



430, rue de la Belle Eau  
Z.I. des Landiers Nord  
73000 CHAMBERY

Tél. : 04 79 69 05 43  
Fax : 04 79 62 64 59

[air-aps@atmo-rhonealpes.org](mailto:air-aps@atmo-rhonealpes.org)

Informations Qualité de l'air

Tél. : 04 79 69 96 96  
[www.atmo-rhonealpes.org](http://www.atmo-rhonealpes.org)



## Janvier 2002 - Mars 2004

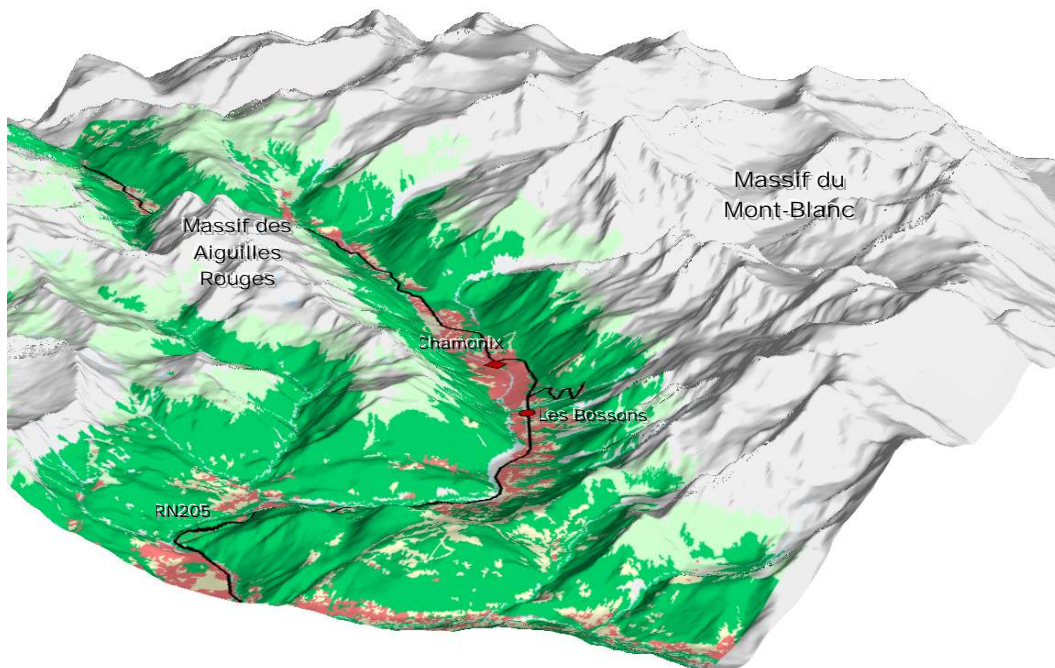
# Bilan de la qualité de l'air dans la vallée de Chamonix

Juin 2004



Chargée de la mission de surveillance de la qualité de l'air dans les départements savoyards et de l'Ain, l'association *L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie (Air-APS)* dispose d'une station de mesures permanente à Chamonix depuis 1998 : installée en centre-ville, elle a pour but d'estimer la qualité de l'air moyenne de l'agglomération. Influencée par différents rejets de polluants (chauffage individuel et collectif, trafic routier urbain,...), elle répond aux critères d'une station de type "urbain" : en cela, elle n'a pas pour vocation de déceler l'impact d'une source spécifique sur la qualité de l'air. Par conséquent, elle ne peut être utilisée pour évaluer les incidences directes du trafic routier international sur la qualité de l'air.

C'est pourquoi l'Air-APS a mis en place en décembre 2001 une station dédiée à l'observation de la pollution automobile, en bordure immédiate de la RN205, au niveau du village des Bossons. Ce rapport se propose de dresser le bilan de la qualité de l'air dans la vallée de Chamonix, au regard des mesures récoltées sur ces deux sites différents durant les différentes configurations de circulation liée à la réouverture progressive du tunnel du Mont-Blanc.



## Les polluants mesurés

- **Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)**

Ils émanent de toutes les combustions à haute température, par combinaison de l'oxygène et de l'azote présents dans l'air ou dans les combustibles. On les attribue le plus souvent aux véhicules à moteur ainsi qu'aux installations de combustion industrielles et domestiques. La formule chimique NO<sub>x</sub> rassemble le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) mais il est bon de rappeler que seul le NO<sub>2</sub> est considéré comme un polluant au regard de ses effets sur la santé humaine.

- **Les poussières en suspension (PM10)**

Dans l'atmosphère, seules les poussières les plus fines (inférieures à 15 micromètres) restent en suspension dans l'air. Parmi elles, celles dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 micromètres (µm) parviennent alors à pénétrer l'appareil respiratoire. Symbolisées par le sigle "PM10" (terme anglophone signifiant "Particulate Matter 10µm"), ce sont elles qui servent d'indicateur global pour cette pollution correspondant à la mesure des poussières. Les poussières peuvent être d'origine naturelle (érosion, volcanisme...) ou anthropique. Dans ce cas, les particules en suspension dans l'air proviennent à la fois de l'industrie (procédés industriels et chaufferies), du chauffage et du trafic automobile (suies, usure des pièces mécaniques et des pneumatiques). Les véhicules diesels sont les principaux émetteurs routiers et génèrent de très fines particules (d'un diamètre inférieur à 0,5 µm).

## La réglementation

En France, la réglementation relative à la qualité de l'air ambiant est régie par les décrets d'applications des directives européennes. Ces dernières s'appuient sur les recommandations formulées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

	Norme	Paramètre	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Dépassements autorisés
NO <sub>2</sub>	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	40	
	Valeur limite	Moyenne annuelle	54 - 40*	
		Moyenne horaire	200	175 heures/an
		Moyenne horaire	270 - 200*	18 heures/an
	Seuil d'information	Moyenne horaire	200	
	Seuil d'alerte	Moyenne horaire	400	
PM10	Objectif de qualité	Moyenne annuelle	30	
	Valeur limite	Moyenne journalière	60 - 50**	35 jours/an
		Moyenne annuelle	43 - 40**	

\* Valeurs dégressives de 2003 à 2010  
\*\* Valeurs dégressives de 2003 à 2005

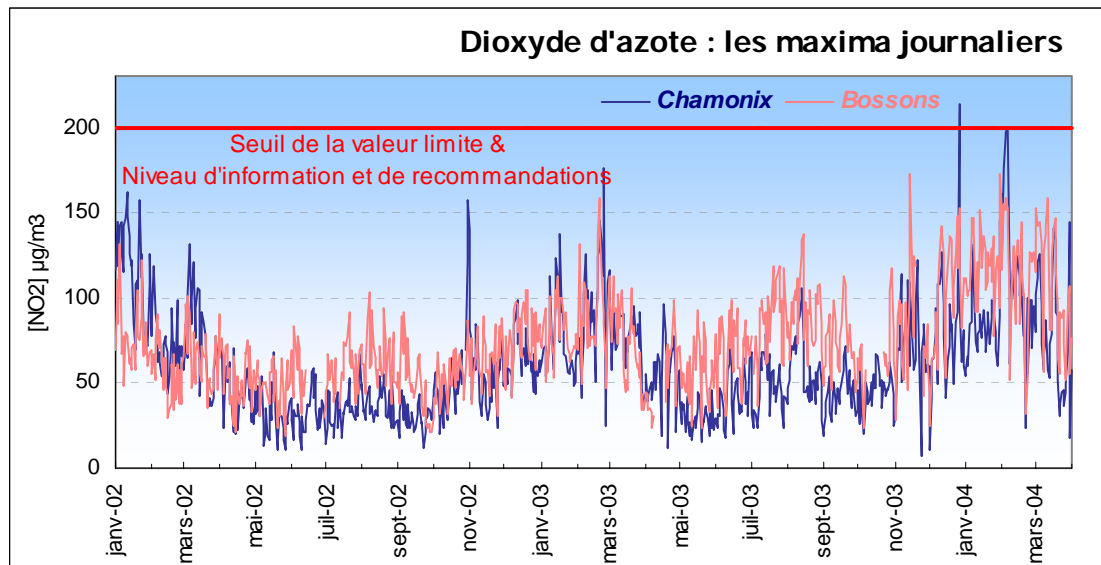
**Les objectifs de qualité** correspondent aux concentrations pour lesquelles les effets sur la santé sont réputés négligeables et vers lesquelles il faudrait tendre en tout point du territoire dès lors que les valeurs sont au-dessus.

