



Bilan 2011 de la qualité de l'air dans le parc naturel de la Vanoise et dans les territoires d'altitude

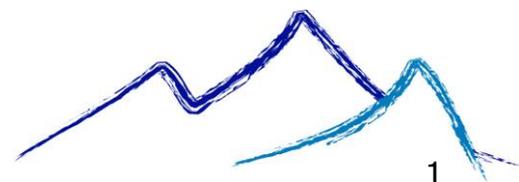


L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie

Savoie Technolac - BP 339 - 73377 LE BOURGET DU LAC Cedex

Tél. 04.79.69.05.43 - Fax. 04.79.62.64.59 -

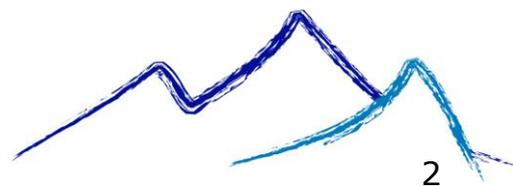
e-mail: air-aps@atmo-rhonealpes.org





Sommaire

Introduction	3
1-La problématique ozone	4
1.1. Un polluant atypique	4
1.2 La formation de l'ozone troposphérique	5
1.3 La répartition géographique de l'ozone	6
1.4 Les effets de l'ozone sur la santé humaine et la végétation*	6
1.5 La réglementation	7
2-Bilan 2011 de la qualité de l'air dans les territoires d'altitude	8
2.1. Les sites de Plan du Lac et du Replat des Canons	8
2.2. Les autres sites d'altitude	10
2.3. Résultats vis-à-vis de la réglementation relative à la santé humaine	12
2.3.1 Les maxima horaires	12
2.3.2 Les profils journaliers	14
2.3.3 Les moyennes estivales	15
2.3.4 Les moyennes glissantes sur 8 heures	17
2.3 Résultats vis-à-vis de la réglementation relative à la végétation	18
2.3.1 Les AOT40 pour la protection de la végétation	18
3-Evolution pluriannuelle de la qualité de l'air	19
3.1. Evolution des moyennes estivales	19
3.2. Evolution des AOT	20
4-Détermination du meilleur site de mesures	21
4.1 Aspects métrologiques	21
4.2 Aspects techniques	23
Conclusions	24





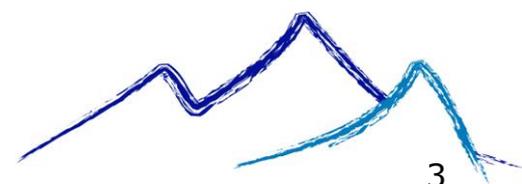
Introduction

Depuis plusieurs années, **l'Air de l'Ain et des Pays de Savoie** complète la surveillance de la qualité de l'air, principalement orientée vers les zones habitées, par des mesures dans les territoires d'altitude qui sont souvent perçus comme exempt de pollution.

Le principal enseignement de ces suivis est que la haute montagne est, elle aussi, soumise à la pollution atmosphérique. La problématique est cependant très différente des zones d'activités humaines. On constate dans ces territoires une prédominance de l'ozone, polluant généré de manière indirecte par l'homme et qui trouve à ces altitudes un réceptacle propice à son accumulation.

La campagne 2011 est particulière : en effet, un nouveau site de mesures a été installé sur la commune de Termignon. Situé sur l'autre versant de la vallée de la Maurienne, au Replat des Canons, cette station a deux objectifs principaux : d'une part rendre compte des niveaux de pollution sur l'autre versant de la Maurienne et ainsi vérifier l'homogénéité spatiale de l'ozone et, d'autre part, déterminer si ce site peut, à terme, remplacer la station de Plan du Lac et être pérennisé.

Ce rapport dresse donc le bilan de cette campagne de mesures et la compare d'une part à la réglementation en vigueur (concernant la protection de la végétation et de la santé humaine) mais également à des sites de même typologie situés en Suisse et en Italie, afin d'évaluer le comportement de l'ozone sur les Alpes du Nord. Enfin, une comparaison (aussi bien sur le plan métrologique que pratique) sera faite entre le Plan du Lac et le Replat des Canons afin de déterminer quel site peut être maintenu.





1-La problématique ozone

1.1. Un polluant atypique

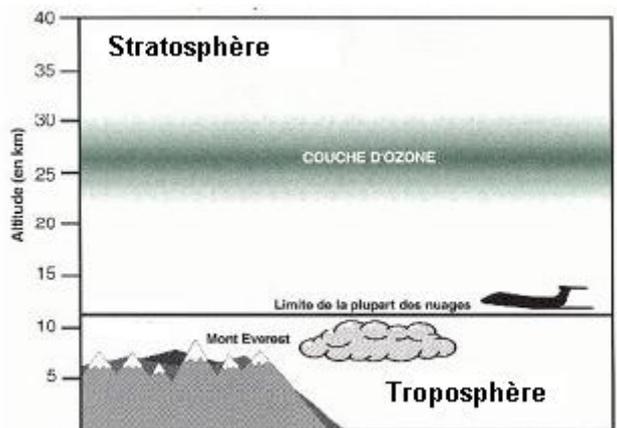
Une confusion est souvent faite lorsque l'on évoque l'ozone : l'on entend d'une part parler du « trou de la couche d'ozone » et de ses conséquences néfastes pour l'environnement, sous entendant que ce composé chimique est protecteur et bénéfique. D'autre part, la population est régulièrement informée de pics d'ozone (notamment en été) dangereux pour la santé.

Alors ce composé est-il bénéfique ou au contraire néfaste ? En fait, les deux à la fois ! Pour y voir plus clair, il faut faire la distinction entre 2 types d'ozone, qui diffèrent seulement par leur localisation dans l'atmosphère :

- l'ozone **troposphérique**
- l'ozone **stratosphérique**

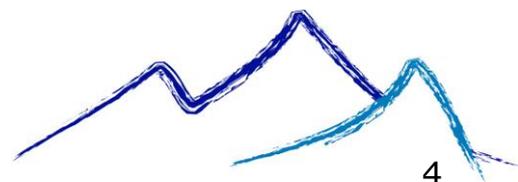
L'ozone **troposphérique** est présent dans les plus basses couches de l'atmosphère, dans notre environnement immédiat, et est, en grande partie, créé à partir des activités humaines.

Il présente un danger pour la santé humaine et pour la végétation lorsqu'il est présent en grande quantité, c'est pour cette raison qu'il est considéré comme un polluant. L'ozone **troposphérique** présente la particularité de ne pas être émis directement dans l'atmosphère par une source de pollution : c'est à partir des polluants, dits « primaires », qu'il se forme, sous l'action du rayonnement solaire. C'est donc un polluant dit « secondaire ».



Les principaux composés participant à la formation de l'ozone sont :

- les oxydes d'azote et le monoxyde de carbone, émis par le trafic.
- les composés organiques volatils dont les sources peuvent être d'origine automobile, industrielle ou naturelle.





L'ozone **stratosphérique** est quant à lui naturellement présent dans les plus hautes couches de l'atmosphère (partie comprise entre 15 et 40 km d'altitude) et, contrairement à l'ozone troposphérique, a un effet bénéfique puisqu'il filtre le rayonnement solaire et empêche les ultraviolets nocifs d'atteindre la surface du sol.

L'appauvrissement de la couche d'ozone, engendré par les émissions d'halocarbures (CFC...), permet de laisser passer ces rayons dangereux pour la vie terrestre à travers la couche atmosphérique.

Malheureusement, l'excès d'ozone dans la troposphère ne compense pas les pertes dans la stratosphère, ce qui rétablirait un équilibre des concentrations. C'est seulement le phénomène inverse qui est susceptible de se produire : le déplacement de courants violents au niveau des hautes couches de la troposphère entraîne le passage de l'ozone stratosphérique vers la troposphère.

1.2 La formation de l'ozone troposphérique

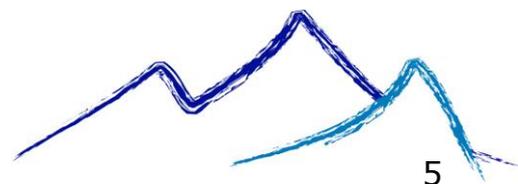
L'ozone est un polluant dit « photochimique », car il se forme sous l'effet du rayonnement solaire. Dans la troposphère, la photodissociation du NO_2 entraîne la libération d'un radical d'oxygène O^\cdot (1) qui se combine avec une molécule d'oxygène O_2 présente dans l'atmosphère, ce qui provoque la formation d'une molécule d'ozone O_3 (2) :



Le NO, formé lors de la première réaction, réagit rapidement avec l'ozone pour former du NO_2 :



Il se forme alors un équilibre entre les 3 composés NO_2 , NO et O_3 qui peut être perturbé par les composés organiques volatils, et un excès d'oxydes d'azote. L'intervention de ces composés va provoquer un ensemble de réactions en faveur de la production d'ozone, et dans des proportions entraînant des effets néfastes sur la santé. Ce phénomène est fortement accentué lors des périodes d'ensoleillement intense et de températures élevées, donc particulièrement en période estivale où les pics d'ozone sont fréquents dans les grandes villes.





