

4. Ozone

4.1. Introduction

L'ozone présente la particularité d'être un composé qui n'est pratiquement pas émis par des sources naturelles ou anthropiques : il est en fait un polluant secondaire dû à l'action de la lumière sur certains polluants, dont les oxydes d'azote (NO_x) et les composés organiques (COV). L'ozone est un gaz très réactionnel. Il est constamment impliqué dans des réactions de formation et de destruction formant ainsi des équilibres; ces mécanismes sont largement décrits au § 4.6. Les concentrations en ozone varient donc en fonction de l'intensité solaire, des conditions météorologiques et des niveaux de pollution en COV et NO_x. Tant que les conditions météorologiques, les concentrations en NO_x et COV, ainsi que l'ensoleillement le permettent, les deux types de réaction cohabitent. Durant la nuit, seules les réactions de destruction subsistent et la concentration en ozone diminue lentement.

4.2. Résultats de l'année 2005

En Région wallonne, la mesure de l'ozone s'effectue au sein du réseau télémétrique. En 2005, un moniteur supplémentaire a été installé à Corroy couvrant ainsi cette partie du Brabant wallon. Avec l'adjonction de la station de Liège (Chéra), le réseau compte maintenant 14 points de surveillance de l'ozone. Ces stations sont le plus souvent établies en zone rurale, là où les niveaux sont les plus élevés, et réparties de manière à couvrir

l'ensemble du territoire wallon. Outre ces stations, cinq moniteurs sont placés dans des zones à caractères urbain et/ou industriel (Charleroi, Liège (2), Mons et Engis).

Sur base des concentrations en ozone (Tableaux 23 et 24), on peut classer les stations en deux grands groupes : les stations à caractère rural (Dourbes, Offagne, Sinsin, Sainte-Ode, Habay, Eupen et Vielsalm) pour lesquelles les concentrations moyennes sont les plus élevées et les stations plus urbaines (Charleroi, Mons, Liège). Des stations comme celles de Corroy, Vezin ou d'Engis montrent un caractère intermédiaire : les teneurs en ozone y sont plus faibles que pour une station purement rurale. Les minima sont enregistrés à la station de Mons, station fortement influencée par le trafic. La nouvelle station de Liège (Chéra) enregistre des résultats similaires à celles du Parc de la Boverie ; l'ozone est en effet un polluant secondaire dont la répartition spatiale est relativement homogène. Ce classement correspond approximativement à la répartition des stations en fonction des teneurs en monoxyde d'azote mais dans l'ordre inverse (plus les concentrations en ozone sont élevées et plus les teneurs en monoxyde d'azote sont faibles).

Par rapport à 2004, on n'observe que peu de variations des différents paramètres statistiques. Les niveaux sont du même ordre de grandeur que les années précédentes, 2003 excepté (2003 fut une année record en ozone).

Station	Localité	Nombre de valeurs		Moyenne (µg/m ³)		Médiane (µg/m ³)		P90 (µg/m ³)		P95 (µg/m ³)		P98 (µg/m ³)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
TMCH04	Lodelinsart	15772	16188	39	39	34	34	79	77	97	95	116	118
TMEG01	Engis	15778	16146	43	44	40	42	84	81	100	99	122	121
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	15668	16158	36	39	32	35	77	78	92	97	112	120
TMLG06	Liège (Chéra)	/	16224	/	38	/	35	/	75	/	93	/	113
TMMO01	Mons	15900	16176	33	32	28	29	73	68	88	83	110	104
TMNT01	Dourbes	15874	15737	57	58	57	56	96	96	114	111	132	132
TMNT02 ⁽¹⁾	Corroy-le-Grand	/	(10272)	/	(46)	/	(43)	/	(86)	/	(105)	/	(127)
TMNT03	Vezin	15886	15964	42	46	39	44	81	86	93	103	110	124
TMNT04	Offagne	16193	16059	59	59	58	57	95	95	111	109	127	128
TMNT05	Sinsin	15992	15612	50	49	49	47	87	87	102	102	123	121
TMNT06	Ste Ode	14893	16198	61	61	59	58	95	96	111	111	127	130
TMNT07	Habay-la-Vieille	15384	15813	54	56	53	54	94	94	109	110	127	129
TMNT08	Eupen	15553	16064	55	54	55	54	91	91	107	108	130	127
TMNT09	Vielsalm	15327	15617	50	52	49	49	86	89	101	106	120	123

(1) à partir du 27/04/05

Tableau 23 : Ozone - Valeurs semi-horaires - Statistiques 2004 et 2005

Station	Localité	Nombre de valeurs		Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		P98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	
		2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005	2004	2005
TMCH04	Lodelinsart	348	354	39	39	38	38	69	65	76	78	90	93
TMEG01	Engis	352	357	43	44	45	44	74	70	82	82	91	97
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	344	354	36	39	36	37	66	67	76	75	79	89
TMLG06	Liège (Chéra)	/	341	/	38	/	37	/	63	/	73	/	80
TMMO01	Mons	352	355	33	32	33	31	59	56	66	65	74	73
TMNT01	Dourbes	354	347	57	58	60	57	86	83	97	100	108	110
TMNT02 ⁽¹⁾	Corroy-le-Grand	/	225	/	46	/	44	/	72	/	84	/	103
TMNT03	Vezin	357	353	42	46	44	46	67	72	75	82	81	91
TMNT04	Offagne	355	352	59	59	58	58	85	87	99	101	112	114
TMNT05	Sinsin	357	345	50	49	52	49	75	74	81	83	95	96
TMNT06	Ste Ode	329	354	61	62	61	58	88	90	105	104	112	121
TMNT07	Habay-la-Vieille	345	349	54	56	54	54	84	85	98	96	110	117
TMNT08	Eupen	339	353	55	54	57	54	83	83	97	96	109	108
TMNT09	Vielsalm	343	342	50	52	51	50	78	79	86	92	96	108

(1) à partir du 27/04/05

Tableau 24 : Ozone - Valeurs journalières - Statistiques 2004 et 2005

4.3. Variations saisonnières

L'ozone étant un polluant d'origine photochimique, les concentrations varient fortement en fonction de l'intensité solaire et donc des saisons. Logiquement, les concentrations en ozone sont toujours supérieures en été, principalement durant les mois d'avril à septembre (Figure 20 et Tableau 25), ce qui n'exclut pas la présence permanente d'un fond d'ozone même en hiver. Les maxima des épisodes d'été sont construits sur une valeur de background qui augmente à la sortie de l'hiver (mars-avril), culmine en juin, juillet et août pour diminuer au début de l'automne (septembre).

Du point de vue des concentrations en ozone, l'année 2005 pourrait être qualifiée d'habituelle. Le mois de juin fut le plus riche en ozone surtout durant la seconde partie du mois et la plupart des dépassements des normes eurent lieu durant cette période :

« L'été 2005 (de juin à août) fut caractérisé par un excès « très anormal » de la température. L'excès des température fut particulièrement marqué durant le mois de juin où, entre le 18 et le 25, le pays fut touché par une vague de chaleur, définie comme une période au cours de laquelle on relève à Uccle un minimum de cinq jours consécutifs avec des maxima supérieurs à 25 °C, dont 3 jours avec

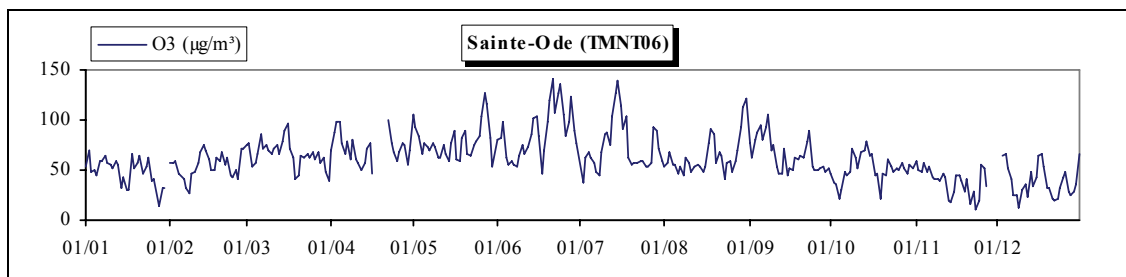
des maxima supérieurs à 30°C. Les deux autres mois furent normaux du point de vue des températures. »

- (1) anormal : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 6 ans.
- (2) très anormal : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 10 ans.
- (3) exceptionnel : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 30 ans.
- (4) très exceptionnel : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 100 ans. »

Source : IRM – Bilan climatologique de l'année 2005

Le mois de mai fut également riche en ozone et les moyennes mensuelles pour ce mois furent plus élevées que pour le mois d'août qui fut lui plutôt pauvre en ozone par rapport à un mois d'août habituel.

