



ASSOCIATION POUR LA MESURE DE LA POLLUTION  
ATMOSPHERIQUE DE L'Auvergne

**Atmo Auvergne**

MEMBRE AGRÉÉ DE LA FÉDÉRATION ATMO

Fédération des associations  
de surveillance de la  
qualité de l'air



## Campagne de mesure de l'ozone dans le département du Cantal



De mai à septembre 2006

**Atmo Auvergne**

21 Allée Évariste Galois  
La Pardieu  
63170 AUBIERE

Tél. : 04 73 34 76 34

Fax : 04 73 34 33 56

Mél : [contact@atmoauvergne.asso.fr](mailto:contact@atmoauvergne.asso.fr)

Site Internet : <http://www.atmoauvergne.asso.fr>

# 1 Introduction et contexte

La présente étude a pour but de caractériser les niveaux d'ozone dans le sud-ouest du département du Cantal et d'étudier le transport de ce polluant en provenance des départements limitrophes. Les mesures se sont déroulées de début mai à fin septembre 2006.

## 1.1 Effets de l'ozone sur la santé et sur l'environnement

Dans la stratosphère (entre 10 et 50 km d'altitude environ), l'ozone, gaz de formule chimique  $O_3$ , joue un rôle d'écran naturel et bénéfique vis-à-vis des ultraviolets solaires dangereux pour la matière vivante (c'est le « bon ozone »).

Dans la troposphère (entre 0 et 10 km d'altitude), l'ozone est un polluant dit secondaire car produit principalement par la transformation, sous l'effet du rayonnement solaire, des oxydes d'azote ( $NO_x$ ) et des composés organiques volatils (COV) émis majoritairement par les activités humaines. On l'appelle le « mauvais ozone » : l'ozone est un gaz très oxydant, qui à certaines concentrations est connu pour avoir des effets dommageables pour la santé des hommes et des écosystèmes.

Sur l'être humain, l'ozone provoque des irritations des voies respiratoires et des yeux, ainsi que l'affaiblissement du système immunitaire. Certaines personnes sont plus particulièrement sensibles : il s'agit des personnes atteintes de maladies cardiovasculaires et/ou des voies respiratoires comme l'asthme, des enfants âgés de moins de 15 ans (pour lesquels le développement pulmonaire n'est pas encore achevé), et des personnes âgées.

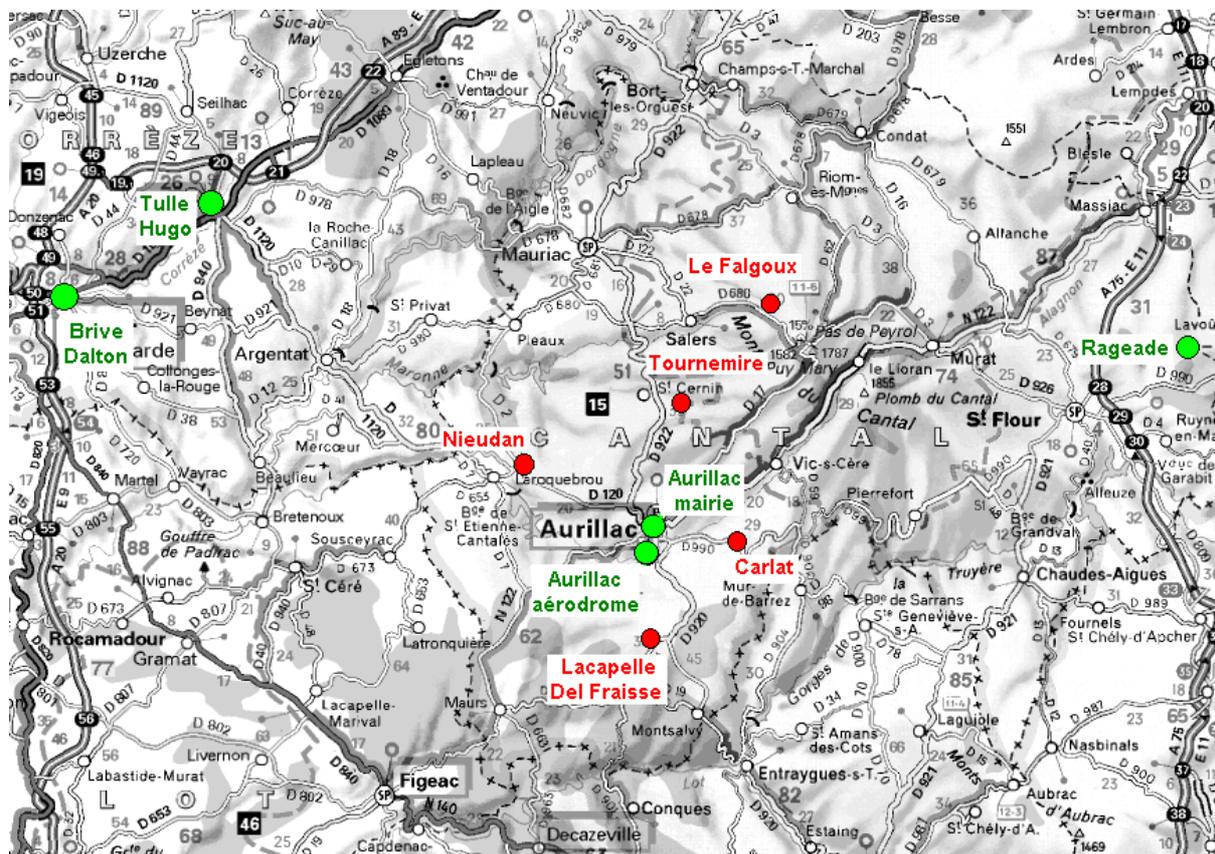
L'ozone a également un effet néfaste sur la végétation. Il pénètre dans les feuilles par les stomates (minuscules orifices situés au niveau de l'épiderme des végétaux et servant aux échanges gazeux) et se dégrade instantanément au contact des cellules, entraînant des réactions en chaîne et aboutissant à la mort de celles-ci. Sur les plantes les plus sensibles, les symptômes sont identifiables dans un premier temps par la présence de nécroses foliaires et ensuite par la chute prématurée des feuilles. Ces pertes foliaires entraînent des diminutions de croissance et un affaiblissement des plantes, les rendant plus sensibles aux attaques parasitaires (insectes, champignons) et aux aléas climatiques (sécheresse).

