ASSOCIATION POUR LA MESURE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE DE L'AUVERGNE

Atmo Auvergne

MEMBRE AGRÉÉ DE LA FÉDÉRATION ATMO

Campagne de mesure de l'ozone dans le département du Puy-de-Dôme

De mai à septembre 2009

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

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

1 Introduction et contexte

La présente étude a pour but de caractériser les concentrations d'ozone dans l'ouest du département du Puy-de-Dôme et d'étudier l'amélioration ou la dégradation Est-Ouest des teneurs en ozone. Les mesures se sont déroulées de mi-mai à fin septembre 2009.

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.

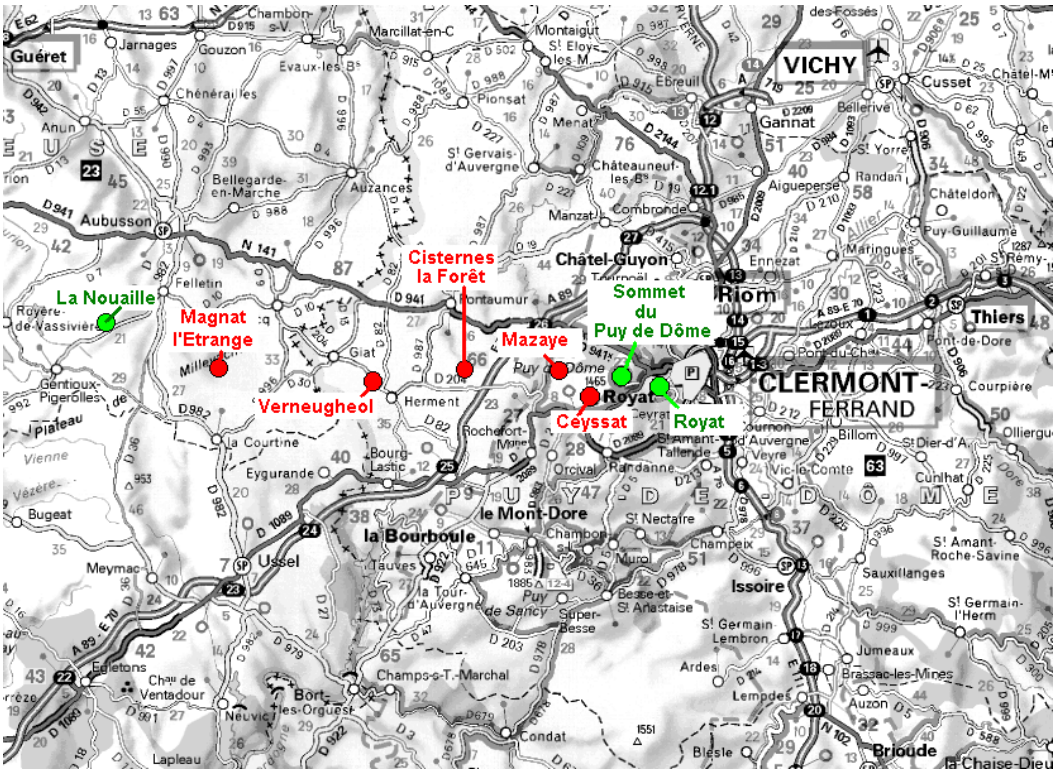
L'ozone a également un effet néfaste sur la végétation. Il pénètre dans les feuilles par les stomates (minuscules orifices situés au niveau de l'épiderme des végétaux et servant aux échanges gazeux) et se dégrade instantanément au contact des cellules, entraînant des réactions en chaîne et aboutissant 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 de mai à septembre 2009 dans l'ouest du département du Puy-de-Dôme, sur les communes de Ceyssat, Mazaye, Cisternes-la-Forêt, Verneugheol, ainsi qu'à Magnat l'Etrange dans le département de la Creuse.

