

# Impact sanitaires des pollutions minières

## Approches méthodologiques



« Penser global,  
agir local »

René Dubos  
Conférence de Stockholm, 1972



Glasbergen, New York 2000



« Our house is on fire.  
I want you to panic! »  
Davos 2019

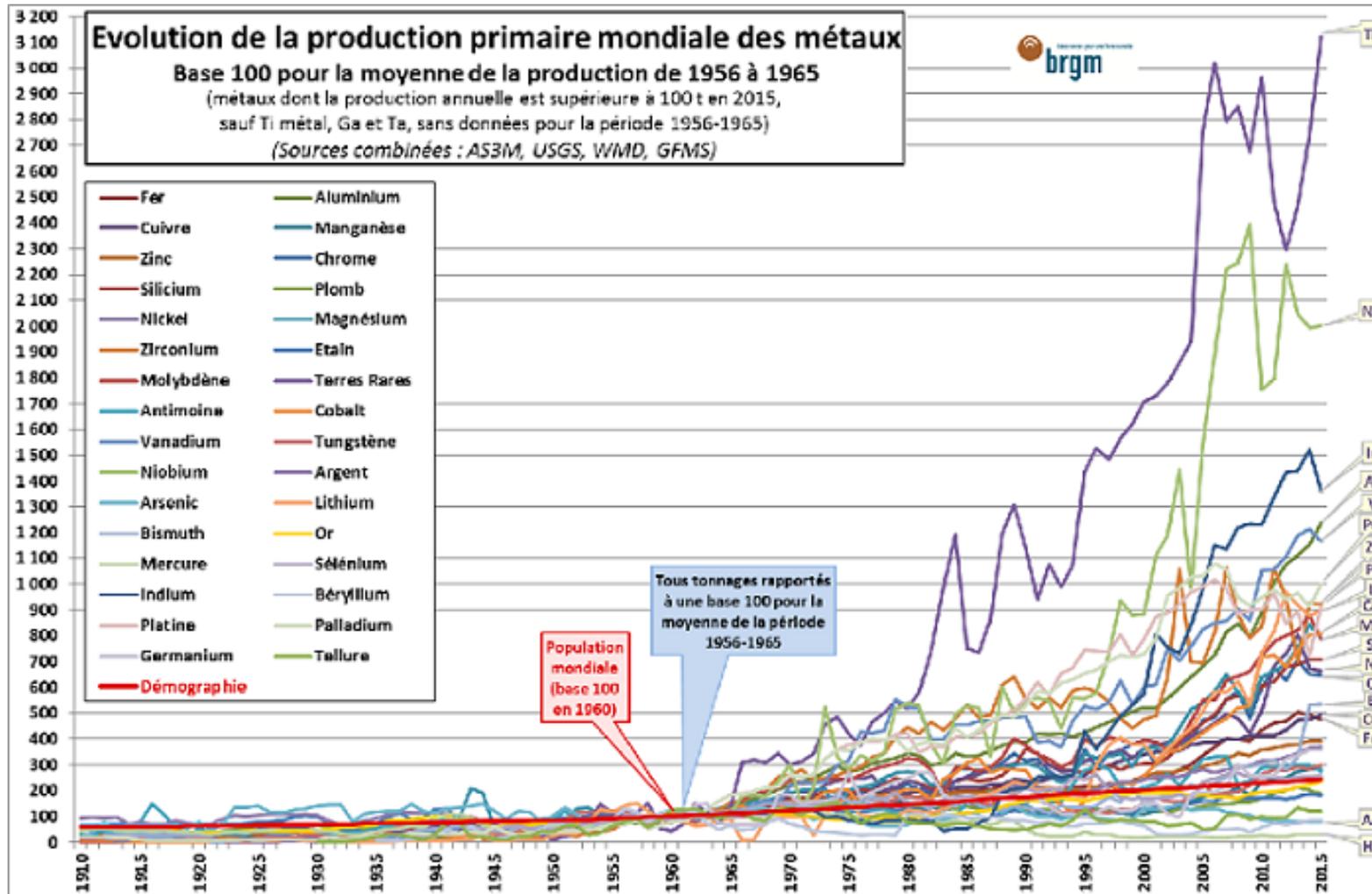


UNIVERSITÉ  
DE MONTPELLIER



jacques.gardon@ird.fr

# Des métaux pour une société bas carbone...



« Au taux de croissance actuel, nous allons extraire autant de métaux dans les 15 prochaines années, que depuis le début de l'humanité »

