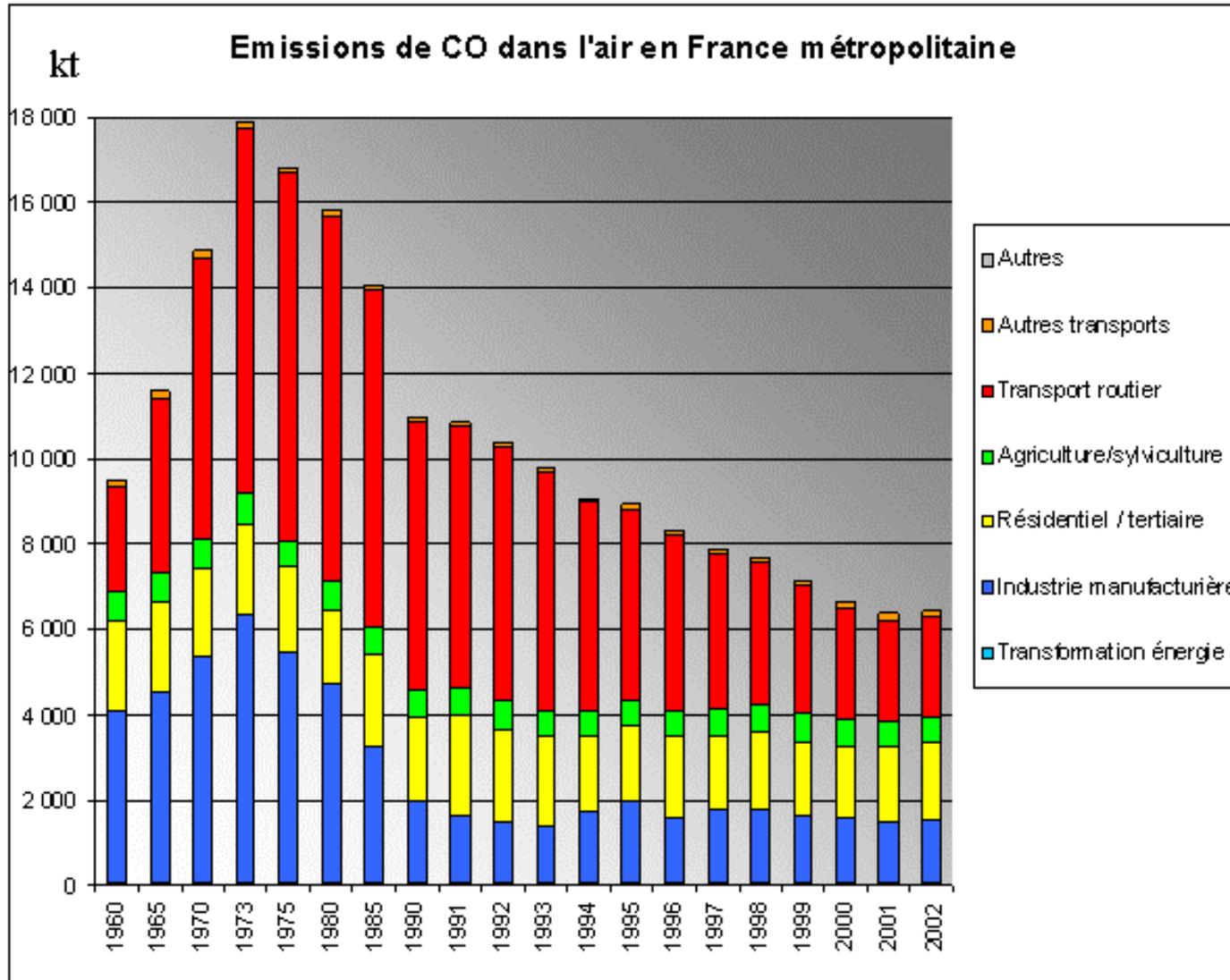


# Origine de la pollution urbaine

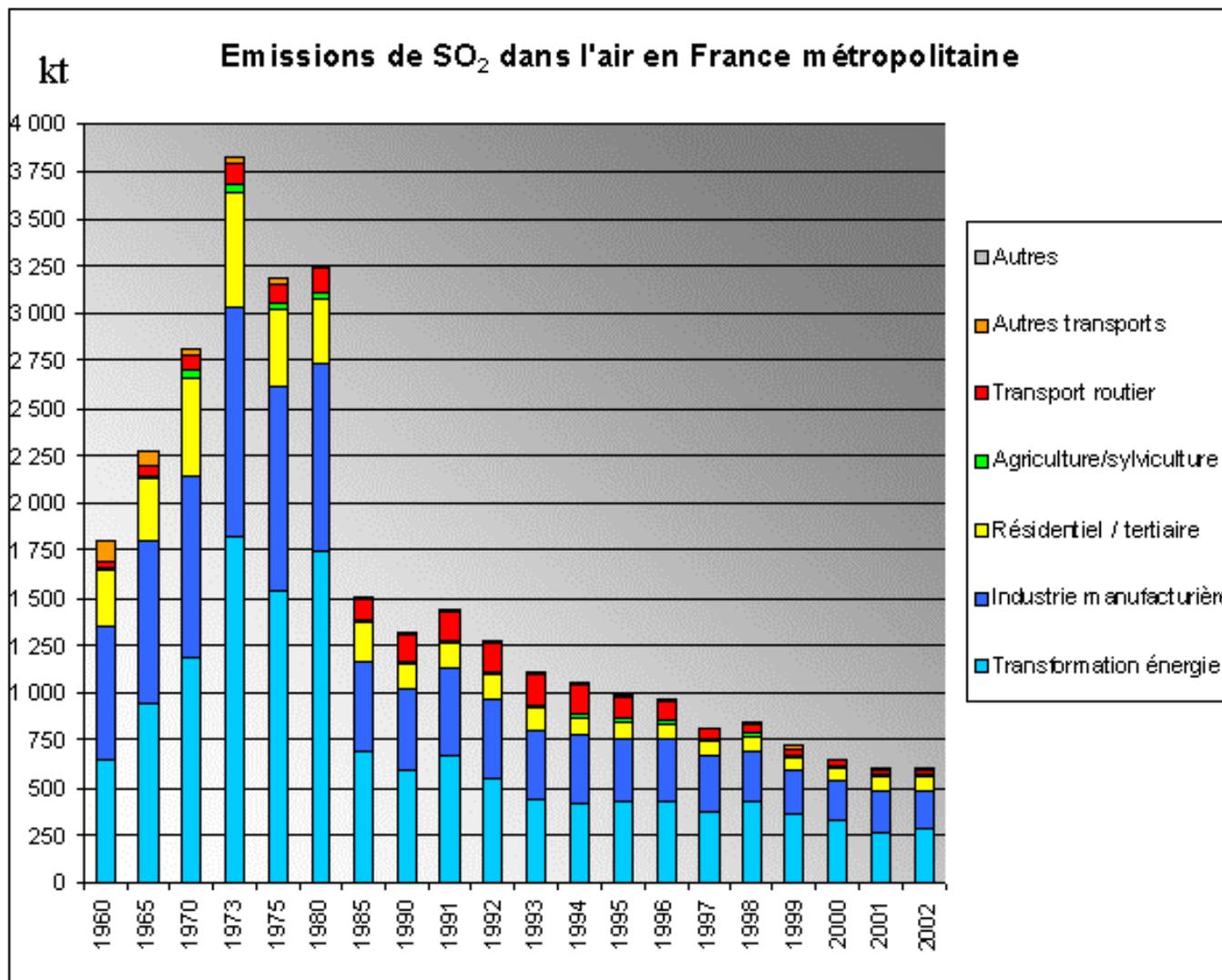
## DISTRIBUTION SECTORIELLE DES EMISSIONS EN FRANCE METROPOLITAINE EN 2001



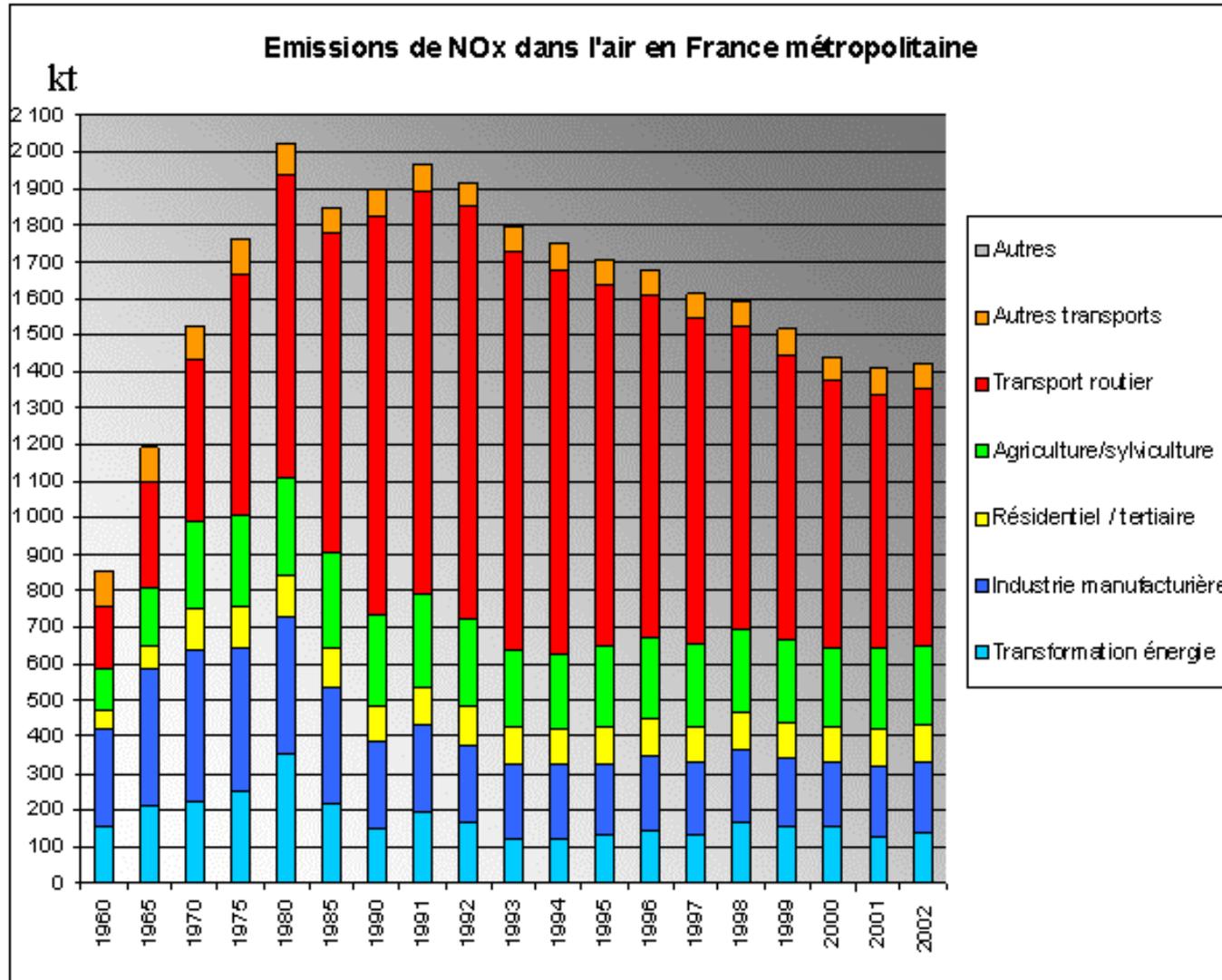
# Emissions CO



# Emissions SO<sub>2</sub>



# NO<sub>x</sub>



# Concentrations atmosphériques

$\mu\text{g}/\text{m}^3$

<b>Polluant</b>	<b>Niveau de base</b>	<b>Niveau médian</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>26</b>	<b>50</b>
<b>O<sub>3</sub></b>	<b>4</b>	<b>29</b>
<b>Fumées noires</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
<b>Particules fines</b>	<b>11</b>	<b>30</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	<b>5</b>	<b>15</b>

# Affections court terme

## Etude ERPURS

Mesure	Affections	Polluant dominant	augmentation %/10 $\mu$ g/m <sup>3</sup>
Hospitalisation	asthme moins de 15 ans	NO <sub>2</sub>	3,3
Hospitalisation	maladies respiratoires moins de 15 ans	Particules Fines	2,7
Mortalité	causes respiratoires	Particules Fines	2,5
Hospitalisation	affections cardio-vasculaires	NO <sub>2</sub>	1,4
Mortalité	affections cardio-vasculaires	Particules Fines	1,3
Mortalité	Toutes causes non accidentelles	NO <sub>2</sub>	0,8
Hospitalisation	BPCO	O <sub>3</sub>	0,8

# Etudes Pope

- Suivi de 500000 sujets de 1982-1989
- 50 villes
- Particules et sulfates
- Pollution retenue:
  - Sulfates: moyenne 1980.
