



Pollution extérieure, pathologies respiratoires et pratique sportive.

Valérie Bougault
Enseignant-Chercheur à l'Université Droit et Santé de Lille 2
E.A. 4488 « Activité Physique, Muscle, Santé »

1

Effet dose - réponse

$$\text{Dose (ppm.L}^{-1}\text{)} = \text{Concentration (ppm)} \times \text{Durée (min)} \times \text{Ventilation (L.min}^{-1}\text{)}$$

Adams 2007

Particle factors

- Size
- Composition
- Mass
- Shape
- Electrical charge

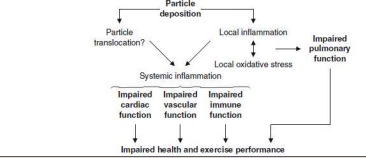
Environmental factors

- Structural barriers
- Ventilation
- Wind
- Temperature
- Ozone and other gases

Human factors

- Ventilation rate
- Duration of exposure
- Airway size
- Airway function
- Existing pathology

Particle deposition



Rundell 2012

$$\text{Dose (ppm.L}^{-1}\text{)} = \text{Concentration (ppm)} \times \text{Durée (min)} \times \text{Ventilation (L.min}^{-1}\text{)}$$

Ozone

- Quand ↑ de la dose, + grande ↓ valeurs spirométriques
- La **concentration** en O₃ reste le **déterminant primaire** de la toxicité
- La **ventilation** est un paramètre + important que la durée
 - Respiration buccale vs nasale
- Exercice **intermittent** vs **continu** :???
 - ✓ 2h exercice intermittent à 0,30ppm
 - ✓ Exercice continu respiration buccale seulement
 - ✓ Exercice continu avec respiration nasale et orale
 - même résultats = mais pour autres gaz??

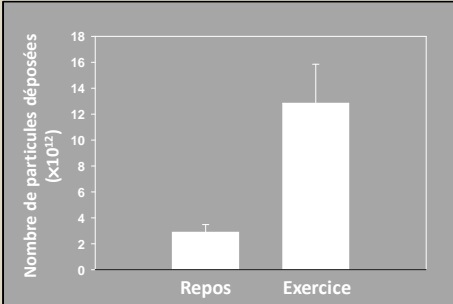
Adams 2003

Nombre de particules déposées dans les voies aériennes inférieures à l'effort

4

Nombre total de particules déposées après 1h de repos et d'effort

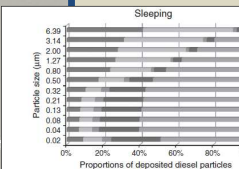
(ventilation = 38 ± 10 L.min⁻¹, 25 ug/m³ PM ultrafines de carbone noir)



Daigle CC et al. 2003

Quantité de particules inhalées selon l'activité

Sleeping



Heavy exercise

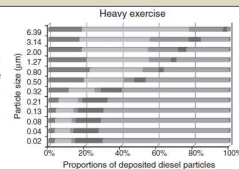


Fig. 4. Proportions of diesel particles deposited in the five regions of the respiratory tract of a 10-year-old child during sleep and heavy exercise (according particle size (µm)). ET1 = anterior nose, ET2 = main extrathoracic region, BB = broncholar region, bb = broncholar region, and AI = alveolar interstitial region.

6 Oravisjarvi 2011

Quantité de particules inhalées Vélo ou auto? Paris (2010)

SHAPES (Belgique) : 55 sujets sains non fumeurs: voyage en auto puis en vélo

	# of Test persons	Breathing frequency (breaths min ⁻¹)	Tidal volume per breath (L)	Minute ventilation (VE) (L min ⁻¹)	Heart rate (beats min ⁻¹)	Total inhaled volume during trip (L)
Bike	Male N = 21	27.9 (4.2)	2.2 (0.4)	59.1 (13.7)	129.6 (13.8)	938.8 (182.3)
	Female N = 10	32.7 (7.0)	1.4 (0.3)	46.2 (10.6)	140.0 (13.6)	891.4 (98.2)
Car	Male N = 8	18.3 (3.0)	0.8 (0.2)	13.4 (1.7)	71.9 (8.7)	176.8 (55.8)
	Female N = 1	21.3 (4.8)	0.6 (0.1)	11.8 (2.8)	74.8 (9.0)	153.4 (67.7)
Bike/car ratio	Male N = 9	1.6 (0.3)	2.8 (0.6)	4.5 (1.1)	1.8 (0.2)	5.8 (2.3)
	Female N = 6	1.6 (0.2)	2.6 (0.4)	4.1 (0.6)	1.9 (0.3)	5.9 (2.0)

