

- Influence du cumul des expositions environnementales sur le gradient social de santé

●  
**Séverine DEGUEN, Professeur de l'EHESP**

Département des sciences de l'Information et des biostatistiques  
Département Santé Environnement Travail

Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique

Rennes, Sorbonne Paris Cité – France





# Plan de la présentation

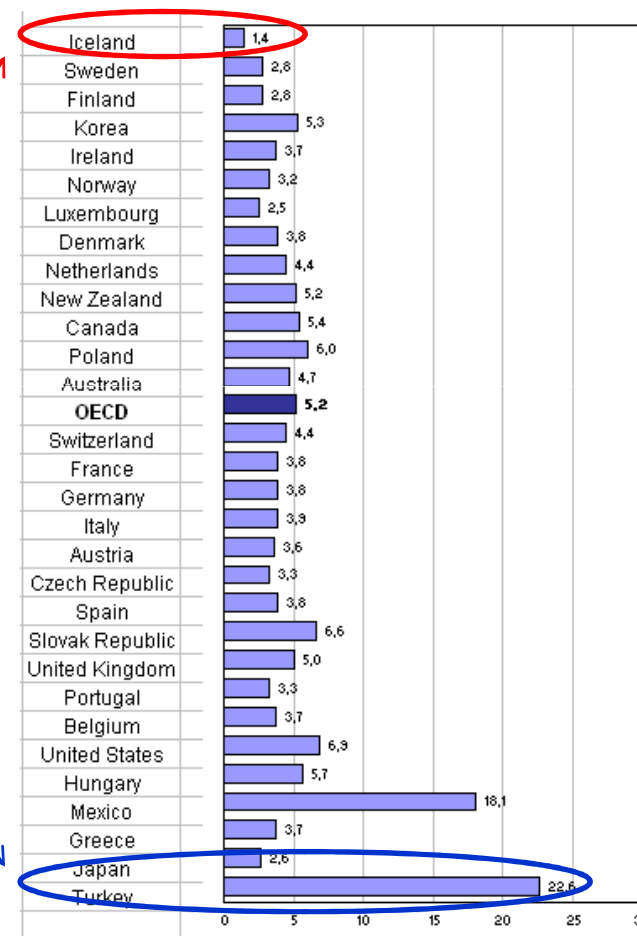
---

1. Existence de **disparités de santé**. Exemple de la mortalité infantile (décès d'enfants de moins de 1 an rapportés à 1000 naissances vivantes) = **indicateur général de l'état de santé de la population**
2. **Facteurs de risque** des disparités de santé - vers les inégalités sociales de santé
3. **Contribution des expositions environnementales** aux inégalités sociales de santé
4. **Multi-exposition**
5. **Conclusion**



# Les disparités de santé (1/4)

- Chiffre OCDE – 2006- La mortalité infantile
- Le minimum pour l'Islande
- Le maximum pour la Turquie





# Les disparités de santé (2/4)

- En France, ces disparités de santé existent à une échelle géographique plus fine
- ➔ exemple de quelques régions en France – Taux de mortalité infantile pour 1000 naissances – 2005 à 2008

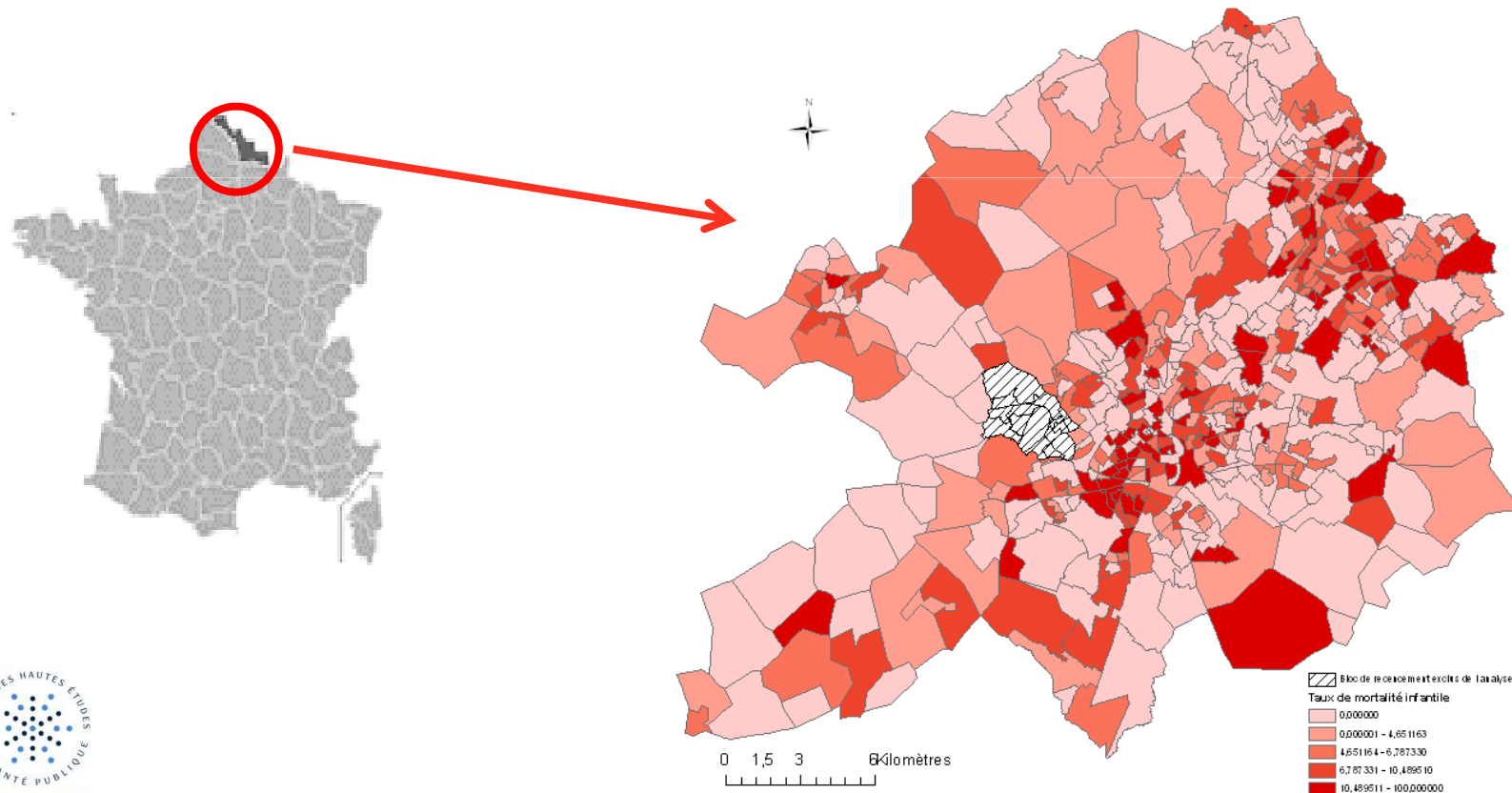
Nom de la zone géographique	2005	2006	2007	2008
Nord Pas de Calais	3.7	3.8	3.4	3.8
Rhône Alpes	3.2	3.3	3.2	3.5
Ile de France	4	3.9	3.8	4.0
Provence Alpes Côtes d'Azur	3.2	3.4	3.5	3.0
<b>France Entière</b>	<b>3.7</b>	<b>3.8</b>	<b>3.7</b>	<b>3.8</b>





