



# LA POLLUTION DE L'AIR DANS LES AEROPORTS

*Particules ultrafines, solutions*



THE ECOLOGICAL COUNCIL



## TABLE DES MATIERES

Un défi urgent	• 3
Polluants de l'air	• 4
Valeurs limites	• 7
Normes d'émission	• 8
Mesures stationnaires	• 9
Exposition des travailleurs	• 13
Sources de pollution	• 18
Solutions potentielles	• 19
Coopération réussie	• 23
Recommandations	• 25
Effets à l'extérieur des aéroports	• 26
Informations complémentaires	• 27



Publié par :



THE ECOLOGICAL COUNCIL

Blegdamsvej 4B  
2200 Copenhagen N  
Danemark  
Téléphone : (+45) 3315 0977  
E-mail : [info@ecocouncil.dk](mailto:info@ecocouncil.dk)  
[www.ecocouncil.dk](http://www.ecocouncil.dk)



ISBN: 978-87-92044-37-2

Texte: Kaare Press-Kristensen

Groupe éditorial: Lars Brogaard de 3 F – Fédération syndicale unie des travailleurs danois et Soeren Hedegaard Nielsen, Jesper Abery Jacobsen et Lars Lemche de l'aéroport de Copenhague.

Maquette: DesignKonsortiet, Hanne Koch

Impression: Imprimé selon les principes de l'écolabel nordique Swan

Edition: 1ère édition, 1ère impression – Mars 2012



Cette brochure peut être téléchargée à partir de la page d'accueil du Conseil écologique danois : [www.ecocouncil.dk](http://www.ecocouncil.dk)  
Cette brochure est gratuite et peut être commandée par l'intermédiaire du Conseil écologique danois contre paiement d'affranchissement. En cas de citations, copies, et autres usages de cette brochure, nous vous serions reconnaissants de citer le Conseil écologique danois.

Cette brochure est financée par l'Aéroport de Copenhague, Le Fonds social européen, et l'Aviation danoise.

# UN DEFI URGENT

Les personnes travaillant près des gaz d'échappement des moteurs d'avions (des moteurs principaux et des APU : groupes auxiliaires de puissance) et/ou des moteurs diesel (équipement de manutention et de chargement, etc.) dans les aéroports sont exposées à un mélange complexe de pollution de l'air potentiellement nuisible pour la santé. La première étude rendant compte du nombre de cas plus élevés de lésions de l'ADN chez ces personnes a été publiée il y a cinq ans. L'Office national des accidents du travail et des maladies professionnelles au Danemark a reconnu alors plusieurs cas de cancer probablement provoqués par la pollution de l'air dans les aéroports. La pollution liée au travail est une menace grave et surveillée.

La préoccupation principale concerne les particules de gaz d'échappement ultrafines provenant des avions et des moteurs diesel. Les particules diesel ultrafines sont connues pour provoquer des cancers, des maladies cardiaques, des thromboses, des hémorragies cérébrales, et des maladies des voies aériennes (bronchites, BPCO), augmentant par conséquent le risque de maladie grave et de décès prématuré lié au travail. La toxicité des particules ultrafines des avions est cependant très peu connue.

*Des millions de personnes travaillant dans les aéroports peuvent être affectées par un air potentiellement nuisible.*

Depuis plus d'une décennie, on sait que les moteurs diesel destinés au chargement et à la manutention émettent des concentrations élevées de particules ultrafines. Au cours des dernières années, plusieurs études américaines ont rendu compte des concentrations élevées de particules ultrafines dans les gaz d'échappements des avions. Les perdants sur le long terme sont autant les employés que les employeurs.

Cette brochure présente une nouvelle étude exhaustive des aéroports danois en se concentrant sur la pollution de l'air dans les aéroports, les sources de pollution, l'exposition des employés aux particules ultrafines, et les mesures pour limiter la pollution. Cette brochure est par conséquent *à la pointe* en ce qui concerne la pollution de l'air dans les aéroports. En outre, cette brochure illustre la réussite d'une coopération axée sur la recherche de solutions impliquant l'Aéroport de Copenhague, les compagnies opérant dans l'aéroport et les syndicats représentant les employés de l'aéroport. Chaque aéroport peut par des mesures locales faire changer les choses, mais les organisations internationales doivent également agir pour résoudre le problème.





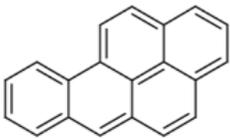
## POLLUANTS DE L'AIR

La pollution de l'air dans les aéroports provient de la pollution de fond, de sources extérieures transportées vers l'aéroport par le vent, et de la pollution produite dans l'aéroport. Cette brochure se concentre sur la pollution produite dans les aéroports, entraînant des niveaux de pollution potentiellement nocifs.

Dans les aéroports les sources principales de pollution de l'air sont les gaz d'échappement des avions et des moteurs diesel, les émissions directes de carburant lors du ravitaillement des avions, et les particules de poussière plus larges provenant des freins, des pneus, du bitume, du sol, etc. Les principaux polluants peuvent être répartis comme suit : les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les composés organiques volatils (COV), les gaz inorganiques comme le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) et les oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ), et les particules (PM).

### Les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)



#### **Benzopyrène**

*Le benzopyrène est cancérigène à basse concentration.*

sont un groupe de composés organiques formés d'anneaux aromatiques fusionnés. Plusieurs HAP sont mutagènes et/ou cancérigènes. Le benzopyrène est un HAP présentant un intérêt spécifique puisque le composant est cancérigène à faible concentration.

Le benzopyrène est souvent utilisé comme un composant indicateur de pollution par les HAP. Dans les

aéroports, les HAP sont principalement produits à cause d'une combustion incomplète dans les moteurs diesel et d'avions. Les HAP existent associés à des particules et en tant que gaz dans les gaz d'échappement.

### Les composants organiques volatils

Les composants organiques volatils (COV) représentent un très grand groupe de composés organiques principalement présents dans les gaz. Certains COV, par exemple le benzène, sont cancérigènes, tandis que d'autres, par exemple les aldéhydes, peuvent provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires. Dans les aéroports, les COV proviennent des vapeurs de carburant durant le ravitaillement, et du carburant non brûlé ou partiellement brûlé dans les gaz d'échappement. Certains COV sont attachés à des particules dans les gaz d'échappement. Les aldéhydes sont aussi formés par réaction photochimique dans l'air environnant.

### Les gaz inorganiques

Le dioxyde de soufre ( $\text{SO}_2$ ) est un gaz nocif qui peut provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires. Les Carburéacteurs (carburants pour avions) contiennent de grandes concentrations de soufre ; environ 1000 ppm. En comparaison, la teneur en soufre du carburant diesel est de 10 ppm, c'est-à-dire approximativement 100 fois moins. Dans les moteurs la plupart du soufre s'oxyde pour devenir du  $\text{SO}_2$ , qui sort du moteur sous la forme de  $\text{SO}_2$  ou sous la forme de particules de sulfate (par exemple de particules de sulfate d'ammonium). Les moteurs d'avions représentent une source majeure de  $\text{SO}_2$  dans les aéroports.

	Taille, $PM_{xx}$ (xx: diamètre en micromètres)	Terme et mesure
Grosses particules	< 10	$PM_{10}$ : Masse
Particules fines	< 2.5	$PM_{2.5}$ : Masse
Particules ultrafines	< 0.1	$PM_{0.1}$ : Nombre
Nanoparticules	< 0.03	$PM_{0.03}$ : Nombre

**Tableau 1 : Particules dans l'air** *Caractérisation des différents types de particules.*

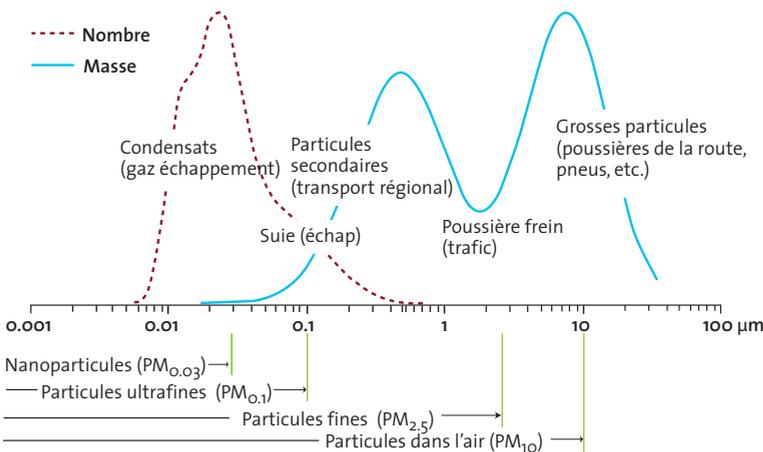
Les oxydes d'azote ( $NO_x$ ) se composent d'oxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote ( $NO_2$ ). Le NO est inoffensif à des concentrations normales. Le  $NO_2$  est un gaz nocif qui peut provoquer une irritation des yeux et des voies respiratoires. Le  $NO_x$  se forme dans les moteurs diesel et d'avions quand l'azote libre ( $N_2$ ) s'oxyde à des températures élevées. La majorité des  $NO_x$  sort des moteurs sous la forme de NO, mais une partie importante de ceux-ci s'oxyde pour devenir du  $NO_2$  lors d'une réaction avec l'ozone dans l'air environnant.

### Les particules

Les particules (PM) sont de la matière solide dans l'air. Une classification plus poussée peut être faite selon la taille, en différenciant les grosses particules, les fines, les ultrafines, et les nanoparticules (voir tableau 1). Notez que la quantité de particules grosses et fines est

mesurée en masse, tandis que les particules ultrafines et les nanoparticules sont mesurées en nombre. Les particules plus larges constituent la majorité de la masse totale de particules, mais ne représentent qu'une petite partie du nombre total de particules. À l'opposé, les particules ultrafines et les nanoparticules constituent la majorité du nombre total de particules, mais une partie insignifiante de la masse totale de particules (voir figure 1).