**Les valeurs limites** sont les concentrations que l'on ne peut dépasser que pendant une durée limitée : des mesures permanentes pour réduire durablement les émissions doivent alors être prises par les Etats membres de l'Union Européenne (institution qui définit les valeurs limites) afin de respecter systématiquement ces valeurs.

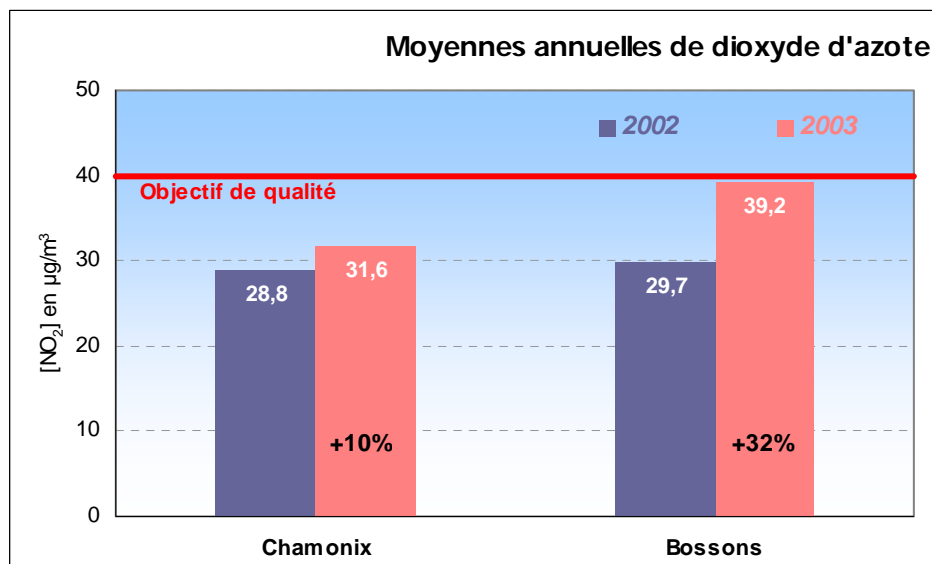
Quand **le seuil de recommandation et d'information** est atteint, les effets sur la santé des personnes sensibles (jeunes enfants, asthmatiques, insuffisants respiratoires et cardiaques, personnes âgées, ...) sont probables. Dès lors, un arrêté préfectoral définit la liste des organismes à informer et le message de recommandation sanitaire à diffuser auprès des médias.

Le **seuil d'alerte** se rapporte à des valeurs au-delà desquelles il y a un risque immédiat pour l'ensemble de la population. Un arrêté préfectoral détermine les mesures immédiates à prendre pour réduire les émissions de polluants (ralentissement ou arrêt de l'activité industrielle, limitation de la vitesse ou arrêt de la circulation, ...) et les messages à diffuser auprès des médias pour avertir les usagers.

## 1. Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>)



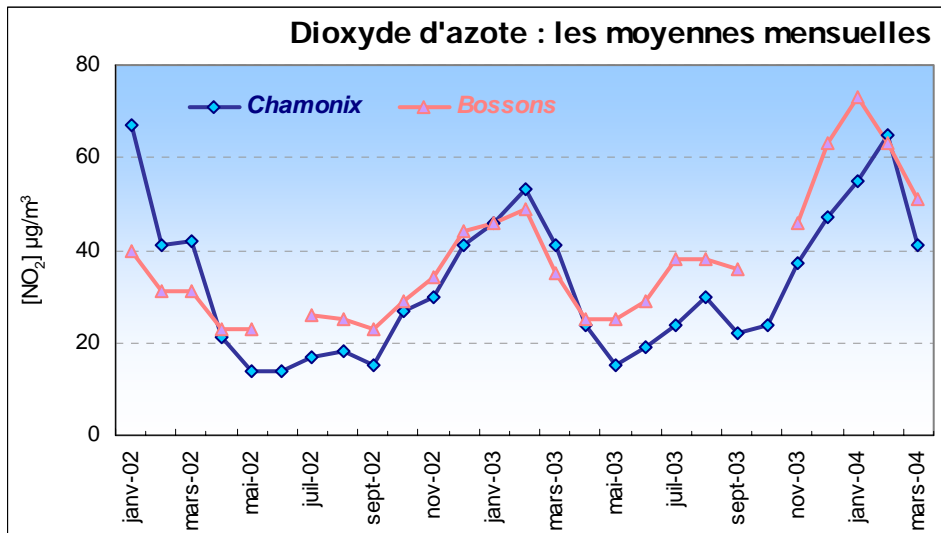
Depuis la mise en service de la station des Bossons courant décembre 2001, aucun franchissement du niveau d'informations ou du seuil de la valeur limite<sup>1</sup> n'a été observé sur ce site. Pour la station fixe de référence implantée au centre-ville de Chamonix, seule une valeur horaire est supérieure à 200µg/m<sup>3</sup>, avec une concentration de 213µg/m<sup>3</sup>. Ce dépassement du niveau d'informations ne s'est produit que durant une heure le 26 décembre 2003, et il n'a donc pas suffi pour activer la procédure préfectorale<sup>2</sup>. Sur les deux sites, c'est en hiver que les concentrations les plus fortes de NO<sub>2</sub> sont enregistrées (maximum de 213µg/m<sup>3</sup> à Chamonix et de 173 aux Bossons).



En dépit d'une augmentation des moyennes annuelles entre 2002 et 2003, particulièrement significative aux Bossons, l'objectif de qualité de 40µg/m<sup>3</sup> est malgré tout respecté sur les deux points de mesures de la vallée. En conséquence, toutes les valeurs concernant le dioxyde d'azote sont donc conformes à la réglementation.

<sup>1</sup> Ce seuil est établi à 200µg/m<sup>3</sup> en moyenne horaire. Mais la valeur limite elle-même est dépassée si le seuil est atteint plus de 175 heures actuellement ou 18 heures à l'horizon 2010.

<sup>2</sup> L'arrêté préfectoral stipule en effet que le seuil de 200µg/m<sup>3</sup> doit être dépassé durant 2 heures dans un laps de temps de 3 heures consécutives pour déclencher la procédure d'informations et de recommandations à diffuser auprès de la population et des médias



L'examen des valeurs moyennes mensuelles permet de voir les grands cycles saisonniers et les principales tendances d'évolution. Elles confirment notamment ce cycle annuel hiver-été relativement marqué, avec des valeurs estivales supérieures aux Bossons, et des valeurs hivernales 2002 et 2003, supérieures à Chamonix. Durant, ces deux années, c'est le mois d'avril qui constitue la date "pivot" à partir de laquelle Chamonix enregistre des niveaux inférieurs à ceux des Bossons. Toutefois, cette remarque ne s'applique pas en 2004, puisque les valeurs des Bossons sont demeurées plus hautes que celles de Chamonix durant l'hiver.

Ces moyennes mensuelles montrent une élévation de saison en saison des concentrations de NO<sub>2</sub> aux Bossons, en hiver comme en été. Par contre, à Chamonix, les valeurs en NO<sub>2</sub> de l'hiver 2003 étaient en diminution par rapport à l'hiver 2002, avant de se réorienter à la hausse en 2004.

Deux éléments majeurs peuvent expliquer ces variations de la qualité de l'air d'une année à l'autre :

- la quantité de polluants injectée dans l'atmosphère, que l'on appelle les émissions (ou rejets) : plus elles sont importantes, plus la qualité de l'air est susceptible d'être altérée.
- le second facteur est météorologique : c'est lui qui, pour des émissions identiques, favorise une bonne ou une mauvaise qualité de l'air en dispersant ( par le vent, la pluie,...) ou en accumulant (absence de vent, stabilité de la masse d'air) les polluants présents dans l'atmosphère.

