



JEUDI 3 AVRIL 2025

MAS Paris, 13e
10 rue des terres au curé

ENJEUX ET DÉFIS DES DONNÉES
GÉOSPATIALES
POUR L'ONCOLOGIE

GROUPE GEOCANCER

Cancéropôle
Île-de-France

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Institut
National
du Cancer

Travailler sur les expositions cancérogènes en l'absence de données : illustration au travers de l'usage des SMA sur le cas de Sibaté (Colombie)

Benjamin Lysaniuk (CNRS, PRODIG)

Françoise Duraffour (CNRS, PRODIG)

Juan-Pablo Ramos Bonilla (Uniandes)



Contexte

Amiante : terme générique variété de silicates de texture fibreuse

- Serpentes (chrysotile)
- Amphiboles (crocidolite)

Amiante ou « asbeste » (*asbestos* : indestructible) – propriétés remarquables de résistance à la chaleur

- Utilisation depuis l'Antiquité
- Utilisation massive au cours du XX^{ème} siècle

Toxicité

- **Dommages pulmonaires** sur des esclaves tissant des vêtements d'amiante selon Pline l'Ancien (Dériot, Godefroy, 2005)
- **Fibroses pulmonaires** dues aux expos à l'amiante reconnues en MP en France depuis 1945 (Henry, 2005)
- Lien entre expos à **l'amiante et cancer du poumon** dans l'industrie textile en Angleterre (Doll, 1955)
- **Mésothéliomes** chez les mineurs de crocidolite en Afrique du Sud (Wagner *et.al.*, 1960)
- Amiante = **cancérogène** (Selikoff, 1965)
- Amiante = **cancérogène certain** (CIRC, 1977)





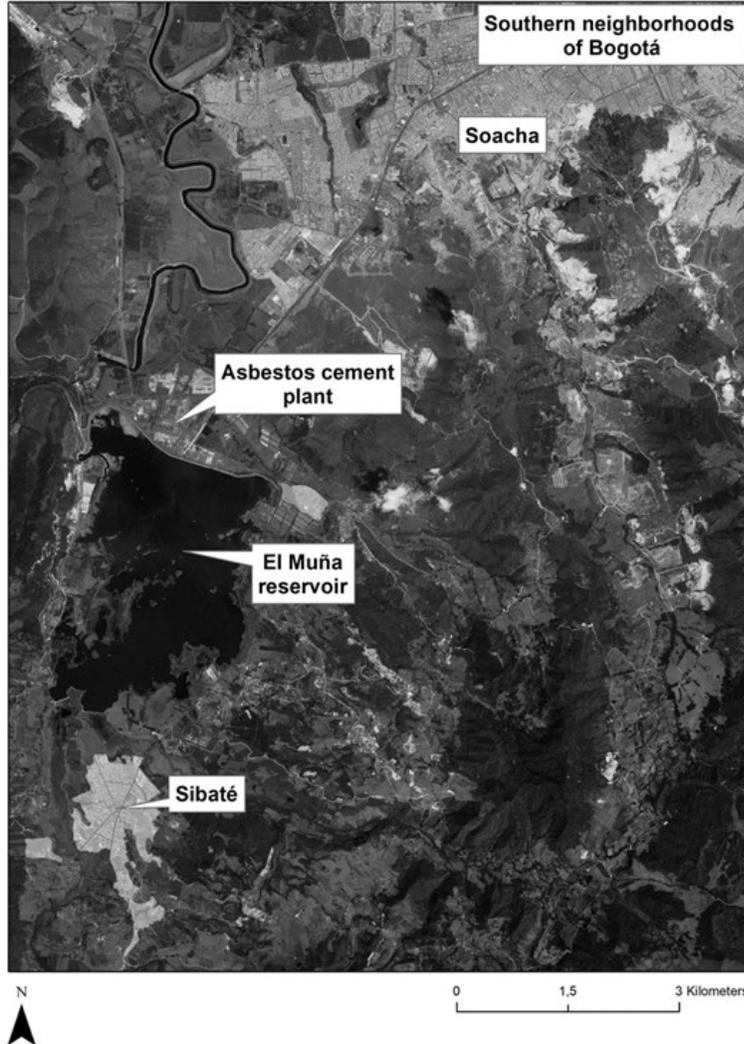
Contexte



Ana Cecilia Niño



Contexte



Source : Digital Globe, 2016



Sibaté

- 1942
- 1967
- 40 000 habitants approx.

