



MINISTERE DE L'EQUIPEMENT  
ET DES TRANSPORTS (MET)  
\*\*\*\*\*  
UNITE NATIONAL DE COORDINATION  
DU PST2 \_PRETTAO

# Un outil d'aide à la décision pour les pouvoirs publiques

## Etude sur la qualité de l'air dans le District de Bamako

Etienne de Vanssay – Rincent CapAir  
[vanssay@rincent.fr](mailto:vanssay@rincent.fr) ; +33783028770

Atmos'Fair, Lyon 2015





**MINISTRE DE L'EQUIPEMENT  
ET DES TRANSPORTS (MET)**  
\*\*\*\*\*  
**UNITE NATIONAL DE COORDINATION  
DU PST2 \_PRETTAO**

Avec :

Alain Vantelon, consultant

Armand Albergel, Aria Technologie SA

Assetou Bouaré, Rincent LABOGEC Mali

Bruno Sicard, IRD, Bamako

Gérard Thibaud, consultant

Nianti Bouaré Rincent LABOGEC Mali

Rémi Bouscaren, consultant

Sominé Dolo, Laboratoire National de Santé, Bamako

Yacouba Toloba, Hôpital point G, Bamako

Et :

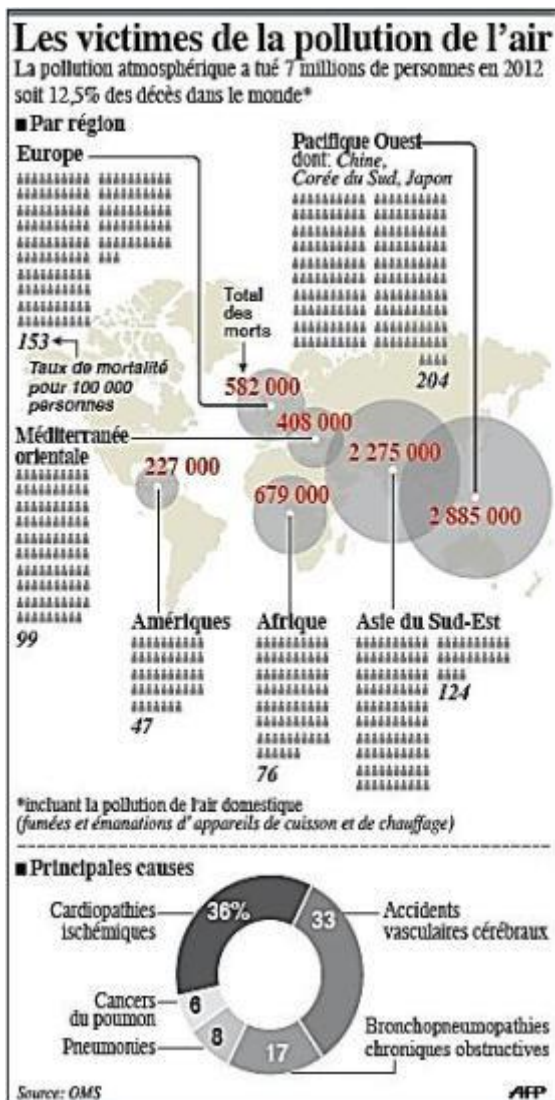
Claire Dupuis (ATSA), Benjamin Forestier (RCA), Balla Moussa  
Kané (RLM), Dolo (RLM), SOUMAGEL Nogmana (IRDB)



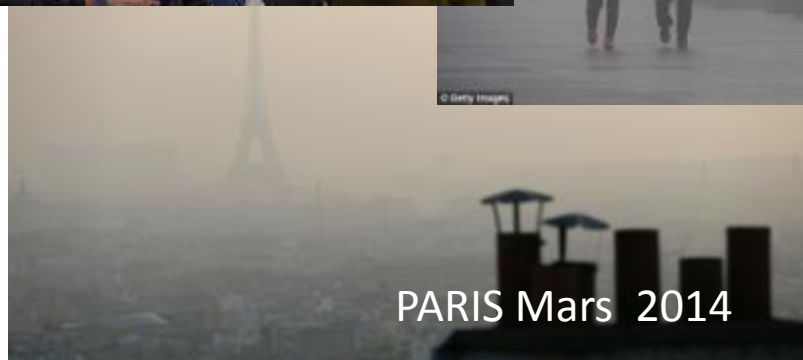
# Contexte

Publication OMS du 25 Mars 2014

- La pollution de l'air est désormais le principal risque environnemental pour la santé dans le monde.
- 4,3 millions de décès en 2012 causés par la pollution de l'air intérieur.
- 3,7 millions de décès en 2012 causés par la pollution de l'air extérieur.



Shanghai Novembre 2013



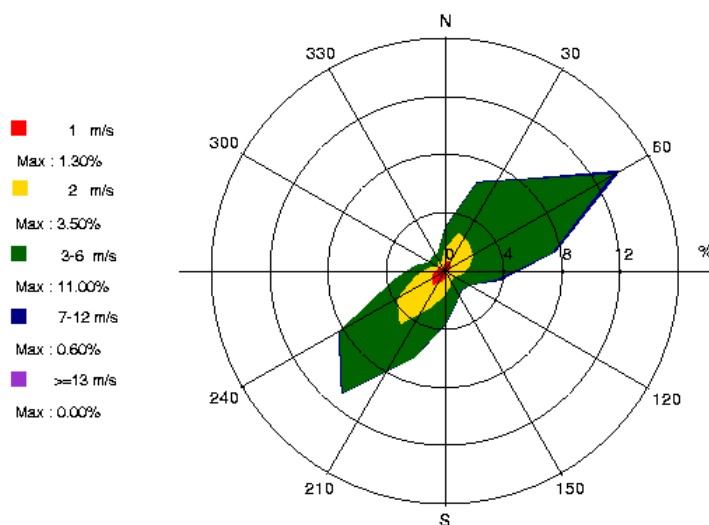


# Une démographie jeune en forte croissance

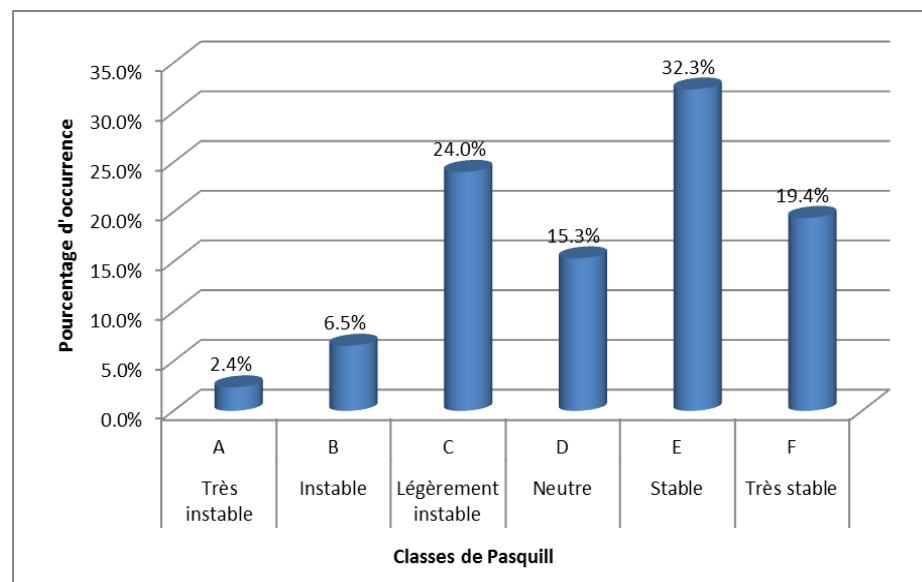
- **Bamako 2014 :**
  - **Près de 2 000 000 d'habitants**
  - **13% de la population du Mali**
  - **47% de la population a moins de 14 ans**
  - **Un ménage est composé de 7 personnes environ**
- **Une forte croissance favorisée par l'exode rural estimée à 6% / an**
  - **1950 : 89 000 habitants**
  - **2014 : 2 000 000 d'habitants**
  - **2025 : 4 000 000 d'habitants**

