

Campagne de mesure de la qualité de l'air

# Mesures d'ozone sur la commune de TENDE

## Juillet-août 2003



Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air des  
Alpes-Maritimes, des Hautes-Alpes et des Alpes de Haute-Provence

## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>I/ Présentation de l’étude</b> .....	<b>2</b>
<i>a/ Positionnement du point d’étude</i> .....	2
<i>b/ Matériel utilisé et durée de l’étude</i> .....	2
<b>II/ PRINCIPAUX RESULTATS DE L’ETUDE</b> .....	<b>3</b>
<i>a/ Conditions météorologiques</i> .....	3
<i>b/ L’ozone</i> .....	5
<b>CONCLUSION</b> .....	<b>17</b>
<b>ANNEXE</b> .....	<b>18</b>

## *Introduction*

Dans la région PACA, l'ozone constitue la principale pollution en période estivale. Des dépassements du seuil de recommandations ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sont régulièrement enregistrés durant la période estivale qui s'étend de juin et de septembre ce qui donne lieu à la mise en place de procédures d'information au public.

Ces procédures sont déclenchées sur des zones bien déterminées. La surface de ces zones peut varier d'une partie à la totalité d'un département. Leurs contours sont modifiés en fonction des connaissances apportées par les études réalisées par QUALITAIR. Pour l'heure, la vallée de la Roya n'est rattachée à aucune des zones d'information et d'alerte à l'ozone des Alpes-Maritimes.

La présente étude a été mise en place afin de voir si cette partie du département est « touchée » par les phénomènes de pollution photochimique. Elle vient en complément d'une précédente campagne de mesure de la qualité de l'air qui avait été menée en juin 2002 avec le camion laboratoire mobile régional sur le parking SNCF de la ville de TENDE. Pour information, cette étude avait montré une pollution faible en polluant primaire. En revanche, le comportement de l'ozone semblait indiquer la présence d'apports en ozone qui proviendraient du littoral.

## I/ Présentation de l'étude

### a/ Positionnement du point d'étude

Le point de mesure se situe sur le toit d'un des bâtiments du **Centre de Convalescence et Maison de Retraite** du CHU de NICE situé avenue Jean Medecin à TENDE.

Ce point présente l'avantage d'être dans le flux d'air de la vallée de la Roya sans obstacle majeur aux alentours.



### b/ Matériel utilisé et durée de l'étude

Le matériel utilisé pour les prélèvements d'air est un analyseur physico chimique utilisant la technique de chimiluminescence. Il permet de connaître à chaque quart d'heure la concentration ambiante en ozone.

Les mesures ont été exploitées du 14 juillet au 20 août 2003.

## II/ Principaux résultats de l'étude

### a/ Conditions météorologiques

La période d'étude a été marquée par de fortes chaleurs. Ainsi, la température moyenne enregistrée par la station de Météo France à Saint Dalmas de Tende a été de 23°C. Cette moyenne a été dépassée durant plusieurs vagues de chaleur ainsi du 3 au 6 août les températures moyennes ont été de 25 °C.

En ce qui concerne les pluies, elles ont été quasi absentes durant la campagne. Seule la journée du 20 août a enregistré des précipitations conséquentes avec 24.5 mm enregistrés par la station Météo France située à Tende.

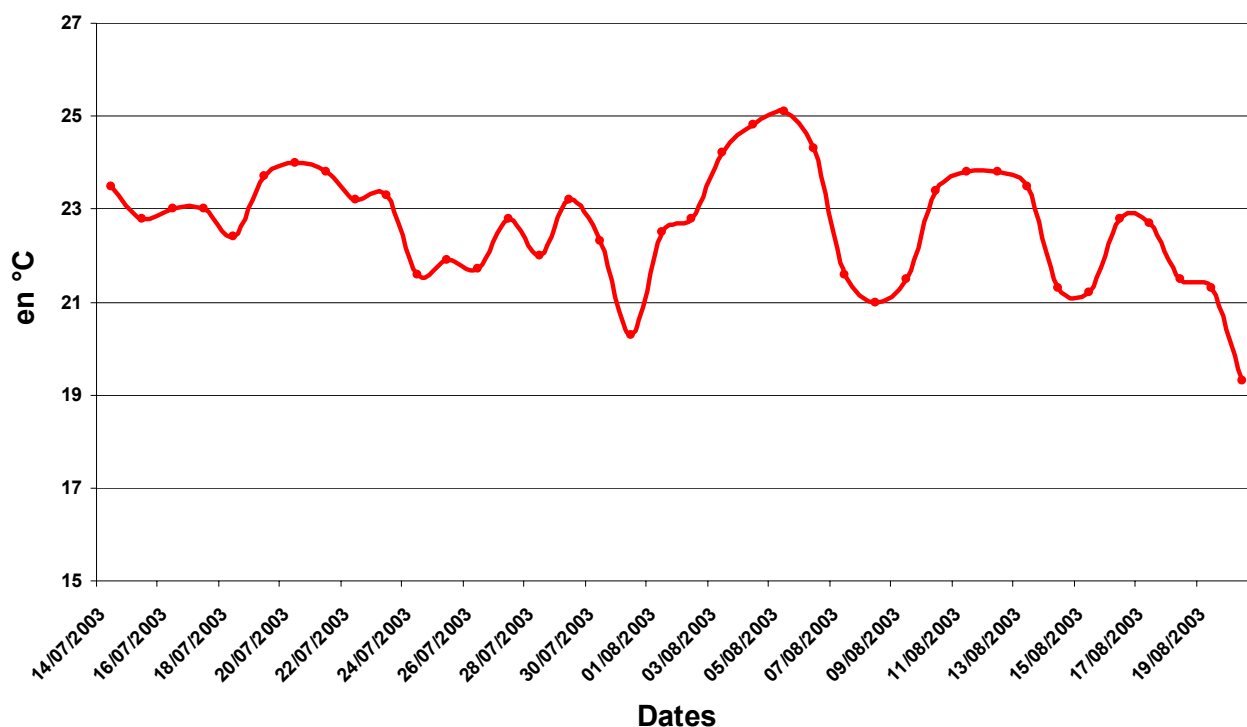
En ce qui concerne les vitesses de vent, les mesures de la station Météo France de Breil sur Roya ont été en moyenne inférieures à 2 m/s. Ce résultat est identique à celui qui avait été observé par le camion laboratoire mobile PACA en juin 2002 sur le parking de la gare SNCF de Tende. Du fait de la géographie très montagneuse, seules les brises sont généralement présentes en fond de vallée ce qui explique ces vitesses de vents très faibles. De plus, les directions de vent suivent l'axe de la vallée de la Roya. Ainsi, la direction du vent est pendulaire avec une brise remontante de direction sud en journée (brise de vallée) et une brise descendante la nuit (brise de montagne).