1.3 La répartition géographique de l'ozone

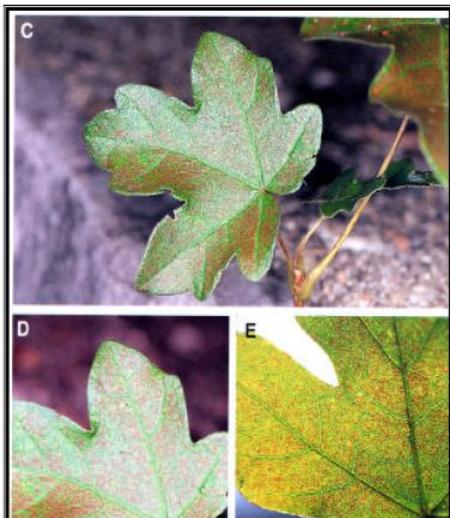
Une caractéristique de l'ozone est sa répartition géographique bien particulière. En effet, contrairement aux polluants primaires très présents dans les villes, l'ozone s'y fait plus rare puisqu'il est en grande partie consommé par les oxydes d'azote, fortement émis le long des principaux axes routiers. La masse d'air chargée de polluants précurseurs émis dans les agglomérations, se déplace en périphérie de celles-ci où elle est transformée sous l'action du rayonnement solaire. En période estivale, des pics d'ozone sont enregistrés dans l'après-midi (environ vers 16h) et les concentrations les plus basses sont mesurées la nuit.

Les **zones d'altitude** représentent un cas particulier pour l'ozone. En effet, elles ne sont pas directement influencées pas les phénomènes photochimiques locaux, mais par la dispersion des polluants à une échelle beaucoup plus grande. Les concentrations relevées sur des sites de montagne se sont montrées non négligeables. Les effets connus de l'ozone sur la santé et la végétation justifient le suivi de tels sites.

1.4 Les effets de l'ozone sur la santé humaine et la végétation*

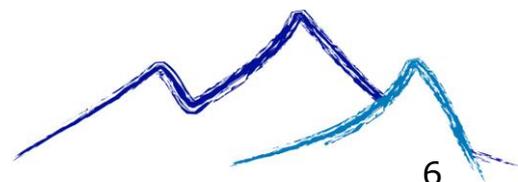
Les effets sur la santé humaine se font ressentir après une exposition prolongée à des concentrations élevées d'ozone. Ils se traduisent le plus souvent par des irritations des yeux et des voies aériennes. Les personnes les plus touchées sont les jeunes enfants et les asthmatiques. Une activité sportive pouvant amplifier l'importance de ces symptômes, les sportifs sont inclus dans ces populations à risque.

Les végétaux sont encore plus sensibles aux effets de l'ozone. Une exposition à de fortes concentrations d'ozone peut notamment entraîner un ralentissement de la photosynthèse. Ce ralentissement provoque des effets non visibles sur les végétaux comme une baisse de leur croissance ou une accélération du vieillissement cellulaire.



Les effets visibles de l'ozone sur les végétaux sont des nécroses des feuilles (cf. photos ci-contre) et une sénescence prématurée.

Des différences de sensibilité des espèces vis-à-vis des effets de l'ozone ont été mises en évidence. L'ozone aurait donc une influence sur la composition du milieu puisque les espèces les plus sensibles auraient tendance à disparaître, laissant la place aux espèces ayant développé une résistance à l'ozone. Ce polluant pourrait donc instaurer une pression sélective et de nouveaux rapports de force entre les espèces.





Les effets à long terme pourraient être des modifications majeures des écosystèmes les plus sensibles. Toutefois, les conséquences de l'ozone aujourd'hui se limitent à des altérations sur les individus isolés et non à des écosystèmes.

* Sources : « Ecotoxicologie des polluants atmosphériques sur les milieux d'altitude », C.Bornigal, 2006. « Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère », Académie des sciences, 1993.

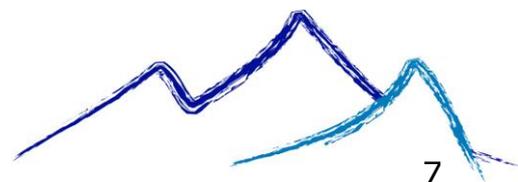
1.5 La réglementation

Norme	Valeur à respecter	Pas de temps pour le calcul
Protection de la santé humaine		
Valeur cible	120 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 25 fois par année civile	Maximum journalier de la moyenne sur 8 heures
Seuil d'information	180 µg/m ³	1 heure
Seuil d'alerte	240 µg/m ³	1 heure
Protection de la végétation		
Valeur cible	18 000 µg/m ³ ·h	AOT 40 calculé de mai à juillet
Objectif à long terme	6000 µg/m ³ ·h	AOT 40 calculé de mai à juillet

Définition et mode de calcul de l'AOT 40 : L' AOT 40 est un indicateur de la qualité de l'air vis-à-vis de la végétation qui rend compte de la dose d'ozone accumulée pendant le printemps et l'été, au moment où la plante croît. Exprimé en µg/m³ par heure, c'est la somme des différences entre les concentrations horaires supérieures à 80 µg/m³ (= 40 parties par milliard) et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 heures et 20 heures.

$$AOT40_{\text{végétation}} = \sum_{\substack{j=31/07 \\ i=20 \\ j=01/05 \\ i=8}} (Mesures_{H_{i,j}} - 80)$$

Pour la protection de la végétation, l'AOT se calcule du 1er mai au 31 juillet (ci-dessus). Dans le cas de la protection des forêts, le calcul se fait du 1er avril au 30 septembre.





2-Bilan 2011 de la qualité de l'air dans les territoires d'altitude

2.1. Les sites de Plan du Lac et du Replat des Canons

La station de Plan du Lac est située en plein cœur du Parc National de la Vanoise à 2422 m d'altitude (sur la commune de Termignon), elle est éloignée de toute source de pollution locale pouvant influencer l'évolution des concentrations d'ozone.

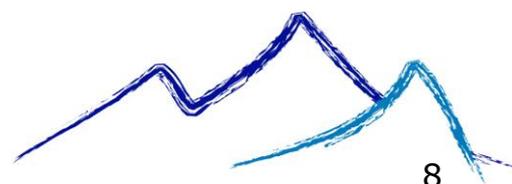
Egalement située sur la commune de Termignon, le Replat des Canons est situé à 2375 mètres sur le domaine skiable de la commune sur l'autre versant de la Maurienne. Moins en retrait par rapport à la vallée que ne l'est le Plan du Lac, la typologie du site est toutefois assez similaire (pas d'exposition direct à une source polluante, altitude quasi égale).

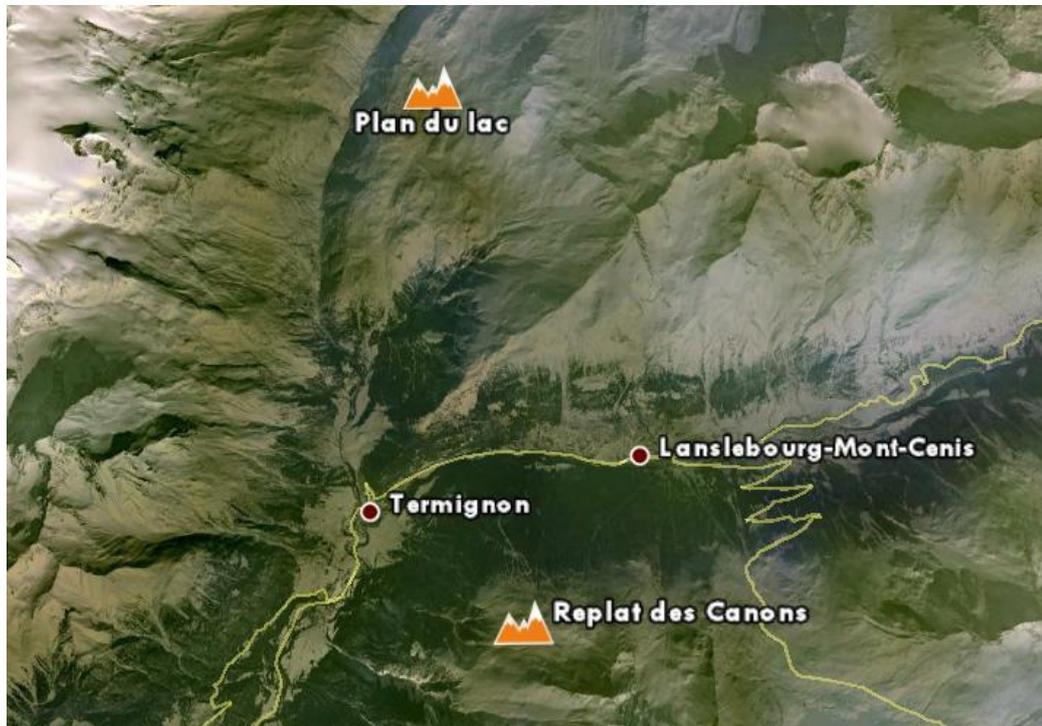


La station de Plan du Lac

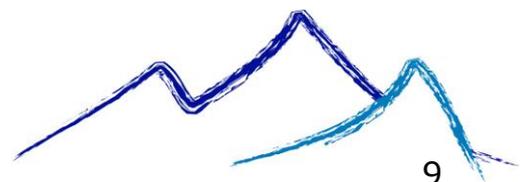


La station du Replat des Canons





Emplacements des sites





2.2. Les autres sites d'altitude



L'**Aiguille du Midi** est située dans le massif du Mont-Blanc, à 3842 m d'altitude. Ce site est éloigné des sources locales de pollution. Compte tenu de l'altitude de cette station, elle peut être influencée par des phénomènes d'échanges atmosphériques particuliers. Cette station a été mise en service en février 2008.