# Les disparités de santé (3/4)

- Distribution spatiale du taux de mortalité infantile- 2000 à 2009 - Agglomération de Lille à l'échelle de l'IRIS (équivalent au Census Block – 2000 habitants en moyenne)





# Les disparités de santé (4/4)

---

## Facteurs de risque documentés

- Mode de vie (alcool, tabac, obésité, qualité de vie...)
  - Psychique (stress, dépression, instabilité...),
  - Autres caractéristiques (âge, ...)
  - **le statut socio-économique** :  
« les population socio-économiquement désavantagées sont plus souvent affectées par de nombreux problèmes de santé »
- effet du niveau socio-économique contextuel et du niveau socio-économique individuel





# Inégalités sociales de santé et environnement ?

---

- Nombreux facteurs de risques déjà identifiés, pourtant une part de ces inégalités demeure inexpliquée
  - ➔ Rôle des nuisances environnementales (pollution atmosphérique, nuisances sonores, ....) ?
- Déterminer comment les expositions environnementales, et leur cumul peuvent , pour partie, expliquer les inégalités de santé : désormais un problème majeur de santé publique

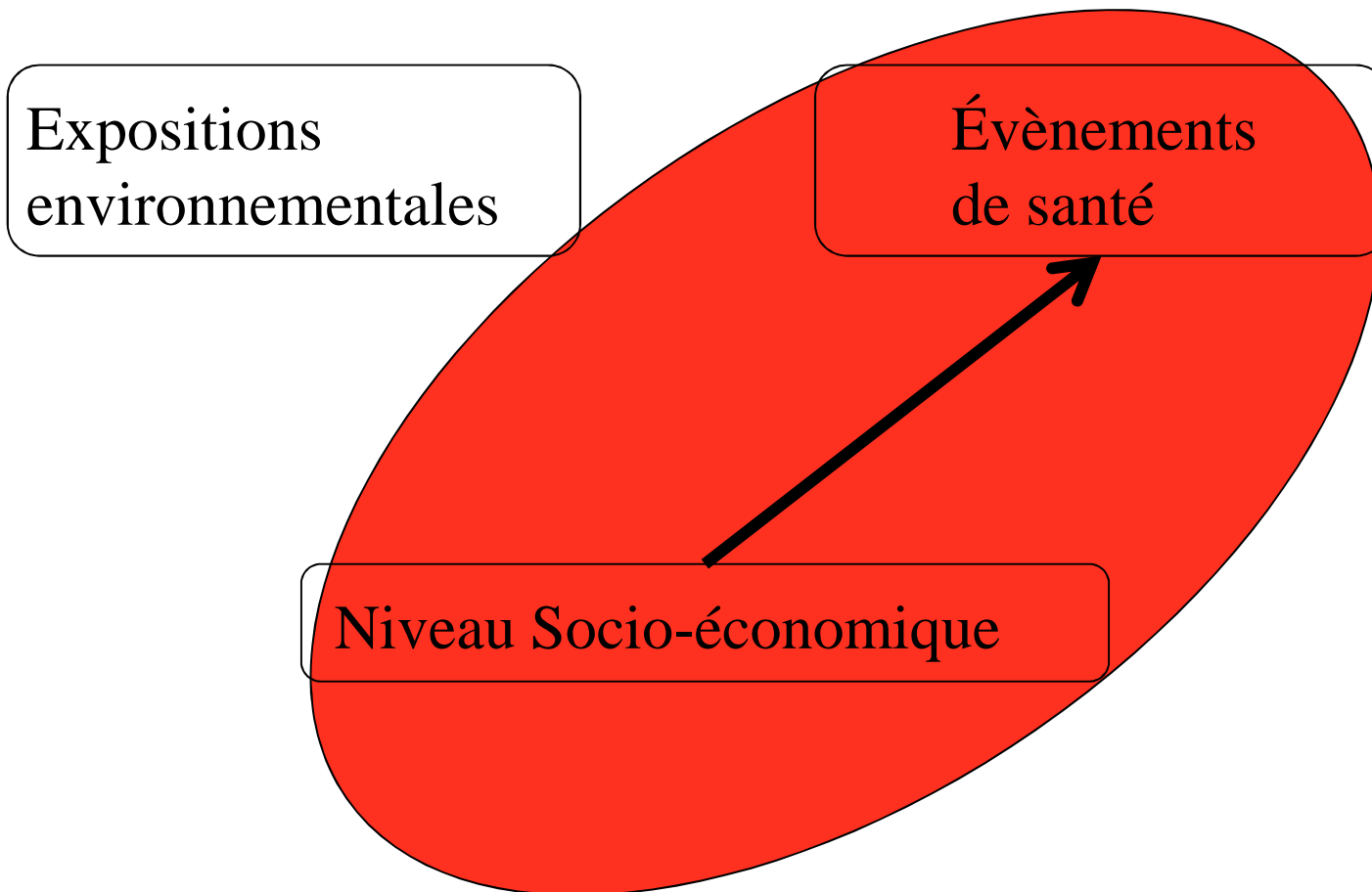
➔ **Objectif du Programme de recherche Equit'Area**