Vidal O. et al. Nature Geoscience 2013;6:894-896  
DOI: 10.1038/Ngeo1993

# Quels dangers pour quels risques?

- Affaissements, effondrements, puis, galeries...
- Friches industrielles, terrils, bassins de décantation...
- Produits chimiques
  - Cyanure, carbonate de sodium, dioxyde de soufre, solvants organiques et additifs, dérivés alkyles, fluorés...
- Métaux toxiques (homme ou environnement)
  - Plomb, arsenic, mercure, cadmium
  - Thallium, antimoine, manganèse, sélénium, cuivre, argent, chrome, nickel
- La spéciation conditionne le danger
  - Cr VI vs Cr III; As III vs As organique, Hg vs MeHg...
  - Sulfures vs oxydes...

→ Approche interdisciplinaire



Polluant  
pour l'environnement



Produit dangereux  
pour la santé



Toxique

# Quelles méthodes pour évaluer l'impact sanitaire



- Evaluation quantitative des risques sanitaires EQRS
- Mesures d'exposition
  - Enquêtes d'exposition (biomonitoring)
  - Dépistage de masse (santé publique)
- Recherche d'effets infra-cliniques (toxicologie)
- Génétique : toxicité et adaptation
- Epidémiologie : morbidité et mortalité
  - Etudes écologiques
  - Etudes transversales
  - Etude Cas-Témoins
  - Etudes de Cohortes

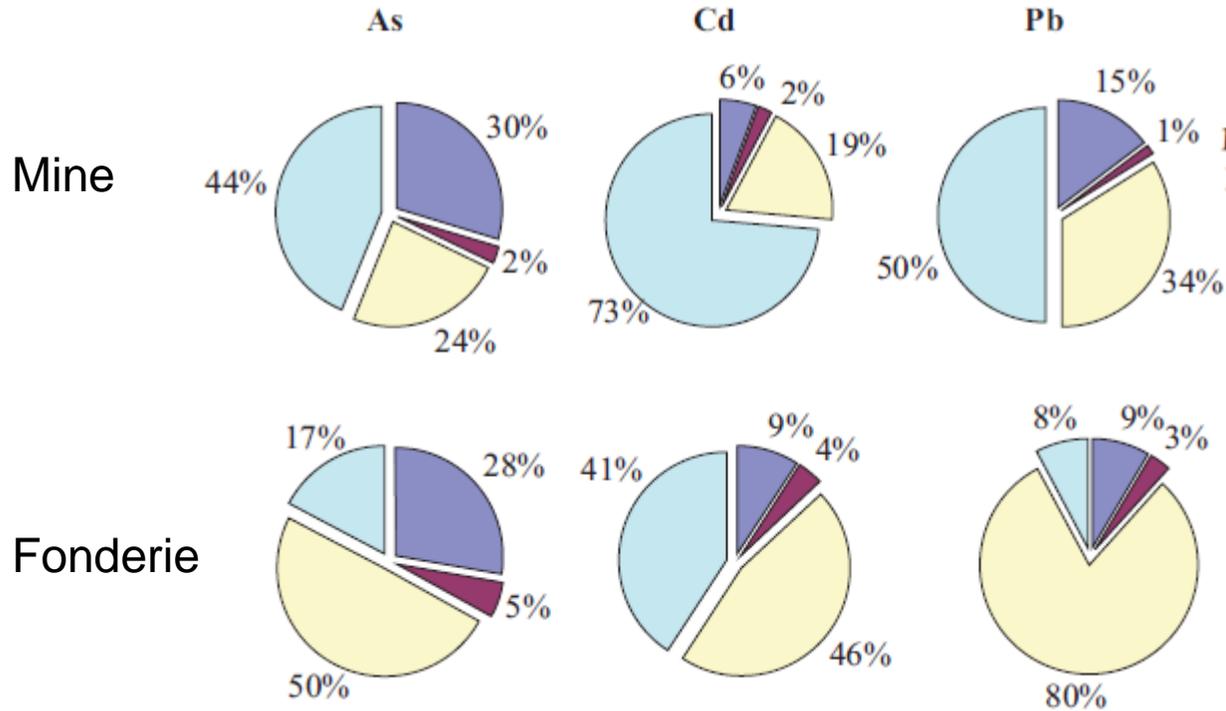
# EQRS Evaluation Quantitative du Risque Sanitaire