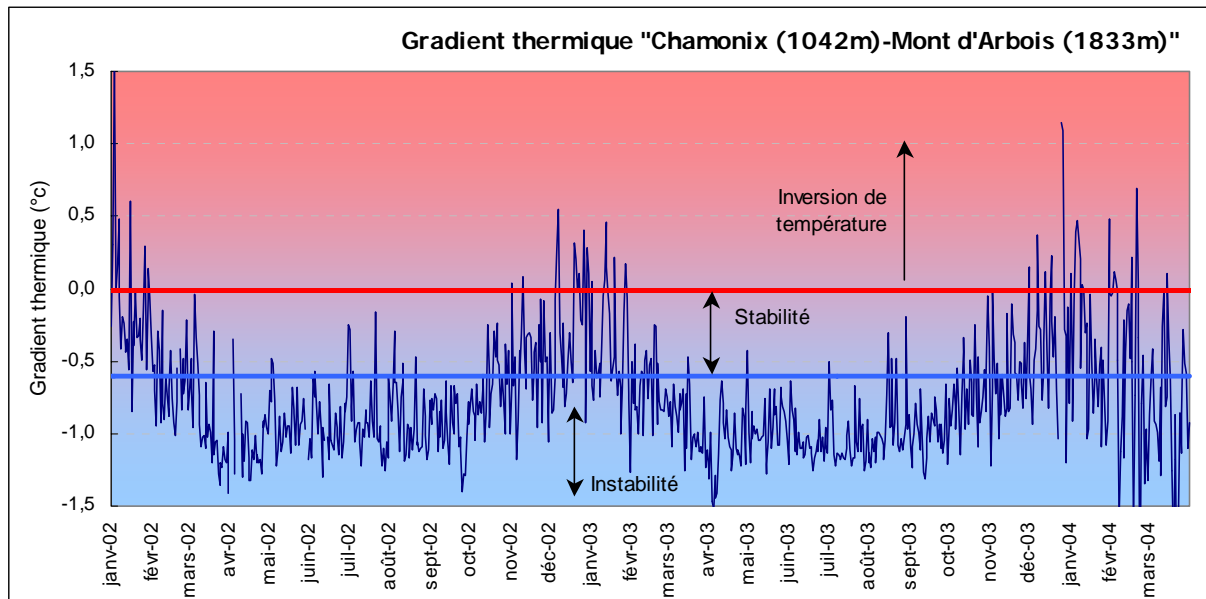
### 1.1. L'influence du paramètre "météo" à Chamonix...

Dans les vallées alpines, ce paramètre est extrêmement important. En effet, la topographie limite énormément l'influence des vents synoptiques, et la ventilation se résume la plupart du temps à des phénomènes d'origine locale (brises montantes ou descendantes). D'autre part, les périodes hivernales sont propices à une plus grande stabilité des masses d'air : cette stabilité limite le brassage de l'atmosphère en empêchant la dispersion des polluants sur un plan vertical.

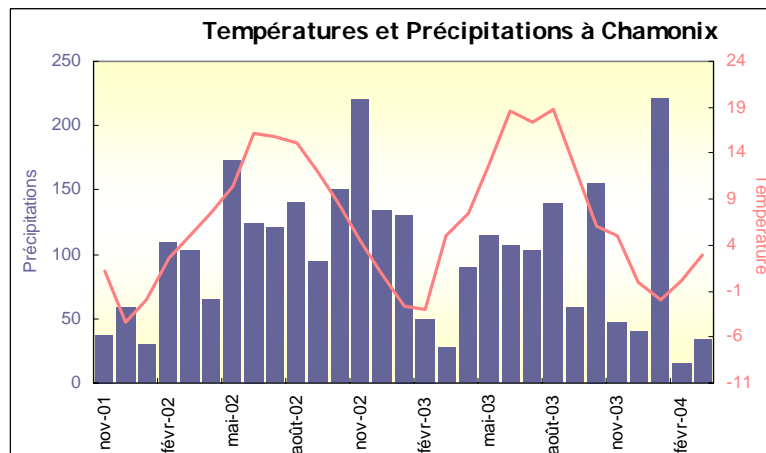
Le graphique ci-dessous montre les variations du gradient thermique<sup>3</sup> calculé entre les postes de mesures météorologiques de Chamonix et du Mont d'Arbois :

- l'instabilité est favorable à la dispersion verticale des polluants, et donc à une bonne qualité de l'air
- la stabilité et plus encore l'inversion de température, induisent au contraire une mauvaise dispersion, voire un blocage des polluants dans les basses couches de l'atmosphère : il en résulte inévitablement une dégradation de la qualité de l'air.

<sup>3</sup> Dans des conditions de stabilité normale ou neutre, le gradient thermique diminue de 0.65°C quand l'altitude augmente de 100m. Ce gradient calculé entre Chamonix (1042m) et le Mont d'Arbois (1833m) permet de distinguer les journées où le gradient thermique correspond à une phase d'instabilité de l'atmosphère (gradient inférieur à -0.65°C), de stabilité (gradient compris entre -0.65 et 0°C) ou même de stabilité absolue, donc d'inversion thermique (gradient supérieur à 0°C). Dans cette dernière situation, il fait plus chaud quand on s'élève en altitude.



On constate évidemment que l'hiver est propice aux phases de stabilité et l'été aux phases d'instabilité, ce qui induit le cycle annuel évoqué plus haut, à savoir des concentrations toujours plus fortes en hiver qu'en été : c'est donc bien le paramètre météorologique, représentée ici par le gradient thermique, qui en premier lieu rythme les évolutions de la qualité de l'air. Mais il est surtout intéressant d'observer que la stabilité a été moins marquée pendant l'hiver 2003 que durant les hivers 2002 et 2004, avec des inversions thermiques, moins nombreuses et moins fortes.



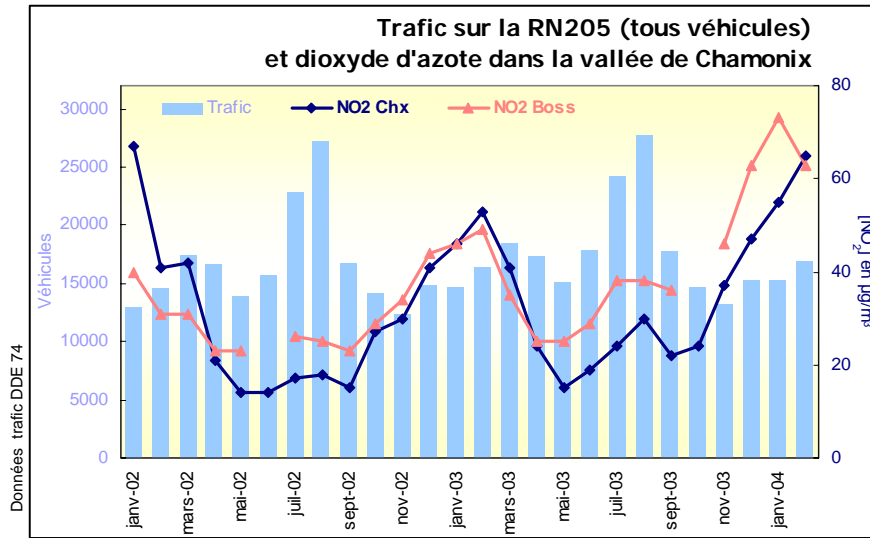
Cette instabilité s'est également traduite par des précipitations plus abondantes : comme le montre le graphe ci-dessus, leur cumul entre novembre 2002 février 2003 est quasiment le double de ce qu'il a été sur la même période en 2001-2002 et 2003-2004 (en dépit d'un mois de janvier 2004 très perturbé).

Par conséquent, instabilité plus fréquente et précipitations plus abondantes expliquent probablement en grande partie la diminution des teneurs hivernales enregistrées au centre de Chamonix.

Ce constat est néanmoins en contradiction avec l'augmentation des niveaux constatée aux Bossons : si le facteur météorologique n'est pas discriminant sur ce site, c'est donc que le facteur "émissions" a été prépondérant et qu'une hausse des rejets polluants en serait la cause.