La carte d'implantation de ces sites est indiquée ci-après :



Les coordonnées géographiques des points sont indiquées ci-dessous :

Sites	Emplacement du capteur	Latitude	Longitude	Altitude
Magnat l'Etrange	Mairie	45.793369	2.278800	685 m
Verneugheol	Locaux techniques de la Mairie	45.767918	2.534083	710 m
Cisternes-la-Forêt	Locaux techniques de la Mairie	45.790260	2.705770	820 m
Mazaye	Station météo (proche de l'école)	45.785488	2.862880	755 m
Ceyssat	Auberge des Gros Manaux	45.763969	2.955350	1078 m

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

Magnat l'Etrange (Creuse)

Verneugheol

Cisternes-la-Forêt

Mazaye

Ceyssat

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

La Nouaille (Creuse)

Sommet du Puy de Dôme

Royat

2 Résultats

A titre de comparaison, les paramètres statistiques sont aussi présentés pour les stations fixes d'Atmo Auvergne du Sommet du Puy de Dôme et de Royat, ainsi que pour la station fixe de La Nouaille gérée par Limair dans le département de la Creuse (site MERA).

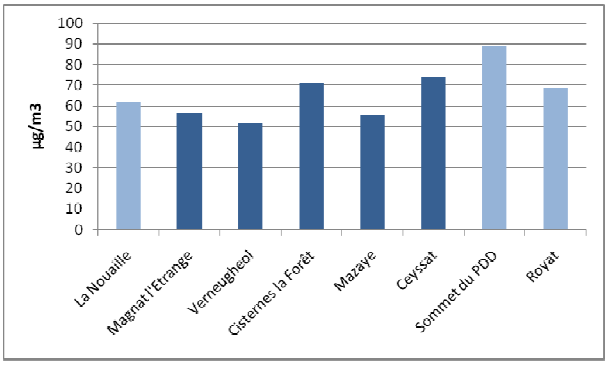
Toutes les concentrations dans les tableaux et graphiques sont en µg/m^3.

Paramètres	La Nouaille	Magnat l'Etrange	Verneugheol	Cisternes-la-Forêt	Mazaye	Ceyssat	Sommet du PDD	Royat
Moyenne	61	56	52	71	56	74	89	68
Médiane	68	60	58	71	60	73	89	66
Maximum journalier	99	99	85	117	90	120	132	116
Maximum 8-horaire	97	128	123	131	130	133	141	145
Percentile 99.9 horaire	99	130	128	135	135	138	145	153
Maximum horaire	99	136	131	138	138	146	158	158

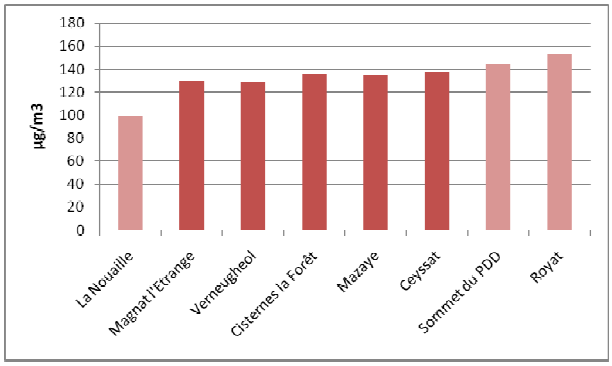
Paramètres statistiques (mesures du 20/05/2010 au 30/09/2010), d'Ouest en Est

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 (La Nouaille, le Sommet du Puy de Dôme et Royat).

