

2. Composés du soufre

2.1. Introduction

Les principaux composés du soufre présents dans l'atmosphère sont le dioxyde de soufre (SO₂), le trioxyde de soufre (SO₃), les sulfates (dont l'acide sulfurique) et le sulfure d'hydrogène (H₂S).

Ces composés du soufre peuvent provenir de phénomènes naturels comme le volcanisme, les embruns marins, l'érosion ou diverses fermentations comme dans les marécages. Cependant, l'activité humaine reste le principal émetteur d'oxydes de soufre principalement par l'utilisation de combustibles fossiles. Lors de la combustion, le soufre contenu comme impureté s'oxyde pour former du SO₂ et dans une faible mesure du SO₃.

Suite au développement industriel, les concentrations en SO₂ ont atteint par le passé des niveaux préoccupants et il fut un des premiers polluants mesurés de manière continue au sein du réseau soufre-fumées (mesure par acidimétrie) dès 1968, puis au sein du réseau télémétrique à partir de 1978. En 2001, la mesure par acidimétrie a totalement été abandonnée et actuellement, la surveillance du SO₂ s'effectue grâce aux 22 stations du réseau télémétrique.

Le dioxyde de soufre est tristement célèbre du fait des graves épisodes de pollution observés par le passé : Londres en 1952 ou Engis en 1930. Le dioxyde de soufre est un gaz irritant et corrosif et fait l'objet de normes.

Les sulfates présents dans les particules en suspension dans l'atmosphère peuvent provenir de l'érosion ou des embruns marins pour les particules « grossières » mais aussi par condensation et oxydation du dioxyde de soufre principalement dans les aérosols plus fins. C'est pourquoi, ils sont dosés au sein du réseau métaux lourds (pour 11 stations) et font l'objet de la deuxième partie de ce chapitre. Ces stations peuvent être des stations de surveillance de la pollution urbaine et industrielle ou des stations de surveillance de la pollution de fond, vu le caractère parfois transfrontalier de ce type de pollution (la transformation du dioxyde de soufre est relativement lente par rapport au transport des polluants). Les sulfates retrouvés dans les précipitations seront abordés dans le chapitre relatif aux retombées acides.

Enfin, le soufre peut se retrouver dans sa forme réduite sous forme de sulfure d'hydrogène. Dans

l'air atmosphérique, le sulfure d'hydrogène est un polluant mineur parmi les composés du soufre, même si les gênes qu'il cause sont fortement ressenties par les populations à cause de son odeur nauséabonde. La mesure de H₂S s'effectue en général lors de campagnes ponctuelles ciblées. Un milieu particulier, celui d'Engis, fait l'objet d'une surveillance permanente.

2.2. Dioxyde de soufre

2.2.1. Résultats de l'année 2004

Les teneurs en dioxyde de soufre apparaissent comme relativement faibles (Tableaux 2 et 3). Les stations situées en milieu urbain et/ou industriel (stations de la région de Charleroi et de Liège) enregistrent des concentrations plus élevées que les stations à caractère rural. Cependant, les différences deviennent minimales et les moyennes annuelles pour certaines stations rurales (comme Corroy ou Habay) sont du même ordre que celles des stations urbaines les moins touchées. Par contre, les centiles élevés permettent encore une discrimination entre ces stations.

Par rapport à 2003, les paramètres statistiques sont stationnaires voire en légère diminution. Les stations de Saint-Nicolas (hauteurs de Liège) et d'Engis font exception et on y remarque une faible progression. Ces variations sont infimes et pas toujours nécessairement très significatives. Pour les stations de l'entité de Charleroi, les niveaux atteints sont les plus faibles de ces cinq dernières années.

La station d'Engis se distingue par des teneurs plus élevées en SO₂ en raison de l'influence des industries voisines et de la topographie particulière des lieux. Cette station a d'ailleurs un comportement totalement différent des autres stations. Par rapport à 2002, on y constate une très légère augmentation en 2003 et 2004, les niveaux y restent toutefois bien inférieurs à ceux de 2001 et des années précédentes.

2.2.2. Variations saisonnières

Les teneurs en dioxyde de soufre varient avec les saisons, et les épisodes de fortes concentrations se rencontrent généralement durant la saison froide (Figure 1). D'une part, les conditions climatiques en hiver sont plus défavorables à la dispersion des polluants et, d'autre part, les besoins énergétiques et donc les émissions sont plus importants (chauffage domestique, secteur de l'énergie).

Station	Localité	Nombre de valeurs		Moyenne (µg/m³)		Médiane (µg/m³)		P90 (µg/m³)		P95 (µg/m³)		P98 (µg/m³)	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
TMCH01	Marchienne-au-Pont	16658	16670	11	6	6	3	26	14	38	19	50	26
TMCH02	Marcinelle	16778	15050	7	4	4	2	16	11	23	17	32	25
TMCH03	Charleroi (Gl. Michel)	16264	15391	11	9	7	6	24	20	33	27	47	38
TMCH04	Lodelinsart	16213	15529	9	7	6	5	21	17	28	22	39	29
TMCH05	Châtelineau	16876	16664	10	8	7	6	21	18	28	24	39	32
TMEG01	Engis	16390	16451	25	27	12	13	59	65	88	94	146	145
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	16731	16679	9	7	7	4	19	16	24	23	32	33
TMLG04	Angleur	16891	16696	6	5	4	3	14	13	19	18	27	25
TMLG05	Liège (Coronmeuse)	16269	14807	6	6	5	4	14	13	18	18	25	24
TMMO01	Mons	16912	16560	4	4	3	3	9	8	13	10	18	14
TMNT01	Dourbes	16937	16641	2	3	1	2	5	5	7	7	11	10
TMNT02	Corroy-le-Grand	16055	15830	5	5	4	3	10	10	13	12	18	16
TMNT03	Vezin	16581	16517	3	3	1	1	8	7	11	10	17	15
TMNT04	Offagne	(9701)	16454	(1)	2	(0)	1	(3)	4	(4)	5	(7)	8
TMNT05	Sinsin	16667	16644	3	2	2	1	6	6	9	7	12	11
TMNT06	Ste Ode	16193	(12735)	2	(2)	1	(1)	5	(4)	7	(6)	9	(9)
TMNT07	Habay-la-Vieille	16672	15493	5	5	4	4	8	9	11	11	13	14
TMNT08	Eupen	15448	16640	5	5	2	3	11	9	17	15	30	27
TMNT09	Vielsalm	16109	16269	1	1	0	0	3	3	4	4	6	6
TMSG01	Jemeppe	16748	16392	10	9	7	6	20	20	26	28	37	37
TMSG02	St-Nicolas	16848	16695	7	9	4	6	19	23	26	30	34	40

Tableau 2 : Dioxyde de soufre - Réseau télémétrique - Valeurs semi-horaires - Statistiques 2003 et 2004

Remarque : Sauf spécification contraire, toutes les données reprises dans les tableaux ou les figures sont exprimées à 20°C. Pour passer des concentrations de 20°C à 25°C, il suffit de multiplier par un facteur égal à 0,983.