- Démarrage d'une étude pilotée par le Pr Juan Pablo Ramos Bonilla et ses étudiants dès **2015**
- Plus de **300 questionnaires** passés dans 4 quartiers de Sibaté
- Mise en place d'une **équipe internationale** Colombie / Italie / France
- + de **15 mésothéliomes** pleuraux confirmés : existence d'un **cluster (cas jeunes !)**. Des entretiens semblent indiquer des modalités originales de contamination



Contexte

Modalités inhabituelles d'exposition à l'amiante telles que rapportées par les résidents

- Création de zones de décharge contenant de l'amiante,
- De nombreuses mentions d'enfants jouant dans ces zones,
- Circulation fréquente de camions dans les zones urbaines à destination et en provenance de ces zones de décharge,
- Collecte de matériaux provenant de ces zones de décharge pour une utilisation dans des propriétés privées.

Dans 7 sites des zones remblayées, sur le terrain de football avec la piste d'athlétisme, à l'école et autour du stade de football, nous avons confirmé la présence d'une couche d'amiante **friable** avec des concentrations d'amiante chrysotile entre 2% et 10% et d'amiante crocidolite entre 2% et 5%.

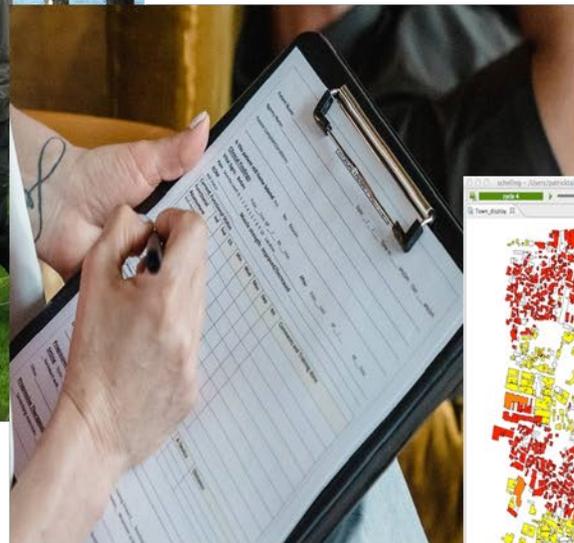




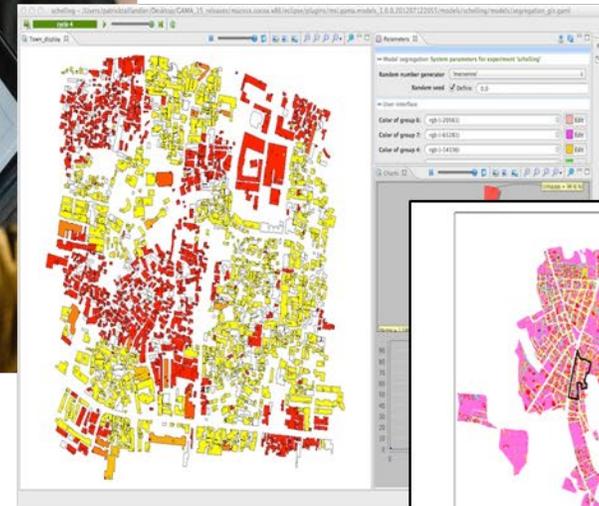
Contexte



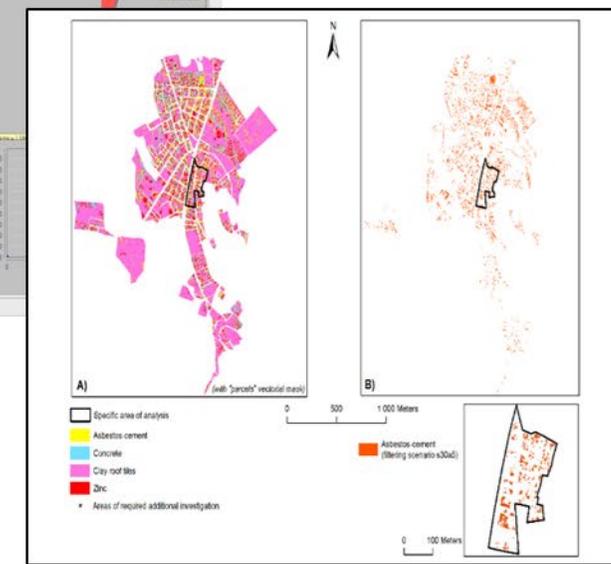
georadar



enquête



SMA



roofclassify



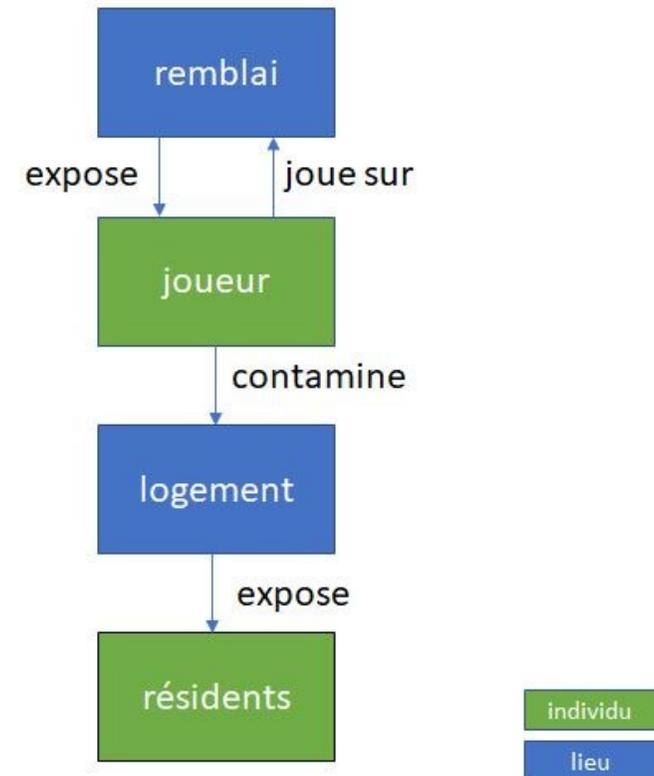
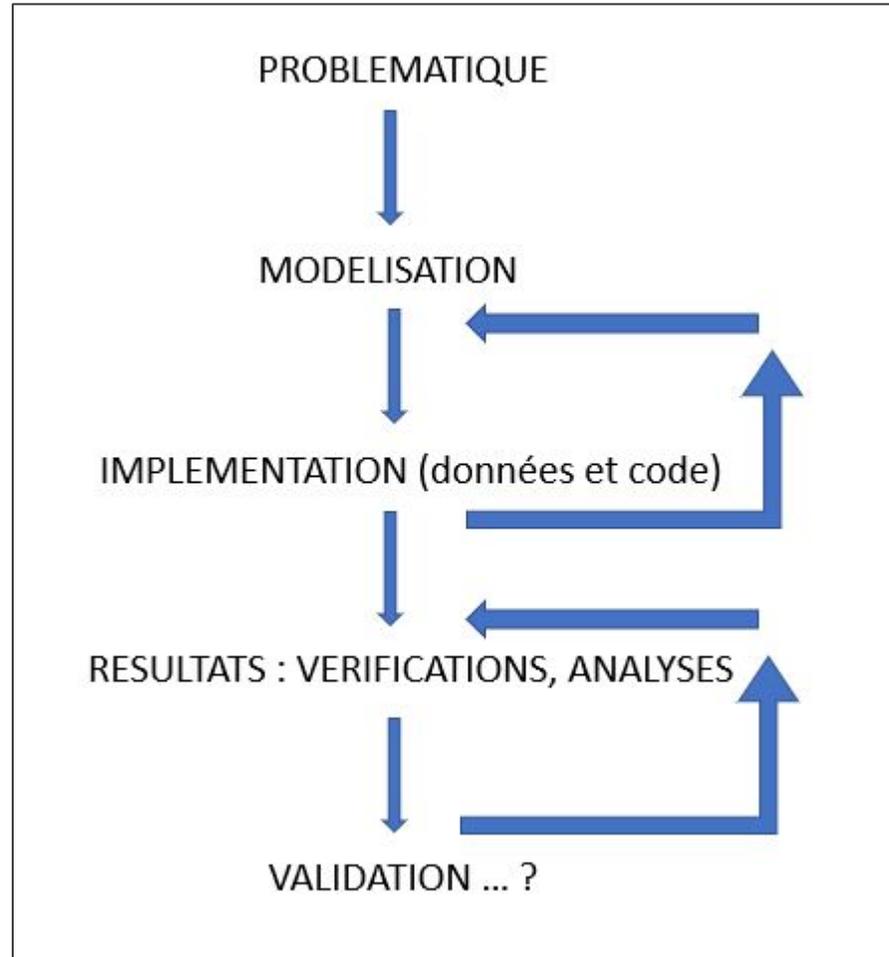
Contexte

Selon l'administration locale, la contamination sur les remblais n'aurait concerné qu'une « poignée » d'enfants...

Mise en place d'une approche SMA à haute valeur méthodologique pour discuter le discours des autorités locales et tenter d'avancer des hypothèses crédibles explicatives du cluster de Sibaté...