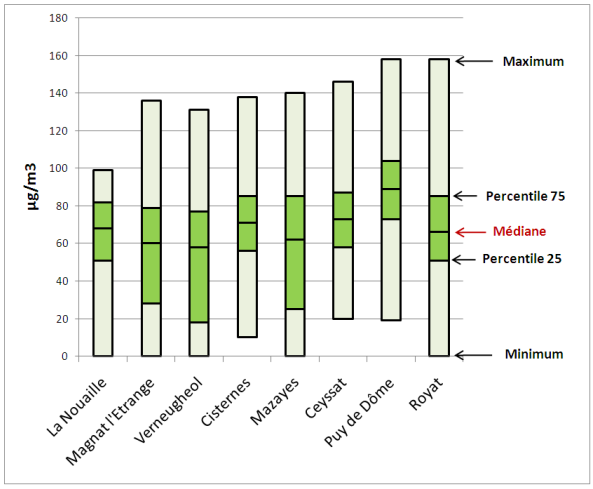


Concentrations moyennes durant la campagne (20/05/2010 au 30/09/2010), d'Ouest en Est



Percentiles 99.9 horaires durant la campagne (20/05/2010 au 30/09/2010), d'Ouest en Est

Niveaux horaires durant la campagne (20/05/2010 au 30/09/2010), d'Ouest en Est.



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 maximas

En termes de **valeur moyenne**, les stations de Ceyssat et de Cisternes-la-Forêt présentent les teneurs les plus élevées (supérieures à 70 µg/m^3). Les trois autres sites affichent des concentrations moyennes inférieures à 60 µg/m^3.

En termes de **valeurs maximales journalières**, la même conclusion est faite, à savoir que les stations de Ceyssat et de Cisternes-la-Forêt présentent des maximums journaliers bien plus élevés que les trois autres sites (écarts de l'ordre de 20 µg/m^3).

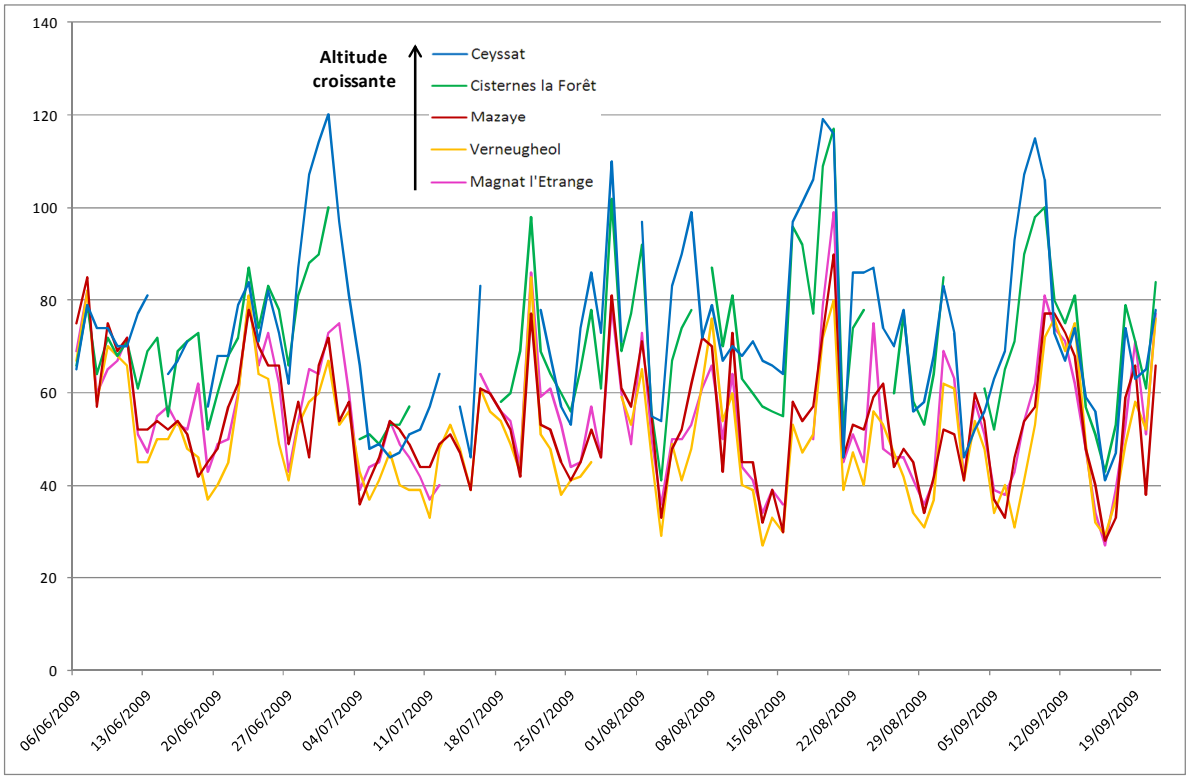
En termes de **valeurs maximales horaires et 8-horaires**, l'ensemble des sites a connu un maximum horaire supérieur à 120 µg/m^3, mais le site de Ceyssat se distingue toutefois par des valeurs plus élevées que l'ensemble des autres sites.