Station	Localité	Nombre de valeurs		Moyenne (µg/m³)		Médiane (µg/m³)		P90 (µg/m³)		P95 (µg/m³)		P98 (µg/m³)	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
TMCH01	Marchienne-au-Pont	358	364	11	6	8	4	22	13	28	15	33	17
TMCH02	Marcinelle	363	330	7	4	5	3	15	11	20	14	24	17
TMCH03	Charleroi (Gl. Michel)	360	351	11	9	9	7	21	17	26	21	37	26
TMCH04	Lodelinsart	359	351	9	7	8	6	17	14	22	17	26	21
TMCH05	Châtelineau	361	364	10	8	8	6	17	16	23	20	31	26
TMEG01	Engis	353	363	25	27	21	23	48	53	70	60	93	83
TMLG03	Liège (P. de la Boverie)	359	363	9	7	8	5	15	13	18	17	23	23
TMLG04	Angleur	364	366	6	5	5	4	12	10	15	13	19	16
TMLG05	Liège (Coronmeuse)	354	330	6	6	5	5	12	12	15	14	20	17
TMMO01	Mons	365	363	4	4	4	3	9	7	11	8	13	10
TMNT01	Dourbes	365	366	2	3	2	2	5	5	6	6	8	8
TMNT02	Corroy-le-Grand	347	345	5	5	4	4	8	9	11	10	13	12
TMNT03	Vezin	359	366	3	3	2	2	6	6	8	7	10	9
TMNT04	Offagne	(209)	361	(1)	2	(0)	2	(3)	3	(3)	4	(5)	6
TMNT05	Sinsin	360	365	3	2	2	2	5	5	7	6	8	7
TMNT06	Ste Ode	359	(288)	2	(2)	2	(1)	4	(4)	6	(5)	7	(6)
TMNT07	Habay-la-Vieille	360	349	5	5	4	4	8	7	9	8	11	10
TMNT08	Eupen	333	365	5	5	3	3	11	10	15	14	25	20
TMNT09	Vielsalm	348	358	1	1	1	1	3	3	3	4	5	5
TMSG01	Jemeppe	363	359	10	9	9	8	16	17	20	20	23	22
TMSG02	St-Nicolas	361	363	7	9	6	8	15	19	19	23	23	27

Tableau 3 : Dioxyde de soufre - Réseau télémétrique - Valeurs journalières - Statistiques 2003 et 2004

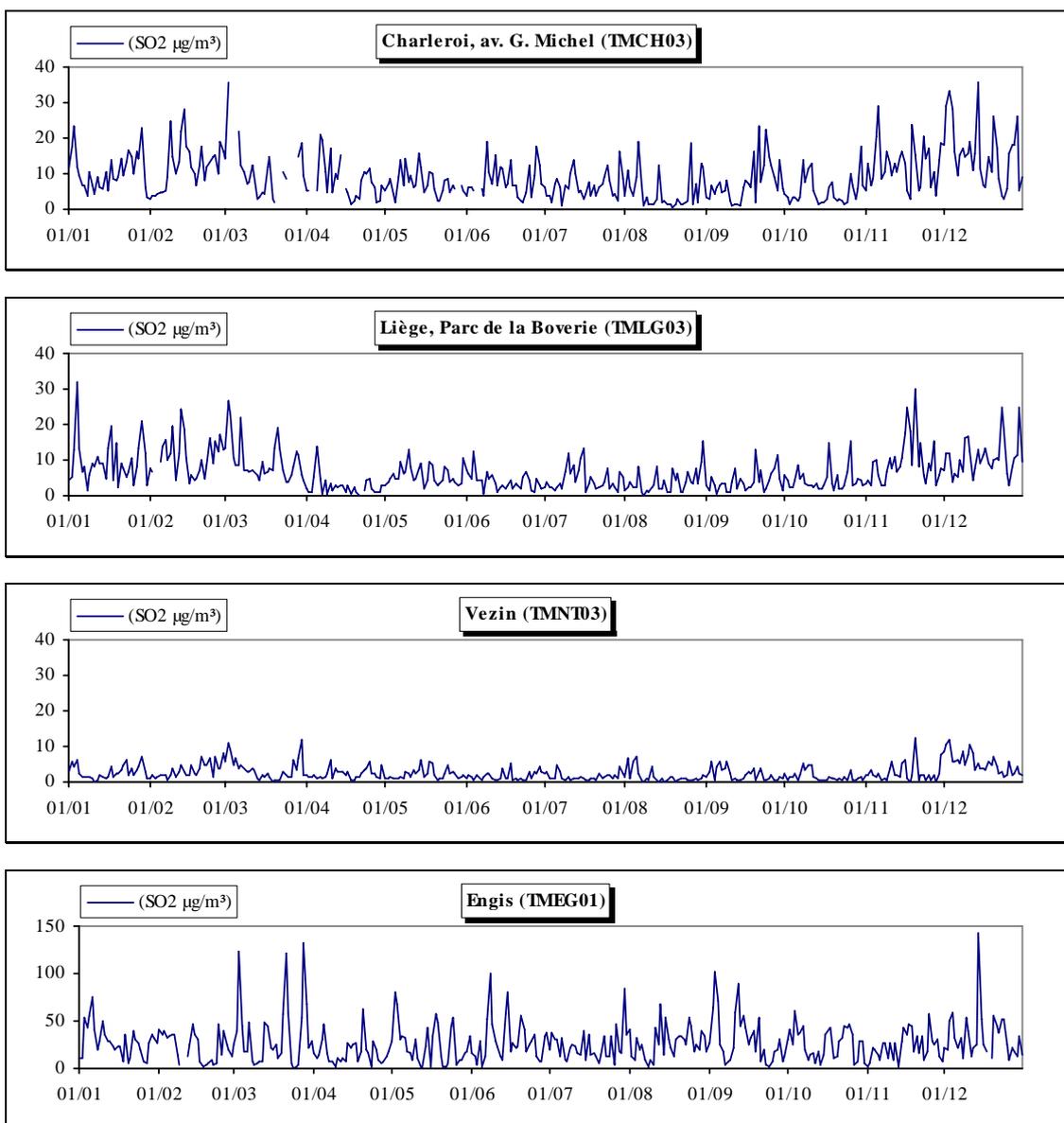


Figure 1 : Dioxyde de soufre - Evolution des concentrations journalières - Stations de Charleroi (TMCH03), Liège (TMLG03), Vezin (TMNT03) et Engis (TMEG01)

Le cas extrême d'épisode a lieu en période d'inversion de température. La température est alors plus basse au niveau du sol qu'en altitude et les polluants restent confinés au niveau du sol. Cet effet peut être renforcé par l'effet de cloche. En milieu urbain, la part du chauffage domestique peut alors devenir importante, car les émissions s'effectuent à basse altitude, alors que la plupart des installations industrielles sont équipées de cheminées suffisamment hautes pour émettre les polluants à une altitude supérieure à la hauteur de l'inversion.

Comme les années précédentes, 2004 fut particulièrement douce au niveau des températures et il y eut un excès des précipitations :

«A Uccle, la seule particularité climatique remarquable de l'année 2004 dans son ensemble

fut l'excès de température moyenne. Sa valeur 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 elles normales.

L'hiver 2004 (décembre 2003 à février 2004) a été doux et pluvieux. L'excès très anormal des précipitations est dû au mois de janvier : les quantités pluviométriques relevées furent particulièrement abondantes au cours de la deuxième décennie du mois, avec un excès caractérisé de « très exceptionnel ». Cette deuxième décennie fut la deuxième décennie de janvier la plus arrosée depuis 1901. ... Au niveau des températures, l'hiver a été marqué par une alternance de périodes chaudes et froides, avec une période particulièrement douce en février.

...
L'automne 2004 fut très anormalement doux.

...
En conclusion, l'année 2004 fut une année relativement chaude, comme c'est généralement le cas depuis la fin des années 1980.

...
Anormal : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 6 ans.
Très anormal : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 10 ans.
Exceptionnel : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 30 ans.
Très exceptionnel : phénomène égalé ou dépassé en moyenne une fois tous les 100 ans. »

Source : IRM - Bilan climatologique de l'année 2004

La clémence de la température (meilleure dispersion et besoins énergétiques amoindris) constitue un avantage pour de faibles concentrations en polluants. L'abondance des précipitations constitue également un facteur positif (lavage de l'atmosphère) comme par exemple lors de la seconde décennie de janvier, mois où traditionnellement les concentrations sont parmi les plus élevées. Ainsi, les concentrations lors de cette période furent moindres que pendant le reste du mois. De plus, ces conditions sont aussi antagonistes avec les conditions nécessaires pour connaître un épisode d'inversion de température qui arrive généralement quand la température est très basse et que le ciel est dégagé (conditions anticycloniques). Enfin, en hiver, les conditions anticycloniques amènent des courants continentaux plus chargés en polluants que les courants maritimes.