**Tableau et graphes récapitulatifs des principaux paramètres météorologiques mesurés lors de la période d'étude du 14 juillet au 20 août 2003**

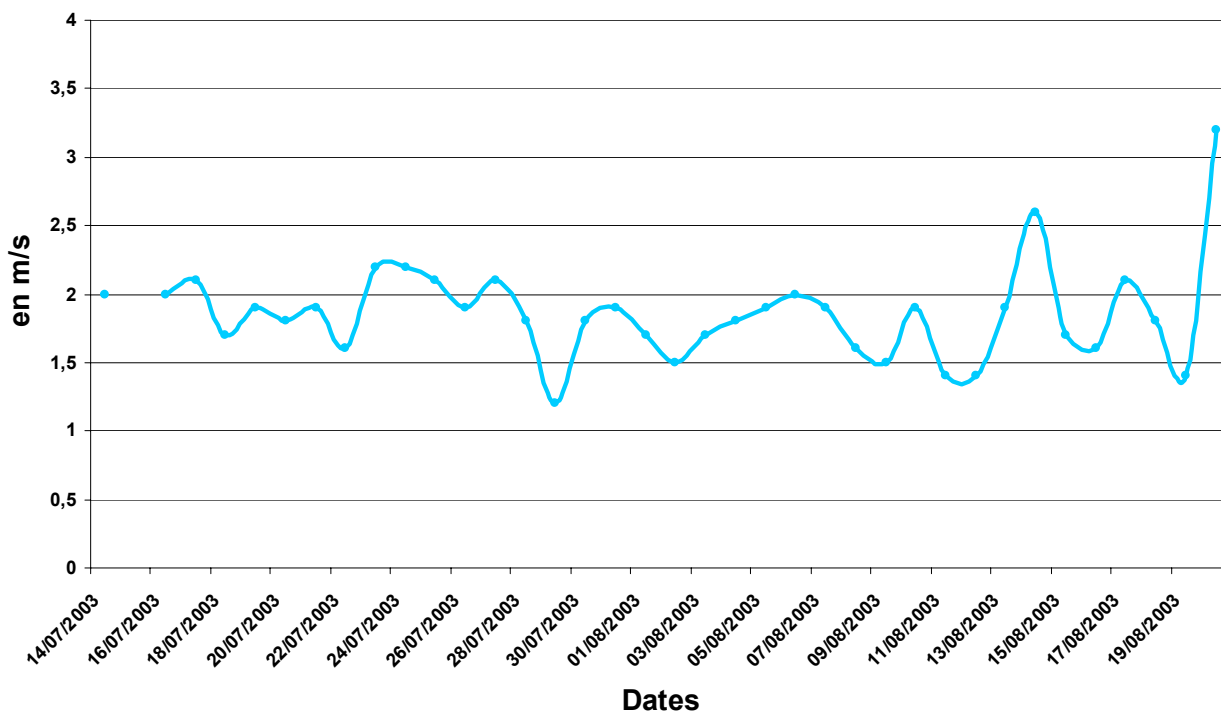
Paramètres mesurés par les stations de Météo France	Température en °C (Saint Dalmas de Tende)	Vitesse de vent en m/s (Breil sur Roya)
<b>Moyenne</b>	23	1.9
<b>Moyenne journalière maximale</b>	25 le 5 août	3.2 le 20 août
Dates	<b>*Précipitations en mm mesurées par la station Météo France située à Tende</b>	
23 juillet	1.2	
24 juillet	2.8	
11 août	1.1	
14 août	6.5	
20 août	24.5	

\*seules les hauteurs de précipitation > à 1 mm ont été prises en compte.

Evolution journalière de la température du 14 juillet au 20 août 2003 à la station Météo France de Saint Dalmas de Tende



Evolution journalière de la vitesse du vent du 14 juillet au 20 août 2003 à la station Météo France de Breil sur Roya



## b/ L'ozone (O<sub>3</sub>)

### **État des connaissances**

Contrairement aux autres polluants, l'ozone troposphérique n'est pas émis par une source anthropique particulière mais résulte de la transformation photochimique de certains polluants primaires dans l'atmosphère (oxydes d'azote, composés organiques volatils, monoxyde de carbone) sous l'effet du rayonnement solaire ultraviolet : c'est ce que l'on appelle un polluant secondaire.

La pollution par l'ozone augmente régulièrement depuis le début du siècle et les pointes de pollution sont de plus en plus fréquentes en été, notamment en zone urbaine et périurbaine.

### **Impacts sur la santé et l'environnement**

L'ozone est un gaz agressif qui pénètre facilement jusqu'aux voies respiratoires les plus fines. Une exposition prolongée de 150 à 200 µg/m<sup>3</sup> peut provoquer une inflammation de la muqueuse bronchique, une augmentation de l'hyperréactivité bronchique aux allergènes et une diminution de la fonction respiratoire.

Les effets à long terme d'une exposition à l'ozone sont encore inconnus.

L'ozone est l'un des principaux polluants dits photo-oxydants. L'ozone peut perturber l'activité photosynthétique des végétaux, altérer leur résistance, diminuer la productivité des cultures. L'ozone contribue aussi, avec les dépôts acides et d'autres facteurs défavorables (comme la sécheresse ou la pauvreté des sols), aux troubles forestiers. Il accentue le pouvoir acidifiant des oxydes d'azote et du dioxyde de soufre en accélérant leur oxydation en sulfates et nitrates.

Enfin, l'ozone contribue à l'effet de serre.

### **Méthode de mesures**

Le principe de mesure de l'ozone est celui de la détection par l'absorption dans l'ultraviolet. Le spectre d'absorption de l'ozone est maximum à la longueur d'onde de 253.7 nm. La source d'énergie utilisée est donc une lampe UV à vapeur de mercure basse pression. La mesure de la concentration d'ozone est obtenue par différence entre l'absorption UV due à l'échantillon gazeux et l'absorption UV due à un échantillon exempt d'ozone.

**Tableau synthétique des principaux résultats de l'étude**

<b>Paramètres</b>	<b>O<sub>3</sub> (en µg/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Moyenne</b>	74
<b>Médiane</b>	75.5
<b>Maximum horaire</b>	179.5
<b>Minimum horaire</b>	0
<b>Percentile 98 horaire</b>	156



## Les normes

**Décret n°2002-213 du 15 février 2002** portant transposition des directives 1999/69/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000.

Normes		Moyenne sur 8 heures glissantes	Moyenne Horaire	Moyenne journalière
Objectif de qualité	Pour la protection de la santé humaine	110 µg/m <sup>3</sup>		
	Pour la protection de la végétation		200µg/m <sup>3</sup>	65µg/m <sup>3</sup>
Seuil de recommandation et d'information			180µg/m <sup>3</sup>	
Seuil d'alerte			360µg/m <sup>3</sup>	

## Application des normes aux données de l'analyseur

Seuils	Seuil de recommandation	Seuil d'alerte
Respect des seuils de recommandations et d'alerte	Aucune moyenne horaire > 180 µg/m <sup>3</sup>	Aucune moyenne horaire > 360 µg/m <sup>3</sup>
Résultats de l'étude en µg/m <sup>3</sup>	Maximum horaire de l'étude	
Analyseur temporaire	179.5 le 9 août à 13 heures T.U	
Objectifs de qualité	Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	Objectif de qualité pour la protection de la végétation
Non respect des objectifs de qualité	140 fois une moyenne horaire sur 8 heures > 110 µg/m <sup>3</sup>	29 journées avec une moyenne journalière > 65 µg/m <sup>3</sup>
Résultats de l'étude en µg/m <sup>3</sup>	Maximum de la moyenne horaire sur 8 heures	Maximum journalier
Analyseur temporaire	166	109

### Commentaires :

Les teneurs en ozone enregistrées par l'analyseur à Tende n'ont pas respecté toutes les normes du décret du 15 février 2002. En effet, si les seuils d'alerte et de recommandation n'ont pas été dépassés cela n'a pas été le cas des objectifs de qualité.

