

## 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 et les composés organiques. 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<sub>x</sub>. Tant que les conditions météorologiques, les concentrations en NO<sub>x</sub> 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.

En Région wallonne, la mesure de l'ozone s'effectue au sein du réseau télémétrique. Actuellement, on compte douze stations de surveillance équipées pour la mesure de l'ozone. Les points de mesure sont le plus souvent établis en zone rurale, là où les niveaux sont les plus élevés, et répartis de manière à couvrir l'ensemble du territoire wallon. Outre ces stations, quatre moniteurs sont placés dans des zones à caractères

urbain et/ou industriel (Charleroi, Liège, Mons et Engis).

### 4.2. Résultats de l'année 2004

Sur base des concentrations en ozone (Tableaux 26 et 27), 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 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. 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 2003, on observe une nette baisse de la plupart des paramètres statistiques. La diminution porte particulièrement sur les centiles élevés, paramètres sensibles à un épisode de pollution intense mais limité dans le temps alors que les médianes évoluent peu. Or, 2003 avait été une année riche en ozone avec un épisode particulièrement intense lors de la première décade du mois d'août. Les niveaux sont maintenant de même ordre que ceux de ces cinq dernières années, 2003 excepté.

Station	Localité	Nombre de valeurs		Moyenne (µg/m <sup>3</sup> )		Médiane (µg/m <sup>3</sup> )		P90 (µg/m <sup>3</sup> )		P95 (µg/m <sup>3</sup> )		P98 (µg/m <sup>3</sup> )	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
TMCH04	Lodelinsart	14450	15772	47	39	39	34	98	79	121	97	149	116
TMEG01	Engis	15879	15778	44	43	37	40	95	84	115	100	141	122
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	16303	15668	42	36	34	32	93	77	114	92	143	112
TMMO01	Mons	16526	15900	36	33	28	28	80	73	101	88	128	110
TMNT01	Dourbes	13212	15874	67	57	63	57	114	96	133	114	161	132
TMNT03	Vezin	16408	15886	49	42	44	39	99	81	119	93	147	110
TMNT04	Offagne	15908	16193	67	59	63	58	112	95	130	111	158	127
TMNT05	Sinsin	15989	15992	53	50	49	49	99	87	118	102	148	123
TMNT06	Ste Ode	15965	14893	66	61	59	59	114	95	136	111	162	127
TMNT07	Habay-la-Vieille	15903	15384	62	54	57	53	111	94	129	109	157	127
TMNT08	Eupen	16124	15553	62	55	59	55	112	91	130	107	153	130
TMNT09	Vielsalm	15644	15327	60	50	55	49	108	86	126	101	152	120

Tableau 26 : Ozone - Valeurs semi-horaires - Statistiques 2003 et 2004

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 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
TMCH04	Lodelinsart	312	348	47	39	43	38	86	69	99	76	119	90
TMEG01	Engis	345	352	44	43	39	45	76	74	95	82	107	91
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	351	344	42	36	39	36	76	66	84	76	102	79
TMMO01	Mons	357	352	36	33	34	33	65	59	76	66	95	74
TMNT01	Dourbes	289	354	66	57	66	60	102	86	119	97	139	108
TMNT03	Vezin	353	357	49	42	49	44	83	67	90	75	106	81
TMNT04	Offagne	342	355	67	59	65	58	102	85	119	99	143	112
TMNT05	Sinsin	349	357	53	50	52	52	83	75	97	81	118	95
TMNT06	Ste Ode	347	329	66	61	59	61	105	88	132	105	151	112
TMNT07	Habay-la-Vieille	342	345	62	54	60	54	100	84	118	98	142	110
TMNT08	Eupen	345	339	62	55	60	57	96	83	116	97	136	109
TMNT09	Vielsalm	342	343	60	50	56	51	97	78	116	86	129	96

Tableau 27 : Ozone - Valeurs journalières - Statistiques 2003 et 2004

#### 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 21 et Tableau 28), 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), culmine en juin, juillet et août pour diminuer au début de l'automne (septembre).

Alors que 2003 avait connu un ensoleillement remarquable (facteur primordial dans la production d'ozone) avec un excès global exceptionnel de la durée d'ensoleillement (la deuxième année depuis 1887), 2004 fut une année sans excès climatique.

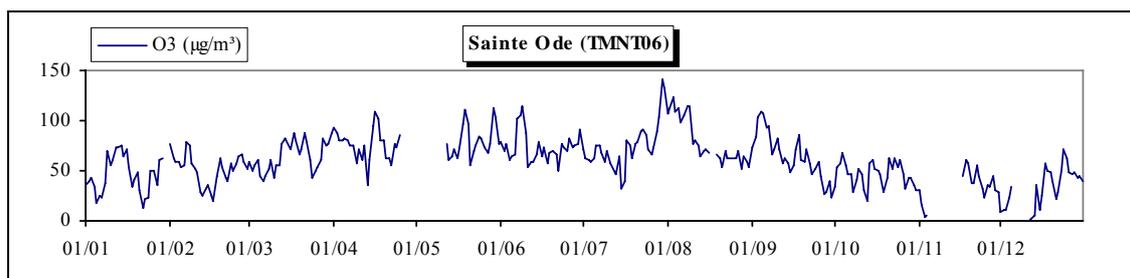
« A Uccle, la seule particularité climatique remarquable de l'année 2004 dans son ensemble fut l'excès de température moyenne. Sa valeur annuelle est caractérisée de très anormale. Le total des précipitations est anormal et les valeurs annuelles de l'ensoleillement et de la fréquence des jours de précipitations sont quant à elle normales. »

- (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 2004**

Le fait le plus remarquable de l'année 2004 fut certainement l'épisode de pollution qui débuta tout à la fin du mois de juillet et dura une dizaine de jour. Cet épisode n'a toutefois pas atteint l'intensité de l'épisode qui eut lieu à la même époque en 2003 lors d'une période de canicule.

