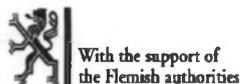




Flanders Marine Institute (VLIZ)



**Programme INTERREG II - (1998 / 2001)
Nord Pas de Calais / Flandre Occidentale**

**"PARTICULES ATMOSPHERIQUES
POLLUANTES SUR LE LITTORAL FRANCO-
BELGE DE LA MER DU NORD :**

***LEUR TRANSPORT TRANSFRONTALIER ET LEUR
IMPACT SUR L'ENVIRONNEMENT.*"**

**Rapport d'activités II
Novembre 2001**

UNIVERSITE DU LITTORAL COTE D'OPALE
Laboratoire Interdisciplinaire en Sciences de l'Environnement
(L.I.S.E)
32, avenue du Maréchal FOCH - 62930 WIMEREUX
Tél : 03 21 99 64 00 - Fax : 03 21 99 64 01

| |
|-----------------|
| SOMMAIRE |
|-----------------|

| | | |
|-----------------|---|------------|
| I- | RAPPEL DES ENJEUX DU PROJET | 1 |
| | 1.1 Projets Aérosols..... | 1 |
| | 1.2 Résultats de la première tranche :..... | 6 |
| | Analyse des données effectuées sur le littoral franco-belge | |
| | 1.3 Résultats de la première tranche :..... | 6 |
| | Analyse des données effectuées sur le bateau N.O. BELGICA | |
| | | |
| II-..... | COORDINATION FRANCO-FLAMANDE | 7 |
| | 2.1 Réunion de coordination du 24 septembre 1999 - Oostende | 7 |
| | 2.2 Réunion de coordination du 4 mai 2000 - De Panne..... | 8 |
| | 2.3 Réunion de coordination du 25 octobre 2000 - Oostende | 10 |
| | 2.4 Réunion du comité transfrontalier le 29 juin 2001 | 12 |
| | 2.5 Réunion de travail du 29 juin 2001 après-midi..... | 13 |
| | | |
| III- | RESULTATS SCIENTIFIQUES | |
| | 3.1 Analyse des données de télédétection spatiales par ULCO | 16 |
| | 3.2 Analyse des données optiques in-situ par ULCO | 20 |
| | 3.2.1 Composants de l'atmosphère et propriétés optiques associées | 20 |
| | 3.2.2 Paramètres optiques de l'atmosphère | 20 |
| | 3.2.3 Éclairement reçu par le sol..... | 22 |
| | 3.2.4 Principes des mesures atmosphériques..... | 23 |
| | 3.2.5 Les mesures acquises sur le site de Wimereux | 25 |
| | 3.2.6 Coefficient d'Angström et épaisseur optique aérosols | 25 |
| | 3.2.7 Influence des vents | 27 |
| | Annexe I | 28 |
| | 3.3 Analyse des échantillons chimiques..... | 33 |
| | 3.3.1 Résultats des analyses des aérosols sur la région dunkerquoise par Opal'Air..... | 33 |
| | Annexe II : campagne Bray-Dunes - juin 2000..... | 39 |
| | Annexe III : campagne Zuydcoote & Hondshoote - hiver 2001 | 55 |
| | 3.3.2 Résultats des analyses des aérosols sur le littoral flamand..... | 79 |
| | → résumés des campagnes du Westhoek par VMM (+ mesures Lidar)..... | 79 |
| | → campagnes de prélèvements par UIA..... | 89 |
| | 3.3.3 Analyse des prélèvements effectués sur Wimereux selon la technique de RPE par ULCO..... | 96 |
| | Annexe IV..... | 102 |
| | 3.3.4 Analyse de la composition des aérosols et émissions particulières sur le littoral par ULCO..... | 114 |
| | | |
| IV- | PROMOTION ET VALORISATION DU PROJET | 122 |
| | 4.1 Organisation de colloques | 122 |
| | 4.2 Création et mise à jour du site web | 122 |
| | 4.3 Publications générées par le projet..... | 123 |
| | Annexe V : présentation de la page d'accueil..... | 127 |
| | | |
| V- | CONCLUSION ET PERSPECTIVES DU PROJET | 129 |
| | → Projet franco-flamand INTERREG III (genèse ; objectifs ; méthodologie et tâches en rapport)..... | 129 |

PARTICULES ATMOSPHERIQUES POLLUANTES SUR LE LITTORAL FRANCO-FLAMAND DE LA MER DU NORD (Interreg II)

I- RAPPEL DES ENJEUX DU PROJET

Cette partie dans une double perspective reprendra dans ses grandes lignes, le rapport d'activités de la première tranche du projet INTERREG "AÉROSOL" de novembre 2000.