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

## 1.2 Sites de mesure

Cinq sites temporaires de mesure ont été implantés dans le Cantal de mai à septembre 2006 sur les communes du Falgoux, de Tournemire, de Nieudan, de Carlat et de Lacapelle-de-Fraisse.

La carte d'implantation des sites est indiquée ci-après (en rouge), avec en complément la situation des stations fixes mesurant l'ozone dans le Cantal et les départements limitrophes (en vert).



Les coordonnées géographiques des points sont indiquées ci-dessous :

Sites	Emplacement du capteur	Latitude	Longitude	Altitude
Le Falgoux (15)	Local sur le parking de la mairie	45.154864	2.623350	916 m
Tournemire (15)	Local des expositions (en haut du village)	45.071583	2.481556	819 m
Nieudan (15)	Station de pompage d'eau (en contrebas du village)	44.975839	2.244889	559 m
Carlat (15)	Local à côté de la mairie	44.889503	2.566389	781 m
Lacapelle-del-Fraisse (15)	Local à côté de la mairie	44.779853	2.436114	805 m

Les photos des sites de mesure de la campagne sont présentées ci-après.



Le Falgoux



Tournemire



Nieudan



Carlat



Lacapelle-del-Fraisse

Les photos des sites de mesure fixes utilisés pour la comparaison sont présentées ci-après.



Rageade (15)



Aurillac aérodrome (15)



Aurillac mairie (15)



Tulle Hugo (19)



Brive Dalton (19)

## 2 Résultats

A titre de comparaison, les paramètres statistiques sont aussi présentés pour les stations fixes d'Atmo Auvergne : Aurillac aérodrome, Aurillac mairie et Rageade (à l'ouest de Saint Flour), ainsi que pour les stations fixes de Limair : Tulle et Brive la Gaillarde en Corrèze.

