

Campagne de mesure de l'ozone en forêt de Tronçais (Allier)

Juin à septembre 2013



Atmo Auvergne

25 rue des Ribes

63170 AUBIÈRE

Tél. : 04 73 34 76 34

Fax : 04 73 34 33 56

Mél : contact@atmoauvergne.asso.fr

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

Sommaire

1	Introduction et contexte	3
1.1	Effets de l’ozone sur la santé et sur l’environnement	3
1.2	Sites de mesure temporaires	5
1.3	Sites de référence du réseau fixe.....	6
1.4	Techniques de mesure	6
2	Résultats	7
2.1	Niveaux moyens et maxima	7
2.2	Evolution des concentrations journalières	8
2.3	Profils journaliers des concentrations horaires	8
3	Situation par rapport aux normes	9
3.1	Critères réglementaires.....	9
3.2	Situation des sites de mesure par rapport aux normes.....	9
4	Conclusion	10

1 Introduction et contexte

Atmo Auvergne, association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Auvergne, organise chaque été des campagnes temporaires de mesure de l'ozone, qui répondent à des besoins spécifiques d'amélioration des connaissances de ce polluant. Cette surveillance de l'ozone estival s'inscrit dans le cadre du Programme de Surveillance de la Qualité de l'Air (PSQA).

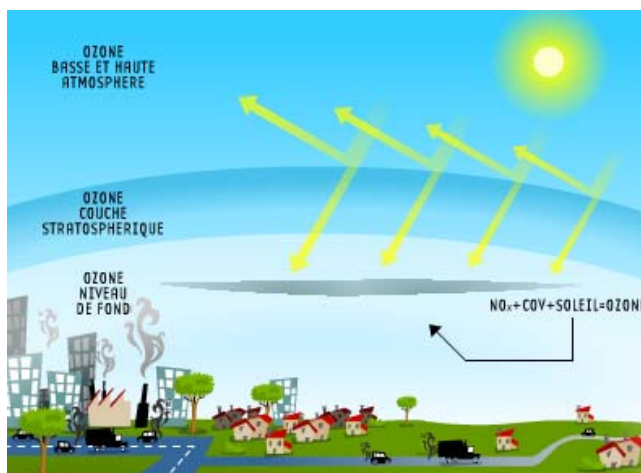
La présente étude avait pour but d'observer l'impact d'une large zone boisée en milieu forestier caduque sur les concentrations d'ozone. Les mesures furent conduites en forêt de Tronçais dans le département de l'Allier, de juin à septembre 2013.

S'étendant sur près de 11 000 hectares, la forêt de Tronçais est une forêt domaniale française gérée par l'Office national des forêts. Elle est principalement constituée de chênes sessiles et pédonculés conduits en futaie, mais cette importante chênaie compte également des hêtres et des charmes pour contraindre les chênes à aller chercher la lumière toujours plus haut. Cette forêt produit un bois de très haute qualité, de grain fin et serré lui donnant toute sa valeur, et est considérée comme l'un des plus beaux massifs forestiers de France.

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 »).









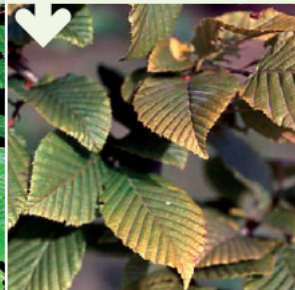
Dans la troposphère (entre 0 et 10 km d'altitude), l'ozone est un polluant dit secondaire car il est produit principalement par la transformation, sous l'effet du rayonnement solaire, des oxydes d'azote (NO_x) et des composés organiques volatils (COV) émis majoritairement par les activités humaines. 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). Cette absorption de l'ozone par les plantes via leurs stomates est cependant diminuée lors des périodes de fortes chaleurs. En effet, les plantes ont tendance à fermer leurs stomates pour diminuer l'évaporation et conserver l'eau, ce qui signifie qu'elles absorbent moins d'ozone.