Route	# of Test persons	Mean age, years (SD)	Total cycling time, min	Total driving time, min
Bxl	Male N = 21	42.9 (9.4)	15.4 (1.3)	16.9 (2.5)
	Female N = 10	40.9 (11.1)	17.6 (1.9)	16.2 (3.6)
LLN	Male N = 8	41.5 (11.0)	16.3 (1.2)	10.6 (0.3)
	Female N = 1	29.0 (.)	14.7 (.)	10.8 (.)
Mol	Male N = 9	44.7 (8.1)	18.8 (2.8)	9.5 (1.0)
	Female N = 6	49.8 (3.2)	21.1 (2.0)	10.2 (1.24)

* Distance based average speed while cyc

Vélo ou auto?

SHAPES (Belgique) : 55 sujets sains non fumeurs: voyage en auto puis en vélo Paris (2010)

	PNC (SD) #inhalated per meter	PNC dose per meter	µg PM10 (SD) inhaled km ⁻¹	µg PM10 dose km ⁻¹	µg PM2.5 (SD) inhaled km ⁻¹	µg PM2.5 dose km ⁻¹	
Brussels	Bike	5,588,195 (1,934,800)	4,631,562*	11.9 (4.5)	2.6	3.4 (1.3)	0.8
	Car	1,335,467 (83,965)	841,344* 965,696*	1.6 (0.6)	0.4	0.6 (0.2)	0.1
Bike/car ratio	Bike	4.20 (2.07)		7.3 (3.0)		5.9 (2.1)	
	Car	305,695 (83,965)		8.4 (1.0)		3.8 (0.8)	0.9
LLN	Bike	2,023,702 (594,881)	1,679,673*	0.9 (0.1)	1.9	0.5 (0.1)	0.1
	Car	428,116 (28)	192,210* 214,045*	9.9 (1.0)		8.0 (0.8)	
Mol	Bike	1,135,046 (435,493)	942,088*	8.5 (0.2)	1.9	5.2 (0.2)	1.2
	Car	716,768 (75,932)	136,564* 135,956*	1.2 (0.2)	0.3	0.7 (0.1)	0.1
Bike/car ratio	Bike	6.05 (1.46)		6.6 (0.3)		7.4 (0.6)	

* Avg DF: 0.83, Daigle et al. 2003.
* Avg DF: 0.83, Daigle et al. 2003.
* Variable DF, Chalupa et al. 2004.

PNC : Particle number concentrations

Conséquences de la combinaison exercice + pollution sur les voies aériennes

Relation dose / changement de la fonction pulmonaire

Fig. 1. Comparison of group mean percent change in forced expiratory volume, 1 sec (FEV_{1.0}) as a function of ozone effective dose (ppm · L) in 30- to 80-minute continuous exercise protocols (---) [Adams et al. 1981] to that observed in 2-hour intermittent exercise protocols (—) [Folinsbee et al. 1978a]. The open squares represent responses for each 30- to 80-minute continuous protocol. Note that the 2 squares deviating most above the dashed line are for exposures to 0.20 ppm ozone, while the 2 deviating most below the line are for 0.40 ppm ozone exposures.

Adams

Faire de l'exercice dans un milieu urbain

Les populations les plus affectées :

- **Athlètes**
 - Entraînement en extérieur
 - Heures d'entraînement = pic de pollution
- **Personnes avec un mode de transport urbain**
 - Vélo, marche, course proche des routes
 - Heures d'exposition = pic de pollution

Problème de santé

Impact à long terme??
= Le risque surpasse-t-il celui des bienfaits?