    - ✓ Concentration mini:  $3,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$
    - ✓ Concentration maxi:  $23,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
  - Particules ( $<2,5\mu$ ): 1979-1983
    - ✓ Concentration mini:  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$
    - ✓ Concentration maxi:  $33,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

# Etudes Pope: résultats

<b>Rapport des mortalités de la zone la plus polluée à celle de la moins polluée</b>		
	<b>Sulfates</b>	<b>Particules</b>
<b>Toutes causes moyenne</b>	<b>1,15</b>	<b>1,17</b>
<b>Toutes causes intervalle de confiance (95%)</b>	<b>1,09-1,22</b>	<b>1,09-1,26</b>
<b>Cancer du poumon moyenne</b>	<b>1,36</b>	<b>1,03</b>
<b>Cancer du poumon intervalle de confiance (95%)</b>	<b>1,11-1,66</b>	<b>0,80-1,33</b>
<b>Troubles cardio-pulmonaires moyenne</b>	<b>1,26</b>	<b>1,31</b>
<b>Troubles cardio-pulmonaires intervalle de confiance (95%)</b>	<b>1,16-1,37</b>	<b>1,17-1,46</b>

# Exemple de Paris

- Rôle des particules (faibles sulfates)
- Troubles cardio-vasculaires dominants
- 10 millions d'habitants
- 14000 décès
- Mortalité annuelle totale: 125000

30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Hydraulique

## Ruptures de barrages

- Malpasset (1959) 423 morts
- L'Oros (Brésil) (1960) 1000 morts
- Vaiont (It) (1963) 2500 morts
- Logan (USA)(1972) 450 morts
- Morvi (In) (1979) 30000 morts
- Chine: Rupture d'environ 2 petits barrages/an