En 2004, les mois les plus chargés furent les mois de janvier, février, mars et décembre. Le premier pic de l'année eut lieu aux alentours du 3 janvier. Du 1^{er} au 3 janvier, le temps fut déterminé par des courants continentaux associés à un anticyclone. Les températures minimales absolues ont varié de -16 °C à -5 °C et ont été relevées les 3 ou 4 janvier.

Il y eut d'autres pics notamment au mois de décembre. Cependant, un des plus marquants de par son caractère universel (on le retrouve sur toutes les stations) est certainement celui centré sur les trois premiers jours de mars. Les deux premiers jours de ce mois ont été caractérisés par des conditions anticycloniques amenant des courants continentaux. Les températures minimales du mois ont été enregistrées entre le 1^{er} et le 3 et ont varié entre -14 °C et -1 °C.

(Source : Résumé climatologique de janvier/mars 2004 - IRM).

Comme les années précédentes, on note également que la différence entre la saison froide et la saison chaude est peu marquée.

Les faibles teneurs en dioxyde de soufre sont un facteur positif pour la santé humaine et pour l'environnement. Cependant, si la diminution des concentrations dans l'air ne s'accompagne pas d'une réelle diminution des émissions, la charge en polluants que reçoit l'environnement ne diminue pas. En revanche, la façon (retombées humides ou sèches) et l'endroit où retombe cette charge change.

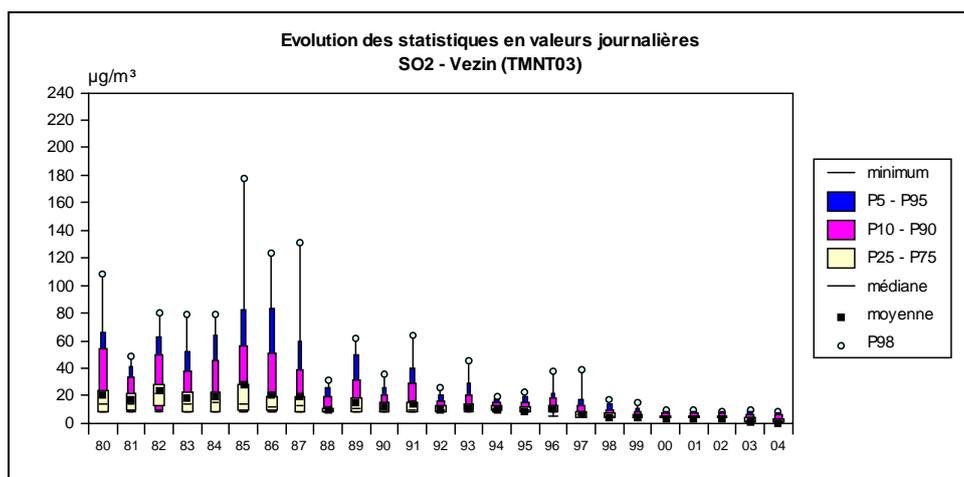
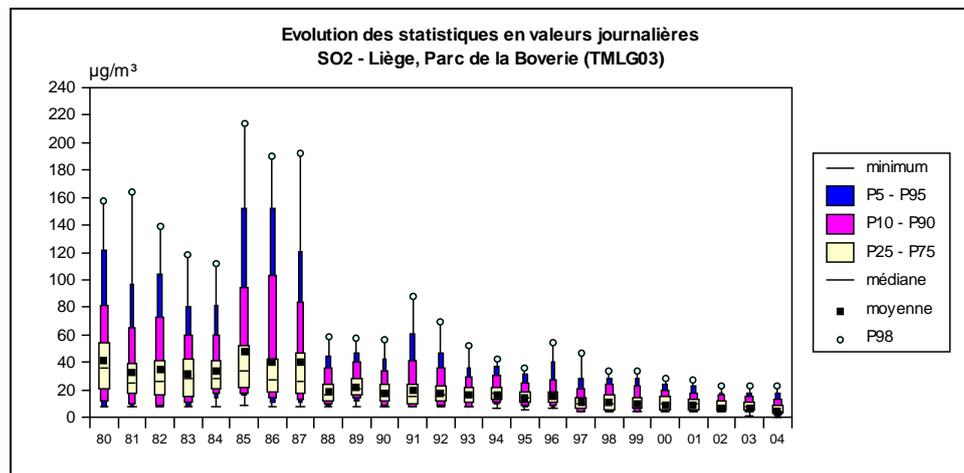
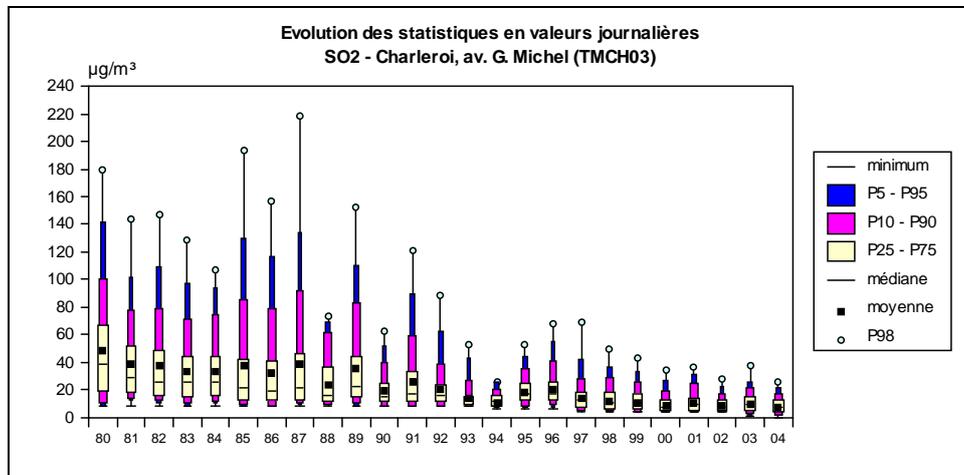
2.2.3. Evolution à long terme

Depuis le début des mesures, les concentrations en dioxyde de soufre n'ont cessé de baisser (Figure 2). Cette diminution est à mettre directement en rapport avec la diminution des émissions liée à plusieurs facteurs : abandon progressif de combustibles riches en soufre (charbon, fuel) au profit de combustibles plus propres (gaz naturel, ...), limitation de la teneur en soufre des combustibles, augmentation de la part du nucléaire dans la production d'énergie, utilisation plus rationnelle de l'énergie, développement de l'épuration des rejets et aussi, il faut bien l'avouer, déclin de l'industrie lourde au profit du secteur tertiaire.

Les concentrations ont diminué plus ou moins régulièrement jusqu'à atteindre un minimum vers 1994. Après une légère augmentation rencontrée en 1995 et 1996, la tendance est de nouveau à la baisse depuis 1996 pour atteindre un minimum en 2002. Depuis, les niveaux se sont stabilisés à des niveaux très faibles. Or, une hypothèse évoquée pour expliquer l'augmentation de 1995-1996 était un apport provenant des pays plus éloignés, et notamment des pays de l'Est. Il est fort probable que cet apport soit en diminution, suite aux fermetures des anciennes installations dans ces pays ou à leur modernisation. Il faut toutefois se montrer prudent car à ces faibles niveaux de pollution, il est difficile de discerner l'effet de conditions météorologiques plus favorables d'une année à l'autre, d'une réelle diminution des émissions. Néanmoins, il est troublant de constater que les climats plus doux et plus pluvieux rencontrés ces dernières années coïncident avec les minima de teneurs en dioxyde de soufre.

A Engis, la diminution des paramètres statistiques est remarquable entre 1985 et 1988, puis entre 1993 et 1995. Ensuite, on note une légère augmentation entre 1995 et 1998, puis une diminution pour atteindre en 2002 les valeurs les plus basses jamais

rencontrées à cette station. Après une légère augmentation en 2003, la tendance semble s'être inversée en 2004 sans toutefois atteindre le minimum de 2002.