Les particules ultrafines organiques se forment dans les moteurs diesel et d'avions en raison d'une combustion incomplète, et dans l'air environnant sous la forme de condensats. Les moteurs d'avion sont considérés comme une source majeure de particules de sulfate inorganique en raison de la teneur élevée en soufre des carburateurs.



**Figure 1: Masse et nombre de particules dans l'air**

*Des particules plus grandes dominent la masse totale de particules, tandis que le nombre total de particules est dominé par les particules ultrafines ou les nanoparticules.*



Pendant des années l'attention s'est concentrée sur la masse des particules, principalement les particules fines et grosses. La raison principale à cela est que ces particules plus grosses sont plus faciles à mesurer et qu'il y a un lien entre la masse des particules et les effets sur la santé. Cependant, plusieurs enquêtes récentes signalent que les particules ultrafines (PM<sub>0.1</sub>) mesurées en nombres semblent être un meilleur indicateur de la pollution nocive de l'air par les gaz d'échappement locaux. Cela s'explique par le fait que les particules ultrafines ont une large surface disponible pour la sorption de composés toxiques (les HAP, COV, etc.), et qu'elles ont un taux de dépôt élevé dans les parties les plus fines et les plus critiques des poumons (l'alvéolaire). Une partie du dépôt de ces particules ultrafines contenant des composés toxiques sera transférée directement de l'alvéolaire au sang, et circulera dans le corps. En outre des enquêtes plus récentes constatent que les nanoparticules pourraient être directement assimilées par la muqueuse nasale et atteindre le cerveau.

Enfin, la composition chimique de ces particules ultrafines est soupçonnée d'être également déterminante en ce qui concerne leurs propriétés toxiques. Les particules avec une teneur en suie élevée (carbone noir) sont soupçonnées d'être les moins nocives. Cependant, les particules inhalées sont souvent un mélange complexe, étant donné que les particules organiques et inorganiques s'agrègent après leur sortie des moteurs, et que les HAP et les COV sont adsorbés aux surfaces des particules.

# VALEURS LIMITES

L'exposition à la pollution de l'air des employés au travail est réglementée par des valeurs limites *selon la loi nationale sur la santé et la sécurité au travail*. Les valeurs limites ne protègent pas nécessairement les employés d'une pollution de l'air dangereuse, et devrait être considérées comme un compromis entre l'aspect sanitaire, l'aspect technique, et l'aspect économique également.

Sur le tableau 2, les valeurs limites danoises de pollution de l'air sur les lieux de travail, comparées aux limites générales danoises (UE) de qualité de l'air dans les lieux publics (rues, etc.) sont détaillées. Les aéroports danois satisfont à toutes ces limites de qualité de l'air.

Le tableau 2 montre que la pollution de l'air est sensiblement plus acceptée sur les lieux de travail que dans les lieux publics. L'explication à cela est que les gens ne passent qu'un temps limité au travail, que les personnes sensibles ne sont pas protégées sur les lieux de travail, et que l'employé est censé accepter une certaine part de risque avec son travail. Cependant, même les

valeurs limites pour les particules fines et grosses dans les lieux publics ne protègent pas la santé humaine. Chaque année, cette pollution est responsable au Danemark, selon les estimations, d'environ 3000 décès prématurés, de dizaines de milliers de maladies des voies respiratoires, et de plusieurs centaines de milliers de jours de maladie, bien que toutes les valeurs limites des particules soient respectées.

## Particules ultrafines

Dans la réglementation danoise sur les lieux de travail, on souligne que les composés sans valeurs limites dans la réglementation peuvent être aussi nocifs que les composés avec des valeurs limites. L'absence de valeurs limites pour les particules ultrafines ne signifie pas que les particules ultrafines ne sont pas dangereuses. En outre, la réglementation danoise concernant les lieux de travail précise ce qui suit : *Aux endroits où la pollution de l'air nuisible à la santé est inévitable, tout doit être mis en oeuvre pour protéger les employés*. Cela est très important dans le domaine des particules ultrafines.

	Lieu travail (Moyenne de 8 h, µg/m <sup>3</sup> )	Lieu public (moyenne an, µg/m <sup>3</sup> )
Benzopyrène	–	0.001 <sup>a)</sup>
Benzène	1.600	5
Formaldéhyde	400	–
Acroléine	115	–
Dioxyde soufre	1.300	125 <sup>b)</sup>
Dioxyde d'azote	90.000	40
Grosses particules	3-10.000	40
Particules fines		25 <sup>c)</sup>
Particules ultrafines	<b>Pas encore de valeurs limites</b>	
Nanoparticules		

**Tableau 2: Valeurs limites de la pollution de l'air**

*Les valeurs limites de la pollution de l'air sur les lieux de travail et sur les lieux publics.*

Explications : a) A partir de 2013, b) Moyenne de 24 heures, c) A partir de 2015

# NORMES D'ÉMISSION

L'UE réglemente les émissions des véhicules routiers selon des normes d'émission spécifiques, appelées normes EURO, et des véhicules non routiers selon une directive spécifique établissant des normes d'émission pour les véhicules non routiers (engins mobiles). Les moteurs diesel utilisés pour la manutention et le chargement dans l'aéroport sont inclus dans la directive sur les véhicules non routiers. Les normes d'émission du  $\text{NO}_x$  et des particules sont présentées au tableau 3.

Les normes d'émission doivent être respectées dans des conditions d'essai standard pour qu'un véhicule puisse être vendu en Europe. Cependant, plusieurs nouvelles enquêtes ont mis en lumière le fait que les émissions sont plus élevées en fonctionnement réel qu'en conditions de tests, et que les émissions augmentent avec l'âge des véhicules. De plus, il existe de nombreuses exemptions du règlement général pour les véhicules non routiers.

Il ressort du tableau 3 que les nouveaux véhicules routiers et non routiers produisent beaucoup moins d'émissions aujourd'hui qu'il y a 10-15 ans. Cependant, certains véhicules non routiers utilisés dans de nombreux aéroports ont souvent plus de 15 ans. Les normes d'émission des véhicules légers (voitures et camionnettes) sont en mg/km et ne peuvent pas être directement comparées

aux émissions provenant des véhicules non routiers, qui sont mesurées en mg /kWh. Les normes d'émission des poids lourds et des bus sont aussi mesurées en mg/kWh. Quand les émissions mesurées en mg/kWh sont comparées, il est clair que les normes pour les poids lourds et les bus sont beaucoup plus strictes que les normes pour les véhicules non routiers. Enfin, le tableau 3 montre que l'UE a introduit, pour les véhicules diesel légers (Euro V et VI) et les voitures à essence à injection directe (Euro VI), une norme sur le nombre de particules, et ainsi une limite spécifique visant les particules ultrafines.

Les normes d'émission des avions sont établies par l'organisation de l'aviation civile internationale. Les normes d'émission ont principalement porté sur les COV et les gaz inorganiques (en particulier les  $\text{NO}_x$ ) et sur des mesures de particules plus étendues comme la *quantité de fumée émise*. Elle est calculée à partir du coefficient de réflexion d'un papier filtre mesuré avant et après le passage d'un volume connu d'un échantillon porteur de fumée. En 2010, il a été décidé d'établir une obligation de certification pour les particules en 2013, suivie par une norme de certification pour les particules en 2016. D'après les premières estimations, les moteurs d'avion émettent plus de 1000 fois la quantité de particules (en nombre) par kg de carburant que les voitures diesel modernes (Euro V).

Véhicules routiers	$\text{NO}_x$ / Particules		Véhicules non routiers	$\text{NO}_x$ / Particules	
	Voitures/camionnettes :mg/km et poids lourds/bus: mg/kWh			mg/kWh	
Euro III (2000-1)	Voiture essence	150 / -	Etape I (1999)	A	9.200 / 540
	Voiture diesel	500 / 50		B	9.200 / 700
	Camionnette	780 / 100		C	9.200 / 850
	Poids lourds/bus	5.000 / 100		-	-
Euro IV (2005-6)	Voiture essence	80 / -	Etape II (2001-4)	E	6.000 / 200
	Voiture diesel	250 / 25		F	6.000 / 300
	Camionnette	390 / 60		G	7.000 / 400
	Poids lourds/bus	3.500 / 20		D	8.000 / 800
Euro V (2009-10)	Voiture essence	60 / 5 <sup>a)</sup>	Etape IIIA (2006-8)	H	4.000 / 200
	Voiture diesel	180 / 5		I	4.000 / 300
	Camionnette	280 / 5		J	4.700 / 400
	Poids lourds/bus	2.000 / 20		K	7.500 / 600
Euro VI (2013-15)	Voiture essence	60 / 5 <sup>a)</sup>	Etape IIIB (2011-13)	L	2.000 / 25
	Voiture diesel	80 / 5		M	3.300 / 25
	Camionnette	125 / 5		N	3.300 / 25
	Poids lourds/bus	400 / 7		P	4.700 <sup>b)</sup> / 25

**Tableau 3: Normes d'émission pour véhicules routiers et non routiers**

*Les petits véhicules non routiers peuvent polluer plus que les poids lourds.*

Explication: a) Uniquement pour voitures essence à injection directe. b) Somme HC et  $\text{NO}_x$ .