30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Nucléaire

30-05-2008

H.Nifenecker  
Cours UIAD

# Les unités

## Activité des radioéléments:

- Nombre de désintégration par s.: becquerels

## Les radiations déposent leur énergie dans les tissus

- Unité de dose: **1 Gray=1 Joule/kg (D)**

Tenir compte de l'efficacité biologique qui dépend:

- De la nature des rayonnements ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )
- De la nature des tissus (plus ou moins sensibles)
- Dose équivalente:  $H=D*Q$  **Unité: Sievert**
  - $Q=1$   $\gamma, \beta$
  - $Q=20$   $\alpha$
- Dose efficace:  $E=w*H$ 
  - Gonades :  $w = 0,20$
  - Estomac, *gros intestin*, moelle osseuse, poumon :  $w = 0,12$
  - Cerveau, œsophage, foie, muscles, pancréas, *petit intestin*, rate, rein, sein, thyroïde, utérus, vessie :  $w = 0,05$
  - Peau, surface des os :  $w = 0,01$

# Exposition aux armes

- Hiroshima et Nagasaki : 180.000 morts dans les premiers mois,  $\sim\sim$ 500 cancers tardifs en excès. 40.000 survivants après 60 ans

# Relation dose-effet

- Etude de la relation dose-effet (cancer) :
  - Effets déterministes  $D > 0,5$  Grays
    - Dose létale:  $D = 8$  Grays (50%)
  - Effets stochastiques
    - $5 \cdot 10^{-2}$  cancer mortel/Sv
    - Autres effets (cardio vasculaires...)

# Atomic Bomb Survivor Excess Cancer

Population of Survivors Studied **86,572**

Total Cancers observed after the Bomb **8,180**

Total Cancers Expected without Bomb **7,743**

---

**Total Cancer Excess 437**

Excess Tumor                      Excess Leukemia  
334                      +                      104                      =                      437

# Relation LNT

On suppose que le relation

$$P_{\text{cancer}} = 0,05 D$$

est toujours valable, même pour de faibles doses  $D > 100 \text{ mSv}$

Mais sans données expérimentales

Utile pour calculer une dose collective:

- 1000 personnes recevant 1 mSv = 1 personne recevant 1 Sv

# Ordres de grandeur

- Irradiation naturelle : 2,4 mSv/an (1 à >100)
  - Activité du corps humain: 100 Bq/kg
  - Irradiation interne: 0,25 mSv (Dari)
- Irradiation professionnelle : < 20 mSv/an
- Irradiation médicale Dc : 1 mSv/an ?
- Ajouté par le nucléaire civil :  $\sim\sim$  0,01 mSv/an
- Ajouté par Tchernobyl en France : < 1mSv
- Seuil effets déterministes :  $\sim\sim$  200mSv
- Limite de détection ERR cancer :  $\sim\sim$  100mv

# Activités naturelles

	<b>U</b>	<b>Th</b>	<b>Ra</b>	<b>K</b>
Engrais phosphatés	500 à 1000	.	10 à 500	50 à 5000
Briques Plâtre	.	10 à 100 6 à 60	10 à 100 10 à 1000	600 à 1000 20 à 70
Charbon Cendres	10 à 30 50 à 200	10 à 30 10 à 100	3 à 30 50 à 200	30 à 250 300 à 1000
Lait Pommes de terre Blé Viande Légumes verts Fruits frais			0,08 0,02 0,03	50 à 80 150 140 80 100 40 à 90

# Doses admissibles

	Dose maximale en millisieverts	Equivalent paquets de cigarettes
Professionnels	20	100
Public	1	5
Limite d'évacuation autour de Tchernobyl	5	25

# Equivalence tabac

	Dose en millisievert	Equivalent paquets de cigarettes
Total Irradiation naturelle /an	3	15
Radon /an	2	10
Rayons cosmiques /an	0.3	1.5
Rayons X médicaux /an	0.4	2
Séjour d'un an à 2000 mètres	0.8	4
Irradiation du public due aux Centrales nucléaires /an	0.0005	0.0025
Irradiation moyenne en France due à Tchernobyl dans la première année suivant l'accident	0.05	0.25

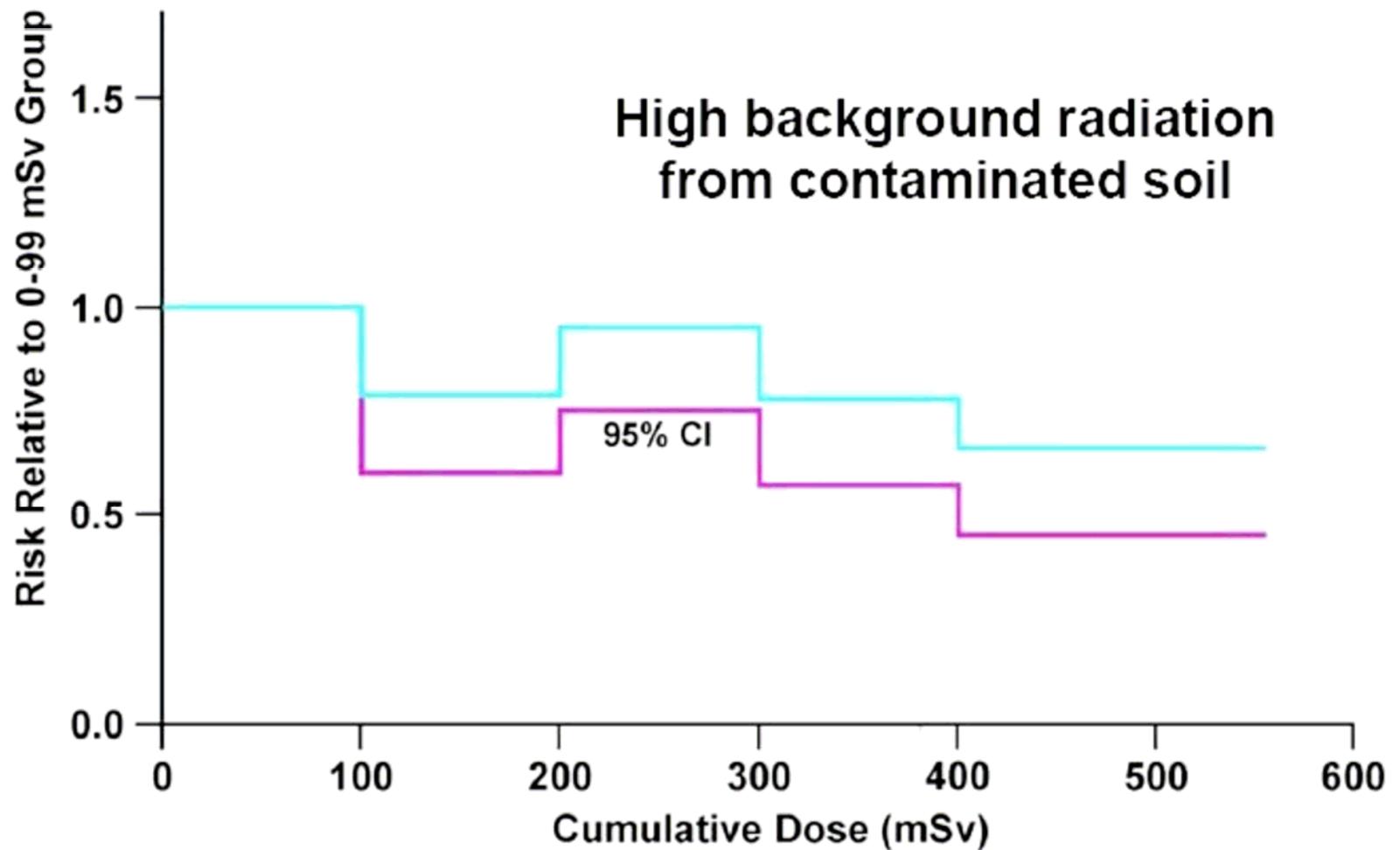
# Les faibles doses

- Un problème de modélisation du risque
- Concernant le risque stochastique?
- Destiné à éclairer la perception du risque
  - en matière de choix de filières énergétiques (déchets...)?
  - en matière de pratique radiologiques

