

Définition de la pollution atmosphérique

On peut définir la pollution atmosphérique comme l'ensemble des substances, de natures diverses (chimique, biologique) et d'origines diverses (naturelle ou liée aux activités humaines), qui sont véhiculées par l'air extérieur et qui sont susceptibles d'avoir des effets néfastes sur la santé humaine, les écosystèmes, voire les infrastructures

« Il y a pollution atmosphérique lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible compte tenu des connaissances scientifiques du moment ou de créer une nuisance ou une gêne ». Conseil de l'Europe 1967

Les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont reconnus depuis l'épisode tragique du **smog londonien** de décembre 1952 où plus de quatre mille décès supplémentaires ont été associés à l'augmentation excessive, pendant cinq jours, de deux polluants atmosphériques majeurs, le SO₂ (dioxyde de soufre) et les fumées noires. Depuis, de nombreuses études épidémiologiques ont corrélié les niveaux de certains polluants, à l'extérieur, à l'aggravation de pathologies respiratoires telles que l'asthme et la broncho-pneumopathie chronique obstructive .

- Parmi ces polluants, deux ont été tout particulièrement étudiés:
 - **l'ozone**, du fait des fréquents épisodes de pollution photo-oxydante pendant l'été,
 - **les particules** fines (particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur à $2,5\mu\text{m}$) et ultrafines (diamètre aérodynamique inférieur à $0,1\mu\text{m}$), associées essentiellement au trafic automobile.

Les polluants atmosphériques sont un ensemble de matières provenant des activités humaines et naturelles.

Ce mélange moléculaire se compose (à concentrations fluctuantes) d'ozone, de particules en suspension (poussières, pollens. . .), de monoxyde de carbone, du dioxyde de soufre, de dioxyde d'azote et de sulfure d'hydrogène. D'autres molécules sont recensées dont les métaux lourds (plomb, mercure. . .) et les hydrocarbures (benzène, formaldéhyde, trichloréthylène. . .)

Ce « smog » est constitué principalement d'ozone et de particules en suspension l'été, et de dioxyde de soufre et de particules en suspension l'hiver .

Les principaux polluants atmosphériques

Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution principalement industrielle et automobile:
oxydes de carbone, oxydes de soufre, oxydes d'azote, hydrocarbures, composés organiques volatils, particules.

Les polluants secondaires: Ces polluants primaires peuvent se transformer en polluants dits secondaires tels que l'ozone et autres polluants photochimiques (nitrates de peroxyacétyl, aldéhydes, cétones, etc.), ou encore les aérosols acides (H_2SO_4 , HNO_3 , etc.).

Des particules secondaires sont formées à partir de la transformation physicochimique de gaz, comme par exemple des particules de nitrates et de sulfates formées respectivement d'acide nitrique gazeux ou de SO_2 gazeux.

D'autres particules subissent des transformations après leur émission : par exemple, les particules les plus petites peuvent s'agréger spontanément et donner naissance à des particules de plus grande taille et plus stables ; des composés métalliques insolubles peuvent être solubilisés par des acides.

La formation de polluants secondaires nécessite un certain temps durant lequel les masses d'air qui les contiennent se déplacent sous l'effet des vents. Cela explique que les pics de concentration des polluants secondaires sont souvent rencontrés géographiquement à distance des zones d'émission (et de pics de concentration) des polluants primaires.

Principaux polluants

Dioxyde de soufre (SO₂)

Le SO₂ est un polluant primaire majeur et un substrat pour la synthèse dans l'atmosphère d'acide sulfurique et de sels de sulfate. Les émissions de SO₂ proviennent des activités industrielles et de chauffage.

Particules (PM)

La pollution particulaire est constituée d'un mélange de particules solides, liquides ou mixtes, qui varient continuellement en taille et en composition chimique.

En pratique, on distingue les particules « inhalables » ou PM₁₀, dont la taille inférieure à 10 µm permet leur entrée dans le système respiratoire les particules fines ou PM_{2,5} peuvent pénétrer dans les régions distales du poumon, siège des échanges gazeux ; les particules ultrafines ou nanoparticules, dont la taille est inférieure à 0,1 µm, sont les plus nombreuses en nombre et offrent une large surface totale propice aux interactions physicochimiques et pouvant de ce fait favoriser la toxicité biologique. En outre, elles pourraient traverser la barrière alvéolaire et se disséminer dans l'organisme

En pratique, on distingue :