Globalement, on observe **une amélioration des concentrations en ozone de l'Est vers l'Ouest**, en particulier en ce qui concerne les maximas horaires.

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 (06/06/09 au 21/09/09)

Sur l'ensemble des sites, les valeurs moyennes journalières varient de 27 µg/m^3 à 120 µg/m^3.

Le graphique permet de caractériser **deux groupes de sites**, pour lesquels les fluctuations journalières et les valeurs moyennes journalières sont proches, corrélations que l'on retrouve également dans les profils journaliers (cf. §2.3) :

- Magnat l'Etrange, Verneugheol et Mazaye d'une part (les sites de plus basse altitude), dont les concentrations sont comprises (tous sites confondus) entre 27 µg/m^3 et 99 µg/m^3.
- Cisternes-la-Forêt et Ceyssat d'autre part (les sites de plus haute altitude), dont les concentrations sont comprises (tous sites confondus) entre 41 µg/m^3 et 120 µg/m^3.

Ce graphique permet de conclure que **les sites d'altitude sont majoritairement impactés par la pollution à l'ozone.**

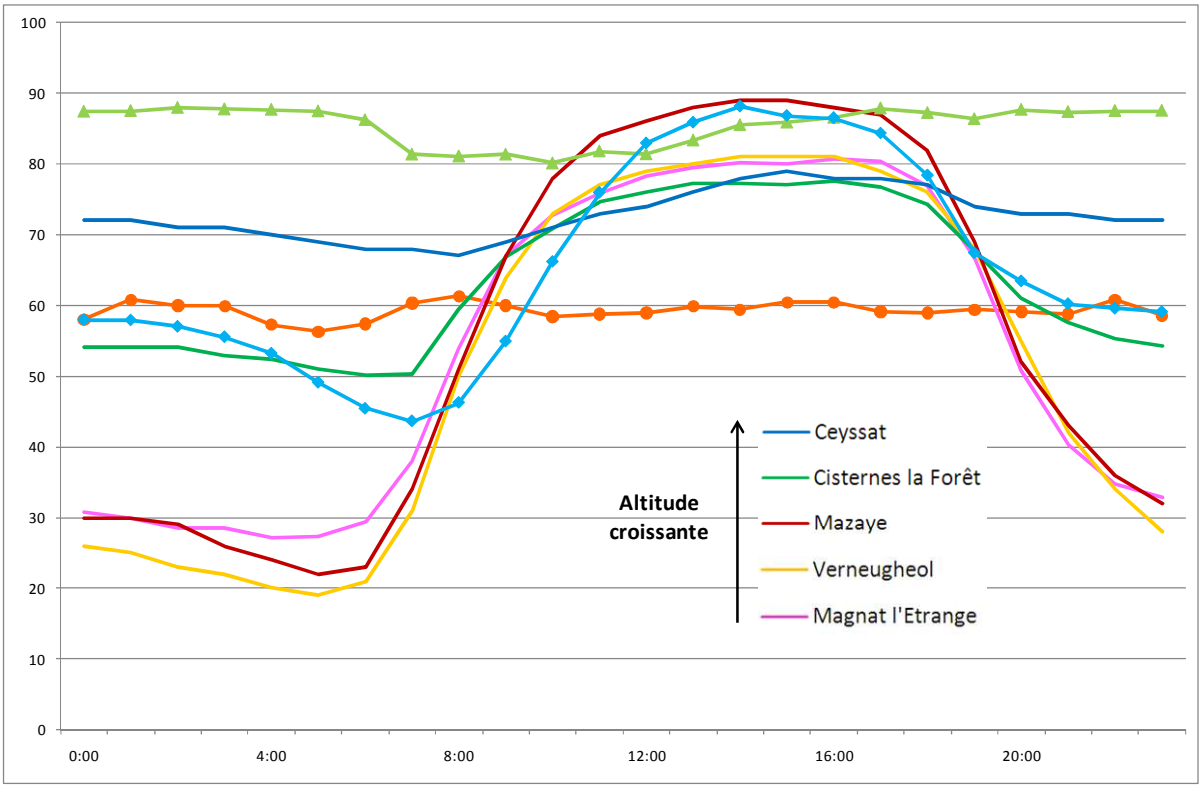
On observe par ailleurs, durant la période estivale, **quatre épisodes notables de pollution photochimique,** pour lesquels les valeurs journalières dépassent 100 µg/m^3 (tous sites confondus) :