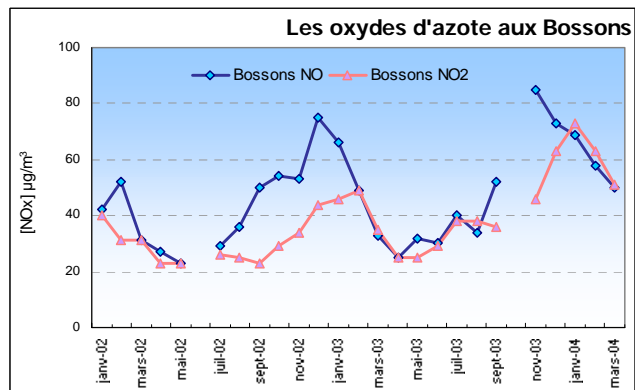
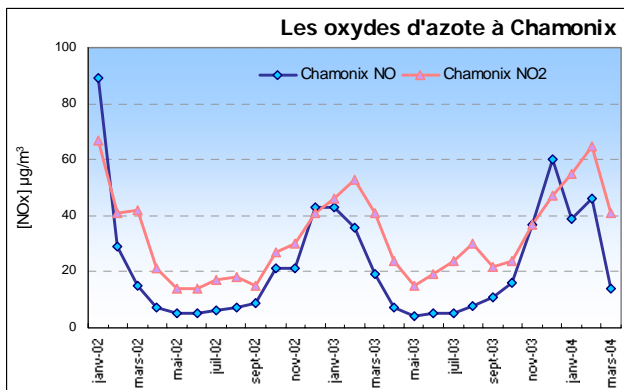


## 1.2. ... et du paramètre "trafic" aux Bossons



Si le site des Bossons paraît plus relié au trafic routier (tous véhicules) que Chamonix, le graphe ci-dessus ne montre pas de corrélation entre les moyennes mensuelles de comptages sur la RN205<sup>4</sup> et de teneurs en dioxyde d'azote : sur les deux sites de mesure, les concentrations sont minimales entre mai et octobre, au moment où le trafic routier enregistre ses pointes de trafics annuelles (juillet-août). Durant ces mêmes deux mois d'été, le trafic poids-lourds est certes à son plus bas niveau de l'année, mais c'est également à la même période que la météorologie estivale favorise l'existence de brises thermiques et de réactions chimiques conduisant à une meilleure dilution du dioxyde d'azote.

L'examen comparatif des deux graphes suivants, montrant la répartition du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) sur chacun des deux sites d'investigation, permet cependant de mieux comprendre les différences constatées entre Chamonix et les Bossons, et de mettre en évidence la plus grande dépendance de ce dernier au trafic routier :



On constate en l'occurrence que Chamonix enregistre toujours, sauf épisodiquement au cœur de l'hiver (décembre ou janvier), des niveaux de NO inférieurs à ceux du NO<sub>2</sub>. Au contraire, il y a plus de NO que de NO<sub>2</sub> aux Bossons. Si bien que pour une présence sensiblement équivalente de dioxyde d'azote, l'origine en est sans doute assez différente sur les deux sites.<sup>5</sup> Ainsi, le NO<sub>2</sub> de Chamonix a une origine plus "lointaine" que celui mesuré aux Bossons qui semble, lui, résulter uniquement des émissions produites par les véhicules circulant sur la RN205.

<sup>4</sup> D'après les données fournies par la DDE74 au poste de comptage situé à hauteur du tunnel des Chavants, sur la commune des Houches.

<sup>5</sup> En effet, le NO (monoxyde d'azote) est rejeté directement par les véhicules automobiles, alors que le NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) est davantage le produit de l'oxydation de ce NO avec les atomes d'oxygène présents dans l'air, à sa sortie du pot d'échappement. Cette réaction chimique se fait rapidement (généralement en quelques secondes, mais cela peut varier selon les conditions météorologiques) : une "forte" présence de NO indique par conséquent une source d'émission proche, ce composé n'ayant pas "eu le temps" de se transformer totalement en NO<sub>2</sub>. Au contraire, en s'éloignant de la source de pollution, le NO devient minoritaire au profit du NO<sub>2</sub> formé. Mais ce schéma demeure en partie théorique, car il fait partiellement abstraction des conditions météorologiques qui peuvent amener du NO<sub>2</sub> formé ailleurs ou disperser et transporter rapidement celui formé localement.

Finalement, si l'on se fie à l'évolution du NO (monoxyde d'azote) en augmentation régulière aux Bossons relativement à Chamonix où il stagne, ce changement est attribuable à des rejets automobiles plus significatifs sur la RN205.

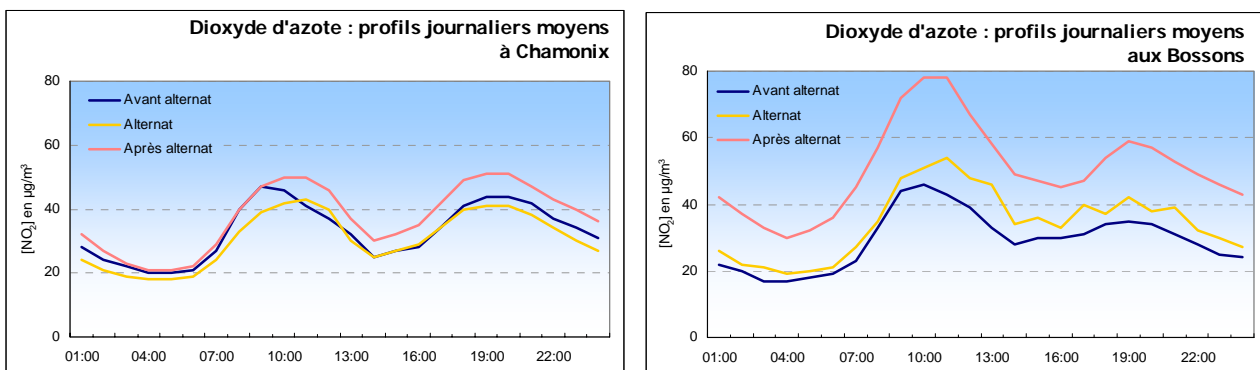
Ce constat traduit les caractéristiques des deux sites d'investigations : un centre urbain influencé par des sources multiples, et une bordure de chaussée dont le trafic routier constitue la seule origine des polluants.

### 1.3. Les trois phases de réouverture du tunnel du Mont-Blanc

L'influence prépondérante du trafic routier aux Bossons peut être rapprochée des conditions de réouverture progressive du tunnel du Mont-Blanc, notamment en regard des trois configurations de circulation connue depuis 2002 dans la vallée de Chamonix :

- entre janvier et juin 2002, c'est la situation que l'on dénommera "*avant alternat*"
- entre juillet 2002 et février 2003, c'est la phase "*alternat*"
- entre juillet 2003 et février 2004<sup>6</sup>, c'est la période "*après alternat*"

Les graphes suivants montrent le déroulement d'une journée moyenne pour chacune de ces trois phases.



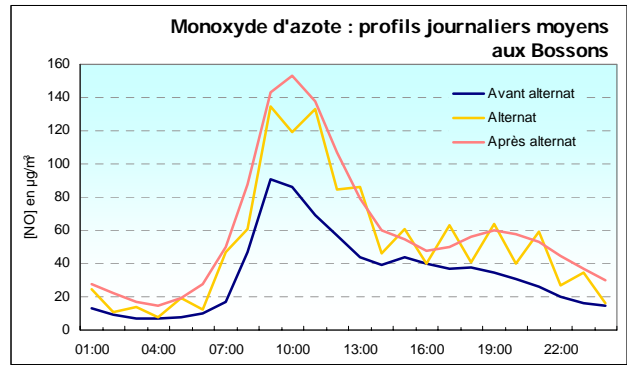
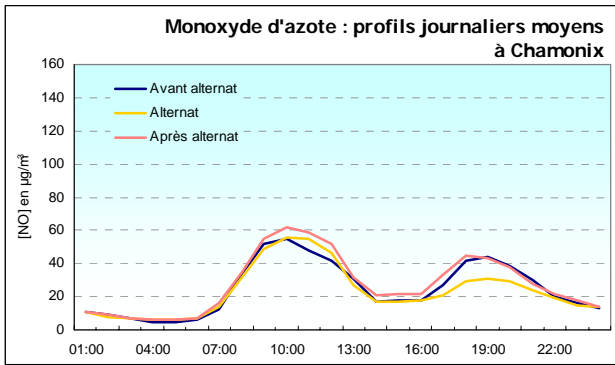
Sur les deux sites de mesure, on constate avant tout que la situation "*après alternat*" induit les plus fortes concentrations de NO<sub>2</sub>, particulièrement aux Bossons où les valeurs sont supérieures d'environ 70% à ce qu'elles étaient avant la réouverture du tunnel et de 50% durant l'*alternat*. A Chamonix, on ne note pas de contraste significatif entre les phases "*avant*" et "*pendant alternat*", mais les niveaux, jusqu'alors comparables à ceux des Bossons, sont désormais bien inférieurs, surtout en première partie de journée.