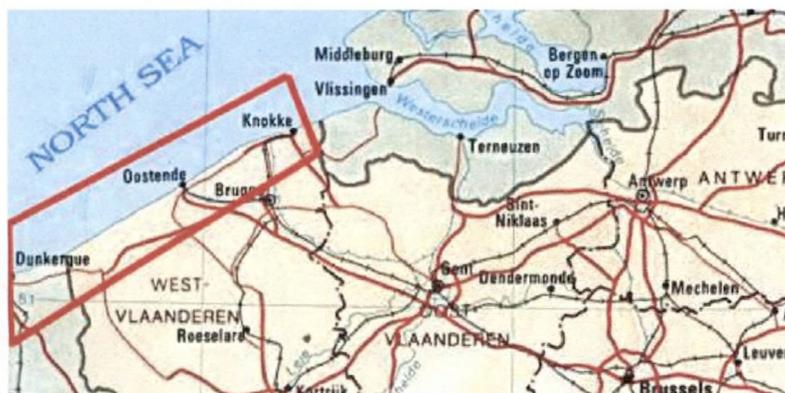
Il convient en effet de rappeler d'une part la raison d'être et les objectifs de ce projet, d'autre part le travail accompli, en collaboration avec nos partenaires flamands, dans l'analyse globale sur les particules atmosphériques polluantes au niveau du littoral.

1.1 PROJET AEROSOL

1.1.1 Présentation générale

La région Nord-Pas de Calais est dotée d'une importante infrastructure industrielle (industries métallurgiques et pétrochimiques) située sur la zone littorale, à proximité d'un tissu urbain dense. Une situation similaire se produit, à une échelle plus étroite, en Flandre occidentale (Oostende; Zeebrugge) où d'importantes sources de pollutions atmosphériques sont localisées. En fonction des vents, la contamination transfrontalière est susceptible de se faire dans un sens ou dans l'autre.

Le projet "*Particules atmosphériques polluantes sur le littoral franco-flamand de la Mer du Nord*" (1998 - 2001) a pour objectif de s'intéresser plus particulièrement à la pollution de l'air par les aérosols afin d'en étudier les transports transfrontaliers ainsi que les impacts réalisés à l'interface terre-océan, sur le littoral belge et français.



Zone d'étude du programme. (recherches à Knokke-Heist en dehors du projet AEROSOL)

Les objectifs du programme interreg sont :

1. Améliorer la connaissance sur les flux atmosphériques transfrontaliers et ceux de l'océan,
2. Identifier les sources majeures d'émissions particulaires en particulier dans l'agglomération dunkerquoise,
3. Evaluer la corrélation entre les éléments majeurs et métaux lourds dans les aérosols atmosphériques,
4. Aider nos partenaires socio-économiques dans l'application des réglementations européennes de la loi sur l'air en développant un savoir-faire dans la métrologie des particules PM₁₀ et PM_{2,5} et des métaux lourds.

L'équipe AEROSOL se compose de :**Côté français : liste des personnes ayant contribué au projet****Equipe du laboratoire Interdisciplinaire en Sciences de l'Environnement (LISE) dont, en particulier :****1) Coordination, Administration et Promotion du projet**

- Prof R.SANTER, coordinateur du projet (titulaire)
- Patricia LIMEREZ, administration (titulaire)
- Laurence VANPARIS, administration (CDD)
- Murielle MAZOUNI, conception et réalisation du site internet (CDD)
- Frédéric LEMIRE, conception et réalisation du site internet (CDD)
- Emmanuel DEVRED, conception et réalisation du site internet (thèse puis CDD)

2) Développement des produits de télédétection

- Catherine SCHMECHTIG (CDD puis thèse)
- Régis BORDE (CDD)
- Laure CHAUMAT (CDD)
- Eric DILLIGEARD (CDD)
- Jérôme VIDOT (CDD)
- Didier RAMON (CDD)

3) Validation des produits

- Catherine SIX (CDD)
- F. MICHAUD (CDD)

4) Mesures terrain, chimie analytique et caractérisation optique des aérosols à partir des mesures sol

- Prof E.PUSKARIC (titulaire)
- Frédéric LEDOUX (thèse)
- Xavier MÉRIAUX (titulaire)
- Eric DILLIGEARD (CDD)
- Laure CHAUMAT (CDD)

Remarques :

- Seule la précision "CDD" implique un financement basé sur le projet INTERREG AEROSOL. Le volume de CDD affecté directement sur le projet est de 62 mois / homme.
- Les salaires des titulaires ainsi que des thésards ayant participé au projet ne font pas partie du plan de financement du projet.