# Une climatologie plutôt défavorable à la qualité de l'air

- Une rose des vents avec deux directions prépondérantes
- 45% des vents  $\leq 2$  m/s
- 50 % des observations correspondent à des situations peu diffusives
- Une saison des pluies favorable

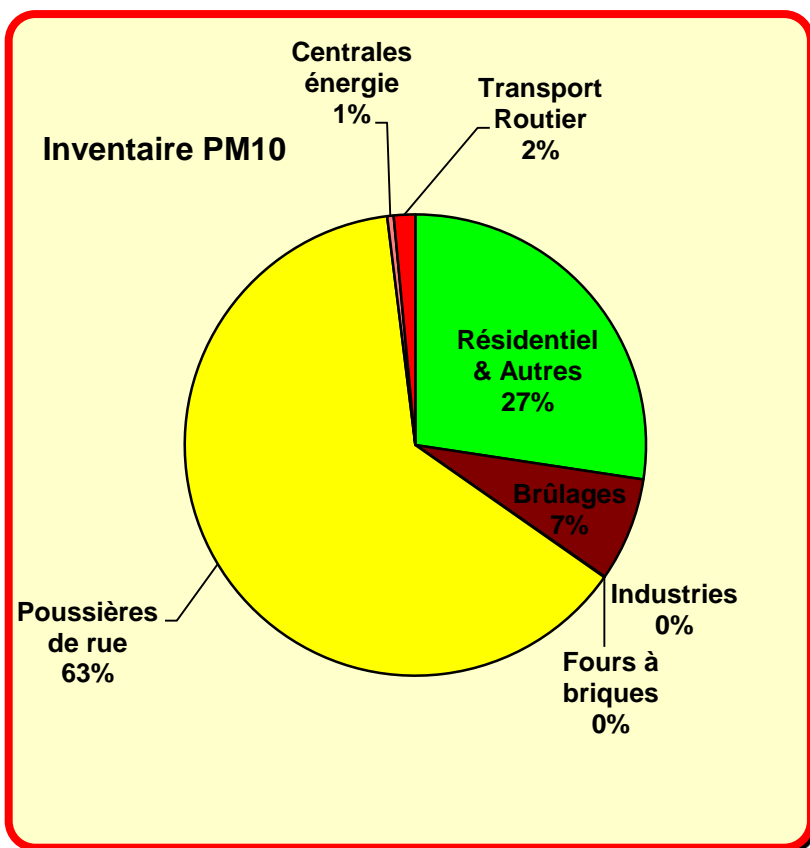


2010, 2011 et 2012



# Emissions PM10 à Bamako

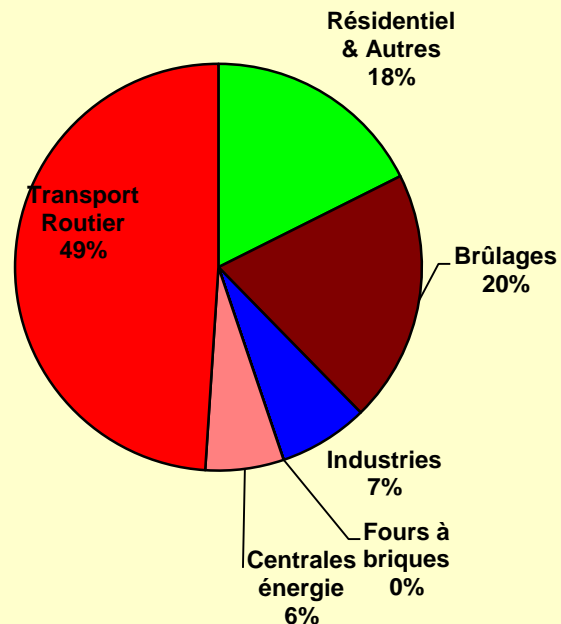
- Prépondérance du soulèvement des poussières de rue, des feux domestiques et du brûlage (Année de référence 2012)



# Les émissions de $\text{NO}_2$ à Bamako

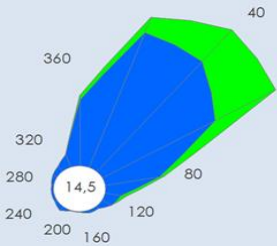
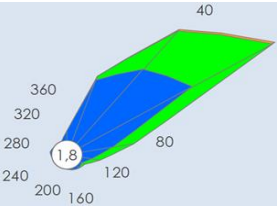
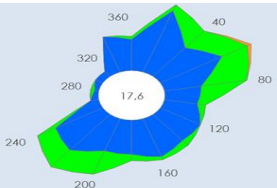
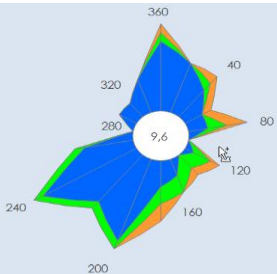
- Prépondérance du trafic routier, des brûlages et des feux domestiques (Année de référence 2012)

Inventaire  $\text{NO}_x$





# Des campagnes représentatives

	Début	Fin	Régime des vents	Remarque
Campagne 1	15/01/2014	31/01/2014		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; vent moyen durant la campagne : 3m/s</li> <li>&gt; Pas de pluie</li> <li>&gt; Episode de poussière généralisée observée le 18/01</li> </ul>
Campagne 2	01/02/2014	14/02/2014		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; vent moyen durant la campagne : 4,3 m/s</li> <li>&gt; Pas de pluie</li> <li>&gt; Aucun épisode de poussière généralisée</li> </ul>
Campagne 3	05/04/2014	20/04/2014		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; vent moyen durant la campagne : 3m/s</li> <li>&gt; Situations orageuses le 6 , le 7 et le 16</li> <li>Pluie faible</li> <li>&gt; Aucun épisode de poussière généralisée</li> </ul>
Campagne 4	19/08/2014	02/09/2014		<ul style="list-style-type: none"> <li>&gt; vent moyen durant la campagne : 2,2 m/s</li> <li>&gt; Situations Orageuses conduisant à de fortes pluie (total 50,6 mm)</li> <li>&gt; Grains Identifiés le 27/08, 30/08 et le 01/10</li> </ul>