# Limites de l'épidémiologie

- Si 10.000 patientes sont nécessaires pour établir un excès de cancers du sein à 0,1 Sv il faudra un effectif de 100 millions de patientes pour établir la réalité de ce risque dans la gamme de 0 à 0,1 Sv

# Solid Cancer Mortality for Yangjiang, China (1979-1998)

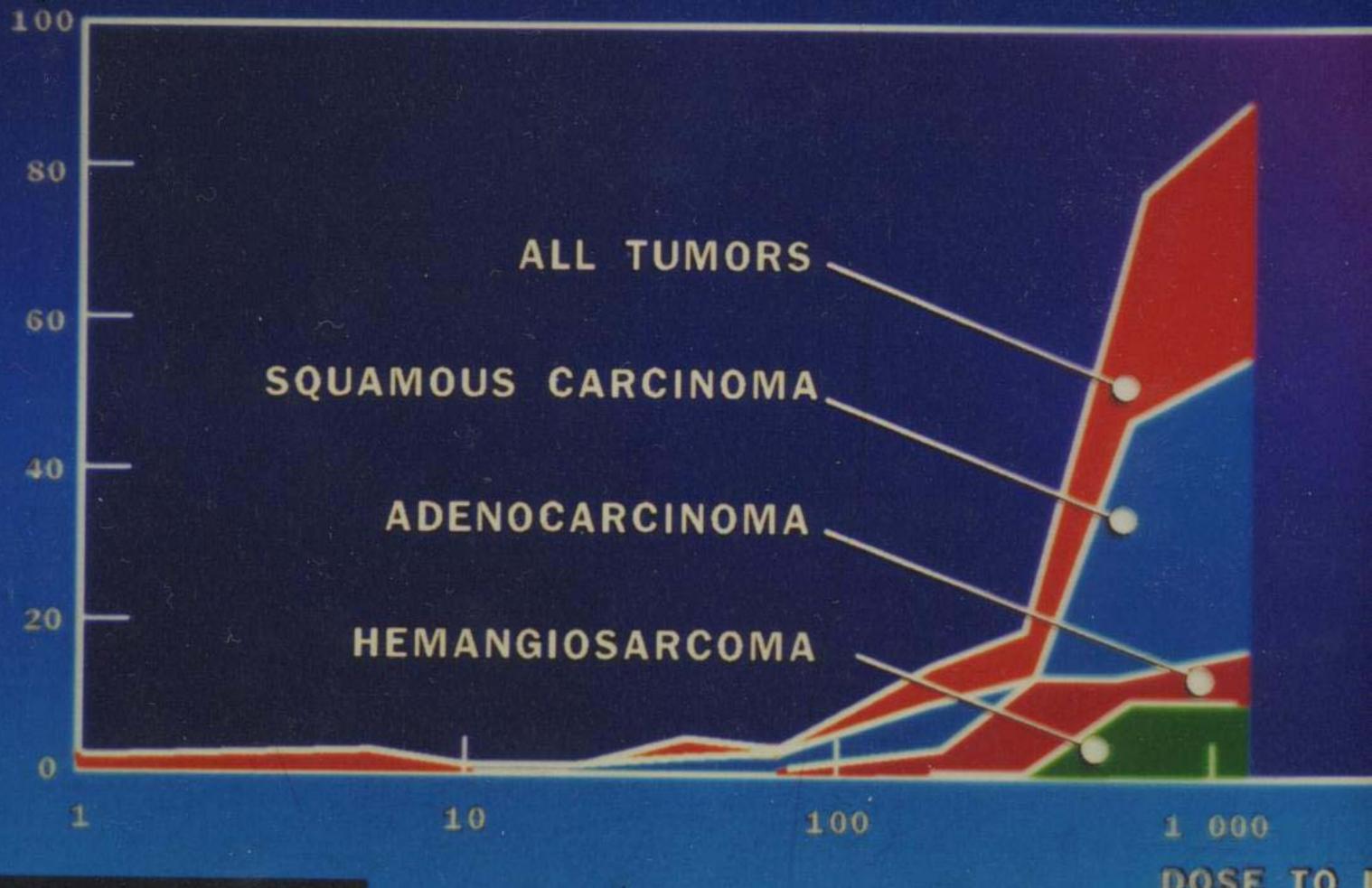


*Wei and Sugahara. Int. Congress Series 1236:91-99, 2002.*

# Inhalation de PuO<sub>2</sub>

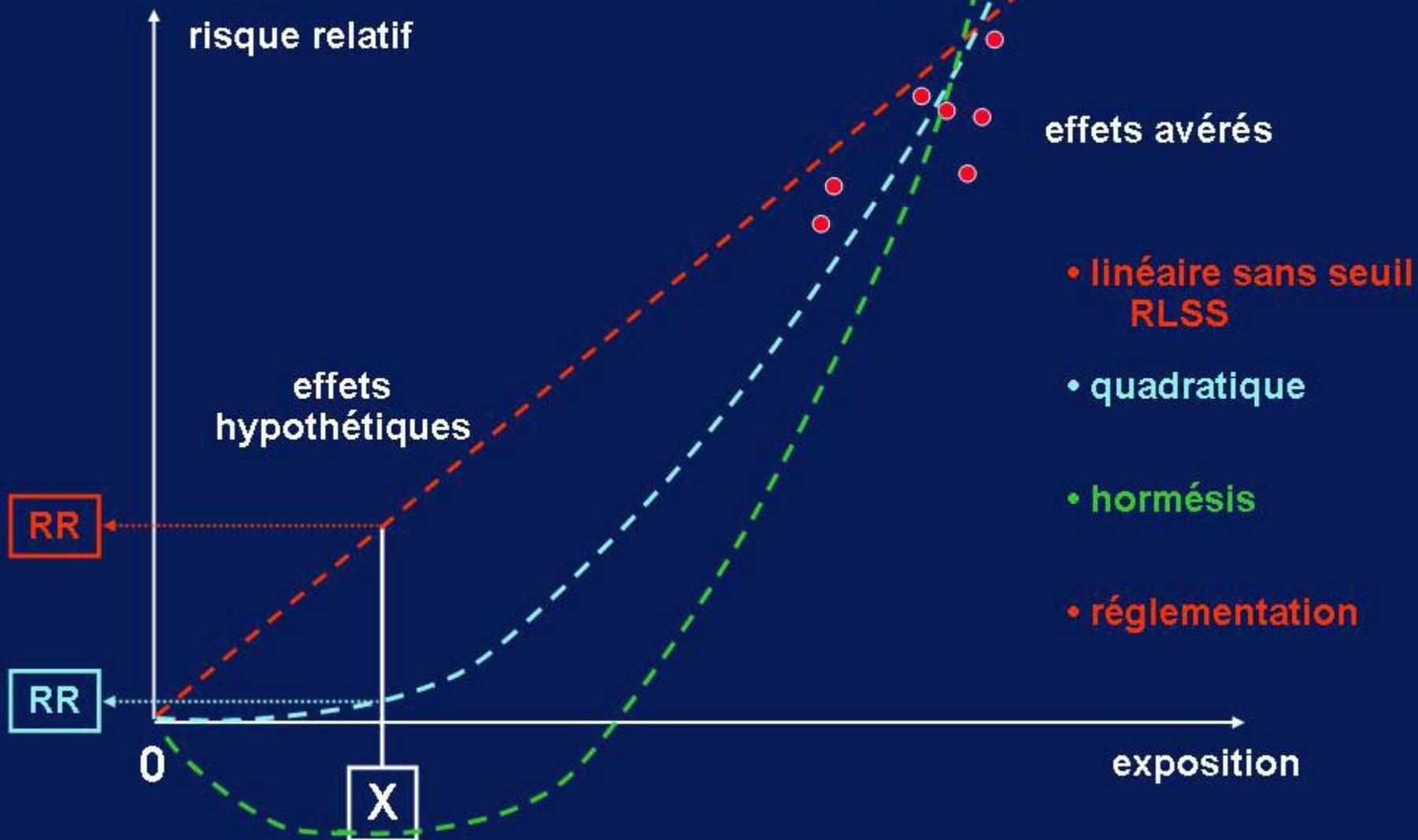
## INHALATION DE <sup>239</sup>PuO<sub>2</sub> PAR LE TUMEURS PULMONAIRES