- Enquête de risque environnemental
  - Recensement des sources
  - Cartographie, SIG, géostats
  - Echantillonnage par compartiment (eau, air, sol, alimentation)
  - Analyses minéralogiques, géochimiques...
- Choix du polluant d'intérêt
  - Voie d'exposition
  - Granulométrie
  - Dispersion aigue ou chronique
  - Spéciation, solubilité
  - Bio-accessibilité et bio-disponibilité (BARGE\* = > UBM<sup>¶</sup>)
  - Toxicité attendue pour l'homme
- Comparaison à des valeurs de référence (INERIS)
- Calculs de risques : Hazard quotient, Hazard Index

\*Barge : Bioaccessibility Research Group of Europe  
¶UBM : Unified Barge Method

# EQRS dans une ville minière de l'Altiplano Bolivien

Goix S. Thèse Université Toulouse, 2012



- Inhalation
- Transport mucociliaire
- Poussières extérieures
- Poussières intérieures

Scénarios d'exposition par quartier

Mesures environnementales

Niveaux d'exposition théoriques

Comparaison des voies d'exposition

Hypothèses sur les sources

Modélisation : IEUBK (EPA); ModuIERS (INERIS)...

Sexe de l'enfant	Quartier air ambiant	Lieu d'activité intense	Fraction considérée	As	Cd	Pb
Garçon	Mine	San José	Totale	2618	966	15684
Garçon	Fonderie	Vinto	Totale	<b>14841</b>	2022	<b>619489</b>
Garçon	Centre ville et périphérie	-	Totale	1353	369	6718

Exprimé en ng/j pour un enfant de 25kg

# L'enquête d'exposition : biomonitoring

- Echantillon représentatif de la population (aléatoire)
- Consentement éclairé des participants
- Choix d'un indicateur de l'exposition  
(ex plomb pour l'exposition à des déchets polymétalliques)
- Choix d'un biomarqueur
  - Sang, Urine, Cheveux, Ongles
- Méthode de dosage adapté aux conditions
  - Méthode rapide, méthodes indirectes (ex LeadCare)
- Effectif important en fonction des objectifs
  - Simple prévalence, recherche facteurs de risques associés
  - Modélisation, géostatistiques
- Feedback à la population et messages de prévention