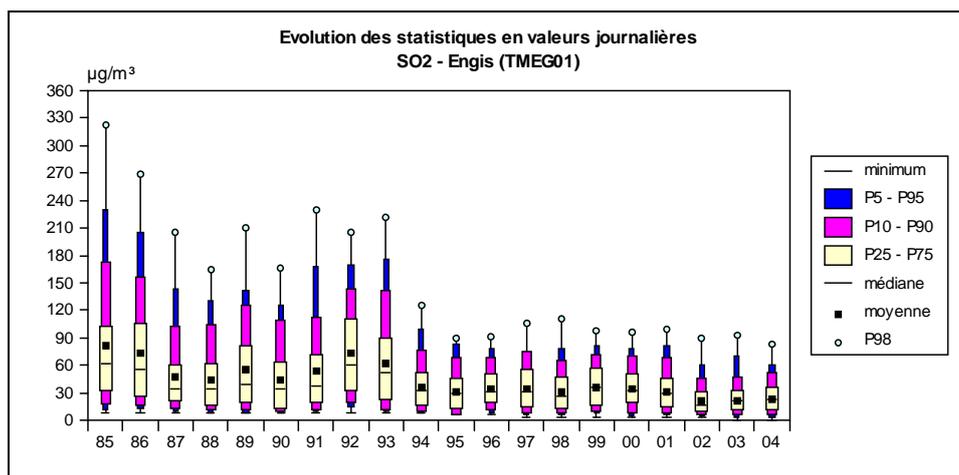


Figure 2 : Dioxyde de soufre - Réseau télémétrique - Evolution des paramètres statistiques - Stations de Charleroi (TMCH03), Liège (TMLG03), Vezin (TMNT03) et Engis (TMEG01)

2.2.4. Normes et dépassements

2.2.4.1. Arrêté royal du 16 mars 1983

En Belgique, un arrêté royal (16 mars 1983) fixe les valeurs limites et les valeurs guides pour le dioxyde de soufre. Cet arrêté transpose la directive européenne 80/779/CEE du 15 juillet 1980. Cette norme associe dioxyde de soufre et particules en suspension (Tableaux 4 et 5).

Les valeurs préconisées par cette norme ne correspondent plus à l'actualité et se révèle maintenant bien supérieures aux concentrations mesurées. C'est d'ailleurs la dernière année qu'elle est d'application pour être définitivement remplacée par la Directive 1999/30/CE. En 2004, cette norme

est très largement respectée pour toutes les stations (même celle d'Engis) tant pour les valeurs applicables à l'année civile que pour les valeurs applicables à l'hiver (du mois d'octobre à mars).

Durant ces 25 dernières années, les médianes ont diminué plus ou moins régulièrement même si, depuis 1990, cette réduction est devenue moins importante (Figure 3). Par contre, pour les centiles 98 (paramètre plus sensible à une pollution occasionnelle), on remarque une légère augmentation entre 1994 et 1996; puis la tendance à la baisse reprend à partir de 1997 pour arriver à un minimum en 2002. En 2004, les niveaux ont été similaires à ceux de 2002.

Valeurs limites applicables à la médiane des valeurs quotidiennes	Période	SO ₂ (µg/m ³)	Associé aux particules en suspension (fumées noires) (µg/m ³)
	Année	80	>40
		120	≤40
	Hiver (1.10 - 31.3)	130	>60
180		≤60	
Valeurs limites applicables au percentile 98 des valeurs quotidiennes	Période	SO ₂ (µg/m ³)	Associé aux particules en suspension (fumées noires) (µg/m ³)
	Année	250	>150
	Année	350	≤150
Particules en suspension (fumées noires) (µg/m³)			
Médiane de valeurs quotidiennes (année)		80	
Médiane des valeurs quotidiennes : hiver (1/10 - 31/3)		130	
Percentile 98 des valeurs quotidiennes (année)		250	

Tableau 4 : Dioxyde de soufre - Normes (directive 80/779/CE)

Moyenne journalière	100 -150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Moyenne annuelle	40-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Tableau 5 : Dioxyde de soufre – Valeurs guides

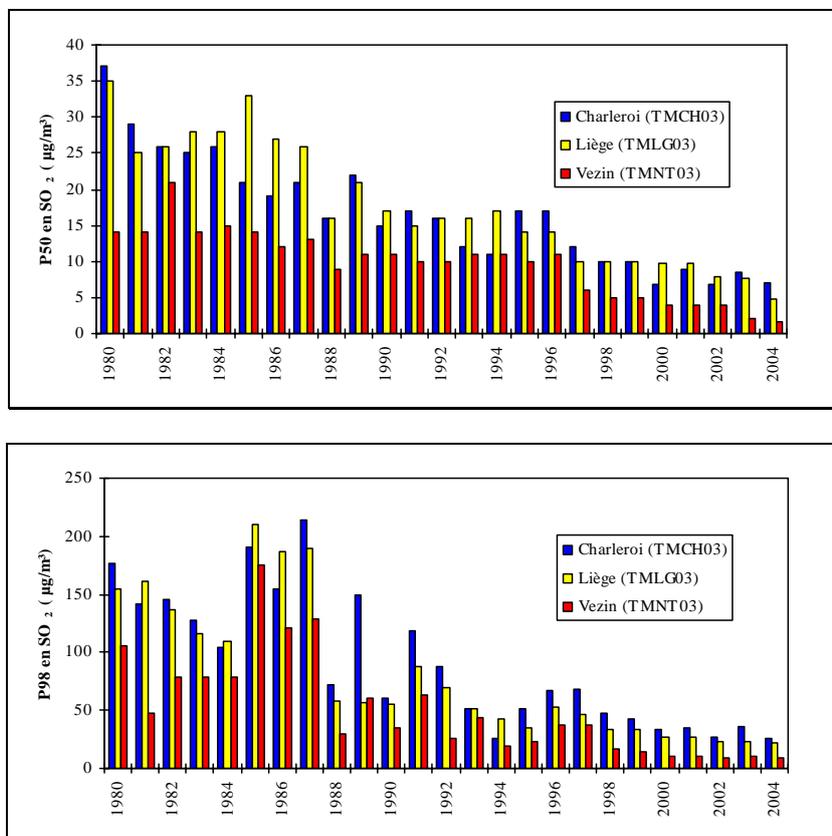


Figure 3 : Dioxyde de soufre - Réseau télémétrique - Evolution des médianes et des percentiles 98 (exprimés à 25 °C) - Stations de Charleroi (TMCH03), Liège (TMLG03) et Vezin (TMNT03)

2.2.4.2. Arrêté du Gouvernement wallon du 23 juin 2000

La directive 80/779/CEE est d'application jusque fin 2004. A partir de 2005, il faudra se conformer aux prescriptions de la directive fille 1999/30/CE du 22 avril 1999, transposée dans la législation wallonne par l'arrêté du Gouvernement wallon du 23 juin 2000 (Tableau 6). Depuis l'entrée en vigueur de cette directive, soit le 19 juillet 1999, il faut respecter les valeurs limites augmentées des marges de dépassement diminuant linéairement chaque année jusqu'à atteindre en 2005 la valeur

limite. Nous sommes donc dans une période transitoire où deux directives, dont les approches et les chiffres diffèrent, édictent des normes pour le dioxyde de soufre.

Contrairement à la directive 80/779/CEE, la directive 1999/30/CE définit des valeurs limites, pour le dioxyde de soufre et pour les particules, totalement indépendantes l'une de l'autre.

Les Tableaux 7 et 8 reprennent les dépassements pour la protection de la santé, respectivement sur une heure et sur 24 heures.

	Période considérée	Valeur limite ^{(1), (2)}	Marge de dépassement	Date à laquelle la valeur doit être respectée
Valeur limite horaire pour la protection de la santé humaine	1 heure	350 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile	150 µg/m ³ (43%) lors de l'entrée en vigueur de la directive, diminuant le 1/01/2001 et ensuite tous les 12 mois par tranches annuelles égales pour atteindre 0 % au 01/01/2005	01/01/2005
Valeur limite journalière pour la protection de la santé humaine	24 heures	125 µg/m ³ à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile	néant	01/01/2005
Valeur limite pour la protection des écosystèmes	Année civile et hiver (du 1/10 au 31/03)	20 µg/m ³	néant	19/07/2001

Tableau 6 : Dioxyde de soufre - Valeurs limites (directive 1999/30/CE)

1. Les conditions de référence sont 20 °C et 101.3 kPa, alors que les normes de la directive 80/779/CEE sont exprimées à 25 °C et 1 bar (100 kPa). Dans ce rapport, les concentrations sont toujours exprimées par rapport à la directive 1999/30/CE.

