

2. Influence de la MÉTÉO sur les CONCENTRATIONS

2.1 Émission - Immission

Par pollution, on entend la présence dans l'air de gaz ou de particules, qui engendrent une modification de sa composition susceptible d'avoir des conséquences néfastes pour l'homme ou la nature. La production ou émission de ces matières peut être d'origine naturelle (incendie de forêts, éruptions volcaniques, décomposition de matières organiques) ou humaine.

Par immission on entend les concentrations des substances polluantes auxquelles les récepteurs sont exposés. Il y a évidemment un rapport entre la production (*émission*) d'une part et les concentrations observées (*immission*) d'autre part.

A proximité des sources ou des zones d'émission, ce rapport est assez complexe et pas simplement linéaire. Par exemple, dans un endroit influencé par plusieurs sources, la qualité de l'air peut, à certains moments être influencée par la source la plus faible et à d'autres moments être sous l'influence de la source la plus importante. Ce n'est qu'à partir de distances relativement grandes et pour autant qu'il n'y ait pas de transformations physico-chimiques importantes, que les concentrations observées sont proportionnelles aux quantités émises.

Profil des émissions: la plupart du temps, les émissions ne sont pas constantes, mais plutôt d'allure cyclique. De plus, il y a des émissions dont l'origine est irrégulière, diffuse ou accidentelle. L'allure cyclique des émissions dépend des activités sociales (travail, trafic, chauffage domestique, activité industrielle, loisirs, etc.). On distingue entre autres des cycles:

- jour et nuit
- hebdomadaires : week-end et jours ouvrables
- saisonniers : été et hiver
- journaliers : heures de pointe et heures creuses pour le trafic
- journaliers : pointes de production d'énergie/chauffage

Concentrations variables: le profil fortement variable des concentrations instantanées mesurées (voir fig. 2.3 et 2.7) ne montre pas de lien direct avec le profil des émissions. Il y a cependant un rapport évident entre le profil moyen des concentrations et les émissions. On peut le constater en observant les nombreux graphiques des *profils hebdomadaires moyens* ou des *profils journaliers moyens* (samedi, dimanche et jours ouvrables) présentés au chapitre 4, et ce pour les périodes hiver (octobre - mars) et été (avril - septembre).

En général on peut postuler que les concentrations augmentent pour les émissions plus fortes et qu'elles diminuent quand le "*renouvellement*" de l'air augmente. Dans les zones d'émissions, les concentrations mesurées varient généralement assez rapidement et de façon importante. Les concentrations mesurées varient de façon plus importante qu'attendue au vu des fluctuations des émissions.

Dans les zones d'émissions, des changements de concentration d'un facteur 2 ou 3 au cours d'une même journée sont la règle, des changements d'un facteur 10 ne sont pas exceptionnels et des fluctuations plus fortes encore ne sont pas impossibles. Mêmes pour des émissions maintenues constantes les concentrations mesurées peuvent montrer de très fortes variations. Dans la pratique, ce ne sont pas tant les variations d'émissions qui sont déterminantes pour les niveaux de pollution observables, mais bien plus les variations continues des conditions météorologiques.

Processus atmosphérique: les polluants ne sont pas tous introduits dans l'atmosphère par des sources directes. Certains sont formés par suite de processus de réactions dans l'atmosphère qui transforment les polluants primaires rejetés. Un exemple type en est l'ozone. Par temps chaud et ensoleillé, il y a, sous l'influence des rayons U.V. du soleil, un processus de réaction par lequel de l'ozone en excès est produit dans l'air déjà contaminé. Les polluants primaires, appelés aussi « *préalables* » ou « *précurseurs* », sont dans ce cas les oxydes d'azote et les composés organiques volatils réactifs. L'ozone, produit final, est décrit comme "*polluant secondaire*".

Dans un environnement riche en monoxyde d'azote, une partie de l'ozone est transformé en NO₂. Des aérosols également (sulfates, nitrates, ...) sont formés partiellement dans l'atmosphère. Le NO₂ et les particules fines sont en partie des polluants secondaires.

2.2 Conditions météorologiques

2.2.1 Dispersion horizontale

Le vent assure l'arrivée d'air frais (ou de pollution éloignée) et l'évacuation de la pollution locale. Plus la vitesse du vent est élevée et plus le taux de renouvellement de l'air et la dilution de la pollution sont élevés.

Il y a une influence évidente de la vitesse et de la direction du vent sur la dispersion horizontale de la pollution.

Les vents ou déplacements de masses d'air, sont dus à des différences de pression atmosphérique. Autour des zones de basse pression ou cyclones, l'air tourne dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. Pour nos régions, cela signifie généralement une arrivée d'air assez pur en provenance de l'océan atlantique (vents de Sud-Ouest à Nord-Ouest). Ces vents en général assez forts assurent une grande dilution et l'évacuation de la pollution émise localement.

Autour des noyaux de haute pression, ou anti-cyclones, les masses d'air, vues du dessus, tournent dans le sens horlogique. Pour nos régions, cela correspond très fréquemment à des vents de secteur Est (Sud-Est à Nord-Nord-Est). Cela s'accompagne d'arrivée d'air continental qui est déjà en grande partie chargé de polluants. Les concentrations de fond sont plus élevées que d'habitude et à cela vient s'ajouter la pollution locale. Les vents généralement faibles, associés à cette direction, assurent une moins bonne dilution de la pollution.

La vitesse de vent plus élevée durant la deuxième quinzaine de janvier 2002 est responsable des niveaux de concentration nettement inférieurs à ceux de la première période de ce mois (fig. 2.3). Des périodes à direction de vent différente, mais assez stable, font changer les niveaux de concentration observées dans les poste de mesure d'Ixelles et Arts-Loi. Les concentrations constatées durant les périodes du 3 au 11 décembre (direction sud-ouest à nord-ouest) et du 12 au 20 octobre 2003 (vent venant du secteur est) en donnent une illustration claire.