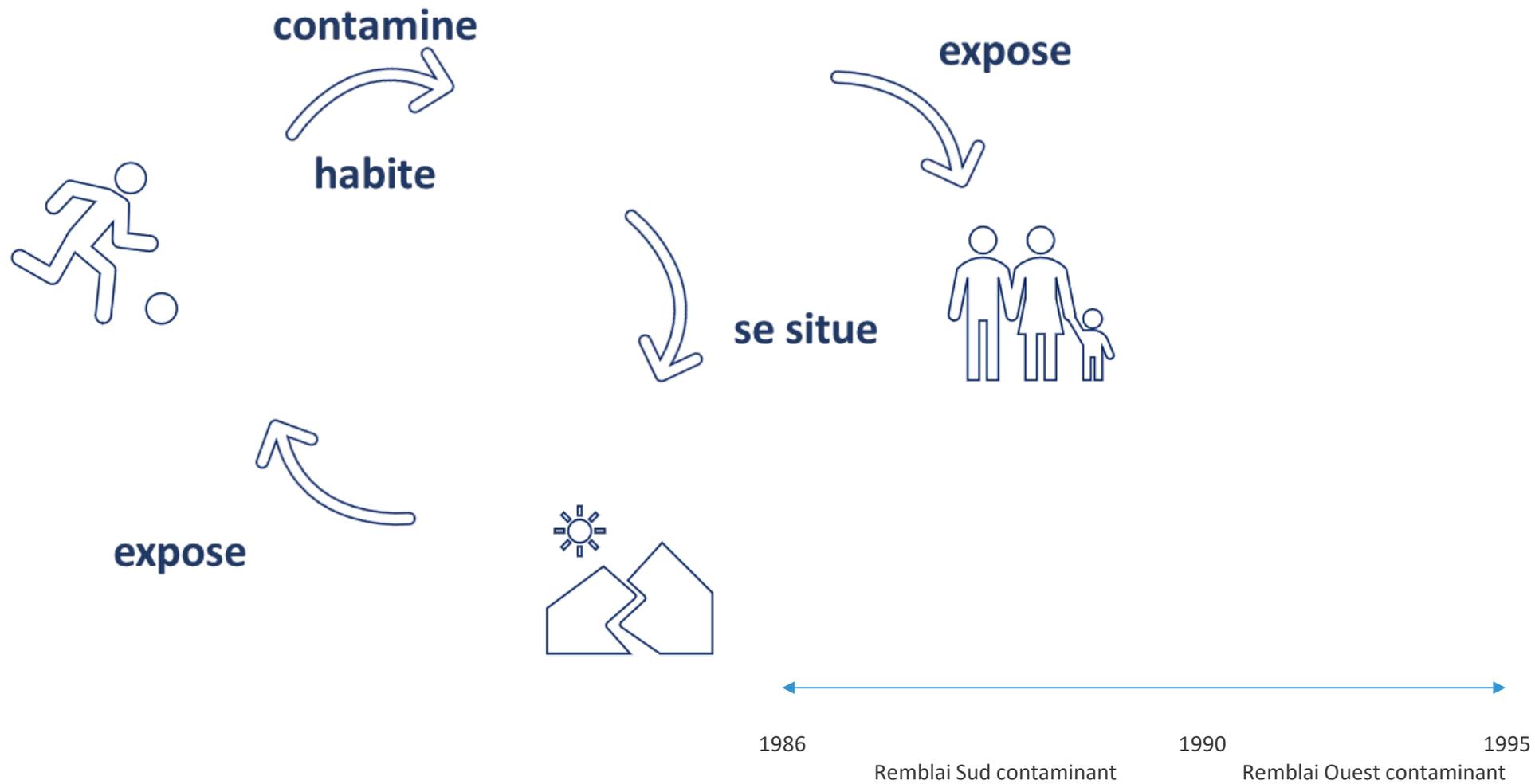


L'approche SMA - modélisation





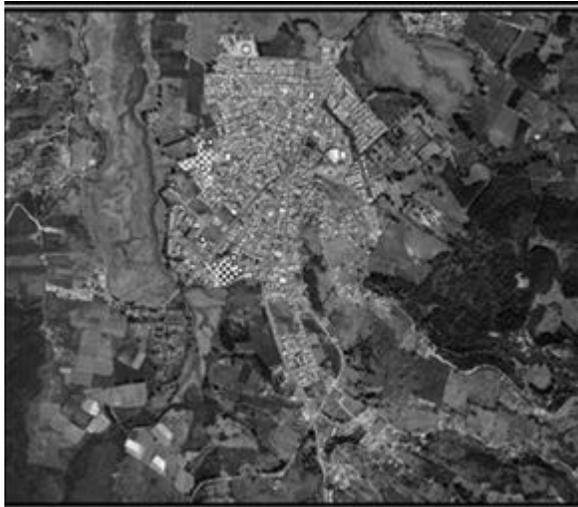
L'approche SMA - modélisation





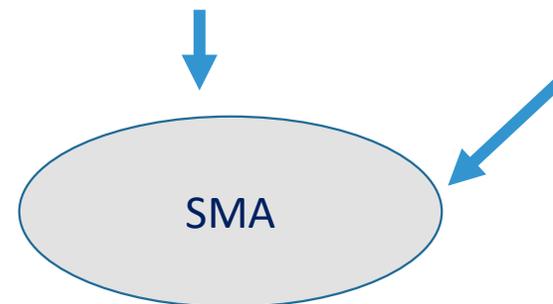
L'approche SMA - implémentation

Ateliers participatifs
(*histoire des décharges*)



Etalement urbain à Sibaté (1986-1995)

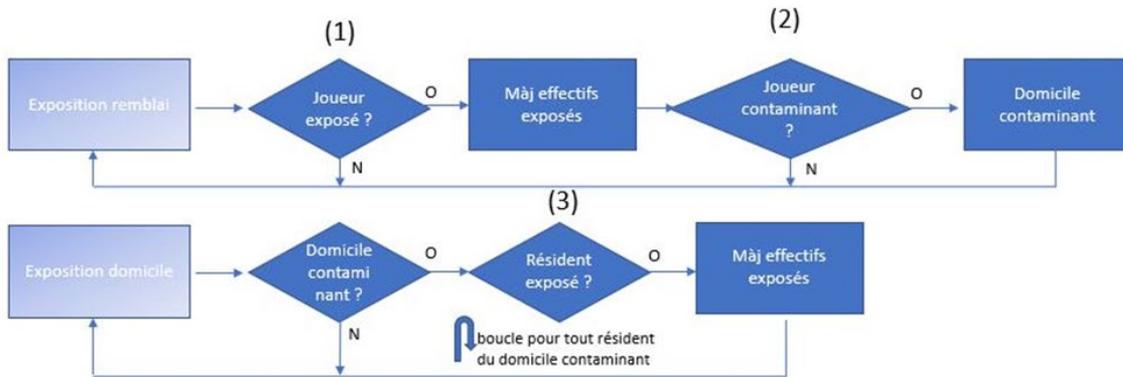
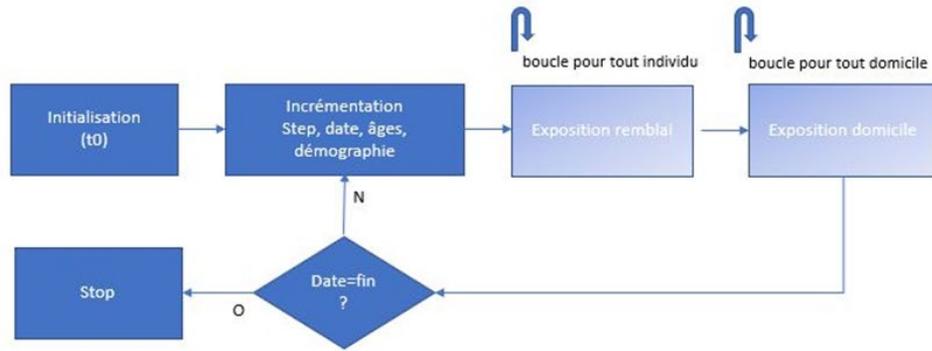
Localisation des zones de décharge localisation des habitats des « joueurs » potentiels



Recensement
(*Departamento Administrativo Nacional de Estadística*)



L'approche SMA - implémentation



Entity	Variable name	Possible values
Individual	Housing unit square	Housing unit ID
	Playground	A polygon ID
	Age	[5,100] step of 1
	Category	C (5-19 age group), A (20-64 age group), R (65 and + age group)
	Age at first exposure	[5,100] step of 1
	Status	[player, non-player]
	Is exposed on a landfill	[yes, no]
	Is exposed by young people's clothing	[yes, no]
	Contaminates	[yes, no]
	Place	Type
Date		[1985, 1996]
Building contaminated by vector		[yes, no]
Access South		[0,1]
Access West		[0,1]
Parameter	nb_players	[1,10] step of 1
	%_young_people_exposed_landfill	2,5,10
	%_vectors_among_exposed_young_people	1, 5, 10, 25, 50
	%_home_exposed	1, 5, 10, 25, 50

4 paramètres (inputs) :

- nombre de joueurs sur les décharges (1)
- % de joueurs exposés à l'amiante sur les décharges (2)
- % de joueurs exposés porteurs de fibres (3)
- % de personnes exposées dans les logements (4)