60 sujets asthmatiques 2h de marche à allure constante (6km/h) de 10h30 à 12h30 15min de récupération toutes les 30 min

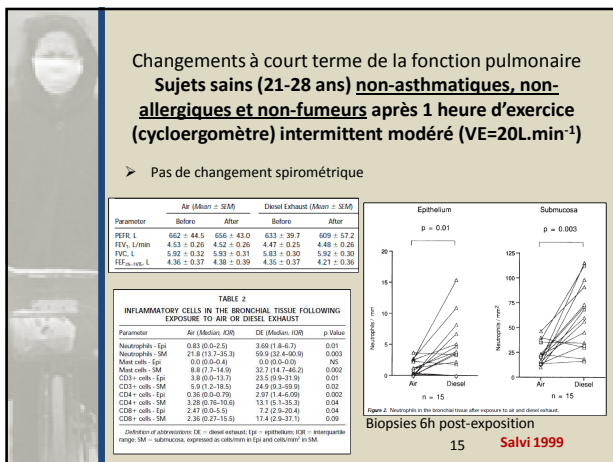
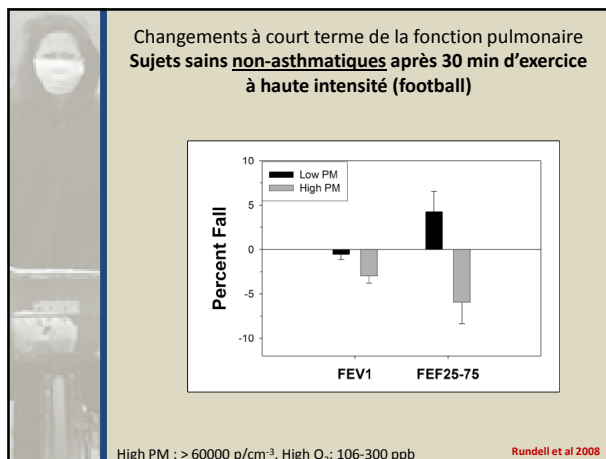
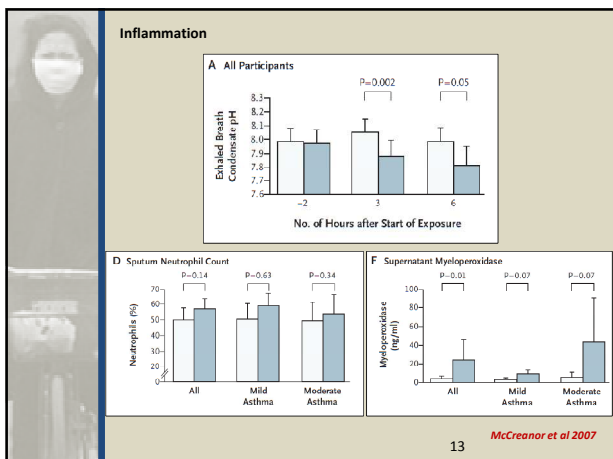
Asthmatiques modérés

↓ VEMS après 2h :
•6% Oxford
•2% Hyde park

B

↓ CVF après 2h :
•5% Oxford
•2% Hyde park

McCreanor et al 2007



Effets des différents polluants sur les voies aériennes inférieures

16

❖ PM

- ✓ Pas de données pour les ventilations > 100 L.min⁻¹
- ✓ ↓ défenses anti-oxydantes et production NO
- ✓ Exposition à des **grosses particules** : pas de changement de la fonction pulmonaire
- ✓ Exposition à des **petites particules** : ↓ VEMS, CVF, DEM

Graff (2009) :

2 heures d'exercice intermittent (15/15) à une ventilation de 15 L.min⁻¹ en laboratoire (PM_{2.5})

- Pas de changement de la fonction pulmonaire ni du DLCO
- ↑ neutrophiles dans le LBA 20h post-exercice

17

❖ Ozone (O₃)