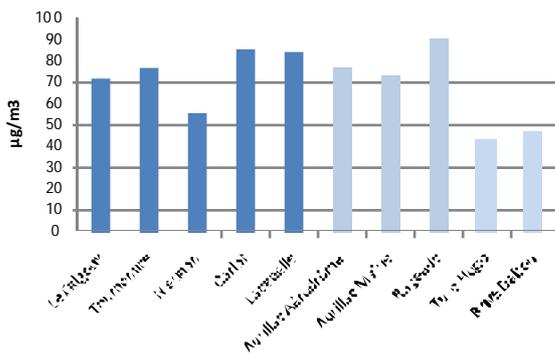
Toutes les concentrations indiquées dans les tableaux et graphiques ci-après sont en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Paramètres	Sites temporaires de la campagne					Sites fixes de comparaisons				
	Le Falgoux	Tournemire	Nieudan	Carlat	Lacapelle-del-Fraisse	Aurillac Aéroport (15)	Aurillac Mairie (15)	Rageade (15)	Tulle Hugo (19)	Brive Dalton (19)
Moyenne	71	77	55	86	84	76	73	90	43	47
Médiane	70	77	55	85	83	76	72	88	39	45
Maximum journalier	119	129	106	138	137	130	128	138	95	98
Maximum 8-horaire	134	139	121	145	143	140	140	150	95	97
Percentile 99.9 horaire	140	141	128	147	146	145	142	154	99	99
Maximum horaire	145	144	130	150	150	147	146	162	99	99

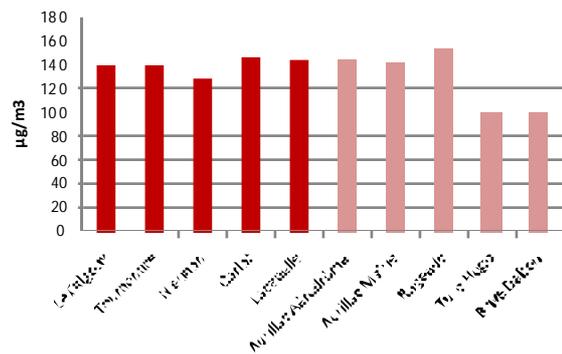
Paramètres statistiques (mesures du 01/05/2006 au 02/10/2006)

Les histogrammes ci-dessous caractérisent les concentrations moyennes en ozone (à gauche) et les teneurs les plus élevées en ozone (à droite).

En clair sont représentés les sites de comparaison (Aurillac aéroport, Aurillac mairie, Rageade, Tulle Hugo et Brive Dalton).



Concentrations moyennes durant la campagne (du 01/05/2006 au 02/10/2006)



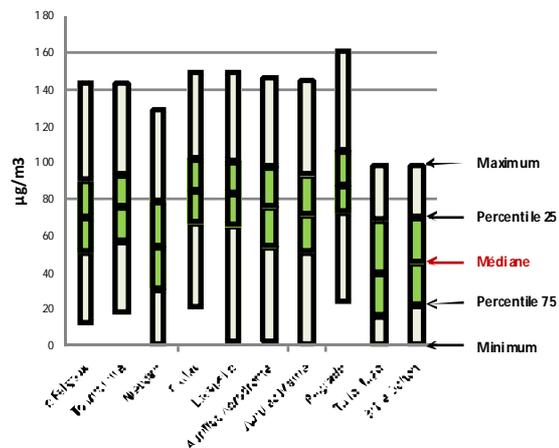
Percentiles 99.9 horaires durant la campagne (du 01/05/2006 au 02/10/2006)

Niveaux horaires durant la campagne (du 01/05/2006 au 02/10/2006)

**Nota bene :**

Percentile 75 : borne au-dessus de laquelle se situent 25 % des valeurs les plus élevées.

Percentile 25 : borne au-dessous de laquelle se situent 25 % des valeurs les plus faibles.



## 2.1 Niveaux moyens et maxima

En termes de **valeurs moyennes**, les stations de Carlat et de Lacapelle-del-Fraisse présentent les teneurs les plus élevées (supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup>). Les trois autres sites affichent des concentrations moyennes inférieures à 80 µg/m<sup>3</sup>. Nieudan se démarque avec une concentration moyenne égale à 55 µg/m<sup>3</sup>.