-Côté français : Equipe technique d'Opal'AIR, avec l'implication en particulier de :

- Mr Jean-Jacques BATIFOL
- Mr Charles POINSOT
- Charles BEAUGARD
- Jacqueline SENICOURT

Côté flamand : liste des personnes ayant contribué au projet**Flanders Marine Institute (VLIZ)**

- Dr Jan MEES, directeur VLIZ, supervision du projet
- Dr ir. Edmonde JASPERS, responsable du projet, coordinateur Flandre
- Dr Jan SEYS, communications et informations
- Mme Nora ROELANDT, administration, comptabilité

- Mme Chilekwa CHISALA, administration, comptabilité
- M. Philip CHARPENTIER, administration, comptabilité

Universitaire Instelling Antwerpen (UIA)

- Prof. Dr René VAN GRIEKEN, responsable du projet
- M. Kurt EYCKMANS, échantillonnages, analyses, interprétation des résultats, rédaction de rapports, participation aux réunions de coordination
- Dr Jasna INJUK, analyses chimiques, calculs des flux de dépôts atmosphériques
- Dr Felix DEUTSCH, mise au point des échantillonnages de gaz avec des tubes passifs de diffusion
- Mme Marianne STRANGER, mise au point des échantillonnages de gaz avec des tubes passifs de diffusion

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

- Dr Edward ROEKENS, responsable du projet
- Mme Christina MATHEEUSSEN, rédaction rapport finale
- M. Raymond BOGAERT, opération du réseau télémétrique et du camion de mesures
- Mme Nicole WINTJENS, mesures mobiles et rédaction de rapports
- M. Koen TOTE, échantillonnages métaux lourds
- M. Paul BRUYNDONCKX, opération et échantillonnages des stations de mesures métaux lourds, analyses gravimétriques
- M. Roland DE LATHOUWER, opération des stations de mesures métaux lourds
- M. Frank DE ROECK, analyses métaux lourds
- Mme Elke ADRIAENSSENS, suivi et validation des résultats des analyses
- M. Philip VAN AVERMAET, organisation, suivi et rapports des mesures d'ammoniaque
- Mme Majorie DESMEDT, organisation, suivi et rédaction de rapports de mesures de dépôts de dioxines
- Mme Mie VAN DEN KERCHOVE, relations externes et communications, communiqués de presse, promotion

OBSERVATEUR : Gemeentebestuur De Panne, Leefmilieu (Municipalité De Panne, Environnement)

- Mme Valérie VANDENBUSSCHE, participation aux réunions de coordination et support logistique
-

Les différentes phases du projet (3) :

| Préparation (1998) | Réalisation (1999 - 2000) | Validation (Analyse & Interprétation) et Communication (2000-2001) |
|---|--|--|
| <p>1) Etude bibliographique</p> <p>2) Campagne de mesures : suivi de l'aérosol depuis les sources en associant les mesures physico-chimiques et les mesures optiques (télé-détection)</p> <p>3) Campagnes effectuées sur le N.O Belgica dont le but est de déterminer les flux de retombées en Mer du Nord</p> | <p>1) Dépouillement et interprétation des résultats des campagnes menées en 1998</p> <p>2) Campagne 1999 réalisée au Cap Gris Nez afin d'établir les éléments de méthodologie d'analyse associant mesures physico-chimiques et optiques</p> <p>3) Campagne transfrontalière Juin-Juillet 2000 de suivi des transports des aérosols</p> <p>4) Mise à disposition des données par les deux organismes de surveillance de la qualité de l'air (mesures en point fixe et celles obtenues à l'aide des laboratoires mobiles).</p> <p>5) Création de la page Web</p> <p>6) Premiers événements sur le sujet (colloques des 23/24 mars 1999 et du 24 novembre 1999)</p> | <p>Campagne de mesures transfrontalière :</p> <p>1) Analyse fine des résultats des différentes campagnes 1998, 1999</p> <p>2) Analyse des résultats de 2000 / 2001.</p> <p>2) Mise en évidence des corrélations optiques et physico-chimiques pour l'utilisation de la télé-détection.</p> <p>3) Représentation graphique des flux d'aérosols.</p> <p>Mise à jour du site web : http://mren.univ-littoral.fr/INTERREG/</p> <p>Colloques et journées de sensibilisation (27 juin 2001 ; 14 décembre 2001)</p> |

Pour mener à bien ces études, le **réseau de coopération transfrontalier** impliquant le **monde de la recherche** (Université du Littoral Côte d'Opale, Universitaire Instelling Antwerpen, Vlaams Instituut voor de Zee) et les **réseaux de surveillance transfrontaliers** (Opal'Air, Vlaamse Milieumaatschappij) s'est renforcé afin d'augmenter l'échange d'informations pour une meilleure gestion environnementale et un contrôle plus efficace de la pollution par les aérosols.