# Inégalités sociales de santé et environnement ?

Epidémiologie sociale

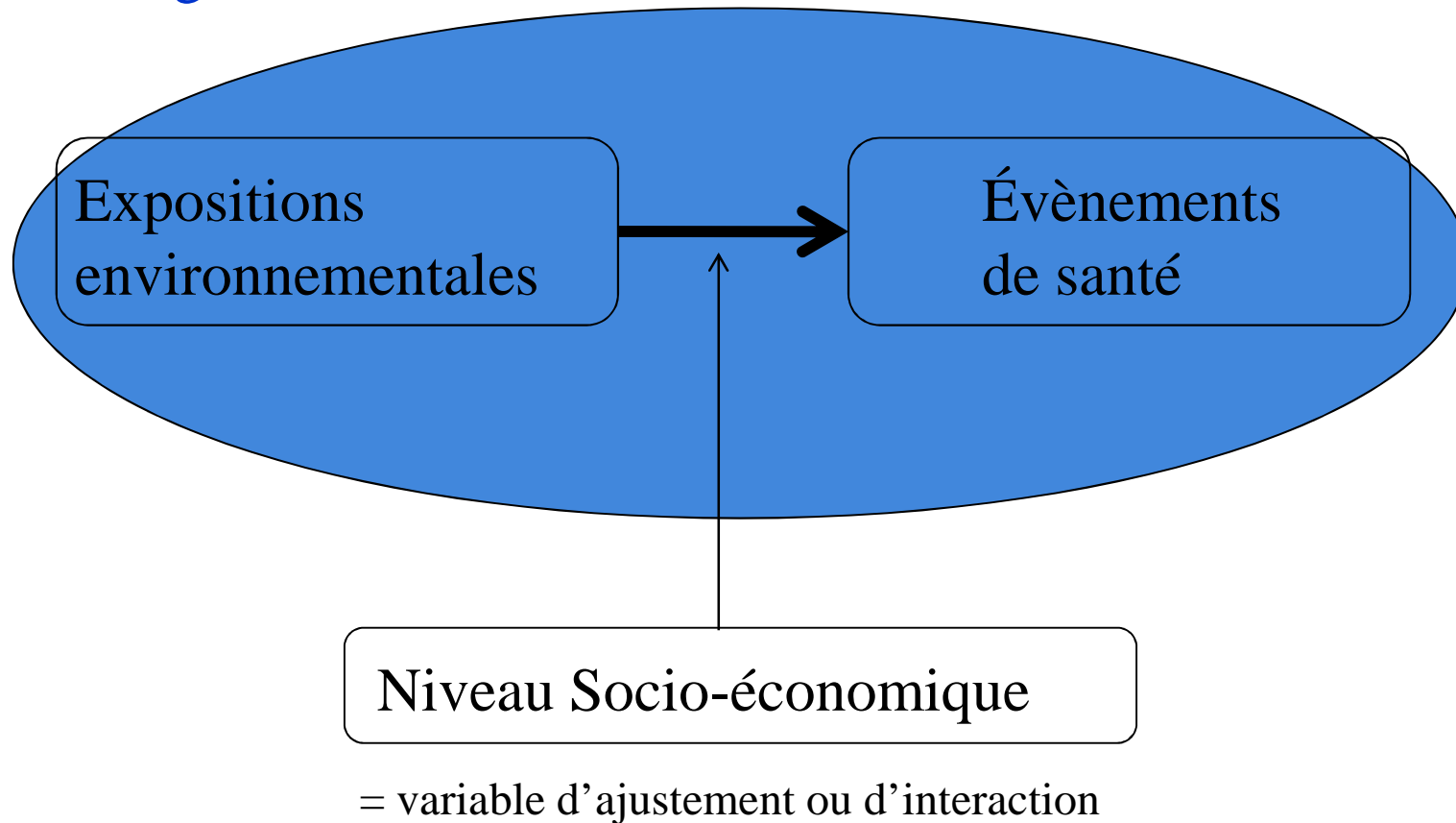






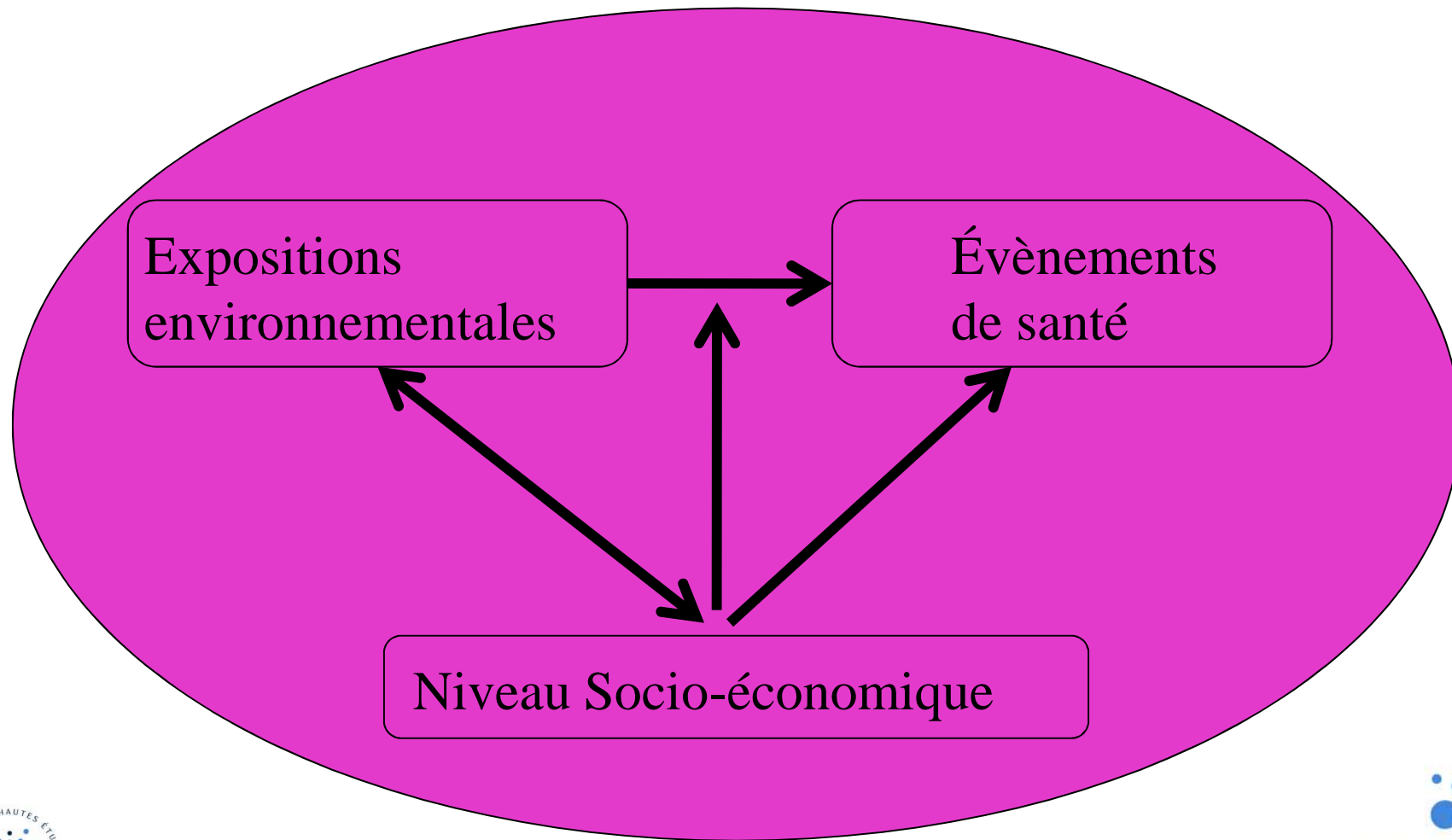
# Inégalités sociales de santé et l'environnement ?

Epidémiologie Environnementale





# Inégalités sociales de santé et l'environnement ?





# Inégalités sociales de santé et environnement

---

## Deux mécanismes sont avancés

### 1. Le différentiel d'exposition :

« les populations défavorisées seraient plus fréquemment exposées à de nombreuses nuisances environnementales et/ou à des niveaux d'exposition plus élevés »

→ Les sources de pollution ne sont pas équitablement réparties sur le territoire = études de justice / inéquités / inégalités environnementales