Les effets de l'ozone sur les feuillus peuplant la forêt de Tronçais (chênes, hêtres, charmes) sont illustrés ci-dessous (source : *La pollution par l'ozone et ses effets sur la forêt et la végétation*, ADEME, Mai 2008) :

Chêne sessile (<i>Quercus petraea</i>)		Exemple de décoloration (chlorose)	
<p>Arbre de 20 à 40 m de hauteur. Commun dans les plaines et moins présent dans la partie Sud de la France. Présent jusqu'à 1600 m d'altitude.</p>		<p>Le feuillage sain est uniformément vert.</p>	<p>Exemple de chloroses, entre les nervures, attribuées à l'ozone.</p>
			
Hêtre (<i>Fagus sylvatica</i>)			
<p>Arbre de 30 à 40 m de hauteur. Commun en plaine dans la moitié nord de la France et en montagne. Présent jusqu'à 1700 m d'altitude.</p>		<p>Feuillage sain, uniformément vert.</p>	<p>Les premiers symptômes sur le hêtre se manifestent par de légères décolorations de couleur bronze. Les effets d'ombre sont également indicateurs des premières atteintes.</p> <p>A un stade plus avancé, une décoloration bronze envahit la face supérieure de la feuille avec des ponctuations brunes entre les nervures.</p>
			
Charme commun (<i>Carpinus betulus</i>)			
<p>Arbre pouvant atteindre 20 m de hauteur, surtout présent dans le nord et l'est de la France.</p>		<p>Feuilles vertes totalement saines.</p>	<p>Les feuilles exposées à la lumière affichent des décolorations couleur bronze, les feuilles à l'ombre et protégées sont restées vertes.</p>
			

1.2 Sites de mesure temporaires

Quatre sites temporaires de mesure ont été échantillonnés de juin à septembre 2013 sur les communes de Vitray, Cérilly et Le Vilhain.

Leurs coordonnées géographiques sont indiquées ci-dessous :

Sites de campagne	Emplacement du capteur	Latitude	Longitude	Altitude
Le Bouchant (commune de Vitray)	Dans la maison forestière du Bouchant	46°35'54.7''	2°38'36.8''	278 m
Le Vilhain	Dans les locaux techniques de la mairie	46°33'33.61''	2°47'46.5''	358 m
Grande Borne (commune de Cérilly)	Dans la station de pompage de Cérilly, Rond de la Grande Borne	46°39'20.5''	2°46'15.8''	258 m
Les Brais (commune de Cérilly)	Dans les locaux techniques de la maison forestière des Brais	46°38'13.3''	2°45'14.2''	290 m

La figure suivante indique les emplacements de ces sites temporaires.