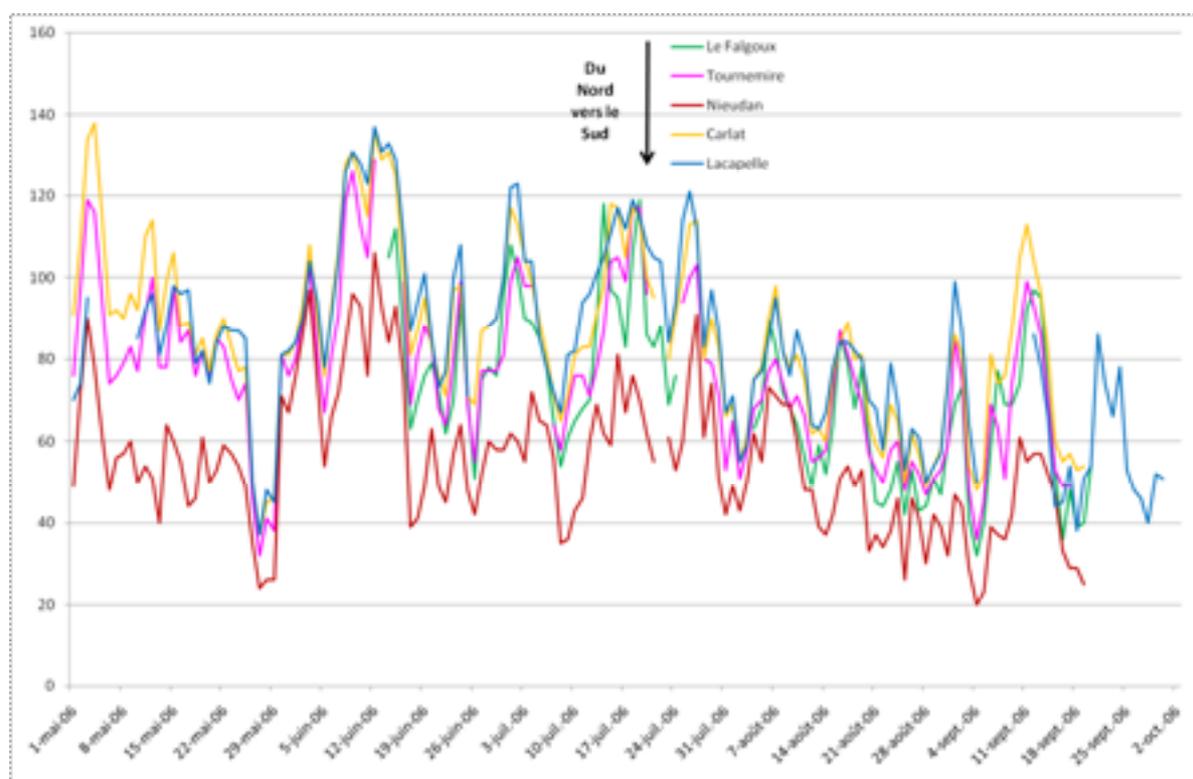
En termes de **valeurs maximales journalières**, la même analyse est conduite, mais les écarts entre sites sont plus resserrés. Les stations de Carlats et de Lacapelle-del-Fraisse présentent des maximums journaliers supérieurs à  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , tandis que les trois autres stations ne dépassent pas  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sur ce paramètre, Nieudan se distingue à nouveau avec un maximum journalier nettement inférieur aux autres sites ( $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

En termes de **valeurs maximales horaires et 8-horaires**, l'ensemble des sites a connu un maximum horaire supérieur à  $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , et un maximum 8-horaire supérieur à  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## 2.2 Evolution des concentrations journalières

Sur un site donné, les concentrations d'ozone sont fortement dépendantes des conditions météorologiques, et notamment de l'ensoleillement.

L'évolution des concentrations journalières sur les cinq sites temporaires de mesure est indiquée dans le graphe ci-après.



Evolution des concentrations journalières d'ozone sur les sites temporaires (01/05/2006 au 02/10/2006)

Sur l'ensemble des sites, les valeurs moyennes journalières varient de  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à  $138 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Le graphique montre des variations journalières assez proches pour l'ensemble des sites de mesure. En termes de valeurs, le site de Nieudan (en rouge) se distingue nettement des autres sites par des moyennes journalières largement inférieures.

Ce graphique permet de conclure que :

- Les sites **de basse altitude** sont peu atteints par la pollution photochimique.
- Les sites **de la pointe sud du département** sont davantage impactés par la pollution à l'ozone.