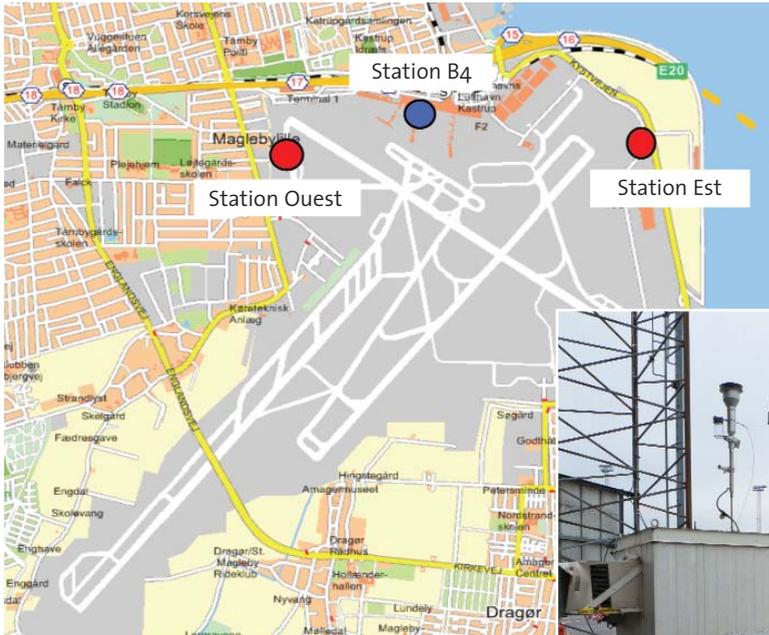


Figure 3: Mesures stationnaires  
 Les mesures stationnaires ont été effectuées à trois endroits

## MESURES STATIONNAIRES

Les mesures stationnaires ont été effectuées en 2010-11 à l'aéroport de Copenhague. Le but était d'effectuer des mesures détaillées et à long terme de la pollution de l'air dans l'aéroport. La station de surveillance était placée dans l'enceinte de l'aéroport, près des travailleurs chargeant les avions et faisant de la maintenance par la porte B4 ; qualifiée de station B4 (figure 2). A la station B4, tous les groupes de polluants concernés (cf. page 4) ont été mesurés. De plus, le dioxyde d'azote et les particules fines ainsi que les particules ultrafines ont été mesurées à la station Est et à la station Ouest, qui sont les stations de surveillance officielles en respect avec l'agrément environnemental. La station Ouest se trouve près des maisons du quartier résidentiel qui se situe à côté de l'aéroport (figure 3).

Le Centre danois pour l'environnement et l'énergie (DCE) à l'Université d'Aarhus a effectué tous les échantillonnages et analyses liés aux mesures stationnaires. Les échantillons d'air de la station B4 ont été prélevés à

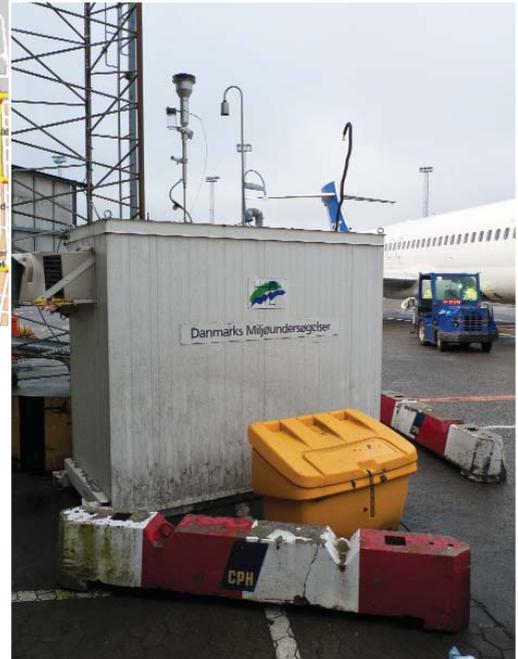


Figure 2: La station de surveillance  
 Les mesures stationnaires ont été effectuées par le DCE de l'Université d'Aarhus.

2,5 mètres au-dessus du niveau du sol, et les concentrations de 9 HAP, de 33 COV comprenant 9 aldéhydes, des SO<sub>2</sub>, des NO<sub>x</sub>, des particules fines, des particules ultrafines et de la suie (carbone noir) ont été analysées. La gamme de taille pour le nombre de particules mesurées était de 6-700 nm et incluent ainsi certaines particules plus grandes que les particules ultrafines (au-dessus de 100 nm). Cependant, le nombre de particules est clairement dominé par des particules inférieures à 100 nm et n'est pas de façon significative influencé par les particules de 100 à 700 nm (Figure 4).

	Stations dans l'aéroport			Valeurs limites		Mesures de référence		
	B4	Est	Ouest	WP	PL	HCBA	HCOE	LV
Benzopyrène	0.00012	–	–	–	0.001	0.00034	–	–
Benzène	0.6	–	–	1.600	5	–	0.7	–
Formaldéhyde	5.5	–	–	400	–	–	–	–
Acroléine	6.8	–	–	115	–	–	–	–
Total VOC	5.4	–	–	–	–	–	5.3	–
Dioxyde de soufre	1	–	–	1.300	125	1	–	–
Dioxyde d'azote	24	18	16	90.000	40	56	17	11
Particules fines	17	15	16	3-10.000	25	17	14	13
Part. ultr 24h	32-38.000	10.000	11.000	Pas encore		13-16.000	6.000	4.000
Part. ultr 6-22	30-90.000	5-20.000	–			5-10.000	–	5.000

**Tableau 4 : Mesures stationnaires dans l'aéroport de Copenhague**

Le nombre de particules ultrafines à la station B4 est deux à trois fois plus élevé que sur les voies urbaines à trafic dense. Toutes les valeurs en µg/m<sup>3</sup> excluent les particules ultrafines qui sont mesurées en nombre de particules par cm<sup>3</sup>.

Les mesures pour le benzopyrène, les COV, et le SO<sub>2</sub> sont des niveaux moyens sur une période d'un mois tandis que les valeurs pour le NO<sub>2</sub> et les particules sont des valeurs moyennes sur une période d'au moins un semestre.

Valeurs limites : LT : Lieux de travail, LP : lieux publics (voir tableau 2 pour de plus amples explications).

HCAB : Une des voies urbaines les plus polluées au Danemark, HCOE : toit d'immeuble à Copenhague et LV : Lille Valby en rase campagne.

Part. ult. : Particules ultrafines (6-700 nm) mesurées en nombre de particules par cm<sup>3</sup>

Référence : DCE de l'Université d'Aarhus, 2010 et 2011

Le tableau 4 montre les résultats des stations stationnaires. Les HAP et les COV n'apparaissent pas tous, mais les résultats omis ne modifient pas la situation générale. Pour comparaison, les valeurs limites et les concentrations sont présentées en s'appuyant sur une des voies urbaines les plus polluées au Danemark (HCAB), sur un environnement urbain (HCOE, toit d'immeuble à Copenhague) et sur des mesures effectuées en rase campagne (Lille Valby).

Des mesures synchroniques de NO<sub>2</sub>, de benzène et de particules fines ont été effectuées à 12 autres portes de l'aéroport de Copenhague durant 4 semaines. Ces résultats indiquaient que les mesures stationnaires à la station B4 étaient généralement comparables et ainsi représentatifs de la pollution de l'air près de la plupart des autres portes de l'aéroport (+ ou – 25%).

Le tableau 3 indique que la concentration de tous les polluants de l'air, exceptés les particules ultrafines, sont

beaucoup plus basses que les valeurs limites des lieux de travail, et plus basses que les valeurs limites de qualité de l'air des lieux publics. La concentration de dioxyde d'azote mesurée aux portes de l'aéroport est comparable aux environnements urbains (HCOE) et est beaucoup plus basse que la concentration sur les voies urbaines à trafic dense (HCAB), mais plus élevée qu'en rase campagne (Lille Valby). La concentration totale de COV était comparable à un environnement urbain. En revanche, la concentration de particules fines est comparable à la concentration mesurée sur les voies urbaines à trafic dense et est ainsi sensiblement plus élevée qu'en rase campagne.

Il ressort du tableau 3 que la situation est assez différente pour les particules ultrafines. La concentration moyenne sur 24h de particules ultrafines à la station B4 est deux à trois fois plus élevée que sur les voies urbaines à trafic dense (HCAB). Et le nombre de particules ultrafines pour les stations Est et Ouest sont seule-

ment de 20 à 30% en dessous des concentrations sur les voies urbaines à trafic dense. Cependant, la concentration de la station B4 ainsi que celle de la station Est étaient plus élevées que sur les voies urbaines à trafic dense durant les heures de travail principales (6-22).

La figure 4 illustre le nombre de particules suivant la taille des particules à la station B4 et à la station Est. La répartition des tailles de particules trouvées à la station Ouest est proche de la répartition trouvée à la station Est. A des fins de comparaison, la répartition des particules provenant des voies urbaines à trafic dense (HCAB), des environnements urbains (HCOE) et de la rase campagne (Lille Valby) est présentée.

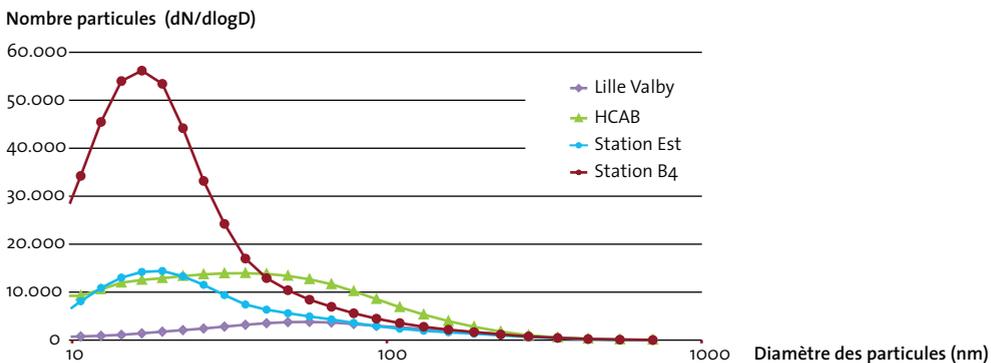
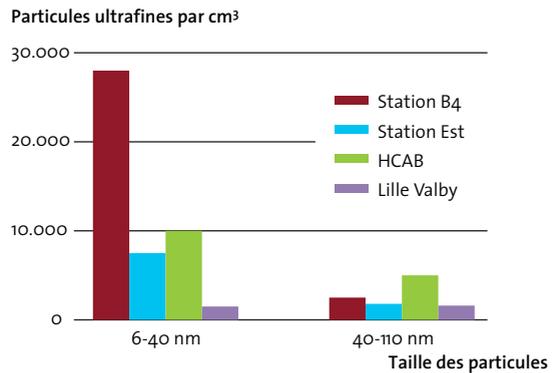
Il ressort clairement de la figure 4 que le nombre de particules dans l'aéroport est dominé par des particules entre 6 et 40 nm. Ce sont des particules avec un taux de dépôt élevé sur les parties les plus délicates des poumons : l'alvéolaire. Ces particules sont générale-

ment émises directement des avions et des moteurs diesel, et constituent environ 90% du nombre de particules de la station B4, et approximativement 70% des stations Est et Ouest. Cette fraction de particules est la raison principale pour laquelle le nombre de particules ultrafines dans l'aéroport est plusieurs fois plus élevé que sur les voies urbaines à trafic dense (HCAB). La concentration de particules aux stations Est et Ouest était élevée quand le vent venait de l'aéroport.