3 outputs principaux : nb d'exposés par tranche d'âge



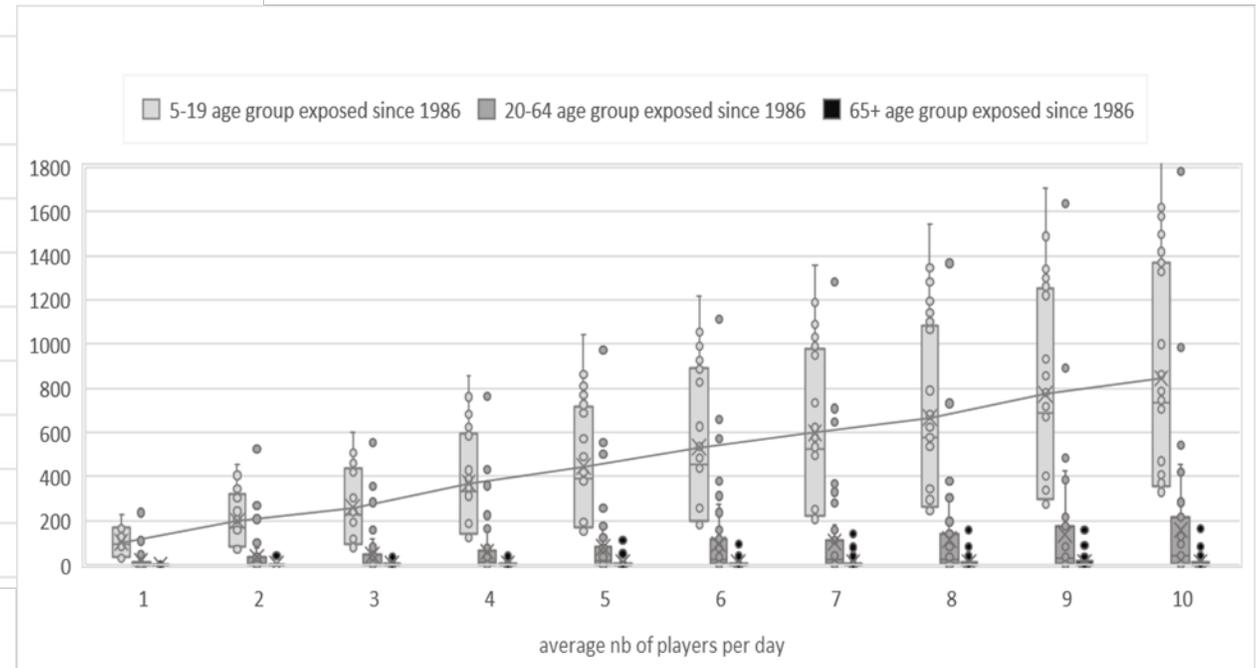
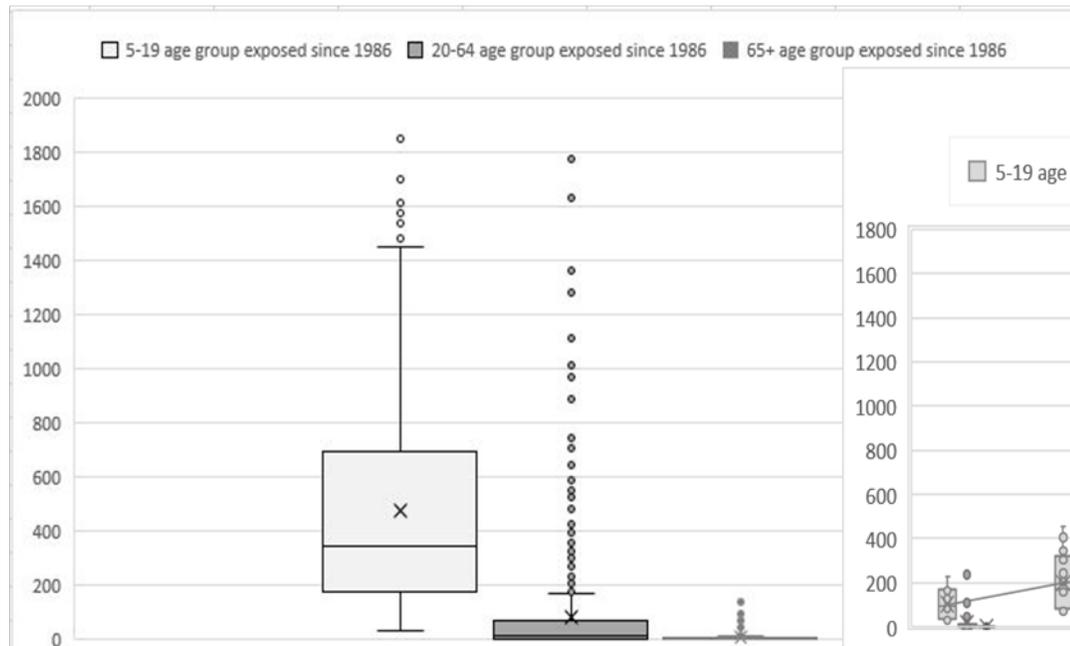
L'approche SMA - implémentation

```
global {  
  
  file shape_file_buildings <- file("../includes/Sibate_urba_home.shp");  
  /**d'après cadastre de sibaté et carroyage pour obtenir des logements d'une occupation moyenne de 4 personnes*/  
  file shape_file_backfills <- file("../includes/Sibate_safe_fillings.shp");  
  file shape_file_bounds <- file("../includes/Sibate_bounds.shp");/**enveloppe" de l'espace*/  
  geometry shape <-enveloppe(shape_file_bounds);  
  float step <- 12 #h;/**2 pas temporels chaque jour, un pour aller jouer, un autre pour rentrer chez soi*/  
  int current_hour <- time / #hour; update:(time / #hour) mod 24 ;  
  date current_day <-date([1985,12,31,18,0,0])update:plus_hours(current_day,12);/** initial value ->step *//**début de la simulation : 01/01/1986*/  
  int delta_year<-0;  
  int current_year <- 1986;  
  map<string,rgb> color_per_type <- ["home 1986":#green, "home 1986-95":#lightgreen, "school":#blue, "safe_filling":#lightblue, "factory":#grey];  
  map<string,rgb> color_per_person <- ["child or teenager":#yellow, "worker":#orange, "retiree":#grey];  
  map<string,rgb> color_per_cart_truck <- ["truck (not private)":#black, "truck (private trip)":#yellow,"cart":#brown];  
  int nb_5_9 <- 2458;/**Sibate 1986 census*/  
  int nb_10_14 <- 2257;  
  int nb_15_19 <- 2434;  
  int nb_20_24 <- 2363;  
  int nb_25_29 <- 2120;  
  int nb_30_34 <- 1611;  
  int nb_35_39 <- 1244;  
  int nb_40_44 <- 939;  
  int nb_45_49 <- 919;  
  int nb_50_54 <- 717;  
  int nb_55_59 <- 564;  
  int nb_60_64 <- 445;  
  int nb_65_69 <- 368;  
  int nb_70_74 <- 250;  
  int nb_75_80 <- 223;  
  int nb_80_and_more <-112;  
  
  int nb_C_init<-nb_5_9+nb_10_14  
  int nb_W_init<-nb_20_24+ nb_25_29  
  int nb_R_init<-nb_65_69+nb_70_74  
  
  bool demograph <-true;  
  map<int,list<int>> demography  
  1987 ::[2408,2202,2352,2352]  
  1988 ::[2364,2160,2258,2339]  
  1989 ::[2341,2127,2175,229]  
  1990 ::[2353,2107,2107,226]  
  1991 ::[2398,2090,2046,220]  
  1992 ::[2488,2093,2009,215]  
  1993 ::[2615,2116,1999,2108]  
  1994 ::[2766,2178,2010,207]  
  1995 ::[2925,2277,2038,206]  
  1996 ::[3059,2412,2005,200]  
  1997 ::[3168,2577,2139,212  
  