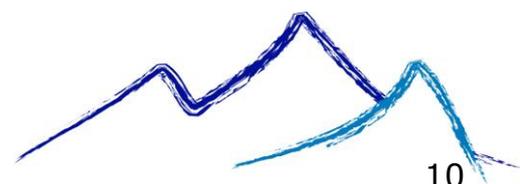
Les **Giettes (station du réseau de l'état du Valais RESIVAL)** est situé dans le massif du Chablais (Suisse) à 1140 m d'altitude. Etant donné sa position plutôt retirée des zones d'habitation et éloignée des grands axes routiers, ce site ne semble pas être influencé par des sources locales.

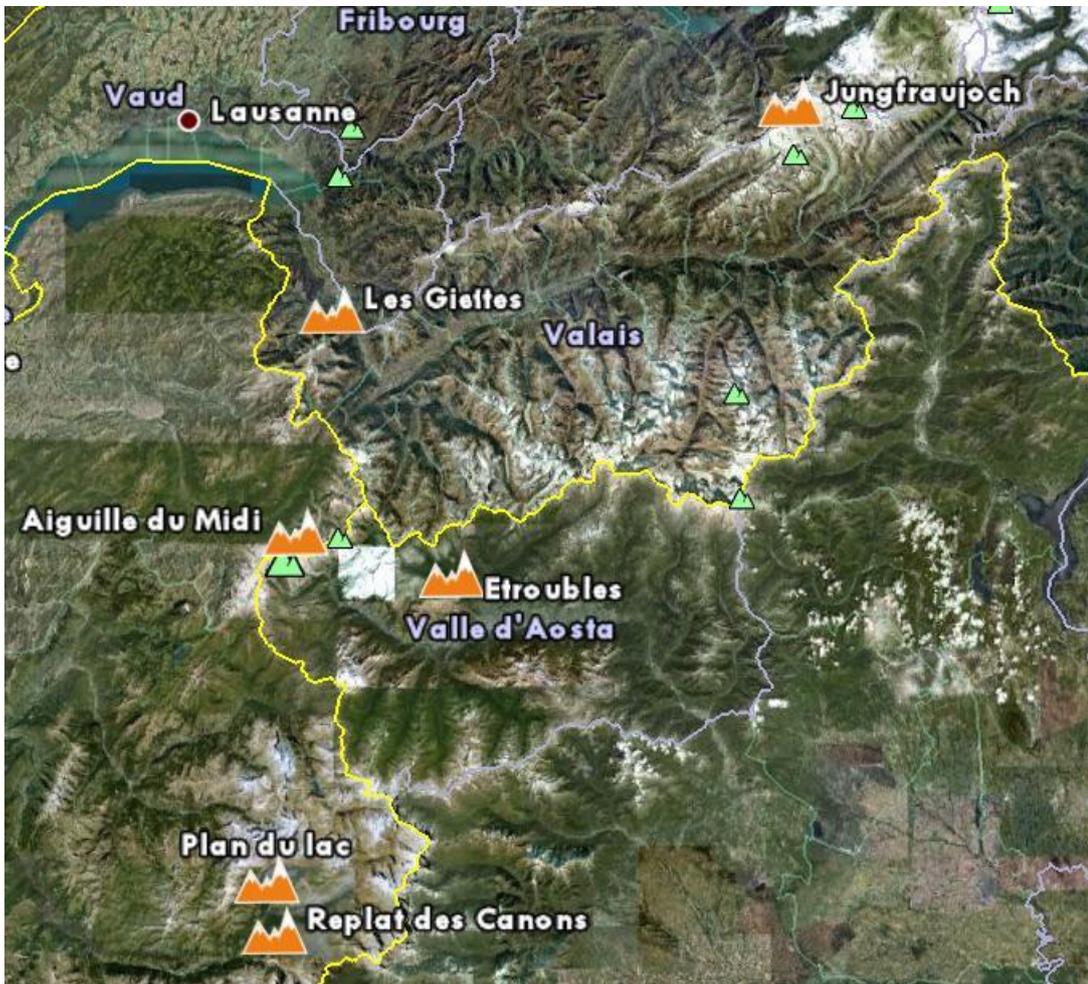


Le site du **Jungfrauoch (réseau de surveillance national suisse NABEL)** se trouve dans les Alpes Bernoises (Suisse), à 3578m d'altitude. Son altitude permet de mettre en avant des phénomènes atmosphériques non visibles sur des sites de moyenne montagne.

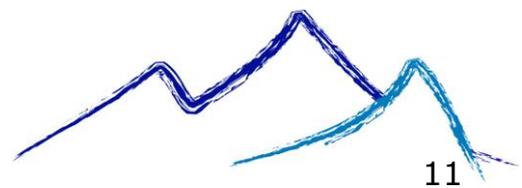


La station des **Etroubles (station du réseau de surveillance italien ARPA)** est située dans le Val d'Aoste (Alpes italiennes), à 1330 m d'altitude. Elle est située à l'écart des habitations et des grands axes routiers et aucune source locale de production d'ozone n'a été identifiée.





Répartition des stations d'altitude

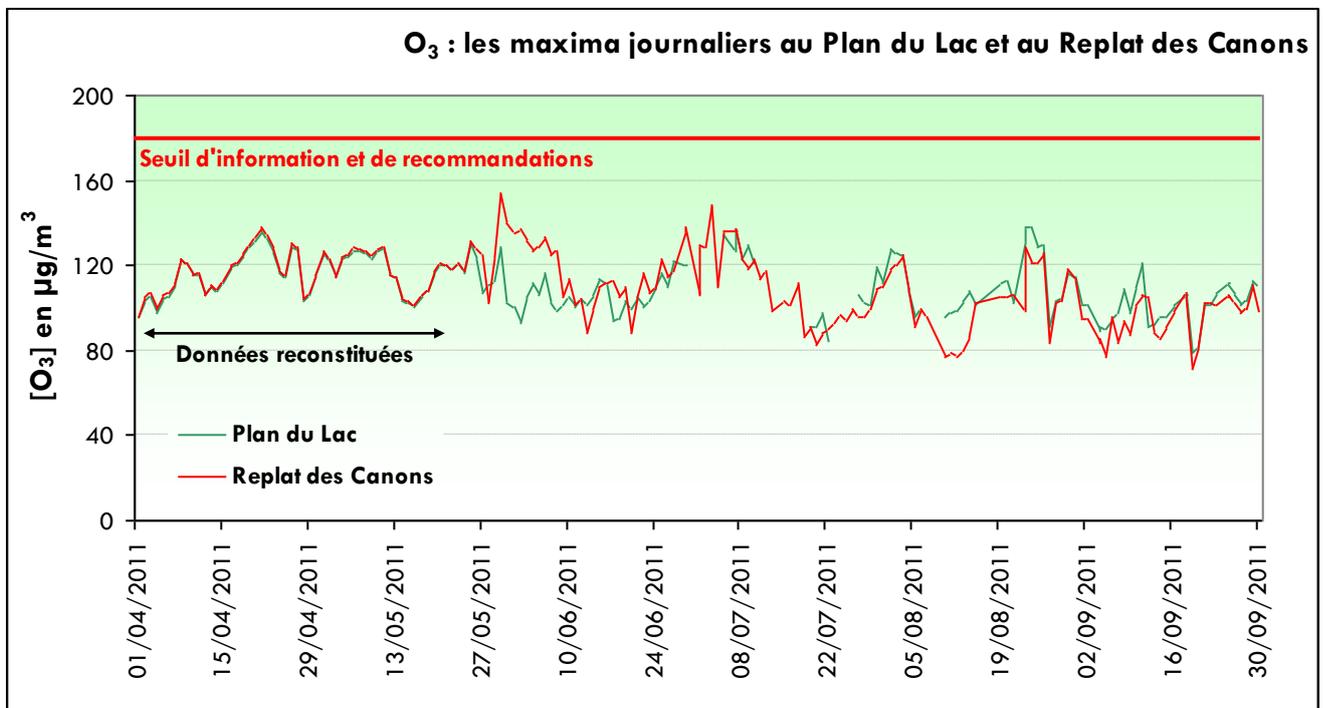




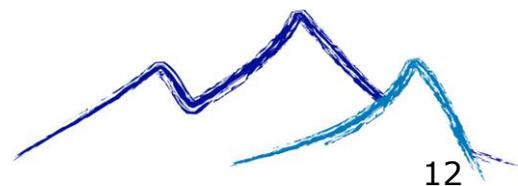
2.3. Résultats vis-à-vis de la réglementation relative à la santé humaine