Les mesures montraient dans une certaine mesure, une convergence entre le soufre et le nombre de particules ultrafines dans l'air de l'aéroport, ce qui indique qu'une partie importante des particules ultrafines dans l'aéroport correspond à des particules de soufre. Les avions sont probablement la source principale de particules de soufre, en raison de la teneur élevée en soufre dans les carburateurs.

**Figure 4: Taille des particules ultrafines**  
*Le nombre de particules dans l'aéroport est dominé par les particules de 6-40 nm.*

Référence : DCE de l'Université d'Aarhus, 2011



En outre, la figure 4 souligne que le nombre de particules à partir de 40-109nm semble être presque le même que pour la station B4 et que pour les voies urbaines à trafic dense, tandis qu'il est sensiblement inférieur aux stations Est et Ouest. Ces particules ont un intérêt particulier étant donné que les particules de suie toxiques appartiennent à cette fraction de particules (Figure 1). Cependant, les résultats de l'analyse de la suie dans les particules fines collectées montraient une concentration de suie plus basse dans ces particules fines collectées dans l'aéroport, que sur les voies urbaines à trafic élevé (HCAB). Ceci indique que les particules fines des voies urbaines peuvent être plus dangereuses que les particules fines dans les aéroports. Mais ceci n'indique pas nécessairement que les particules ultrafines de 40-109 nm dans les aéroports sont moins dangereuses que la même fraction de particules provenant des voies

urbaines à trafic dense, étant donné que les particules de 40-109 nm ne représentent qu'une petite partie pas nécessairement représentative des particules fines. Cependant, la composition des particules pourrait résulter, de façon très significative parmi les différentes tailles de particules, en une toxicité très différente.

La figure 5 montre la variation sur une période de 24h de la concentration de particules ultrafines dans l'aéroport, comparée à la variation des voies urbaines à trafic dense (HCAB) et des mesures effectuées en rase campagne (Lille Valby).

Sur la figure 5 il ressort que la concentration de particules ultrafines est liée au trafic de l'aéroport et sur les voies urbaines à trafic dense, c'est-à-dire qu'aux heures de pointe du matin et de l'après-midi/soir, le trafic se reflète

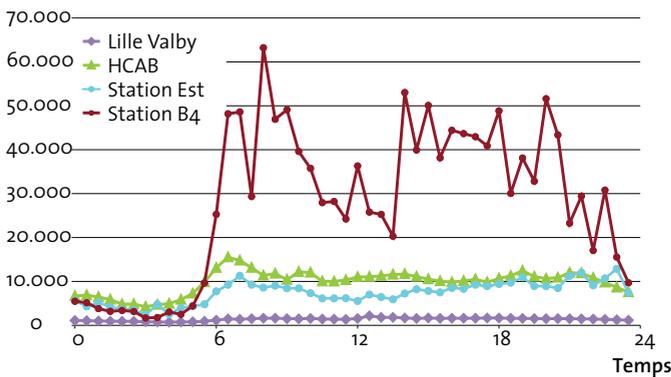
clairement dans la concentration de particules ultrafines. Par ailleurs, il est clair que des niveaux record très élevés de particules ultrafines entre 6 et 40 nm sont observés pendant la plus grande partie de la journée et que cette fraction de particules domine les particules ultrafines dans l'aéroport. En comparaison, la concentration de particules ultrafines en rase campagne sans source locale de pollution est basse et presque constante toute la journée. Durant la nuit la concentration de particules est la même dans l'aéroport et en rase campagne.

Les valeurs de la demi-heure de pointe les plus élevées observées étaient d'au-dessus de 500.000 particules par  $\text{cm}^3$  à la station B4, d'environ 130.000 particules par  $\text{cm}^3$  à la station Est, et d'environ 40.000 particules par  $\text{cm}^3$  sur les voies urbaines à trafic dense.

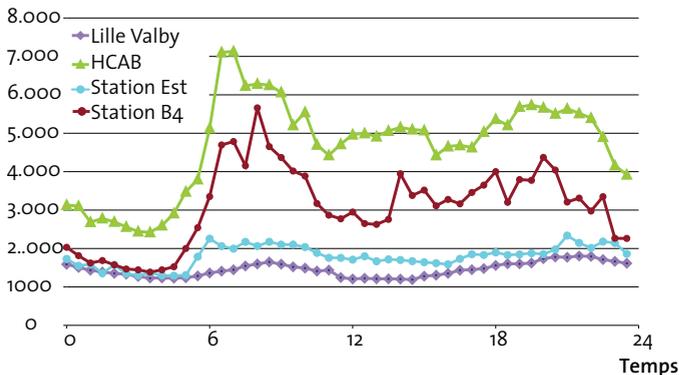
**Figure 5: Variation au cours de la journée des particules ultrafines.**  
La concentration des particules ultrafines est clairement liée au trafic.

Référence : DCE, Université d'Aarhus, 2011

#### Nombre particules par $\text{cm}^3$ (6 - 40 nm)



#### Nombre particules par $\text{cm}^3$ (40 - 110 nm)





L'aéroport d'Aalborg

Figure 6: Aéroport d'Aalborg et aéroport de Copenhague

En raison de la construction physique, une dispersion peut se produire par trois côtés à l'aéroport d'Aalborg (à gauche), mais seulement par un côté restreint à l'aéroport de Copenhague (à droite).



L'aéroport de Copenhague

## EXPOSITION DES TRAVAILLEURS

Dans les aéroports danois, des mesures pour déterminer l'exposition des travailleurs ont été faites en 2010-2011. Les mesures ont été effectuées à proximité des employés au travail afin de déterminer l'exposition réelle aux particules ultrafines des travailleurs sur une journée de travail ou sur des périodes de travail plus longues.

Les mesures mobiles ont été prises avec un P-Trak (Compteur de particules ultrafines modèle 8525) aussi près que possible des travailleurs faisant de la manutention et chargeant les avions, sans perturber leur travail. Plusieurs catégories différentes de travailleurs ont été suivies pour des périodes plus ou moins longues de leur journée de travail. Les mesures mobiles ont été prises à la fois à l'aéroport de Copenhague et à l'aéroport d'Aalborg pour évaluer des aéroports aux caractéristiques différentes. En se basant uniquement sur la physique, l'aéroport d'Aalborg s'approche du meilleur cas en ce qui concerne la pollution de l'air, étant donné que la dispersion et l'exposition au vent sont possibles par trois côtés (Figure 6 à gauche). En comparaison, l'enceinte de l'aéroport de Copenhague est construite en

entonnoir avec une dispersion et une exposition au vent d'un côté seulement (figure 6 à droite).

Les travailleurs de l'aéroport de Copenhague ont été formés et ils ont mesuré l'exposition des travailleurs dans l'aéroport. Le Conseil écologique danois a mesuré l'exposition des travailleurs à l'aéroport d'Aalborg. La gamme de taille du nombre de particules était de 20 à 1000 nm. Elle inclut donc certaines particules plus grandes que les particules ultrafines (au-dessus de 100 nm) et excluent les particules ultrafines les plus petites (inférieures à 20 nm). Les résultats des mesures mobiles ne peuvent donc pas être directement comparés aux mesures stationnaires étant donné qu'une partie significative des particules ultrafines sont inférieures à 20 nm (Figure 4). En conséquence, les mesures sous-estiment l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines en chiffres absolus. Malgré cela, on considère que ces mesures fournissent un assez bon aperçu de l'exposition.

	Début (Heure)	Fin (Heure)	Temps total (Heures: Min)	Moyenne (Part./cm <sup>3</sup> )	Max. ½-heure (Part./cm <sup>3</sup> )	Fonction dans l'aéroport	
21.01.2011	10:55	14:24	03:29	40.400	75.000	Manutentionnaire de bagages	
27.01.2011	10:55	14:24	03:29	82.800	140.200	Manutentionnaire de bagages	
02.02.2011	06:55	15:13	08:18	75.000	104.100	Manutentionnaire de bagages	
04.02.2011	10:29	14:42	04:13	32.400	55.500	Manutentionnaire de bagages	
15.02.2011	06:57	12:59	06:02	95.000	213.900	Manutentionnaire de bagages	
16.02.2011	06:55	13:29	06:34	82.000	220.000	Manutentionnaire de bagages	
25.01.2011	08:00	13:46	05:46	52.500	120.800	Ouvrier	
Moyenne de toutes les mesures ci-dessus					65.700	132.800	–
Heure de pointe sur les voies urbaines à trafic dense				40-45.000	50-60.000	–	
Concentrations typiques dans les environnements de bureaux				2-4.000	3-6.000	–	
Concentrations typiques en rase campagne				2-3.000	4-6.000	–	

**Tableau 5: l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines dans l'aéroport de Copenhague**

*L'exposition des travailleurs dans l'aéroport est beaucoup plus grande que sur les voies urbaines à trafic dense.*

Le nombre de particules ultrafines est donné en nombre de particules par cm<sup>3</sup>. Source : aéroport de Copenhague.

Les concentrations provenant des voies urbaines ont été effectuées pendant les heures de pointe à Nørre et Øster Søgade à Copenhague, Les concentrations provenant des environnements de bureaux et de la rase campagne résultent de multiples mesures sur plusieurs années. Source : Le Conseil écologique danois.