# Oruro (1606) : ville minière, 250000 habitants



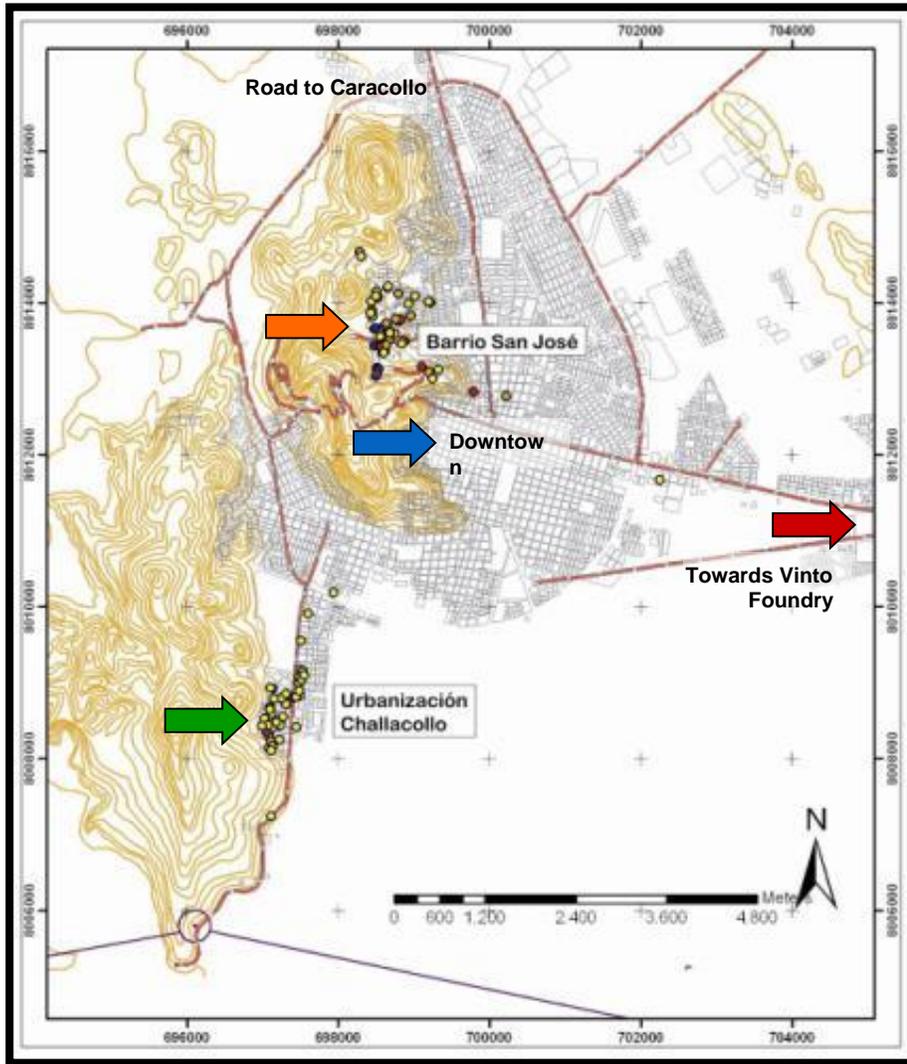
Image © 2013 DigitalGlobe

COTIZACIÓN QUINCENAL		COTIZACIÓN DE MINERALES							Cotización de ayer	
<b>ESTAÑO</b>	<b>COBRE</b>	<b>PLOMO</b>	<b>ZINC</b>	<b>BISMUTO</b>	<b>PLATA</b>	<b>ANTIMONIO</b>	<b>WOLFRAM</b>	<b>ORO</b>	Estaño L.F.	
L.F. 6,19 \$us	L.F. 2,79 \$us	L.F. 0,86 \$us	L.F. 1,51 \$us	L.F. 9,98 \$us	O.T. 13,08 \$us	T.M.F.5550,00 \$us	U.L.F.160,00 \$us	O.T. 651,33 \$us	6.28 \$us	
Fuente: SIVEX										