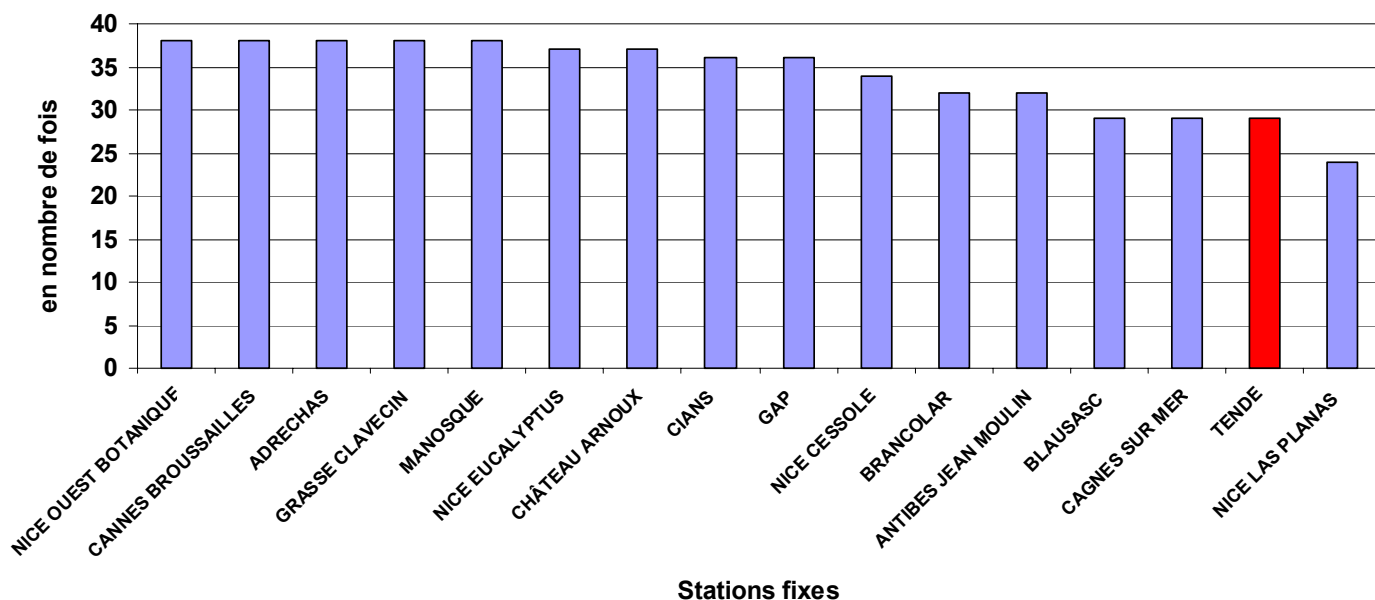


## Campagne de mesure d'ozone à Tende – Juillet/août 2003

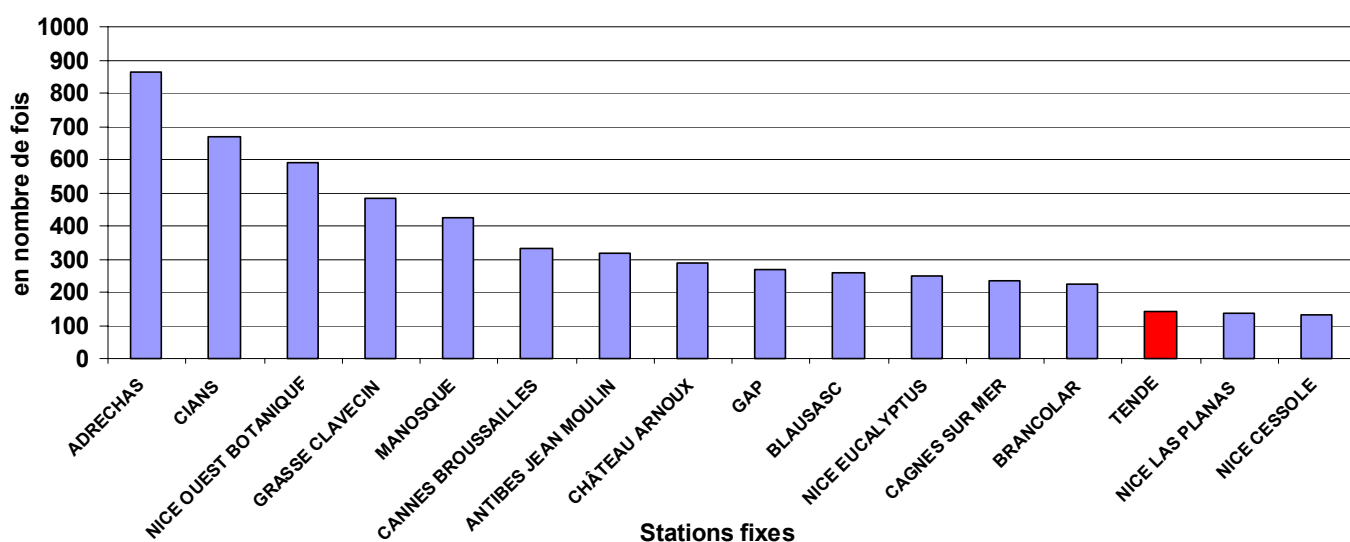
Ce résultat est à relativiser avec le fait qu'aucune station fixe de QUALITAIR ne respecte les objectifs de qualité à l'ozone.

Les deux graphes suivants permettent de faire la comparaison entre le nombre de dépassements des objectifs de qualité enregistrés durant la période d'étude par les stations fixes et ceux enregistrés par l'analyseur à Tende.

### Nombre de moyenne journalière > à 65 µg/m<sup>3</sup>



### Nombre de moyenne horaire sur 8 heures > à 110 µg/m<sup>3</sup>



## Comparaison avec les stations fixes du réseau

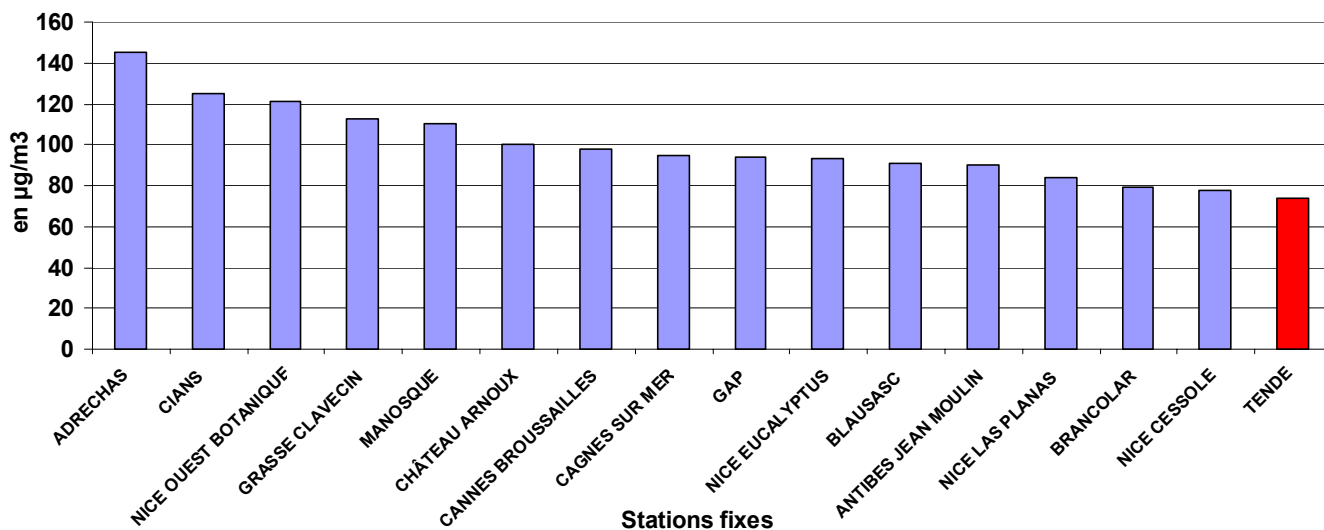
Cette comparaison est faite avec toutes les stations fixes du réseau de QUALITAIR mesurant l'ozone (15 stations réparties sur les 3 départements des Alpes Maritimes, des Alpes de Haute Provence et des Hautes Alpes : voir carte).



### Pollution de fond

La comparaison se basera sur les moyennes calculées durant la période d'étude du 14 juillet au 20 août 2003.