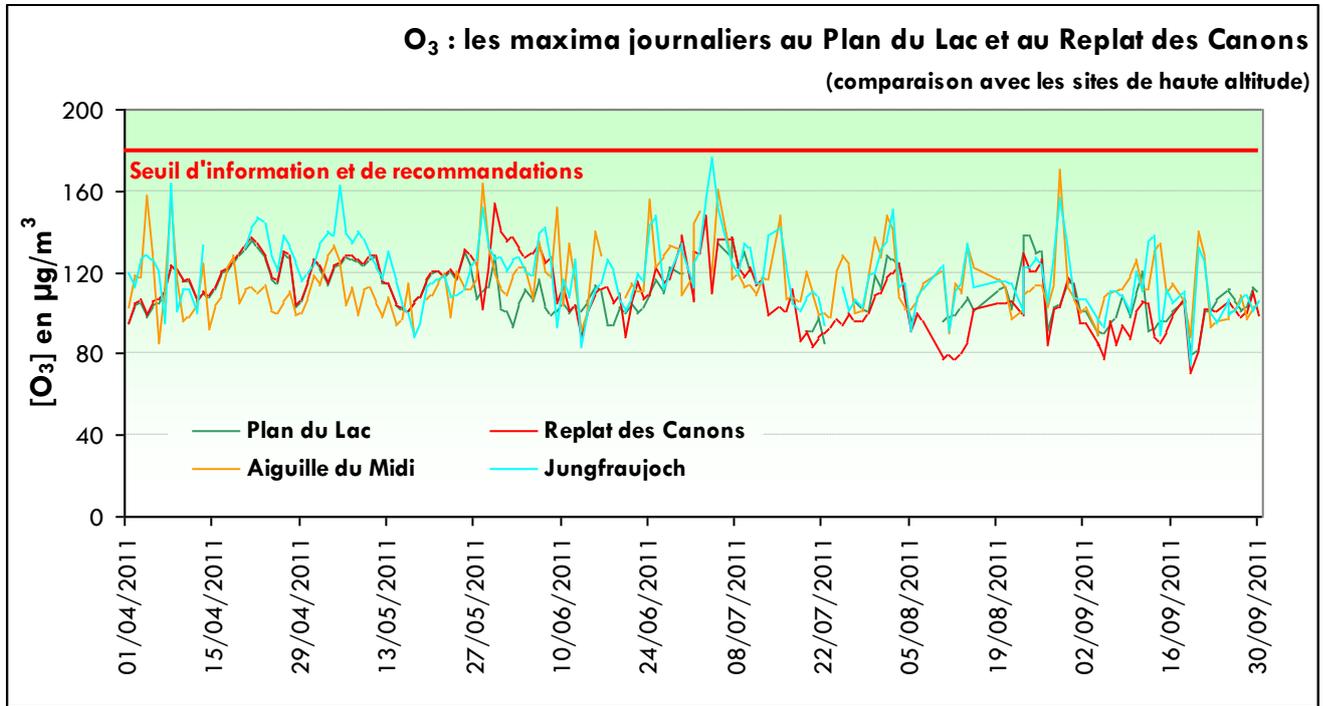
2.3.1 Les maxima horaires

Au cours de la période estivale 2011, aucun dépassement du seuil d'information et de recommandations n'a été constaté sur les deux sites. Le maximum a été mesuré au Plan du Lac (154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). On note que les deux sites ont des évolutions très similaires, les écarts étant le plus souvent très faibles. En première approche, ce premier graphique permet de dire que les deux sites sont soumis, vis-à-vis de l'ozone, à une masse d'air cohérente.

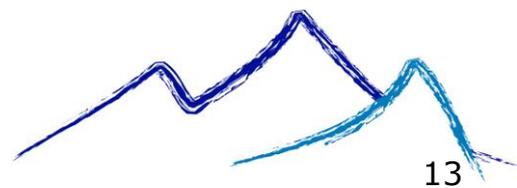
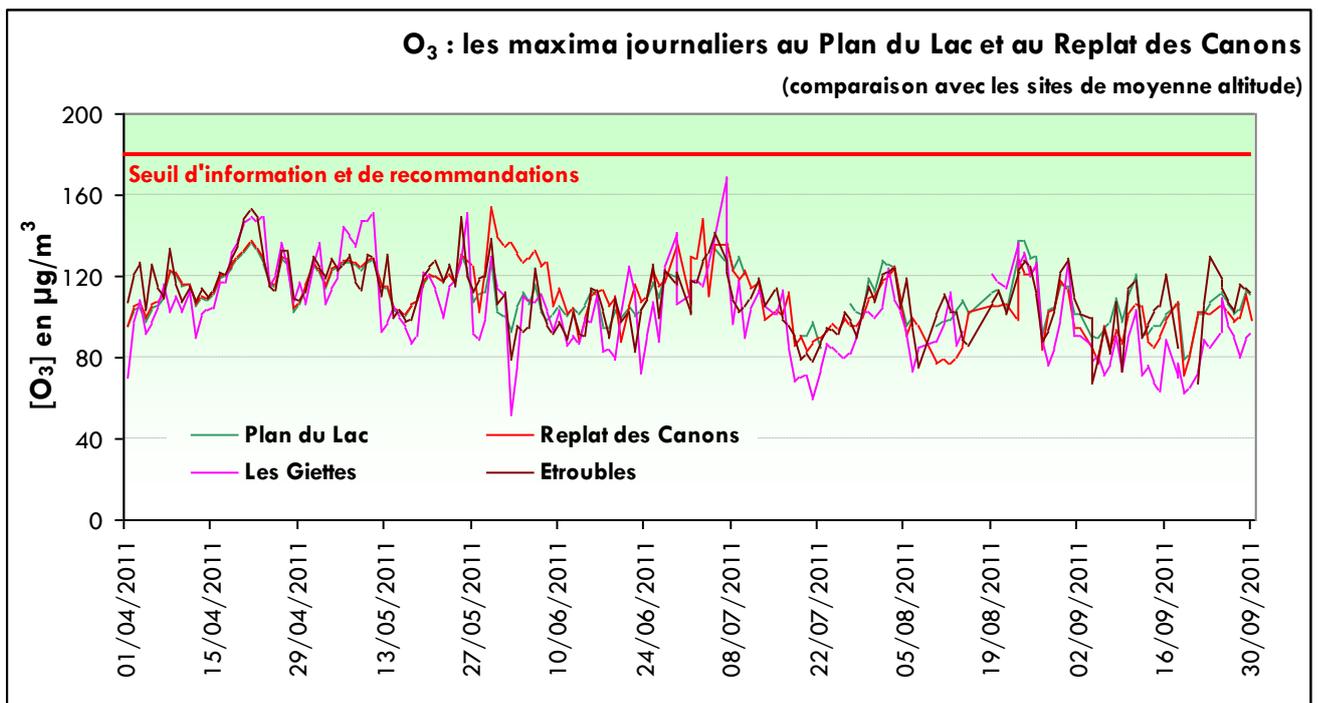


En comparant ces résultats avec ceux des autres sites de haute montagne (Aiguille du Midi et Jungfraujoch), on constate des niveaux globalement du même ordre. La corrélation n'est toutefois pas aussi bonne qu'entre le Plan du Lac et le Replat des Canons. Les concentrations les plus élevées sont mesurées au Jungfraujoch et à l'Aiguille du Midi avec une variabilité plus grande que sur les sites plus bas, comme ceux de Termignon, révélant l'incidence des conditions météorologiques en hautes altitudes. On constate toutefois que même sur ces sites de plus haute altitude, le seuil d'information n'est pas atteint.





Sur les sites de moyenne montagne (Les Giettes et Etroubles), on constate une plus grande variabilité des concentrations, ces sites étant plus soumis à l'influence humaine. Les niveaux sont globalement plus faibles qu'au Plan du Lac.