- Les particules « inhalables » ou PM10, dont la taille inférieure à 10 μm permet leur entrée dans le système respiratoire .
- les particules fines ou PM2,5 peuvent pénétrer dans les régions distales du poumon, siège des échanges gazeux ;
- les particules ultrafines ou nanoparticules, dont la taille est inférieure à 0,1 μm , sont les plus nombreuses en nombre et offrent une large surface totale propice aux interactions physicochimiques et pouvant de ce fait favoriser la toxicité biologique. En outre, elles pourraient traverser la barrière alvéolaire et se disséminer dans l'organisme

Il existe de multiples sources d'émission des particules, d'origine naturelle et d'origine humaine :

- émissions volcaniques,
- aérosols d'eau de mer, poussières déposées sur le sol et mises en suspension dans l'air par exemple par les vents, feux de forêts, pollens, transports routiers, chauffage domestique, incinération des déchets, fragments de pneus, combustions industrielles, métallurgie, agriculture,
- activités de construction et de démolition de bâtiments, combustion de déchets de l'agriculture, etc.

Les particules sont donc extrêmement variables en taille et en composition chimique :

Le principal secteur d'émission des PM10 est le transport routier suivi de près par l'industrie.

Les PM2,5 proviennent principalement de la combustion de charbon et de dérivés du pétrole .

« PM supérieures à 10 » : correspondent aux particules en suspension non respirables, dont les lieux de dépôt sont les voies aériennes supérieures.

« PM 10 » : correspondent aux particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à $10\mu\text{m}$, ce qui constitue le seuil permettant à ces molécules de s'introduire dans les voies aériennes inférieures.

Cette catégorie inclut les « coarse particles » et les particules fines ;

« particules fines » : elles proviennent du processus de combustion primaire (moteurs à essence ou diesel, combustion de bois, charbon, industrie du ciment, aciéries, usines de papier...) ainsi que des produits de transformation comme le sulfure d'hydrogène. Ces particules fines correspondent à des particules de moins de $2,5\mu\text{m}$ (PM 2,5). Par rapport aux PM $10\mu\text{m}$, les PM $2,5\mu\text{m}$ se déposent plus loin dans l'arbre respiratoire, restent en suspension plus longtemps dans l'atmosphère, peuvent parcourir de plus longues distances et pénètrent plus facilement à l'intérieur des habitations .

- Les « coarse particles » sont des particules de diamètre intermédiaire ; elles proviennent de la suspension de poussière, de cristaux (mines, fermes, routes, éruptions volcaniques...) dans l'atmosphère.

Elles comportent aussi les pollens, les sels de mer, les spores et correspondent à des particules de plus de $2,5\mu\text{m}$ et de moins de $10\mu\text{m}$.

Sachant qu'avec les appareils de mesure actuels, il est possible de mesurer le taux de PM 2,5 et de PM 10, il suffit de réaliser une simple soustraction pour obtenir le taux de « coarse particles » ;

« particules ultrafines » : sont définies par un diamètre inférieur à $0,1\mu\text{m}$ (PM 0,1).

Ces particules sont produites en environnement industriel ou urbain, principalement par combustion (gaz d'échappement de véhicules motorisés, réactions atmosphériques photochimiques) .

Elles ont une durée de vie limitée à quelques heures et s'agrègent rapidement afin de former des complexes de taille plus importante mais restent néanmoins par la suite dans le groupe des PM $2,5\mu\text{m}$ en général .

Elles composent environ 50 % de la masse des particules présentes dans l'atmosphère.

Ces particules ultrafines auraient un grand potentiel de translocation poumon/sang, ainsi qu'une diffusion multi systémique.

Oxydes d'azote (NOx)

Les oxydes d'azote, désignés sous le sigle générique de NOx, sont des substances réactives qui incluent principalement, mais pas uniquement, le NO et le NO₂ : on y trouve également NO₃, N₂O₄, N₂O₅...

Les émissions d'oxydes d'azote résultent de combustions à haute température de combustibles fossiles (charbons, fuel, pétrole...).

Les principales sources humaines d' NOx sont la combustion dans les moteurs des véhicules automobiles:

(les moteurs diesel en rejettent deux fois plus que les moteurs à essence catalysés) et les usines génératrices d'énergie.

Ozone O₃:

L'ozone est un polluant secondaire dont la synthèse résulte de la transformation chimique de l'oxygène au contact d'oxydes d'azote (notamment le NO₂) et d'hydrocarbures, en présence du rayonnement ultraviolet solaire et d'une température élevée. Les oxydes d'azote et les hydrocarbures proviennent des véhicules à moteur et de sources industrielles. La formation photochimique de l'ozone est donc plus importante lors des journées chaudes et ensoleillées.