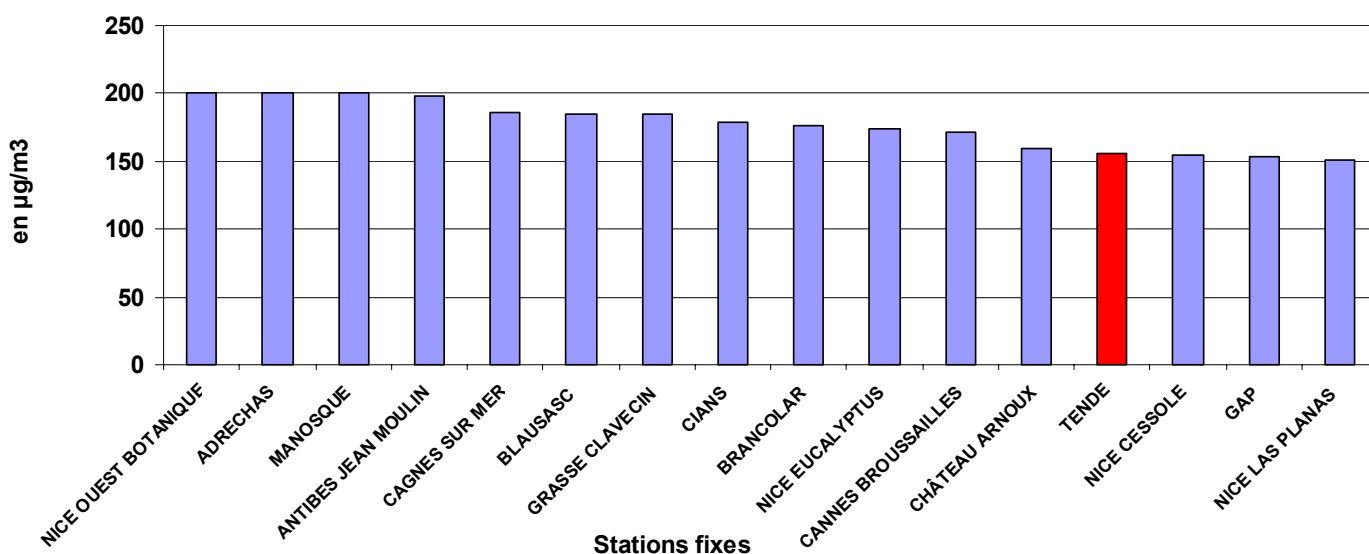
Comparaison de la pollution de fond entre le site étudié et les stations fixes



### Pollution de pointe

La comparaison se basera sur les percentiles 98 calculés en moyenne horaire durant la période d'étude du 14 juillet au 20 août 2003. Le percentile 98 est la concentration au dessus de laquelle se trouvent 2% des valeurs les plus fortes sur la totalité des mesures.

Comparaison de la pollution de pointe entre le site étudié et les stations fixes



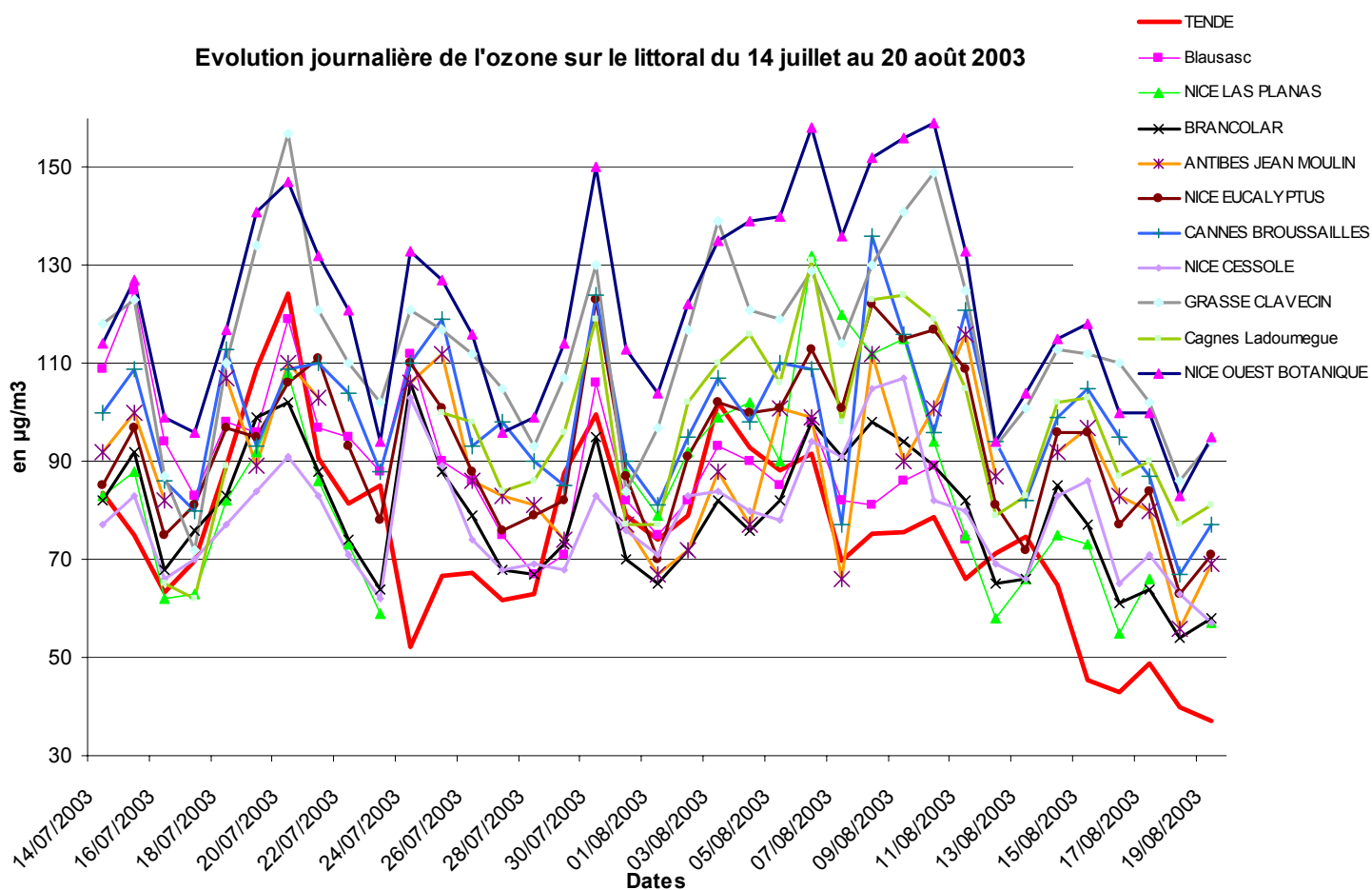
**Commentaires :**

En comparaison avec les stations fixes, l'analyseur de Tende a enregistré la plus faible pollution de fond. De même concernant la pollution de pointe, le site de Tende fait partie des points de mesures où elle est la moins conséquente.

Ces résultats confirment que la vallée de la Roya est une des zones de surveillance de QUALITAIR la moins soumise à la pollution photochimique.

**Evolution journalière**

L'évolution des concentrations journalières en ozone à Tende sera comparée avec celles enregistrées d'une part avec les stations du littoral azuréen et d'autre part avec les deux stations du haut pays des Alpes Maritimes (stations les plus proches du point d'étude : voir la carte).



**Commentaires :**

Globalement, les teneurs journalières du site de Tende suivent la tendance générale décrite par les stations du littoral azuréen. Cependant, quelques journées présentent une situation opposée comme le 24 juillet. Durant cette journée, les teneurs ont baissé à Tende alors qu'elles augmentent sur le littoral. Les précipitations enregistrées ce jour là, par la station Météo France de Tende, semble montrer la présence d'une perturbation locale (orage). Ce phénomène est fréquent en été sur le relief des Alpes Maritimes.