- Du 29 juin au 1er juillet 2009,
- Le 29 juillet 2009,
- Du 17 août au 20 août 2009,
- Du 8 sept au 10 sept 2009.

Les caractéristiques de ces épisodes seront données en §2.4.

2.3 Evolution des concentrations horaires (étude des profils journaliers)

Le profil journalier des concentrations enregistrées entre le 6 juin et le 21 septembre 2009 est indiqué sur le graphique ci-après.



Profil journalier des concentrations d'ozone durant la campagne (06/06/09 au 21/09/09). Les curseurs sont affichés pour les courbes correspondant aux sites de comparaison

Nous distinguons à nouveau **les deux groupes de sites**, pour lesquels les cycles diurnes (jour/nuit) des concentrations en ozone sont proches :

- Magnat l'Etrange, Verneugheol et Mazaye d'une part (les sites de plus basse altitude), qui présentent des amplitudes jour/nuit importantes, de valeurs maximales respectives : 54 µg/m^3, 62 µg/m^3 et 67 µg/m^3, proches à titre comparatif du site de Royat (45 µg/m^3).
- Cisternes-la-Forêt et Ceyssat d'autre part (les sites de plus haute altitude), qui affichent des amplitudes jour/nuit faibles, de valeurs maximales respectives : 27 µg/m^3 et 12 µg/m^3, proches à titre comparatif des sites du Sommet du Puy de Dôme (8 µg/m^3), un site rural de montagne, et de la Nouaille (5 µg/m^3), un site éloigné de toutes sources de pollution anthropique.

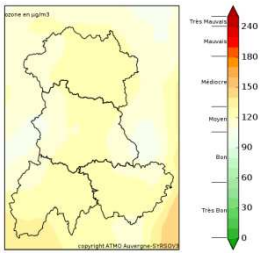
Ce graphique permet de conclure que **l'amplitude des cycles diurnes de concentration en ozone s'atténue avec l'altitude.**

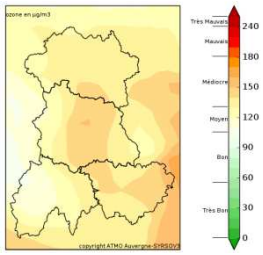
2.4 Focus sur quelques épisodes notables de pollution photochimique

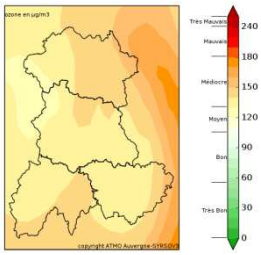
Les éléments ci-après caractérisent deux des quatre épisodes notables de pollution à l'ozone identifiés au cours de la période estivale 2009.