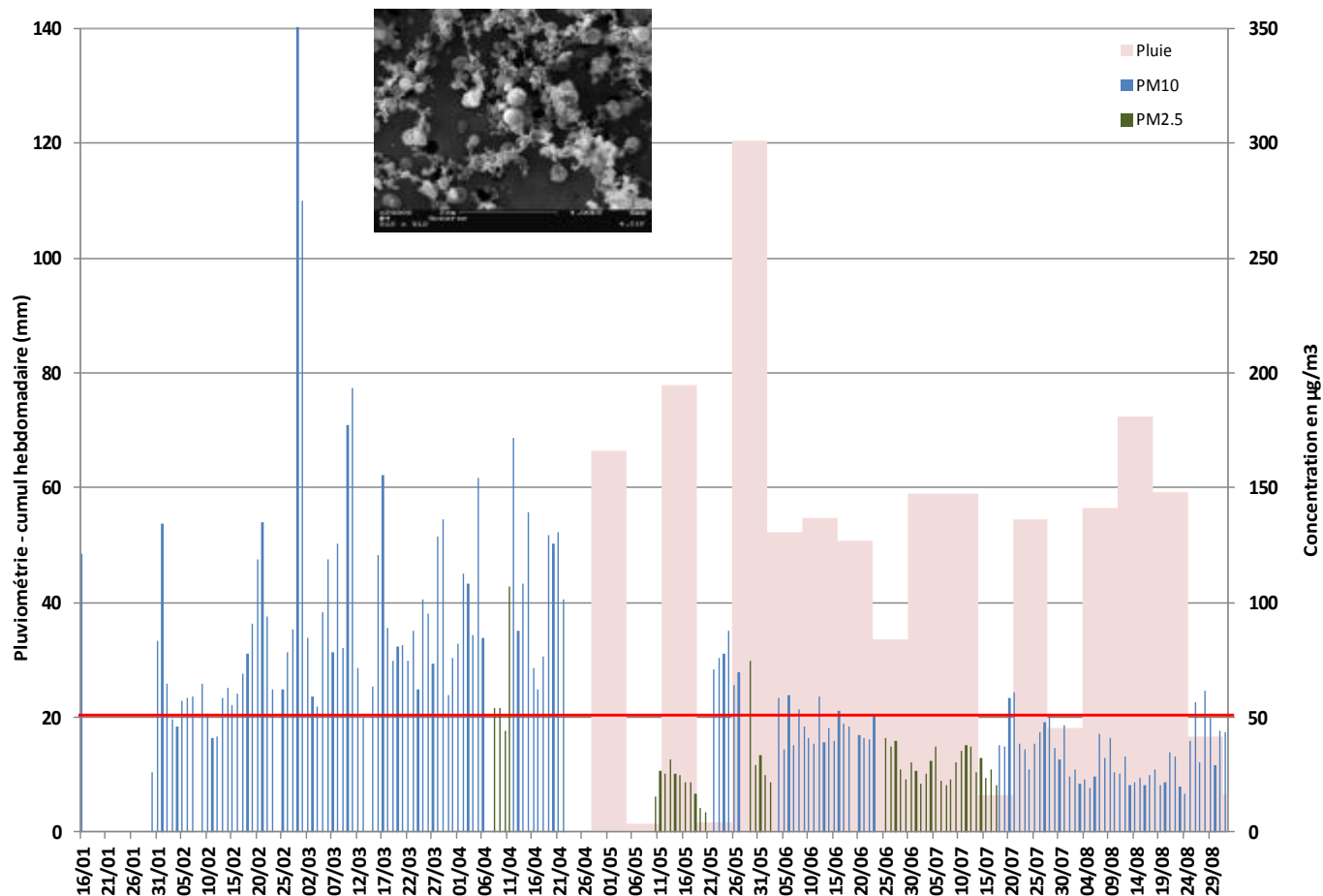


# Des campagnes représentatives

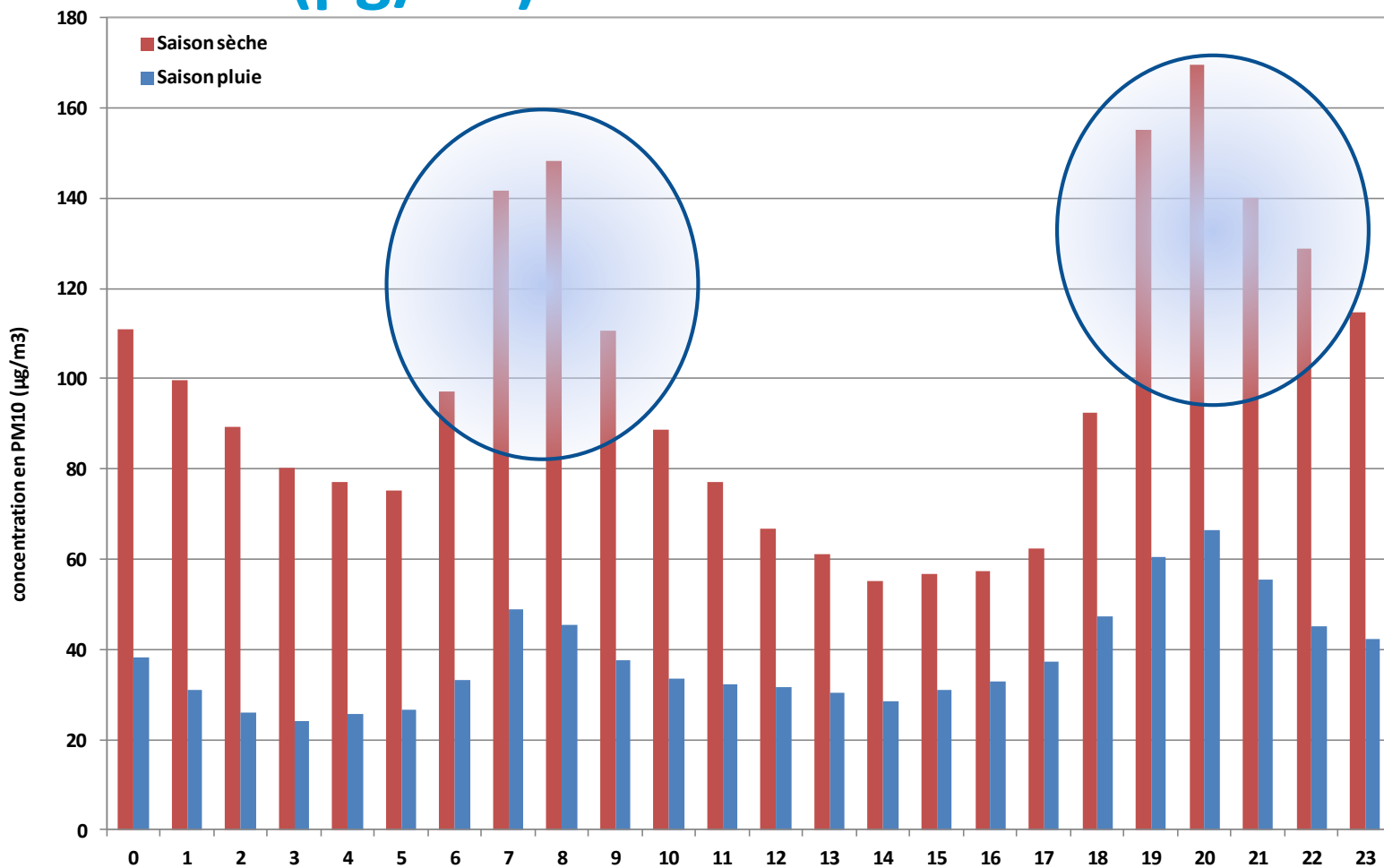
## Composé mesurés :