Les moyennes mensuelles pour les deux derniers mois de 2005 furent inférieures à celle des deux premiers mois de l'année. Or durant ces deux derniers mois, les concentrations en monoxyde d'azote, gaz destructeur d'ozone furent plus élevées que durant les deux premiers mois.



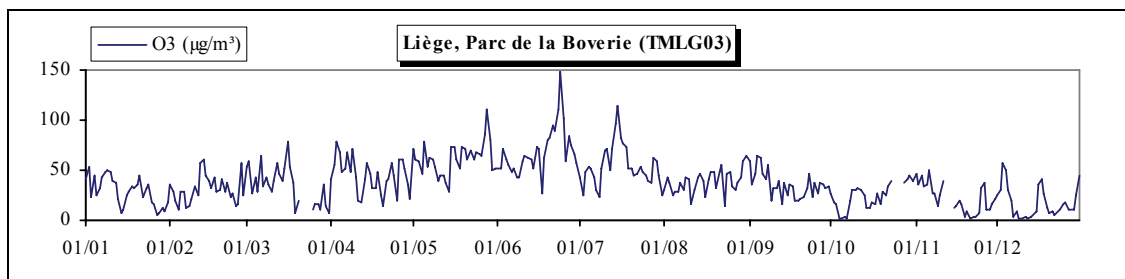


Figure 20 : Ozone - Evolution des concentrations journalières - Stations de Sainte-Ode (TMNT04) et Liège (TMLG03)

Concentrations mensuelles (µg/m ³)												
Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Lodelinsart (TMCH04)	26	31	40	44	57	68	52	39	37	29	21	17
Engis (TMEG01)	33	40	49	54	63	71	58	41	40	33	27	22
Liège (TMLG03)	29	31	35	45	62	69	54	39	36	23	22	18
Liège (TMLG06)	25	(29)	37	44	56	63	54	38	35	26	23	19
Mons (TMMO01)	26	31	35	38	48	57	39	32	27	21	18	15
Dourbes (TMNT01)	47	54	66	(69)	74	84	67	55	56	51	39	33
Corroy (TMNT02)	/	/	/	/	(64)	(77)	57	46	45	33	30	24
Vezin (TMNT03)	39	45	(52)	52	64	73	57	44	41	33	25	24
Offagne (TMNT04)	49	55	65	67	78	86	71	59	58	48	36	36
Sinsin (TMNT05)	42	45	56	58	68	75	59	45	42	35	29	27
Ste-Ode (TMNT06)	48	54	66	71	78	87	73	64	66	51	39	39
Habay (TMNT07)	42	51	57	65	73	84	70	57	56	44	33	36
Eupen (TMNT08)	43	46	57	63	74	78	68	53	54	50	35	31
Vielsalm (TMNT09)	44	51	58	63	73	75	61	43	49	43	31	35

Tableau 25 : Ozone - Moyennes mensuelles 2005

4.4. Normes et objectifs de qualité

4.4.1. Introduction

Jusqu'au 9 septembre 2003, la directive 92/72/CEE (transposée en droit wallon par l'arrêté du Gouvernement wallon du 13/10/94) réglementait les concentrations en ozone. Conformément à la directive cadre 96/62/CE, cette directive a été remplacée par la directive 2002/3/CE du 12 février 2002 (Journal Officiel des Communautés Européennes du 09/03/2002), transposée en droit wallon par l'Arrêté du Gouvernement wallon du 5 décembre 2002 (Moniteur Belge du 10/02/2003). Les valeurs cibles définies dans les textes de lois devront être respectées pour 2010 (Tableau 26).

Contrairement aux autres polluants pour lesquels il est fixé des valeurs limites (« niveau fixé sur base des connaissances scientifiques à atteindre, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble. Ce niveau une fois atteint ne peut être dépassé. »), la directive 2002/3/CE fixe pour l'ozone des valeurs cibles (« niveau fixé dans le but d'éviter à long terme des effets nocifs sur la santé humaine et/ou l'environnement dans son ensemble, et à atteindre là où c'est possible sur une période donnée ») et des objectifs à long terme (« une concentration d'ozone dans l'air ambiant en dessous de laquelle, selon les connaissances scientifiques actuelles, des effets nocifs directs sur la santé humaine et/ou sur l'environnement dans

son ensemble sont peu probables. Sauf lorsque cela n'est pas faisable par des mesures proportionnées, cet objectif doit être atteint à long terme afin d'assurer une protection efficace de la santé humaine et de l'environnement. »). En outre, la directive fixe un seuil d'information (« niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine des groupes particulièrement sensibles de la population et à partir duquel des informations actualisées sont nécessaires. ») et un seuil d'alerte (« un niveau au-delà duquel une exposition de courte durée présente un risque pour la santé humaine de toute la population et à partir duquel les Etats membres prennent immédiatement des mesures. »).

Enfin, la directive décrit également les obligations en matière de :

- évaluation des concentrations (méthode de mesure, macro et micro-implantation des stations, objectifs de qualité des mesures, ...)
- couverture du territoire (nombre de stations, type de zones, macro et micro-implantation des stations, ...)
- informations à fournir au public, aux organismes et à la Commission.
- plan d'action comportant les mesures à prendre en cas de dépassement.
- mesure des précurseurs de l'ozone (oxydes d'azote et COV).

Protection de la santé humaine	Valeur cible	Maximum journalier, calculé à partir de moyennes mobiles horaires sur 8 h	120 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 25 jours par année civile, moyenne calculée sur 3 ans ⁽¹⁾
	Objectif à long terme	Maximum journalier, calculé à partir des moyennes mobiles horaires sur 8 heures, pendant une année civile	120 µg/m ³
Protection de la végétation	Valeur cible	AOT 40 ⁽²⁾ , calculée à partir de valeurs sur 1 heure entre mai et juillet	18 000 µg/m ³ .h, moyenne calculée sur 5 ans ⁽¹⁾
	Objectif à long terme	AOT 40 ⁽²⁾ , calculée à partir de valeurs sur 1 heure entre mai et juillet	6 000 µg/m ³ .h
Seuil d'information		Moyenne horaire	180 µg/m ³
Seuil d'alerte		Moyenne horaire	240 µg/m ³

(1) la première année entrant en ligne de compte pour ce calcul sera 2010

(2) AOT40 : surcharge en ozone au-dessus de 40 ppb, soit 80 µg/m³ c-à-d somme de la différence entre les concentrations horaires et 80 µg/m³ durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 et 20 h. (heure de l'Europe centrale)

Tableau 26 : Ozone - AGW du 5/12/02

4.4.2. Seuil d'information et seuil d'alerte

Les seuils d'information et d'alerte sont destinés à protéger la population des expositions à des niveaux intenses mais de courte durée. Le dépassement de ces seuils implique un risque pour la santé des groupes à risque pour le premier et de l'entièreté de la population pour le second. Il y a obligation d'informer la population en cas de dépassement du seuil d'information et de prendre des mesures en cas de dépassement du seuil d'alerte.

Le nombre de dépassements de ces seuils sont le reflet de la gravité des épisodes estivaux de pollution. Leur nombre dépend principalement de conditions météorologiques particulièrement défavorables.

Dans le calcul des valeurs horaires, la directive stipule qu'il faut 75% de données valides. Dans notre cas, les deux valeurs semi-horaires doivent être valides pour calculer la moyenne horaire.

Comme en 2004, on ne connut pas en 2005 de dépassements du seuil d'alerte. Par contre, le seuil d'information fut atteint à de multiples reprises (Tableau 27). On a compté 9 jours de dépassements du seuil d'information et 2005 fut donc une année à placer sur le même pied que 1998 (7 jours de dépassements), 1999 (2 jours), 2000 (pas de dépassement), 2001 (7 jours), 2002 (1 jour) ou 2004 (4 jours).

La plupart des dépassements eurent lieu durant la dernière décade du mois de juin et presque toutes les stations furent touchées. La raison en est la vague de chaleur qui a touché la Belgique à cette époque :

« Du 17 au 24, un anticyclone en évolution depuis la France vers le mer Baltique entraîna l'arrivée d'air continental chaud et sec sur nos régions. Les 25 et 26, des courants maritimes associés à une dépression située sur la Scandinavie ont envahi le pays. Du 27 au 28, une crête issue de l'anticyclone des Açores ramena des courants continentaux sur nos régions. Finalement, du 29 au 30, une

dépression située au voisinage de la Grande Bretagne entraîna l'arrivée de courants maritimes très perturbés.