1.1.2 Les partenaires (rappel)

Vlaams Instituut voor de Zee (VLIZ)

Flanders Marine Institute
Victorialaan 3
B-8400 Oostende Belgium
Dr. Ir. Edmonde JASPERS
phone : 00.(32).59.34.21.34
fax: 00.(32).59.34.21.31

Universitaire Instelling Antwerpen (UIA)

Departement Scheikunde
Universiteitsplein
B-2610 WILRIJK

Prof Dr. René VAN GRIEKEN

phone : 00 (32) 3 820 23 62
fax : 00 (32) 3 820 23 76

OPAL'AIR

rue du Pont de Pierre
BP 199
F-C59820 GRAVELINES

Charles POINSOT

phone : 00 33 (0)3 28 23 81 73
fax : 00 33 (0)3 28 23 81 74

Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

Verantwoordelijke Cdvp Immissiemmeetnetten Lucht
Kronenburgstraat 45
B-2000 ANTWERPEN

Dr. Edward ROEKENS

phone : 00 (32) 3 244 12 31 /32
fax : 00 (32) 3 238 96 87

Laboratoire Interdisciplinaire en Sciences de l'Environnement (L.I.S.E)

32,avenue du Maréchal FOCH
F-62930 WIMEREUX

Prof. Dr.Richard SANTER

phone : 00 33 (0)3 21 99 64 26
fax : 00 33 (0)3 21 99 64 01

1.2 RESULTATS DE LA PREMIERE TRANCHE : ANALYSE DES DONNEES EFFECTUEES SUR LE LITTORAL FRANCO-FLAMAND

Dans le premier rapport d'activités, nous vous avons présenté les actions entreprises dans le but d'analyser le phénomène du transport des polluants sur l'espace franco-flamand. Pour mémoire, nous vous rappelons ici dans les grandes lignes les premiers résultats précédemment développés et vous invitons, si vous le souhaitez, à vous reporter au rapport de la première tranche le cas échéant.

1.2.1 Etude bibliographique

"Utilisation de l'observation de la terre pour une caractérisation fine des aérosols", bibliographie

- a) Étude documentaire
- b) Méthodologie
- c) Recueil des données (MOS et CIMEL)
 - Site de Dunkerque
 - Site de Wimeux

1.2.2 Utilisation de la télédétection pour une caractérisation fine des aérosols

- a) Phase 1 : recueil des données (1998-1999-2000)
- b) Phase 2 : développement (Océan & Terre)
- c) Liste des publications

1.2.3 Étude des aérosols particuliers

- a) Campagne de février à mars 1998
- b) Campagne de mars à novembre 1999
- c) Campagne de juin à juillet 2000
- d) Liste des publications

1.3 RESULTATS DE LA PREMIERE TRANCHE : ANALYSE DES DONNEES EFFECTUEES SUR LE BATEAU N.O BELGICA PAR NOS PARTENAIRES FLAMANDS

Comme précédemment, nous vous invitons à vous reporter au rapport de la première tranche si besoin :

1.3.1 Méthodologie

- a) Prélèvement d'échantillons d'air
- b) Prélèvements d'échantillons d'eau de pluie
- c) Développement de la technique analytique

1.3.2 Résumé des résultats

- a) Campagnes Belgica
- b) Échantillonnages à Knokke-Heist (effectués hors projet AEROSOL)
- c) Échantillons prélevés au campus de l' IUA (hors projet AEROSOL)
- d) Résultats EPMA

1.3.3 Problèmes

1.3.4 Principales conclusions

1.3.5 Objectif de l'année suivante

II- COORDINATION FRANCO-FLAMANDE

Des réunions régulières permirent d'assurer (1) une bonne coordination du travail mené par chacun, (2) une meilleure connaissance des pratiques spécifiques à chaque partenaire, et (3) la réalisation des objectifs prévus lors du dépôt du projet. Nous reprendrons dans cette partie l'évolution de cette coordination de notre travail ainsi que les décisions prises lors de chacune de ces réunions.

2.1 RÉUNION DE COORDINATION DU 24 SEPTEMBRE 1999 - OOSTENDE

A cette réunion furent présents :

- partenaires français: R. Santer (ULCO), E. Puskaric (ULCO), Ch. Poinsot (OPAL'AIR)
- partenaires flamands : E. Jaspers, N. Roelandt (IZWO/VLIZ), N. Roelandt (IZWO/VLIZ), E. Roekens (VMM), R. Van Grieken (UIA)

2.1.1. COORDINATION DES ACTIVITES

1. Tâches accomplies pendant la phase I (1998 - mi'99)

Les équipes françaises et flamandes ont accompli différentes tâches comme stipulé dans le programme du projet, à savoir :

- étude bibliographique (ULCO)
- campagne automne-hiver '98 - interprétation des premiers résultats

Les partenaires flamands et français fourniront des informations détaillées au IZWO/VLIZ sur le travail accompli et sur les délais pour la période « phase I » .