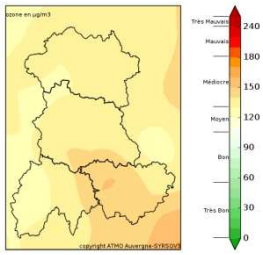
2.4.1 Episode du 17 au 20 août 2009

Les illustrations ci-dessous présentent les cartographies d'observation des maximas horaires en ozone du 17 au 20 août 2009.


Cartographie du 17 août 2009

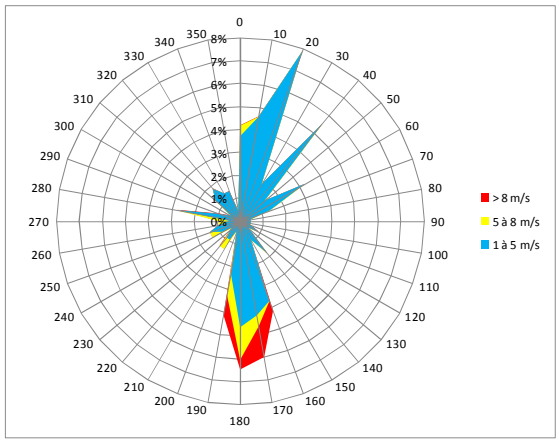

Cartographie du 18 août 2009


Cartographie du 19 août 2009


Cartographie du 20 août 2009

Le 17 août 2009, les concentrations horaires en ozone grimpent au-delà de 100 µg/m^3 sur toutes les stations de mesures temporaires. Puis la barre des 120 µg/m^3 en moyenne horaire est dépassée à Mazaye et à Verneugheol le 18 août, puis à Cisternes la Forêt le 19 août et enfin à Magnat l'Etrange le 20 août. Le site de Ceyssat atteindra son maximum estival le 18 août 2009 (146 µg/m^3), de même pour Cisternes-la Forêt-le 19 août 2009 (138 µg/m^3) et pour Verneugheol le 20 août 2009 (131 µg/m^3).

L'atténuation nocturne est forte la nuit pour tous les sites, sauf pour Ceyssat (aucune atténuation) et pour Cisternes-la-Forêt (atténuation moyenne), en accord avec les profils journaliers moyens (cf. §2.3). A noter que trois sites sur cinq (dont Magnat l'Etrange) n'ont pas connu d'atténuation nocturne dans la nuit du 19 au 20 août 2009.



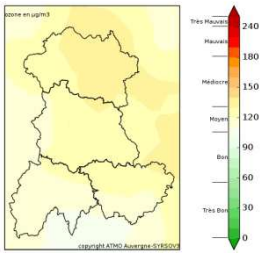
Les conditions climatiques étaient favorables à la formation de l'ozone troposphérique : pression atmosphérique élevée, température maximale variant entre 32°C et 38°C, durée d'insolation moyenne égale à 10 heures par jour et faibles précipitations.

Le vent, relevé sur la station de Clermont-Ferrand à Aulnat, est d'origine Nord et Sud, comme l'indique la rose des vents ci-contre.

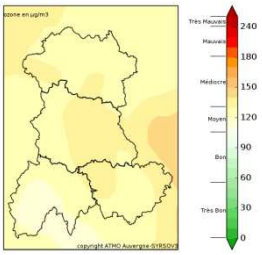
En comparant les concentrations des sites temporaires avec celles des sites fixes du département du Puy-de-Dôme et de la Creuse, on remarque que ces dernières affichent des **variations semblables** aux sites de la campagne. Toutefois, des **écarts** sont observés en termes de moyennes horaires, avec le site du sommet du Puy de Dôme qui affiche des valeurs supérieures à l'ensemble des sites temporaires, et à contrario le site de la Nouaille qui affiche des valeurs nettement inférieures. On retrouve ainsi lors de cet épisode **l'amélioration Est-Ouest** des concentrations en ozone, révélée en §2.1, et visible également sur les cartographies ci-dessus.