INCIDENCE  
OF LUNG  
TUMORS, %

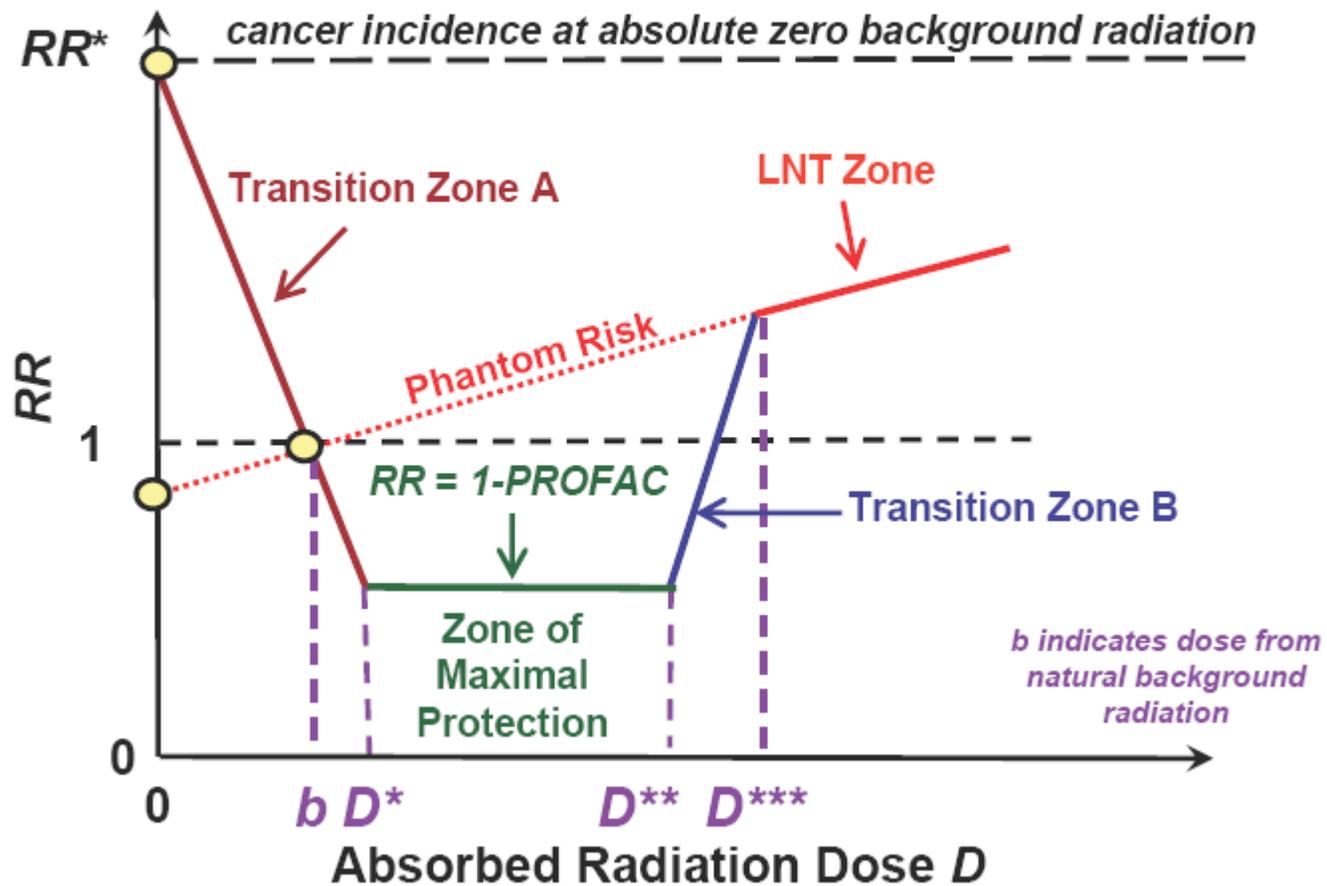


# évaluation du risque d'une exposition aux RI

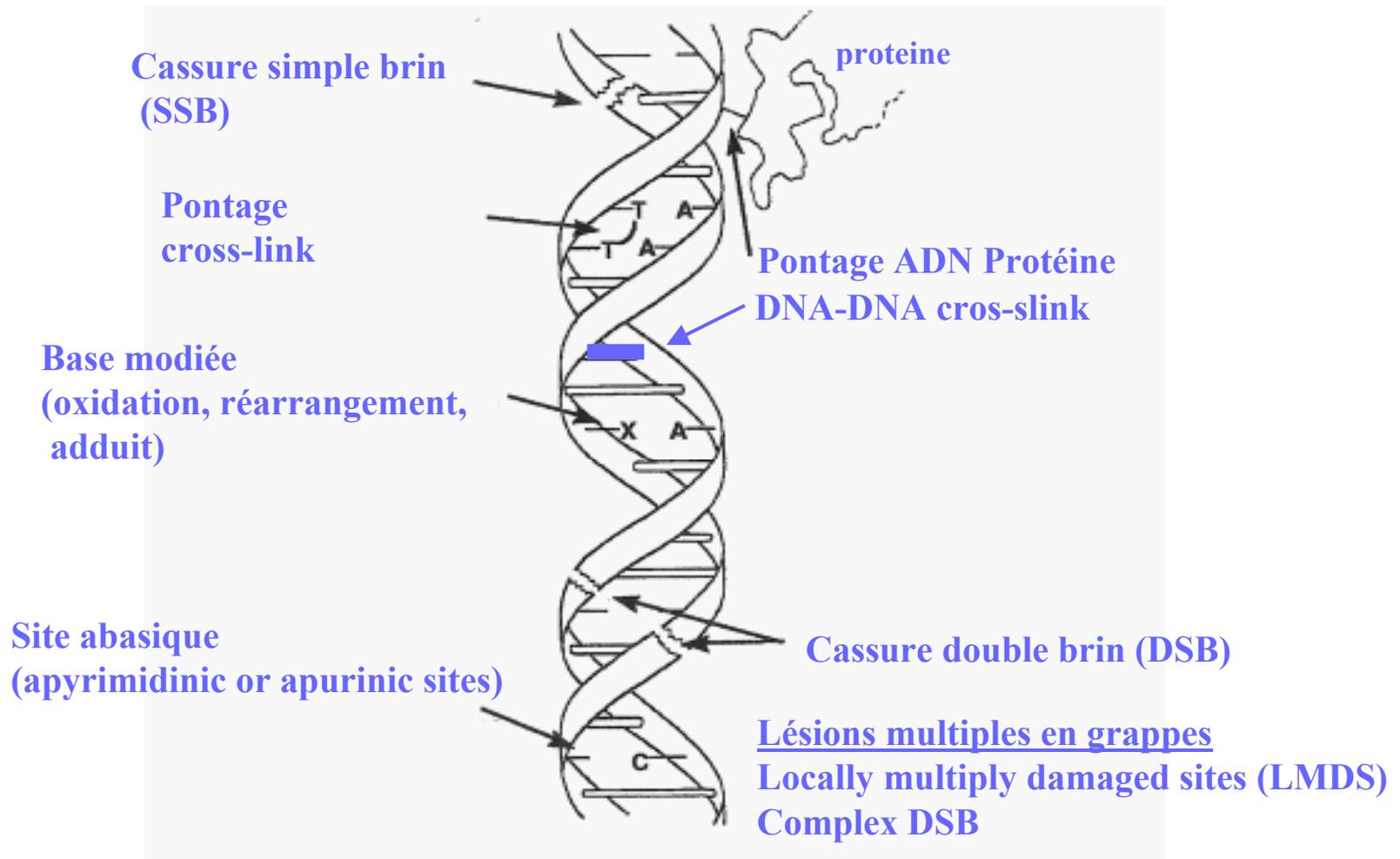
Formes des fonctions de réponse



## Hormetic Relative Risk (HRR) Model



# Lésions à l'ADN



DNA

# Dommages endogènes et radio-induits de l'ADN

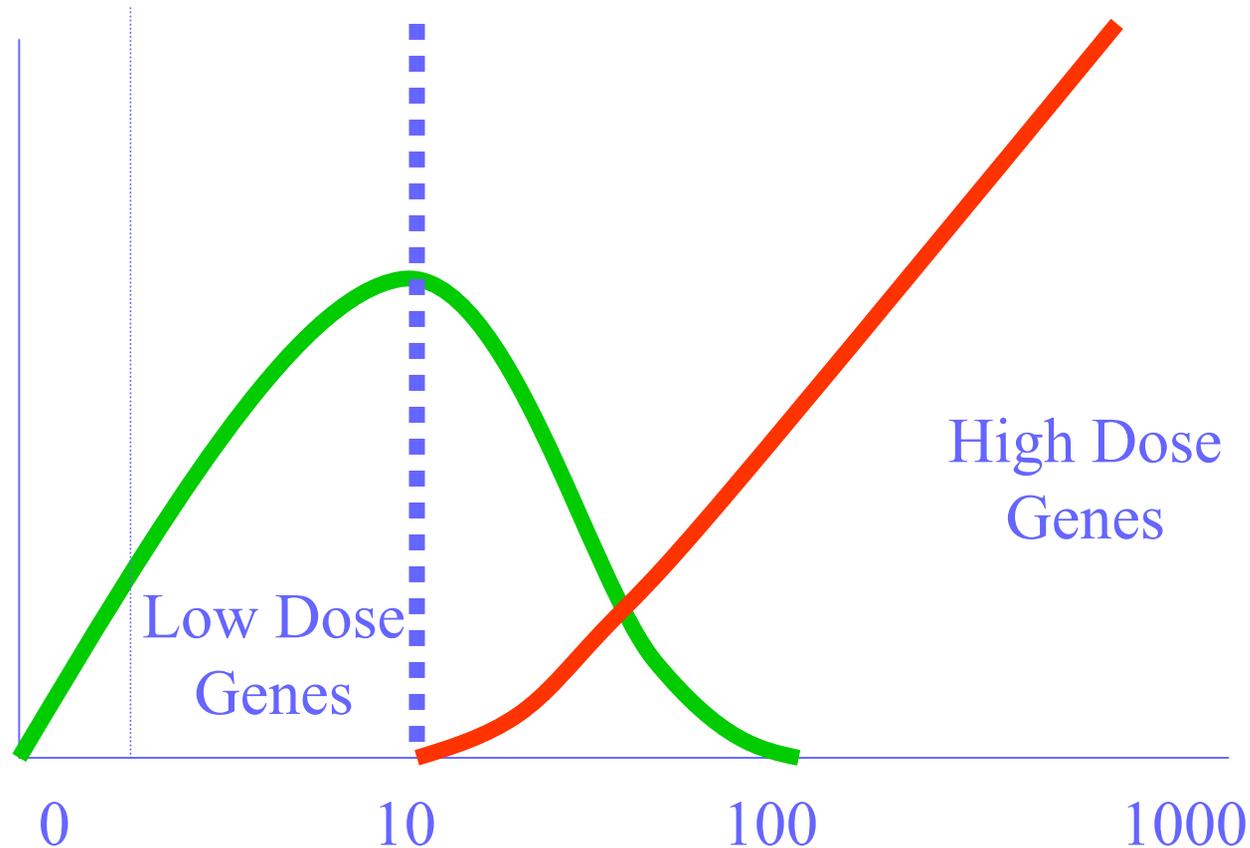
Dommages	Endogènes / cellule / jour	Radio-induits / Gy
Cassures simple brin	10 000 à 55 000	1 000
Pertes de bases	12 600	?
Dommages de base	3 200	2 000
Cassures double brin	8	40
Pontages ADN-ADN	8	30
Pontages ADN protéine	Quelques-uns	150
(LMDS)	?	Quelques-unes

(selon Burkart W et al. CR Acad Sci III 1999; 322:89-101;  
Ward JF Prog Nucl Acids Res Mol Biol. 1988; 35: 95-125)