La fréquence des courants continentaux qui influencèrent notre temps la deuxième partie du mois est à l'origine d'un excès des températures diurnes. ...Il y eu douze jours d'été (max ≥ 25 °C), dont quatre jours de forte chaleur (max ≥ 30 °C). La valeur de la température moyenne mensuelle est exceptionnellement élevée. Depuis 1833, seuls les mois de juin 1858, 1976 et 2003 avaient été plus chauds ; le record date de 2003, avec une température moyenne de 19.3 °C. »

Source : IRM – Bilan climatologique de juin 2005

Le 24 juin 2005 fut le jour où on enregistra le plus de dépassements, principalement sur les stations les plus septentrionales du réseau (Corroy, Vezin, Engis, Liège, Eupen). Sur certaines de ces stations, on enregistra des dépassements en continu de 11 à 19 h et le maximum de 237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fut mesuré à Vezin entre 15 et 16 h, soit une valeur proche du seuil d'alerte (Figure 21).

La Figure 22 reprend, pour la Belgique, l'évolution des maxima horaires durant cet épisode. Le 17 juin, les concentrations étaient basses. Les 18, 19 et 20 juin, les teneurs augmentent à partir du nord du pays. Le 21 juin, tout le sud de la Belgique est touché. Le 23 juin, la pollution s'étend à l'entièreté du territoire belge, la Flandre étant plus touchée que la Wallonie. Le 24, la situation s'aggrave notamment au nord du Limbourg. Les 25 et 26, les concentrations diminuent. Le 27 et 28, on note de nouveau une augmentation. Enfin à partir du 29, les teneurs en ozone redescendent. A la lueur de ces cartes, on comprend mieux pourquoi le 24, les stations les plus septentrionales de la région wallonne furent les plus exposées puisque la pollution s'étendait alors principalement sur la Flandre.

Outre cet épisode, on a rencontré des dépassements, de moindre importance, fin mai et à la mi-juillet, toujours pour les stations les plus septentrionales.

Date	Nombre de dépassements du seuil d'information (maximum horaire)					
	Lodelinsart (TMCH04)	Engis (TMEG01)	Liège, (TMLG03)	Liège (TMLG06)	Dourbes (TMNT01)	Corroy (TMNT02)
28/05/2005						
21/06/2005						
23/06/2005	2 (189)	1 (197)	2 (190)			2 (182)
24/06/2005		6 (225)	9 (217)	7 (217)		8 (222)
25/06/2005		2 (182)			3 (198)	1 (190)
27/06/2005					1 (182)	
28/06/2005					3 (211)	
14/07/2005	4 (186)					2 (184)
15/07/2005						
Total	6	9	11	7	7	13

Date	Nombre de dépassements du seuil d'information (maximum horaire)				
	Vezen (TMNT03)	Offagne (TMNT04)	Sainte Ode (TMNT06)	Habay (TMNT07)	Eupen (TMNT08)
28/05/2005					1 (188)
21/06/2005					2 (193)
23/06/2005					1 (188)
24/06/2005	7 (237)				4 (219)
25/06/2005	4 (201)	1 (183)			
27/06/2005					
28/06/2005		1 (182)	1 (187)	3 (192)	
14/07/2005	3 (184)				5 (208)
15/07/2005					2 (184)
Total	14	2	1	3	15

Tableau 27 : Ozone – Nombre de dépassements des 180 µg/m³ sur 1 h - 2005

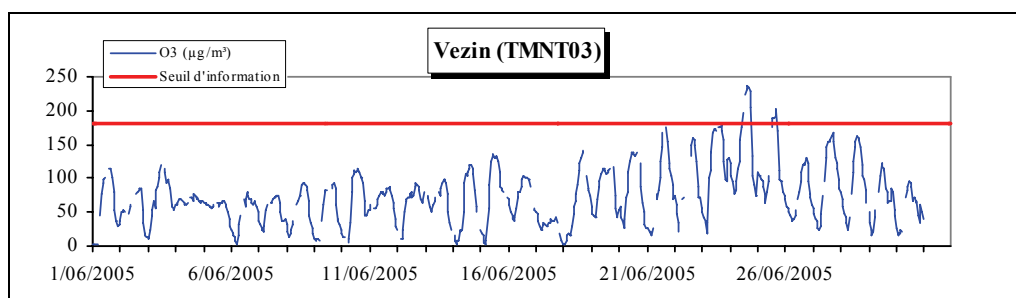
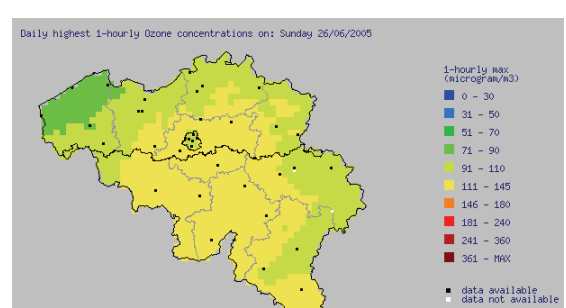
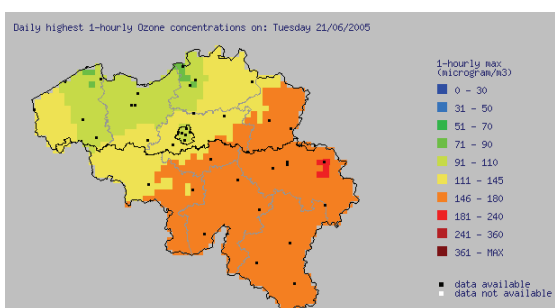
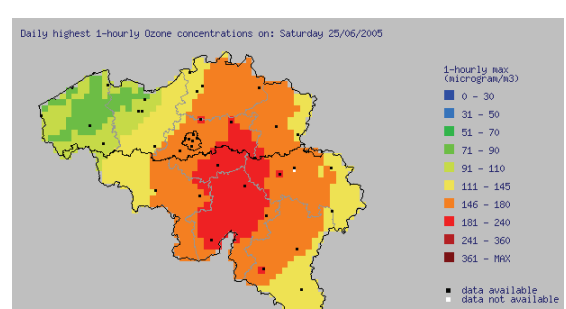
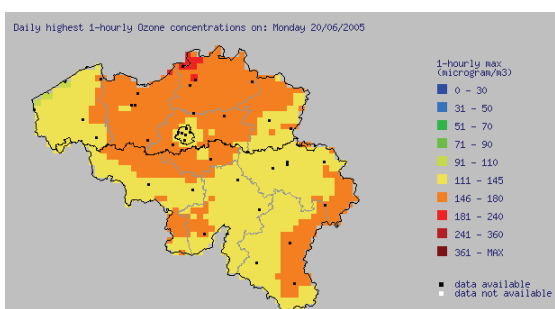
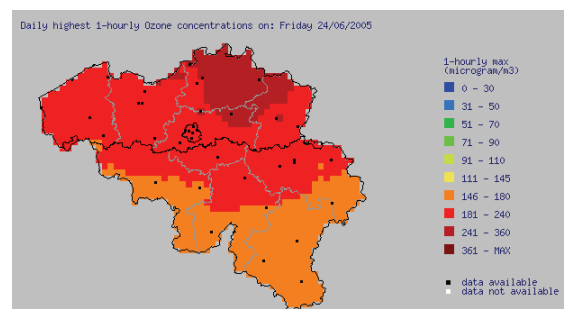
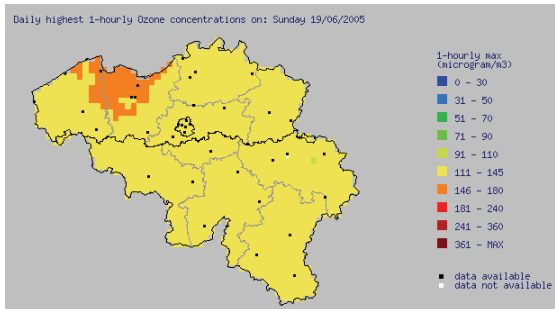
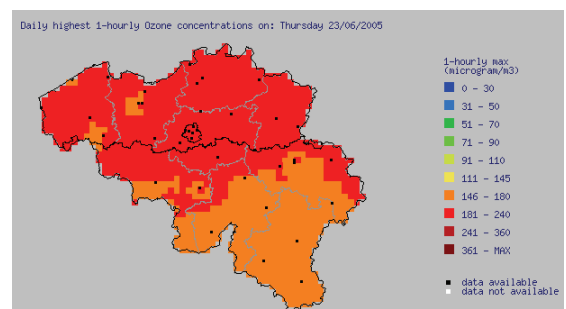
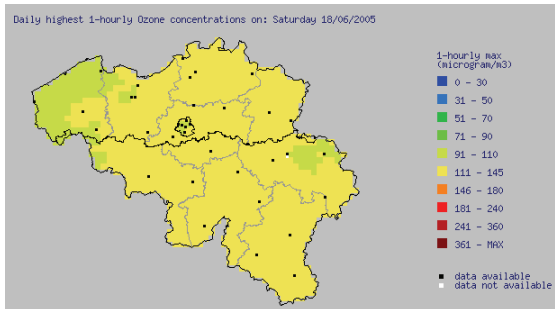
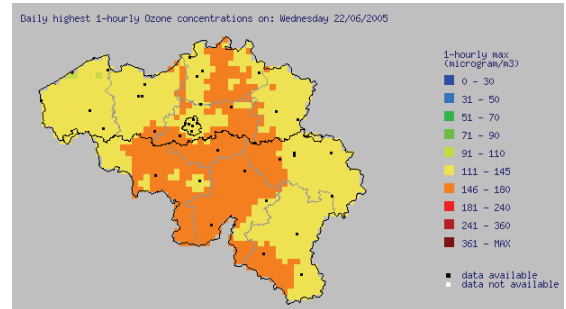
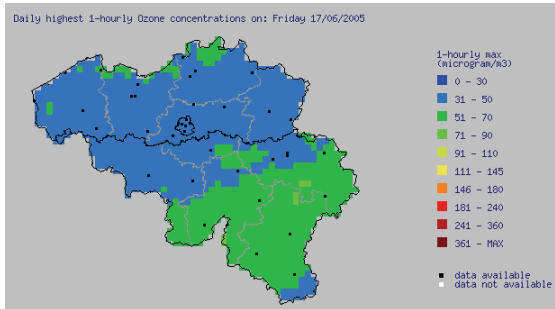