Emplacements des sites temporaires de mesure

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



Le Bouchant



Les Brais



Le Vilhain



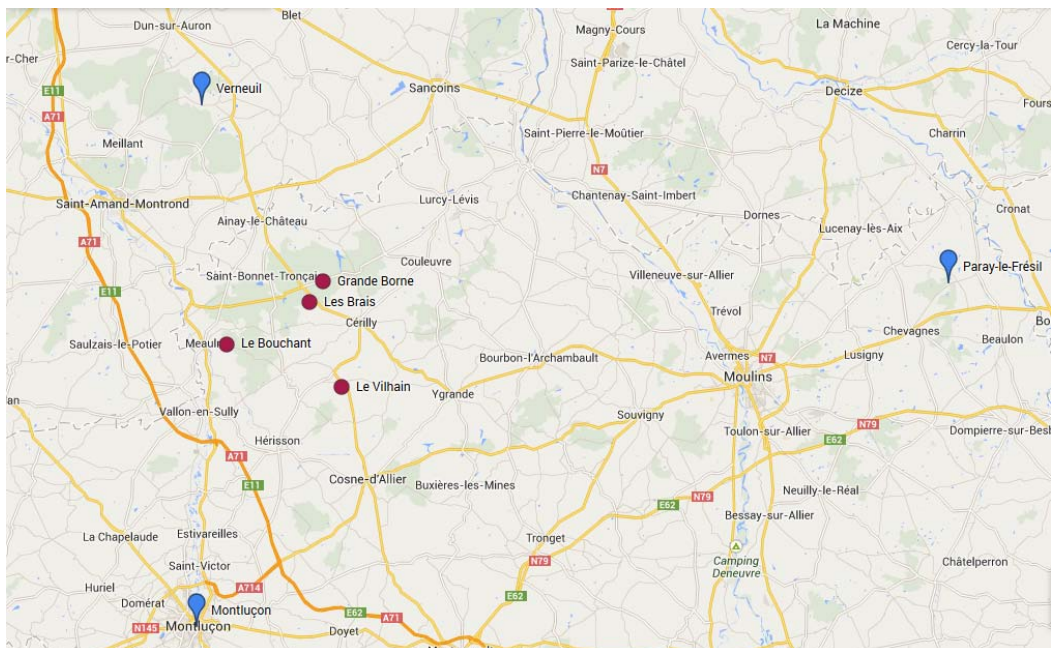
La Grande Borne

1.3 Sites de référence du réseau fixe

L'analyse des enregistrements obtenus sur les stations fixes du réseau de surveillance régional permet de situer les caractéristiques de la qualité de l'air durant une campagne de mesure ponctuelle par rapport aux niveaux habituellement observés. Dans la présente étude, les stations de référence correspondent à certains points de la même zone géographique :

- Le site rural de l'Allier implanté à Paray-le-Frésil
- Le site rural de Verneuil dans le Cher (co-géré avec le réseau de surveillance de la région Centre)
- A Montluçon, le site urbain du Château et celui de l'Hippodrome, en zone périurbaine.

La carte ci-dessous indique l'emplacement de ces sites, à l'échelle du département.



Emplacements des sites temporaires et des stations du réseau pérenne

1.4 Techniques de mesure

Les analyseurs automatiques permettent de fournir en temps réel les données de concentrations au pas de temps horaire. Cette finesse de l'échantillonnage temporel, qui permet de suivre les fluctuations des teneurs en polluants au cours de la journée est conforme à la définition des seuils réglementaires, dont le calcul est souvent basé sur les concentrations moyennes horaires.

L'instrumentation mise en œuvre pour la mesure automatique de l'ozone est conforme aux méthodes normalisées spécifiées dans la réglementation européenne, à savoir la mesure de la concentration par photométrie ultra violette (NF EN 14625).

2 Résultats

Le contexte météorologique de cette campagne de mesure fut propice à la production d’ozone. En effet, si le mois de juin fut frais et agité, l’Auvergne a connu un été agréable, chaud et ensoleillé. Les températures ont été estivales en juillet et en août, avec une vague de chaleur dans la seconde quinzaine de juillet.

Les sites de la Grande Borne, Le Vilhain et le Bouchant ont été installés le 27 mai, tandis que celui des Brais n’a pu être opérationnel qu’à compter du 21 juin. Les paramètres statistiques présentés ci-après sont donc calculés sur la période commune, s’étalant du 21 juin au 15 septembre 2013.

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

Paramètres	La Grande Borne	Les Brais	Le Bouchant	Le Vilhain	Paray-le-Frésil	Montluçon Château	Montluçon Hippodrome	Verneuil
Moyenne	57	67	74	75	53	65	59	60
Maximum journalier	85	107	112	120	79	109	99	109
Maximum 8-horaire*	121	131	142	147	141	146	144	146
Maximum horaire	140	146	154	155	151	159	154	152
Percentile 99.9 horaire**	136	137	152	148	150	158	149	149