2.2.2 Dispersion verticale

La dispersion de la pollution de l'air dans le sens vertical a une influence beaucoup plus grande encore que la dispersion horizontale sur les concentrations. Les matières polluantes sont émises dans l'atmosphère à hauteur plutôt faible (de quelques mètres à quelques dizaines de mètres). Les polluants se dispersent en altitude et contaminent les couches basses de la troposphère (plusieurs centaines de mètres jusque maximum 2.000 m de haut). Dans certains cas la pollution ne se disperse que dans quelques dizaines de mètres de hauteur, ou, au plus, une paire de centaines de mètres.

La hauteur de la couche de mélange, c.-à-d. la hauteur jusqu'à laquelle la pollution est mélangée, est de loin le plus important des paramètres déterminants pour les niveaux de concentration au sol. Les concentrations diminuent quand la hauteur de la couche de mélange augmente (fig. 2.1). Avec une couche de mélange de 800 m de haut, la pollution se disperse dans un volume quatre fois plus grand qu'avec une couche de mélange de 200 m de haut. Dans le dernier cas, les concentrations au sol sont quatre fois plus élevées.

Le profil vertical de température de l'air est déterminant pour la façon (facile ou difficile) dont les polluants se mélangent dans les couches d'air supérieures.

Gradient de température: dans les couches d'air de la troposphère, la température diminue, en principe, avec l'altitude. En moyenne, *la chute de température dans l'air ambiant* est d'environ 0.65 °C par 100 m, mais cela peut varier de 0 °C à un peu plus d'1 °C par 100 m. Une situation où la température augmente avec l'altitude est connue comme "inversion de température".

Les *variations de température* dans une *poche d'air pollué* se passent de façon plus au moins adiabatique. La différence entre ces changements de température adiabatiques (dans une poche d'air ascendante ou descendante) et le gradient de température de l'air environnant détermine en grande partie le mélange vertical (fig. 2.2).

Dans une poche d'air sec (pas complètement saturé d'humidité) le changement de température adiabatique est d'environ 1 °C par 100 m. Dans une poche d'air saturé en humidité, le changement de température adiabatique est inférieur à 1 °C par 100 m (0.2 à 0.9°C), à cause de l'éventuelle condensation ou évaporation.

Atmosphère instable: si le changement de température adiabatique dans une poche d'air ascendante est inférieur au changement de température de l'air environnant, la température d'une poche d'air émise à température ambiante va devenir supérieure à celle de la température de l'air environnant. La densité de la poche d'air devient donc inférieure à celle de l'air environnement et la poche d'air continue à monter.

Si la poche d'air descend, alors sa température va devenir inférieure à celle de l'air environnant. Sa densité augmente et devient plus grande que celle de l'air qui l'entoure. La poche d'air continue donc à descendre.

Dans une atmosphère instable, la poche d'air rejetée s'écarte toujours de la situation de départ. Il y a par conséquent un très bon mélange vertical, et avec comme conséquence, des concentrations moyennes plus basses.

Atmosphère stable: si le changement de température adiabatique dans une poche d'air qui s'élève est plus grand que le changement de température de l'air environnant, alors la température dans une poche d'air émise à température ambiante va devenir inférieure à la température ambiante. Par conséquent la densité de la poche d'air va augmenter par rapport à l'air environnant et la poche d'air aura donc une tendance à descendre.

Si la poche d'air descend, alors sa température va devenir supérieure à la température de l'air environnant. La densité de la poche d'air devient plus faible que celle de l'air environnant et la poche d'air aura donc tendance à monter.

Dans une atmosphère stable, une poche d'air rejeté a toujours tendance à revenir à la situation d'origine. Il y a, par conséquent, un plutôt mauvais mélange vertical. La pollution reste donc présente et se concentre dans la couche d'air dans laquelle elle est émise et la concentration augmente dans cette couche.

Situation neutre: une situation neutre se présente quand le changement de température adiabatique dans une poche d'air rejeté est plus ou moins égal au changement de température de l'air environnant. Dans ce cas, une poche d'air émise à température ambiante est en équilibre avec l'air environnant à toutes les hauteurs. Dans une telle situation, il y a un mélange convenable en altitude.

Les passages entre les différentes situations s'effectuent de façon dynamique. Au cours d'une journée plusieurs situations peuvent se succéder, avec différents degrés de stabilité des couches d'air. De plus, une relativement faible variation du profil vertical de température peut conduire à une autre stabilité des couches d'air, avec des changements rapides de concentration comme résultat.

Stabilité de la couche d'air et hauteur d'émission: les concentrations au niveau du sol sont en grande partie influencées par la stabilité des couches d'air. Il y a cependant aussi une interaction avec la hauteur d'émission.

Dans une atmosphère stable et avec des vitesses de vent faibles, le panache de fumée d'une cheminée élevée va rester à la hauteur d'émission pendant des kilomètres et il y aura peu d'expansion verticale ou horizontale. Dans ces conditions les rejets de la cheminée influenceront peu la qualité de l'air dans un espace plus ou moins grand. Les rejets à faible hauteur, p.ex. du trafic ou du chauffage domestique dans les villes, vont, dans les mêmes conditions, certainement engendrer des concentrations élevées au niveau du sol.

Dans une atmosphère instable, avec une bonne dispersion en hauteur et des vents forts, les rejets des sources basses vont se disperser convenablement. Dans ce cas les concentrations dans les villes restent plutôt faibles. Dans les mêmes circonstances, le panache d'une cheminée élevée peut, à très courte distance, être rabattu vers le sol et provoquer des concentrations locales élevées.