## Campagne de mesure d'ozone à Tende – Juillet/août 2003

Evolution journalière de l'ozone sur l'arrière pays du 14 juillet au 20 août 2003



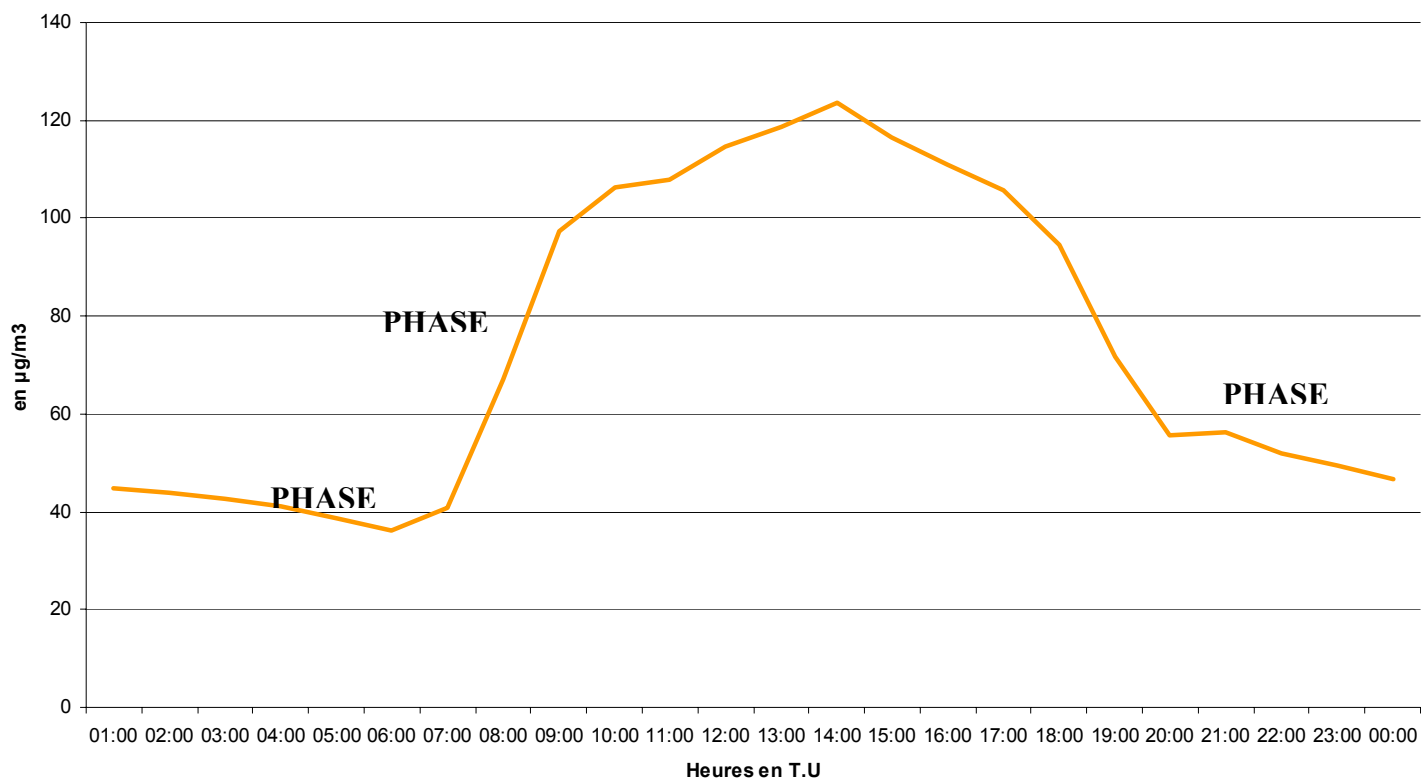
### Commentaires :

A l'identique des stations « littoral », les stations du haut pays des Alpes Maritimes sont en phase avec les teneurs journalières du site d'étude. A noter quelques différences d'évolutions en fin de campagne, la diminution de l'ozone semble être plus marquée à Tende en comparaison avec les deux stations de l'Adréchas et de Cians.

## Le profil moyen journalier

Le profil moyen journalier est la représentation de l'évolution la plus fréquente d'un polluant durant la journée. Pour l'obtenir, les données de la campagne sont moyennées heure par heure.

Profil moyen journalier en ozone à Tende calculé sur la période du 14 juillet au 20 août 2003



Le profil en « cloche » de la courbe est caractéristique du comportement de l'ozone sur un site dit de « plaine ».

La courbe peut être décomposée en trois phases:

- La première phase (notée **PHASE 1** sur le graphe) correspond globalement au niveau de fond en ozone présent sur le site. Pendant cette période, le minimum est atteint aux alentours de 7 heures T.U
- La phase suivante (notée **PHASE 2** sur le graphe) traduit le recyclage au sol du contenu de la couche intermédiaire (1) et l'activité photochimique.
- Enfin, la dernière phase (notée **PHASE 3** sur le graphe) correspond au retour au niveau de fond par le biais de l'atténuation de la production photochimique et des réactions de destruction d'ozone (dépôt sec,...).

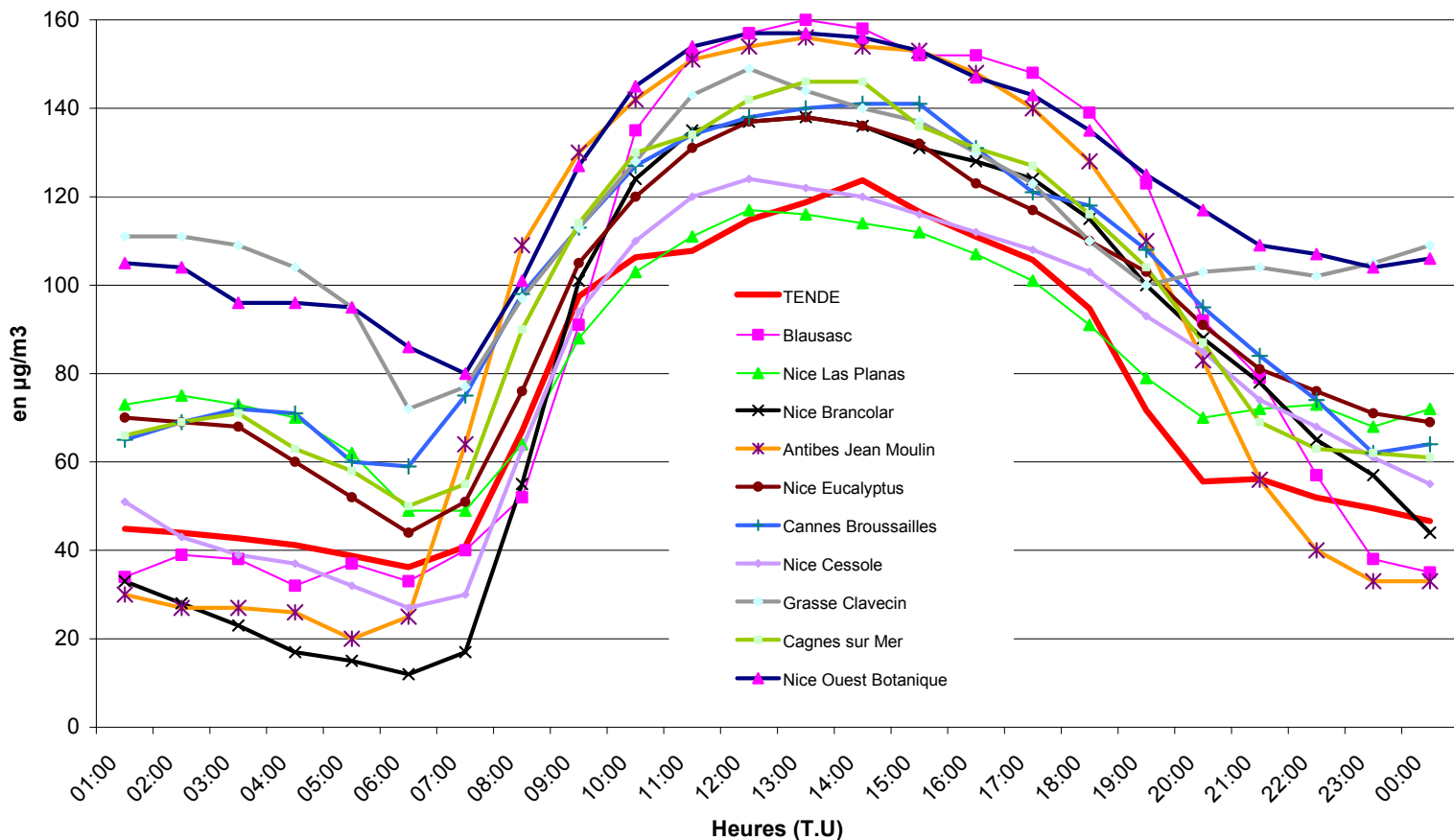
(1) - Couche intermédiaire: Au cours de la nuit, deux couches isolées se forment dans l'atmosphère, la couche de mélange au niveau du sol et la couche intermédiaire environ 100 m au-dessus. En journée, la frontière entre ces 2 couches se détruit, les masses d'air se mélangent.