Les variations au cours de la journée sont identiques dans les trois configurations de circulation, avec un double pic quotidien en matinée (entre 8h et 11h) et en fin d'après-midi (entre 18h et 20h). Le pic du matin est le plus significatif aux Bossons, quand la pointe de trafic se conjugue à la phase de plus forte stabilité atmosphérique. Sur ce même site, la phase "*alternat*" se distingue par une oscillation toutes les deux heures, matérialisant la pollution plus importante produite par les PL circulant en montée.

L'examen des profils journaliers du NO confirme que ce composé, très bon traceur de la pollution automobile, permet d'expliquer en grande partie les différences évoquées pour le NO<sub>2</sub> :

<sup>6</sup> L'*alternat* a cessé le 1<sup>er</sup> mars 2003. Cependant, pour permettre une réelle comparaison des situations "*alternat*" et "*après alternat*", les mois de mars à juin 2003 n'ont pas été pris en compte : cela permet de comparer exactement les mêmes périodes entre elles (de juillet à février).



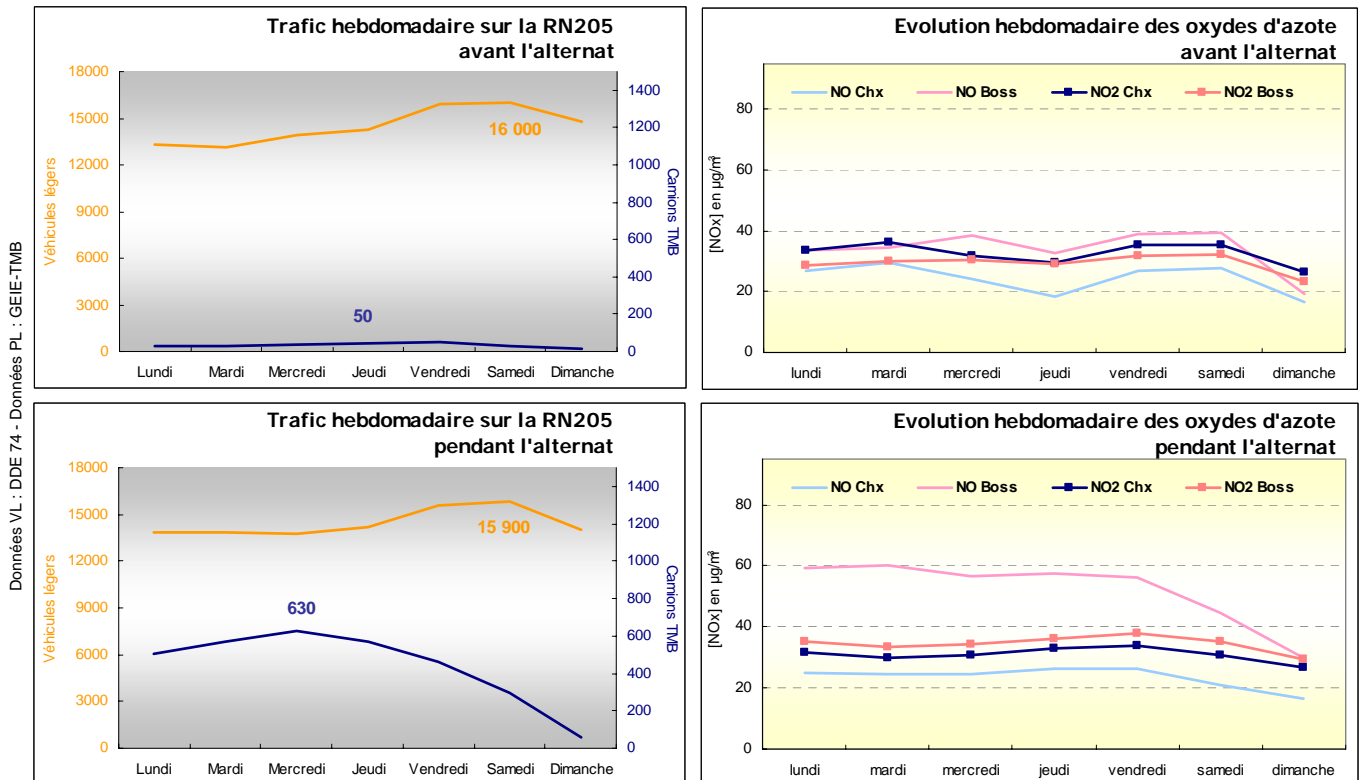


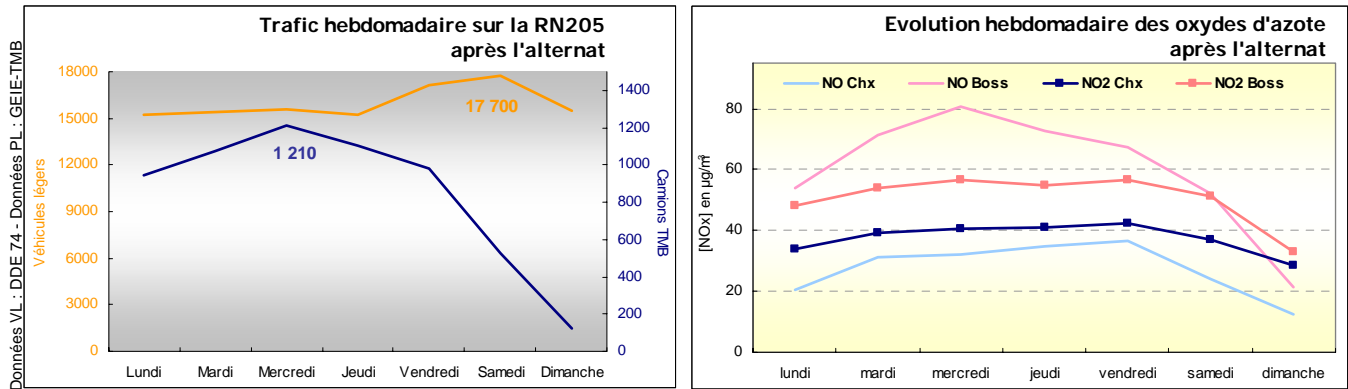
L'ensemble des situations induit toujours plus de NO aux Bossons qu'à Chamonix, et selon un cycle journalier totalement identique à celui du NO<sub>2</sub>.

Aux Bossons, durant la période de l'alternat, la contribution des poids lourds se rendant en Italie est particulièrement évidente, avec cette évolution en "dents de scie" caractéristique.

### 1.4. Véhicules "légers" et véhicules "poids lourds"

Depuis le 1<sup>er</sup> mars 2003, l'ensemble des véhicules peut circuler librement sous le tunnel du Mont-Blanc. La question se pose de savoir qu'elle est l'influence des différentes catégories de véhicules empruntant cet ouvrage, notamment les véhicules "poids lourds" (PL), sur la pollution de la vallée de Chamonix. L'examen des profils hebdomadaires durant les 3 phases de réouverture du tunnel permet d'apporter des éclairages intéressants :





Avant l'alternat, les niveaux de NO<sub>2</sub> sur les deux sites sont assez proches, et évoluent selon un rythme équivalent à celui de la fréquentation en VL de la Route Blanche : ils sont globalement "constants" du lundi au jeudi, avec une légère augmentation en fin de semaine, avant de diminuer le dimanche.