Inversion de température: dans des circonstances spéciales se produit une inversion de température. Les polluants émis en dessous de la couche d'inversion ne la traversent pratiquement pas. Dans les villes, les valeurs de pointe les plus élevées sont enregistrées lors d'inversions de température à faible hauteur (quelques dizaines de mètres), associées à des périodes de vent calme. Il y a une accumulation des polluants émis à faible hauteur.

De telles inversions de température se produisent généralement après une froide nuit d'hiver sans couverture nuageuse. Pendant la nuit la surface terrestre se refroidit suite aux pertes de chaleur par rayonnement. Le matin, les couches d'air inférieures, au contact du sol, sont plus froides que l'air qui se trouve à quelques dizaines de mètres de haut (fig. 2.1). Cette forme d'inversion est appelée inversion par rayonnement, et est généralement de courte durée.

Dans les graphiques de la *figure 2.3*, on peut voir facilement l'influence des inversions de température matinales sur les niveaux de concentration des divers polluants, mesurés en différents emplacements dans la Région. Durant la première période du mois janvier 2002 il se manifeste régulièrement une inversion matinale, une condition météorologique tout à fait défavorable à la dispersion des polluants. Ceci ressort de l'évolution du gradient de température mesuré à Uccle (voir graphique du bas). Une valeur négative pour le paramètre "T3-T30" indique une inversion de température au sol (T3-T30: la température à 3 m de haut moins la température à 30 m de haut).

Pendant les périodes d'été également, une inversion de température matinale peut conduire à des concentrations assez élevées. Les pics d'ozone les plus élevés (pendant l'après-midi) ont toujours été précédés d'une inversion de température matinale. L'inversion de température disparaît bien vers midi, mais cet état est sans doute suivi par une situation de couches d'air très stables où le mélange vertical s'effectue difficilement et où la hauteur de la couche de mélange reste plutôt faible.

Une autre forme d'inversion est l'inversion de subsidence. Cette forme d'inversion se produit généralement à grande échelle, p. ex. une grande partie de l'Europe de l'Ouest. Elle se produit quand une couche d'air doux glisse au-dessus des couches froides au niveau du sol. Lors de l'abaissement et de la compression des couches d'air doux, leur température va augmenter de façon plus au moins adiabatique. Comme l'air des couches supérieures est moins dense, la couche du dessus va se comprimer plus fort que la couche inférieure et donc s'échauffer plus également; le phénomène d'inversion peut se développer. Dans les cas extrêmes, une telle situation peut conduire à un épisode de pollution: une période de pollution fortement élevée et persistante.

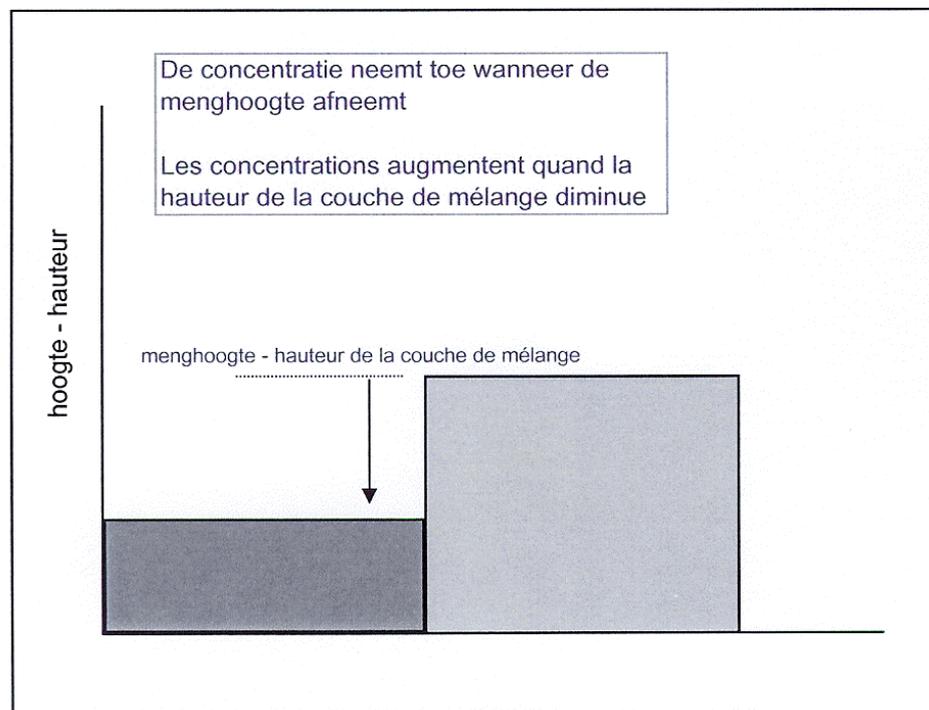
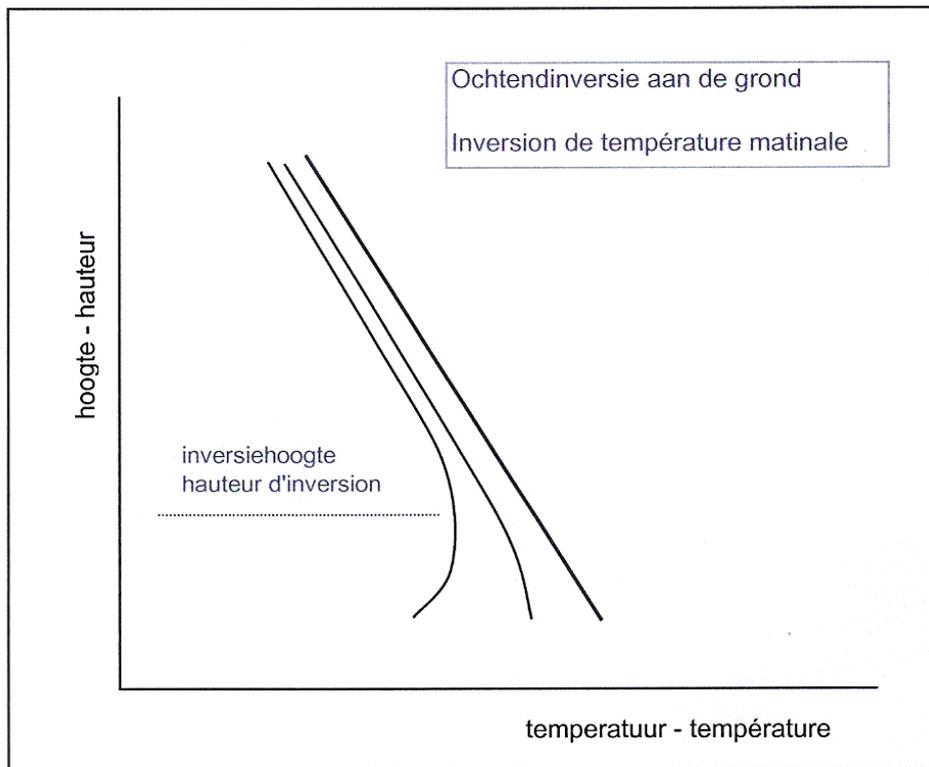