- Dans la haute atmosphère, l'ozone protège les organismes vivants en absorbant une partie des ultraviolets.
- Dans la troposphère, il existe une production naturelle d'ozone, notamment par les végétaux, mais la majeure partie provient des activités humaines.

Définitions

Effets à court terme

Il s'agit d'étudier la relation à court terme entre la pollution atmosphérique et un indicateur sanitaire :

mortalité journalière, admissions hospitalières, fréquence des consultations auprès du médecin traitant, appel à un service d'urgence, consommation médicamenteuse.

Effets à long terme

Il s'agit d'étudier la relation à long terme entre les effets cumulatifs des expositions à la pollution atmosphérique tout au long de la vie, et des manifestations cliniques tardives.

Indicateurs sanitaires : pathologies respiratoires étudiées

l'asthme, la broncho-pneumopathie chronique obstructive.

Mécanismes physiopathologiques

1- le stress oxydatif

2-le remodelage des voies aériennes

3-les mécanismes inflammatoires et immunologiques

4-la sensibilisation vis-à-vis des allergènes

- Le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre oxydants et antioxydants
- la production de radicaux libres responsables d'altérations de la structure et des fonctions cellulaires : diminution de l'activité enzymatique, lésions cellulaires, mutation au niveau de l'ADN et modification des récepteurs, oxydation des lipoprotéines circulantes.
- aggravé par certaines carences nutritionnelles ou lors de l'exercice physique, par le tabagisme, l'exposition aux radiations ionisantes et ultraviolets.
- Le stress oxydatif peut également être la cause initiale de la pathologie (cancer, BPCO, asthme) ou provoquer l'aggravation d'une maladie déjà existante. La pollution en modifiant les gènes capables de produire des antioxydants en réponse aux agents oxydants contenus dans la pollution atmosphérique va provoquer des lésions inflammatoires de l'épithélium bronchique qui vont favoriser l'apparition de l'asthme ou son aggravation

- Les phénomènes épigénétiques:

ces phénomènes vont modifier les gènes qui régulent les réponses immunologiques de l'inflammation allergénique. Au contact de la pollution atmosphérique, les gènes responsables de la fonction régulatrice des lymphocytes T-régulateurs seront inhibés, favorisant ainsi une augmentation de la réponse inflammation allergénique.

De plus, l'inhalation d'allergènes tels que les pollens associés à des particules diesel ou des gaz comme l'ozone, le NO₂ ou le SO₂ pourraient favoriser la pénétration des allergènes au travers des parois bronchiques.

L'effet sur la santé d'une exposition prolongée (ou « à long terme » ou « chronique ») à la pollution atmosphérique est la manifestation sanitaire qui, s'exprimant un jour donné, est liée à l'exposition à la pollution atmosphérique durant un grand nombre de jours précédant cette manifestation (plusieurs années, en général, alors que l'exposition « à court terme » est entendue comme étant limitée à 5 jours).



Effets à long terme



Conséquences des effets à long terme sur la prise en charge et le recours aux soins

Effets spécifiques des polluants atmosphériques

SO₂:

À concentrations élevées, le SO₂ entraîne chez l'animal des effets cytotoxiques et inflammatoires au niveau de la muqueuse des voies aériennes.

un effet irritant et un effet broncho constricteur. Les sujet« sensibles», dont les asthmatiques, peuvent présenter des manifestations symptomatiques pour des concentrations relativement peu élevées, rencontrées au cours des pics de pollution, ou même lors d'une exposition brève, de l'ordre de quelques minutes.

Les asthmatiques sont donc particulièrement concernés par la pollution au SO₂, notamment lorsqu'ils font de l'exercice physique ^[1].

Les particules:

certaines particules inhalées peuvent induire une réaction inflammatoire dans les voies aériennes, réaction qui fait intervenir cellules épithéliales et macrophages alvéolaires, stress oxydant, dysfonction endothéliale, production de cytokines pro-inflammatoires induisant un afflux de neutrophiles et l'activation de lymphocytes T... .

L'exposition aux particules peut ainsi entraîner des lésions tissulaires induisant des phénomènes de réparation. En cas de persistance de l'exposition, le cycle de lésion-réparation perdure avec métaplasie et état inflammatoire chronicisé

Pollution et asthme de l'enfant

Plusieurs études épidémiologiques suggèrent qu'il existe une association entre la densité du trafic automobile et la prévalence des symptômes respiratoires et plus particulièrement de l'asthme et des rhinites allergiques.