2. Activités proposées sur la phase II (mi' 99 - fin 2000)

- Suite des interprétations des résultats des campagnes de '98
- Analyses des échantillons et examen microscopique jusqu'à fin '99
- Campagne(s) Cap Gris Nez (ULCO) (Juin 2000)
- 2 campagnes transfrontalières.- 2 x 14 jours : juin et nov. 2000
- Mesures sur points **fixes** avec une unité mobile (VMM)
- Campagne Belgica (UIA): avril, juin '99
- Résultats de la phase I du projet en rapport avec la documentation scientifique existante
- Atelier dédié à la qualité de l'air lors du colloque "Aerosols and Air Quality" organisé par l'ULCO le 24.11.1999 à Boulogne sur Mer (France) : Présentation des premiers résultats du projet Interreg Flandres « AEROSOL ».
- Création d'un site internet phase I (ULCO français, anglais), traduction en flamand (VLIZ)

3. Activités proposées sur la phase finale (année 2001) : validation et communication

- Analyses, corrélation et interprétation des résultats obtenus (tous les partenaires)
- Mise en rapport des résultats physico-chimiques avec les possibilités de télédétection

- Session d'information en Flandre occidentale (fin 2001) et en région Nord - Pas-de-Calais (Journée « Air Quality » organisée par l'ULCO le 27 juin 2001).

2.1.2. SITE INTERNET

- ULCO conçoit le site internet AEROSOL en français et anglais avec saisie d'information des différents partenaires (fin 1999)
- VLIZ traduit le site internet en flamand
- Sommaire du site internet :
 - Description générale du projet AEROSOL
 - Présentation des participants
 - Résultats de la phase I du projet
 - Liens vers les sites internet des différents partenaires

2.1.3. CONSTITUTION DE COMITES CONSULTATIFS

- Les représentants flamands sont sollicités de :
 - le conseil MIRONA (Pouvoirs publics de la Flandre)
 - la province de la Flandre occidentale - Dép. de l'environnement
 - départements environnementaux De Panne and Brugge (P. Van Acker)
- Point ouvert : deux comités, l'un scientifique et l'autre de supervision, ou un seul comité général seront-ils créés ?
- France : les représentants de la DIREN, la DRIRE, la DRRT, l'ADEME, la Région Nord - Pas-de-Calais (Direction Recherche et Direction Environnement), le SMCO ont sollicités lors des colloques/journées organisées par l'ULCO sur la thématique « Qualité de l'Air ».
- La décision de constituer un comité transfrontalier de supervision avec des représentants des Flandres et de France est reportée à une date ultérieure.

2.2 REUNION DE COORDINATION DU 04 MAI 2000 - DE PANNE

- 1) Accord des partenaires pour démarrer une nouvelle campagne le 9 juin 2000 (sauf retard inattendu) et pour une durée d'un mois.
- 2) VMM and OPAL'AIR utiliseront 1 station mobile, (OPAL'AIR peut-être 2) dans laquelle SO₂, ozone, NO_x, CO et PM₁₀ (avec des compteurs de particules TEOM) doivent être mesurées. VMM doit aussi utiliser 2 Partisols et les filtres seront analysés sur les métaux lourds.
- 3) OPAL'AIR fera des mesures à Dunkerque et Bray-Dunes. VMM fera des mesures à Adinkerke (mobile + Partisol) et à Houtem (extra Partisol).

- 4) Une nouvelle réunion est prévue lorsque la moitié de la campagne sera terminée, une autre 14 jours après la campagne. Il faut que chaque partenaire écrive un petit rapport dans lequel il décrit comment il opère ses mesures et quelles mesures. Il doit aussi le cas échéant ajouter certains résultats. L'interprétation et la discussion de ces résultats est prévue plus tard dans le projet, quand toutes les données seront disponibles.
- 5) Professeur Santer accepte de créer un site internet avec une structure qui permettra à tous les partenaires de joindre leurs propres rapports à celui-ci. Ces rapports résumeront ce qui a été fait par le passé et tandis que les campagnes progressent, une mise à jour des informations relatives aux mesures sera effectuée par chaque partenaire.
- 6) En ce qui concerne les données météo, à la fois les données belges (KMI) et françaises (Météo-France) seront utilisées. On remarqua qu'une comparaison de ces données pouvait être intéressante.
- 7) Les dioxines seront mesurées en 1999 et ces mesures continueront en l'an 2000.
- 8) Chaque partenaire doit informer la presse de ce projet, par des informations générales, pas encore de résultats.
- 9) La dernière campagne doit avoir lieu en décembre de la même année.
- 10) Le Prof. Puskaric et son équipe de chimie de l'ULCO fera des échantillonnages simultanés à Hondshoort à partir du 15 juin. La technique utilisée sera celle par impacteur cascade et filtration afin de faire la distinction granulométrique entre les particules et leur géochimie par microscope de balayage.