- **Particules PM10 et PM2,5**
- **NO2**
- **SO2**
- **BTEX**
- **CO2**
- **CO**

# Les concentrations mesurées en particules PM10 et 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

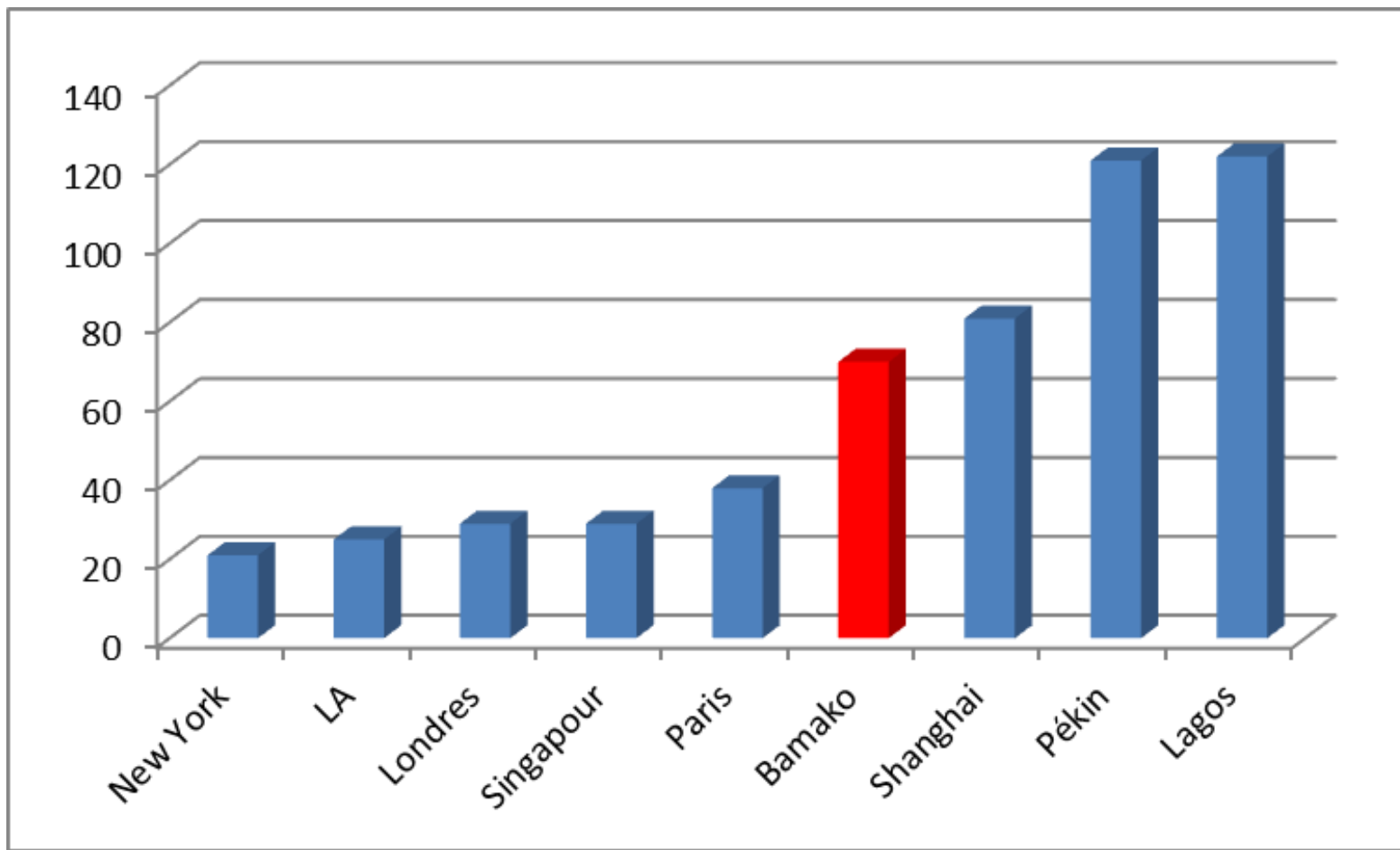


# Les concentrations moyennes horaires mesurées en particules PM10 et 2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