Figure 21 : Evolution des concentrations horaires – Juin 2005 – Vezen (TMNT03)



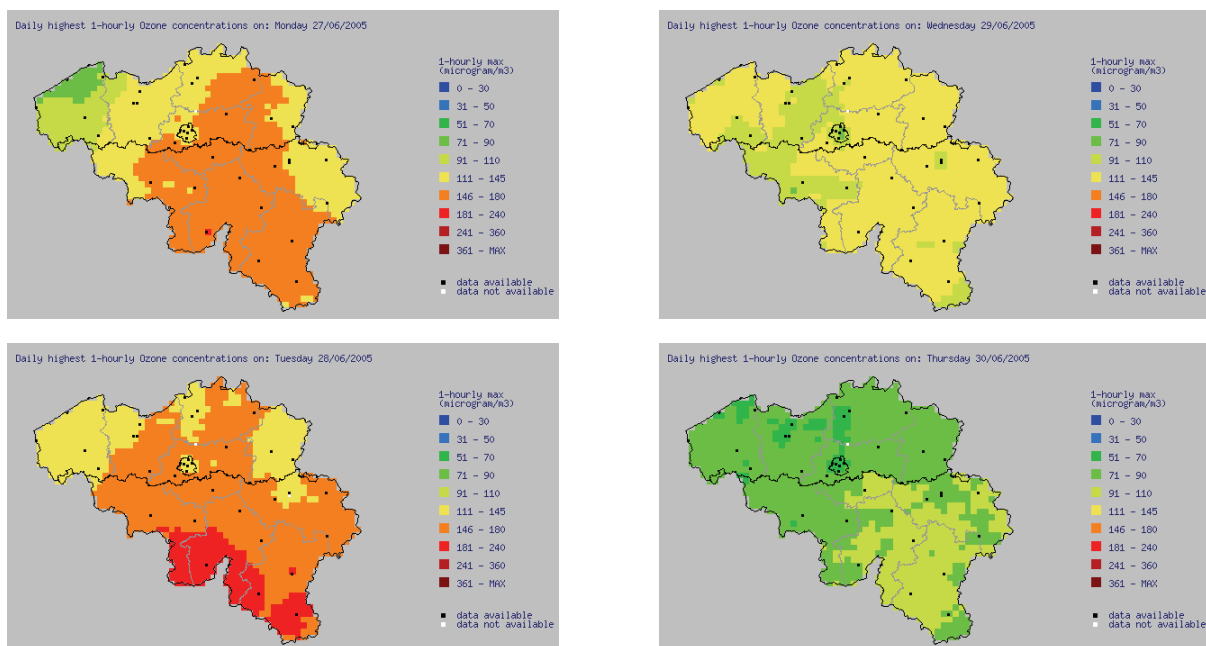


Figure 22 : Evolution des maxima horaires en ozone – 17 au 29 juin 2005 (source CELINE)

4.4.3. Protection de la santé humaine

Pour protéger la population des effets à long terme de l'exposition à l'ozone, la directive définit une valeur cible et un objectif à long terme. Ces deux seuils sont basés sur un nombre maximal de dépassements. On compte ainsi le nombre de fois que le maximum journalier des moyennes sur 8 heures dépasse les $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les moyennes sur 8 heures étant calculées de manière glissante pour chaque heure du jour en prenant l'heure en cours plus les 7 précédentes et en attribuant la moyenne à cette heure. Le nombre de dépassements permis s'applique à une moyenne sur 3 années du nombre de dépassements annuel.

La directive fixe aussi des critères pour l'agrégation des données. Ainsi pour calculer une heure valide, il faut 75 % des données. Pour le calcul de la moyenne sur 8 heures, 6 heures au minimum sont nécessaires et pour le calcul du maximum, il faut 18 moyennes par jour.

En 2005, seule la station de Sainte-Ode excède les 25 dépassements permis (Tableau 28). En réalité, le nombre de dépassements doit être moyenné sur 3 années (la première année entrant en ligne de compte devrait être 2010). Si on se base sur les trois dernières années (2003 à 2005), la norme n'est pas respectée pour les stations de Dourbes, Offagne, Sainte-Ode, Habay, Eupen et Vielsalm soit toutes les stations à caractère rural sauf les stations de Vezin et Sinsin qui ne sont pas fort éloignées de la limite des 25 dépassements autorisés. Le nombre important de dépassements

enregistrés en 2003, année riche en ozone, influence négativement la moyenne. En effet, cette année-là, toutes les stations sauf celle de Mons étaient largement au dessus des 25 dépassements permis (avec un maximum de 54 dépassements). Toutefois, cet effet est en partie contrebalancé par 2004 et 2005 qui furent des années normales au niveau de l'ozone. Si rien ne change d'ici 2010, la norme sera transgressée à chaque fois que l'on rencontre des conditions météorologiques un peu exceptionnelles comme celles rencontrées durant le mois d'août 2003.

Station	Localité	% de valeurs	Dépassements 2005	Moy. sur 3 ans
TMCH04	Lodelinsart	95%	16	24
TMEG01	Engis	94%	19	24
TMLG03	Liège	95%	17	22
TMLG06	Liège	90%	13	/
TMMO01	Mons	95%	8	15
TMNT01	Dourbes	91%	25	36
TMNT02	Corroy	58%	14	/
TMNT03	Vezin	94%	21	24
TMNT04	Offagne	95%	21	33
TMNT05	Sinsin	89%	17	24
TMNT06	Ste Ode	96%	27	31
TMNT07	Habay	92%	22	32
TMNT08	Eupen	93%	18	32
TMNT09	Vielsalm	90%	19	27

Tableau 28 : Ozone - Dépassements des $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8h – 2005

Les dépassements des $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ eurent lieu le plus souvent durant une période allant de mai à septembre (Tableau 29). La majorité des dépassements eurent lieu durant l'épisode déjà cité

soit approximativement du 18 au 28 juin (les dates exactes varient avec les stations). Outre cet épisode, on a enregistré des dépassements sur des périodes centrées sur le 28/05, le 14/07 et 31/08. Cependant, ces pics ne se retrouvent pas systématiquement pour toutes les stations contrairement à l'épisode de la fin juin. A Dourbes, le nombre de dépassement est élevé et ils se répartissent sur une période plus longue (de mars à septembre). Cette station est connue depuis des années pour montrer un comportement différent des autres stations pour la problématique de l'ozone.

L'évolution à long terme du nombre de dépassements montre que celui-ci a augmenté progressivement depuis 1988, avec un maximum en 1994 pour se ensuite stabiliser avec deux exceptions en 2000 et 2002 où le nombre de dépassements était du niveau du début des années 90 (Figure 23). En 2003, tous les records sont battus et le nombre de dépassements n'a jamais été aussi élevé depuis le début des mesures à ces deux stations. Enfin, en 2005, le nombre de dépassements semble redescendre.