L'exposition durant la petite enfance à une pollution liée au trafic automobile pourrait accélérer, voire provoquer chez des sujets génétiquement prédisposés, un processus inflammatoire bronchique qui pourrait contribuer à l'augmentation de l'incidence des allergies respiratoires dans les pays industrialisés.

NO2:

Une des particularités des effets biologiques du NO2 est sa capacité à altérer les fonctions des macrophages alvéolaires et des cellules épithéliales, ce qui peut expliquer l'augmentation des risques d'infection pulmonaire.

Ozone: 2 effets principaux

1-inhibition de l'inspiration maximale (souvent accompagnée de douleur thoracique, de sensation d'oppression thoracique et de toux) chez certains sujets. Cette inhibition se traduit par une réduction de la CV et du VEMS.

Le mécanisme de cet effet fait intervenir la stimulation des fibres C dans la muqueuse bronchique

2-une inflammation aiguë à neutrophiles dans la muqueuse des voies aériennes. Son mécanisme fait intervenir une augmentation de la production par les cellules épithéliales bronchiques de cytokines pro-inflammatoires

Il en résulte un afflux de neutrophiles dans les espaces aériens ; leur activation entraîne la libération de médiateurs entraînant des lésions dans les tissus avoisinants.

Chez les asthmatiques, on peut observer une participation des éosinophiles. Cette inflammation est associée à une augmentation de la réactivité bronchique non spécifique.

Pollution atmosphérique et pathologie pulmonaires spécifiques

Toux chronique:

L'exposition à la pollution atmosphérique pourrait être responsable de toux chronique indépendamment d'un effet passant par un asthme ou une BPCO. Cette relation repose sur des observations cliniques, épidémiologiques mais aussi sur la plausibilité déduite des connaissances sur les mécanismes neurophysiologiques de la toux réflexe . Il existe des données convaincantes qui impliquent les oxydes d'azote et le SO₂.

Asthme:

Les études épidémiologiques montrent que les pics de pollution atmosphérique, notamment à l'ozone, aux oxydes d'azote, aux particules et au SO₂, augmentent les recours en urgence pour crise d'asthme.

Les particules de diamètre compris entre

10 μm et 2,5 μm pourraient être aussi délétères que les particules de diamètre inférieur à 2,5 μm .

Broncho-pneumopathie chronique obstructive

Effets a court terme:

il existe des données robustes associant pics de pollution atmosphérique et exacerbations de BPCO (appréciées sur l'augmentation des symptômes, l'augmentation des admissions hospitalières pour exacerbation et la mortalité associée à la BPCO). Sont impliqués le SO₂, le NO₂, l'O₃ et les PM₁₀, l'effet à court terme des particules de diamètre compris entre 2,5 µm et 10 µm pourrait être aussi marqué que celui des PM_{2,5}

6 a 9 % des admissions hospitalières pour exacerbation de BPCO pourraient trouver leur origine dans la pollution atmosphérique.

Effet a long terme:

Chez des femmes âgées de 55 ans une association entre la réduction du rapport VEMS/CVF et l'exposition chronique aux PM₁₀

Conseils a donner au malade

- les personnes sensibles doivent se tenir informées des alertes de pollution et essayer de déterminer avec le maximum d'objectivité si elles ressentent une aggravation de leurs symptômes cliniques les jours de pic de pollution et les 48 heures suivantes ;
- Il faut prévoir des activités physiques quand la pollution atmosphérique est moins élevée et diminuer le niveau d'activité physique en cas de taux élevé de pollution atmosphérique (marcher plutôt que courir, diminuer la durée de l'exercice physique...). En cas de pic de pollution à l'ozone, il est recommandé de pratiquer les activités sportives en matinée (avant 12 h) ou de les éviter

pour se protéger des particules fines, il convient de se tenir éloigné des voies de circulation à fort trafic routier ;

- Les patients asthmatiques peuvent avoir recours à un bronchodilatateur inhalé en prévention, selon les recommandations de leur médecin traitant. Il faut donc conseiller aux malades, notamment les asthmatiques, de garder en permanence à disposition les médicaments adéquats pour soulager rapidement les symptômes. En outre, on peut leur suggérer de se surveiller plus étroitement en cas de pic de pollution (en utilisant par exemple un débitmètre de pointe en cas d'asthme), et de connaître les effets de la pollution atmosphérique sur leur maladie respiratoire
- lors des pics de pollution, les personnes sensibles peuvent être amenées à passer plus de temps chez elles, l'environnement intérieur doit être « propre » ; les sources de pollution intérieures (tabac, gaz, peintures...) doivent être éliminées. Si ces conditions sont respectées, il est recommandé de fermer les fenêtres.