Une autre caractéristique de 2004 fut les faibles concentrations en ozone durant les deux derniers mois de l'année par rapport aux deux premiers mois. Les moyennes mensuelles de novembre et décembre 2004 furent même parmi les plus faibles de ces cinq dernières années. Durant ces deux mois, les concentrations en monoxyde d'azote, gaz destructeur d'ozone furent plus élevées que durant les autres mois.



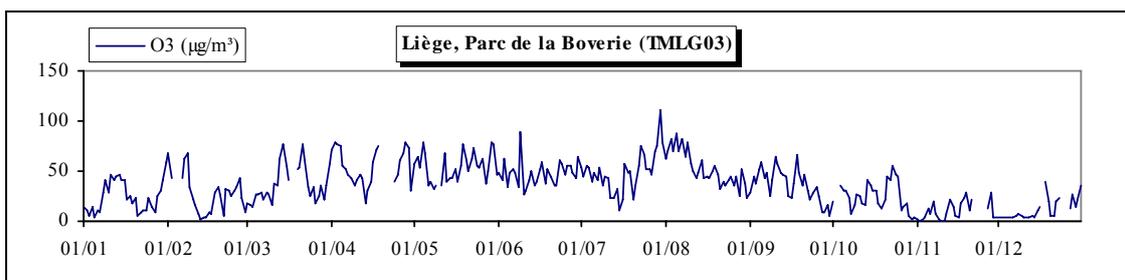


Figure 21 : Ozone - Evolution des concentrations journalières - Stations de Sainte-Ode (TMNT04) et Liège (TMLG03)

Concentrations mensuelles (µg/m³)												
Station	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Lodelinsart (TMCH04)	29	31	40	58	53	48	49	58	42	29	14	13
Engis (TMEG01)	28	34	42	65	59	54	56	60	46	34	16	17
Liège (TMLG03)	24	27	37	53	55	48	49	52	37	25	10	11
Mons (TMMO01)	24	28	31	47	45	42	42	49	38	25	10	12
Dourbes (TMNT01)	47	49	(62)	81	73	69	69	75	60	49	29	26
Vezin (TMNT03)	36	40	49	61	57	49	48	50	42	33	17	20
Offagne (TMNT04)	47	51	63	78	77	68	70	74	62	44	35	33
Sinsin (TMNT05)	41	44	52	64	65	61	62	64	49	42	26	25
Offagne (TMNT06)	46	51	64	76	(77)	74	73	80	65	46	(35)	33
Habay (TMNT07)	39	46	59	75	73	66	68	71	59	38	28	(31)
Eupen (TMNT08)	46	48	58	(71)	67	66	67	76	60	48	26	26
Vielsalm (TMNT09)	44	47	61	(72)	69	57	56	60	51	40	25	27

Tableau 28 : Ozone - Moyennes mensuelles 2004

#### 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 29).

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

(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/m<sup>3</sup> c-à-d somme de la différence entre les concentrations horaires et 80 µg/m<sup>3</sup> durant une période donnée en utilisant uniquement les valeurs horaires mesurées quotidiennement entre 8 et 20 h. (heure de l'Europe centrale)

**Tableau 29 : Ozone - AGW du 5/12/02**

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).

#### 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'entière 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.

Contrairement à 2003, année riche en ozone et où l'on compta 4 jours avec dépassement du seuil d'alerte et 21 jours de dépassements du seuil d'information, 2004 ne connut aucun dépassement du seuil d'alerte et seulement 4 jours avec au moins un dépassement du seuil d'information (Tableau 30). 2004 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) ou 2002 (1 jour).

En 2004, les dépassements eurent tous lieu sur une période débutant le 30 juillet et se terminant le 5 août avec un maximum le 30 juillet. L'amplitude des dépassements de 2004 fut également bien moins intense que celle des pics de 2003, avec un maximum à 201 µg/m<sup>3</sup> contre 296 µg/m<sup>3</sup>. A Dourbes, le 30/07/2004, le seuil d'information fut dépassé durant 6 heures consécutives (Figure 22).

Cet épisode peut être mis en relation avec des conditions favorables d'ensoleillement, accompagnées de températures élevées :

« Du 28 à la fin du mois, les masses d'air s'assèchent davantage suite à l'établissement d'une zone de faible relief barométrique depuis la Scandinavie jusqu'à nos régions.

...

A Uccle, la température minimales absolues ont varié de 25 °C à 33 °C et se sont produits le plus souvent le 17 ou le 30.

...

L'insolation a été médiocre au cours des première et deuxième décades, mais grâce au très bon dégagement du ciel au cours de la dernière décade, la durée d'ensoleillement a été supérieure à la normale. A Uccle, on a enregistré 204 h 50 min de soleil (norm. : 195 h.). »

**Source : IRM – Bilan climatologique de juillet 2004**

Date	Nombre de dépassements du seuil d'information (maximum horaire)					
	Engis (TMEG01)	Liège, (TMLG03)	Dourbes (TMNT01)	Sinsin (TMNT05)	Habay (TMNT07)	Eupen (TMNT08)
30/07/2004	5 (196)	3 (196)	6 (194)	4 (198)		3 (191)
31/07/2004				1 (183)		
03/08/2004	1 (185)				3 (189)	2 (181)
05/08/2004	2 (201)	2 (189)				
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>

Tableau 30 : Ozone – Nombre de dépassements des 180 µg/m<sup>3</sup> sur 1 h - 2004

« Du 1<sup>er</sup> au 2, notre pays fut sous l'influence de courants continentaux centrés sur la Scandinavie. Ensuite, du 3 à la fin du mois, notre temps fut déterminé par des courants maritimes. Ils furent associés, du 3 au 4, à une dépression située sur l'Islande, à des dépressions situées dans le voisinage des Iles Britanniques du 5 au 19, du 22 au 25 et du 27 au 30, et à des dépressions sur la Scandinavie les 20, 21, 26 et 31.