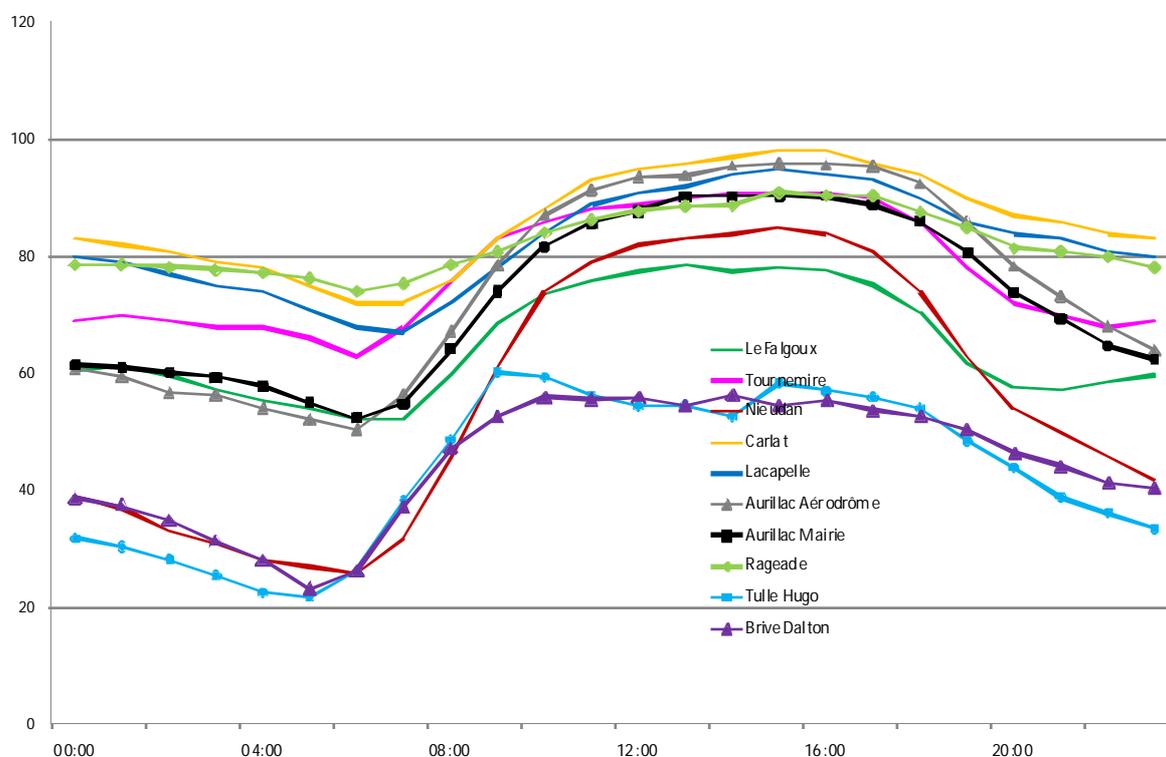
On observe par ailleurs, durant la période estivale, **quatre épisodes notables de pollution photochimique** durant lesquels les valeurs journalières ont dépassé  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (tous sites confondus) :

- Du 3 au 4 mai 2006,
- Du 8 au 15 juin 2006,
- Du 1<sup>er</sup> au 2 juillet 2006,
- Du 14 au 27 juillet 2006.

Les caractéristiques de certains de ces épisodes sont données en §2.4.

## 2.3 Evolution des concentrations horaires (étude des profils journaliers)

Le profil journalier des concentrations enregistrées entre le 1<sup>er</sup> mai et le 2 octobre 2006 est indiqué sur le graphique ci-après.



Profil journalier des concentrations d'ozone durant la campagne (01/05/06 au 02/10/2006). Les curseurs sont affichés pour les courbes correspondant aux sites de comparaison.

Le graphique des **profils journaliers** permet d'observer les points suivants :

- Les sites temporaires du Falgoux, de Tournemire, de Carlat et de Lacapelle-del-Fraisse, d'altitudes équivalentes (800m-900m), présentent des cycles jour/nuit semblables en termes d'amplitude, de valeurs maximales respectives :  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  et  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ces amplitudes sont plus faibles à titre comparatif que celles des deux sites fixes d'Aurillac ( $\approx 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- Le site de Nieudan, d'altitude plus faible (559 m), présente un cycle diurne deux fois plus élevé que les sites temporaires, de valeur maximale  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- A titre comparatif, le site de Rageade, situé à 1 000 m d'altitude (à l'est de Saint-Flour), présente une amplitude de son cycle jour/nuit très faible ( $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

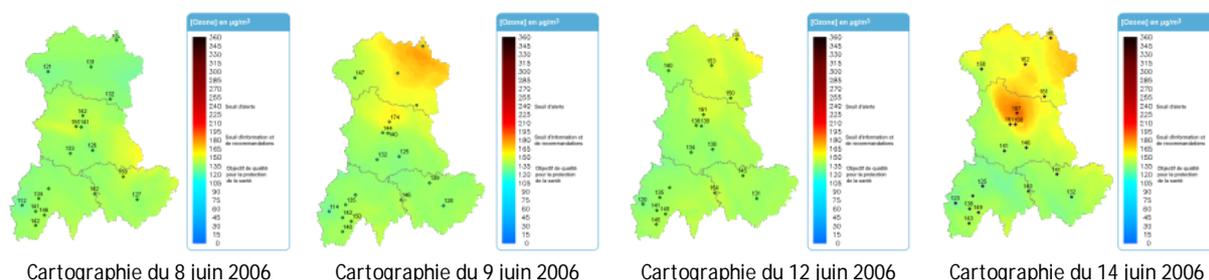
Ce graphique permet de conclure que **l'amplitude des cycles diurnes, relative à la concentration en ozone, s'atténue avec l'altitude.**

## 2.4 Focus sur quelques épisodes de pollution photochimique

Les éléments ci-après caractérisent les deux principaux épisodes de pollution à l'ozone identifiés au cours de la période estivale 2006.