- Relation inverse niveau d'ozone et temps de course chez coureurs (**Wayne 1967**)
- ↑ **FR** (diminution CI et FVC) et ↓ **VT** (**Follinsbee 1975**)
- Pas d'augmentation de l'HRB à intensité faible et O₃ faible
- ↑ **symptômes respiratoires**

24 sujets sains exposés 2h avec exercice intermittent modéré à intense :

	Air filtré	0.18 ppm	0.40 ppm
↓ VEMS	-1% [(-6);2]	-6% [(-23);0]	-18% [(-48);(-2)]

Données exprimées en moyenne [range]. Selon les études de Horvath 1981; McDonnell 1983

18

Hypothèse :

$O_3 \Rightarrow \downarrow CVF + (\uparrow FR + \downarrow VT \text{ à l'effort}) \Rightarrow \uparrow VD \text{ et } \downarrow VA$

$\Rightarrow \downarrow \dot{V}A/Q \text{ et de } SaO_2$

Effet de l' O_3 sur la SaO_2 :

Holub (1979) : $\downarrow SaO_2$ de 3.7% chez 4 sujets sains lors d'un exercice léger avec **0.40 ppm O_3**

Linn (1979) : pas de \neq après 2h d'exercice intermittent léger avec **0.20 ppm O_3**

Adams (1983) : pas d' \uparrow significative VD ou VA après 1h d'exercice continu avec 0.20 à 0.35 ppm O_3 chez des sportifs d'endurance

19

❖ Adaptation à l'Ozone?

✓ Jeunes entraînés en endurance et/ou sains
 ✓ 4 à 5 jours consécutifs d'exposition de 0.35 à 0.40 ppm ou air filtré
 ✓ Tous les jours (Foxcroft 1986) : 50 min exercice continu à VE= 60 L.min⁻¹

(Foxcroft 1986, Kulle 1982)

▪ \downarrow VEMS, CVF et PC₂₀ après 2-3 jours

Exposition à 4 jours :

▪ Même VO₂ max et temps d'exercice
 ▪ \downarrow perception des symptômes
 ▪ Après 7 jours de non-exposition, retour de VEMS et CVF à leur niveau initial mais pas PC₂₀

20

Ré-exposition :

2h exposition à 0,45 ppm + exercice léger et intermittent et ré-exposition à 48 heures

(Bedi 1985)

✓ \downarrow plus importante VEMS (13% et 23%)

Effets des différents polluants sur les voies aériennes

❖ CO

○ \uparrow aigue de HbCO
 = de 1,7% à 5% après 30 min d'exercice proche d'une grande route (Nicholson 1995, Gong 1995)
 = de 7% après une heure de course proche d'une route importante (Petersen 1975)

Impact :

- \downarrow Disponibilité de l'HbO₂
- \downarrow QC max et DavO₂ max et VO₂ max (de même quantité que l' \uparrow HbCO)
- \uparrow pressions sanguines et FC
- \uparrow Ventilation

Peterson 1975, Raven 1974, Ekblom 1972

22

❖ SO₂

○ A l'exercice chez l'asthmatique : bronchoconstriction et \uparrow des résistances v.a. (Kirkpatrick 1982, Linn 1983, Sheppard 1981)

○ \uparrow de 3 à 22 fois changements de fonction pulmonaire après exercice léger intermittent à 1.0 ppm de SO₂ chez des enfants asthmatiques (Koenig 1981)

23

❖ Combinaisons

O₃ et SO₂

Exposition 2h exercice léger intermittent à 0.30 ppm O₃ + 0.37 ppm SO₂ seul ou en combinaison (Hazucho 1975)

▪ Effets multipliés par 2 sur la fonction pulmonaire (pas d'effet SO₂ seul observé)

○ Pas d'effet additionnel ou tendance après 2h exercice intermittent léger (Bedi (1979,1982), Bell (1977), Folinsbee (1985))

○ Pas d'effet combiné CO et O₃

O₃ et CO

24

Jeunes hommes
2h exercice intermittent léger

O₃ et NO₂

- Exposition : 0.15 ppm O₃ + 0.15 ppm NO₂
✓ ↑ des résistances des v.a. quand combinaison
- Exposition : 0.20 ppm O₃ + 0.30 ppm NO₂
✓ Pas de différence de diminution de VEMS et CVF quand combinaison (Hackney 1975)