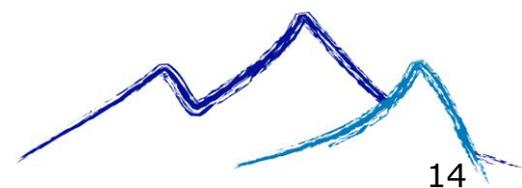
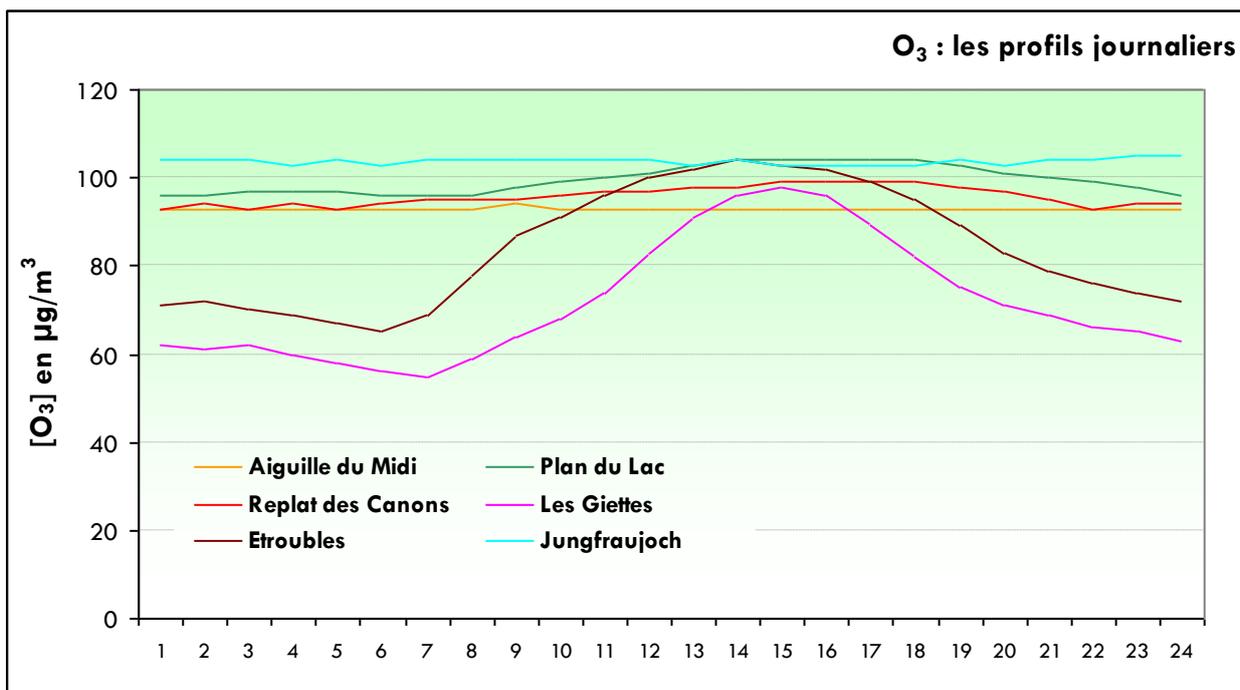




2.3.2 Les profils journaliers

L'examen des profils journaliers d'ozone met en évidence deux « régimes » de concentrations d'ozone bien distincts. On remarque en effet que les sites du Plan du Lac, du Replat des Canons, de l'Aiguille du Midi et du Jungfrauoch, situés en haute montagne, échappent au cycle « classique » de l'ozone. Il ne semble pas y avoir d'intervention de sources locales, la concentration de ces sites étant quasiment constante tout au long de la journée.

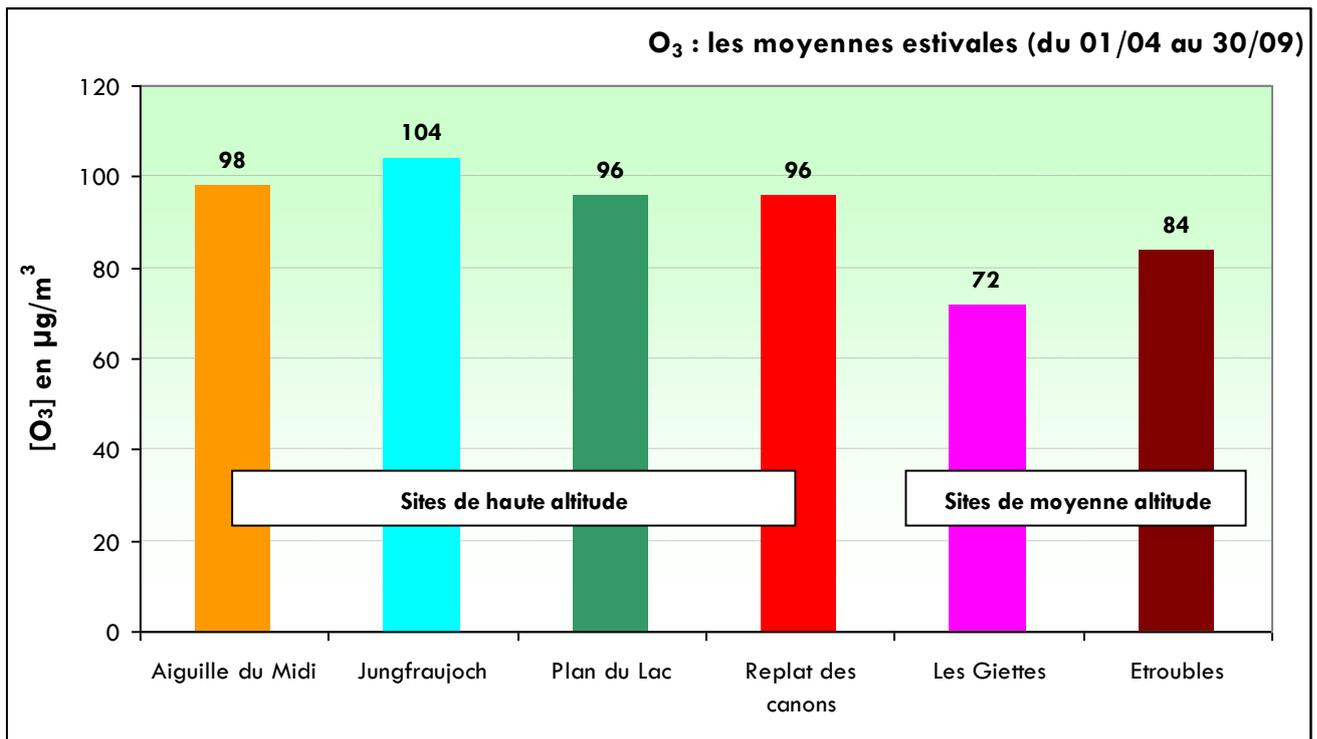
Par contre, le cycle « classique » de l'ozone est très net sur les sites des Giettes et d'Etroubles où les concentrations connaissent un fléchissement vers 8h le matin et atteignent leur valeur maximale dans l'après-midi entre 14 et 16h. Ces variations importantes des profils journaliers indiquent une influence des activités humaines sur ces sites.





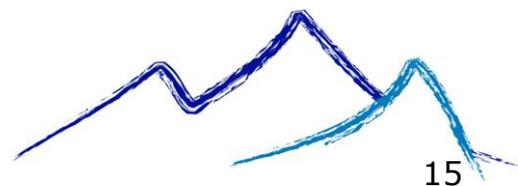
2.3.3 Les moyennes estivales

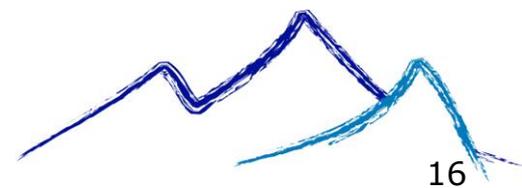
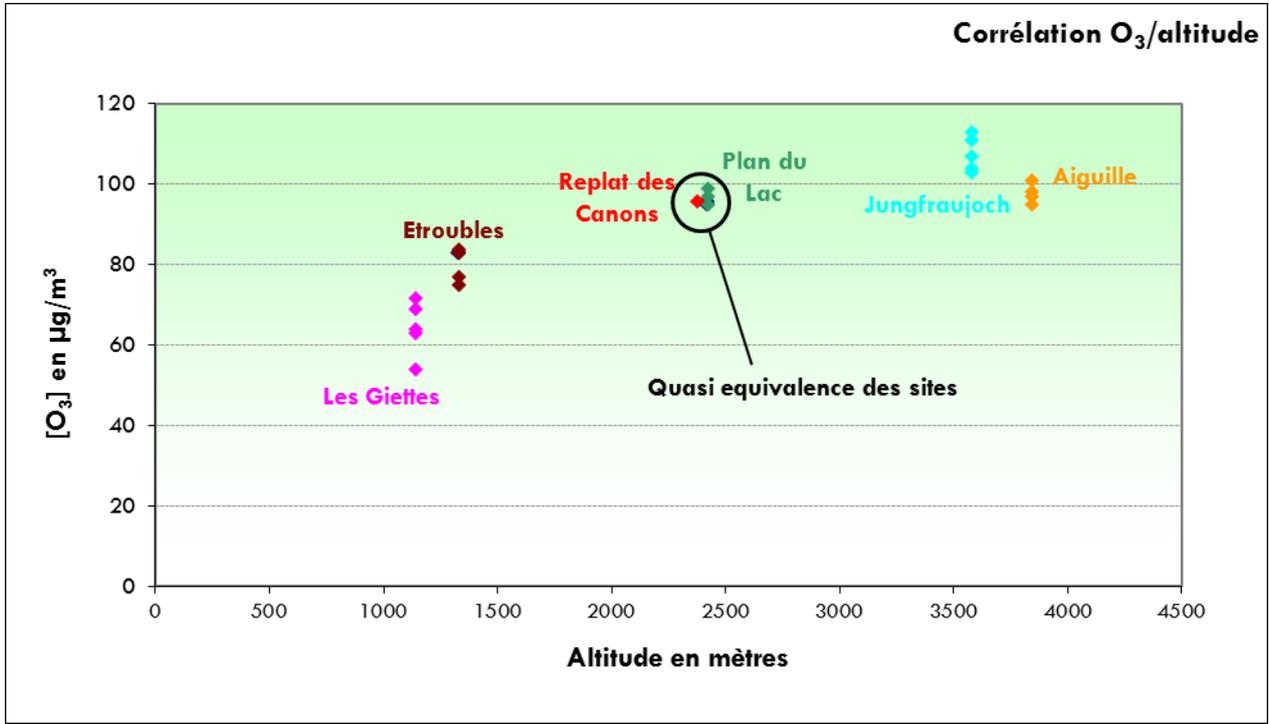
Les moyennes estivales montrent également un net écart entre les sites de moyenne et de haute montagne. Les sites de plus haute altitude montrent une bonne homogénéité et les concentrations d'ozone y sont plus hautes qu'à basse altitude.