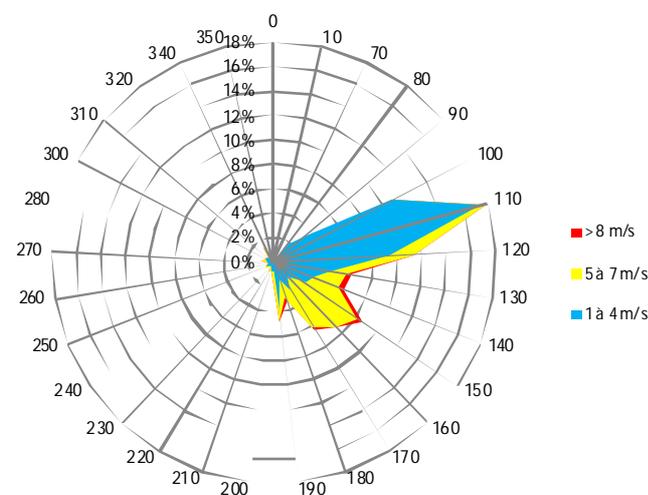
## 2.4.1 Episode du 8 au 15 juin 2006

Les illustrations ci-dessous présentent quelques cartographies d'observation des maxima horaires en ozone du 8 au 15 juin 2006.



Le 8 juin, les concentrations d'ozone grimpent jusqu'à dépasser en moyenne horaire la barre des  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur trois sites de mesures temporaires (Carlat, Lacapelle et Tournemire), puis la barre des  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Carlat et Lacapelle. Le site de Carlat atteindra son maximum estival ce jour là avec  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'atténuation nocturne reste faible durant l'épisode. Les valeurs moyennes horaires continueront de dépasser la barre des  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  jusqu'au 15 juin 2006.



Les conditions climatiques étaient favorables à la formation de l'ozone troposphérique : absence de précipitations, durée d'insolation supérieure à 14 heures par jour, pression atmosphérique élevée, température maximale variant entre  $25^\circ\text{C}$  et  $30^\circ\text{C}$ .

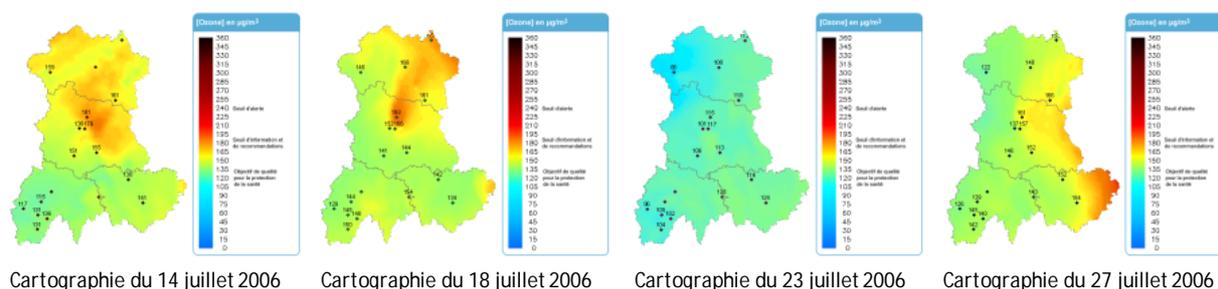
Le vent, relevé sur la station d'Aurillac aérodrome, est d'origine Est dès le 7 juin 2006, puis pendant tout l'épisode, comme l'indique la rose des vents ci-dessus.

En comparant les concentrations des sites temporaires avec celles des sites fixes du département du Cantal, on remarque que ces dernières affichent des valeurs et variations semblables aux sites de la campagne ; Rageade notamment qui tend même à dépasser les valeurs de Carlat.

Globalement, cet épisode de pollution photochimique aura davantage marqué, en Auvergne, les départements du Puy de Dôme et de l'Allier. Le seuil d'information et de recommandation pour l'ozone ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avait d'ailleurs été dépassé le 15 juin 2006 aux stations de Royat et de Riom.