**Remarque** : Pour plus d'information, un rappel des principales connaissances sur le comportement de l'ozone se trouve en annexe.

## Campagne de mesure d'ozone à Tende – Juillet/août 2003

Le profil moyen journalier en ozone à Tende sera comparé à ceux enregistrés par les stations du littoral azuréen et du haut pays des Alpes-Maritimes (stations les plus proches du point d'étude : voir la carte).

Comparaison des profils moyens journaliers "littoral-tende" calculés du 14 juillet au 20 août 2003



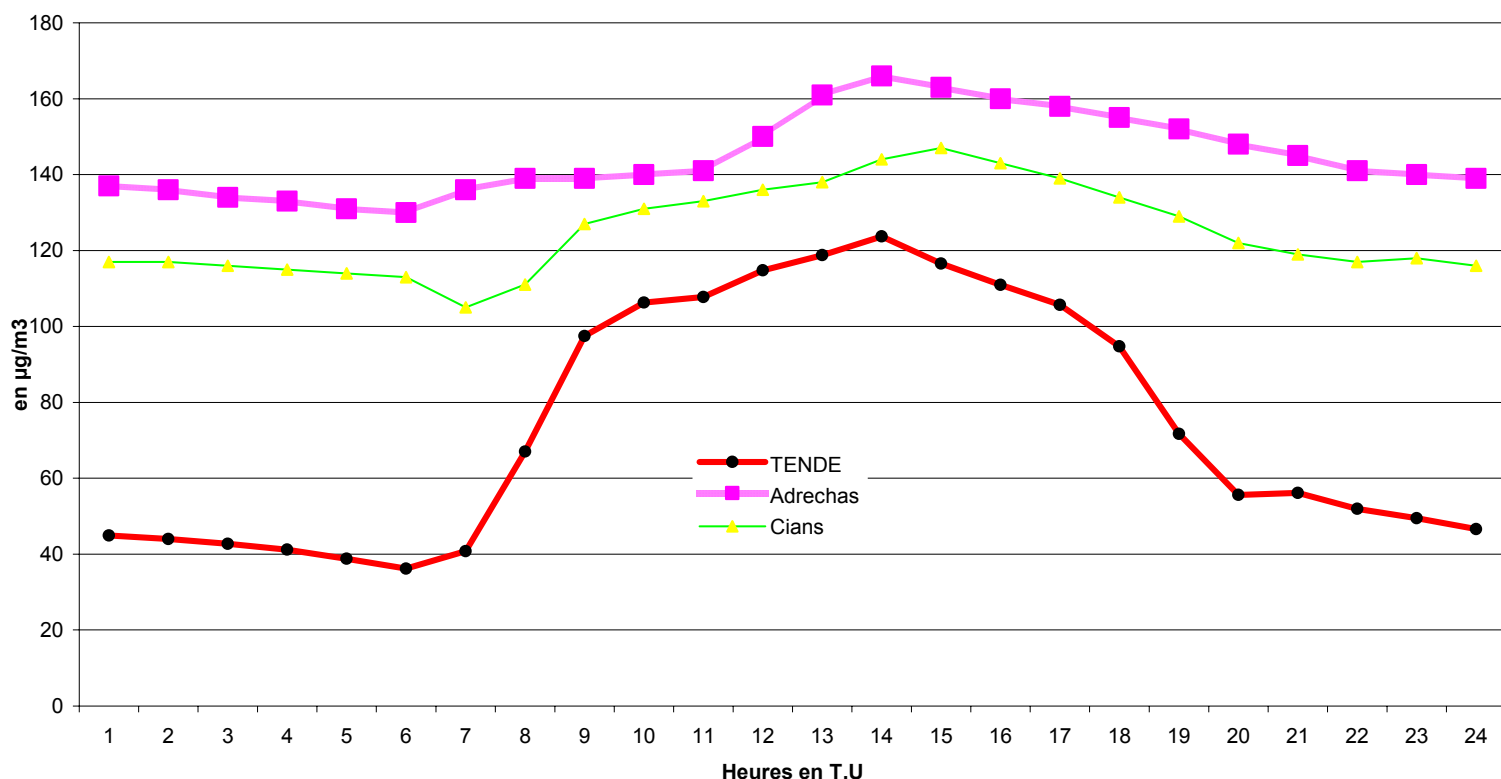
### Commentaires :

La majorité des stations fixes du littoral présente un profil moyen journalier situé au dessus de celui de Tende notamment lors de la phase de production photochimique.

Il est intéressant de noter que le maximum horaire journalier à Tende est situé aux alentours de 14:00 heures T.U (16 :00 en heure locale). En comparaison avec la plupart des stations, ce maximum est tardif.



Comparaison des profils moyens journaliers "haut pays-tende" calculés du 14 juillet au 20 août 2003



### Commentaires :

Du fait de leur positionnement géographique, les sites de l'Adrèchas et de Cians ne présentent pas un profil en « cloche ». Les concentrations en ozone restent relativement constantes durant la journée car il n'y pas de formation de couche limite sur ces sites (voir « Comportement de l'ozone troposphérique » en annexe).

En période estivale, les sites de l'Adrèchas et de Cians connaissent en cours de journée des augmentations d'ozone. Elles correspondent à l'arrivée de masses d'air pollué provenant du littoral.

Ce phénomène semble aussi être présent dans la vallée de la Roya.

En effet, le parallèle entre le point d'étude de Tende et la station de l'Adrèchas (voir le graphe), met en évidence une période d'environ 3 à 4 heures qui pourrait être assimilée à une phase d'apport d'ozone.

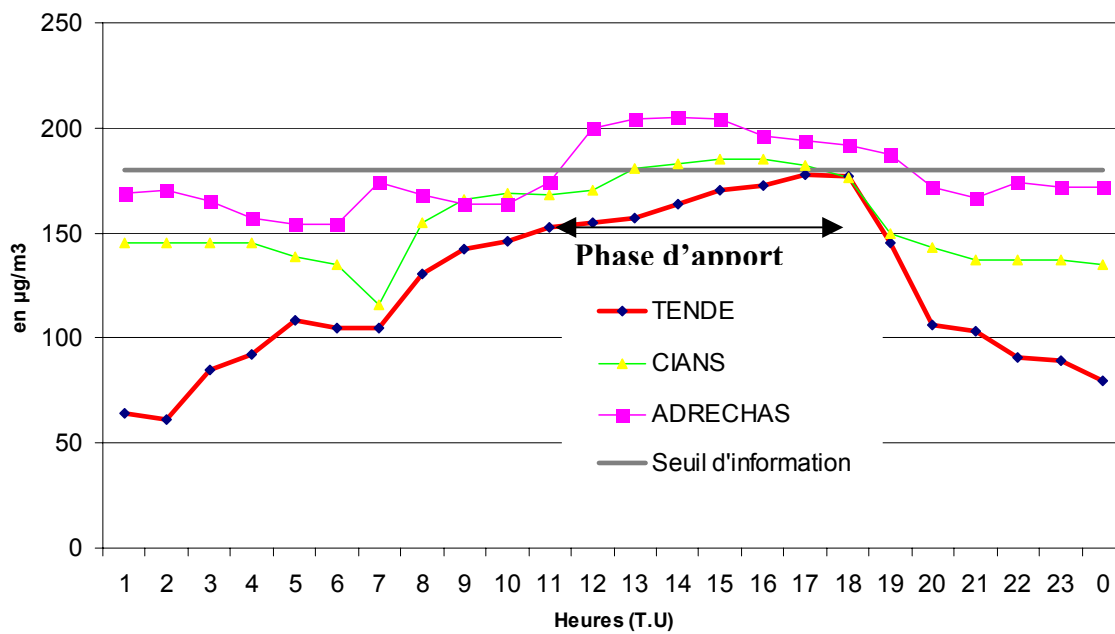
Pour Tende, cet apport d'ozone pourrait provenir du littoral ligurien.