Fig. 2.1 : inversion matinale et effet de la hauteur de la couche de mélange

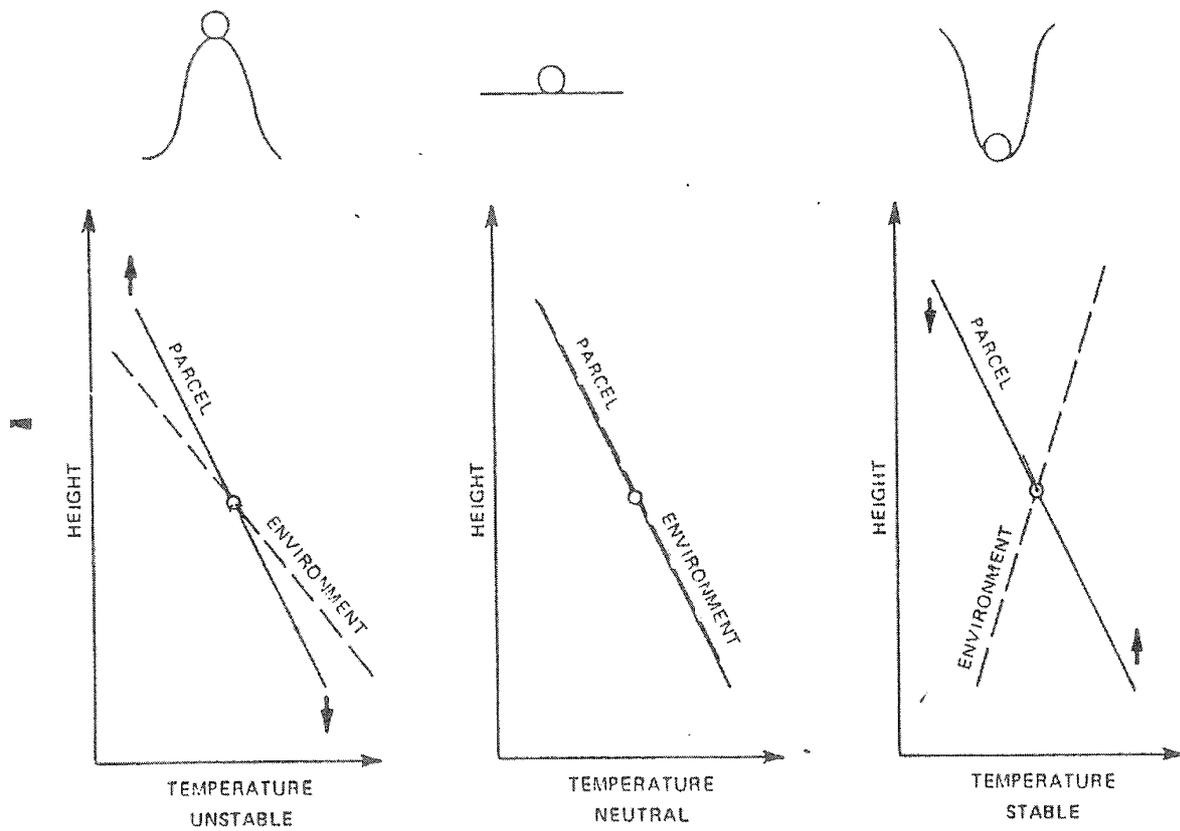


Fig. 2.2 : Profil de température instable, neutre et stable

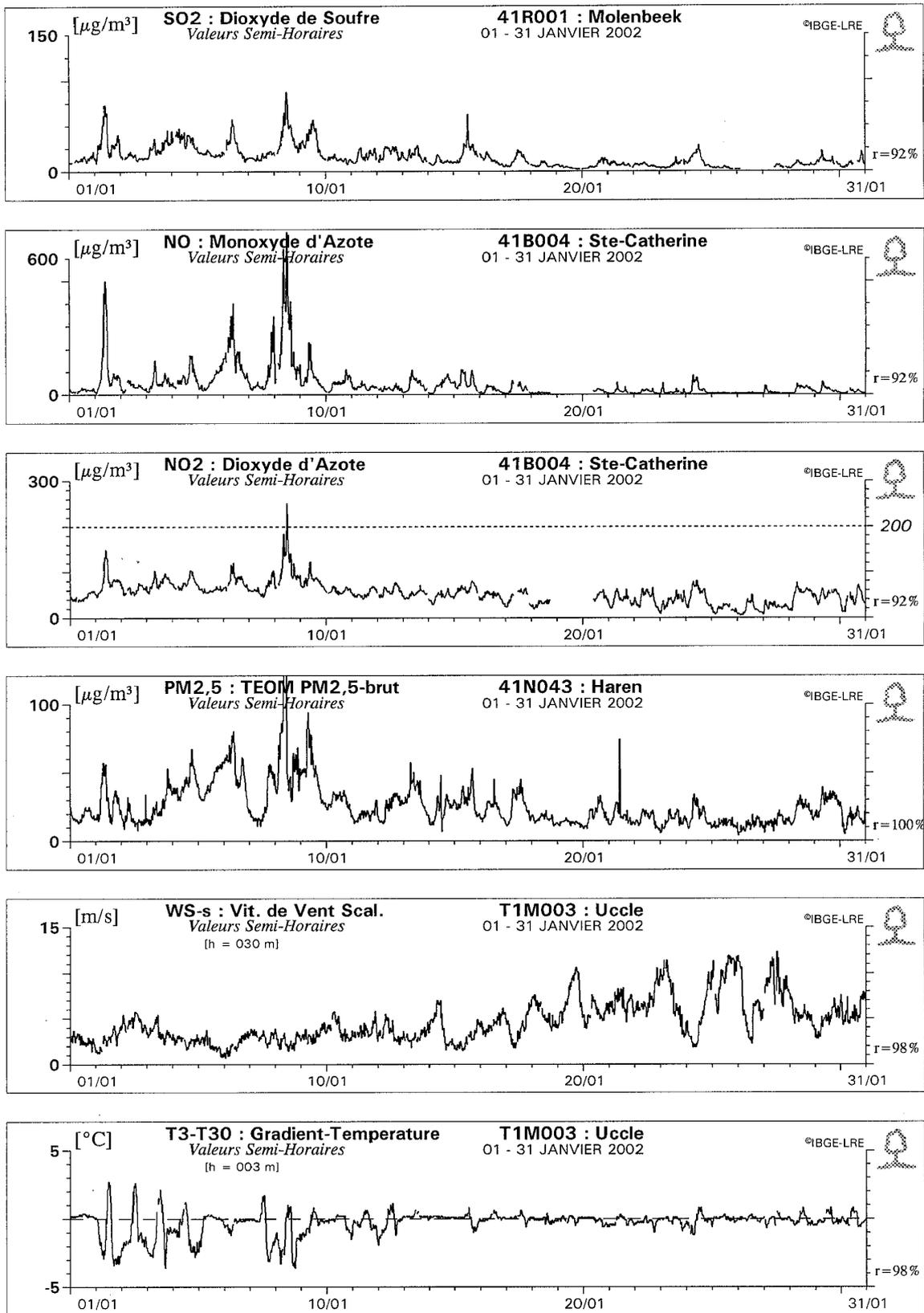


Fig. 2.3 : Évolution de la concentration en Janvier 2002.
 Inversion de température – concentrations plus élevées en début du mois
 Vitesse de vent plus forte – concentrations plus faibles durant la deuxième quinzaine