H.Nifenecker  
Cours UIAD

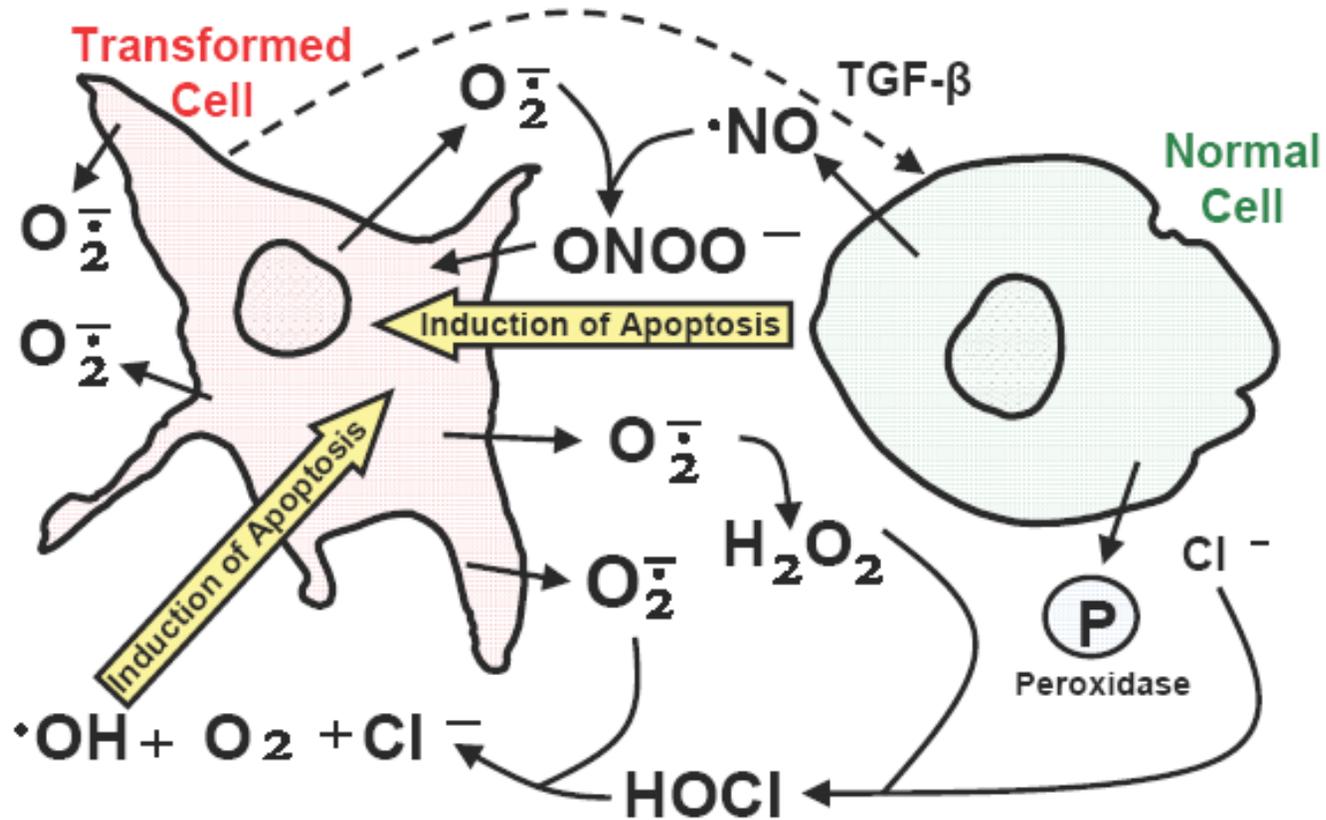
30-05-2008

# Radiation-induced changes in gene expression



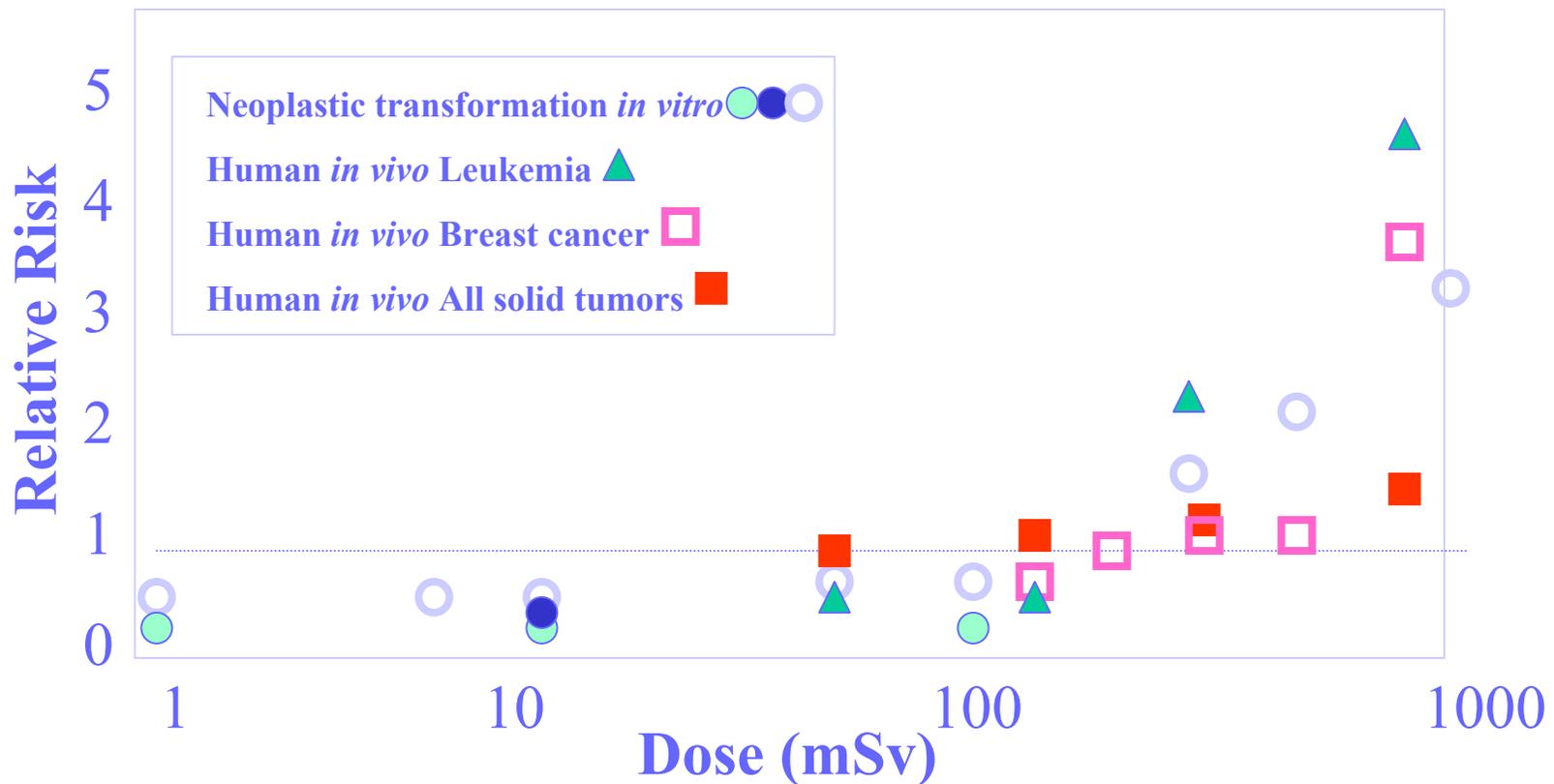
# Contrôle par les voisins

## Protective Apoptosis-Medicated (PAM) Process in Fibroblast: Protective Intercellular Signaling



G. Bauer. *Histol. Histopathol.* 11:237-255, 1996

# Relative risk as a function of dose for cancer related end-points



# Malformations congénitales

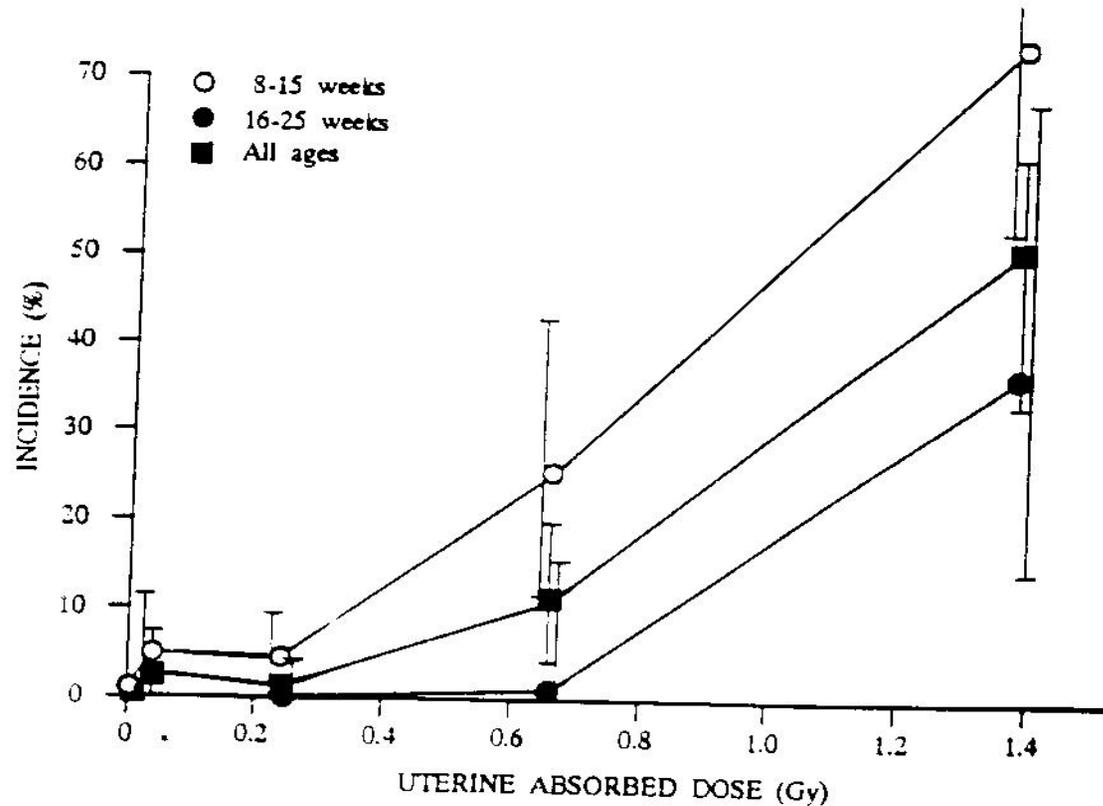
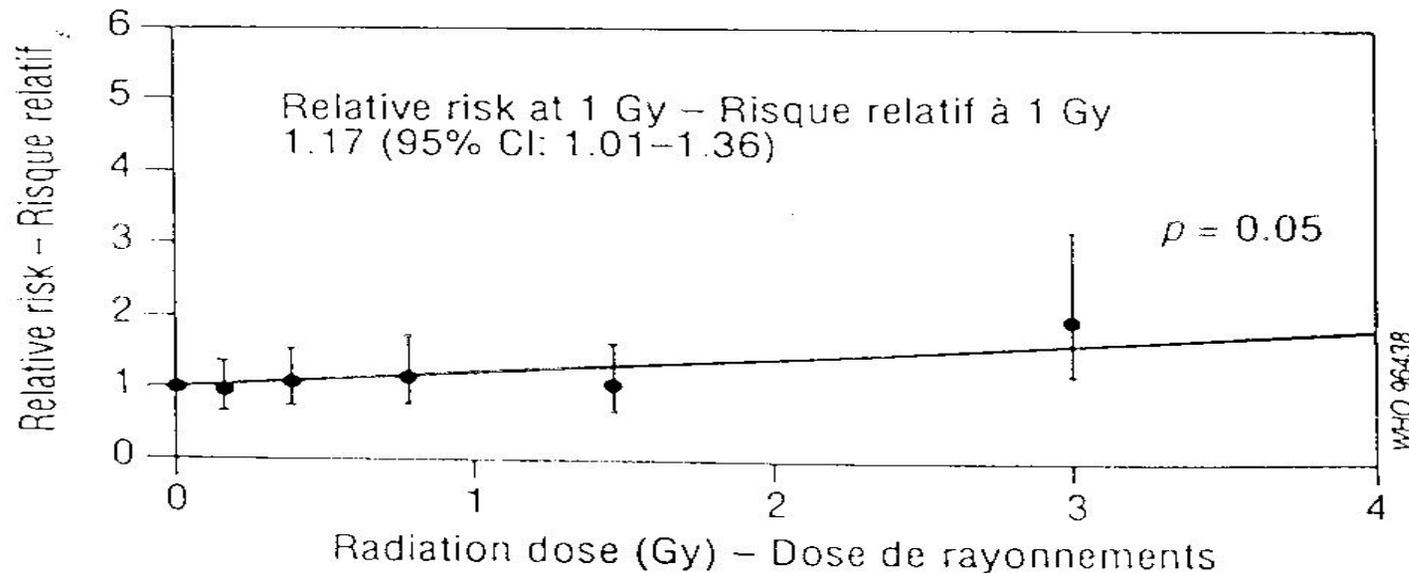


Figure I.  
Incidence of severe mental retardation in individuals exposed *in utero* to the atomic bombings Japan. Number of cases indicated in upper figure. Total number of cases is 27; one case in controls exposed at 0-7 weeks not shown; three cases of Down's syndrome excluded.

[01]

# Infarctus

Relation dose-réponse pour l'incidence de l'infarctus du myocarde ajusté en fonction des facteurs de risque (hommes et femmes, 1958-90, Etude sur la santé des adultes, Hiroshima et Nagasaki)



Bars indicate 95% confidence interval of relative risk – Les barres verticales représentent les intervalles de confiance à 95% du risque relatif

*Rapp. trimest. statist. sanit. mond., 49 (1996)*

# Liquidateurs

- **EEG perturbé**, atteinte cortico-limbique :  
Loganowski Neuropsychiatry Clin Neurosci  
2001;13(4):441-58
- **Relation dose-effet** (30 à 160 mGy) Ivanov  
Health Phys 2000

# Irradiation expérimentale (et stress)

- L'irradiation ( $>0,5\text{Sv}$ ) perturbe durablement l'EEG, CRSSA
- 50 - 150 mGy suppriment l'agressivité (Miyachi, BBR, 1996) chez la souris; 50 mGy au bulbe olfactif sont analgésiques (Miyachi, BRB 1997) et diminuent la concentration de carnosine

# Conclusions : faibles doses

- L 'existence d 'effets pathogènes autre que cancers et mutations est très improbable à faible dose
- Des effets génétiques sont mis en évidence mais **aucun effet pathogène** n 'est établi
- Il n 'existe **plus de base biologique** solide soutenant l 'hypothèse de linéarité des effets cancérigènes : **ceux-ci sont inapparents ou inexistant**s à faible dose

# Contrôle des damages