2. La directive (1999/30/CE) prévoit une exception et permet des dépassements des valeurs limites dans les zones proches d'une source naturelle mais, dans ce cas, il faut pouvoir prouver que le dépassement est dû à cette source naturelle.

Station	Date	Heure	Valeurs (µg/m ³)
TMEG01, Engis	3/03/2004	22 à 23h	414
TMEG01, Engis	28/03/2004	21 à 22h	483
TMEG01, Engis	28/03/2004	22 à 23h	384
TMEG01, Engis	29/03/2004	0 à 1h	359
TMEG01, Engis	20/04/2004	2 à 3h	777
TMEG01, Engis	30/07/2004	4 à 5h	358
TMEG01, Engis	14/12/2004	17 à 18h	385
Total (TMEG01)	7		

Tableau 7 : Dioxyde de soufre - Dépassements de la valeur limite horaire de protection de la santé (350 µg/m³ sur 1h) – 2004

Station	Date	Valeurs (µg/m ³)
TMEG01, Engis	28/03/04	133
TMEG01, Engis	14/12/04	143
Total (TMEG01)	2	

Tableau 8 : Dioxyde de soufre - Dépassements de la valeur limite journalière de protection de la santé (125 µg/m³ sur 24 h) - 2004

Seule la station d'Engis montre des dépassements des seuils. Tant le nombre de dépassements sur une heure (7 dépassements) que celui sur 24 heures (2 dépassements) restent dans les limites prescrites dans la norme (respectivement, 24 et 3 dépassements). Un des dépassements journaliers et trois des dépassements horaires eurent lieu sur une période centrée sur le 28-29 mars (Figure 4). Ces deux jours furent également riches en monoxyde d'azote et en particules en suspension même si les maxima pour ces polluants n'eurent pas nécessairement lieu aux mêmes heures. Ce pic se

retrouve à d'autres stations comme Marchienne, Lodelinsart, Eupen ou Dourbes. La cause de cet épisode résiderait donc plutôt de conditions climatiques particulièrement défavorables plutôt qu'à un incident particulier à la vallée d'Engis.

Il faut remarquer que la directive 1999/30/CE est tout à fait muette quant à la gravité des dépassements. Si les valeurs limites sont dépassées, et quelle que soit la marge de dépassement, les autorités sont tenues de prendre les mesures nécessaires pour remédier à cet état.

Si la station d'Engis est la seule à encore enregistrer des dépassements, la situation s'est nettement améliorée et le nombre de dépassements a chuté en 1994 (Figure 5). Depuis, le nombre de dépassement sur une heure a systématiquement été inférieur aux 24 dépassements permis par la norme. Par contre, en 1994 et 1998, le nombre de dépassement journalier dépassa les trois dépassements permis.

On n'atteint jamais la valeur limite de protection des écosystèmes (20 µg/m³ sur un an et en hiver), sauf à la station d'Engis mais ce seuil est applicable à la protection des écosystèmes et ne concerne donc pas une station à caractère industriel.

La directive fixe un **seuil d'alerte** à 500 µg/m³ sur trois heures consécutives dans des lieux représentatifs d'une surface d'au moins 100 km² ou une zone ou une agglomération entière, la plus petite surface étant retenue. Le dépassement de ce seuil implique une information à la population. Aucun cas ne s'est présenté en 2004.

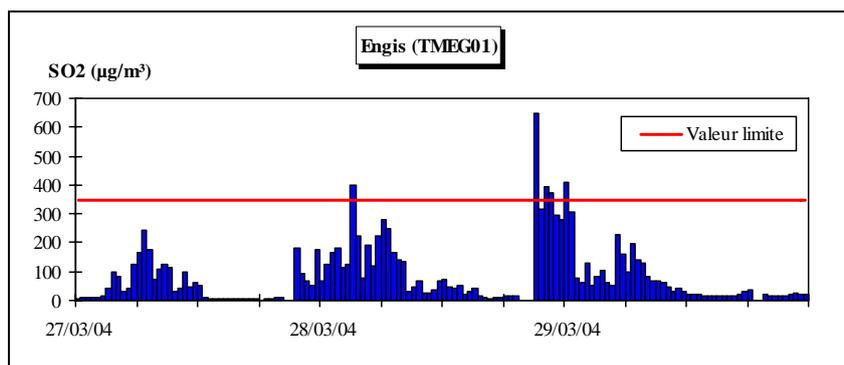


Figure 4 : Engis - Evolution des valeurs horaires

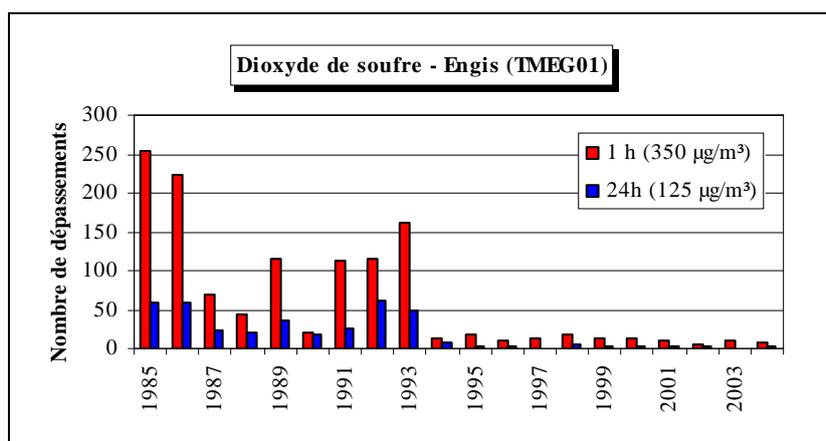


Figure 5 : Evolution du nombre de dépassements à Engis

2.2.4.3. Autres chiffres de référence

Pour information, le Tableau 9 reprend différentes valeurs de référence de pays ou régions voisines.

2.2.5. Indices de qualité

Afin de donner au lecteur une vue plus claire et plus simple de la situation, on peut définir des indices de la pollution (voir § introduction) relatifs au dioxyde de soufre (Tableau 10).

Sur la Carte 1, sont reprises les répartitions par station des indices journaliers de pollution en dioxyde de soufre.

Pour toutes les stations à caractère rural, on retrouve un indice égal à 1 entre 99 et 100 % du temps. La situation de la station d'Eupen, sous l'influence des polluants venant d'Allemagne est légèrement différente avec 3 % de jours d'indice égal à 2 et 2 % de jours d'indice égal à 3. Pour les stations de la région liégeoise et carolorégienne, la proportion de jours avec un indice de 1 diminue au profit de jours avec un indice égal à 2 (entre 3 et 18 %) et quelques jours avec un indice égal à 3. La situation est nettement différente à Engis, où les indices 1 et 2 ne représentent plus que 33 % et 31 % avec 21 % de jours dont l'indice est égal à 3 et 15 % de jours appartenant à un indice supérieur ou égal à 4. Les indices sont même montés jusque 7 (pendant 4 jours) et 8 (2 jours).