→ Liste des participants

Dr. Edward Roekens

VMM - Kronenburgstraat 45/3 - B-2020 Antwerpen - Tél. +32 (0)3\ 244.12.31

Raymond Bogaert

VMM - Vuurkruisenplein 20 - B-2020 Antwerpen -Tél. +32 (0)3\ 443.63.39

Koen Toté

VMM - Kronenburgstraat 45/3 - B-2000 Antwerpen -Tél. +32/(0)3\ 244.12.36

Prof. Emile Puskaric

ULCO - 32 Av Foch F-62930 Wimereux - Tél. 33 (0)3.21.99.64.27

Prof. Richard Santer

ULCO - 32 Av. Foch F-62930 Wimereux - Tél. + 33 (0)3.21.99.64.26

Anabelle Anquez

OPAL'AIR - Rue du Pont de Pierre F-59820 Gravelines - Tél. +33 (0)3.28.23.81.73

Ing. J-J. Batifol

OPAL'AIR - Rue du Pont de Pierre. F-59820 Gravelines - Tél. +33 (0)3.28.23.81.75

Charles Beaugard

OPAL'AIR - Rue du Pont de Pierre F-59820 Gravelines - Tél. +33 (0)3.28.23.81.76

Roland Florizoone (observateur)
Schepen van Leefmilieu (Echevin de l'Environnement) De Panne - Gemeentehuis, Zeelaan 21 B-8660 De Panne - Tél. +32 (0)75/48 97 48

Valérie Vandenbussche (observateur)
Milieuambtenaar (fonctionnaire Environnement) De Panne - Tél. +32 (0)58\ 42 97 68

Dr. Ir. Edmonde Jaspers
VLIZ - Victorialaan 3, B-8400 Oostende - Tél. +32 (0)59\ 34 21 34

2.3 REUNION DE COORDINATION DU 25 OCTOBRE 2000 - OOSTENDE

Cette réunion eut lieu au FLANDERS MARINE INSTITUTE (VLIZ), à OOSTENDE (10H00).

Participants : -

- Partenaires français : J.-J. Batifol (OPAL'AIR), E. Puskaric (ULCO)
- Partenaires flamands : K. Eyckmans (UIA), R. Van Grieken (UIA), R. Bogaert (VMM), P. Bruyndonckx (VMM), V. Vandenbussche (De Panne), E. Jaspers (VLIZ)

Excusés:

- Partenaires français : C. Beaugard (OPAL'AIR), C. Poinot (OPAL'AIR), A. Anquez (OPAL'AIR), R. Santer (ULCO)
- Partenaires flamands : E. Roekens (VMM), R. Florizoone (De Panne), J. Mees (VLIZ)

2.3.1. EVALUATION DE LA CAMPAGNE PRECEDENTE (Juin-Juillet 2000)

- **ULCO** a prélevé des échantillons quotidiennement, du 20 juin au 22 juillet, simultanément à Dunkerque et aux Moères. Des données préliminaires pour Dunkerque ont été présentées.

- Selon les premiers résultats préliminaires obtenus par **OPAL'AIR** durant la campagne d'été (du 19 juin au 30 juin) à Bray-Dunes et Dunkerque, les aérosols mesurés en France semblent avoir différentes origines : approx. 30% marine, 30% des Flandres, et un pourcentage considérable de la zone de Dunkerque. Les masses d'air pourraient avoir une provenance très large (ex. Angleterre, Belgique, Pays-Bas, France). La direction du vent joue un rôle majeur et doit être pris en considération pour l'interprétation des résultats.

- L'O₃ et les concentrations de poussière ont été importantes sur Dunkerque (l'O₃ est produit localement). Il arrive qu'il y ait des concentrations de poussières de 5000 à 10000 tonnes/an, principalement composées d'oxyde de fer (rouge) et de carbone (noir). Selon VMM et le département Environnemental de La Panne, certains dépôts se font au gré de la direction du vent (principalement des vents d'ouest). Bien que des efforts ont été faits par les industries pour filtrer les émissions, aucune charge n'est imputée sur les émissions de poussières en France.

- La campagne de prélèvements a été effectuée par **VMM** avec la station mobile du 16 juin au 30 juillet, à Adinkerke, et simultanément par **OPAL'AIR** du 19 au 30 juin à Bray-Dunes. **SO₂**, **PM₁₀**, **NO**, **NO₂**,

O3, CO, et CO2 furent mesurés et comparés aux valeurs obtenues par OPAL'AIR. Les résultats préliminaires indiquèrent qu'en moyenne, les concentrations mesurées n'excédèrent pas les valeurs limites établies par l'UE et les conditions météorologiques jouent un rôle.

Dans les prochaines études, une attention toute particulière sera apportée aux particules PM10 comme la directive européenne devrait devenir plus contraignantes à partir de 2005.

- Les concentrations de métaux lourds dans les PM10 échantillonnés par VMM à Adinkerke se révélèrent basses.