  action playground{  
    list<building> backfill1_buildings <- building where (each.type="backfill1");  
    list<building> backfill2_buildings <- building where (each.type="backfill2");  
    nb_children_backfill2<-0;  
    nb_children_backfill1<-0;  
    nb_children_backfill0<-0;  
    ask people{  
      switch type {  
        match_one ["C","T"] {  
          playing<-false;  
          ask living_place {  
            if acces_S=1 and cycle < date_backfill2 {/**accès au remblai sud  
              myself.playing_place <- one_of (backfill2_buildings);  
              nb_children_backfill2<-nb_children_backfill2+1;  
              myself.playing<-true; /**joueur potentiel*}  
            }  
            if acces_W=1 and (cycle >= date_backfill2 and cycle < date_back  
              myself.playing_place <- one_of (backfill1_buildings);  
              nb_children_backfill1<-nb_children_backfill1+1;  
              myself.playing<-true; /**joueur potentiel*}  
            }  
            if acces_S=0 and acces_W=0 {nb_children_backfill0<-nb_children_@  
            if cycle=date_backfill2 {nb_children_backfill1_init<-nb_children  
  
          }  
        }  
      }  
    }  
  
    species building {  
      string type;  
      int date_urba;/**1986 ou 1995 d'après fichier cadastre*/  
      int acces_S;/** 0 ou 1, 1 si terrain accessible quelle que soit l'année*/  
      int acces_W;/** 0 ou 1, 1 si terrain accessible quelle que soit l'année*/  
      rgb color;  
      bool building_contaminated_to_child<- false;  
      int taille;  
      int T2 <-0;/** 2ème partie de la journée (step = 0 puis 12h) retour à la maison*/  
      reflex contaminate_by_children when: building_contaminated_to_child and current_hour = T2 and type="home  
        do contaminate_by_children percent:percent_expo_to_child;  
        building_contaminated_to_child<-false;/** contamination temporaire de l'habitat../}  
    }  
  
    action contaminate_by_children(int percent) {/**contamination du logement par les enfants contaminants  
      let name_building<-self;  
      ask (people overlapping self) {  
        if rnd(99) < percent{  
          is_exposed<-true;  
          if age_first_expo=0 {age_first_expo<-age};  
          is_exposed_by_child <-true;  
        }  
      }  
    }  
  }  
}
```