Cette explication du profil moyen journalier de Tende permet de comprendre quelques journées particulières notamment celles où les teneurs ont été les plus élevées durant la campagne.

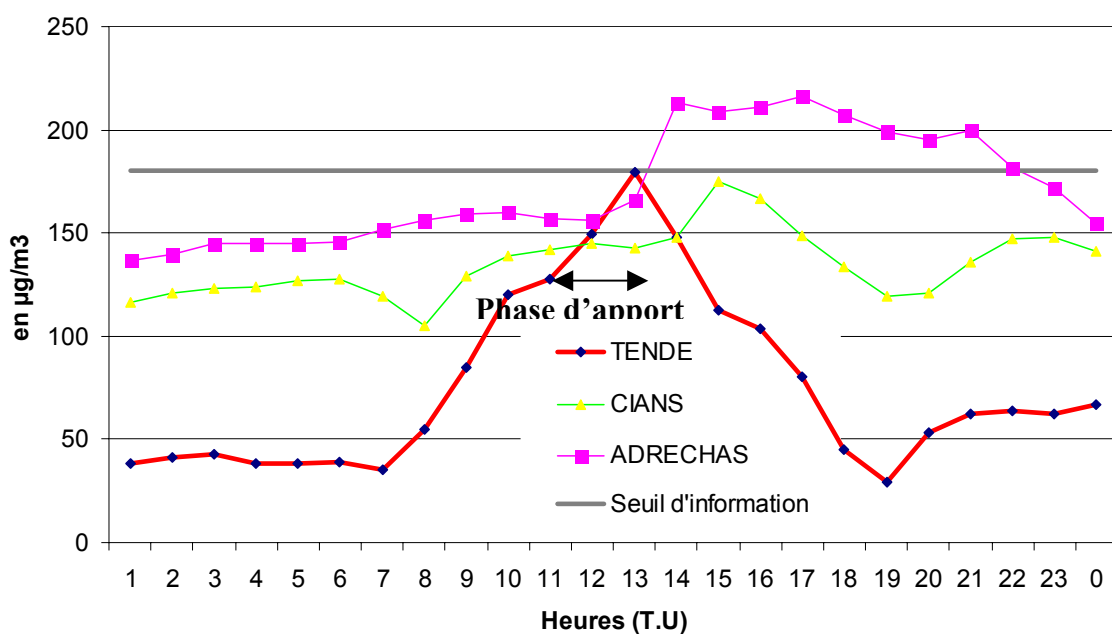
## Journées particulières

Durant la période d'étude, le seuil d'information a été « frôlé » à plusieurs reprises à Tende notamment le 20 juillet ( $177.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et le 9 août 2003 ( $179.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

### Journée du 20 juillet 2003



### Journée du 9 août 2003



Sur ces deux journées, l'ozone se comporte différemment :

- le 20 juillet, il augmente progressivement jusqu'à atteindre son maximum à 17 :00 T.U (19 :00 heure locale).
- Le 9 août, son maximum est atteint plus rapidement à 13 :00 T.U (15 :00 heure locale).

L'heure d'arrivée tardive de ces maximums notamment pour la journée du 20 juillet et le comportement des stations des vallées voisines semblent montrer l'existence d'apport d'ozone à Tende.

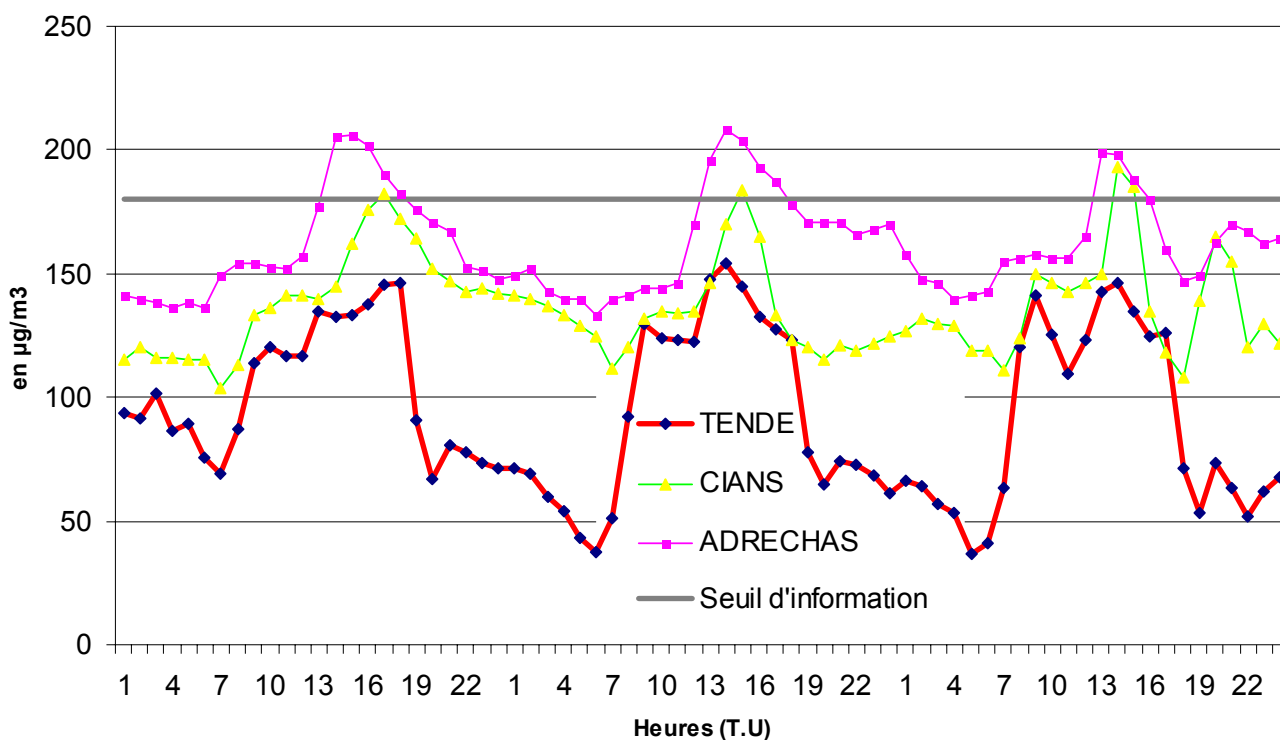
Sous certaines conditions météorologiques, ces apports en ozone peuvent causer de fortes augmentations.

A noter que ces deux journées montrent aussi que les phases d'apport ne sont pas toujours identiques d'un jour à l'autre. Elles dépendent de multiples facteurs.

La plupart des journées semble montrer des arrivées de masses d'air pollué sur Tende. A l'identique de ce qui se passe dans les vallées voisines de la Roya. Cependant dans la majorité des cas, elles ne provoquent pas un dépassement du seuil d'information de 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'exemple du 3 au 5 août illustre ce constat.

### Journées du 3



Durant cette période, le seuil d'information à l'ozone a été dépassé plusieurs fois par les stations de Cians et l'Adrechas. Alors que dans le même temps, les teneurs enregistrées à Tende ont à peine dépassé les 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## *Conclusion*

Sur cette période, l'étude a montré que ce site d'étude était soumis à une pollution photochimique moins « intense » en comparaison avec d'autres points de mesures situés sur le département. Ceci doit pouvoir aussi être étendu à une grande partie de la vallée de la Roya. Cependant, si cette pollution photochimique est plus faible, elle n'est pas pour autant négligeable comme en atteste le non respect des objectifs de qualité. De plus, le seuil de recommandation et d'information a été approché à plusieurs reprises. Ceci laisse à penser qu'il existe **un risque de dépasser ce seuil**.