Région/Pays	Seuil	Paramètre	Valeurs
Région de Bruxelles-Capitale	Seuil de préalerte	Moyenne journalière observée en deux stations	190 µg/m ³
	Seuil d'alerte	Moyenne journalière observée en deux stations	250 µg/m ³
	Seuil d'alarme	Moyenne journalière observée en deux stations et prévisions défavorables pour le lendemain	250 µg/m ³
Région flamande	Seuil de préalerte	Moyenne journalière observée en deux stations situées dans une même zone	190 µg/m ³
	Seuil d'alerte	Moyenne journalière observée en deux stations situées dans une même zone	250 µg/m ³
Valeurs guides OMS (WHO Air Quality Guidelines for Europe) ⁽¹⁾		Moyenne sur 10 min.	500 µg/m ³
		Moyenne sur 24 h	125 µg/m ³
		Moyenne annuelle	50 µg/m ³ (10-30 µg/m ³ : seuil critique effet écotoxique)
République fédérale d'Allemagne, valeurs MIK		Moyenne semi-horaire	1 000 µg/m ³
		Moyenne sur 24 h	300 µg/m ³
USA, National Ambient Air Quality Standards (NAAQS)		Moyenne annuelle	80 µg/m ³
		Moyenne sur 24 h	365 µg/m ³
		Moyenne sur 3 h	1 300 µg/m ³

Tableau 9 : Dioxyde de soufre - Autres chiffres de référence

(1) Dans la version de 1987, l'OMS associait ces valeurs à des teneurs de 125 µg/m³ en particules en suspension mesurées par la méthode des « fumées noires » pour la moyenne 24 h et de 50 µg/m³ pour la moyenne annuelle. Actuellement, l'OMS conserve les mêmes valeurs guides pour le SO₂, mais ne les lie plus aux teneurs en particules (Guidelines for Air Quality, Genève, 1999 et Air Quality Guidelines for Europe, Second Edition, 2000).

Polluant		(µg/m ³)									
SO ₂	Moy. 24 h	0 →15	→ 30	→ 45	→ 60	→ 80	→ 100	→ 125	→ 165	→ 250	>250
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 10 : Dioxyde de soufre - Définition des indices de pollution

2.2.6. Répartition géographique

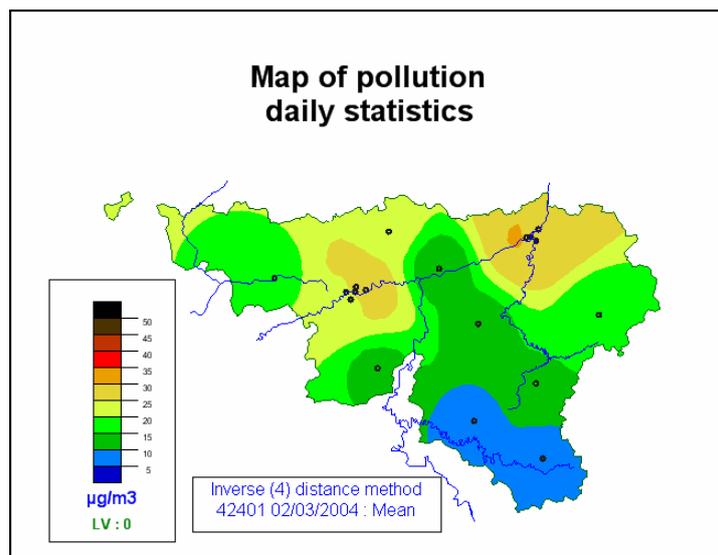
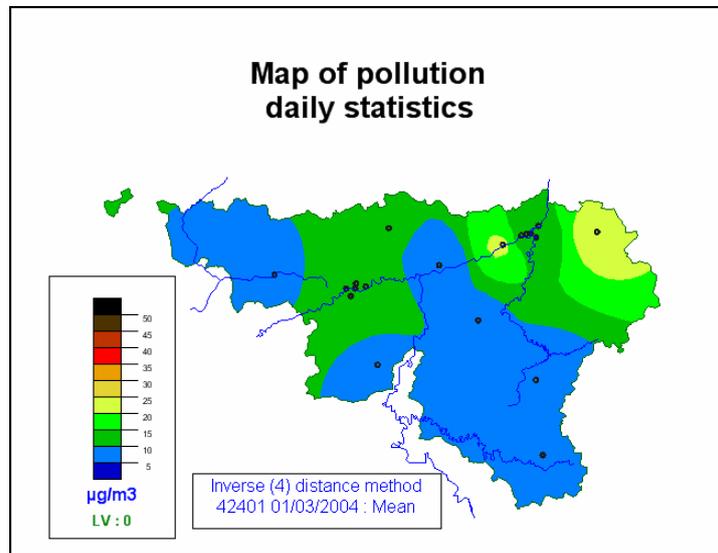
La Figure 6 reprend la répartition des concentrations en dioxyde de soufre lors de l'épisode du début du mois de mars (temps influencé par des courants continentaux et froids). Au départ, les concentrations sont plus élevées dans les deux bassins industriels (Charleroi et Liège) et surtout dans l'est de la Région wallonne. La région d'Engis est également plus touchée. Le 2 mars, la pollution s'étend à partir de ces deux pôles industriels. Seul le sud de la Région est épargné. Le 3 mars, la pollution s'est étendue au sud de la Région mais commence à diminuer dans sa partie nord sauf à Engis où on enregistra un des dépassements en valeurs horaires de la norme.

Enfin, le 4 mars, la pollution diminue pour revenir à la normale le 5.

Ces cartes sont le résultat d'une estimation, une image approximative de la réalité. La répartition des concentrations dépend tout d'abord de la méthode d'interpolation choisie (ici l'inverse de la distance à la quatrième puissance). Cette méthode donne le même poids à tous les points et l'étendue de la zone polluée dépend de l'exposant choisi. Les fortes concentrations enregistrées à Engis donnent dans ce modèle un impact sur une zone de surface importante. Il faudrait multiplier le nombre de points de mesure dans cette région pour circonscrire plus exactement la zone d'impact. En outre, cette modélisation ne tient aucun compte du relief. Ainsi, il est probable que la zone polluée autour d'Engis

ne soit pas plus ou moins circulaire mais suive plus le relief de la vallée. Le résultat dépend aussi de l'emplacement de nos points de mesure. Ainsi dans les régions de Charleroi et de Liège, le nombre de

points est certainement suffisant. A l'inverse, il manque une station pour couvrir le Hainaut occidental (rond autour de Mons).



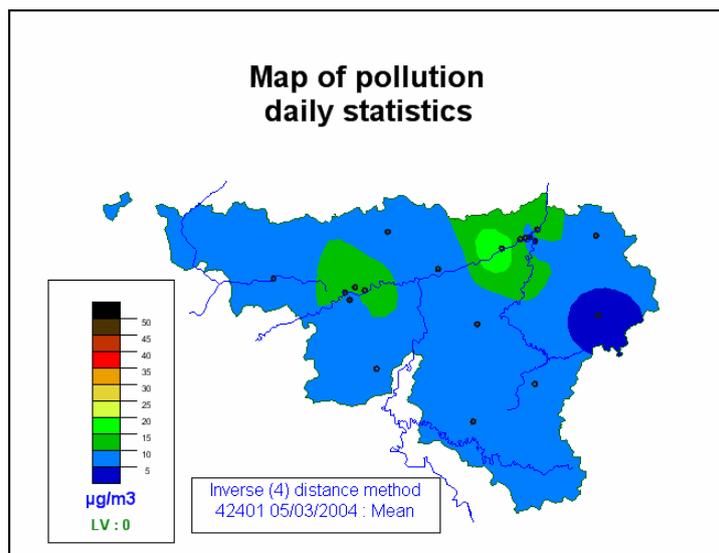
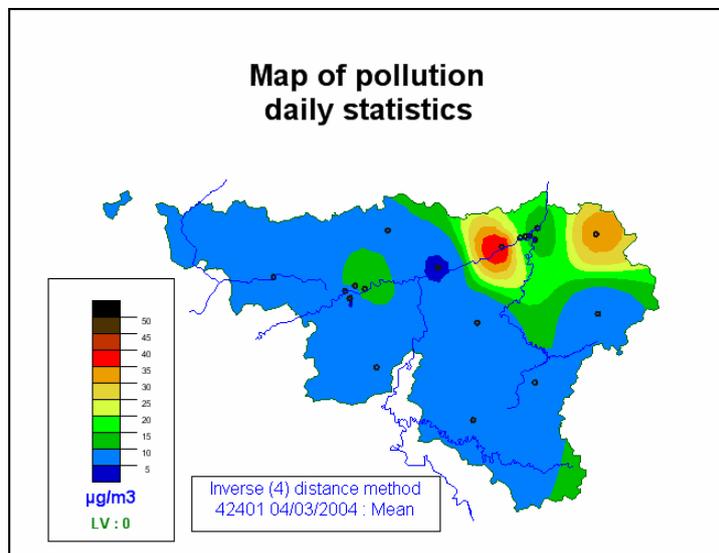
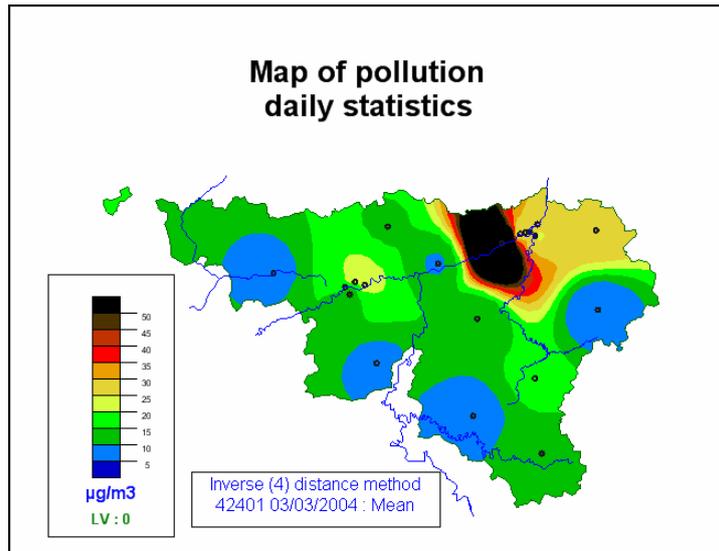