Le graphique suivant met en parallèle les moyennes estivales (de 2007 à 2011) et les altitudes des sites de mesures, et fait apparaître clairement que ces deux paramètres sont liés jusqu'à environ 2000 mètres : plus on monte en altitude, plus les concentrations d'ozone augmentent, et au-delà de 2000 mètres les concentrations moyennes sont relativement homogènes. Cette situation s'explique d'une part par un ensoleillement plus important (propice à la formation de l'ozone), et d'autre part par un manque de «prédateurs» (polluants primaires) en altitude qui ne participent donc pas à la destruction de l'ozone.

Une autre observation à faire est la quasi équivalence des sites de Plan du Lac et du Replat des Canons. En effet, les deux sites, situés à une altitude identique, enregistrent des moyennes quasiment égales. Cela corrobore les premières conclusions tirées précédemment sur le fait qu'à cette altitude, les deux versants de la vallée de la Maurienne sont soumis de la même manière à l'ozone.

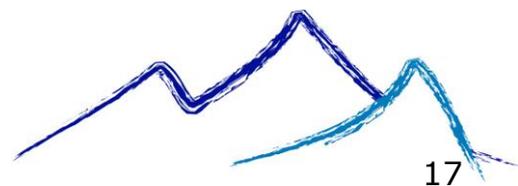
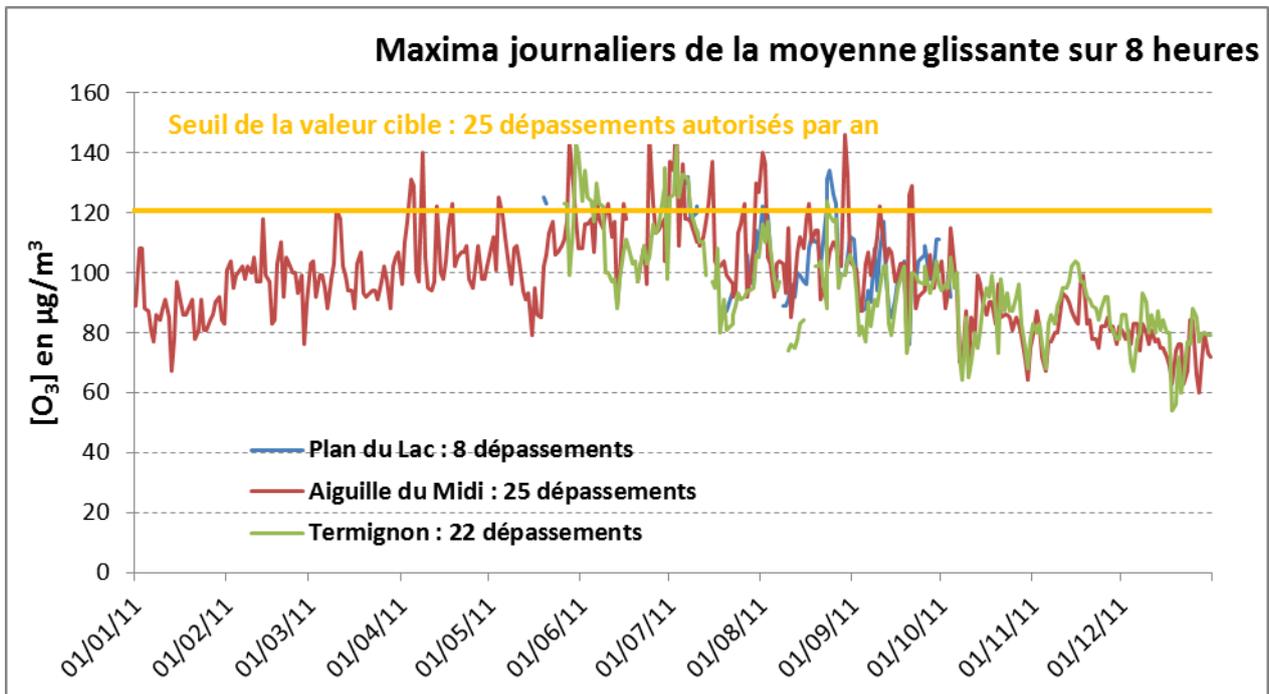






2.3.4 Les moyennes glissantes sur 8 heures

Afin de statuer sur la protection de la santé humaine, il convient de regarder les maxima journaliers des moyennes glissantes sur 8 heures. La valeur cible est de 25 dépassements autorisés par an. L'on constate sur la figure ci-dessous que ce seuil est respecté au Plan du Lac et au Replat des Canons (Termignon). A l'aiguille, cette valeur est atteinte mais pas dépassée. La conclusion à tirer est que les niveaux d'ozone rencontrés en altitude ne constituent pas un risque pour la santé humaine.

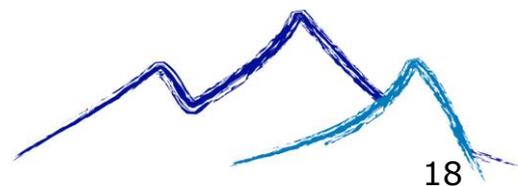
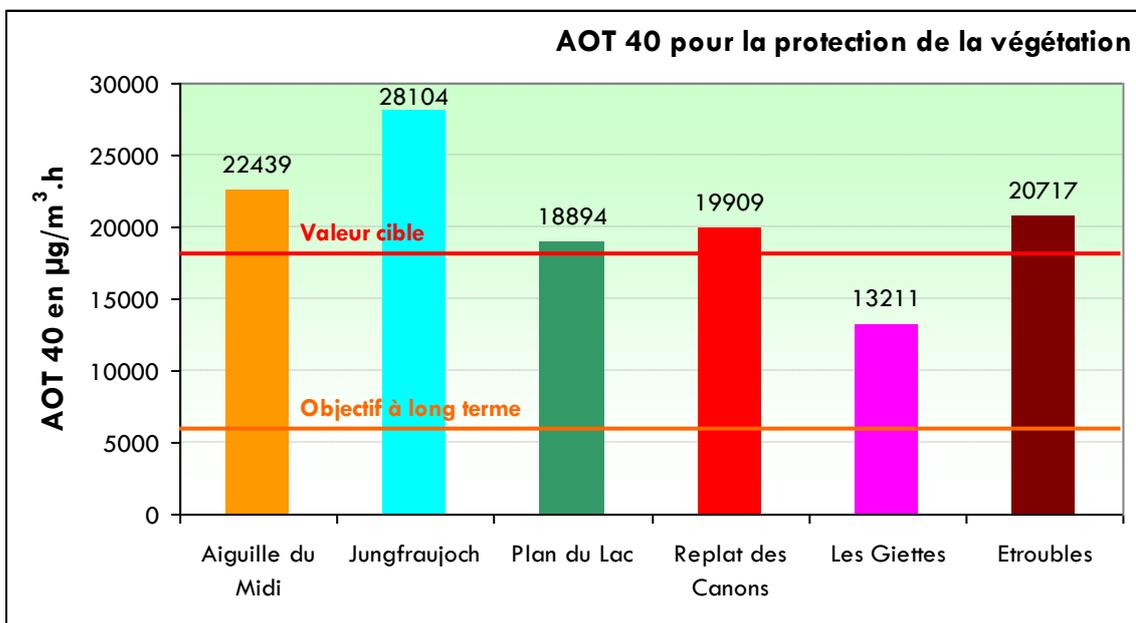




2.3 Résultats vis-à-vis de la réglementation relative à la végétation

2.3.1 Les AOT40 pour la protection de la végétation

Concernant les seuils réglementaires pour la protection de l'environnement, les observations faites les années précédentes se confirment. La réglementation relative à la protection de la végétation n'est pas respectée. L'objectif de qualité est très largement dépassé. Quant à la valeur cible, seul la station des Giettes la respecte (et ce depuis le début des mesures).