Pendant la phase "alternat", avec l'augmentation nette des concentrations de NO, les teneurs en NO<sub>2</sub> aux Bossons deviennent supérieures à celle de Chamonix restées équivalentes, mais les évolutions au cours de la semaine restent identiques à celles connues durant les mois précédents. Le nombre de PL<sup>7</sup> empruntant alors le tunnel du Mont-Blanc est de l'ordre de 630 véhicules en pointe journalière.

La situation "après alternat" (juin 2003 - mars 2004), traduit une toute autre configuration. Sous l'influence d'une hausse importante du NO aux abords de la Route Blanche, l'écart se creuse nettement entre le NO<sub>2</sub> aux Bossons et à Chamonix. Si les évolutions au centre de Chamonix semblent toujours guidées par le rythme des VL (celui d'une ville touristique fréquentée le week-end), en revanche celles aux Bossons adoptent le cycle très net des PL : avec un maximum le mercredi, au moment où en moyenne plus de 1200 véhicules circulent, et un minimum le week-end, quand le nombre de PL est au plus bas (une centaine environ), mais le nombre de VL à son maximum.

Ces divers constats révèlent les contrastes pouvant exister entre deux sites de mesures distants de quelques kilomètres, mais témoignant de typologies d'implantations différentes :

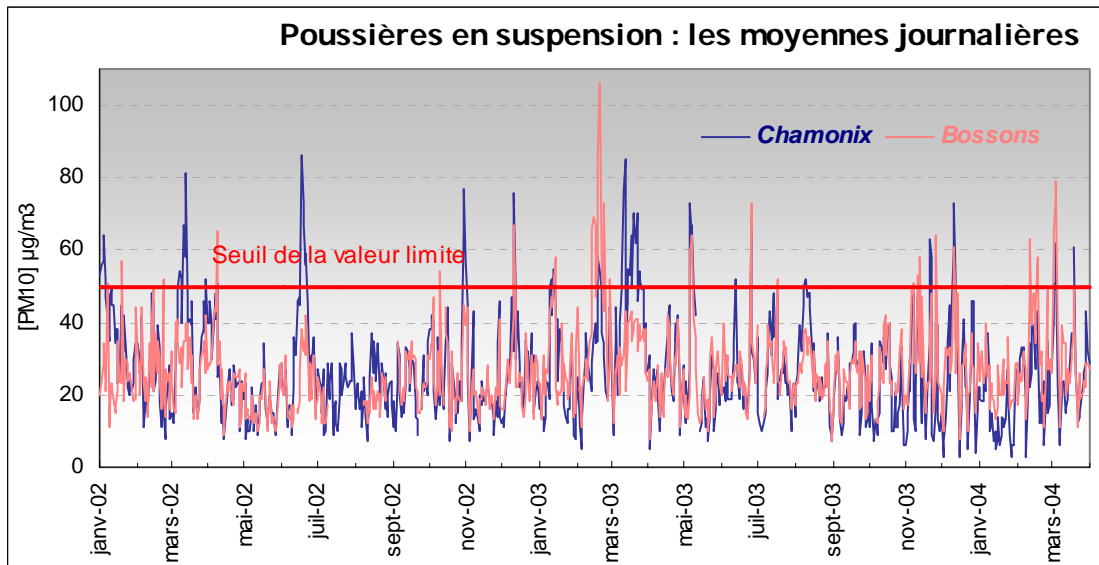
- une station de fond urbain (Chamonix centre) dont le rôle est de surveiller la pollution moyenne à laquelle est exposée la majorité de la population,
- une station de proximité routière (Les Bossons) dont le rôle est de suivre l'évolution des concentrations en bordure immédiate de la RN205.

De manière évidente sur le site de proximité des Bossons, le facteur influençant la pollution atmosphérique est le trafic routier. Dans cette configuration, la contribution du trafic "poids lourds" est prépondérante alors même qu'il représente moins de 5% du trafic total circulant sur la RN205.

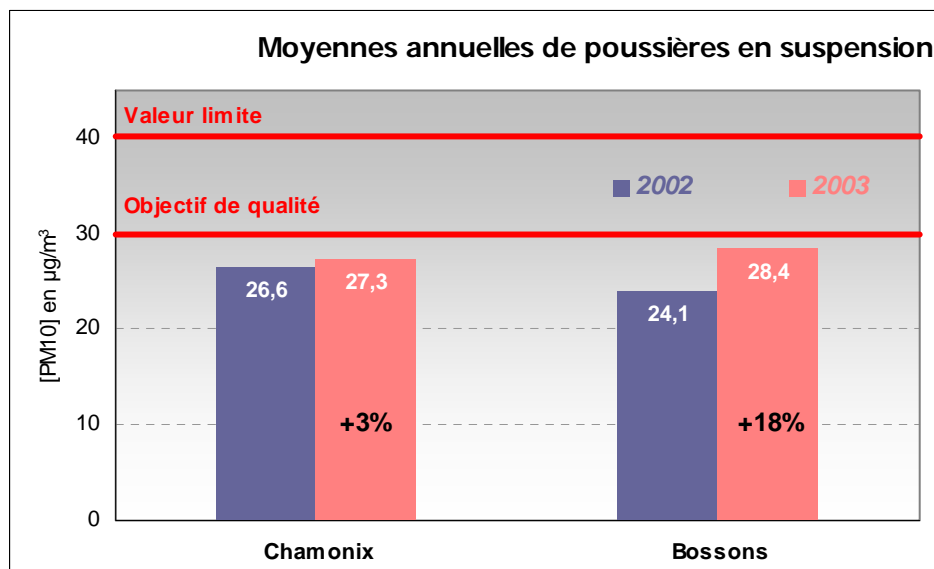
Le site de mesure du centre de Chamonix est influencé, en plus du trafic routier, par d'autres facteurs, comme le chauffage, et il est donc moins sensible à l'évolution de la circulation automobile.

<sup>7</sup> Le comptage des VL est celui pratiqué au niveau du tunnel des Chavants (déjà évoqué plus haut). Par contre, les données de PL sont celles fournies par le GEIE-TMB au niveau du passage des camions au tunnel.

## 2. Les poussières en suspension (PM10)

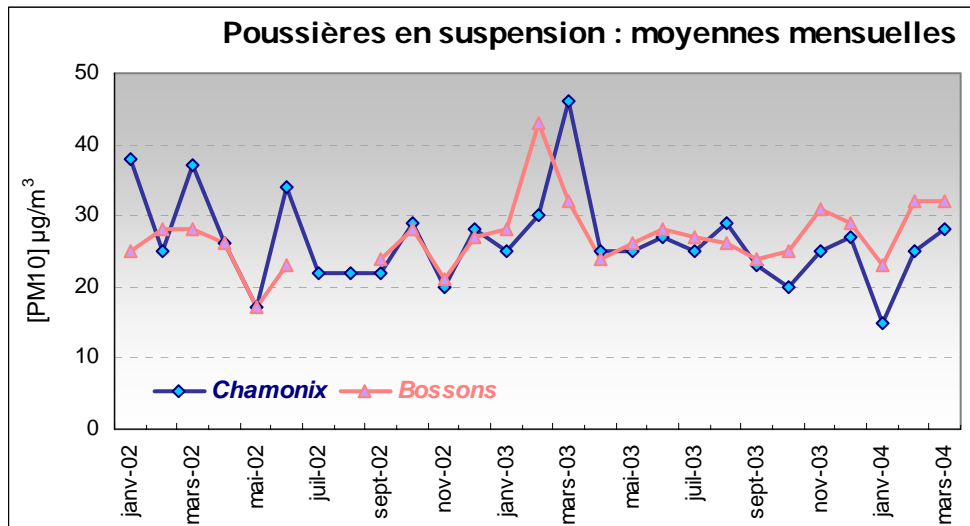


Contrairement aux oxydes d'azote qui viennent d'être évoqués, les niveaux enregistrés sur les deux sites de mesures sont, au regard de la réglementation, plus élevés puisqu'ils atteignent et dépassent régulièrement le seuil de la valeur limite journalière<sup>8</sup>. Plus fréquentes en hiver, les fortes valeurs de PM10 peuvent néanmoins survenir tout au long de l'année puisque l'on observe des pointes entre avril et juillet. D'ailleurs, on ne dénote pas réellement un cycle annuel très marqué, comme pouvait l'être celui des oxydes d'azote.