## 2.4.2 Episode du 14 au 27 juillet 2006

Les illustrations ci-dessous présentent quelques cartographies d'observation des maxima horaires en ozone du 14 au 27 juillet 2006.



Cartographie du 14 juillet 2006

Cartographie du 18 juillet 2006

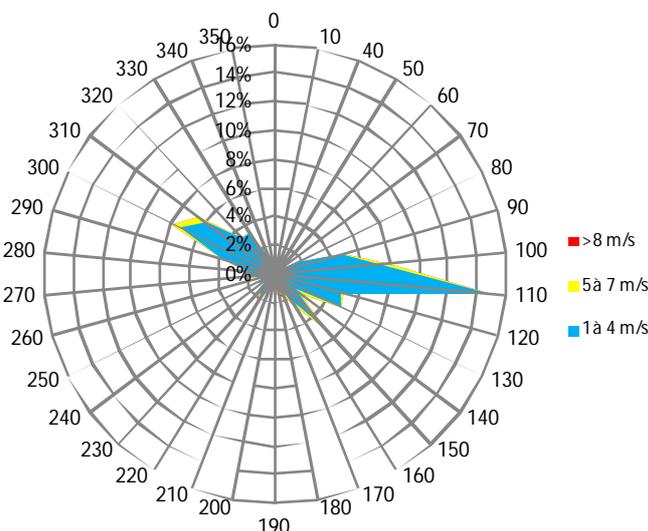
Cartographie du 23 juillet 2006

Cartographie du 27 juillet 2006

Le 14 juillet, le site du Falgoux est le premier atteint par des taux d'ozone dépassant  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Puis tous les autres sites (Nieudan y compris) vont être touchés par des concentrations en ozone élevées. Les atténuations nocturnes ne sont pas négligeables contrairement à l'épisode de pollution photochimique de mi-juin 2006.

La conjugaison de températures maximales très élevées ( $30^\circ\text{C}$  en moyenne sur l'épisode) avec un phénomène de pollution photochimique à grande échelle sur l'ensemble du territoire français participera à la formation d'ozone troposphérique « tenace » durant près de 15 jours, malgré une légère atténuation entre le 21 et le 24 juillet 2006.

Le vent, relevé sur la station d'Aurillac aérodrome, est faible et d'origine Ouest et Est durant l'épisode, comme l'indique la rose des vents ci-contre.



Tous les sites (sauf Carlat) atteindront durant cet épisode leur maximum estival : le Falgoux ( $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 19 juillet 2006), Tournemire ( $144 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 18 juillet 2006), Nieudan ( $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 26 juillet 2006) et Lacapelle ( $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  le 18 juillet 2006).

Globalement, cet épisode de pollution photochimique aura davantage marqué les départements du Puy de Dôme, de l'Allier et l'Est de la Haute-Loire. Le seuil d'information et de recommandation pour l'ozone ( $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) avait d'ailleurs été dépassé le 26 juillet 2006 sur le site de Royat.

### 3 Comparaison avec les normes

Les valeurs applicables en 2006 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) des différents critères nationaux de la qualité de l'air concernant l'ozone sont présentées dans le tableau suivant :

Critère	Paramètre statistique	Valeur applicable	Remarque
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures	120	en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	AOT40 (mai-juillet)	6 000	en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
Valeur cible pour la protection de la végétation	AOT40 (de mai à juillet, moyennes sur 5 ans)	18 000	en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ applicable en 2010
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (25 dépassements / an en moyennes sur 3 ans)	120	en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Seuil d'information et de recommandation	moyenne horaire	180	en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Seuils d'alerte :			
- 1 <sup>er</sup> seuil	moyenne horaire	240	en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (sur 3 h consécutives)
- 2 <sup>eme</sup> seuil		300	
- 3 <sup>eme</sup> seuil		360	

Le tableau ci-après indique pour chaque station de la campagne la valeur cible pour la protection de la santé humaine, le nombre de dépassements du seuil d'information et de recommandation à la population, ainsi que la valeur cible pour la protection de la végétation.