2.4.2 Episode du 8 au 10 septembre 2009

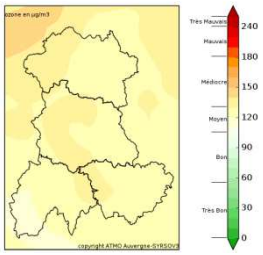
Les illustrations ci-dessous présentent les cartographies d'observation des maximas horaires en ozone du 8 au 10 septembre 2009.



Cartographie du 8 septembre 2009



Cartographie du 9 septembre 2009



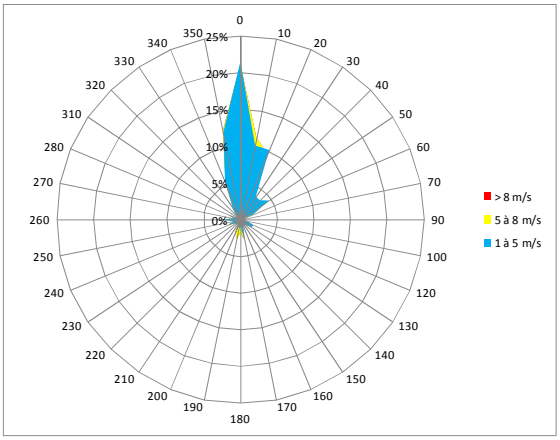
Cartographie du 10 septembre 2009

Le 8 septembre 2009, les concentrations horaires en ozone grimpent au-delà de 120 µg/m^3 sur les stations de mesures temporaires de Mazaye et de Ceyssat. Les 9 et 10 septembre 2009, l'ensemble des stations dépassent ce seuil. Le site de Mazaye atteindra son maximum estival le 8 septembre 2009 (138 µg/m^3), de même pour le site de Magnat l'Etrange le 10 septembre 2009 (136 µg/m^3).

L'atténuation nocturne est forte la nuit pour tous les sites, sauf pour Ceyssat (atténuation faible) et pour Cisternes-la-Forêt (atténuation moyenne).

Les conditions climatiques étaient favorables à la formation de l'ozone troposphérique : pression atmosphérique élevée, température maximale variant entre 26°C et 29°C, durée d'insolation moyenne égale à 11 heures par jour et aucune précipitation.

Le vent, relevé sur la station de Clermont-Ferrand à Aulnat, est d'origine Nord quasi exclusivement, comme l'indique la rose des vents ci-dessus.



En comparant les concentrations des sites temporaires avec celles des sites fixes du département du Puy-de-Dôme et de la Creuse, on remarque que ces derniers affichent des **variations semblables** aux sites de la campagne ; mais des **écarts** sont observés en termes de moyennes horaires, avec les mêmes conclusions que pour l'épisode précédent.

3 Comparaison avec les normes

Les valeurs applicables en 2009 (en µg/m³) 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 horaire journalier de la moyenne sur 8 heures	120	en µg/m^3.h
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	AOT 40 (mai-juillet)	6 000	en µg/m^3.h
Valeur cible pour la protection de la santé humaine	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures (25 dépassements / an en moyenne sur 3 ans)	120	en µg/m^3.h applicable en 2010
Valeur cible pour la protection de la végétation	AOT 40 (mai-juillet moyenne sur 5 ans)	18 000	en µg/m^3.h applicable en 2010
Seuil d'information et de recommandation	moyenne horaire	180	en µg/m^3.h
Seuils d'alerte : - 1er seuil - 2ème seuil - 3ème seuil	moyenne horaire	 240 300 360	 en µg/m^3.h Sur 3 h consécutives

Le tableau ci-après indique le nombre de jours dépassant 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 l'AOT 40 (Accumulated Over Threshold of 40 ppb).