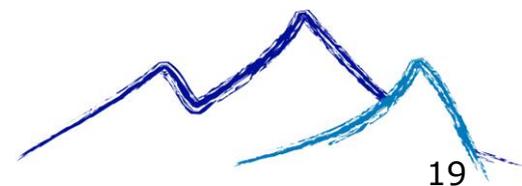
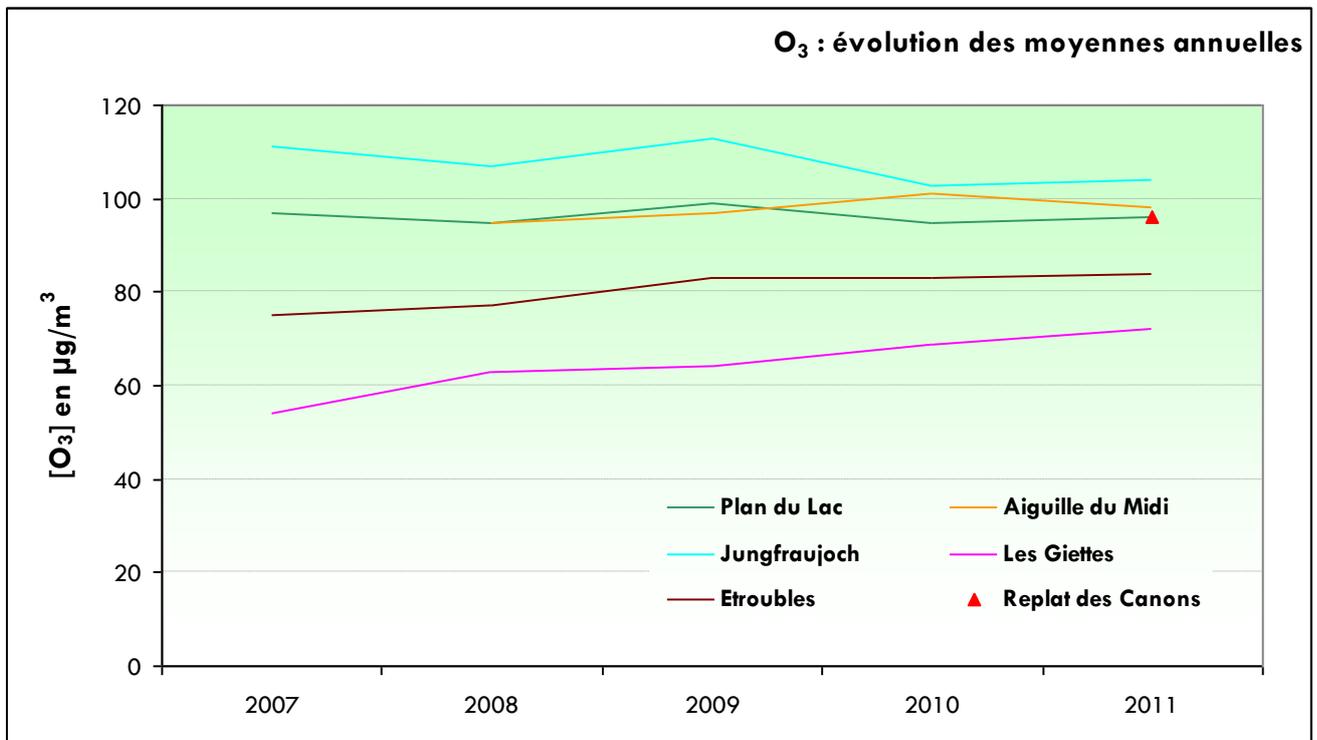




3-Evolution pluriannuelle de la qualité de l'air

3.1. Evolution des moyennes estivales

En considérant les moyennes estivales, on remarque que la tendance haussière des sites de moyenne montagne (Les Giettes et Etroubles) se confirme en 2011. Dans le cas des sites de plus haute altitude, la tendance est plus difficile à cerner. Les moyennes fluctuent d'une année sur l'autre mais, globalement, les niveaux stagnent (à des niveaux nettement plus élevés qu'à plus basse altitude).

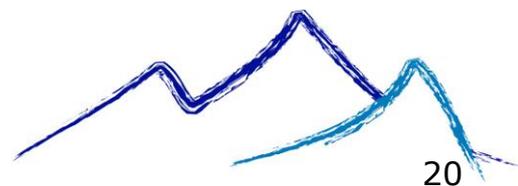
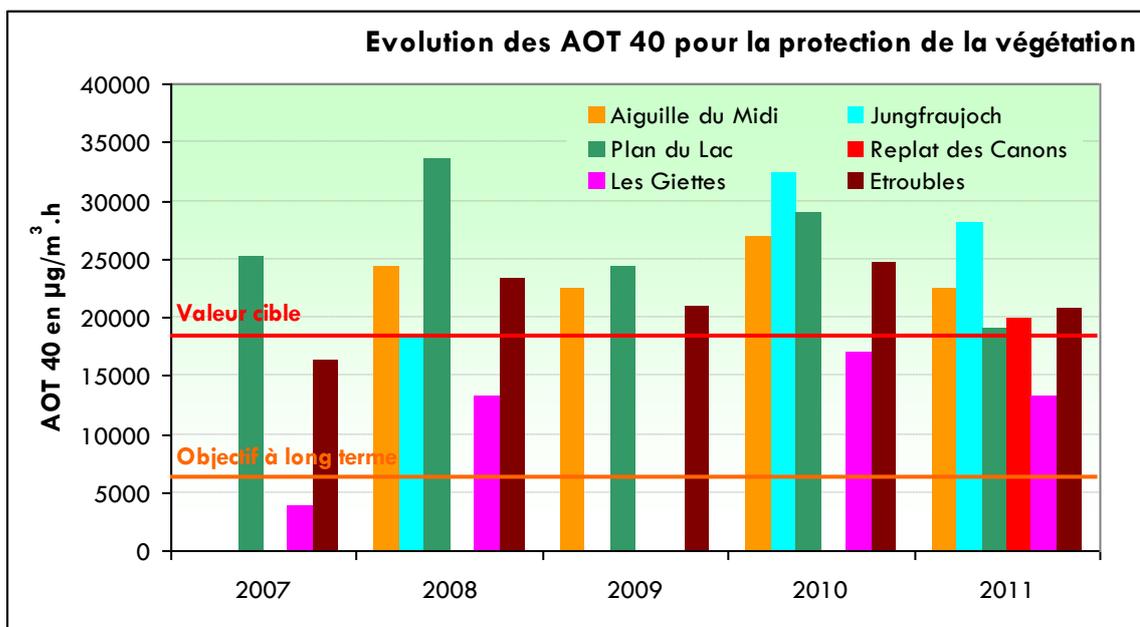




3.2. Evolution des AOT

Le bilan de 5 années de mesures fait apparaître que le principal problème que pose l'ozone en altitude concerne la végétation. En effet, on constate que la réglementation relative à la protection de la végétation et de la forêt n'est quasiment jamais respectée :

- les stations de haute altitude dépassent systématiquement l'objectif de qualité et la valeur cible des AOT végétation et forêt. De plus, les niveaux fluctuent d'une année sur l'autre et aucune amélioration ne semble se dessiner.
- En moyenne montagne, bien que les niveaux soient inférieurs, les seuils réglementaires sont très souvent dépassés, notamment sur le site d'Etroubles.



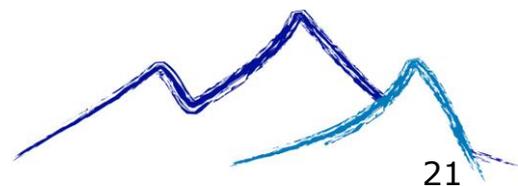
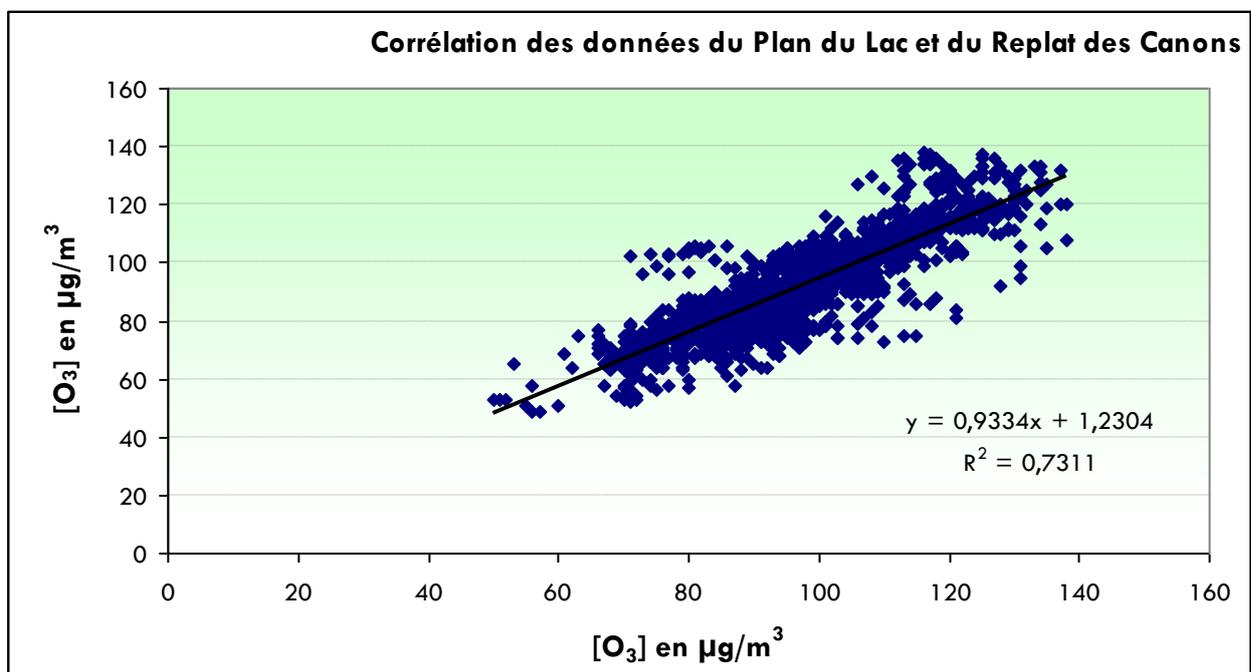


4-Détermination du meilleur site de mesures

Le deuxième objectif de cette étude est de comparer les données recueillies au Plan du Lac et au Replat des Canons afin de juger de leur équivalence et de choisir le site pouvant être pérennisé (le choix devant prendre en compte les aspects métrologiques mais également pratiques).