Expositions environnementales



Niveau Socio-économique

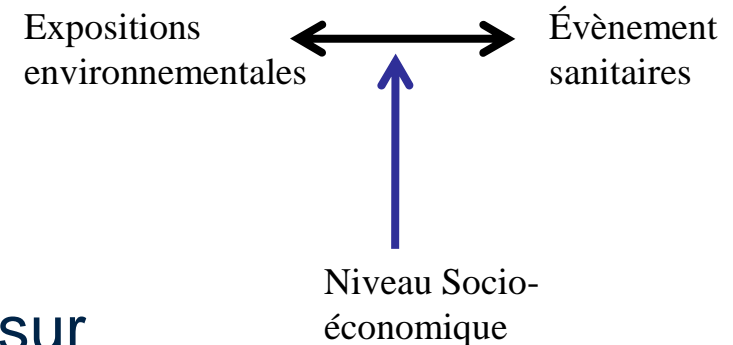


# Inégalités sociales de santé et environnement

## Deux mécanismes sont avancés

### 2. Le différentiel de sensibilité:

« les populations défavorisées peuvent être plus sensibles / vulnérables aux effets des expositions environnementales sur la santé »



→ Effet modificateur du niveau socio-économique sur la relation entre exposition environnementale et effet sanitaire

→ A niveau similaire d'exposition, les populations défavorisées (ou vivant dans des zones défavorisées) ont des effets sanitaires plus fréquents/graves.