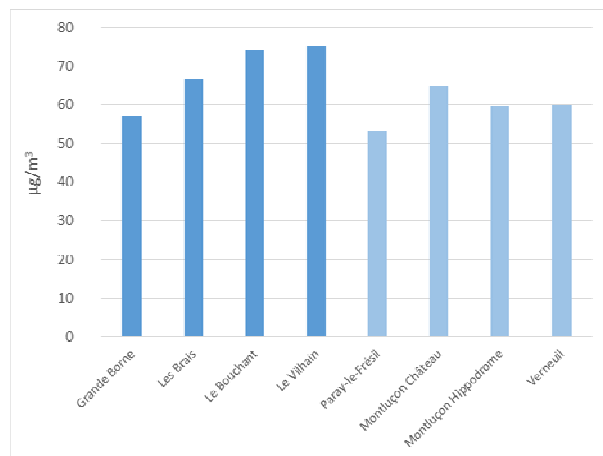
Paramètres statistiques (mesures du 21/06/2013 au 15/09/2013)

Nota bene :

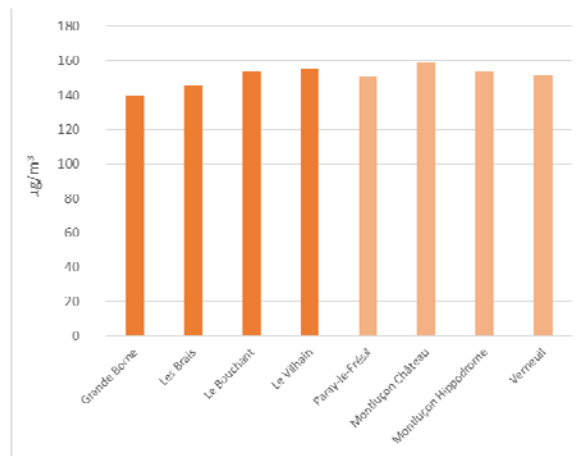
* Maximum 8-horaire : maximum des moyennes glissantes sur 8 heures.

** Percentile 99.9 horaire : valeur au-dessus de laquelle se situent 0,1 % des concentrations les plus élevées.

Les histogrammes ci-dessous présentent les concentrations moyennes et percentiles 99.9 horaires des sites temporaires et des stations de référence (ces dernières sont indiquées en clair).



Concentrations moyennes durant la campagne (du 21/06/2013 au 15/09/2013)



Maxima horaires durant la campagne (du 21/06/2013 au 15/09/2013)

2.1 Niveaux moyens et maxima

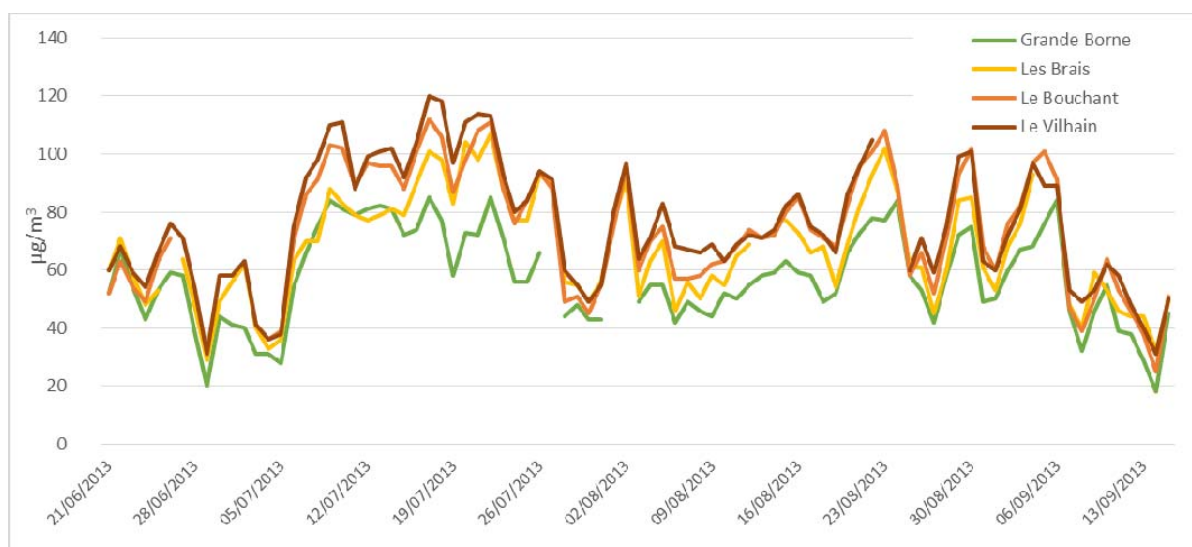
En termes de **valeurs moyennes**, ce sont les stations de Paray-le-Frésil et de la Grande Borne qui présentent les teneurs les plus faibles (inférieures à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Parmi les sites de mesure temporaires, le point du Vilhain, implanté en dehors de la forêt de Tronçais et ayant la plus forte altitude, affiche la concentration moyenne la plus forte.