### L'aéroport de Copenhague

Le tableau 5 montre les résultats des mesures de l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines.

Il ressort des mesures en général que l'exposition des travailleurs à des particules ultrafines dans l'aéroport est plus élevée que les expositions durant l'heure de pointe sur les voies urbaines à trafic dense de Copenhague. La moyenne de toutes les mesures d'exposition prises dans l'aéroport est plus élevée que les mesures prises durant l'heure de pointe sur les voies urbaines à trafic dense. La moyenne maximum d'une exposition d'une demi-heure correspond à plus de deux fois l'exposition maximale sur les voies urbaines à trafic dense. De nombreux manutentionnaires de bagages au sein de l'aéroport inhalent environ 25 fois plus de particules ultrafines qu'un employé de bureau typique, et certains manutentionnaires inhalent jusqu'à 50 fois plus de particules ultrafines. Ces mesures montrent clairement les larges variations entre l'exposition des employés, ce qui reflète différentes activités dans l'aéroport, le lieu, et le moment de la journée.

### Encadré 1 : des milliards de particules ultrafines.

Si un manutentionnaire de bagages inhale de l'air contenant 65.000 particules ultrafines par cm<sup>3</sup> en moyenne (Tableau 5), et qu'il inhale 0,5 litre d'air à chaque cycle respiratoire, 15 fois par minute (travail calme), le résultat sera l'inhalation de 500 millions de particules par minutes. Cela équivaut à 240 milliards de particules ultrafines par jour de travail, dont une partie significative sont déposés dans les parties les plus critiques des poumons (les alvéoles), ce qui permet la libération de certains des composés toxiques adsorbés à la surface des particules directement dans le système sanguin. Les effets sur la santé sont difficiles à quantifier et à prévoir, mais cette exposition n'est certainement pas saine.

La figure 7 représente l'exposition d'un manutentionnaire de bagages sur 6 heures de travail. La figure montre qu'il y a beaucoup de sources différentes contribuant à l'exposition des travailleurs dans l'aéroport, et que les variations sur une journée de travail sont importantes, jusqu'à 150 fois de plus : de 3.000 particules environ par cm<sup>3</sup> à 7h50 à environ 445.000 particules par cm<sup>3</sup> 25 minutes plus tard.

Particules par cm<sup>3</sup>

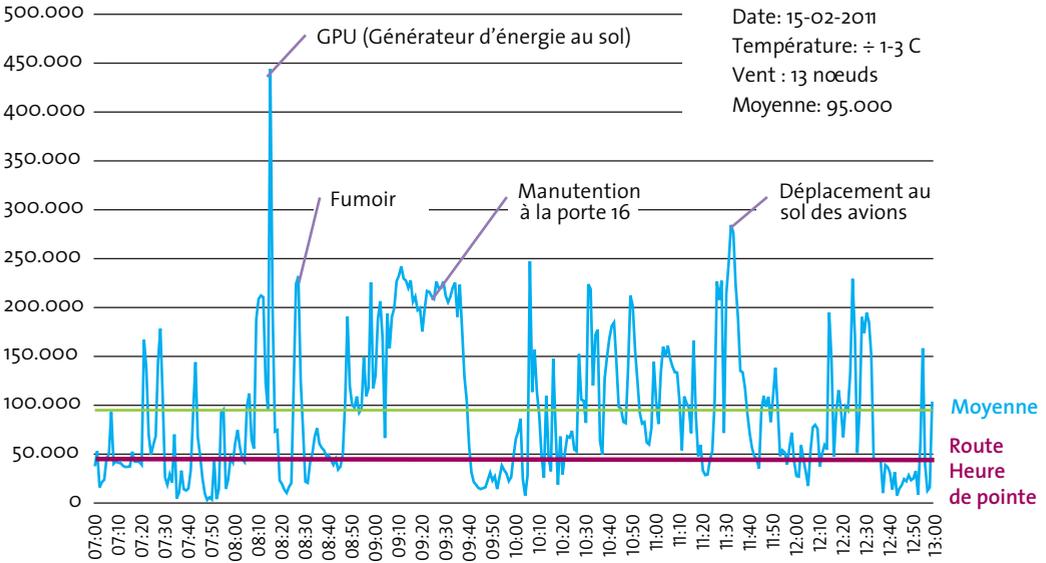


Figure 7 : Exposition des travailleurs de l'aéroport de Copenhague

Les manutentionnaires de bagages travaillant au sein de l'aéroport sont particulièrement exposés aux particules ultrafines.

Source : aéroport de Copenhague.

Les niveaux de pollution peuvent donc sensiblement varier. Certains pics de concentration sont faciles à expliquer étant donné que la source de pollution peut être directement identifiée. D'un autre côté, l'exposition de 09:10 à 09:40 contribue sensiblement à l'exposition totale des travailleurs (concentrations élevées sur une longue période), mais aucune source de pollution directe ne peut être identifiée, ce qui suggère que la pollution est probablement entraînée par le vent d'un endroit à l'autre dans

l'aéroport. En outre, le niveau de concentration des particules ultrafines dans un fumoir confiné est considéré comme étant approximativement de même que les niveaux de concentration provenant des avions et des moteurs diesel dans l'aéroport. Enfin, les données montrent que durant une grande partie de la journée, un manutentionnaire de bagages est exposé à des niveaux beaucoup plus élevés de particules ultrafines que ceux trouvés sur les voies urbaines à trafic dense durant l'heure de pointe.



	Début (Heure)	Fin (Heure)	Temps total (Heures: Min)	Moyenne (Part./cm <sup>3</sup> )	Max. ½-heure (Part./cm <sup>3</sup> )	Endroit de l'aéroport
10.02.2011	07:23	13:03	05:40	40.000	83.900	Camion à ordures
22.02.2011	09:24	14:00	04:36	40.000	94.300	Réparation de voiture /garage
25.02.2011	08:42	12:11	03:29	27.900	81.000	Postes d'incendie
Heure de pointe sur des voies urbaines à trafic dense				40-45.000	50-60.000	—

**Tableau 6 : mesures provenant de lieux importants de l'aéroport de Copenhague**

*Les employés ne travaillant pas directement dans l'aéroport peuvent également être lourdement exposés.*

Le nombre de particules ultrafines est donné en particules par cm<sup>3</sup>. Source : aéroport de Copenhague. Les concentrations des voies urbaines sont celles des heures de pointe à Nørre et Øster Søgade à Copenhague. Source : le Conseil écologique danois.

Le tableau 6 montre les résultats des mesures de particules ultrafines à différents endroits de l'aéroport.

Il ressort du tableau 6 que les groupes de travailleurs dans les autres zones de l'aéroport sont exposés aux particules ultrafines. Ces groupes semblent être exposés à des concentrations plus basses que les manutentionnaires de bagages. Cependant, ils sont exposés à des concentrations similaires à celles trouvées durant l'heure de pointe sur les voies urbaines à trafic dense, ce qui constitue également un motif d'inquiétude. Les mesures additionnelles prises dans les espaces publics des bâtiments de l'aéroport (données non indiquées) sont basses, et comparables aux autres bâtiments publics.



### L'aéroport d'Aalborg

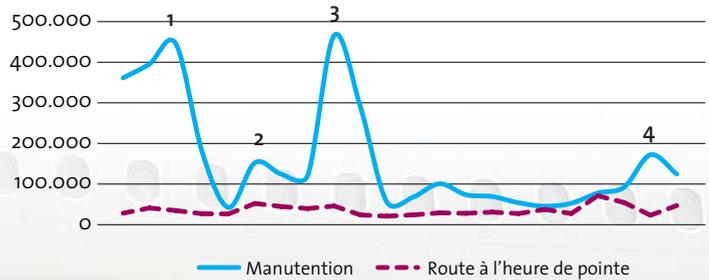
Le tableau 8 montre les mesures de l'exposition des travailleurs durant une opération de manutention à l'aéroport d'Aalborg, comparées aux concentrations trouvées durant l'heure de pointe sur les routes de Copenhague, à trafic dense (Nørre Søgade).

Sur le tableau 8 il apparaît clairement que l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines durant l'opération de manutention est beaucoup plus grande que si le travail avait eu lieu à l'heure de pointe sur une voie urbaine à trafic dense. La pollution élevée durant l'opération de manutention dépasse complètement la pollution urbaine.

Le premier pic (1) est un avion circulant au sol vers une autre porte (par le moteur principal) pour le décollage. Le deuxième pic (2) est un troisième avion venant d'une porte adjacente tournant sur son APU. Le troisième pic (3) est cet avion tournant sur ses moteurs principaux et circulant au sol pour le décollage. Le quatrième pic (4) est l'avion venant d'être pris en

charge et tournant sur son APU. Notez que sur le temps compris entre les pics 3 et 4, la concentration de particules ultrafines ne descend pas en dessous de la concentration sur voie urbaine à trafic dense. Cela est dû à la pollution des moteurs diesel utilisés pour la manutention et le chargement.

Sur les mesures provenant de l'aéroport d'Aalborg il apparaît clairement que même dans les petits aéroports avec des conditions de dilution presque optimales (figure 6), une exposition grave des travailleurs aux particules ultrafines peut se produire.



**Figure 8 : L'exposition des travailleurs durant une opération de manutention à l'aéroport d'Aalborg (22 min)**

Source: Le conseil écologique danois.



# SOURCES DE POLLUTION

Pour évaluer avec précision la pollution provenant des différentes sources de l'aéroport de Copenhague, une étude détaillée des émissions provenant de sources de pollution retenues par les modèles de calcul sur la pollution de l'aéroport a été réalisée.