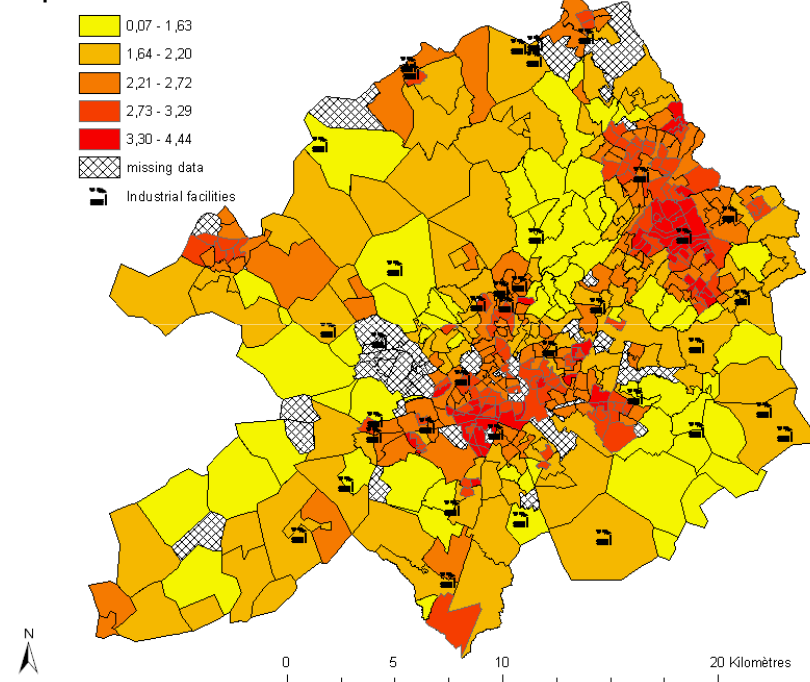




# Différentiel d'exposition (1/5)

## Agglomération Lilloise

Deprivation Index Classes



504 census block and 52 plants

Deprivation Index Classes	Geometric means (km)*	95% Confidence Interval (km)
Class 1 : [0.07-1.64[	559	[533 ; 586]
Class 2 : [1.64-2.21[	557	[527 ; 582]
Class 3 : [2.21-2.73[	561	[536 ; 586]
Class 4 : [2.73-3.30[	544	[519 ; 571]
Class 5 : [3.30-4.44[	499	[483 ; 516]

\* p-trend  $< 10^{-4}$  for all 504 census blocks

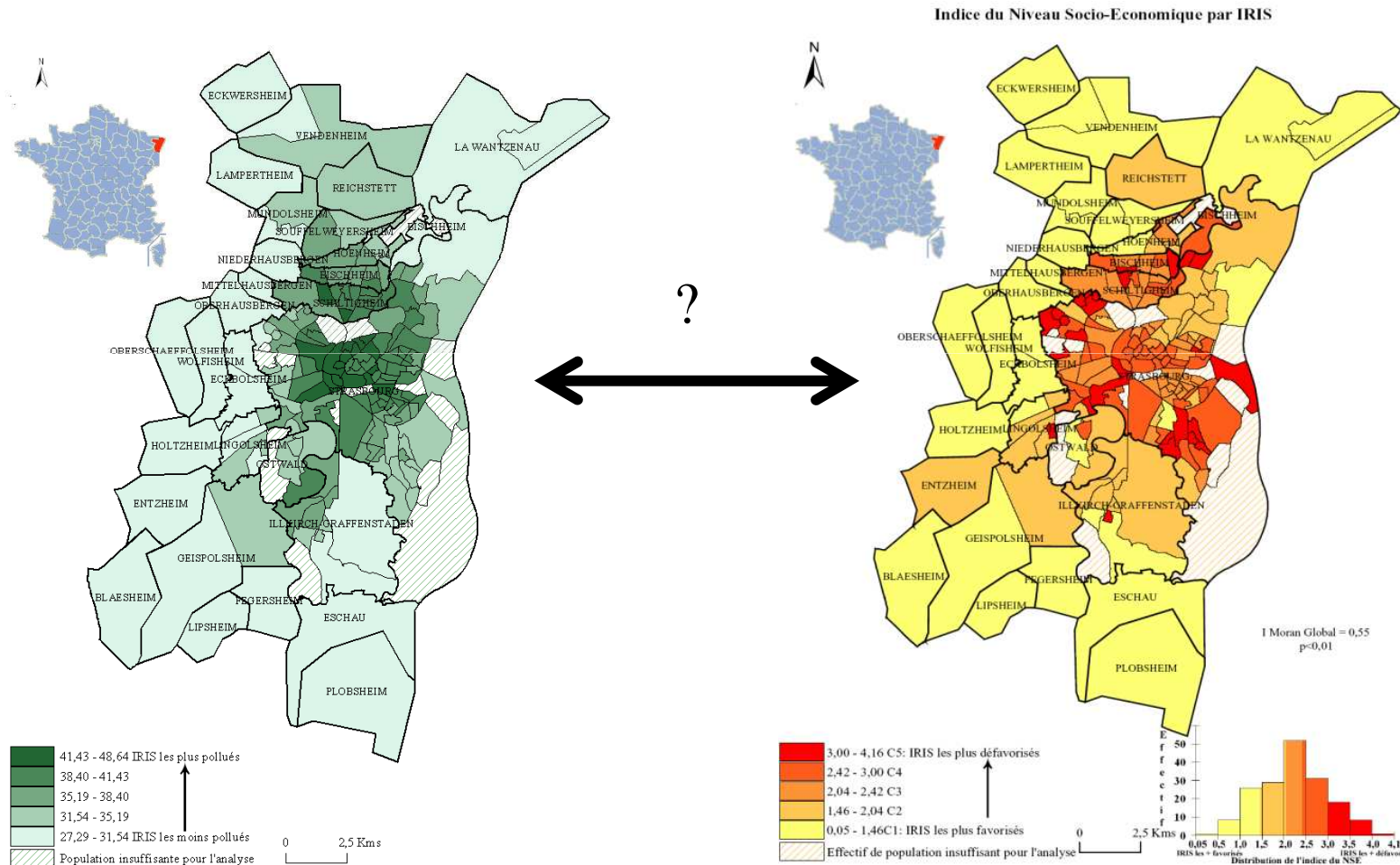
Les populations résidant dans des quartiers défavorisés vivent à plus grande proximité des industries polluantes que les favorisées





# Différentiel d'exposition (2/5)

## Agglomération Strasbourgeoise





# Différentiel d'exposition (3/5)

## Agglomération Strasbourgeoise

	NO <sub>2</sub> Model			
	OLS		SAR	
	$\beta^a$	(95% CI)	$\beta$	(95% CI)
Intercept	3.42	(3.39–3.45)	0.64	(0.36–0.91)
C <sub>2</sub> <sup>c</sup>	0.15	(0.11–0.19)	0.06	(0.03–0.08)
C <sub>3</sub>	0.26	(0.22–0.30)	0.08	(0.06–0.11)
C <sub>4</sub>	0.24	(0.20–0.28)	0.08	(0.05–0.10)
C <sub>5</sub>	0.16	(0.12–0.21)	0.06	(0.03–0.09)
$\rho$	—	—	0.81	(0.73–0.89)
AIC	–360.83	—	–515.49	—
I residual	0.40	(0.31–0.50)	–0.04	(–0.13 to 0.06)

<sup>a</sup> $\beta$  denotes the regression coefficients. For an increase of 1 unit of the deprivation index, the logarithm of NO<sub>2</sub> levels increases by  $\beta$ .