	Nb de jours avec moy. 8-horaires $\geq 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nb. de moy. horaires $\geq 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	AOT 40 en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ mai - juillet
Le Falgoux	8 soit 9 % du temps	0	Non disponible
Tournemire	16 soit 12 % du temps	0	21 318
Nieudan	4 soit 3 % du temps	0	10 993
Carlat	22 soit 16 % du temps	0	25 858
Lacapelle-del-Fraisse	13 soit 9 % du temps	0	25 457
Aurillac aérodrome	25 soit 16 % du temps	0	26 044
Aurillac mairie	13 soit 8 % du temps	0	19 768
Rageade	25 soit 18 % du temps	0	29 262
Tulle Hugo	0 soit 0 % du temps	0	19 396
Brive Dalton	0 soit 0 % du temps	0	17 460

**Aucun dépassement du seuil horaire d'information et de recommandation de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'a été enregistré.**

La valeur cible pour la protection de la santé humaine autorise 25 jours de dépassement par an, en moyenne sur 3 ans, durant lesquels le maximum journalier de la concentration 8-horaire peut dépasser  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ce critère normatif est difficilement comparable aux données présentes vu la durée limitée de la campagne, mais les résultats obtenus font apparaître une année 2006 relativement affectée par la pollution photochimique, avec pour la station de Carlat notamment un nombre de jours de dépassement (22 jours) proche de la limite autorisée. Il est ainsi possible que le nombre total de jours de dépassement dans l'année 2006 ait pu atteindre voire dépasser 25 jours pour cette station rurale. De même pour les stations fixes d'Aurillac aérodrome et de Rageade qui sont à la limite autorisée sur la durée de la campagne. Mais cela ne préjuge en rien le respect de cette norme lors des autres années.

L'AOT 40 est un indicateur d'exposition des végétaux à l'ozone. L'objectif de qualité correspondant (fixé à  $6 000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ ) est largement dépassé sur tous les sites de mesure dans le Cantal.

## 4 Conclusions

Les mesures d'ozone conduites sur cinq sites temporaires installés de mai à septembre dans le sud-ouest du Cantal ont permis de mieux connaître le comportement de ce polluant dans ce département. Les enseignements de cette campagne sont les suivants :

- **L'été 2006 a été relativement propice à la formation d'ozone**, avec une période estivale marquée par un ensoleillement important et de fortes chaleurs, comme sur l'ensemble du territoire français. Cela s'est traduit par des taux d'ozone élevés, aussi bien en termes de pics (dépassements fréquents de la valeur cible de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 8 heures), que de niveaux chroniques (épisodes de pollution avec des moyennes journalières supérieures à  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).
- **Quatre épisodes de pollution à l'ozone** ont été détectés durant la période estivale 2006 : du 3 au 4 mai, du 8 au 15 juin, du 1<sup>er</sup> au 2 juillet et du 14 au 27 juillet. Il s'agit principalement de phénomènes à grande échelle alors visibles sur tout le territoire français, pour lesquels le sud-ouest du Cantal fut « naturellement » affecté, mais dans des proportions moindres que les trois autres départements auvergnats.
- **La pointe sud du Cantal, sous le bassin aurillacois, est davantage impactée par la pollution à l'ozone.** Les stations de Carlat et de Lacapelle-del-Fraisse présentent ainsi les valeurs moyennes et maximales les plus élevées de tous les sites étudiés, assez proches à titre de comparaison des niveaux relevés à Rageade dans l'est du Cantal. Il semble, aux vues des cartes d'observation de l'ozone, qu'il y ait eu des phénomènes significatifs d'entrée d'ozone de puis l'Aveyron, malgré l'absence de valeurs comparatives dans ce département. Aussi, serait-il intéressant de disposer d'une station fixe de mesure dans le sud-ouest du département du Cantal pour évaluer sur le long terme le transfert de la pollution photochimique de puis la région Midi-Pyrénées.
- **L'extrême ouest du Cantal est peu atteint par la pollution photochimique.** Les masses d'air en provenance de la Corrèze sont faiblement chargées en ozone, comme l'indiquent les mesures des sites comparatifs de ce département. Le site de Nieudan présente ainsi les valeurs moyennes et maximales les plus faibles de tous les sites de la campagne.
- **Les zones de faible altitude sont plus faiblement atteintes par l'ozone.**
- **Concernant les valeurs réglementaires :**
  - o Le seuil horaire d'information et de recommandation de  $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$  n'a jamais été dépassé.
  - o La valeur cible pour la protection de la santé humaine applicable en 2010 est, à quelques jours près, respectée durant la période estivale 2006, mais probablement pas durant l'année 2006 entière.
  - o L'objectif de qualité pour la protection des écosystèmes (AOT 40) est dépassé, mais il l'est régulièrement sur l'ensemble des sites ruraux auvergnats.