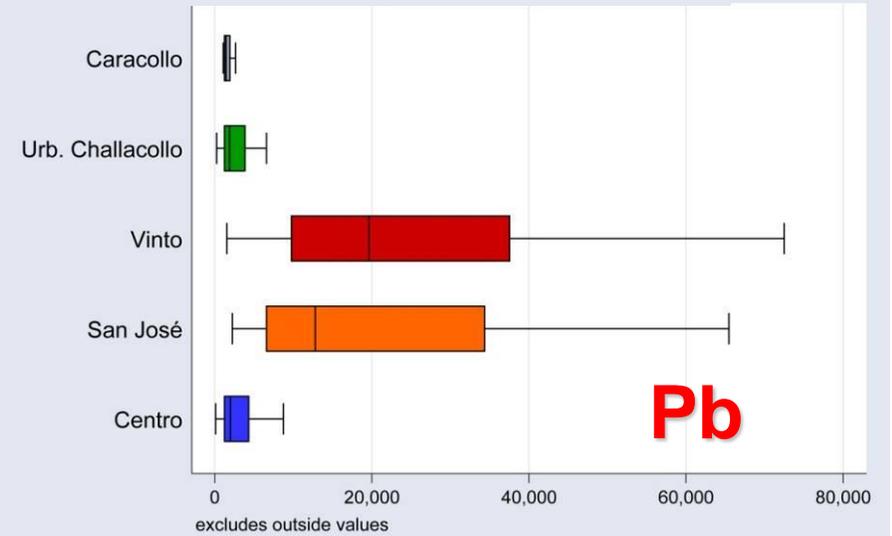
# Exposition enfants (cheveux)

(Pb, Sb, As, Cd, Sn, Zn, Cu, Hg)