<sup>b</sup>Percentage by which the regression coefficients decreased between the OLS and the SAR models.

<sup>c</sup>Category 1 was used as the reference category. C<sub>1</sub> is the least deprived category, C<sub>5</sub> is the most.

OLS indicates ordinary least squares; AIC, Akaike information criterion.

Association significative entre défaveur sociale et exposition au NO<sub>2</sub> → les zones géographiques les plus défavorisées ne sont pas les plus exposées au NO<sub>2</sub>







# Différentiel d'exposition (4/5)

## Angleterre

Decile	Total population (2001)	Population living within 500 m of an IPC Site (2001)		Authorizations of IPC sites 1991-2001	
	(Million)	Total	%	No.	%
Most deprived 1	4.9438	162,948	20.1	231	16
2	4.9536	124,390	15.4	226	15
3	4.94	136,445	16.9	248	17
4	4.9479	106,566	13.2	173	12
5	4.9482	84,763	10.5	125	9
6	4.9527	47,973	5.9	121	8
7	4.9384	38,314	4.7	122	8
8	4.9554	39,429	4.9	101	7
9	4.9515	37,764	4.7	71	5
Least deprived 10	4.9596	30,342	3.8	49	3
Total	49.491	808,933	100	1467	100

- Le % de populations défavorisées vivant à proximité de sites pollués est plus grand que pour les populations plus favorisées
- Les sites pollués sont plus fréquents dans les zones défavorisées

Walker G P, Mitchell G, Fairburn J and Smith G (2003) *Environmental Quality and Social Deprivation. Phase II: National Analysis of Flood Hazard, IPC Industries and Air Quality. R&D Project Record E2-067/1/PR1.*, Bristol, The Environment Agency, 133pp,

Walker G P, Mitchell G, Fairburn J and Smith G (2005) Industrial pollution and social deprivation: evidence and complexity in evaluating and responding to environmental inequality, *Local Environment*, 10,(4): 361-377.





# Différentiel d'exposition (5/5)

## Italie, Slovaquie et Angleterre

Table 1. Characteristics of residents living close to waste facilities\* in Italy<sup>§</sup>, Slovakia and England 2001.

	Italy	Slovakia	England and Wales	Italy	Slovakia	England and Wales
	<i>Landfills</i>			<i>Incinerators</i>		
Number of sites	619	165	232	40	2	11
Population within 2 km	1 350 852	328 869	1 425 350	1 060 569	16 409	1 203 208
Most affluent population (I group, %)	13.3	24.2	2.5	12.6	55.6	38
II group	15.0	24.7	17.9	15.1	2.4	6.3
III group	22.4	22.6	18.7	21.0	9.8	12.5
IV group	23.0	16.4	19.1	24.2	29.6	22.8
Most deprived population (V group, %)	26.1	12.1	20.1	24.9	2.5	55.4
Missing information (%)	0.0	0.0	21.7	2.2	0.2	0.0

\* Two kilometers from municipal urban solid waste landfills; three kilometers from waste incinerators.

<sup>§</sup> 118 landfills were geocoded, for population of 257 513. Socioeconomic data were then extrapolated to 619 landfills.

Source: adapted from Forastiere et al, 2008.

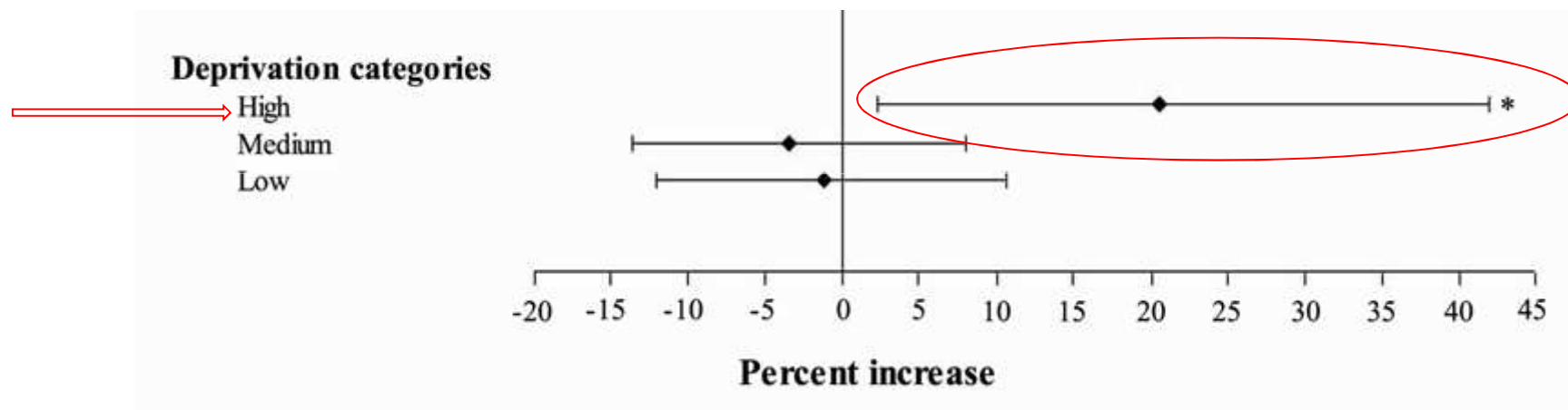
Le % de populations défavorisées vivant à proximité de décharges et d'incinérateurs est plus grand que pour les populations plus favorisées en Angleterre et en Italie





# Différentiel de vulnérabilité Agglomération Strasbourgeoise

Association, à court terme, entre risque d'infarctus du Myocarde et variations de l'exposition aux PM<sub>10</sub>, par classe de défaveur



Percent increase in MI risk per 10 µg/m<sup>3</sup> increase in PM<sub>10</sub> (lag 0-1) concentration by neighborhood deprivation level.