Concernant les **valeurs maximales horaires et journalières**, c’est encore le site du Vilhain qui apparaît comme le plus exposé parmi les sites temporaires. A l’inverse, le point de la Grande Borne, situé au cœur de la forêt, présente les paramètres statistiques les plus faibles.

L’absorption de l’ozone par les stomates des feuilles des arbres semble bien agir comme un puits d’ozone.

2.2 Evolution des concentrations journalières

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



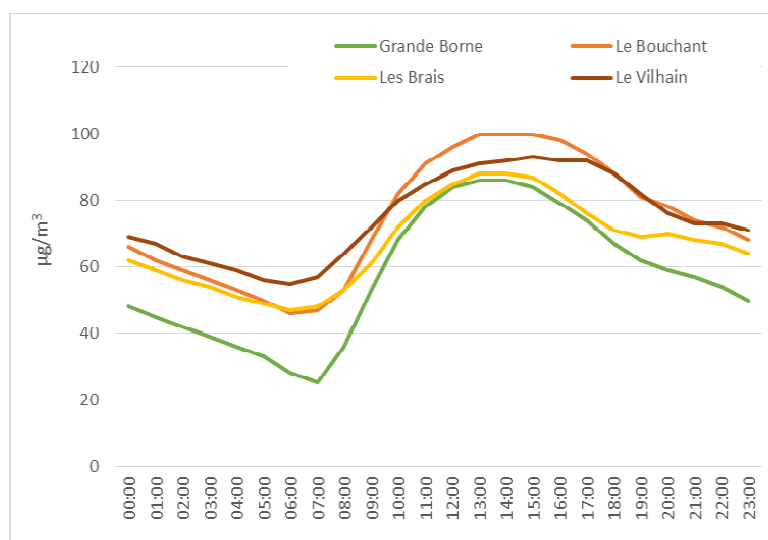
Evolution des concentrations journalières d'ozone sur les sites temporaires (21/06/2013 au 15/09/2013)

Sur l'ensemble des sites, les valeurs moyennes journalières varient de **18 µg/m³** à **120 µg/m³**. La valeur minimale est enregistrée à la Grande Borne, tandis que le maximum journalier est observé sur le point du Vilhain.

Si le graphique montre que les variations journalières suivent la même dynamique sur l'ensemble des sites de mesure temporaires, il met aussi en exergue que les teneurs relevées au cœur même de la forêt sont les plus faibles.

2.3 Profils journaliers des concentrations horaires

Le profil journalier moyen des concentrations enregistrées entre le 21 juin et le 15 septembre 2013 est indiqué sur le graphique ci-après.



Profil journalier des concentrations d'ozone durant la campagne (21/06/2013 au 15/09/2013)

De façon générale, l'amplitude des cycles quotidiens de la concentration d'ozone dépend fortement de l'altitude. Plus cette dernière est élevée, et moins les variations sont marquées.

Le site du Vilhain, dont l'altitude est la plus forte (358 mètres) est en effet celui dont les variations nyctémérales sont les moins prononcées. Les concentrations mesurées à la Grande Borne dans l'après-midi sont équivalentes à celles observées aux Brais, mais la décroissance nocturne est plus appuyée, d'où des niveaux moyens plus faibles.