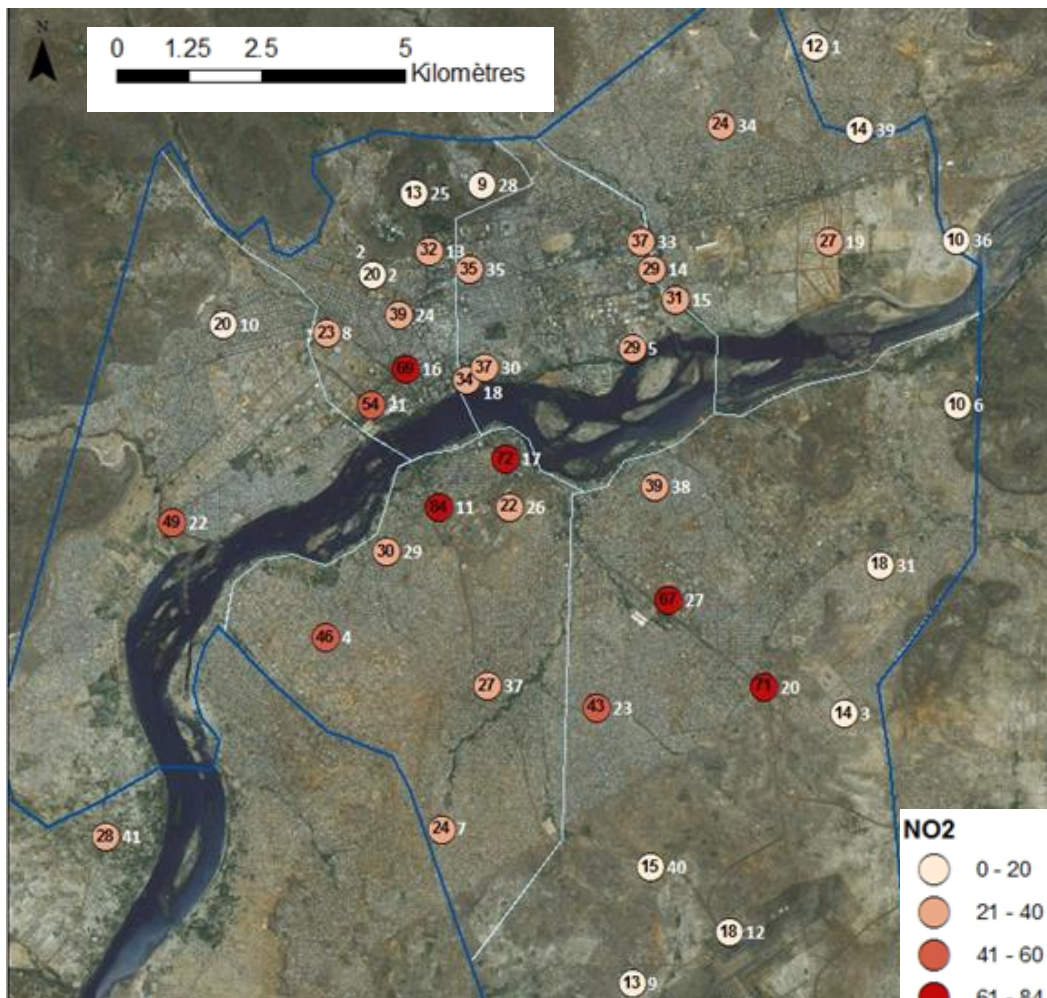


# Positionnement Bamako PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



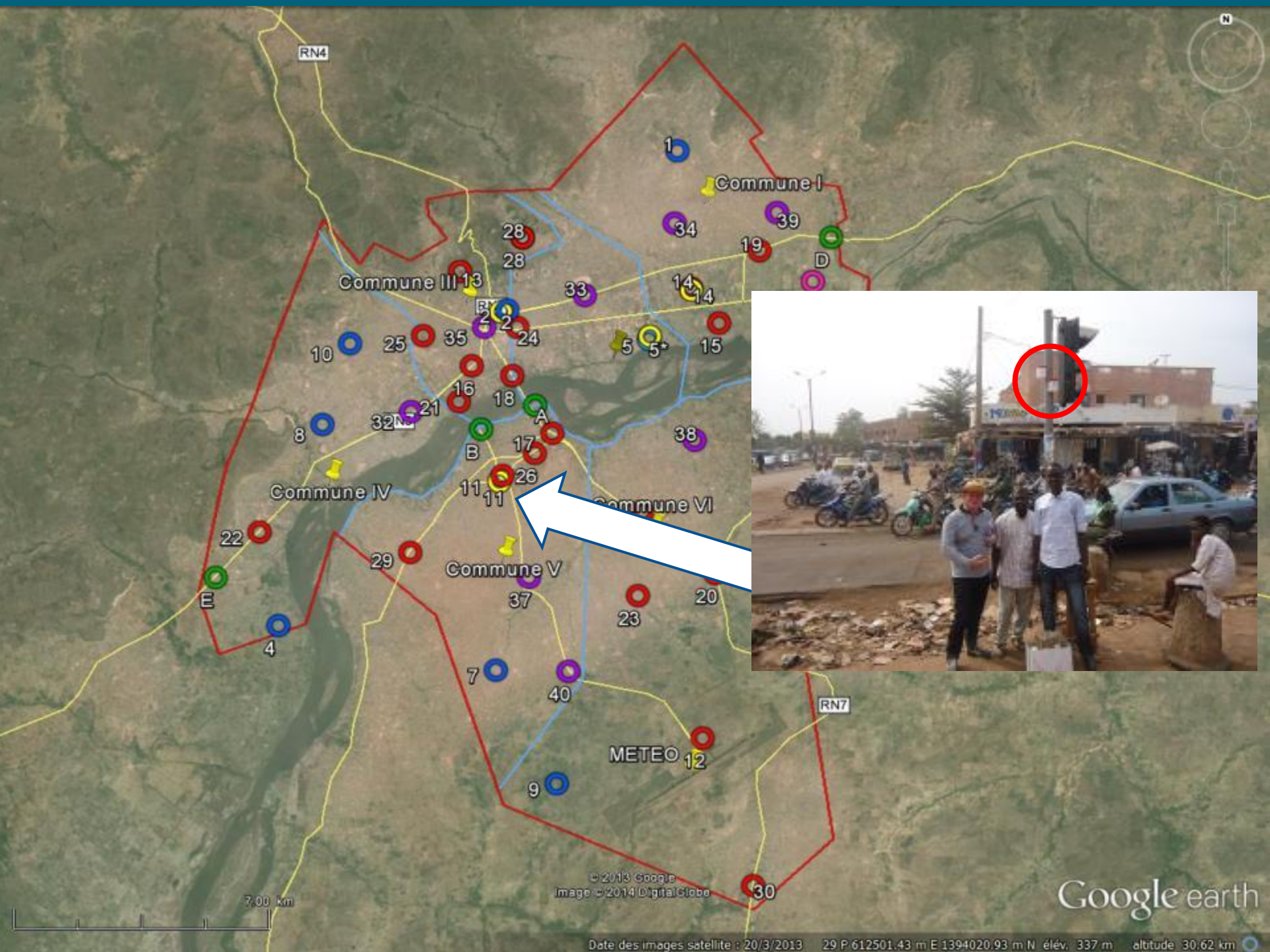
Sources : Bamako, présente étude, Autres : OMS

# Concentration en Oxyde d'azote $\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



- Valeur de proximité :  
jusqu'à  $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Valeur de fond :  
 $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$





© 2013 Google  
Image © 2014 DigitalGlobe

Google earth

Date des images satellite : 20/3/2013 29 P 612501.43 m E 1394020.93 m N élév. 337 m altitude 30.62 km