L'AOT 40, exprimé en µg/m^3.h, correspond à la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m^3 (soit 40 ppb) et 80 µg/m^3 durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures (heure de l'Europe centrale).

	Nb de jours avec moy. 8-horaires ≥ 120 µg/m^3	Nb. de moy. horaires ≥ 180 µg/m^3	AOT 40 en µg/m^3.h mai - juillet
La Nouaille	0	0	11 121
Magnat l'Etrange	3 soit 2,8 % du temps	0	12 200
Verneugheol	2 soit 1,9 % du temps	0	10 408
Cisternes la Forêt	5 soit 4,6% du temps	0	12 125
Mazaye	5 soit 4,6% du temps	0	12 880
Ceyssat	9 soit 8,3 % du temps	0	10 751
Sommet du Puy de Dôme	12 soit 11,1 % du temps	0	13 175
Royat	8 soit 7,4 % du temps	0	9 259

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 µg/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 2009 peu affectée par la pollution photochimique, comme l'avaient été les deux années précédentes. Il est très probable que le nombre de jours de dépassement dans l'année 2009 soit inférieur à 25, ce qui ne préjuge en rien du respect de cette norme lors des autres années.
Aucun dépassement du seuil horaire de 180 µg/m^3 n'a été enregistré.

L'AOT 40 est un indicateur d'exposition des végétaux à l'ozone. La valeur cible correspondante (18 000 µg/m^3) n'est pas dépassée sur l'ensemble des sites de la campagne. Néanmoins, l'objectif de qualité (fixé à 6 000 µg/m^3) est nettement dépassé sur tous les sites de mesure, y compris les sites fixes.

4 Conclusions

Les mesures d'ozone conduites sur cinq sites temporaires installés de mai à septembre 2009 dans l'Ouest du département du Puy-de-Dôme (et dans l'Est du département de la Creuse) ont permis de mieux connaître le comportement de ce polluant dans ce département. Les enseignements de cette campagne sont les suivants :

- **L'été 2009 n'a pas été propice à de fortes concentrations en ozone**, aussi bien en termes de pics (pas de dépassements du seuil de 180 µg/m^3) que de niveaux chroniques (pas de moyennes journalières supérieures à 120 µg/m^3).
- **Quatre épisodes de pollution à l'ozone** ont toutefois été détectés durant la période estivale 2009 : du 29 juin au 1er juillet, le 29 juillet, du 17 août au 20 août et du 8 sept au 10 septembre. Il s'agit principalement de phénomènes à grande échelle alors visibles sur tout le territoire français, pour lesquels le Puy-de-Dôme fut « naturellement » affecté, mais dans des proportions moindres que les autres régions françaises (Rhône-Alpes notamment).
- **Les sites d'altitude sont majoritairement impactés** par la pollution à l'ozone. Les stations de Ceyssat et de Cisternes-la-Forêt présentent ainsi les valeurs moyennes et maximales les plus élevées de tous les sites étudiés, assez proches de celles relevées au sommet du Puy de Dôme.
- **Les concentrations moyennes et maximales en ozone diminuent globalement de l'Est vers l'Ouest**, (sauf pour les sites d'altitude) car ils sont davantage à l'abri des polluants primaires (NOx, COV…) en provenance de l'agglomération clermontoise, à l'origine de la formation de l'ozone troposphérique.
- Concernant les **valeurs réglementaires** :
    - Le seuil horaire d'information et de recommandation de 180 µg/m^3 n'a pas été dépassé.
    - La valeur cible pour la protection de la santé humaine applicable en 2010 est très vraisemblablement respectée en 2009.
    - L'objectif de qualité pour la protection des écosystèmes est dépassé en revanche, mais il l'est régulièrement sur l'ensemble des sites ruraux auvergnats.