Si l'on consulte les moyennes annuelles en 2002 et 2003, l'objectif de qualité de  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  est respecté sur les deux sites de mesures de la vallée, même si comme pour le dioxyde d'azote, les valeurs ont augmenté d'une année à l'autre : une augmentation minimale à Chamonix, mais plus nette aux Bossons. Le graphe suivant, présentant l'évolution des moyennes mensuelles sur l'ensemble de la période, va nous montrer que cette augmentation aux Bossons est relativement graduelle.

<sup>8</sup> Rappelons que la valeur limite elle-même est atteinte lorsque le seuil est dépassé plus de 35 jours dans l'année.

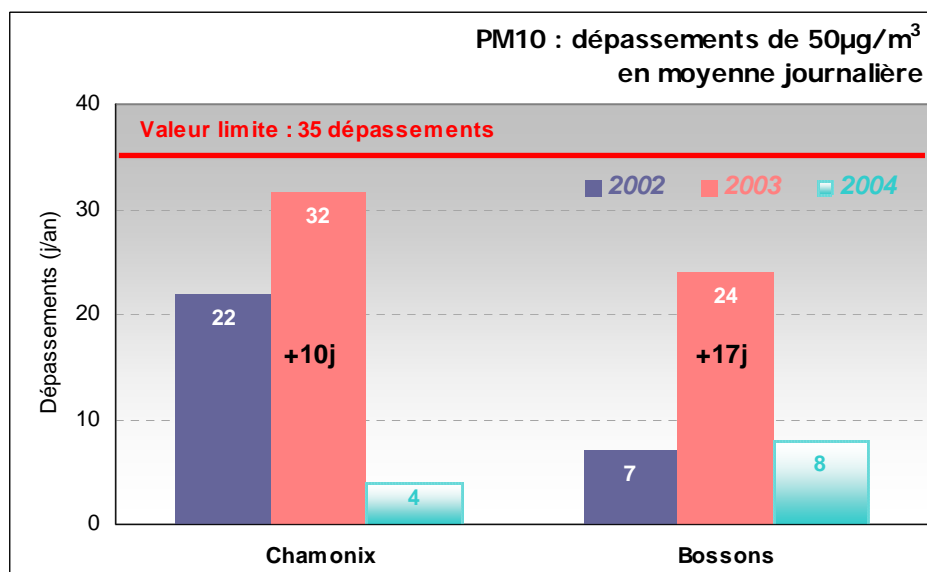


Les courbes montrent des "soubresauts" fréquents, plus particulièrement présents sur la station du centre de Chamonix. Dans ce panorama très changeant, on distingue cependant une tendance à l'augmentation des valeurs de PM10 aux Bossons qui ont rejoint en septembre 2002, puis dépassé depuis avril 2003, celles de Chamonix: Cette tendance semble même s'accroître depuis septembre dernier. Si cette orientation est visiblement bien engagée, elle devra être confirmée dans les mois à venir compte-tenu des fortes variations d'un mois à l'autre pour ce polluant.

On notera par ailleurs que la corrélation entre les deux sites n'est pas systématique : par exemple, elle a été très bonne durant l'automne 2002, mais au contraire à la fin de l'hiver 2003, on voit très bien que sur le bimestre février-mars les deux sites ont enregistré des évolutions antagonistes (respectivement 30-43µg/m<sup>3</sup> à Chamonix et 46-32µg/m<sup>3</sup> aux Bossons).

## 2.1. De fréquents dépassements du seuil de la valeur limite journalière

Le bilan des dépassements du seuil de la valeur limite journalière, applicable en 2005, souligne la surveillance permanente que nécessite ce polluant.

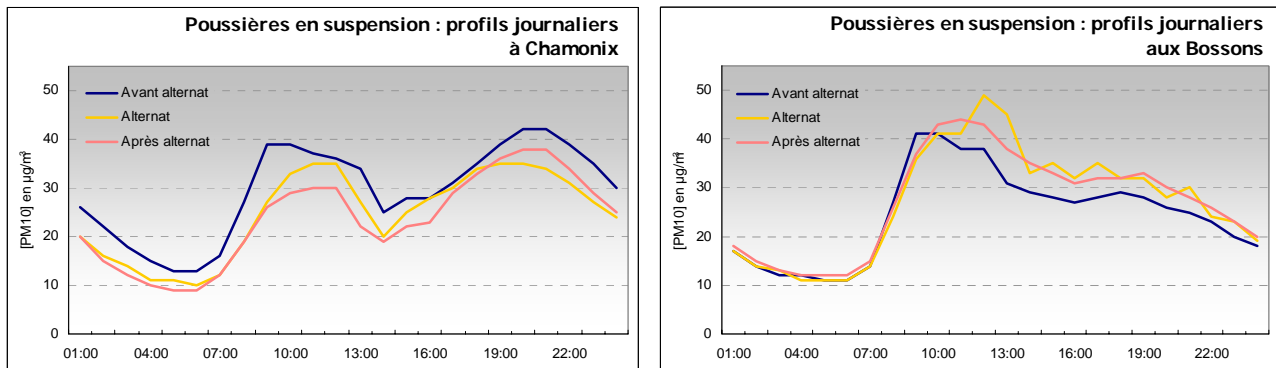


En effet, même si en 2002 comme en 2003, avec moins de 35 dépassements du seuil journalier, la valeur limite a été respectée, le nombre de jours avec un dépassement a nettement progressé d'une année à l'autre. Les deux sites sont concernés par cette hausse, mais celui des Bossons a plus que triplé le nombre de cet indicateur réglementaire de la qualité de l'air.

Cette tendance semble se confirmer avec les 3 premiers mois de l'année 2004, puisque les Bossons totalisent déjà deux fois plus de dépassements que le centre de Chamonix. Il ne faut cependant pas en tirer de conclusions hâtives et attendre le déroulement complet de l'année en cours pour statuer sur l'évolution de la qualité de l'air aux abords de la Route Blanche.

## 2.2. Un découplage Chamonix / Bossons

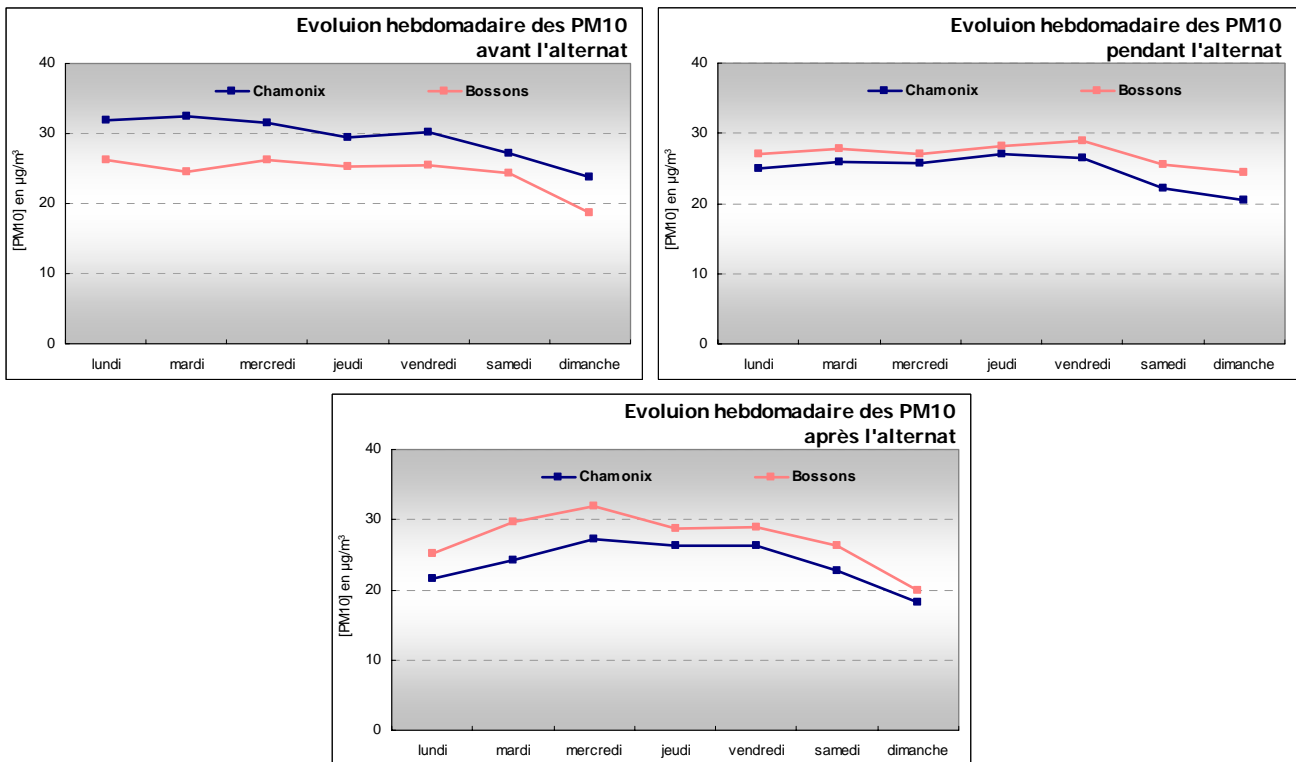
L'examen des profils journaliers des PM10 met également en évidence les comportements différents des concentrations sur les deux sites de mesure :