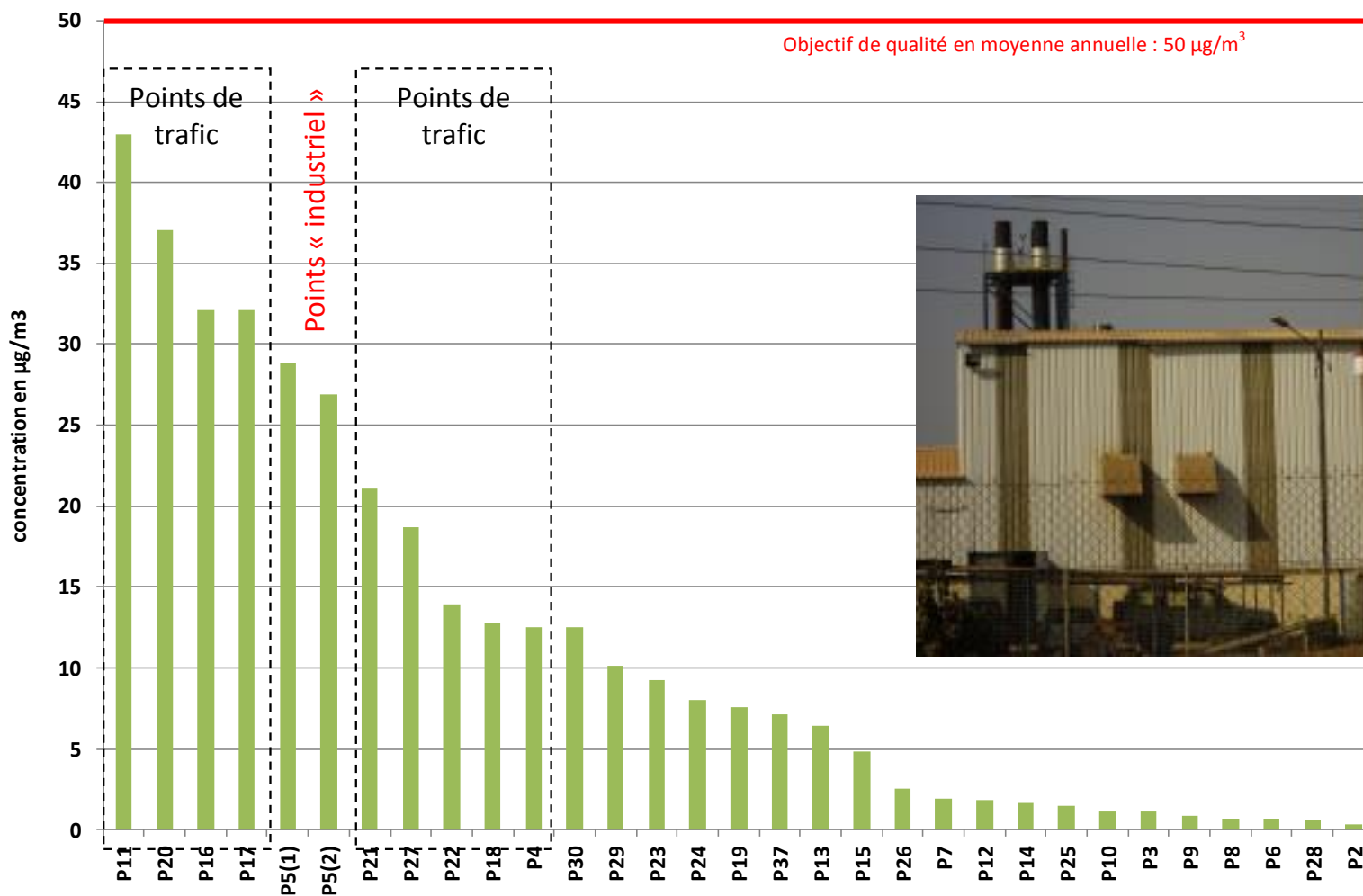
# Les concentrations mesurées en benzène ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



## Des concentrations très élevées :

- Valeur de fond de l'ordre de  $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Valeur de proximité jusqu'à  $91 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- Norme OMS annuelle de  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$

# Les concentrations mesurées en dioxyde de soufre $\text{SO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )





# Synthèse des campagnes de mesures

**Ces résultats confirment ceux des études antérieures**

- **La pollution par le benzène est très préoccupante.**
- **La concentration en PM est très forte.**
- **Le niveau moyen de NO<sub>2</sub> est élevé.**
- **La pollution O<sub>3</sub> n'est pas mise en évidence.**
- **La pollution au SO<sub>2</sub> pas trop forte.**
- **Le niveau moyen de CO<sub>2</sub> (effet de serre) est élevé.**



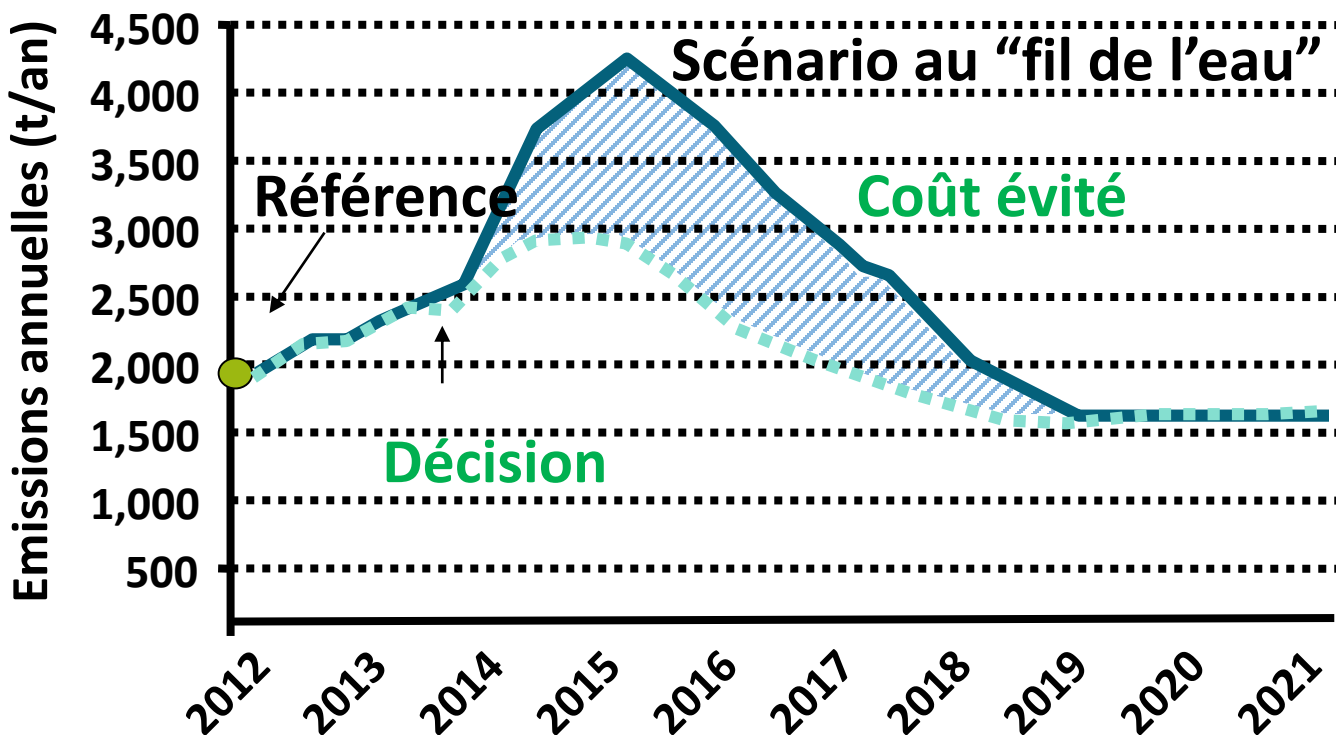
## Un outil informatisé didactique d'aide à la décision (SIM-Air)

- Initialement conçu et développé par la Banque Mondiale
- Appliqué dans de nombreuses villes