40 sportifs d'endurance jeunes
1h exercice continu à 62% VO₂max (VE = 70 L/min gars et 50 L.min⁻¹ filles)

- Exposition : 0.30 ppm O₃ + 0.60 ppm NO₂ (pic de pollution)
✓ Pas d'effet combiné sur VEMS, SRAW, VE et symptômes.
Pas de différences hommes/femmes (Adams 1987)

Rôle additionnel de la température

Rundell 2006

26

Effets sur la PAP

16 sportifs (université, 21 ± 1 ans)

4 essais :

- 2 jours consécutifs R1 et R2.
- 7 jours de repos entre « low » et « high » exposition
- 20 min exercice sous-maximal puis 6 min max

Rundell 2012

27

Effets sur la performance

- Pour chaque ↑ de 10ug/m³ de PM₁₀, ↓ 1,4% de la performance au marathon des filles (Marr 2010)
- Diminution du travail total (kJ) (-2.87 ± 4.51%)

Cutruffello, 2011 (revue)

- Abandon de l'effort dans 30 à 50% des cas (Adams 2007)

Effets sur la performance de la répétition d'exposition

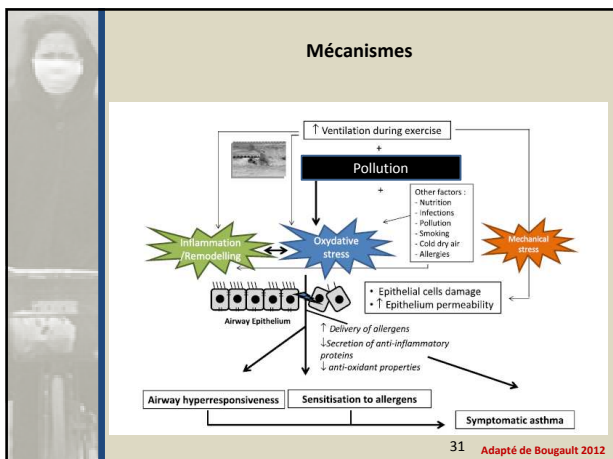
Figure 2. Work accumulated during both low PM, exercise bouts, and the first high PM, exercise bout was higher than work accumulated during the second high PM, exercise bout, but not different from each other (P=0.004, 0.003, 0.0008 for LPM1, LPM 2 and HPM3, respectively).

Rundell 2012

4 efforts de 6 minutes (2 faibles PM séparés de 3 jours puis 7 jours après, 2 « high » PM séparés de 3 jours)

Mécanismes combinés pollution + exercice

30



Quelle intervention ?

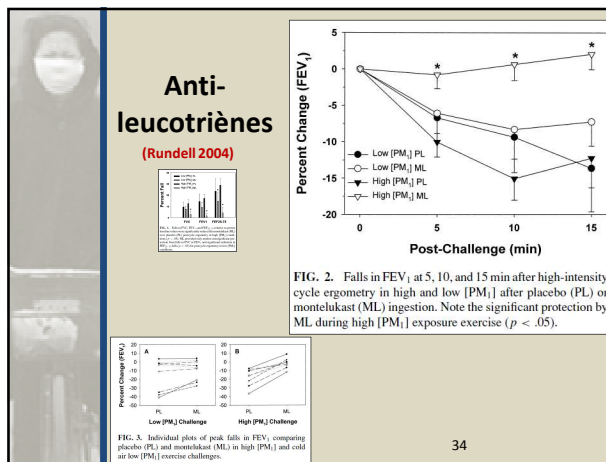
32

Effet des anti-leucotriènes

Rundell (2005) : 10 mg par ingestion vs placebo

- ✓ 9 hommes (19±1 ans) joueurs de Hockey sur glace (collège) avec BIE symptomatique
- ✓ Tests de 6 minutes sur cycloergomètre en air froid (50% humidité):
 - **High PM₁** (Anneau de glace)
 - $PM_1 = 348,6 \times 10^3 \text{ p.cm}^{-3}$, $CO = 6,2 \pm 5,3 \text{ ppm}$, $NO_2 < 0,1 \text{ ppm}$
 - **Low PM₁**
 - $PM_1 = 2,58 \times 10^3 \text{ p.cm}^{-3}$, CO et NO_2 non mesurables
- ✓ Mesure spirométrique avant et après (5, 10 et 15 min)