La prédominance d'air chaud sur le pays au cours des première et deuxième décades est à l'origine d'un large excès des températures.

...

Les températures maximales absolues ont varié de 25 °C à 34 °C et furent généralement observées le 3, le 5, le 8 ou le 9.

...

A Uccle, malgré un très bon ensoleillement du ciel au cours de la première décade, le total de la durée d'ensoleillement a été légèrement inférieur à la normale. On y a enregistré 159 h 15 min de soleil (norm. : 188 h.). »

**Source : IRM – Bilan climatologique d'août 2004**

La Figure 23 reprend, pour la Belgique, l'évolution des maxima horaires durant cet épisode. On constate que les jours où la pollution par l'ozone fut la plus importante furent le 30 juillet et les 3, 4 et 5 août. Le 30 juillet, la pollution s'étendait principalement sur le nord-est de la Belgique et suivant un axe sud-ouest nord-est coupant la Wallonie en deux. Les 3, 4 et 5 août, la Flandre fut la région la plus touchée ce qui explique que les dépassements du côté wallon se retrouvent aux stations les plus septentrionales.

Le 29 juillet, la transmission des données à CELINE (Cellule interrégionale de l'Environnement) ne s'est pas effectuée correctement, ce qui explique que la région wallonne apparaisse en blanc. Toutefois ces données existent et ont été prises en compte dans le calcul des dépassements.

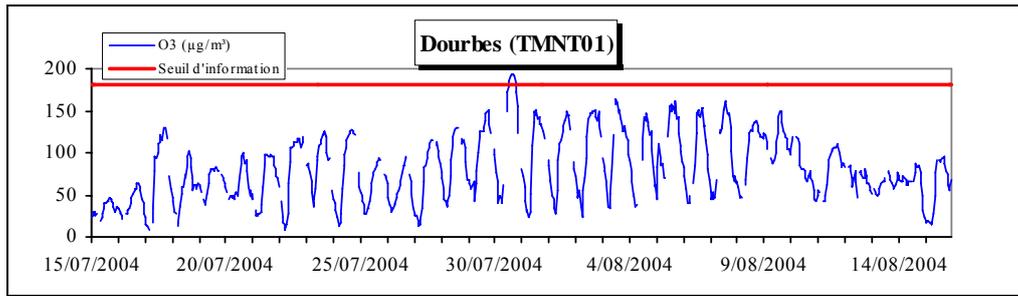
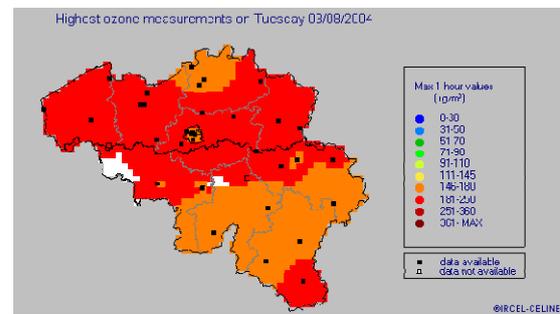
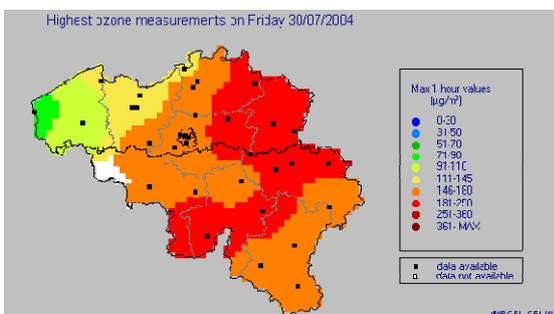
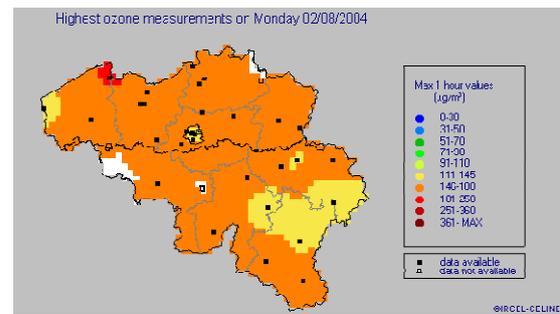
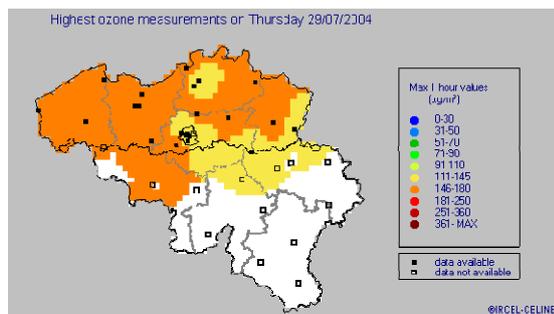
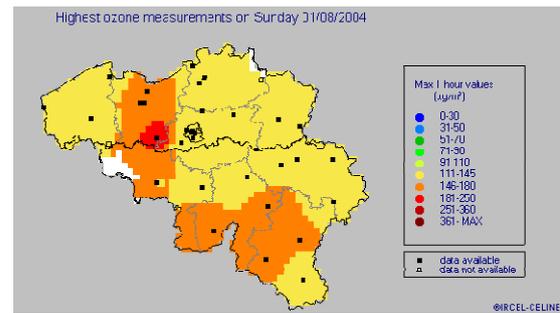
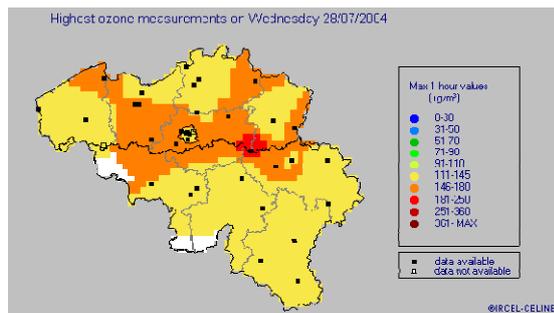
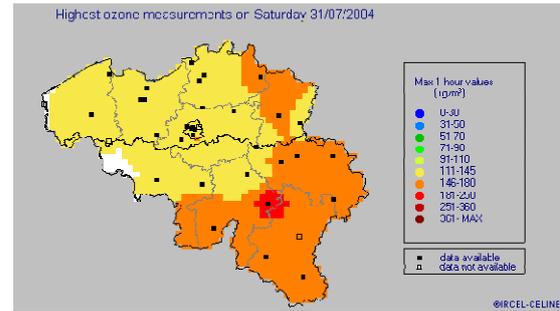
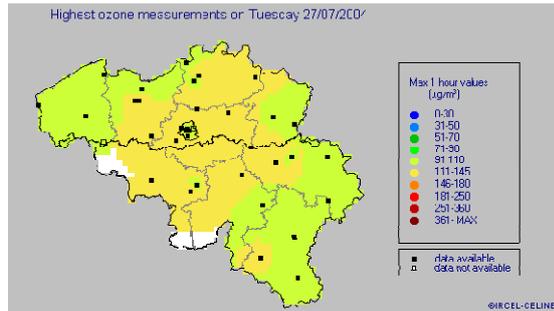