Figure 6 : Répartition des concentrations en dioxyde de soufre (épisode du début mars 2004)

2.3. Particules en suspension

2.3.1. Résultats de l'année 2004

Les concentrations en sulfates sont plus élevées en milieu urbain/industriel que pour les stations rurales comme Offagne, Bovigny, Jalhay et Arlon (Tableau 11). Comme pour le dioxyde de soufre, la région d'Engis constitue un maximum. Les concentrations sont également élevées à l'Île Monsin mais tous les métaux mesurés à cette station le sont pareillement. Enfin, à Marche-les-Dames, les niveaux sont également importants mais néanmoins nettement plus faibles que par le passé; ainsi, en 1997, on enregistrait encore une moyenne annuelle de 9.619 µg/m³.

Par rapport à 2003, la tendance générale est à la baisse sauf pour les stations d'Engis et de l'Île Monsin dont les moyennes augmentent à cause de l'augmentation des fortes valeurs (centiles élevés).

2.3.2. Variations saisonnières

Comme pour beaucoup d'autres polluants, les concentrations en sulfates varient au cours de l'année et les concentrations sont en moyenne plus élevées en hiver qu'en été, car, d'une part les concentrations en SO₂ sont plus élevées et, d'autre part, les conditions climatiques sont moins favorables à la dispersion (Figure 7). Toutefois, pour les quatre stations rurales, la situation

s'inverse et la moyenne pour les 6 mois d'été est supérieure à la moyenne pour les six mois d'hiver. En réalité, les différences entre les saisons sont moins marquées que pour le dioxyde de soufre et les concentrations sont relativement constantes. Comme une partie des sulfates provient de l'oxydation du dioxyde de soufre et que la transformation est relativement lente par rapport au transport des polluants, les variations en sulfates sont lissées par rapport aux variations de dioxyde de soufre et la répartition des sulfates est plus homogène que celle du dioxyde de soufre.

Les sulfates sont contenus dans les particules et, par temps sec, les particules qui se sont déposées peuvent être remises en suspension. Il n'est donc pas rare d'observer en été des pics de particules et de sulfates. En outre, il est fort possible que dans une atmosphère oxydante comme en période de smog photochimique, le dioxyde de soufre puisse être plus rapidement transformé en sulfates.

2.3.3. Evolution à long terme

Les concentrations en sulfates ont diminué jusqu'au début des années 90, pour augmenter à nouveau jusqu'en 1996 (Figure 8). Depuis 1996-1997, la tendance s'est inversée et les concentrations sont de nouveau à la baisse avec un minimum en 2000. Depuis, on a observé une très légère augmentation mais les niveaux restent toujours faibles et stables.

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)	
		2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004	2003	2004
MLCH01	Charleroi	363	361	4.821	4.610	4.428	4.019	7.923	7.759	9.828	9.288	12.591	10.972
MLCH02	Lodelinsart	363	341	4.357	3.920	3.920	3.566	6.695	6.435	8.612	7.402	11.346	8.109
MLEG01	Engis	347	302	6.140	6.216	5.241	5.203	11.155	10.053	14.453	14.659	17.588	20.766
MLLG01	Liège (Destenay)	318	355	4.076	3.896	3.565	3.554	6.135	6.106	6.860	7.099	10.237	8.737
MLLG02	Liège (Monsin)	335	279	5.143	5.385	4.739	4.735	8.014	8.621	9.425	10.375	11.661	13.205
MLMO01	Obourg	360	333	4.240	3.752	3.541	3.445	6.952	5.947	8.169	7.087	10.976	8.772
MLNA01	Marche-les-Dames	362	343	5.634	4.797	4.933	3.998	9.848	8.460	12.356	10.981	15.815	12.989
MLNT01	Offagne	362	295	3.400	2.977	2.947	2.484	5.433	4.878	6.412	5.462	9.071	6.673
MLNT02	Bovigny	348	363	2.582	1.230	2.191	1.019	4.272	2.754	5.296	3.252	6.846	4.000
MLNT03	Jalhay	332	341	2.244	1.759	1.796	1.600	4.301	3.061	5.272	3.477	6.437	4.244
MLPT01	Arlon	342	360	2.575	1.201	2.241	0.883	4.238	2.703	5.272	3.402	6.902	3.906