33



Supplémentation en anti-oxydants

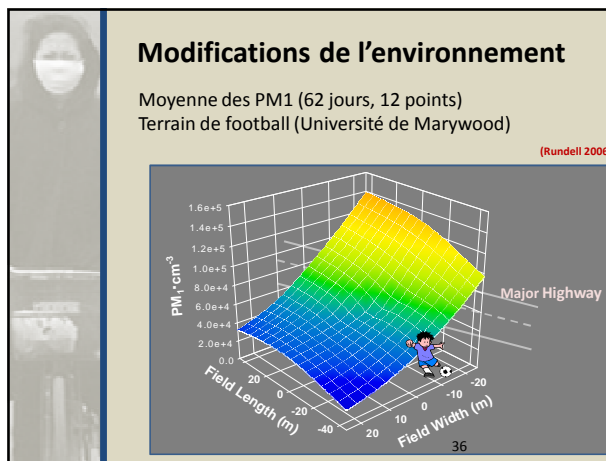
- Vitamine C (500 à 650 mg) + Vitamine E (75 à 100 mg) pendant 15 semaines
 - **Protection** contre ↓ VEMS, DEP et CVF post-exercice chez 38 cyclistes amateurs liée à O₃

Grievink (1998, 1999)

Nutrition ?:

- Huiles de poisson, resveratrol = anti-inflammatoires et anti-oxydants
- Arginine, citrulline, jus de betterave = ↑ disponibilité du NO

35



Modifications de l'environnement

Rundell 2006

A 80m d'une autoroute à 4 voies : ↓ 3 fois du nombre particules comparé à 30m

37

Modifications de l'environnement

MacNabola 2009

Fig. 1 - Street canyon base model layout (units in metres).

Modifications de l'environnement

Rundell 2012

Quel véhicule ?

- Le **métro** peut *5 l' exposition aux PM comparé à l'auto
- Le **bus** ↑ l'inhalation de PM comparé à l'auto
- ↑ = ↓ de l'inhalation de PM chez les **cyclistes**
 - Mais à cause ventilation, augmentation considérable de l'exposition
- Distance source PM : Ecoles et collèges ont souvent des installations sportives proches route
- Masque** : (Langrish 2009) : ↓ PM pendant 2h de marche et prévient ↓ HRV et ↑ PAS
 - Mais augmente les résistances et augmente la perception d'effort à haute intensité

Indices de qualité de l'air

Health risk	Air Quality Health Index	Health messages
Low	1-3	At-risk population* Enjoy your usual outdoor activities.
Moderate	4-6	At-risk population* Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you are experiencing symptoms.
High	7-10	At-risk population* Reduce or reschedule strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also take it easy.
Very high	Above 10	At-risk population* Avoid strenuous activities outdoors. Children and the elderly should also avoid outdoor physical exertion.

General population

- Ideal air quality for outdoor activities
- No need to modify your usual outdoor activities unless you experience symptoms such as coughing and throat irritation.
- Consider reducing or rescheduling strenuous activities outdoors if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.
- Reduce or reschedule strenuous activities outdoors, especially if you experience symptoms such as coughing and throat irritation.

Février 2012

40

Gaz naturel ou diesel?

Oravisjarvi 2011

Fig. 3. The absolute number of diesel (A) and CNG (B) particles deposited into the respiratory system at different levels of exercise.

Location	Diesel (%)	CNG (%)
Nasal cavity	1.8	2.6
ET	4.7	6.7
Main bronchi	1.1	1.5
Bronchi	7.6	11.0
Bronchioles	36.1	51.0

Merci de votre attention

Juillet 2012

41