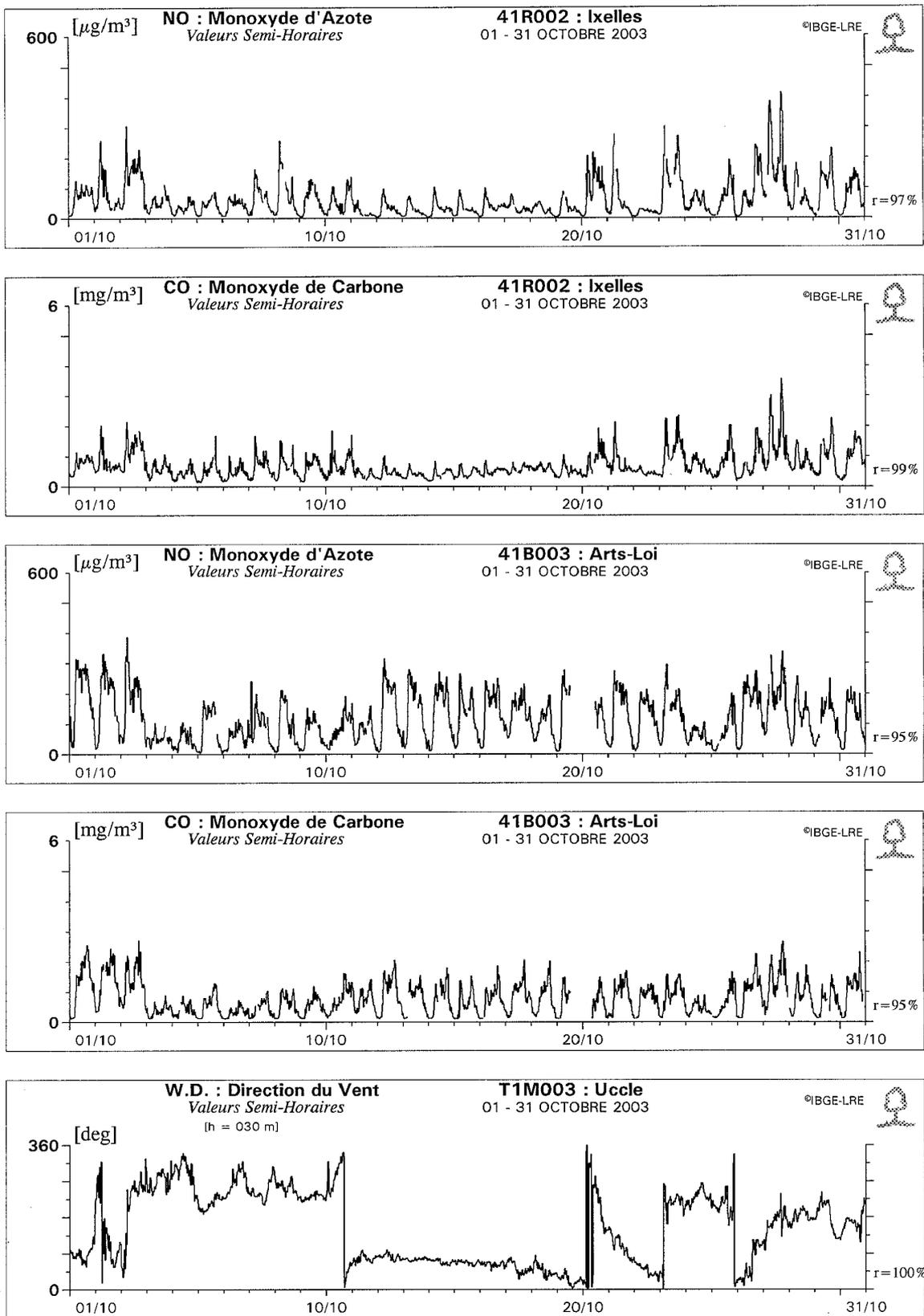


Fig. 2.4 : Évolution de la concentration NO et CO à Ixelles et Arts-Loi – Octobre 2003.
 Direction de vent et niveaux de concentrations durant les période du 3 au 11 et du 12 au 20 octobre

2.2.3 Modèle de prévision ALADIN

Suite à un accord avec l'IRM, l'IBGE reçoit depuis avril 2002, deux fois par jour, les résultats du modèle *ALADIN*. Ce modèle fournit, pour les prochaines 60 heures des prévisions pour deux paramètres météorologiques significatifs, à savoir: « *le profil de température vertical* » (gradient de température) et « *l'indice de transport horizontal* ». L'indice de transport est obtenu en divisant la vitesse de vent par la fréquence de Brunt-Väisälä. Cette fréquence est une mesure de la stabilité des couches d'air: plus les couches d'air sont stables, plus la fréquence est élevée.

Les conditions météorologiques sont considérées comme particulièrement défavorables à la dispersion de la pollution de l'air quand les 4 conditions suivantes sont remplies:

- il y a une inversion de température évidente
- l'indice de transport est particulièrement faible (< 100 m), dans une zone allant du sol à la hauteur de la couche de mélange