On constate avant tout des cycles à double maximum à Chamonix (le matin et en début de soirée) et une seule pointe en cours de journée aux Bossons, où les valeurs les plus fortes sont observées le matin (entre 9 et 11h00) puis diminuent au fil de la journée. Sur ce site, les trois phases se distinguent simplement par leurs concentrations diurnes, avec "*avant alternat*" plus favorable aux basses concentrations. On remarque aussi une évolution comparable à celle évoquée pour les oxydes d'azote, à savoir une légère oscillation horaire durant l'*alternat*. Cependant, on ne constate pas de nette augmentation de ce polluant depuis la suppression de l'*alternat*.

Cette phase de circulation, comme les deux autres, paraît n'avoir eu aucune incidence au centre de Chamonix puisque les valeurs les plus élevées ont été enregistrées avant l'*alternat*. Ce phénomène tendrait à accréditer la piste d'une autre source de particules qui serait plus influente au centre de Chamonix que ne pourrait l'être le trafic routier sur la RN205.

Par ailleurs, il ne faut pas négliger l'importance des conditions météorologiques qui peuvent disperser ou accumuler les pollutions dans la vallée, indépendamment d'une modification des rejets de polluants.



Par contre, si l'on examine le profil hebdomadaire moyen au cours de ces trois conditions de circulation, on ne peut que noter une fois encore l'interdépendance entre niveaux de pollution particulaire et rythmicité du trafic routier sur la RN205 (cf graphes trafic pp.9-10).

On remarque tout d'abord, que les niveaux de PM10 aux Bossons, d'abord inférieurs à ceux de Chamonix, sont devenus légèrement "pendant" puis nettement supérieurs "après l'alternat" à ceux de Chamonix. En plus de l'augmentation des PM10 aux Bossons, ce changement bénéficie aussi de la diminution des teneurs à Chamonix depuis le début des investigations (comme pour les graphes journaliers, c'est la phase "avant alternat" qui avait témoignée des plus hauts niveaux de particules en suspension au centre de Chamonix).

Sur les deux sites, depuis que la circulation des PL est libre sous le tunnel du Mont-Blanc, on retrouve un cycle hebdomadaire caractéristique du trafic commercial : une pointe le mercredi, et des valeurs en baisse très franche le dimanche.

### 2.3. Pourquoi les PM10 à Chamonix n'évoluent pas comme aux Bossons ?

Plus encore que pour les oxydes d'azote, les concentrations de poussières en suspension au centre de Chamonix semblent peu reliées au trafic sur la Route Blanche. Ce fait peut s'expliquer de différentes manières.

Tout d'abord, l'origine des poussières en suspension est beaucoup plus large que celle des oxydes d'azote : le chauffage, les transports routiers, l'industrie, les poussières terrigènes (produites par l'érosion naturelle, les travaux, ...), la remise en suspension par le vent de particules déposées sur le sol, ... Parmi toutes ces sources, il n'est pas toujours aisé d'en pointer une plus qu'une autre, chacune contribuant partiellement aux concentrations totales. De plus, les mécanismes complexes de la chimie multiphasique interviennent également pour permettre la transformation des gaz en particules, ce qui en fait un composé complexe à "cerner".

D'autre part, les concentrations de poussières en suspension sont évaluées, nous l'avons dit en introduction, par la méthode de mesure des "PM10" qui consiste à peser toutes les particules inférieures à 10 micromètres. Nous avons également souligné que la majorité des émissions routières était le fait des véhicules diesel. Or, les particules produites par ce type de motorisation sont très petites, car d'un diamètre souvent inférieur à 1 micromètre (c'est encore plus vrai pour les nouvelles générations de



moteur à injection directe). Par conséquent la mesure des PM10 est un bon indicateur, mais elle intègre forcément pour une large part les particules plus grossières qui par leur masse plus importante minore la part des PM1, plus petites donc plus "légères" : autrement dit, il faut beaucoup de particules de 1 micromètre (approximativement 700 d'après la littérature scientifique) pour peser aussi lourd qu'une seule particule de 9 micromètres. Ces particules de diamètre supérieure sont par ailleurs émises en grande quantité par le chauffage (notamment au bois), une source de polluants vraisemblablement importante dans la vallée de Chamonix, d'autant plus au centre-ville à proximité immédiate des habitations.

Par conséquent, les particules en suspension issues du trafic routier, et notamment des véhicules diesel, ne constituent qu'une contribution à l'ensemble de toutes les particules mesurées : une autre source, prédominante, peut probablement en masquer les variations et les influences.

## Conclusions

Un certain nombre de constats peut être tiré de l'examen de ces 27 mois de mesures :

- Sur les deux sites de mesure de la vallée de Chamonix, en 2002 comme en 2003, les concentrations de NO<sub>2</sub> et de PM10 respectent la réglementation.
- A Chamonix et aux Bossons, le cycle annuel hiver/été est net pour le NO<sub>2</sub> : les valeurs maximales sont enregistrées entre décembre et mars, les minimales entre avril et septembre. Ce cycle est moins marqué pour les PM10 : même si les valeurs maximales ont été relevées entre décembre et mars, des concentrations sensiblement équivalentes sont possibles tout au long de l'année.
- Entre 2002 et 2003, les concentrations moyennes des oxydes d'azote et des poussières en suspension ont augmenté significativement aux Bossons : +32% de NO<sub>2</sub>, +18% de PM10. L'augmentation est plus faible à Chamonix : +10% de NO<sub>2</sub>, +3% de PM10.
- Dans le même temps, le nombre de dépassements de la valeur limite journalière en PM10 a également sensiblement augmenté : +10 jours à Chamonix, +17 jours aux Bossons.
- Jusqu'en 2003, les valeurs de NO<sub>2</sub> et de PM10 étaient supérieures au centre de Chamonix. Depuis avril 2003, c'est aux Bossons qu'elles sont le plus élevées.
- Les trois phases de réouverture du tunnel du Mont-Blanc (*avant, pendant et après alternat*) ont engendré des flux de circulation croissants. Les concentrations de NO<sub>x</sub> et de PM10 aux Bossons ont suivi cette évolution, et elles ont régulièrement augmenté depuis début 2002.
- Aux Bossons, les évolutions hebdomadaires des polluants sont reliées au nombre de camions circulant sur la RN205. Le centre-ville de Chamonix paraît soumis à des sources plus diverses, notamment en ce qui concerne les PM10.

Toutes ces conclusions et remarques demanderont à être confirmées dans le temps : il faudrait pour cela continuer à observer les évolutions de la qualité de l'air sur les deux sites de mesures sur une plus longue période. Toutes les tendances évoquées ici sont, en effet, tributaires de la météorologie et de la saisonnalité des mesures : il serait nécessaire de disposer de plusieurs hivers et plusieurs été de mesures pour identifier clairement causes et effets de la pollution dans la vallée de Chamonix.