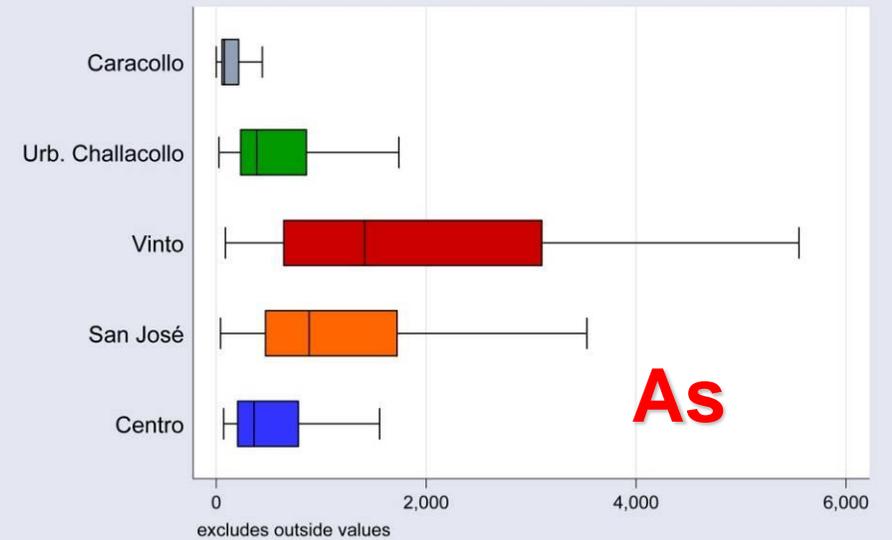
ICP-MS



Lead concentration in hair  $\mu\text{g/g}$

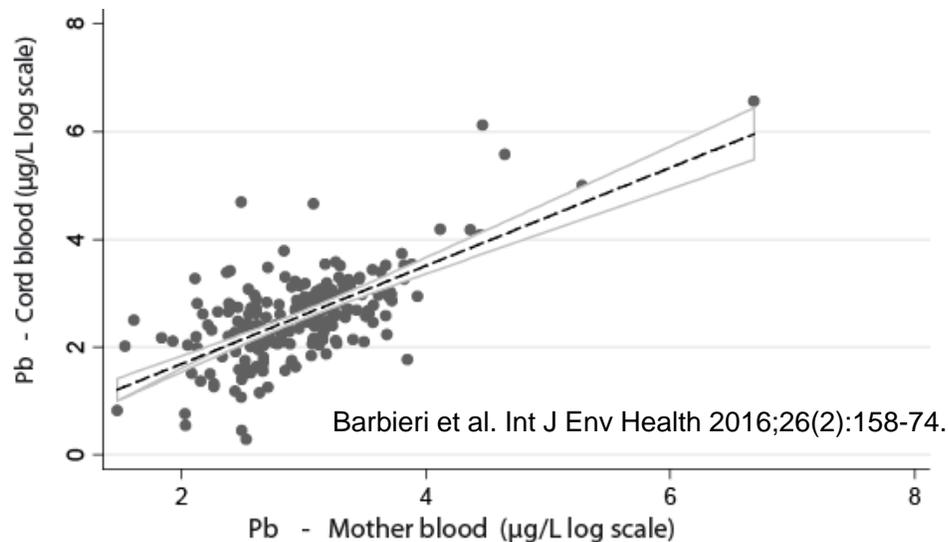


As concentration in hair  $\mu\text{g/g}$

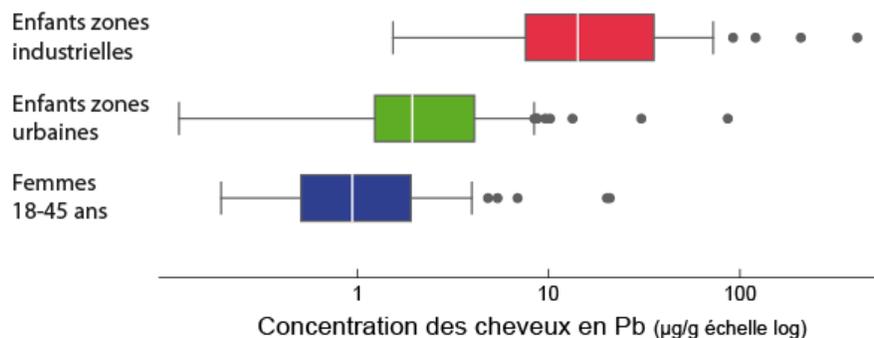




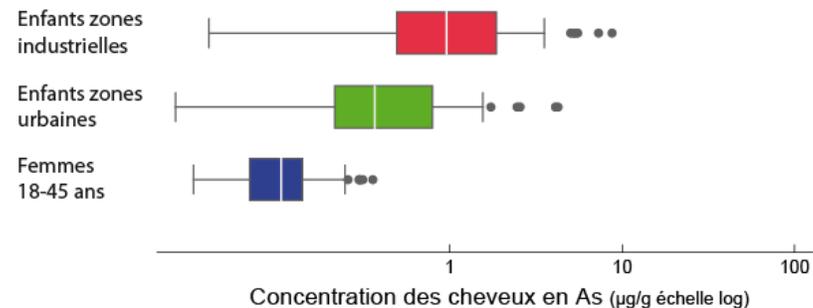
# Exposition humaine aux pollutions polymétalliques dans la ville minière d'Oruro



- Niveaux d'exposition contrastés par quartier
- 4 % des enfants > 50µg/L
- Une forte corrélation entre la mère et l'enfant à la naissance
- Exposition élevée à l'Antimoine avec 50% > 9 µg/L (1-100µg/L)
- Le lieu conditionne l'exposition des enfants d'âge scolaire
- Le comportement détermine l'exposition des mères
- La présence d'un mineur au domicile accroît l'exposition des enfants



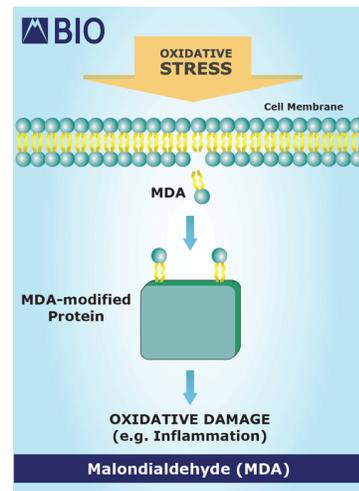
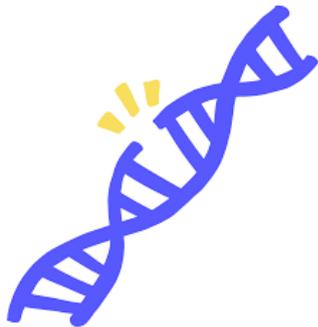
**Pb**



**As**

# Indicateur biologique d'effet infra-clinique : production de ROS et leurs effets sur les lipides et l'ADN – Mines d'or au Ghana