4.1 Aspects métrologiques

Les graphiques présentés précédemment ont fait apparaître, en première analyse, que les niveaux d'ozone sur les deux sites connaissent des évolutions très similaires. De manière plus précise, lorsque l'on considère le graphique de corrélation suivant, il ressort que les données horaires sont très proches (en dehors de légères fluctuations très locales). En effet, le nuage de points est bien regroupé autour d'une droite ayant un coefficient directeur proche de 1.

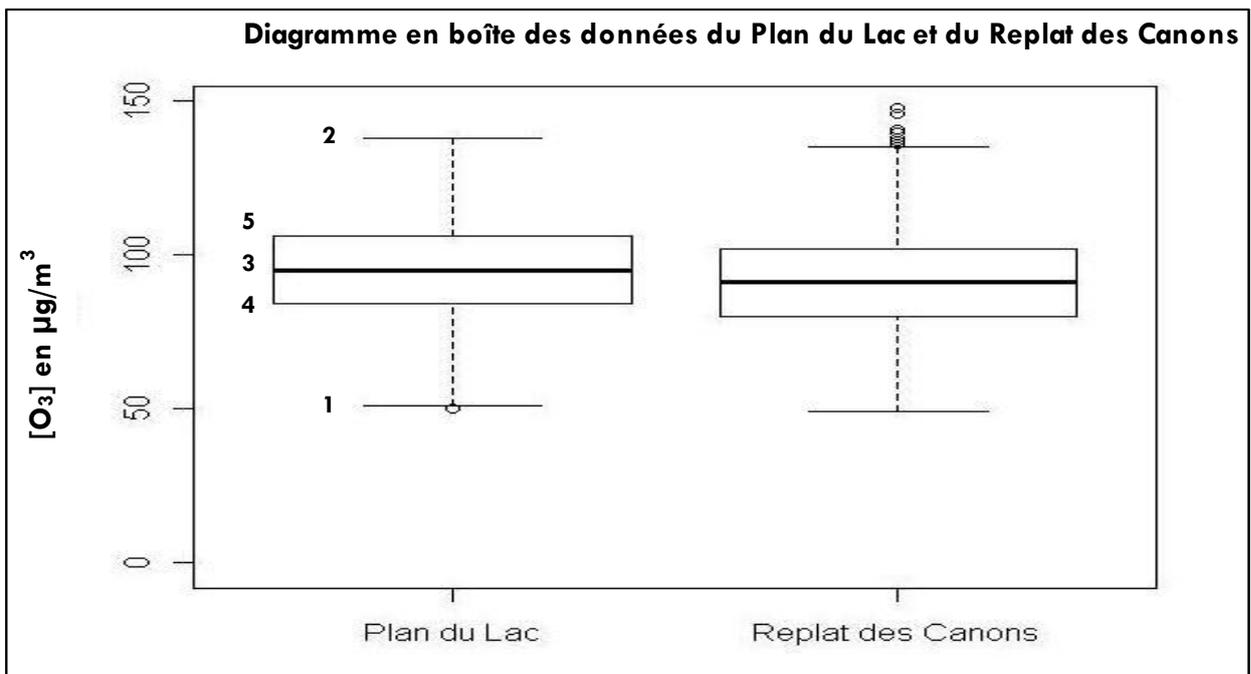




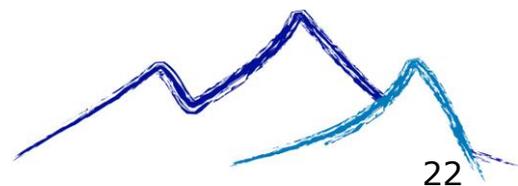
Le diagramme en boîte suivant sert à représenter les principales statistiques des jeux de données collectés sur les deux sites. Ce type de diagramme se lit de la manière suivante :

- La valeur minimum (1).
- La valeur maximum (2).
- La médiane (3) : 50% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur (la médiane sépare l'échantillon en deux parties contenant le même nombre de valeurs).
- 1^{er} quartile (P25) (4) : 25% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur.
- 3^{ème} quartile (P75) (5) : 75% des valeurs observées dans l'échantillon sont inférieures à cette valeur.

Ce type d'analyse confirme la quasi similitude des deux jeux de données : les deux sites enregistrent des gammes de valeurs égales. De plus, les valeurs « extrêmes » sont également très similaires.



L'ensemble des paramètres considérés dans ce rapport (moyennes, maxima journalier, corrélation des données horaires...) vont donc dans le sens de l'équivalence des sites du point de vue de la mesure.



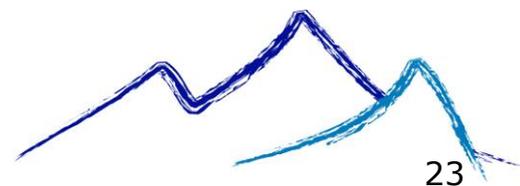


4.2 Aspects techniques

Etant maintenant entendu que les deux sites ne diffèrent pas dans la mesure, on peut considérer divers aspects d'ordre pratique afin de déterminer le meilleur site d'altitude :

- Tout d'abord, le site du Replat de Canons est alimenté en électricité toute l'année contrairement au Plan du Lac qui, pour des raisons d'enneigement, doit être coupé en saison hivernale. Ainsi, des mesures continues peuvent être faites au Replat des Canons et ainsi être comparées sur l'année entière aux autres sites d'altitude tel que l'Aiguille du Midi.
- Ensuite, pour les même raison d'enneigement évoquées précédemment, l'accès au site est très difficile au Plan du Lac. La maintenance technique est au contraire plus aisée au Replat des Canons car le site est accessible toute l'année.
- Enfin, la configuration du local du Replat des Canons permet l'ajout d'autres appareils de mesures. Cette station apparaît donc comme plus évolutive que le Plan du Lac.

L'ensemble des aspects considérés ici tend à montrer qu'il est plus avantageux de pérenniser la station du Replat des Canons, celle-ci rendant parfaitement compte des niveaux d'ozone de part et d'autre de la vallée de la Maurienne tout en ayant les aspects pratiques d'une station de mesures « classique ».





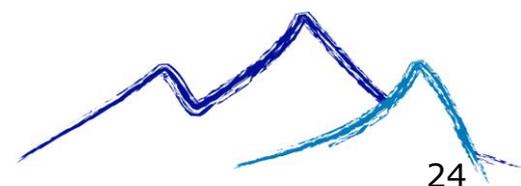
Conclusions

A l'issue de la campagne de mesures 2011, les conclusions tirées lors des études précédentes peuvent être reprises :

- Tout d'abord, l'ozone est très présent en altitude. Les normes relatives à la protection de la santé humaine sont toutefois respectées.
- La corrélation entre les niveaux d'ozone et l'altitude est très nette. Les concentrations les plus élevées se retrouvant en haute altitude. Passé les 2000 mètres d'altitude, les concentrations moyennes sont relativement homogènes.
- Lors de la comparaison avec des sites de moyenne altitude, on remarque une certaine corrélation dans la variation des niveaux d'ozone même si les profils journaliers sont radicalement différents. Des phénomènes de formation et de destruction de l'ozone sont présents en moyenne montagne alors que les sites de haute montagne présentent des concentrations quasiment constantes sans cycles particuliers.

D'une manière générale, les concentrations en ozone au Plan du Lac présentent des résultats médiocres vis-à-vis de la protection de la végétation. En effet, les fortes valeurs d'AOT signifient que la végétation d'altitude peut être altérée durant la période estivale.

Enfin, l'instrumentation du site du Replat des Canons cette année a permis d'observer que les deux versants de la Maurienne sont, à cette altitude, soumis aux mêmes concentrations d'ozone. De plus, dans l'optique d'une réorganisation de la surveillance de l'ozone sur le territoire de la Vanoise, ce site peut parfaitement remplacer la station de Plan du Lac qui implique de nombreuses contraintes techniques.





L'Air de l'Ain et des Pays de Savoie

Savoie Technolac - BP 339
73377 LE BOURGET DU LAC Cedex

Tél. 04.79.69.05.43. - Fax. 04.79.62.64.59.
e-mail: air-aps@atmo-rhonealpes.org

Membre de



Rhône-Alpes Région