- La campagne d'échantillonnage de l'UIA a été menée du 9 juin au 25 juillet. Des éléments gazeux (e.g. ammoniac, nitrique et acide nitreux) ont été échantillonnés quotidiennement. Des particules de matière ont été collectées pour analyse des éléments et des traces de métaux. Un échantillonneur séquentiel automatique d'eau de pluie a collecté des échantillons de précipitations durant toute la période. Les résultats de ces analyses seront comparés avec ceux obtenus par les autres partenaires.

- L'ensemble des partenaires acceptent de prendre en considération les conditions météorologiques dans l'interprétation des résultats, quand approprié. Les données collectées dans les autres zones non couvertes par le projet AEROSOL seront aussi mises à la disposition des autres partenaires afin de permettre une meilleure interprétation des résultats obtenus.

2.3.2. PLANIFICATION DES FUTURES CAMPAGNES

- Les partenaires acceptent d'organiser une campagne transfrontalière d'hiver, en nov. - déc. 2000, prolongée peut-être en jan. - fév. 2001. Cela permettra d'évaluer les émissions sous des conditions hivernales et les effets possibles du réchauffement.

- Au moins une campagne de 2 ou 3 semaines se tiendra en juillet - août 2001 (si bien sûr les conditions météorologiques le permettent).

- Dans la mesure du possible, les prélèvements d'échantillons habituels entre chaque campagne se continueront.

- En 2001, les activités principales seront consacrées à la poursuite d'analyses d'échantillons, à l'interprétation des résultats, à la rédaction des rapports et à la finalisation des supports de communication (web).

2.3.3. COMITES

Deux comités sont mis en place afin d'évaluer le projet :

- un Comité d'accompagnement français, et
- un Comité scientifique flamand, le "*Wetenschappelijke Raad*"

Ils forment le Comité transfrontalier.

→ Le 14 décembre 2000, le comité d'accompagnement français se réunit à Wimereux, et le 29 juin 2001, les deux comités, à savoir le comité transfrontalier complet, à Anvers.

2.3.4. PROMOTION

- Le 14 décembre 2000, un petit atelier de travail se tiendra à Wimereux (ULCO) où partenaires français et flamands présenteront les résultats obtenus jusqu'à présent.
- Le site internet AEROSOL géré par ULCO (<http://mren.univ-littoral.fr/INTERREG/>) sera complété par les rapports intermédiaires. D'ici la fin du projet, le site internet sera finalisé et traduit en français, flamand et anglais par ULCO et VLIZ.
- Une liste des ateliers qui ont eu lieu, et des publications et présentations se rapportant au projet AEROSOL sera rédigée. (Cf. partie 4.3 de ce rapport)
- VMM a mentionné le projet dans plusieurs articles de presse et l'inclura dans ses rapports annuels.
- Le 14 décembre 2001, un atelier d'information ouvert à tous les partis intéressés (pouvoirs publics, décisionnaires, sociétés, scientifiques...) sera organisé en Flandre par VLIZ.
- Une brochure en flamand et français comprenant les principaux résultats du projet AEROSOL sera faite et sera largement diffusée aux sociétés, aux autorités publiques, aux associations environnementales et autres partis intéressés, d'ici la fin 2001.

2.4 REUNION DU COMITE TRANSFRONTALIER LE 29 JUIN 2001

→ *Rapport de réunion*

En tant que coordinateur de la partie flamande du projet AEROSOL, Dr. Ir. Edmonde Jaspers accueillera les participants au nom du VLIZ, le Flanders Marine Institute, ainsi que les partenaires français et flamands impliqués dans le projet AEROSOL. Elle remercia les membres du comité transfrontalier présents et invita l'ensemble des participants à se présenter brièvement eux-mêmes.

Elle présenta alors le projet AEROSOL en donnant une vue d'ensemble sur les motivations, les objectifs, la zone géographique, le cadre "temporel", les résultats globaux de la recherche effectuée jusqu'à présent, ainsi que les actions entreprises pour diffuser les résultats à un large public.

Enfin, elle remercia les autorités financières, de fait l'Union européenne, le Ministère de la Flandre, la province de la Flandre occidentale, pour avoir apporté les fonds nécessaires, ainsi que les équipes scientifiques de l'ULCO, d'Opal'Air, UIA et VMM pour leur précieuse contribution et leur coopération.

En conséquence, les équipes scientifiques présentèrent les résultats scientifiques obtenus à ce jour, suivis à chaque fois d'une question, d'un temps de réponse et d'un débat.