Bortey-Sam et al. Environmental Pollution 2018;235:163-170



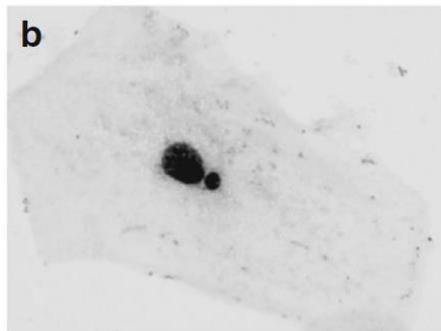
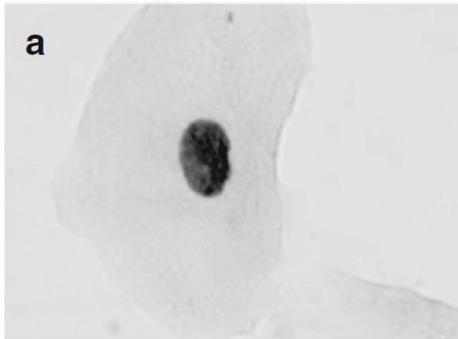
- Ghana, Kumasi (plusieurs quartiers)
- Biomarqueurs urinaires d'exposition à Zn, As, Cd, Pb, Mn, Cr...
- Biomarqueurs de stress oxydant :
  - Malondialdehyde (MDA) (lipides)
  - 8-hydroxy-2-deoxy-guanosine (8-OHdG) (ADN)
- Exposition élevée, même à distance des sites miniers
- Arsenic (total) principal facteur de risque
  - MDA et 8-OHdG +++

# Génotoxicité dans une région minière de Colombie

Cruz-Esquivel et al. Env Sc & Pollution Research 2019;26:10961–10971

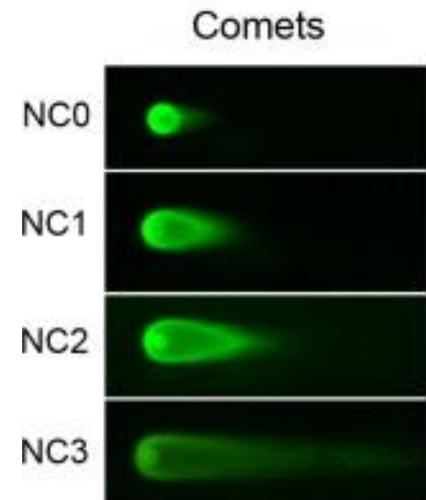


- Mine d'or et de cuivre
- Arsenic naturel associé
- Mercure utilisé pour l'amalgame
- Étude « Exposés vs non exposés »
  - As = 17 $\mu$ g/L vs 0.35  $\mu$ g/L (sang total)
  - Hg = 22 $\mu$ g/L vs 0.16  $\mu$ g/L (sang total)



1000 cellules de la muqueuse buccale par sujet  
Recherche de micro-noyaux (b)

- Comet « tail »
  - 26% vs 13 % (p <0.05)
- Micro-noyaux x 3



# Anomalies congénitales et exploitation minière dans les Appalaches

Ahern et al. Environmental Research 2011;111:838-846  
Hendryx & Holland. Env Science & Policy 2016;63:1-6



- Appalaches USA (1.9 millions habitants)
- Mines de charbon à ciel ouvert
- Toutes les naissances entre 1996-2003
  
- Malformations congénitales
- Lieu de résidence, présence de mines
- Corrélation spatiale entre mines et malformations
- PrevalenceRR 1.26 (1.21-1.32) tts malformations
- PrevalenceRR 1.93 (1.73-2.15) malf. Cardio-Pulm
- 1200 décès attribuables par an
- 6 types de malformations :
  - Cardiaques, pulmonaires, neurologiques, digestives, urologiques, muscoloskelétiques
- Quels mécanismes quelles expositions??? Eau, air, dust
- Rôle des déterminants sociaux (?)
- Résultats discuté : enquête écologique

# Régions aurifères du nord du Burkina Faso



Population rurale, agriculteurs

Région aride

Découverte récente de gisement d'or

Changement d'usages des sols...