Il apparaît clairement sur la figure qu'environ 90% des particules ultrafines proviennent de sources dans l'aéroport. Cela est exactement le contraire pour les particules fines, où le  $\text{NO}_x$  est réparti uniformément entre les sources à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de l'aéroport. En outre, il est clair que les moteurs diesel des opérations de manutention sont dans l'aéroport la source dominante contribuant à la pollution aux  $\text{NO}_x$  et aux particules fines. Cependant, les moteurs d'avion (moteurs principaux et APU) contribuent de manière significative à la pollution aux  $\text{NO}_x$  ainsi qu'aux particules fines. La contribution du trafic routier dans l'aéroport est insignifiante.

Une quantification des sources de particules ultrafines n'a pas été réalisée. Mais tant les moteurs d'avion que les moteurs diesel sont susceptibles de contribuer sensiblement à la pollution aux particules ultrafines dans l'aéroport. La source dominante dépend du lieu et de l'activité locale, c'est-à-dire du nombre de moteurs diesel par rapport au nombre de moteurs d'avion en utilisation. Durant les opérations de manutention à l'aéroport d'Aalborg (Figure 8), les moteurs diesel augmentent le niveau basique de particules ultrafines jusqu'à environ 55.000 particules par  $\text{cm}^3$  sur 22 minutes. Si la pollution est déduite de la concentration totale minute par minute, les moteurs d'avion contribuent pour environ 105.000 particules par  $\text{cm}^3$  en moyenne sur 22 minutes. Les moteurs d'avion contribuent ainsi pour 1/3 à l'exposition totale de la concentration de particules ultrafines, et les moteurs diesel y contribuent pour 1/3 durant la situation spécifique de manutention.

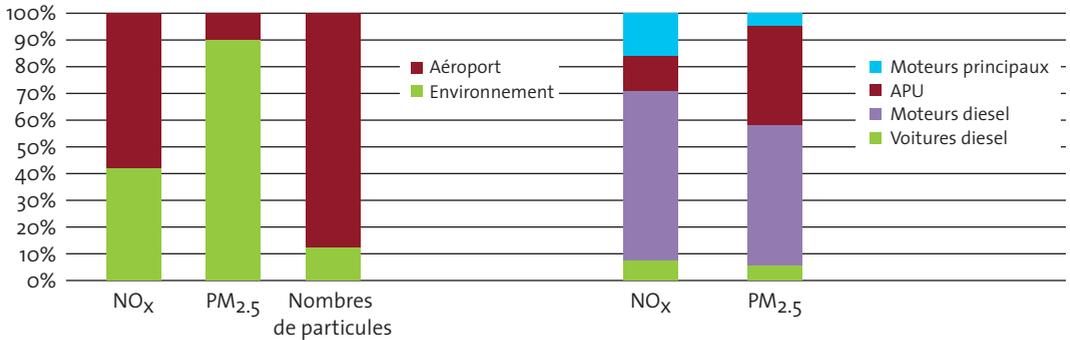


Figure 9 : Sources de pollution dans l'aéroport de Copenhague

A gauche : des particules ultrafines sont produites dans l'aéroport. A droite : tant les moteurs diesel pour la manutention, que les moteurs d'avion (moteurs principaux et APU) contribuent sensiblement à la pollution dans l'aéroport.

Référence : DCE à l'université d'Aarhus, 2011

### Encadré 2: L'aéroport de Copenhague a une politique en matière de moteurs durables

L'aéroport de Copenhague et les compagnies opérant dans l'aéroport se sont mis d'accord sur des objectifs contraignants concernant les moteurs durables. Un pourcentage, augmentant continuellement, de moteurs dans l'aéroport doit correspondre à des moteurs durables. Le but est d'augmenter le remplacement des vieux moteurs utilisés pour la manutention et le chargement par de nouveaux moteurs moins polluants (Cf. tableau 3). La définition de moteurs durables est revue car des moteurs moins polluants sont développés.

## SOLUTIONS A LA POLLUTION

Le point clé concerne la manière de réduire l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines, étant donné que les particules ultrafines sont considérées comme étant le défi sanitaire majeur de l'aéroport dans le cadre de la pollution de l'air. De plus, la réduction de l'exposition aux particules ultrafines pourrait réduire également l'exposition aux autres polluants.

Comme mentionné précédemment, les sources principales de particules ultrafines sont les moteurs d'avion (moteurs principaux et APU) et les moteurs diesel. La source dominante dépend du lieu et de l'activité locale, c'est-à-dire du nombre de moteurs diesel par rapport aux moteurs d'avion en utilisation. Mais d'autres facteurs jouent un rôle, comme la teneur en soufre des carburateurs, et le placement spécifique des moteurs diesel locaux lors d'une opération de manutention, etc.

Ces solutions peuvent être divisées en deux catégories principales :

1. Les solutions pour éviter ou limiter la formation de pollution
2. Les solutions pour éviter ou limiter l'exposition des travailleurs.

### Limiter la formation de la pollution

Une partie significative des particules ultrafines formées dans les moteurs principaux et les APU est soupçonnée

d'être des particules de sulfate. La formation de particules ultrafines peut donc être limitée en réduisant la teneur en soufre des carburateurs. Cela doit être décidé par les organisations internationales concernées. Une autre possibilité consiste à augmenter l'efficacité des moteurs et à optimiser les moteurs afin de réduire la formation de particules ultrafines. L'efficacité énergétique et les réductions des émissions sont déjà un domaine clé pour l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI). Cependant, un accent spécifique sur la réduction des émissions de particules ultrafines des avions (comme une limite du nombre de particules pour les voitures diesel euro 5, voir tableau 3) stimulerait cette évolution.

De nombreux moteurs diesel utilisés pour la manutention et le chargement peuvent être remplacés par des moteurs diesel ou des moteurs électriques plus récents (Figure 10, à gauche). Remplacer de vieux moteurs diesel avec de nouveaux moteurs diesel (étape IIIB) réduirait sensiblement les émissions de particules fines (voir tableau 3) et ainsi, toutes choses étant relatives, cela réduirait également les émissions de particules ultrafines (Encadré 2). En outre, l'électricité pour les avions peut être directement livrée à partir de l'alimentation centrale en énergie au lieu d'utiliser un groupe de batterie de parc (GPU). Ceci nécessite de l'électricité aux portes et des GPU électriques utilisés comme rallonges (Figure 10 à droite)



Figure 10: l'électricité peut aujourd'hui remplacer la plupart des moteurs diesel. Les moteurs électriques ne provoquent pas de pollution locale.



### Limiter l'exposition des travailleurs

Généralement, le moyen de limiter l'exposition des travailleurs est de contenir la propagation des particules ultrafines loin des lieux où les gens travaillent. Une autre possibilité est, bien entendu, de protéger les travailleurs avec des protections respiratoires ou des masques à gaz, pour empêcher l'inhalation de la pollution. Cependant, de tels équipements augmenteraient le risque d'accidents physiques au travail, rendraient difficile et inefficace le travail, et poseraient d'autres risques sanitaires de maladies aiguës pulmonaires graves. L'approche ci-dessous vise donc à éviter la propagation des particules ultrafines.

La meilleure solution est de contenir la pollution et de l'empêcher de sortir de l'avion. Cependant, les filtres à particules pour les moteurs d'avions (moteurs principaux et les APU) n'ont pas encore été développés. L'aspect sécuritaire fait du développement de filtres pour les moteurs principaux un défi unique. Cependant, les filtres pourraient probablement être développés pour les APU. Une autre possibilité est d'éviter d'utiliser les moteurs d'avion près des endroits où les gens travaillent, par exemple en utilisant un tracteur électrique d'avion pour faire circuler l'avion vers le décollage (Figure 11). Si le repoussage est impossible, alors l'avion

peut circuler vers/de la piste en utilisant seulement un moteur principal (deux moteurs principaux pour les quadrimoteurs), ce qui réduirait aussi les émissions. Par ailleurs, l'avion pourrait faire marche arrière (au sol) vers le décollage en envoyant les émissions vers la piste, là où il n'y aurait que peu ou pas de personnel. En outre, les marques de décollage peuvent être déplacées vers des endroits plus éloignés, limitant les risques que l'exposition des travailleurs à la pollution des moteurs d'avions n'atteigne les travailleurs. Cependant, il est important que le déplacement des marques de décollage n'augmente pas avant le décollage le temps d'attente, qui allongerait le temps où les moteurs et les APU sont allumés. En attendant le plus longtemps possible avant d'allumer l'APU, l'exposition des travailleurs peut être réduit (Encadré 3). Ceci nécessite une ventilation et une climatisation extérieure efficace aux portes, et que la capacité corresponde à la demande actuelle.

20



Figure 11 : les tracteurs électriques d'avions éliminent les émissions locales. L'utilisation d'un tracteur électrique d'avions pour faire circuler les avions vers le décollage élimine une source de pollution locale importante.

De nombreux moteurs diesel utilisés pour la manutention et le chargement peuvent être modernisés avec des filtres à particules standard qui éliminent les particules ultrafines (Figure 12). Cependant, les expériences de l'aéroport de Copenhague soulignent qu'une réduction satisfaisante n'est pas obtenue automatiquement et que les filtres doivent être choisis avec soin. Une autre possibilité consiste à couper les moteurs diesel, quand cela est possible, en organisant des campagnes « coupez le moteur » adressées aux employés travaillant sur ces moteurs diesel durant la manutention et le chargement des avions. Dans certains véhicules cela nécessite des batteries supplémentaires et des chauffages. Lors de la formation de nouveaux travailleurs, on pourrait plus précisément s'attacher à l'importance de couper les moteurs durant les périodes d'inactivité. De plus, les moteurs diesel pourraient être utilisés à des endroits et d'une manière où l'exposition des employés aux gaz d'échappement est limitée. On pourrait également rappeler aux employés de ne pas rester plus longtemps que nécessaire dans des endroits critiques.

**Figure 12 : Les filtres à particules peuvent éliminer les particules ultrafines**  
Les filtres pour les moteurs diesel doivent être testés pour garantir une efficacité satisfaisante concernant les particules ultrafines.