- la situation est stable pendant plusieurs heures (ordre de 24 heures)
- dans un large espace il y a peu de différences de pression: présence d'un "marais barométrique"

Dans ces circonstances il n'y a presque aucun mouvement d'air, ni horizontal, ni vertical. Si cette situation dure assez longtemps (durée minimale ~24 heures) les concentrations augmentent suite à l'accumulation de la pollution locale qui se superpose à la pollution de fond.

La prévision de la longueur de transport, réalisée le lundi 8 décembre 2003 pour les 60 heures à venir, est représentée à la figure 2.5. Une situation de blocage, commençant le lundi 8 décembre vers 20 h TU jusqu'au mercredi 10 décembre heure de midi, est prévue. Des concentrations élevées ont bien été constatées le mardi 9 et mercredi 10 décembre 2003 à différents postes de mesure (fig. 2.7).

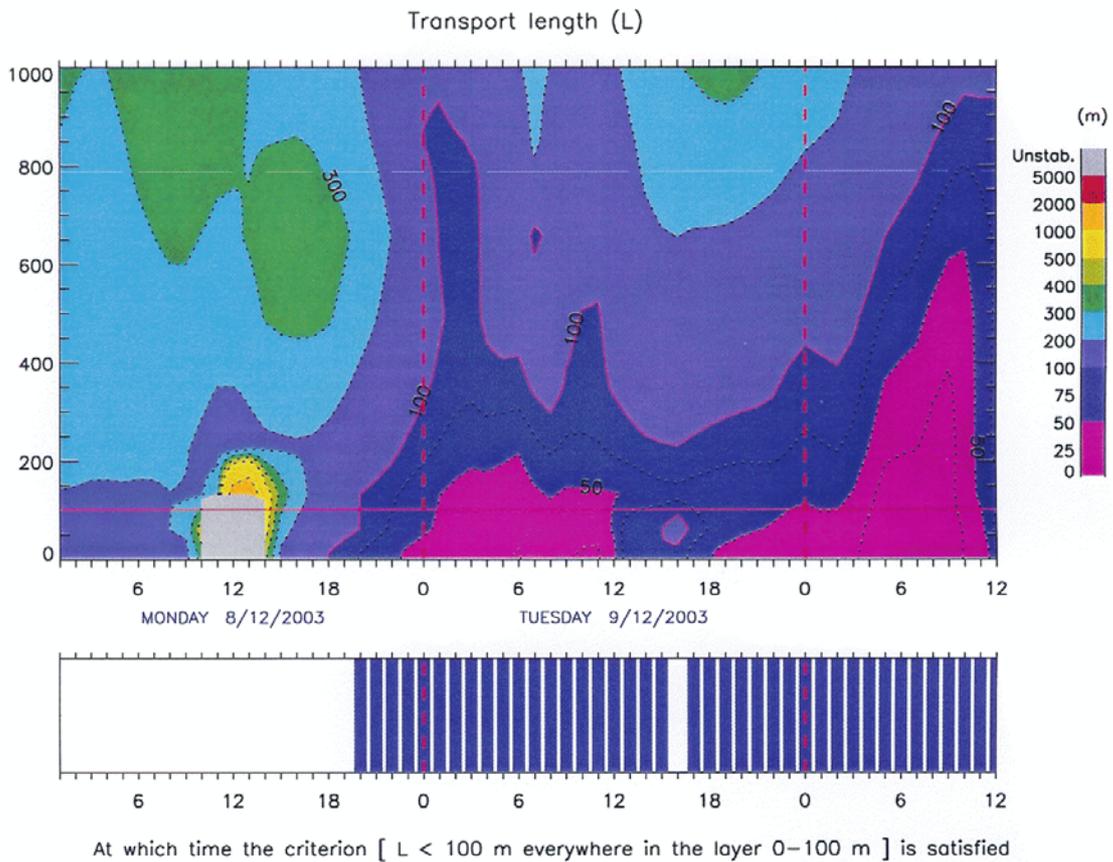
La prévision du jeudi 11 décembre 2003 (fig. 2.6) indique une période relativement courte, le vendredi 12 décembre, avec des conditions météo défavorables à une bonne dispersion de la pollution. Le vendredi matin se manifeste partout dans le réseau, et pour tous les polluants, un pic de concentration de courte durée.