Sulfures métalliques, arsénopyrites

Pollution des sols et des eaux de surface

Eaux souterraines contaminées

Changement d'usages de l'eau



# Exposition, facteurs de risqué, manifestations cliniques



	As in Urine ( $\mu\text{g/L}$ ) Adjusted geo-mean [unclear]	95% CI	P value
<b>Village</b>			
Roba	25.2	19.6-32.4	P<0.001
Tanlili	64.1	50.8-80.7	
<b>Adults</b>	34.4	28.4-41.5	P<0.001
<b>Children</b>	70.3	51.5-96.1	
<b>Source of water</b>			
Superficial well (exclusively)	33.3	27.8-39.9	P<0.001
Deep well	123.4	80.6-188.8	



Exposés vs « non exposés »



Heavy toll: Children are particularly vulnerable to poisoning by lead, which is released when the gold is extracted. (Reuters)

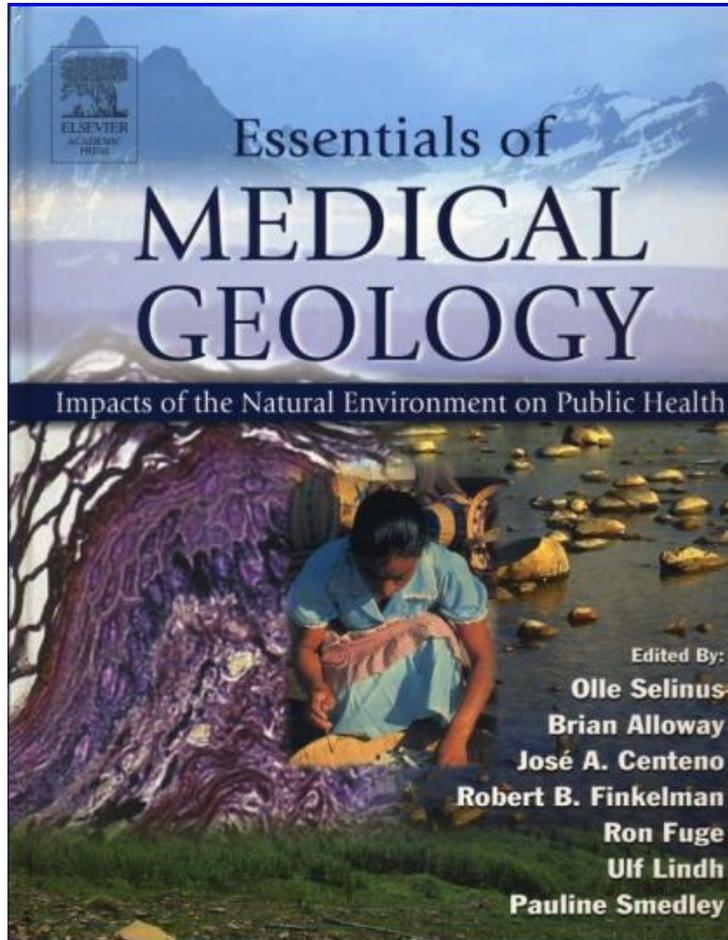
# Encéphalites mortelles au Nigeria, région aurifère de Zamfara

Yi-Chun et al. Environmental Health Perspectives. 2012;120:1450-1455

- Découverte gisements aurifères (2010)
- Forte concentration en plomb (jusqu'à 10%)
- Extraction et traitement artisanal
- Contamination très importante de l'environnement, y compris domiciliaire
  
- Des centaines d'enfants  $> 800\mu\text{g/L}$
- Epidémie d'encéphalites chez les enfants
- 200-400 morts en deux ans
- 130 villages impliqués
- Quels impacts à long terme???



# Medical Geology



[www.medicalgeology.org](http://www.medicalgeology.org)