3 Situation par rapport aux normes

3.1 Critères réglementaires

La réglementation française sur la qualité de l'air ambiant, qui résulte essentiellement de la transposition du droit européen en la matière (directives 2004/107/CE et 2008/50/CE), fait l'objet de l'article R221-1 du Code de l'environnement. Les critères nationaux de qualité de l'air, fixés pour chacune des substances réglementées, ont deux principaux objectifs :

- d'une part de caractériser les teneurs moyenne et maximale en polluants atmosphériques sur la base de paramètres statistiques généralement calculés sur une année civile (valeurs limites, valeurs cibles et objectifs de qualité),
- d'autre part de définir les moyennes horaires ou sur 24 heures au-delà desquelles sont mises en œuvre les procédures d'information de la population (seuils d'information et de recommandation) ou les mesures d'urgence (seuils d'alerte) en cas de pointe de pollution.

Pour l'ozone, les seuils **pour la protection de la santé** (exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont les suivants :

Valeur cible pour la protection de la santé humaine	maximum journalier de la	120	A ne pas dépasser plus de 25 jours / an
Objectif de qualité pour la protection de la santé humaine	maximum journalier de la moyenne sur 8 heures	120	
Seuil d'information et de recommandation	moyenne horaire	180	
Seuil d'alerte pour une protection sanitaire pour toute la population	moyenne horaire	240	
Seuils d'alerte pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence :			
- 1 ^{er} seuil	moyenne horaire	240	Sur 3 h consécutives
- 2 ^{ème} seuil		300	Sur 3 h consécutives
- 3 ^{ème} seuil		360	

L'ozone ayant des effets dommageables sur les écosystèmes, il existe également une réglementation axée sur la protection de la végétation, qui est sensible davantage aux effets chroniques de l'ozone, plutôt qu'aux effets ponctuels dus aux pics de pollution. Les niveaux critiques à long terme pour l'ozone sont exprimés à partir d'une exposition cumulative au-dessus d'une concentration de 40 ppb (partie par billion) soit $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'indice utilisé pour évaluer le degré d'exposition des plantes à cette pollution est l'AOT 40. L'AOT 40, abréviation du terme anglais " Accumulated Over Threshold " est calculé en faisant la somme des différences entre les concentrations horaires (en ppb) et le seuil de 40 ppb, en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8h et 20h (heure de l'Europe centrale).

Les seuils **pour la protection de la végétation** sont les suivants :

Valeur cible pour la protection de la végétation	AOT40 (mai-juillet moyenne sur 5 ans)	18 000	en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$
Objectif de qualité pour la protection de la végétation	AOT40 (mai-juillet moyenne sur 5 ans)	6 000	en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$

3.2 Situation des sites de mesure par rapport aux normes

Le tableau ci-après indique le nombre de jours enregistrant un maximum 8-horaire supérieur à $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (objectif de qualité 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). A noter que cet indicateur doit être évalué entre le 1^{er} mai et le 31 juillet, et qu'il ne peut donc pas être calculé de façon complète, car les mesures ne sont disponibles qu'à partir du 21 juin. Les valeurs calculées sont donc sous-estimées. Il est toutefois pertinent de comparer ces résultats avec l'objectif de qualité de $6 000 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sites	Nb de jours avec moyenne 8-horaire > $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Nb. de moy. horaires $\geq 180 \mu\text{g}/\text{m}^3$	AOT 40 en $\mu\text{g}/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ 21/06-31/07
La Grande Borne	3	0	5 046
Les Brais	3	0	5 870
Le Bouchant	22	0	10 763
Le Vilhain	16	0	9 371
Paray-le-Frésil	6	0	6 134
Montluçon Château	20	0	10 261
Montluçon Hippodrome	14	0	8 371
Verneuil	15	0	7 235

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

L'objectif de qualité vise à ce qu'aucune concentration 8-horaire n'excède $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Il n'est respecté sur aucun des sites. Toutefois, les points de la Grande Borne et des Brais - et de Paray-le-Frésil dans une moindre mesure – sont nettement moins exposés que les autres sites. De façon générale, cet objectif de qualité n'est jamais respecté sur le réseau pérenne auvergnat.