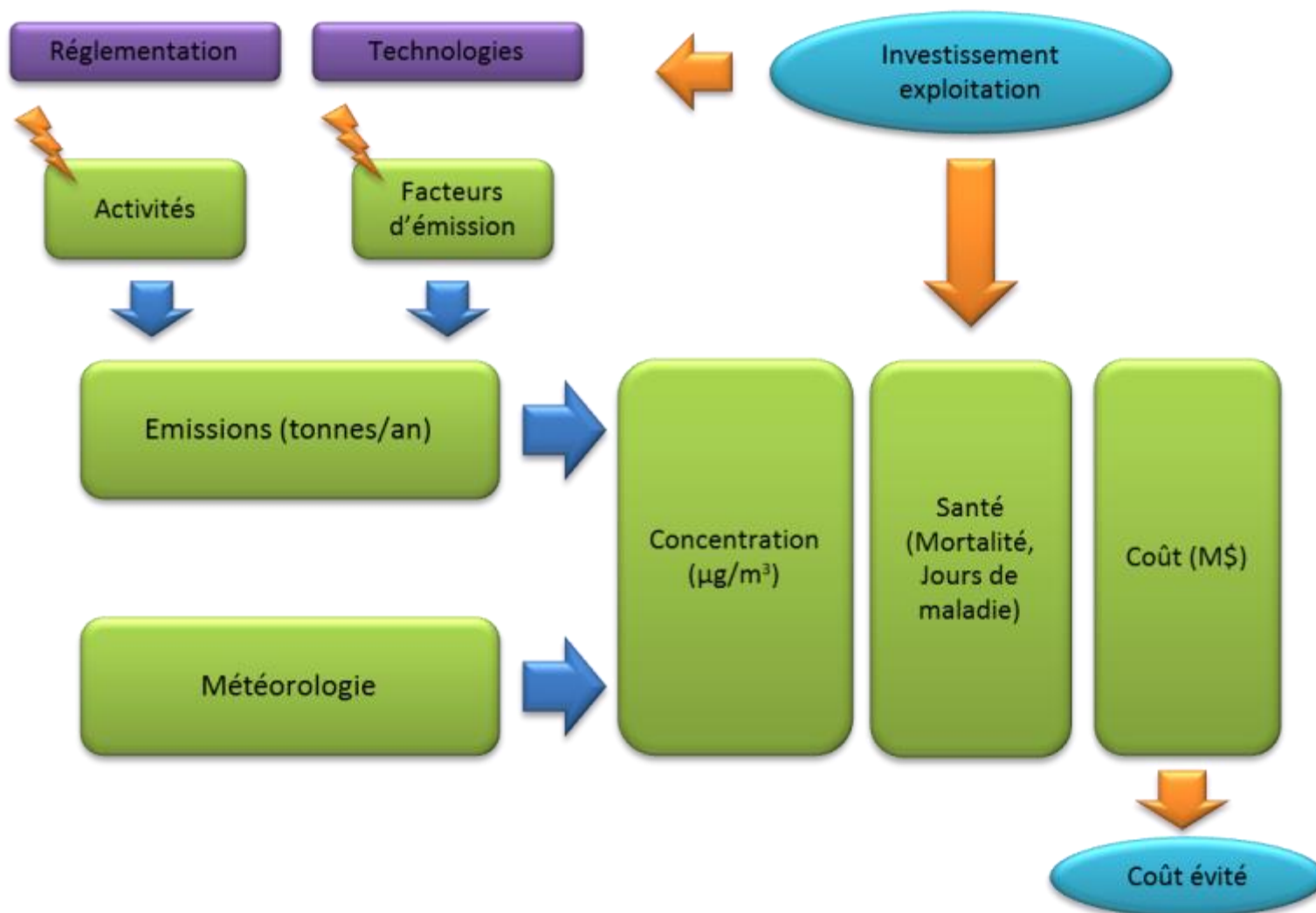


# Un outil informatisé didactique d'aide à la décision (SIM-Air)

Le modèle SIM-Air, sous tableur, permet de tester des options de gestion et d'estimer leur(s) impact(s) sur la qualité de l'air et la santé en évaluant les couts et les bénéfices .




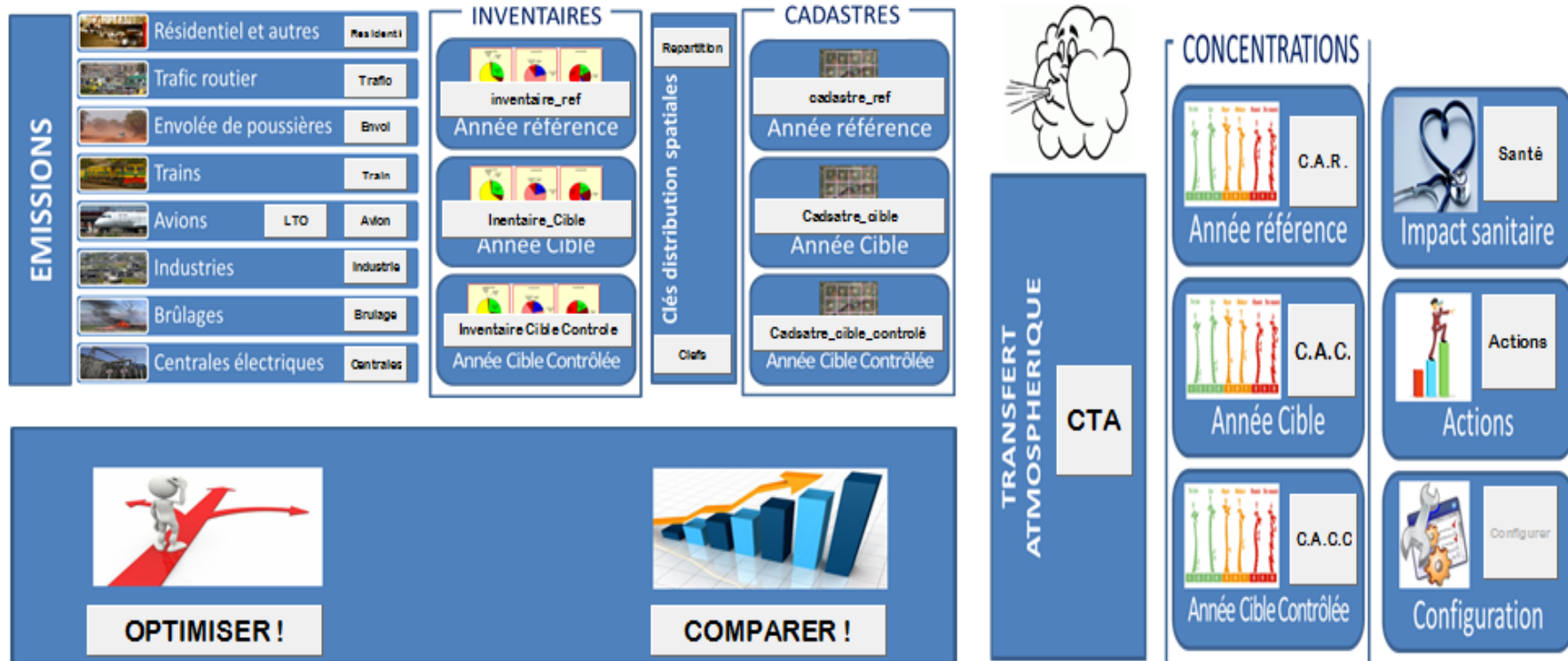
# Un outil informatisé didactique d'aide à la décision (SIM-Air)