Aux vues de ces résultats et par principe de précaution, il semble nécessaire d'informer la population de cette partie du département lors d'épisodes de pollution photochimique.

# *Annexe*

## *Comportement de l'ozone troposphérique*

Pour comprendre les épisodes de pollution photochimique, il est important de connaître les paramètres qui gouvernent la formation ou la destruction de l'ozone.

### **1- L'ozone: un indicateur de la pollution photochimique**

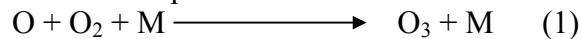
L'ozone troposphérique provient de 2 sources:

- la production photochimique,
- et dans une moindre mesure, les échanges de masse d'air entre la stratosphère et la troposphère.

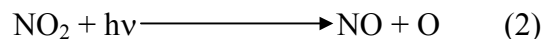
La production photochimique est la source prépondérante. Dans ce cas, il importe de distinguer la troposphère naturelle et les régions polluées.

#### *a/ La troposphère naturelle*

La production directe d'ozone se fait par la réaction suivante:



Dans la troposphère l'atome d'oxygène est fourni par la photodissociation du dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, aux longueurs d'onde inférieures à 400 nm:

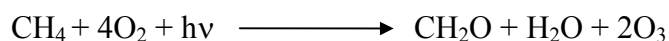


Mais une autre réaction interfère avec les précédentes, il s'agit de l'oxydation du monoxyde d'azote par l'ozone:



Il s'en suit un équilibre des concentrations d'ozone, de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote. La production nette d'ozone n'est possible que s'il y a conversion de NO en NO<sub>2</sub> sans perte d'ozone.

Ce phénomène est rendu possible dans la troposphère naturelle par la présence de monoxyde de carbone et de méthane. Il intervient dans les chaînes d'oxydation de ces composés. Les bilans de ces réactions sont les suivants:



#### *b/ La troposphère polluée*

La troposphère polluée contient des composés organiques volatils (COV\*). Leurs oxydations offrent de nouvelles possibilités de conversion du NO en NO<sub>2</sub> sans perte d'ozone.

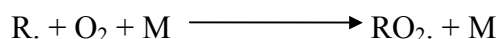
\* : Les COV présentent de nombreuses familles de composés chimiques (alcane, alcène, alcyne, etc...).

La famille des alcanes va servir d'exemple pour montrer les principales réactions d'oxydation des COV.

- 1<sup>o</sup>Etape: Arrachement d'un atome d'hydrogène d'un alcane (R-H) par un radical hydroxyle (OH).

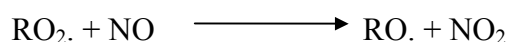


- 2<sup>o</sup>Etape: Addition d'oxygène sur le radical précédemment formé.



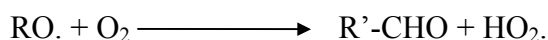
M est un composé qui stabilise la réaction.

- 3<sup>o</sup>Etape: Réduction du radical peroxyde formé par NO.



Ensuite NO<sub>2</sub> se photolyse en NO et O qui réagit avec O<sub>2</sub> pour former O<sub>3</sub> (réactions (1) et (2)). A noter que la réduction du radical peroxyde peut aussi se faire par réaction avec le radical HO<sub>2</sub>. ou un autre radical peroxyde.

- 4<sup>o</sup>Etape: RO. réagit avec l'oxygène moléculaire pour former des composés carbonylés et le radical HO<sub>2</sub>.



Il peut aussi s'isomériser ou se décomposer pour former un nouveau radical qui réagit avec l'oxygène suivant la réaction de la 2<sup>o</sup>étape.

Dans tous ces mécanismes, il y a toujours la formation des radicaux HO<sub>2</sub>. et RO<sub>2</sub>. qui peuvent oxyder NO en NO<sub>2</sub>, sans consommation d'ozone.

Le brouillard photoxydant est un mélange de composés organiques (aldéhyde, cétone,...) et de radicaux libres d'où la difficulté d'en évaluer l'impact sur l'environnement. Comme l'ozone est le polluant caractéristique de ce phénomène, il est choisi comme indicateur de la pollution photochimique et mesuré en tant que tel.

### *c/ Destruction de l'ozone*

En plus des réactions de production d'ozone, il existe des processus de destruction:

- photochimique,
- par dépôt sec au sol.

La destruction photochimique de l'ozone se produit en milieu pauvre en NO<sub>x</sub>. La disparition au sol est due à la réaction avec les surfaces végétales et la décomposition thermodynamique de l'ozone en oxygène.

L'activité des processus de production ou de destruction d'ozone varie suivant le site et les teneurs des autres polluants. De plus, les conditions climatiques influencent les processus dynamiques d'accumulation ou de dispersion des polluants.



## 2- Processus dynamiques

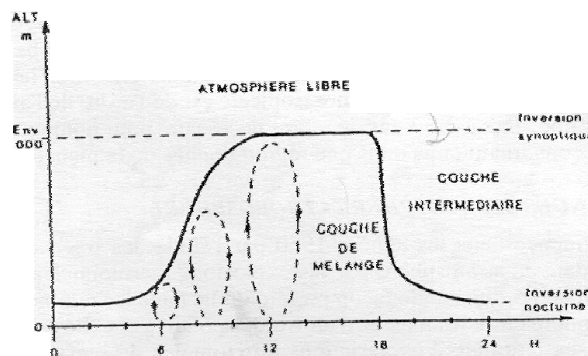
La distribution spatiale et temporelle de l'ozone fait intervenir des processus chimiques (voir précédemment) et des processus de mélange.

Les processus de mélange sont divisés entre les échanges verticaux et horizontaux.

### a/ Échanges verticaux

Les échanges verticaux se font à différentes échelles. Pour une étude localisée, seule la description des échanges entre la couche de mélange et la troposphère libre est importante.

Le schéma suivant décrit la variation de la hauteur de la couche de mélange au cours d'un cycle diurne.



La nuit, la faible épaisseur de la couche limite entraîne une destruction au sol plus importante de l'ozone. Les oxydes d'azote sont concentrés dans un volume plus faible, ils participent alors à la destruction de l'ozone.

Le matin, des cellules de convection verticale se créent et se développent dans la couche de mélange. Elles entraînent le recyclage de l'ozone de la couche intermédiaire et elles empêchent son emprisonnement près du sol et donc ne favorisent pas sa destruction par dépôt sec. De plus, dans la journée les processus photochimiques créent de l'ozone ce qui augmente encore plus les teneurs.

Tous ces phénomènes font que le profil journalier en ozone en plaine est une courbe en cloche.

En montagne, il n'y a pas de formation de couche limite. Les concentrations en ozone restent ainsi relativement constantes durant la journée.

### b/ Échanges horizontaux

Dans ces échanges, il faut distinguer plusieurs échelles de transport :

- L'échelle planétaire (déterminée par la position des grands systèmes de hautes et basses pressions à l'échelle planétaire),
- L'échelle synoptique (déterminée par la position des systèmes de hautes et basses pressions à l'échelle continentale),
- L'échelle locale (fréquemment déterminée par la présence de brises thermiques).

Les épisodes ponctuels (quelques jours) de pollution photochimique sont surtout issus de la situation météorologique à l'échelle synoptique (niveau continental) et/ou locale (niveau régional).

L'échelle locale prend une importance particulière dans les Alpes Maritimes, car du fait de l'absence de flux synoptique marqué (protection des Alpes vis-à-vis du flux d'ouest Atlantique), les brises thermiques jouent un rôle important dans le transport de l'ozone. Ceci est notamment observé en été lorsque l'ozone est transporté des zones côtières vers les zones montagneuses.