Figure 22 : évolution des concentrations horaires - 15/07/04 au 15/08/04 – Durbes (TMNT01)



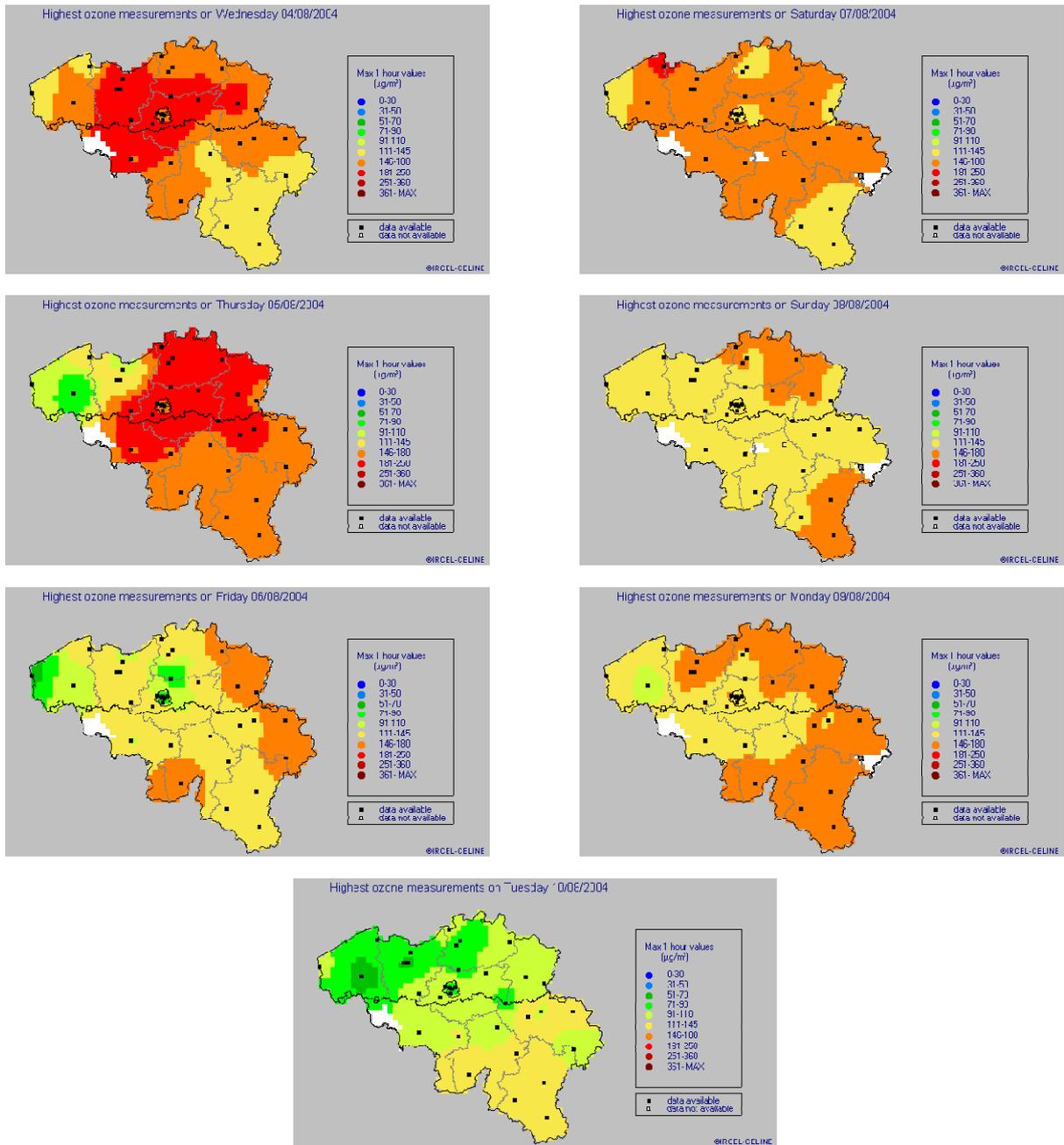


Figure 23 : Evolution des maxima horaires en ozone – 27 juillet au 10 août 2004 (source CELINE)

#### 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 µg/m<sup>3</sup>, 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 2004, seules les stations de Dourbes et d'Offagne excèdent le nombre de dépassements permis (Tableau 31). En réalité, le nombre de dépassement 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 (2002 à 2004), la norme n'est pas respectée pour les stations de Dourbes, Offagne, Sainte-Ode, Habay et Eupen soit toutes les stations à caractère rural sauf la station de Sinsin qui se situe à la limite des 25 dépassements autorisés. Le nombre important de dépassements enregistrés en 2003 influence négativement la moyenne. En effet, l'année dernière, toutes les stations sauf celle de Mons étaient largement au dessus des 25 dépassements permis. Toutefois, cet effet est en partie contrebalancé par 2002 qui fut pauvre en dépassements.