Une augmentation des PM<sub>10</sub> augmente significativement le risque d'infarctus pour les plus défavorisés uniquement

→ La piste du différentiel de vulnérabilité est privilégiée





# Cumul d'expositions environnementales

---

- La majorité des études n'incluent qu'une seule exposition
  - ➔ hypothèse irréaliste considérant l'exposition des populations à une seule nuisance à la fois
- OR, nous sommes soumis depuis la naissance (et *in utero*) à un cocktail d'expositions environnementales cumulés tout au long de la vie



# Cumul d'expositions environnementales

---

Selon, Sexton *et al*, (EHP 2007) considérer une « mixture » environnementale pose 3 grandes questions :

1. Quelles sont les expositions environnementales pertinentes à intégrer dans le « cocktail », dans une perspective de santé publique ?
2. Quelle sont la nature et la magnitude des expositions environnementales cumulées ?
3. Quelles interactions entre les agents composant la mixture pourraient modifier la réponse toxicologique à chacun des éléments pris séparément ?



# Cumul d'expositions environnementales

---

1. Quelles expositions environnementales dans une perspective de santé publique ?
  - Les agents auxquels les populations sont exposées ont des propriétés différentes déterminant leur voies de transfert, leur niveau de toxicité et leurs mécanismes d'actions.
  - Une mixture composée d'agents :
    - A. aux propriétés similaires
    - B. aux effets variés



# Cumul d'expositions environnementales

---

1. Quelles expositions environnementales dans une perspective de santé publique ? (suite)
  - A. Les agents aux propriétés similaires augmentent la « dose globale »
    - Une évaluation des risques sanitaires liée à un cocktail d'agents agissant selon les mêmes mécanismes toxiques peut alors être menée suivant les règles dictées par US-EPA
    - Exemples: Calcul d'équivalences toxiques, comme cela est utilisé pour les familles des HAP ou des dioxines et composés « dioxin-likes »



# Cumul d'expositions environnementales

---

## 1. Quelles expositions environnementales dans une perspective de santé publique ? (suite)

### B. une mixture composée d'agents aux effets très variés

- Evaluer de façon globale la multi-exposition pour mener des études épidémiologiques (contextuelles ou individuelles)
  - ➔ investiguer la relation avec des effets sanitaires, sans établir réellement de lien de cause à effet ou de relation dose-réponse
- Exemple : index d'exposition cumulée à des polluants de l'air avec des nuisances sonores, pour évaluer une « pression environnementale » inégale.

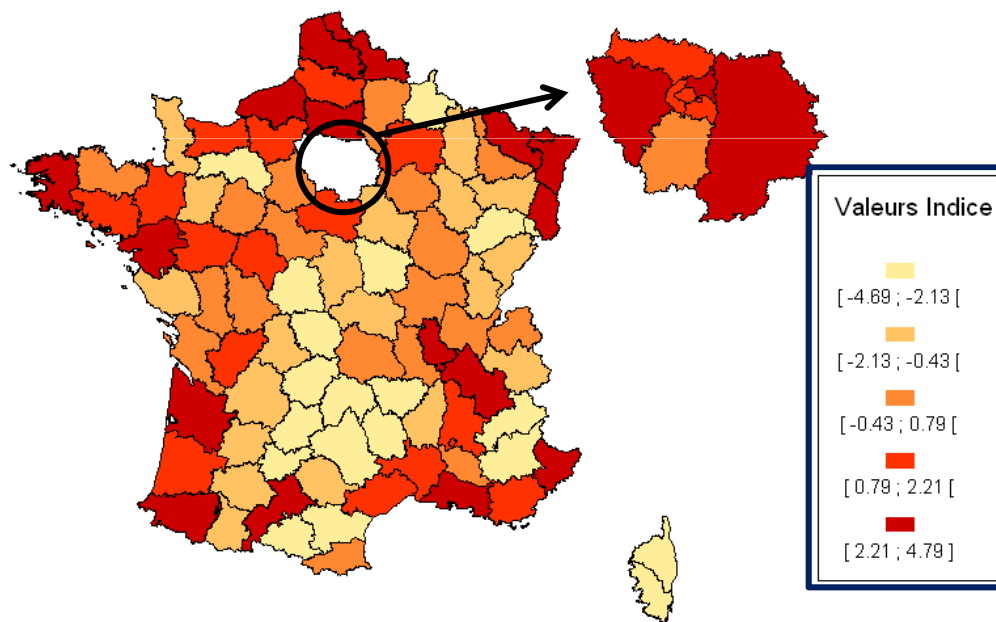
Peut détériorer prématurément l'état de santé, surtout si reliée à une vulnérabilité sociale





# Cumul d'expositions environnementales

## B. une mixture composée d'agents aux effets très variés (exemple)



### Index comprend des données d'exposition :

- Pollution de l'air (PM10, SO2, O3...)
- Sites industriels ou classés à risque
- Nuisances sonores
- Dégradation de l'habitat







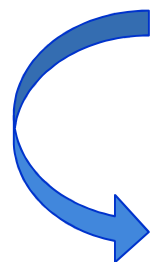
# Cumul d'expositions environnementales

---

## 2. Quelle sont la nature et la magnitude des expositions environnementales cumulées ?

- Quelle méthodologie mettre en œuvre pour construire un index de défaveur environnementale cumulant des polluants aux

- A. Aux propriétés similaires → addition des concentrations pour obtenir le niveau global des expositions
- B. Aux effets variés → plus compliqué !



**Absence de relation Dose-Réponse bien établie**





# Cumul d'expositions environnementales

---

## 2. Quelle est la nature et la magnitude des expositions environnementales cumulées ?

B. Méthodologie complexe : comment cumuler dans un même index différents types d'expositions environnementales dont la mesure varie sur des échelles différentes ?