4.4.4. Protection de la végétation

Pour la protection de la végétation, la valeur cible et l'objectif à long terme sont basés sur la notion de surcharge en ozone ou AOT40 (Accumulated dose Over a Threshold). Pour calculer l'AOT40, on somme les surplus par rapport à une valeur donnée (40 ppb ou 80 µg/m³). Cette surcharge est calculée pour la période de croissance végétale soit de mai à juillet et pour les heures de la journée où la photosynthèse est la plus active (8 à 20 h, heure

d'Europe centrale). L'AOT40 est en effet un paramètre directement en relation avec le rendement des terres agricoles et des prairies.

Lors du calcul de l'AOT, il faut 90 % des valeurs horaires mesurées pendant la période définie pour le calcul de la valeur de l'AOT. Si des données sont manquantes, on corrige l'AOT par la formule :

$$AOT_{\text{estimation}} = AOT40_{\text{mesuré}} * \text{Nombre d'heures possibles}^{(1)} / \text{nombre de valeurs horaires mesurées}$$

- (1) Il s'agit du nombre d'heures pendant la période prévue pour la définition de la valeur AOT (c'est-à-dire de 8 h à 20 h, heure d'Europe centrale, du 1^{er} mai au 31 juillet de chaque année pour la protection de la végétation et du 1^{er} avril au 30 septembre de chaque année pour la protection de la forêt.

En 2005, les surcharges en ozone (AOT40) enregistrées aux stations de Dourbes, Offagne et Habay dépassèrent la limite de 18 000 µg/m³ (Tableau 30). Plus correctement, la surcharge doit être moyennée sur 5 ans. Dans ce cas, il n'y a plus de dépassement de la surcharge limite. Les faibles surcharges mesurées en 2004 et surtout 2002 permettent de compenser les plus fortes surcharges 2005 et surtout de 2003 (8 stations sur 12 enregistraient des surcharges dépassant la limite). La moyenne permet d'équilibrer les effets des années riches en ozone. Si la valeur cible de 18 000 µg/m³.h semble pouvoir être atteinte relativement facilement, l'objectif à long terme de 6000 µg/m³.h semble fort optimiste.

	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Total annuel
Lodelinsart (TMCH04)			1	10	3	2		16
Engis (TMEG01)			2	11	6			19
Liège (TMLG03)			3	8	5	1		17
Liège (TMLG06)			3	5	5			13
Mons (TMMO01)				6	1	1		8
Dourbes (TMNT01)	1	1	2	10	7	2	2	25
Corroy (TMNT02)				8	4	2		14
Vezin (TMNT03)			4	9	6	2		21
Offagne (TMN04)			3	9	7	2		21
Sinsin (TMNT05)			3	9	4	1		17
Sainte-Ode (TMNT06)			3	12	5	3	4	27
Habay (TMNT07)			4	10	4	2	2	22
Eupen (TMNT08)			3	8	5	1	1	18
Vielsalm (TMNT09)			4	10	5			19

Tableau 29 : Ozone – Répartition des dépassements des 120 µg/m³ - 2005

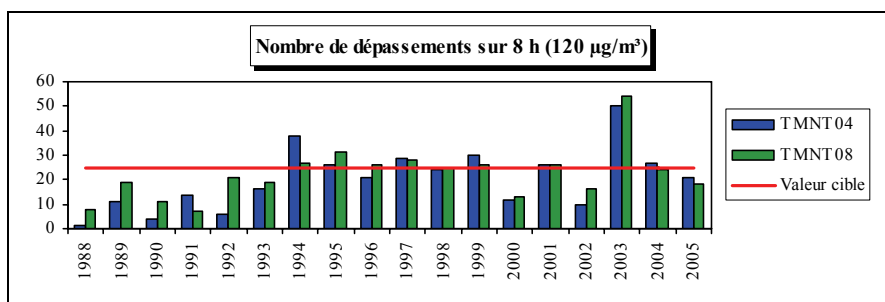


Figure 23 : Ozone - Evolution du nombre de dépassements des 120 µg/m³- Stations d'Eupen (TMNT08) et Offagne (TMNT04)

L'évolution à long terme de l'AOT ne montre pas d'évolution favorable vers l'objectif à long terme (Figure 24). On constate que la surcharge de 2005 fut assez élevée comme ce fut le cas une année sur deux depuis 1999 alors qu'auparavant les surcharges importantes étaient plus rares. L'examen de ce graphique doit s'accompagner de précautions car pour les années antérieures à 1993, le nombre de données manquantes est parfois grand et la correction apportée à l'AOT40 est d'autant plus importante.

4.4.5. Répartition géographique

Sur la Carte 3, figure le nombre de dépassements pour les différents seuils de la directive 2002/3/CE (seuil d'information, seuil d'alerte et dépassements de 120 µg/m³)

Pour les dépassements du seuil d'information, on constate que les stations les plus septentrionales ont enregistré plus de dépassements que les stations plus au sud. La station de Dourbes constitue un cas particulier et l'ozone y est généralement plus élevé que partout ailleurs. Pour le nombre de dépassements du seuil de 120 µg/m³, on observe un plus grand nombre de dépassements pour les stations à caractère rural, ce qui implique que les stations au nord de la région sont les moins touchées puisque plus urbanisées.

Sur la carte de répartition de la surcharge en ozone (Figure 25), on observe que la surcharge en ozone s'accroît quand on se dirige vers le sud de la région wallonne. Ainsi, le sud des Ardennes, la Gaume ainsi que la région des Hautes Fagnes, soit des

zones à caractère rural, sont les régions les plus exposées. A l'opposé, la surcharge est moindre le long du sillon Sambre et Meuse et sur le Hainaut occidental, soit les zones les plus urbanisées. La surcharge calculée pour cette dernière région doit être prise avec précaution car elle est fortement influencée par les résultats de la station de Mons qui est fort exposée aux polluants automobiles et donc relativement épargnée par l'ozone. Pour mieux couvrir cette partie de la Région wallonne, une station supplémentaire devrait y être implantée.

4.5. Indice de qualité

Une manière simple de synthétiser la pollution par l'ozone fait appel aux indices de qualité définis au Tableau 31. Cette approche est basée sur la directive et c'est le maximum journalier sur 8 h calculé de manière glissante heure par heure qui est pris en compte, les dépassements du seuil de 120 µg/m³ correspondant à un indice de qualité supérieur à 6.

La Carte 4 reprend la répartition des jours de 2005 suivant les indices de pollution pour les quatorze stations de la Région wallonne. On observe que les indices varient de 1 (excellent) à 8 (mauvais) avec une fréquence maximale qui se situe à 4 (assez bon) pour les stations à caractère rural comme Dourbes, Sinsin, Offagne, Sainte Ode, Eupen, Vielsalm et même Vezin. Par rapport à ce maximum, la distribution est légèrement décalée vers l'indice 5. Pour les stations à caractère urbain, le maximum se rapproche de 3 et il y a une plus forte proportion de jours d'indice 1 et 2.

Station	Localité	% de valeurs	AOT40 Mesuré - 2005 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$)	AOT40 Estimé -2005 ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$)	AOT40 sur 5 ans (2001-2005) ($\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$)
TMCH04	Lodelinsart	94%	12093	12924	10894
TMEG01	Engis	91%	13710	15091	12277
TMLG03	Liège	94%	13227	14136	11091
TMLG06	Liège	98%	11374	11563	11563
TMMO01	Mons	94%	7069	7555	7167
TMNT01	Dourbes	89%	17256	19360	16907
TMNT02	Corroy	73%	12416	17070	17070
TMNT03	Vezin	91%	16156	17765	14120
TMNT04	Offagne	91%	18206	20079	17342
TMNT05	Sinsin	89%	14553	16262	14479
TMNT06	Ste Ode	94%	16277	17295	15016
TMNT07	Habay	93%	18519	19946	17403
TMNT08	Eupen	93%	16375	17672	16258
TMNT09	Vielsalm	89%	15074	16929	15183

Tableau 30 : Ozone – Surcharge en ozone AOT40 (mai-juillet)