**Encadré 3 : L'aéroport de Copenhague a une politique d'utilisation de l'APU**

L'aéroport de Copenhague a des règles d'utilisation de l'APU pour limiter la pollution de l'air. Les APU ne peuvent être utilisés que cinq minutes après que l'avion soit « sur cale » et cinq minutes avant que l'avion quitte les cales. Mais en général, l'usage de l'APU devrait être limité autant que possible. Cependant, des exceptions existent selon la température extérieure, le type d'avions, etc. Toute violation est signalée à l'inspecteur de la sécurité, et sera l'objet d'une enquête plus approfondie pour s'assurer que tout le monde respecte le règlement.



**Encadré 4 : La campagne « Coupez le moteur » à l'aéroport de Copenhague**

L'aéroport de Copenhague mène depuis cinq ans une campagne « Coupez le moteur » visant les personnes travaillant sur des moteurs diesel et conduisant dans l'aéroport. Lors de la formation de nouveaux employés, l'accent est mis sur l'importance de couper le moteur. Le but est de limiter la pollution de l'air provenant des moteurs fonctionnant à l'arrêt. Ceux-ci doivent être coupés après maximum une minute. Cependant, des exceptions existent car certains moteurs diesel doivent être allumés pour marcher. Toute violation est reportée, fait l'objet d'une enquête, et est sanctionnée.





Une troisième possibilité consiste à protéger les employés contre la pollution. La figure 13 montre les mesures de particules ultrafines provenant du hall à bagages de l'aéroport d'Aalborg, en comparant « porte fermées » et « portes ouvertes » (les jours ensoleillés pour éviter les surchauffes) vers le hall à partir de 1-2 minutes avant le décollage jusqu'à 16 minutes après le décollage.

Il ressort clairement de la figure 13 que la porte devrait être fermée pour se protéger contre les particules ultrafines. Les surchauffes des jours ensoleillés peuvent être évitées par des protections contre le soleil, permettant

de garder les portes fermées. Avec une porte fermée la concentration moyenne de particules ultrafines est d'environ 18.000 particules par  $\text{cm}^3$ , tandis que la concentration moyenne avec une porte ouverte est d'environ 142.000 particules par  $\text{cm}^3$ . La porte réduit l'exposition dans le hall à bagages de 90 pourcents durant une période de pollution au décollage typique.

22

### Particules dans le hall à bagages Particules par $\text{cm}^3$

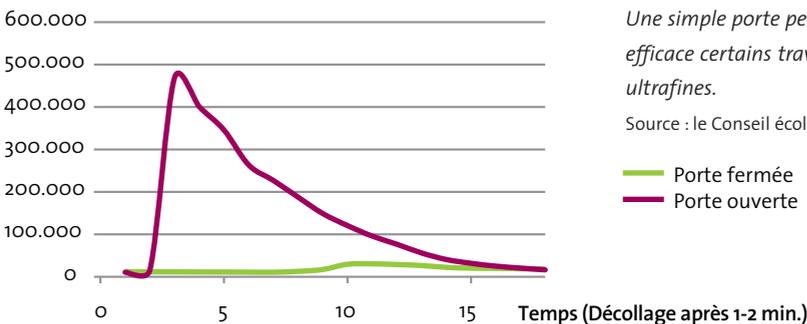


Figure 13: Les travailleurs doivent être protégés des particules ultrafines

*Une simple porte peut protéger de manière efficace certains travailleurs contre les particules ultrafines.*

Source : le Conseil écologique danois.

— Porte fermée  
— Porte ouverte

## COOPERATION REUSSIE

Depuis de nombreuses années la pollution de l'air dans l'aéroport de Copenhague est un sujet d'actualité pour les employés. L'attention s'est intensifiée en 2006 quand une étude internationale a détaillé l'occurrence liée au travail de dommages de l'ADN chez les travailleurs de l'aéroport. Cependant, la situation commença à évoluer deux ans plus tard, en 2008, quand l'Office national des accidents du travail et des maladies professionnelles au Danemark a reconnu qu'un premier cas de cancer d'un travailleur de l'aéroport serait très probablement provoqué par une pollution de l'air liée au travail. Par conséquent, un groupe de travail officiel, composé de responsables de l'aéroport de Copenhague, de compagnies opérant dans l'aéroport, et de syndicats représentant les travailleurs de l'aéroport, a été constitué. Le groupe de travail est coordonné par l'aéroport.

Le groupe de travail a décidé rapidement que la première étape était de mener une enquête détaillée de la pollution au sein de l'aéroport, où la pollution de l'air la plus élevée était attendue et où beaucoup de travailleurs passent la plupart de leur journée de travail. Le département de science environnementale de l'université d'Aarhus a été embauché pour faire les mesures au début de l'automne 2009. Le département est l'unité de recherche de pointe en mesures stationnaires de la qualité de l'air et en modélisation de la pollution de l'air.

En 2010, 3 F, La fédération syndicale unie des travailleurs danois, a décidé d'embaucher un spécialiste de la pollution de

l'air venant du Conseil écologique danois, afin de conseiller le groupe de travail. Le Conseil écologique danois avait de l'expérience dans les mesures de particules ultrafines provenant du trafic routier, avec des appareils de mesure mobiles. Par la suite la même année, l'aéroport de Copenhague embauche le Conseil écologique danois pour leur expliquer les mesures mobiles et réaliser des mesures de l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines parallèlement à des mesures stationnaires.

En automne 2010, le premier rapport spécial de mesures à partir des mesures concernant les particules ultrafines a été publié. Le rapport détaille des concentrations de particules ultrafines beaucoup plus élevées dans l'aéroport comparées aux voies urbaines à trafic dense. Le rapport a reçu beaucoup d'attention dans la presse. Début 2011 des résultats supplémentaires provinrent des enquêtes sur l'exposition des travailleurs, soulignant une fois de plus que les particules ultrafines sont un défi majeur. Ceci a complètement changé la priorité du groupe de travail. Tout le monde a reconnu le

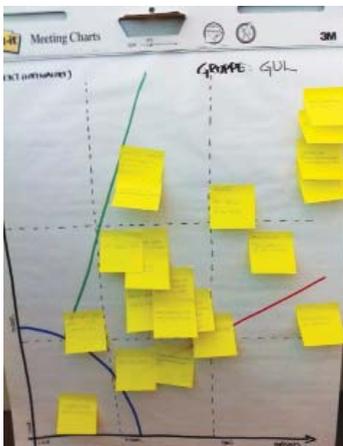


défi des particules ultrafines et la priorité s'est concentrée sur les solutions.

### Une coopération axée sur les solutions

Les mesures montrent clairement que tant les avions que les moteurs diesel ont contribué à la pollution avec des particules ultrafines. Le groupe de travail a organisé des ateliers où tous les membres du groupe de travail ont échangé des idées en petits groupes pour trouver des solutions. Certaines suggestions ont été mises en oeuvre immédiatement (sensibilisation au règlement sur les groupes auxiliaires de puissance, campagnes « coupez le moteur », etc.), tandis que des suggestions plus complexes ont été étudiées en détail (circulation au sol des avions vers le décollage/venant de l'atterrissage en utilisant seulement un moteur principal, déplacement des marques de décollage, etc.), pour évaluer les effets tant de la pollution de l'air que de la sécurité.

Tous les membres du groupe de travail étaient très enthousiastes et étaient déterminés à coopérer et utiliser leurs différents savoirs et ressources de façon synergique pour trouver, discuter, et tester de nouvelles solutions et idées pour réduire l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines. La plupart des actions suggérées décrites ci-dessus pour réduire l'exposition des travailleurs sont le résultat de cette coopération unique entre les responsables de l'aéroport, les compagnies opérant dans l'aéroport, et les syndicats représentant les travailleurs.



## “A l'aéroport de Copenhague, personne ne devrait être malade à cause de son travail“

Kristian Duurhus, manager,  
Aéroport de Copenhague

Les actions clés suivantes ont été accomplies pour réduire la pollution des particules ultrafines dans l'aéroport de Copenhague :

- > Un investissement en GPU électriques (Figure 10 à droite).
- > Des exigences pour les moteurs durables (Encadré 2)
  - > Une augmentation de la part de moteurs (durables) plus récents.
  - > Des filtres à particules modernisés sur les véhicules de déneigement.
  - > Des batteries et des chauffages installés dans les véhicules pour éviter le fonctionnement à vide.
  - > Des campagnes pour s'assurer que la réglementation sur l'APU soit respectée (Encadré 3).
- > Des campagnes pour s'assurer que les moteurs sont coupés quand cela est possible.
- > Des règles sur la circulation des avions sur le sol vers le décollage/venant de l'atterrissage sur un moteur.
- > Des mesures permanentes pour surveiller et améliorer la qualité de l'air.
- > Un plan d'action avec des dates limites et un partage clair des responsabilités.

Les mesures et le groupe de travail continueront jusqu'à ce que le défi des particules ultrafines soit résolu. Une étude de cohorte exhaustive réalisée de 2012-2015 clarifiera les maladies éclaircira les maladies chez les travailleurs actuels et anciens de l'aéroport.

En raison des mesures effectuées (Figure 6 et Figure 13), l'aéroport d'Aalborg a décidé que tous les avions devaient être déplacés au sol vers le décollage par des tracteurs d'avions et que les nouveaux moteurs devaient être électriques si possible.



## RECOMMANDATIONS

L'exposition des travailleurs aux particules ultrafines d'échappement provenant des avions et des moteurs diesel dans les aéroports est un défi lié au travail urgent et négligé, affectant potentiellement la santé de millions de personnes. La solution est un effort ciblé pour limiter l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines, de la part des organisations internationales concernées et dans tous les aéroports.

### Organisations internationales

L'Organisation de l'aviation civile internationale, le Conseil international des aéroports, la Fédération européenne des travailleurs des transports, et la Commission européenne sont des acteurs importants. Il est fortement recommandé à ces organisations de promouvoir un meilleur environnement de travail dans les aéroports :

1. En étudiant les possibilités de réduire de manière significative la teneur en soufre des carburateurs.
2. En prévoyant une valeur limite contraignante pour les émissions de particules ultrafines (mesurées en nombre) provenant des nouveaux moteurs d'avions (tant les moteurs principaux que les APU).
3. En fixant une valeur limite pour les particules ultrafines dans la loi sur la santé et la sécurité au travail.
4. En établissant une obligation pour les aéroports de surveiller le nombre de particules ultrafines.
5. En développant et exigeant des APU plus propres, par exemple avec des filtres à particules, des piles à combustible, etc.
6. En lançant des études de cohorte détaillées des maladies chez les employés actuels et anciens de l'aéroport.