Station	Localité	% de valeurs	Dépassements 2004	Moy. sur 3 ans
TMCH04	Lodelinsart	92%	15	20
TMEG01	Engis	92%	21	19
TMLG03	Liège	88%	11	18
TMMO01	Mons	94%	11	14
TMNT01	Dourbes	95%	34	31
TMNT03	Vezin	93%	10	21
TMNT04	Offagne	93%	26	28
TMNT05	Sinsin	93%	18	20
TMNT06	Ste Ode	86%	21	26
TMNT07	Habay	90%	24	30
TMNT08	Eupen	90%	24	31
TMNT09	Vielsalm	84%	16	25

Tableau 31 : Ozone - Dépassements des 120 µg/m<sup>3</sup> sur 8h – 2004

Les dépassements des 120 µg/m<sup>3</sup> eurent lieu durant une période allant d'avril à septembre (Tableau 32). La majorité des dépassements eurent lieu durant l'épisode déjà cité soit approximativement du 28 juillet au 9 août (les dates exactes varient avec les stations). Outre cet épisode, on a enregistré des dépassements sur des périodes centrées sur le 16/04, le 19/05, le 29/05, le 09/06 et le 05/09. Cependant, ces pics ne se retrouvent pas systématiquement pour toutes les stations.

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 24). 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 2004, le nombre de dépassements fut semblable à ce qu'il était en 2001 ou durant la seconde partie des années nonante.

	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Total annuel
Lodelinsart (TMCH04)	1	1	0	3	8	2	15
Engis (TMEG01)	2	3	1	5	7	3	21
Liège (TMLG03)	0	2	1	2	6	0	11
Mons (TMMO01)	0	0	0	3	6	2	11
Dourbes (TMNT01)	7	5	3	6	8	5	34
Vezin (TMNT03)	2	3	0	1	4	0	10
Offagne (TMN04)	3	4	2	4	9	4	26
Sinsin (TMNT05)	2	2	2	3	8	1	18
Sainte-Ode (TMNT06)	2	4	1	3	9	2	21
Habay (TMNT07)	1	4	2	5	8	4	24
Eupen (TMNT08)	1	4	1	6	9	3	24
Vielsalm (TMNT09)	1	3	1	2	5	4	16

Tableau 32 : Ozone – Répartition des dépassements des 120 µg/m³ - 2004

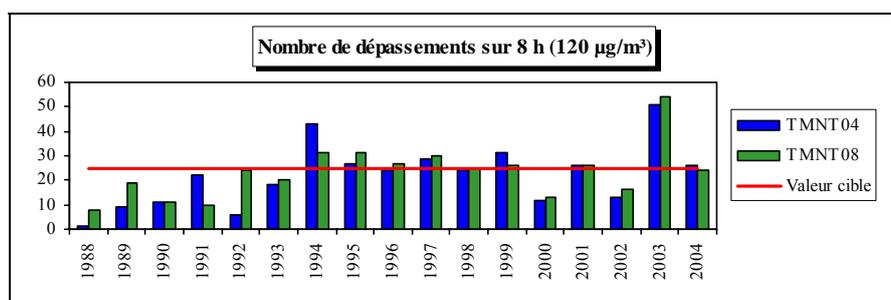


Figure 24 : Ozone - Evolution du nombre de dépassements des 120 µg/m³- Stations d'Eupen (TMNT08) et Offagne (TMNT04)

#### 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 8h à 20h, heure d'Europe centrale, du 1<sup>er</sup> mai au 31 juillet de chaque année pour la protection de la végétation et du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre de chaque année pour la protection de la forêt.

En 2004, aucune des surcharges en ozone (AOT40) ne dépasse la limite de 18 000 µg/m³ (Tableau 33). Plus correctement, la surcharge doit être moyennée sur 5 ans. Sous l'effet des fortes surcharges mesurées en 2003 (8 stations sur 12 enregistraient des surcharges dépassant la limite), la surcharge moyennée est plus élevée sans toutefois dépasser la valeur cible. Les faibles surcharges observées en 2000 et 2002 ont sans doute permis de compenser celles de 2003. La moyenne permet d'équilibrer les effets des années riches en ozone. Toutefois, si on observait 5 années consécutives comme 2003, la valeur cible serait alors dépassée. Si la valeur cible de 18 000 µg/m³.h, peut être atteint relativement facilement, l'objectif à long terme de 6000 µg/m³.h semble un peu trop optimiste.

Station	Localité	% de valeurs	AOT40 Mesuré - 2004 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ )	AOT40 Estimé -2004 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ )	AOT40 sur 5 ans (2000-2004) ( $\mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ )
TMCH04	Lodelinsart	90%	6172	6841	9110
TMEG01	Engis	91%	8600	9428	10296
TMLG03	Liège	92%	5971	6513	8972
TMMO01	Mons	95%	4457	4713	6198
TMNT01	Dourbes	90%	12822	14170	14753
TMNT03	Vezein	93%	6355	6851	11940
TMNT04	Offagne	89%	13191	14739	15174
TMNT05	Sinsin	89%	10879	12218	12766
TMNT06	Ste Ode	80%	10250	12829	13049
TMNT07	Habay	86%	12623	14623	15082
TMNT08	Eupen	94%	11543	12253	14670
TMNT09	Vielsalm	80%	8783	10969	12973

Tableau 33 : Ozone – Surcharge en ozone AOT40 (mai-juillet)

L'évolution à long terme de l'AOT ne montre pas d'évolution favorable vers l'objectif à long terme (Figure 25). 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  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Pour les dépassements du seuil d'information, il est difficile de mettre en rapport le nombre de dépassements avec la situation géographique de la station. Pour le nombre de dépassements du seuil de  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 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. De part son nombre plus faible de dépassements, la station de Vezein se classerait plutôt dans la catégorie des stations urbaines bien que son environnement proche soit plutôt rural. La station d'Engis fait également exception et on y compte autant de dépassements qu'à une station comme Sainte-Ode.