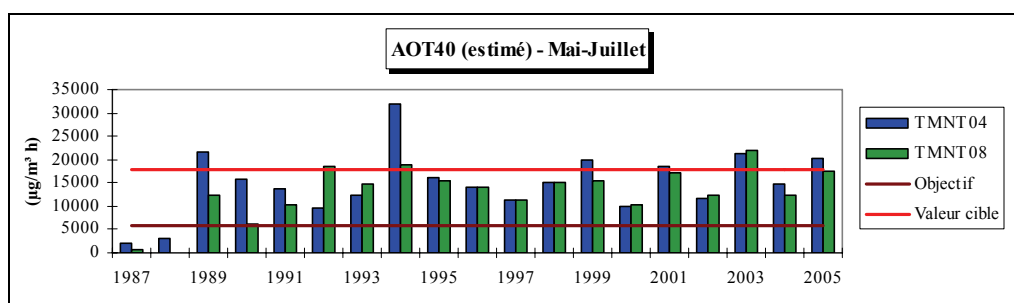


Figure 24 : Ozone - Evolution de la surcharge en ozone (AOT40 estimé) - Stations d'Eupen (TMNT08) et Offagne (TMNT04)

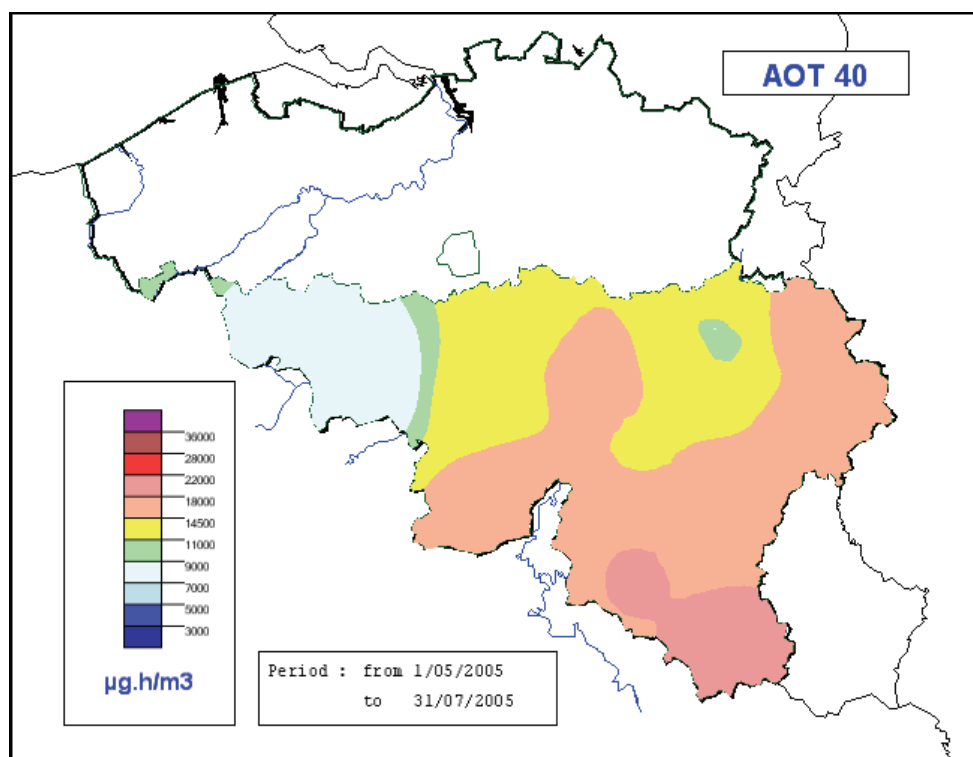


Figure 25 : Répartition de la surcharge en ozone - mai à juillet 2005

Polluant		(µg/m ³)									
O ₃	Max. 8 h	0 à 30	31 à 45	46 à 60	61 à 80	81 à 110	111 à 120	121 à 150	151 à 200	201 à 270	>270
Indice		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Appréciation		Excellent	Très bon	Bon	Assez bon	Moyen	Médiocre	Très médiocre	Mauvais	Très mauvais	Exécrable

Tableau 31 : Ozone - Définition des indices de qualité

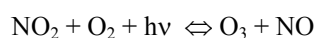
4.6. Interactions avec d'autres polluants

4.6.1. Généralités

L'ozone est un polluant secondaire, c'est-à-dire, qu'à de rares exceptions près, il n'est pas émis directement par l'activité humaine, mais est formé par des processus chimiques complexes à partir d'autres polluants, appelés précurseurs. Cette caractéristique rend la lutte contre la pollution par l'ozone difficile et diminuer la pollution pour un polluant précurseur peut mener à des effets négatifs et augmenter ainsi les taux d'ozone.

4.6.2. Les oxydes d'azote

Les différentes réactions entre l'ozone et les oxydes d'azote peuvent se résumer par l'équilibre suivant :



L'ozone est formé par réaction entre le dioxyde d'azote et l'oxygène atmosphérique en présence de radiation solaire. La réaction inverse est possible : l'ozone est détruit par le monoxyde d'azote pour donner du dioxyde d'azote. Si la formation d'ozone est un phénomène lent (plusieurs heures), la destruction par le NO est rapide (quelques minutes) et ne nécessite pas de radiation solaire.

Il existe un équilibre entre ces réactions de formation-destruction et, dans les conditions normales, le taux d'ozone reste stationnaire. Cet équilibre peut être brisé par la présence de Composés Organiques Volatils (COV) avec, pour conséquence, une augmentation de la teneur en ozone.

Les variations nyctémérales (c'est-à-dire les variations de concentrations selon un rythme de 24 heures) de l'ozone résultent de cet équilibre. La journée, sous l'influence des rayons solaires,

l'ozone est formé à partir du dioxyde d'azote (la destruction continue, mais l'effet global observé est une augmentation de l'ozone). Pendant la nuit, seule la réaction de destruction subsiste et l'ozone diminue en formant une « réserve » de dioxyde d'azote qui pourra reformer de l'ozone le jour suivant.

En été, on observe une augmentation de la concentration d'ozone entre 6 et 18 h, puis une diminution, due au processus de destruction. Les variations d'ozone dépendent de sa destruction plus ou moins forte et, selon le type d'environnement, il existe des différences notables entre ces variations nyctémérales (Figure 26).

Dans un environnement urbain, la production d'ozone est forte pendant la journée et sa destruction est rapide pendant la nuit. Les pics sont bien marqués, alors qu'en milieu rural et en l'absence de NO, la destruction est plus faible et les variations sont moindres, bien que le niveau général soit plus élevé (ligne de base plus haute).

Les différences entre les types de milieux s'observent également sur la représentation d'une journée moyenne en ozone (Figure 27). Dans les agglomérations, les variations de teneurs en ozone sont plus importantes et les valeurs maximales se produisent plus tard dans la journée (14-17 h), contrairement aux stations rurales (12-16 h), la destruction d'ozone retardant l'apparition du maximum. De même, les minima nocturnes sont plus élevés en milieu rural puisque le phénomène de destruction y est moindre. Enfin, le creux dans la diminution de l'ozone lors des premières heures de la journée est plus marqué pour un milieu urbain et pour les jours ouvrables, en raison du pic important de la concentration en monoxyde d'azote (pic de l'heure de pointe). Lors d'un épisode de smog photochimique, les dépassements ont donc lieu essentiellement l'après-midi et en milieu rural.

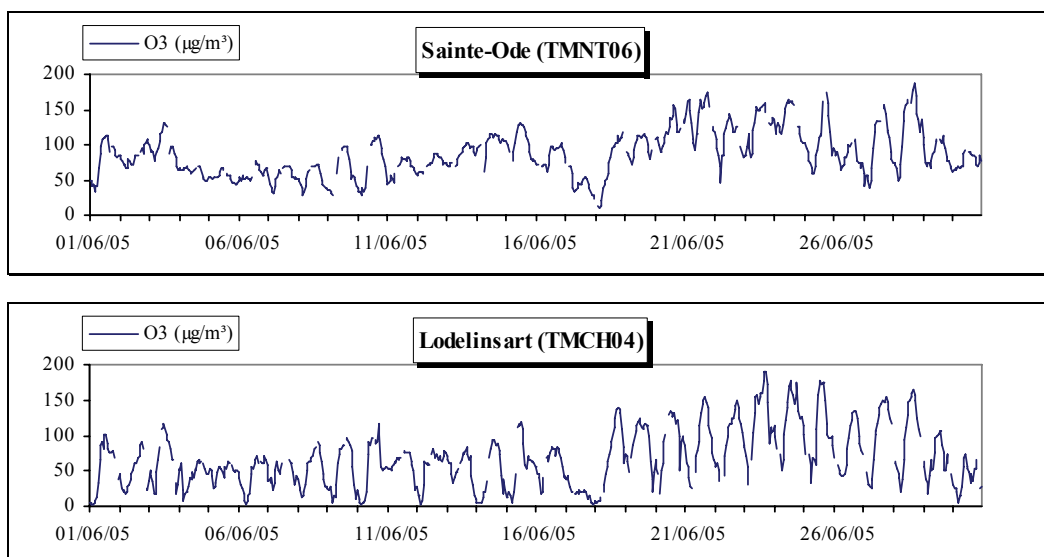


Figure 26 : Ozone - Evolution juin 2005 - Moyennes horaires - Stations de Sainte-Ode (TMNT06) et Lodelinsart (TMCH04)