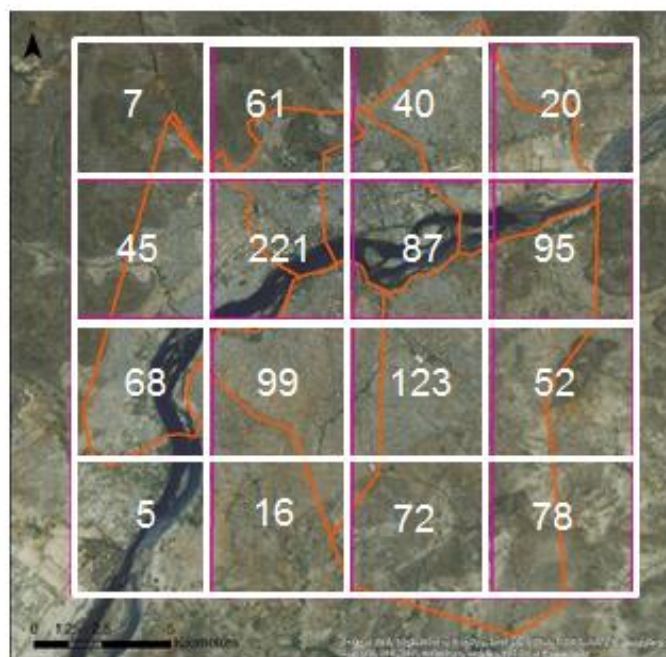
# Un outil informatisé didactique d'aide à la décision (SIM-Air)

	<b>SIM-Air</b>		Ministère de l'équipement et des transports
	Unité nationale de coordination du PST2_PRFTT		Version 3.2 © ARIA Technologies 2014



# Concentrations en équivalent PM10

Norme légale	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	Norme Européenne 2005
Excès vs norme	(33)	21	0	(20)	5	181	47	55	28	59	83	12	(35)	(24)	32	38	
	C11	C12	C13	C14	C21	C22	C23	C24	C31	C32	C33	C34	C41	C42	C43	C44	



Année de référence 2012  
Répartition des concentrations PM10 Totaux

(33)	21	0	(20)
5	181	47	55
28	59	83	12
(35)	(24)	32	38

Ecart à la norme

Maillage 5 km x 5 km

# Le cœur du système : la feuille 'Optimisation'



## OPTIMISER ANNEE CIBLE CONTROLEE

	2012	2025	Δ	2025	Δ ACC/ACC
<b>Emissions totales (tonnes/an)</b>	<b>AR</b>	<b>AC</b>		<b>ACC</b>	
PM10	21 561	26 786	24%	20 657	-30%
SO2	3 171	3 116	-2%	2 958	-5%
NOx	3 478	4 505	30%	2 674	-68%
CO2	2 786 151	4 172 743	50%	2 487 246	-68%

% Contribution (Emissions PM10)	Points	Points
Ménages	27,4%	42%
Brûlages	7,3%	6%
Industries	0,0%	0%
Fours à briques	0,0%	0%
Soulèvement de poussières	63,3%	51%
Centrales énergétiques	0,5%	0%
Transport	1,5%	1%

Concentration max en PM10	221	249	205
Concentration Moyenne en PM10	68	84	65
Evolution Conc. Moy. (%)		24%	-4,5%

Réduction de la mortalité	894	Personnes
Réduction troubles respiratoires	19 258	Milliers jours
Coûts de santé évités	739	MUS\$

Année Cible Contrôlée (tonnes/an)	PM10	SO2	NOx	CO2
Ménages	6 364	18	678	1762 042
Brûlages à l'air libre	1554	86	691	207 187
Industries	10	581	248	307 024
Fours à briques	-	-	-	-
Soulèvement de poussières	12 467	-	-	-
Centrales énergétiques	98	2 167	217	162 518
Transport	166	106	841	318 475
Total	20 657	2 958	2 674	2 487 246

Memo emissions min.

<b>Reduction</b>	<b>23%</b>	<b>2%</b>	<b>10%</b>	<b>40%</b>
Souhaits (tonnes/an)	20 657	3 066	4 047	2 487 246
Memo Réduction Max (%)	53%	15%	41%	40%
Cible (tonnes/an)	20 657	3 066	4 047	2 487 246

AR = Année de Référence

AC = Année Cible (fil de l'eau)

ACC = Année Cible Contrôlée

AR	Emissions PM10 primaire
PM10	87 1275 791 387
Ems ton/an	846 4 675 1458 1979
	1352 1922 2 524 1011
	5 185 1436 1630

AR	Conc. PM10 Totaux
PM10t	7 61 40 20
Conc µg/m3	45 221 87 95
	68 99 123 52
	5 16 72 78

AC	Emissions PM10 primaire
PM10	147 1487 1334 645
Ems ton/an	1134 5 255 2 006 2 331
	1699 2 608 2 998 1190
	8 314 1826 1806

AC	Conc. PM10 Totaux
PM10t	10 72 66 33
Conc µg/m3	60 249 113 112
	85 132 146 62
	6 23 91 87

ACC	Emissions PM10 primaire
PM10	92 1200 835 407
Ems ton/an	829 4 355 1449 1867
	1299 1889 2 386 953
	5 196 1385 1512

ACC	Conc. PM10 Totaux
PM10t	7 57 42 21
Conc µg/m3	44 205 86 89
	65 97 116 49
	5 16 69 73

C11	C12	C13	C14
C21	C22	C23	C24
C31	C32	C33	C34
C41	C42	C43	C44

C11	C12	C13	C14
C21	C22	C23	C24
C31	C32	C33	C34
C41	C42	C43	C44

Options	Indicateur	%	Inves (M\$)	Min	Max	Indicateur
Transport	Fluidité du trafic (vitesse du flux)	50	29,507	1	15	50
	Teneur en Soufre Essence	200	0,000	2	100	200
	Teneur en Soufre Gasoil	1 000	0,000	3	50	1 000
	Economie de carburant par la formation	15%	0,210	4	0%	15%
	Accroissement voies revêtues	24%	17,947	5	0%	260%
	Economies carburant par la sensibilisation	5%	1,030	6	0%	5%
		0%	0,000	7	0	100%
		0%	0,000	8	0	100%
		0%	0,000	9	0	100%
		0%	0,000	10	0	100%
Ménages / Artisanat	Meilleure efficacité culinaires (four amélioré)	100%	6,806	11	0	100%
		0%	0,000	12	0	100%
		0%	0,000	13	0	100%
		0%	0,000	14	0	100%
		0%	0,000	15	0	100%
		0%	0,000	16	0	100%
		0%	0,000	17	0	100%
		0%	0,000	18	0	100%
		0%	0,000	19	0	100%
	Réduction des brûlages individuels / Traitement	40%	1,220			
Total			56,719			
Budget		80	Bénéfice-coût	682,51	M US\$	

% Ménages équipés

Points de réduction

OPTIMISER LES EMISSIONS

OPTIMISER LES COÛTS

RESET OPTIONS



# Actions

## Actions proposées

- **Actions d'ordre institutionnel :**
  - **Comité interministériel**
  - **Législation et normalisation**
- **Actions de sensibilisation**
- **Actions d'ordre technique**
- **Actions d'accompagnement**



## Conclusion

**Une approche globale pour évaluer la qualité de l'air à Bamako :**

- Mesures sur site
- Inventaire de référence
- Evaluation coût/bénéfice SIM-Air

**Confirme l'importance de trois sources majeures de pollution atmosphérique en PARTICULES, NO<sub>2</sub> et BENZÈNE :**

- Le trafic automobile, que ce soit en raison des émissions des moteurs ou du soulèvement des poussières de rue
- La cuisson des aliments au bois et au charbon de bois
- Les brûlages non contrôlés des déchets