Sur la carte de répartition de la surcharge en ozone (Figure 26), 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 les zones les plus rurales, 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.

#### 4.5. Indice de qualité

Une manière simple de synthétiser la pollution par l'ozone fait appel aux indices de qualité définis au Tableau 34. 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  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  correspondant à un indice de qualité supérieur à 6.

La Carte 4 reprend la répartition des jours de 2004 suivant les indices de pollution pour les douze 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 Vezein. Par rapport à ce maximum, la distribution est approximativement symétrique. Pour les stations à caractère urbain, la symétrie disparaît et outre un maximum vers 3 ou 4, il y a une forte proportion de jours d'indice 1 et 2.









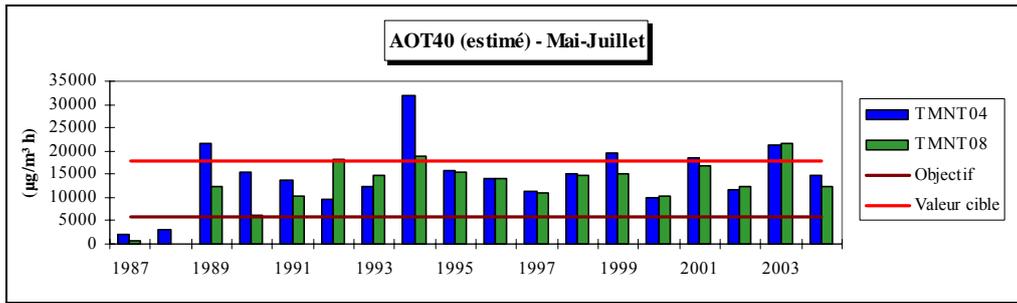


Figure 25 : Ozone - Evolution de la surcharge en ozone (AOT40 estimé) - Stations d'Eupen (TMNT08) et Offagne (TMNT04)

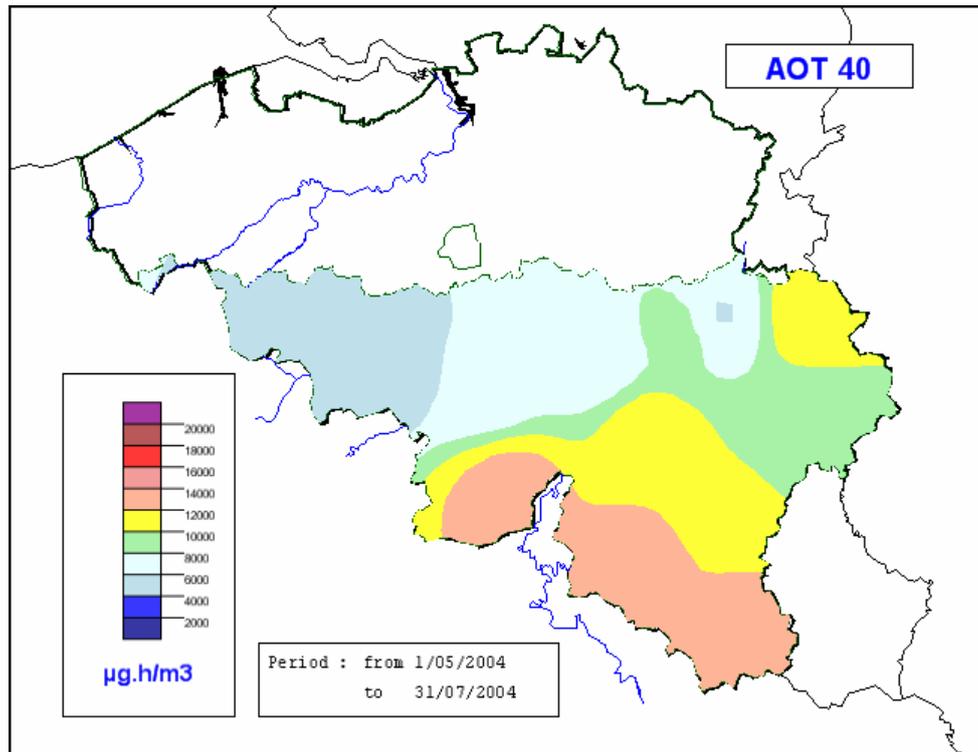


Figure 26 : Répartition de la surcharge en ozone - mai à juillet 2004

Polluant		(µg/m³)									
O <sub>3</sub>	Max. 8 h	0 → 30	→ 45	→ 60	→ 80	→ 100	→ 120	→ 150	→ 200	→ 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 34 : Ozone - Définition des indices de qualité

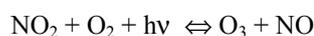
## 4.6. Interactions avec d'autres polluants

### 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

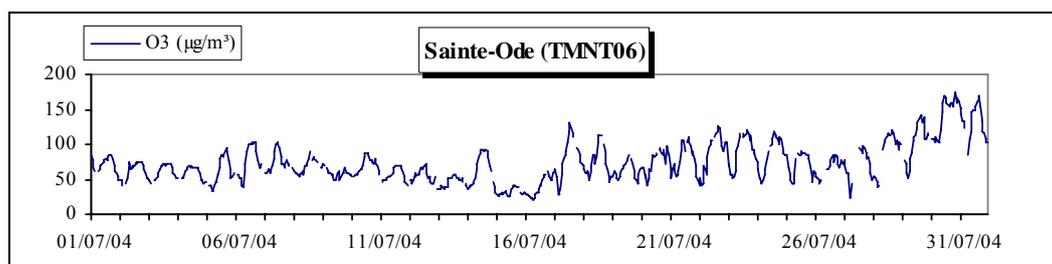
une augmentation de l'ozone). Pendant la nuit, seule la réaction de destruction subsiste et l'ozone diminue en formant une « réserve » de dioxyde d'azote qui pourra reformer de l'ozone le jour suivant.