LD = 0.087 µg/m³

Tableau 11 : Sulfates - Particules en suspension - Statistiques 2003 et 2004

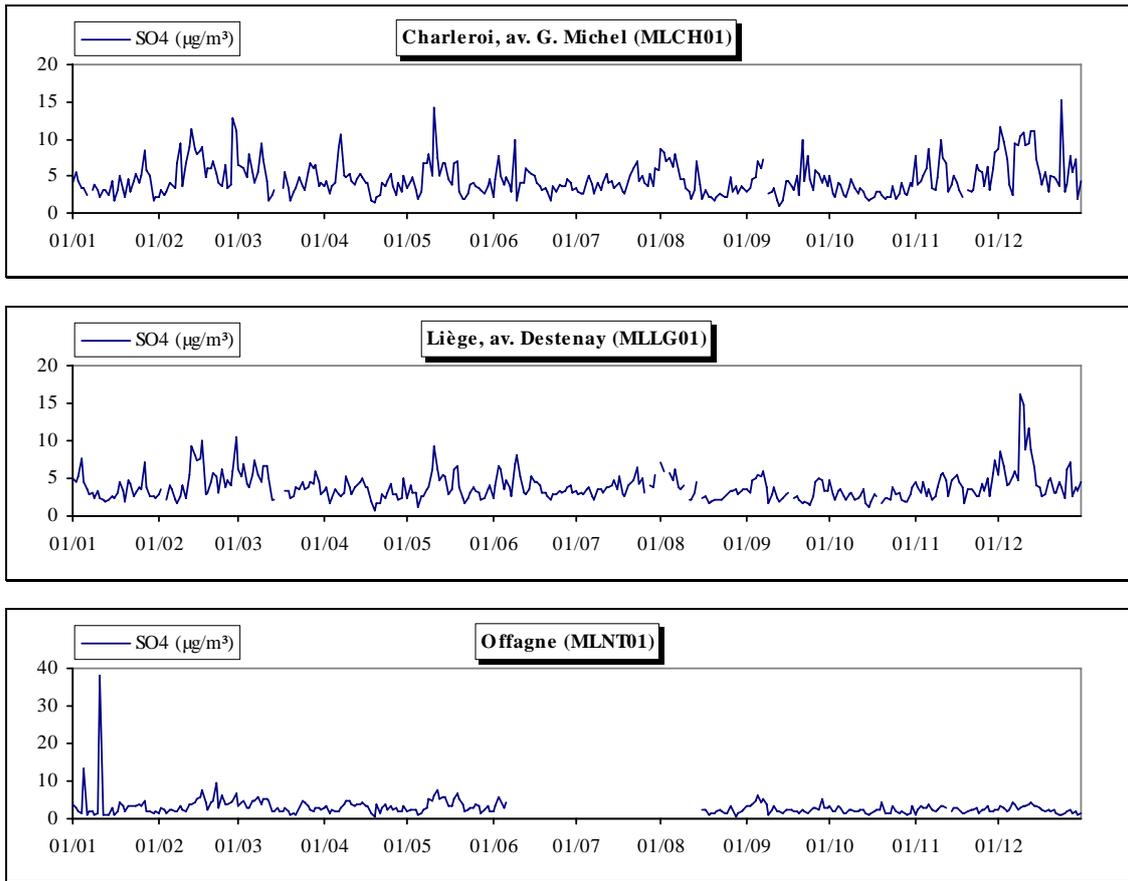
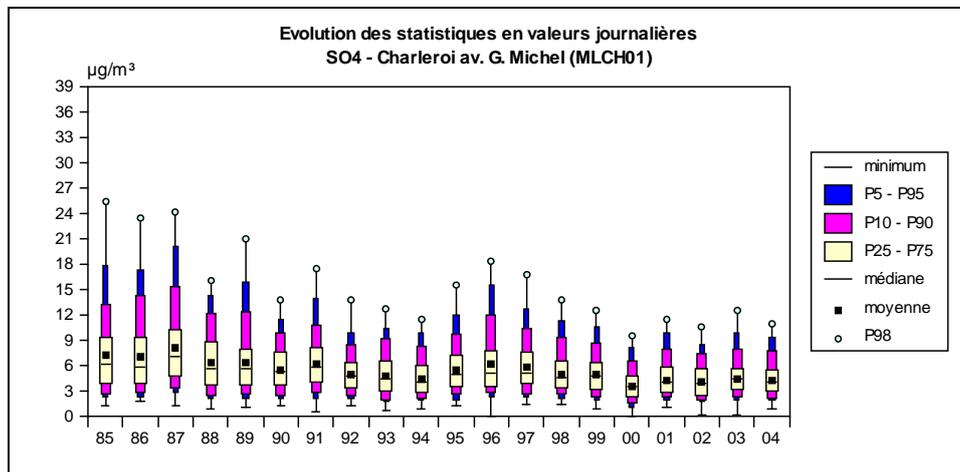


Figure 7 : Sulfates - Particules en suspension - Evolution annuelle - Stations de Charleroi (MLCH01), Liège (MLLG01) et Offagne (MLNT01)



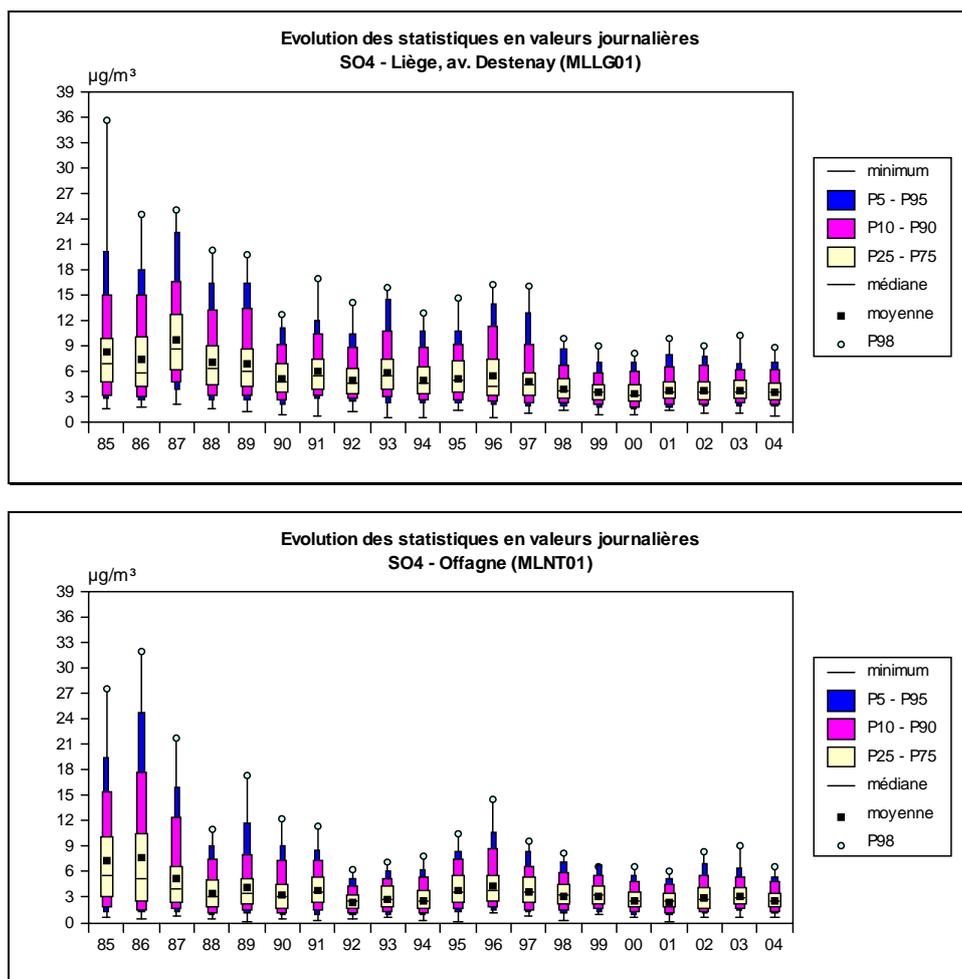


Figure 8 : Sulfates - Particules en suspension - Evolution des paramètres statistiques - Stations de Charleroi (MLCH01), Liège (MLLG01) et Offagne (MLNT01)

2.4. Sulfure d'hydrogène

2.4.1. Résultats de l'année 2004

Les valeurs enregistrées à Engis sont particulièrement faibles et proches des limites de détection de la méthode (Tableaux 12 et 13). Par rapport à 2003, les paramètres statistiques sont très stables.

Parmi les événements marquants de 2004, il faut retenir le pic du 30 juillet (entre 4h30 et 5h00 GMT) où la concentration en sulfure d'hydrogène a atteint $95 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4.2. Normes et valeurs guides

Le sulfure d'hydrogène est un composé toxique dont la toxicité proviendrait de l'affinité de l'ion HS^- pour le fer, composant notamment de l'hémoglobine.

L'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) recommande de ne pas dépasser la valeur guide de

$150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (en 24 h) pour la protection de la santé et de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une demi-heure pour éviter les nuisances causées par les odeurs

A Engis, la valeur guide pour la protection de la santé est très largement respectée. Le sulfure d'hydrogène risque plus de poser des problèmes de nuisances olfactives que des risques de toxicité et il est intéressant d'envisager le nombre de dépassements du seuil olfactif.

Dans la littérature scientifique, les valeurs citées pour le seuil de perception du sulfure d'hydrogène varient fortement suivant les sources. Aussi, notre choix s'est porté sur la valeur de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ recommandée par l'O.M.S., en gardant à l'esprit que certaines tranches de la population pourront percevoir l' H_2S à des teneurs plus faibles, alors que d'autres ne sentiront rien.

Le nombre de valeurs semi-horaires dépassant cette limite de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atteint les 0.47 % du nombre de mesures valides.

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
TMEG01	Engis	16214	13565	1	1	1	1	3	3	4	4	6	5

Tableau 12 : Sulfure d'hydrogène - 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
TMEG01	Engis	352	302	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4

Tableau 13 : Sulfure d'hydrogène - Valeurs journalières - Statistiques 2003 et 2004