L'approche SMA – quelques résultats

		Min	Max	Mean	St-Dev
output	# of exposed people 5-19 y.o. since 1986	31	1856	479	377
output	# of exposed people 20-64 y.o. since 1986	0	1781	84	188
output	# of exposed people ≥65 y.o. since 1986	0	163	8	19





L'approche SMA – éléments de discussion

Biais, limites et difficultés

- données (absence, précision...)
- connaissances (de l'exposition à la maladie)
- choix de modélisation (moment d'exposition à la fibre...)
- principe de parcimonie (abstraction dans la démarche de modélisation)
- contraintes techniques (temps de traitement : nb agents, nb d'itérations...)
- activité chronophage

Approche (presque novatrice) indispensable pour traiter de **dynamiques et d'interactions « société *in silico* »**

De l'agent au système : émergence de résultats/questionnements non prévisibles

Nouveaux questionnements (plus que des réponses ?)



Pour aller plus loin



Environ Monit Assess _#####_
<https://doi.org/10.1007/s10661-024-13052-9>

RESEARCH



Use of agent-based modeling to analyze potential non-occupational exposures to asbestos of the general population of Sibaté (Colombia)

Françoise Duraffour · Juan Pablo Ramos-Bonilla · Benjamin Lysaniuk

Received: 28 February 2024 / Accepted: 23 August 2024
© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG 2024

Abstract Previous studies conducted in the municipality of Sibaté (Colombia) have revealed alarming findings regarding asbestos exposure in the region, as it is the site of the country's first mesothelioma cluster. Non-occupational asbestos exposure events were identified in this population, and the young age of the mesothelioma cases at the time of diagnosis suggests that asbestos exposure occurred during their childhood. The creation of landfilled zones in the 1980s and 1990s, utilizing friable asbestos among other disposed materials, may have been a significant asbestos exposure event contributing to the elevated number of mesothelioma cases. The objective of this study was to model various historical exposure scenarios related to the creation and interaction of the population with

asbestos-contaminated landfilled zones, in light of the absence of asbestos monitoring in the region. The models utilized a multi-agent simulation process, focusing on a 10-year period (1986–1995). Various relevant variables were incorporated into the modeling process, including, for example, the number of children playing in the landfilled zones and the percentage of children carrying asbestos fibers on their clothes to their homes. A range of values for input data for the models were utilized, spanning from very conservative numbers to exposure-promoting values. The average number of exposed individuals estimated over 750 simulation runs, considering all scenarios, was 571, with a range between 31 and 3800 exposed individuals. The use of multi-agent simulation models can assist the understanding of past asbestos exposure events, especially when there is a lack of environmental surveillance data.

Supplementary Information The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1007/s10661-024-13052-9>.

F. Duraffour · B. Lysaniuk (✉)
UMR Prodig, CNRS, 93222 Aubervilliers, France
e-mail: benjamin.lysaniuk@cnrs.fr

F. Duraffour
e-mail: francoise.duraffour@cnrs.fr

J. P. Ramos-Bonilla
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental,
Universidad de Los Andes, 111711 Bogotá, Colombia
e-mail: jramos@uniandes.edu.co

J. P. Ramos-Bonilla
Collegium Ramazzini, 40010 Bentivoglio, Bologna, Italy

Keywords Environmental exposure · Agent-based modeling · Asbestos · Landfilled zones · Sibaté (Colombia)

Introduction

Asbestos is a term used to describe fibrous silicates, which are classified into two main groups: serpentines (e.g., chrysotile) and amphiboles (e.g., crocidolite, amosite, tremolite, actinolite, and anthophyllite) (INSERM, 1997; Collegium Ramazzini, 2010; Welch