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 27).

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 28). 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. 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.

L'augmentation des concentrations en ozone la journée s'accompagne d'une diminution des concentrations en dioxyde d'azote (Figure 29).



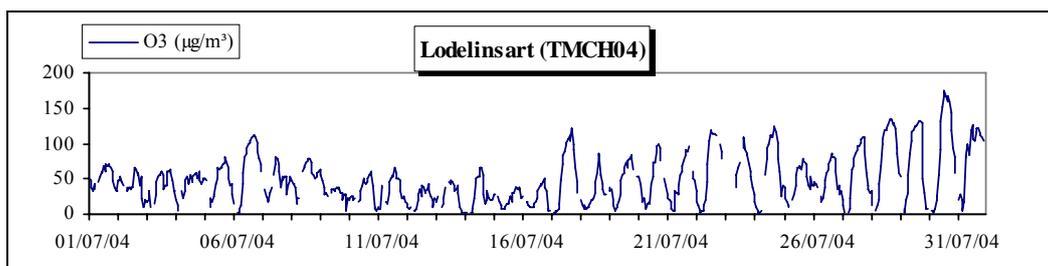


Figure 27 : Ozone - Evolution juillet 2004 - Moyennes horaires - Stations de Sainte-Ode (TMNT06) et Lodelinsart (TMCH04)

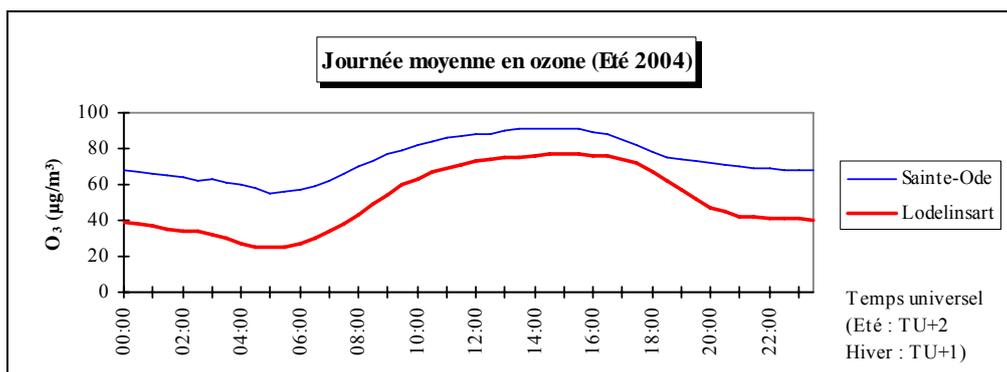


Figure 28 : Ozone - Journée moyenne - Été 2004 - Comparaison milieu urbain/milieu rural

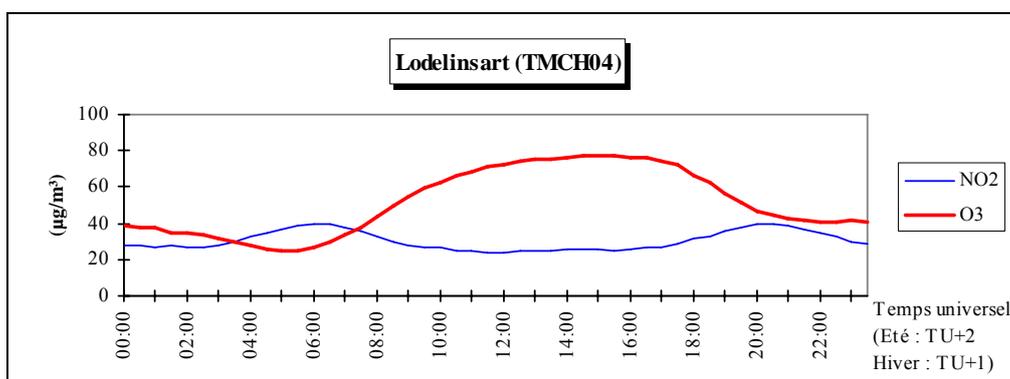


Figure 29 : Journée moyenne en ozone et en dioxyde d'azote - Été 2004 - Station de Lodelinsart (TMCH04)

Les concentrations en ozone varient également selon le jour de la semaine (Figure 30). 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 (Offagne). 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.