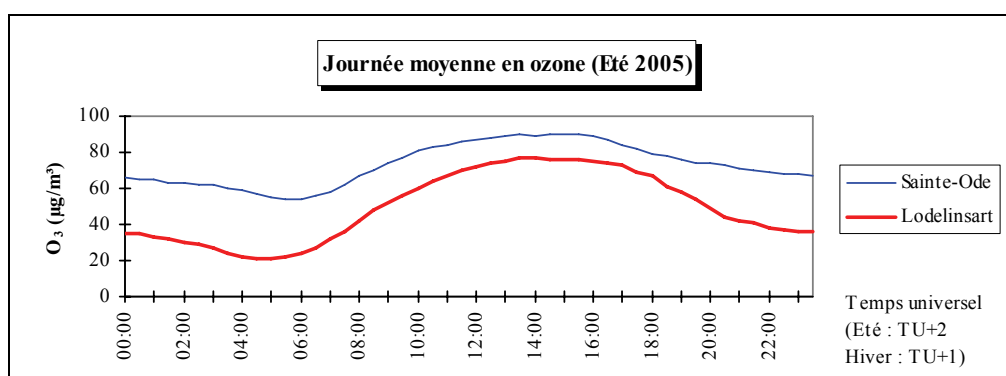


Figure 27 : Ozone - Journée moyenne - Été 2005 - Comparaison milieu urbain/milieu rural

L'augmentation des concentrations en ozone la journée s'accompagne d'une diminution des concentrations en dioxyde d'azote (Figure 28).

Les concentrations en ozone varient également selon le jour de la semaine (Figure 29). En milieu urbain (Lodelinsart), les concentrations en monoxyde d'azote sont plus fortes et, par conséquent, les concentrations en ozone plus faibles que pour une station rurale (Habay). Le week-end, les émissions de monoxyde d'azote diminuent en raison de la baisse de l'intensité du trafic avec comme conséquence une diminution de la réaction de destruction de l'ozone. Ce phénomène se traduit par une hausse des maxima et des minima en ozone.

Dans certains sites urbains, il y a formation abondante d'ozone le samedi en raison de l'influence des émissions de circulation relativement élevées de la veille, la destruction étant inférieure à cause de la réduction de l'intensité de la circulation. Le dimanche, la formation d'ozone est inférieure vu la circulation moins abondante du samedi, tandis que sa

destruction est inférieure ou du même ordre que le samedi. Le maximum du dimanche est alors plus faible que celui du samedi. Pour les mêmes raisons, les maxima du week-end ont lieu plus tôt dans la journée.

L'analyse de la différence entre les concentrations mesurées les jours ouvrables et les week-ends montre qu'une limitation des émissions d'oxydes d'azote (comme par exemple une interdiction de la circulation) peut, à très court terme, entraîner une augmentation de la concentration en ozone.

Les niveaux en ozone n'augmentent pas systématiquement avec les émissions en oxydes d'azote. La courbe de concentrations en ozone en fonction des émissions d'oxydes d'azote montre au contraire un maximum au-delà duquel la tendance s'inverse. En Belgique, nous nous situons au-delà de ce maximum. En d'autres termes, les modèles prédisent une augmentation initiale des concentrations en ozone en cas de réduction des émissions en oxydes d'azote (à émission égale de COV). Les émissions devraient être réduites de plus

de 50 % avant d'être du « bon côté » de la courbe et voir les concentrations en ozone diminuer.

En cas d'épisodes de pollution, une interdiction de la circulation motorisée apparaît, à court terme, comme préjudiciable, puisque nous nous situons du mauvais côté de la courbe, c'est-à-dire du côté où les concentrations en ozone augmentent avec la diminution des émissions en oxydes d'azote. De plus, les activités en plein air risquent d'augmenter (vélo, marche, ...) exposant ainsi un plus grand nombre de personnes.

4.6.3. Les Composés Organiques Volatils (COV)

Les composés organiques volatils jouent un rôle important dans le schéma de réaction de l'ozone. Dans la couche de mélange, l'ozone est formé par réaction entre une molécule d'oxygène et un atome d'oxygène provenant de la photolyse du dioxyde d'azote (la dissociation d'une molécule d'oxygène requiert des rayons UV plus énergétiques et n'a lieu que dans la stratosphère) :

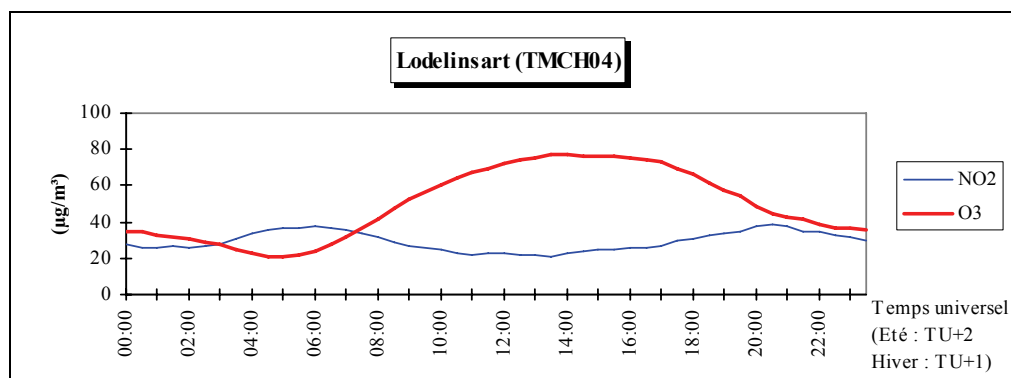


Figure 28 : Journée moyenne en ozone et en dioxyde d'azote - Été 2005 - Station de Lodelinsart (TMCH04)

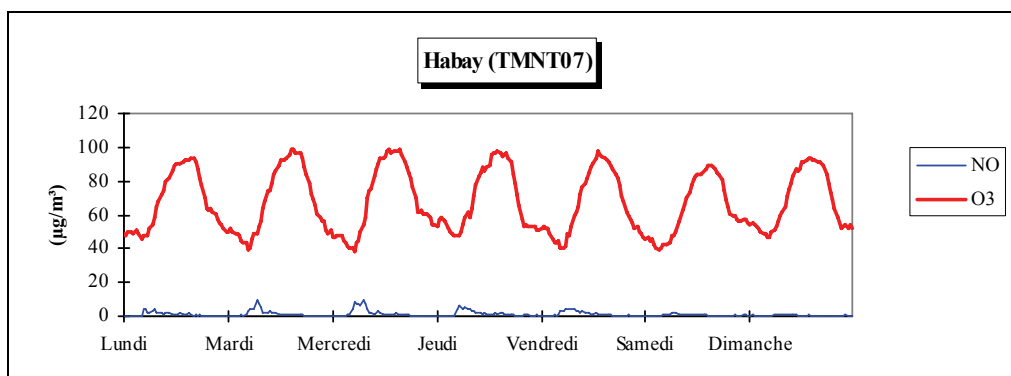
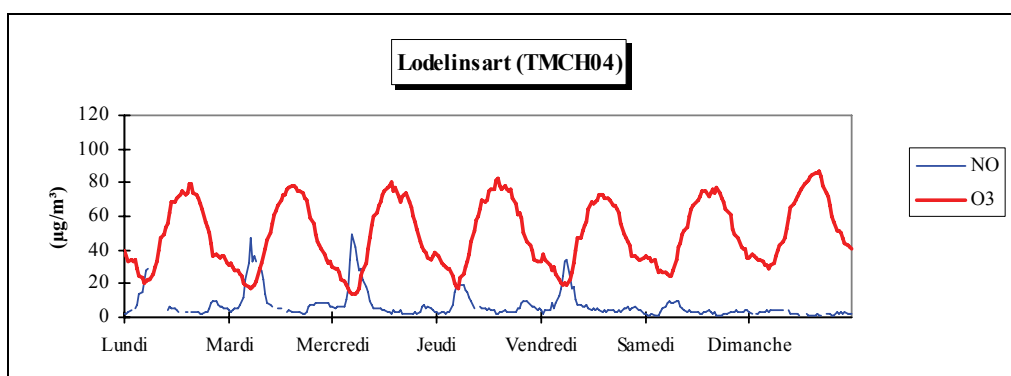
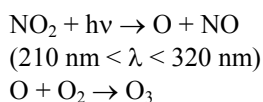
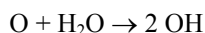


Figure 29 : Semaine moyenne en ozone et en monoxyde d'azote - Été 2005 - Stations de Lodelinsart (TMCH04) et Habay (TMNT07)

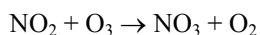


L'oxygène atomique peut aussi réagir avec une molécule d'eau pour donner des radicaux hydroxyles (OH) :

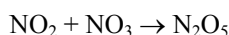


Si la réaction avec l'eau atmosphérique est la principale source de radicaux hydroxyles OH, d'autres substances peuvent également donner naissance à ces radicaux : photolyse de l'acide nitreux, du formaldéhyde ou du peroxyde d'hydrogène.