7. En soutenant les efforts dans tous les aéroports pour réduire l'exposition des travailleurs aux particules ultrafines (voir ci-dessous), par exemple en mettant en forme des plateformes Web, des conférences, et du matériel d'information détaillé pour le partage des connaissances concernant les meilleures pratiques, les meilleures études, les nouveaux moteurs, etc.

### Tous les aéroports

Afin d'améliorer l'environnement de travail aussi vite que possible, il est recommandé à chaque aéroport :

1. D'établir un comité se concentrant sur les particules ultrafines, composés d'acteurs importants, par exemple des gestionnaires de l'aéroport, des compagnies opérant dans l'aéroport, des syndicats, etc.
2. De surveiller le nombre de particules ultrafines et de réduire l'exposition des employés aux particules ultrafines en introduisant, au minimum, les actions décrites dans cette brochure au niveau de l'aéroport.
3. De mettre en oeuvre des objectifs spécifiques et mesurables pour réduire les particules ultrafines, avec des dates limites.
4. De suivre les efforts internationaux généraux pour réduire l'exposition des employés aux particules ultrafines et examiner les actions spécifiques pour limiter la pollution des particules ultrafines dans l'aéroport.

3F – La fédération syndicale unie des travailleurs danois se fera un plaisir d'aider les aéroports à améliorer la qualité de l'air et l'environnement de travail. Contact : Lars Brogaard, (+45) 21 49 09 78 / lars.brogaard@3f.dk

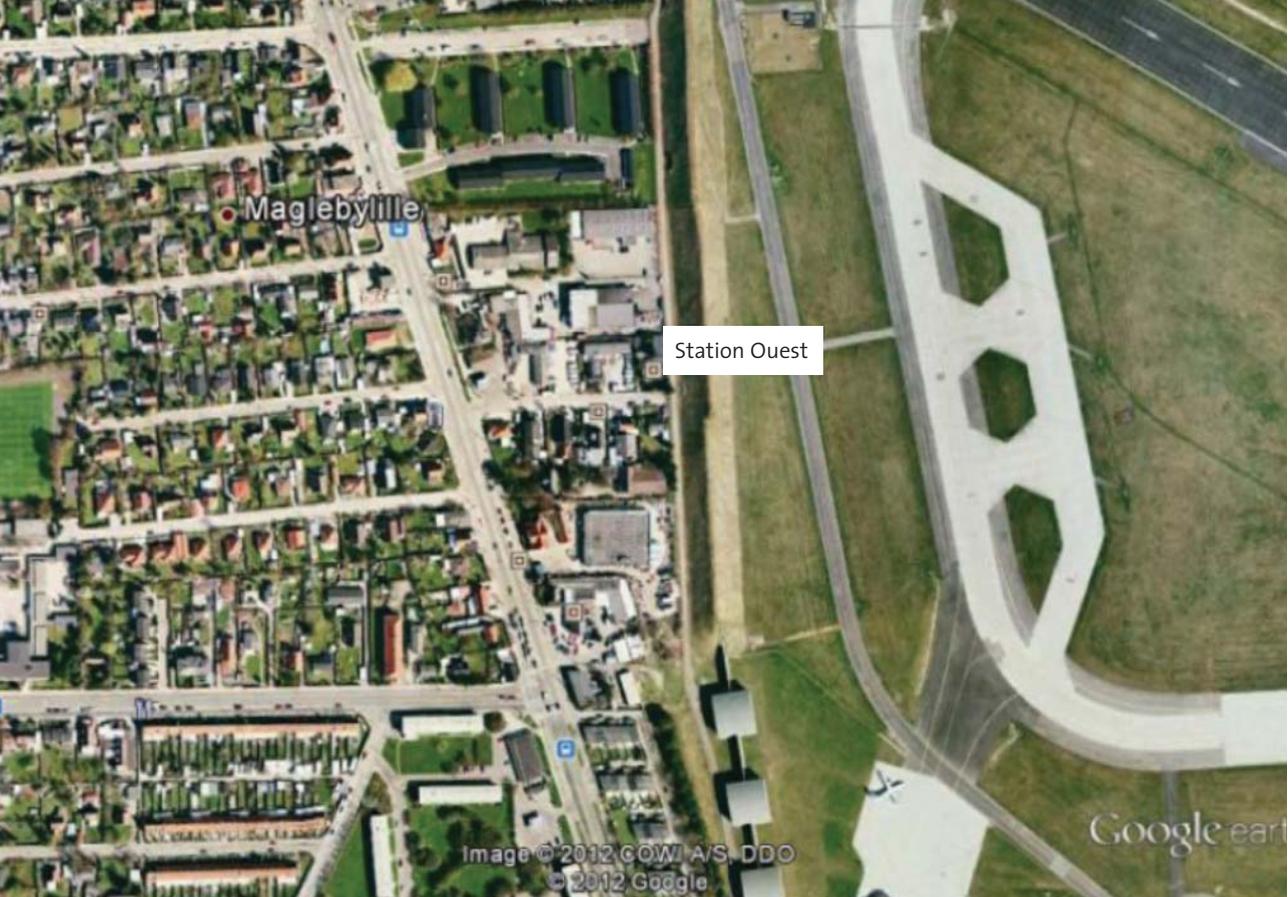


Figure 14 : l'aéroport de Copenhague peut accroître la pollution par les particules dans la ville voisine.

## EFFETS A L'EXTERIEUR DES AEROPORTS

La pollution de l'air provenant des aéroports peut affecter la qualité de l'air dans les villes ou dans le voisinage des aéroports.

Les mesures (Tableau 4) indiquent que la concentration de Benzopyrène au centre de l'enceinte de l'aéroport de Copenhague (Station B4) représente moins de la moitié de la concentration sur les voies urbaines à trafic dense (HCAB), tandis que les concentrations de benzène et le COV total sont proches de celles des environnements urbains (HCOE) à trafic dense mais bien en dessous des valeurs limites. Les concentrations de dioxyde de soufre sont proches du niveau des voies urbaines à trafic dense mais bien en dessous des valeurs limites. La pollution contenant des HAP, des COV, et du dioxyde de soufre provenant de l'aéroport ne semble pas alarmant par rapport à la qualité de l'air à l'extérieur de l'aéroport.

Les mesures de la station Ouest (Tableau 4), près des maisons de la ville de Maglebylille, montrent que la concentration de particules fines et de dioxyde d'azote est proche de celle des environnements urbains, mais plus élevée que celles révélées par les mesures provenant de la rase campagne (Lille Valby), tandis que la concentration de particules ultrafines est de 25% plus basse sur les voies urbaines à trafic dense (sur une base de 24h). En prenant en compte les mesures des heures de jour (6-22) provenant de la station Est, la concentration des particules ultrafines à la station Ouest durant les mêmes heures devrait dépasser la concentration sur les voies urbaines à trafic dense. La pollution avec des particules fines et ultrafines provenant de l'aéroport pourrait ainsi particulièrement affecter la qualité de l'air dans la ville qui se trouve à plusieurs centaines de mètres (figure 14).

# INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES

## Contacts:

Kaare Press-Kristensen, le Conseil écologique danois, (+45) 22 81 10 27 / karp@env.dtu.dk

Lars Brogaard, 3F - Fédération syndicale unie des travailleurs danois, (+45) 21 49 09 78 / Lars.brogaard@3F.dk

Jesper Abery Jacobsen, Aéroport de Copenhague, (+45) 20 44 05 35 / jjacobsen@cph.dk

Thomas Ellermann, Département de science environnementale à l'Université d'Aarhus (+ 45) 87 15 85 26 / tel@dmu.dk



# LA POLLUTION DE L'AIR DANS LES AEROPORTS

## *Particules ultrafines, solutions*

Les personnes travaillant près des gaz d'échappement des moteurs d'avions et/ou de moteurs diesel sont exposées à un mélange complexe de pollution de l'air potentiellement nuisible pour la santé. L'Office national des accidents du travail et des maladies professionnelles au Danemark a reconnu que plusieurs cas de cancer ont été probablement provoqués par la pollution de l'air dans les aéroports. La pollution liée au travail est une menace grave et surveillée. Sur le long terme tout le monde est perdant : employeurs et employés.

La préoccupation principale concerne les particules de gaz d'échappement ultrafines provenant des avions et des moteurs diesel. Les particules diesel ultrafines sont connues pour provoquer des cancers, des maladies cardiaques, des thromboses, des hémorragies cérébrales, et des maladies des voies aériennes (bronchites, BPCO), augmentant par conséquent le risque de maladie grave et de décès prématuré lié au travail. La toxicité des particules ultrafines des avions est cependant très peu connue.

Cette brochure présente une nouvelle étude exhaustive des aéroports danois en se concentrant sur la pollution de l'air dans les aéroports, les sources de pollution, l'exposition des employés aux particules ultrafines, et les mesures pour limiter la pollution. Cette brochure est par conséquent à la pointe en ce qui concerne la pollution de l'air dans les aéroports. En outre, cette brochure illustre la réussite d'une coopération axée sur la recherche de solutions impliquant l'Aéroport de Copenhague, les compagnies opérant dans l'aéroport et les syndicats représentant les employés de l'aéroport.

Cette brochure a pour objectif premier d'inspirer les décideurs et les autres parties prenantes dans les organismes nationaux et internationaux, ainsi que dans chaque aéroport, pour que des actions soient entreprises pour réduire l'exposition des salariés à la pollution de l'air aux particules ultrafines émises par les avions et les moteurs diesel.



THE ECOLOGICAL COUNCIL