Le modèle *ALADIN* permet de prévoir à l'avance, avec une grande probabilité, des périodes où les conditions météorologiques seront défavorables à la bonne dilution de la pollution. Le modèle ne convient pourtant pas pour la prévision des niveaux de concentration.

La Cellule Interrégionale pour l'Environnement (*CELINE*) dispose d'autres types de modèles, qui permettent de prévoir les concentrations en ozone, dioxyde d'azote et de particules *PM10* pour les jours à venir. Les résultats de ces modèles sont à consulter sur le site de *CELINE*: www.irceline.be.

BRUSSELS

ALADIN forecast initialized on MONDAY 8/12/2003 at 0 UT



Longest period unfavourable to the dispersion of pollutants:

From MONDAY 8/12/2003 at 20 UT

To TUESDAY 9/12/2003 at 15 UT

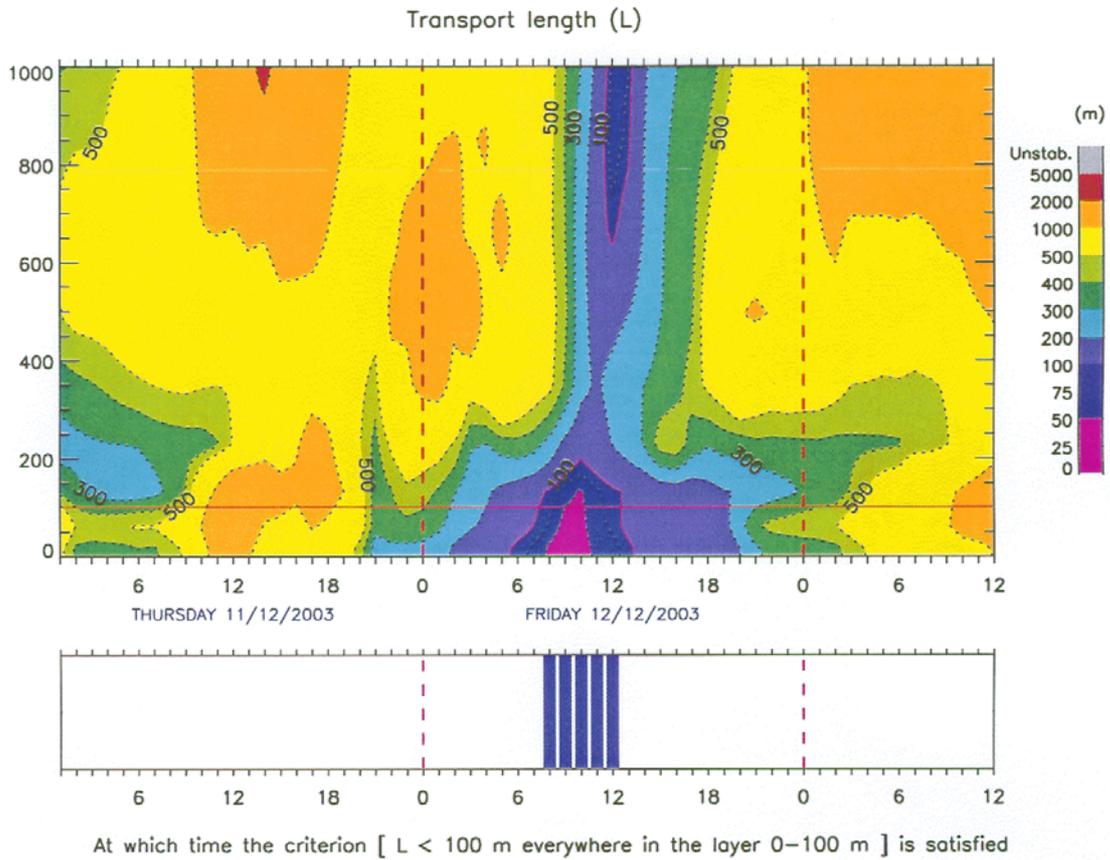
Event duration: 20 hours

POLLUTION ALERT

Fig. 2.5 : Modèle Aladin (source IRM) – prévision du lundi 8 décembre de la longueur de transport pour les 60 heures à venir

BRUSSELS

ALADIN forecast initialized on THURSDAY 11/12/2003 at 0 UT



Longest period unfavourable to the dispersion of pollutants:

From FRIDAY 12/12/2003 at 8 UT
To FRIDAY 12/12/2003 at 12 UT
Event duration: 5 hours

NO POLLUTION ALERT

because the duration of the period unfavourable to the dispersion of pollutants is less than 17 hours.