La valeur cible pour la protection de la santé humaine concède 25 jours de dépassement par an, en moyenne sur 3 ans, de ce seuil. Le respect ou non de ce critère normatif est indicatif compte tenu de la durée limitée de la campagne. La station fixe de Montluçon Château a enregistré 20 dépassements durant la campagne, et 23 en 2013. Il est donc fort probable que cette valeur cible soit respectée sur l'ensemble des sites temporaires, à l'exception de celui du Bouchant qui a enregistré davantage de dépassements que le point montluçonnais durant la campagne. Néanmoins, l'été 2013 a été plutôt propice à la production d'ozone, car cette valeur cible, qui doit être calculée en moyenne sur 3 ans, n'est habituellement pas dépassée sur les stations fixes de l'Allier.

La quasi-totalité des stations dépasse **l'objectif de qualité de l'AOT 40** (fixé à $6\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$), pourtant calculé sur une période incomplète. Seuls les points de la Grande Borne et des Brais se situent en deçà de l'objectif de qualité, mais il est probable qu'il soit dépassé au moins sur le site des Brais sur la période réglementaire de calcul (du 1^{er} mai au 31 juillet).

4 Conclusion

L'objectif de cette campagne temporaire de mesure de l'ozone était de mieux comprendre le comportement de l'ozone en milieu forestier caduque. Quatre sites mobiles ruraux ont été installés en forêt de Tronçais dans l'Allier, de juin à septembre 2013. Plusieurs éléments de cette campagne peuvent être retenus :

- Tous les paramètres statistiques, aussi bien ceux caractérisant la pollution de fond (moyenne) que celle de pointe (maxima horaires et 8-horaires) indiquent que le point situé au cœur de la forêt est moins exposé que les autres sites temporaires. L'absorption de l'ozone par les feuillus est ainsi mise en évidence.
- Le point du Bouchant (situé en limite est de la forêt) et celui du village du Vilhain (au sud, à l'extérieur de la zone boisée) affichent des teneurs moyennes plus élevées.
- Aucun dépassement du seuil préfectoral d'information de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'est à déplorer. Par contre, l'objectif de qualité pour la protection de la santé humaine est dépassé sur la totalité des stations. Le respect de la valeur cible est probable sur l'ensemble des points, en particulier sur celui des Brais et de la Grande Borne.
- L'objectif de qualité de l'AOT 40, indicateur qui caractérise le degré d'exposition des plantes à l'ozone, est dépassé chaque année sur l'ensemble des stations auvergnates, et très probablement aussi sur les sites temporaires de mesure.
- Ceci indique que les arbres de la forêt de Tronçais sont impactés par la pollution à l'ozone, et que l'absorption de ce polluant par les plantes, si elle peut être bénéfique en termes de réduction locale des teneurs atmosphériques, peut avoir des effets dommageables sur les écosystèmes. Il serait d'ailleurs intéressant de pouvoir mener des campagnes d'observation et de quantification des symptômes d'ozone portant sur les différentes espèces d'arbres peuplant cette forêt.

.....

Atmo Auvergne remercie les communes de Vitray, Cérilly, et Le Vilhain pour avoir accueilli des analyseurs sur leur territoire, ainsi que l'Office National des Forêts qui a mis à disposition ses locaux pour implanter le matériel.



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



Qualité de l'air en Auvergne

Association pour la Mesure
de la Pollution Atmosphérique
de l'Auvergne

Siège : Atmo Auvergne
25 rue des Ribes – 63170 AUBIERE
Tel : 04.73.34.76.34 / Fax : 04.73.34.33.56
Email : contact@atmoauvergne.asso.fr
<http://www.atmoauvergne.asso.fr>

6 janvier 2014