Vers la fin des années 70, il a été découvert une autre espèce radicalaire jouant un rôle important dans la chimie de la troposphère, le radical nitrate NO₃, formé par la réaction :

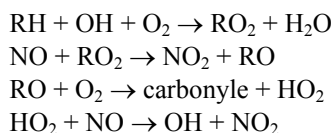


NO₃ et NO₂ sont en équilibre avec l'anhydride nitrique :



N₂O₅ est donc un réservoir de NO₃. Le radical NO₃ est facilement photolysable et n'a donc qu'une importance la nuit. Il est la principale cause de transformation des composés organiques durant la nuit. Comme sa formation nécessite de l'ozone qui est produit photochimiquement le jour, on parle de "photochimie différée" et même de "photochimie nocturne".

Les radicaux hydroxyles (OH) peuvent attaquer un composé organique volatil (RH); le monoxyde d'azote est transformé en dioxyde d'azote et le radical hydroxyle (OH) est régénéré; le processus peut alors recommencer :



Le dioxyde d'azote peut alors subir une nouvelle photolyse menant à la production d'ozone. Chaque espèce radicalaire créée par une réaction est consommée à la suivante et la dernière réaction régénère le radical OH qui peut continuer le processus en chaîne. Ces réactions participent à la conversion de NO en NO₂. Le schéma de réaction perturbe l'équilibre entre la production et la

destruction d'ozone, en consommant du monoxyde d'azote (diminution de la destruction) et en produisant du dioxyde d'azote (augmentation de la production d'ozone). La photolyse d'une seule molécule de NO₂, en donnant deux radicaux hydroxyles, entraîne la production de 2 molécules de NO₂ pouvant donner naissance à 2 molécules d'ozone.

Tous les radicaux décrits ont une durée de vie excessivement courte; ils naissent et meurent pratiquement au même endroit. Leurs concentrations restent très faibles (de 1 à 2.10⁶ cm⁻³ pour les hydroxyles).

Les mécanismes réactionnels seront différents suivant la teneur en NO : aux hautes teneurs, la photo-oxydation des COV produit de l'ozone; par contre, aux faibles concentrations en NO, un mécanisme consommant de l'ozone peut se développer.

Il existe une grande quantité de composés non émis dans l'atmosphère et résultant de processus photochimiques. Un des plus importants est le nitrate de peroxyacétyle (PAN) qui provient de la dégradation des aldéhydes.

Une même chaîne carbonée peut subir plusieurs décompositions suivant sa structure. Tous les composés carbonés n'ont pas la même réactivité vis-à-vis des radicaux hydroxyles et tous n'auront donc pas le même effet sur les concentrations en ozone. En règle générale, on considère que les composés insaturés (alcènes, aromatiques, ...) ont une réactivité supérieure et un impact plus grand sur l'ozone.

L'importance des COV lors de l'étude de l'ozone est reconnue par la Directive 2002/3/CE qui définit une liste de COV dans l'objectif « d'analyser toute évolution des précurseurs de l'ozone, de vérifier l'efficacité des stratégies de réduction des émissions, de contrôler la cohérence des inventaires des émissions et de contribuer à l'établissement de liens entre les sources d'émissions et les concentrations de pollution. Un autre objectif est de contribuer à une meilleure compréhension des processus de formation de l'ozone et de dispersion de ses précurseurs ainsi qu'à l'application de modèles photochimiques. » Le réseau COV devrait permettre d'apporter des renseignements intéressants quant à la chimie de ces composés.

4.7. Influence des paramètres atmosphériques

4.7.1. Température

L'évolution de la concentration en ozone et de la température montre des évolutions parallèles (Figure 30); le risque de pics d'ozone est d'autant plus grand que la température est élevée (Figure 31). En réalité, les fortes concentrations en ozone ne sont pas dues à une température élevée, mais ces deux paramètres dépendent directement d'un même facteur : le rayonnement solaire.

4.7.2. Autres paramètres

Le vent joue un rôle important dans la problématique de l'ozone. Il n'existe pas de lien direct et simple entre la direction du vent et les concentrations en ozone. Cependant, les masses d'air venant de l'océan sont moins polluées que celles venant du continent. De plus, les conditions d'ensoleillement nécessaires à la formation d'ozone

sont souvent associées à des courants chauds d'origine continentale. Cependant, les roses de pollution en ozone n'indiquent pas de direction privilégiée. Comme l'ozone est un polluant secondaire, la pollution qu'il cause est un phénomène d'ensemble : il n'existe pas de sources bien localisées.

La vitesse du vent influence les conditions de dispersion. Les fortes vitesses de vent assurent une meilleure dilution de l'ozone. Cependant, une forte turbulence peut amener un apport d'ozone provenant de couches plus élevées de l'atmosphère. Ce phénomène explique la présence de pics d'ozone alors que les conditions d'ensoleillement ne sont pas réunies.

Il existe d'autres paramètres météorologiques influençant les taux de concentrations en ozone. Ainsi, par exemple, la nébulosité ou l'hygrométrie modulent l'intensité des rayonnements UV par les molécules d'eau.

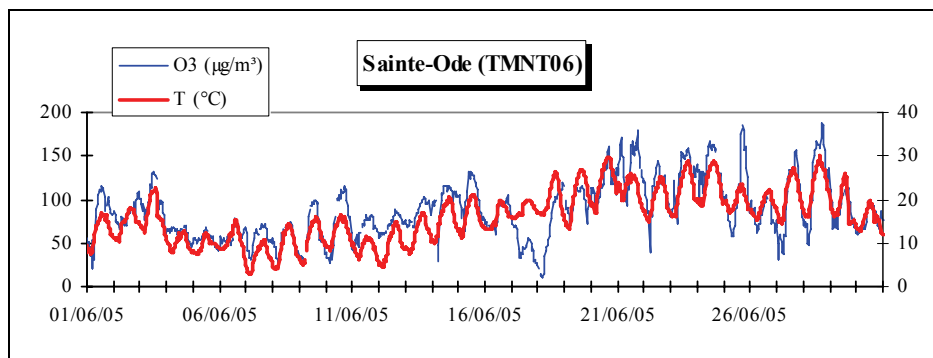


Figure 30 : Variation de la concentration en ozone et de la température – Juin 2005 - Station de Sainte-Ode (TMNT06)

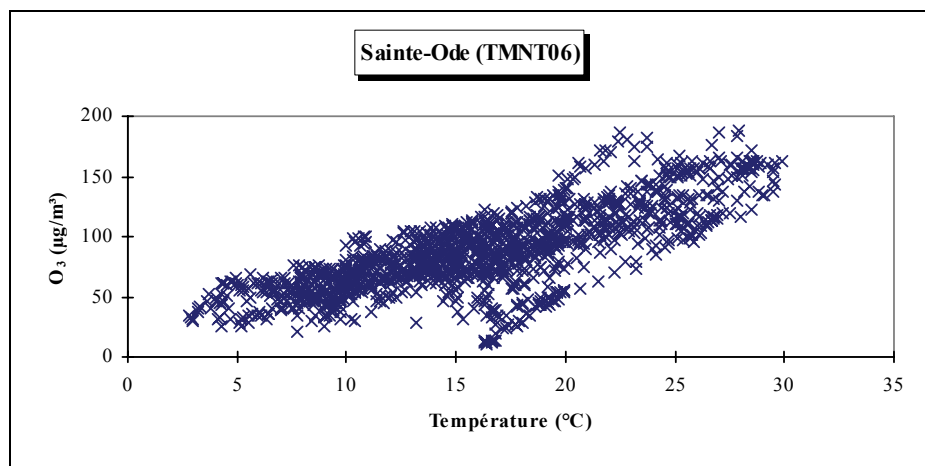


Figure 31 : Evolution de la concentration en ozone en fonction de la température – Juin 2005 - Station de Sainte-Ode (TMNT06)