Fig. 2.6 : Modèle Aladin (source IRM) – prévision du jeudi 11 décembre de la longueur de transport pour les 60 heures à venir

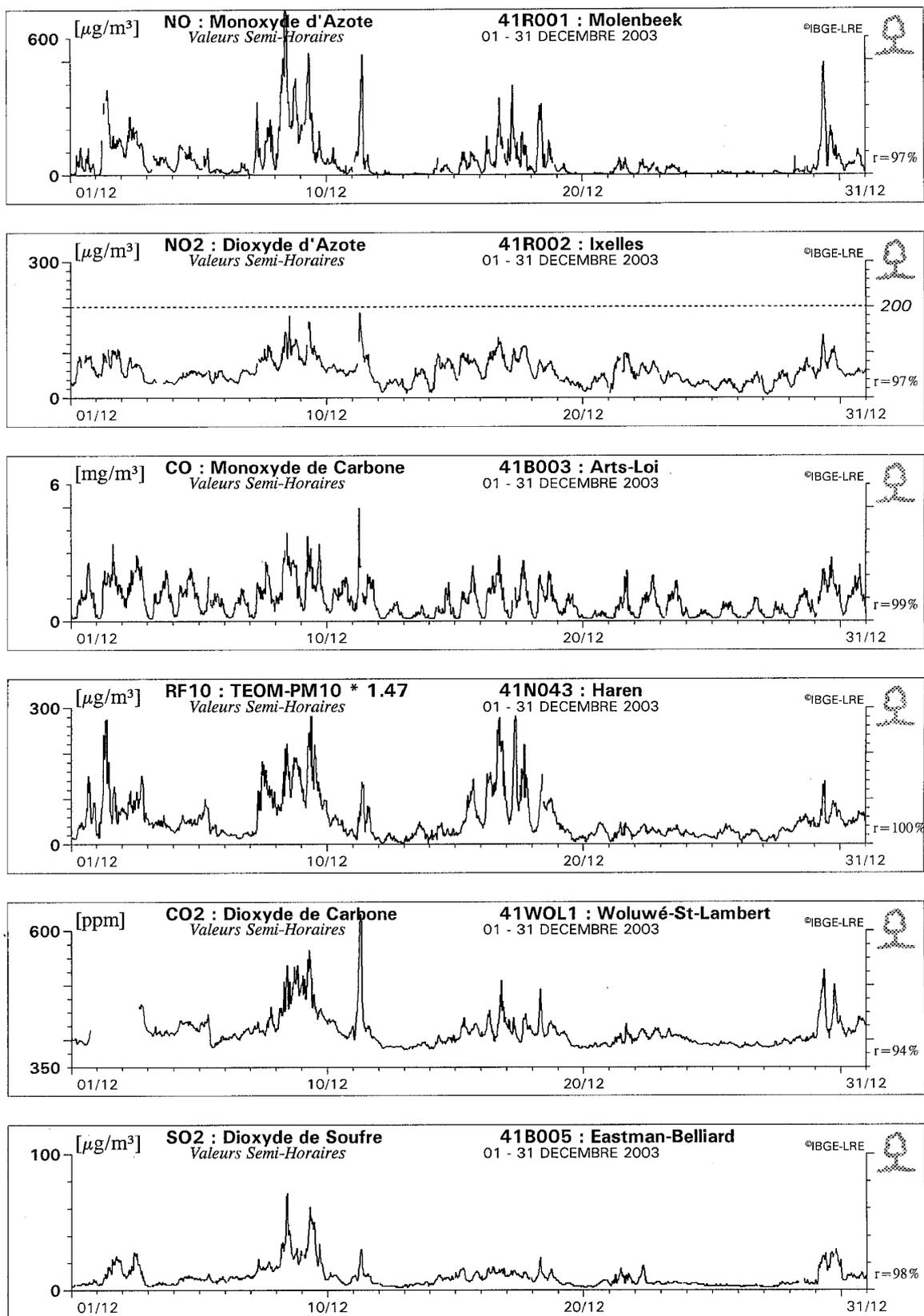


Fig. 2.7: Concentrations élevées le mardi 9 et mercredi 10 décembre 2003 (prévision 8 décembre)
Pic de pollution momentané le vendredi 12 décembre 2003 (prévision du 11 décembre)

2.2.4 Étude de la pollution de l'air

Les rejets changeants d'un grand nombre de sources très différentes, et l'influence de conditions météorologiques variant en permanence font de la pollution atmosphérique « *un phénomène à évolution dynamique* » par excellence. Une conséquence directe en est une grande variabilité des concentrations mesurées. Il faut donc effectuer des mesures pendant une longue période avant de pouvoir évaluer globalement la situation.

Une longue période de mesure induit naturellement une masse de données chiffrées. La grande masse de données disponibles fait qu'il n'est pas aisé de "*voir clair*" à travers toutes ces informations. L'évaluation des données doit donc se faire avec l'aide de valeurs statistiques significatives (moyennes, centiles, évolution journalière et hebdomadaire, roses de pollution, etc. ...)

L'analyse de tendance doit se faire de préférence sur plusieurs années, sinon on risque de mettre en évidence l'influence d'une situation météorologique "particulièrement différente" (p.ex. un été particulièrement chaud par rapport à un été moyen, un hiver glacial par rapport à une période hivernale avec des nombreuses tempêtes), plutôt que l'évolution réelle des sources de pollution. Dans cette optique, les systèmes de mesure doivent être soumis à un contrôle de qualité strict qui assure une fiabilité des données constante sur plusieurs années.