- Score de multi-exposition, méthode simple
- Analyse multi dimensionnelle, méthode statistique plus sophistiquée



# Cumul d'expositions environnementales

## 2. Quelle est la nature et la magnitude des expositions environnementales cumulées ? Exemple 1

- Score de multi-exposition, méthode simple: présence/absence

Table 5 Percentage of households experiencing multiple impacts by decile in South Yorkshire

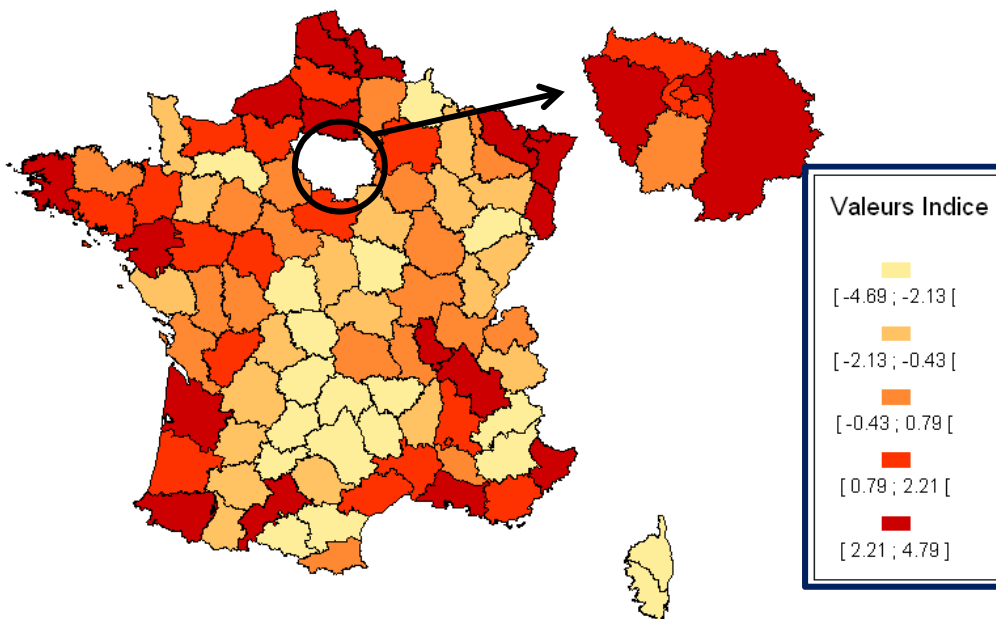
Decile	Population	No Impacts	Single Impact	Multiple Impacts	2	3	4	5 to 9
Poorest - 1	287,560	10.5	21.5	68.0	21.3	18.4	10.6	17.7
2	212,770	16.4	27.6	55.9	16.7	18.1	11.3	9.9
3	160,770	10.5	32.2	57.3	18.6	17.7	16.1	4.8
4	112,600	16.0	30.0	54.0	29.5	17.2	3.5	3.8
5	130,100	15.3	33.3	51.4	26.9	14.1	5.7	4.7
6	124,900	17.4	39.1	43.5	24.6	9.6	6.6	2.7
7	82,440	24.5	41.7	33.9	22.8	3.9	4.7	2.5
8	70,580	27.7	41.9	30.5	20.4	3.4	6.4	0.4
9	51,110	34.5	42.5	23.0	17.8	5.0	0.2	0.0
Wealthiest - 10	32,340	72.6	17.0	10.4	9.9	0.5	0.0	0.0
	<b>1,265,170</b>	<b>17.6</b>	<b>30.8</b>	<b>51.6</b>	<b>21.4</b>	<b>14.1</b>	<b>8.6</b>	<b>7.6</b>



# Cumul d'expositions environnementales

## 2. Quelle est la nature et la magnitude des expositions environnementales cumulées ? Exemple 2

- Analyse multi dimensionnelle, méthode plus sophistiquée → analyse statistique multi dimensionnelle



27 variables décrivant diverses nuisances environnementales

14 variables retenues après ACP

- Estimation du poids pour chacune des 14 variables
- Hiérarchiser les variables
- Combinaison linéaire = indice de multi-exposition



# Cumul d'expositions environnementales

---

## 3. Quelles interactions entre les agents composants la mixture ?

- une exposition combinée à plusieurs substances implique une interaction entre ces substances
  - A - Effet additif: somme des effets toxiques des substances individuelles à pareil niveau d'exposition
  - B - Effet Supra additif: effet supérieur à la somme des effets des substances individuelles (Exemple : l'ingestion d'alcool éthylique augmente les effets toxiques du trichloréthylène)
  - C - Effet infra additif: une réduction des effets de chacune des composantes du mélange, soit une situation d'antagonisme



# Outils d'aide aux politiques publiques

---

## 4 dimensions à prendre en compte

- **Utilité** (ou efficacité) des mesures prises
- **Effizienz des mesures**: évaluer l'efficacité relative aux coûts engendrés
- **Acceptabilité** par les différents acteurs des mesures à mettre en place
- **Equité**: développer des outils permettant d'identifier les zones/groupes de populations cumulant des désavantages environnementaux, sanitaires et socio-économiques et évaluer l'ampleur des inégalités





# Conclusion

---

- « L'environnement pèse sur les inégalités sociales de santé »
  - ➔ fortes suspicions mais un poids encore non quantifiable
  
- La réduction des ISS est rarement un critère d'évaluation des politiques publiques
  - ➔ Elle devrait l'être.



# Conclusion

---

## - Pour cela il faut:

1. produire des données de statistique publique à un niveau pertinent de résolution spatiale et assurer leur accessibilité (recherche, débat public)
2. favoriser un travail réunissant différents acteurs de cette problématique : chercheurs, urbanistes-aménageurs, politiques, ... afin de rendre "utilisable" la recherche/expertise pour les besoins du terrain
3. favoriser le développement d'études européennes : accès aux bases de données, harmonisation (échelle, définitions ...), consensus méthodologique pour faciliter le "benchmarking".