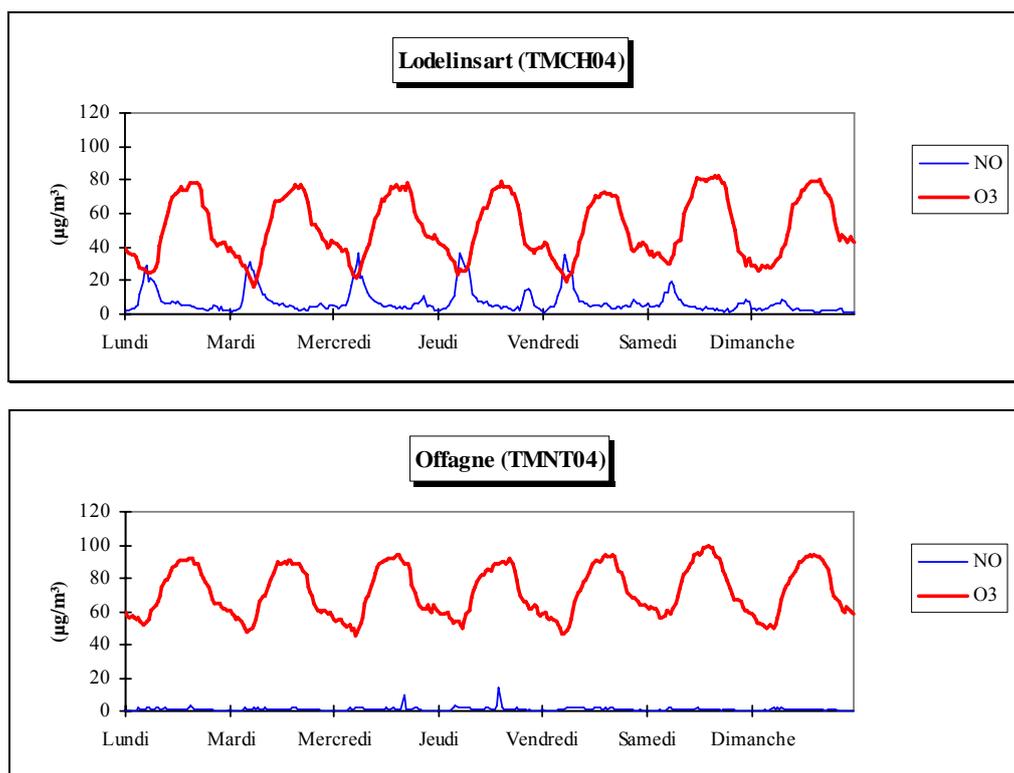


Figure 30 : Semaine moyenne en ozone et en monoxyde d'azote - Eté 2004 - Stations de Lodelinsart (TMCH04) et Offagne (TMNT04)

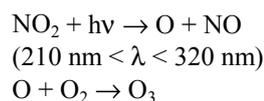
Les niveaux en ozone n'augmentent pas systématiquement avec les émissions en oxydes d'azote. La courbe de concentrations en ozone en fonction des émissions d'oxydes d'azote montre au contraire un maximum au-delà duquel la tendance s'inverse. En Belgique, nous nous situons au-delà de ce maximum. En d'autres 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.

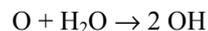
#### 4.6.3. Les Composés Organiques Volatils (COV)

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) :

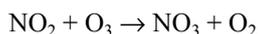


L'oxygène atomique peut aussi réagir avec une molécule d'eau pour donner des radicaux hydroxyles (OH) :



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  $\text{NO}_3$ , formé par la réaction :

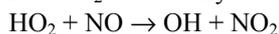
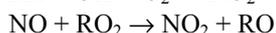
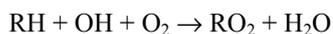


$\text{NO}_3$  et  $\text{NO}_2$  sont en équilibre avec l'anhydride nitrique :



$\text{N}_2\text{O}_5$  est donc un réservoir de  $\text{NO}_3$ . Le radical  $\text{NO}_3$  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  $\text{NO}_2$ . 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  $\text{NO}_2$ , en donnant deux radicaux hydroxyles, entraîne la production de 2 molécules de  $\text{NO}_2$  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  $2 \cdot 10^6 \text{ cm}^{-3}$  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 31); le risque de pics d'ozone est d'autant plus grand que la température est élevée (Figure 32). 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.

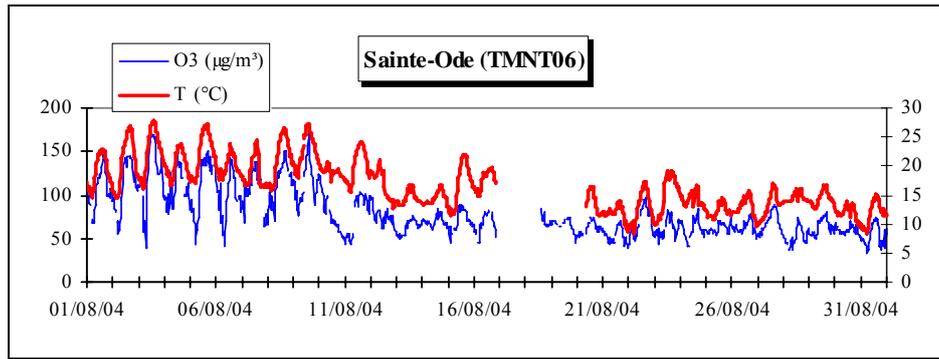


Figure 31 : Variation de la concentration en ozone et de la température – Août 2004 - Station de Sainte-Ode (TMNT06)

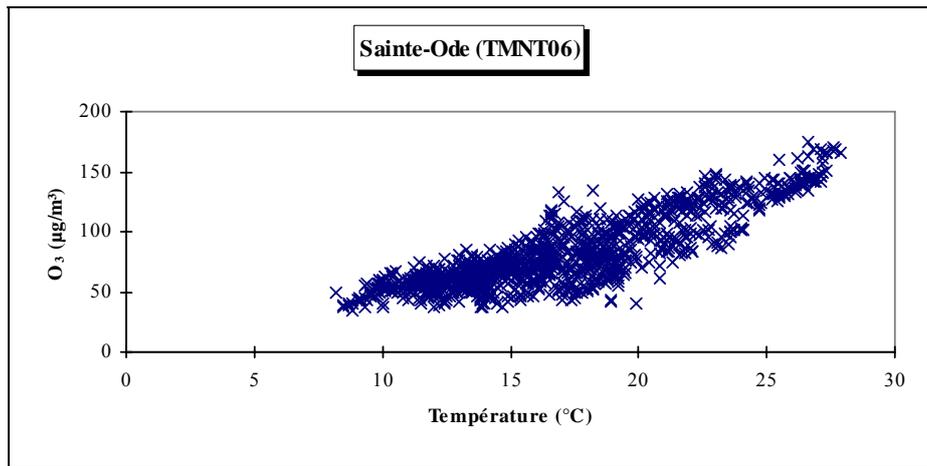


Figure 32 : Evolution de la concentration en ozone en fonction de la température – Août 2004 - Station de Sainte-Ode (TMNT06)

#### 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.