Les communications suivantes furent données :

“Aerosols, gases and rain composition along the Flemish coast”
Kurt Eyckmans (Prof. René Van Grieken), Universitaire Instelling Antwerpen (UIA)

« Présentation des mesures dans la région de De Panne »

Dr. Edward Roekens, Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

« Présentation des résultats des campagnes de mesures hiver et été 2000 »

Ing. Jean-Jacques Batifol (Opal' Air)

« Etude du transport transfrontalier d'éléments majeurs et de quelques éléments métalliques dans les aerosols »

Frédéric Ledoux (Prof. Emile Puskaric), Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)

“Aerosols remote sensing from space”

Jérôme Vidot (Prof. Richard Santer), Université du Littoral Côte d'Opale (ULCO)

Les communications terminées, le Dr. Jaspers sollicita du comité transfrontalier des remarques et des recommandations concernant l'exécution du projet et la prochaine planification de la recherche.

Le Dr. Rudy Herman (Service Science, Innovation & Media, Ministère des Flandres) félicita les équipes scientifiques sur le travail accompli et mit l'accent sur l'importance d'utiliser la même méthodologie dans les stratégies d'échantillonnage et les analyses de données, comme cela fut fait dans le projet AEROSOL. Il déclara que cette procédure faciliterait l'interprétation des résultats obtenus sur terre, sur mer et par la télédétection via satellite et fournirait davantage de compréhension sur les liens existant entre eux. Il apprécia aussi l'attention apportée par les équipes de recherche pour rendre disponible les résultats du projet à différents groupes cibles, parallèles à la communauté scientifique, à savoir les autorités publiques, le secteur industriel, les utilisateurs finaux et le public dans son ensemble. Prof. Herman conclua en mentionnant que la Communauté européenne développait de nouveaux programmes offrant ainsi des possibilités pour des projets comme AEROSOL.

Dr. Eddie Muylle (MIRA-2000, Vlaamse Milieumaatschappij, VMM) exprima sa satisfaction et considéra le projet comme ayant contribué précieusement à la compréhension de la situation de la pollution de l'air dans la zone concernée, en particulier en faisant la distinction entre la pollution de sources locales et les concentrations de base. Il suggéra aussi que les résultats obtenus soient mis en relation avec l'impact sur la santé de l'homme. Le Prof. Richard Santer répondit que ce sujet avait été discuté lors de la réunion tenue à Wimereux et pouvait être approfondie dans un futur projet spécialement adapté à cet aspect spécifique.

Dr. Jaspers termina la réunion en remerciant les participants pour leur active contribution pendant la réunion et l'UIA ainsi que l'équipe du Prof. René Van Grieken pour avoir mis à disposition la salle de réunion et l'équipement audiovisuel aux organisateurs.

2.5 REUNION DE TRAVAIL DU 29 JUIN 2001 APRES-MIDI*Participants :*

France

Interreg secretariat: S. Tondeur

ULCO: R. Santer, E. Puskaric, P. Limerez, F. Ledoux, J. Vidot

Opal' Air: J-J. Batifol

Flanders

VMM: E. Roekens, N. Wintjens, K. Vancaester

UIA: R. Van Grieken, J. Injuk

VLIZ: E. Jaspers

→ Rapport de réunion

→ *Information dans le cadre du programme Interreg III ; S. Tondeur.*

S. Tondeur donna un aperçu du cadre opérationnel du programme interreg III proposé France/Wallonie/Flandre qui est en cours d'examen par la commission européenne. Des informations détaillées sur les modalités et les mécanismes d'Interreg III sont publiées dans le "Programme opérationnel proposé" qui est disponible depuis les secrétariats Interreg et qui a été fourni à certains participants.

Le programme couvre la période 2000-2006, et la région wallonne s'occupera de la partie "gestion".

A l'intérieur du programme, trois sous-programmes de coopération transfrontalière existe : France/Wallonie, France/Flandre et la tripartite France/Wallonie/Flandre. Chaque sous-programme inclut plusieurs sujets principaux sur des thèmes sociaux, économiques, touristiques et environnementaux, chacun divisé en un certain nombre d'actions.

Les zones géographiques qui correspondent aux trois programmes sont strictement décrites. Pour le programme tripartite, celles-ci sont limitées à : départements du Nord, Aisne et Ardennes pour la France, les districts de Veurne, Ieper, Kortrijk en Flandre occidentale et les districts de Mouscron, Tournai, Ath, Mons, Thuin, Philippeville, Dinant, Neufchâteau et Virton pour la région wallonne. Certaines zones limitrophes peuvent cependant être incluses dans ce programme.

S. Tondeur espère que les premières propositions de projet puissent être présentées en septembre-octobre 2001. Les projet peuvent durer au maximum 3 ans après que le comité directeur les ait approuvés. Le Comité de Suivi se rencontrera deux fois l'an pour évaluer les projets proposés.

En ce qui concerne le financement des projets, la règle dite N+2 est appliquée. Cela signifie que les fonds FEDER qui sont alloués pour l'année N doivent être dépensés et justifiés d'ici le 31 décembre de l'année N+2. Le financement EFRD est limité au maximum à 40% du coût total du projet approuvé pour le subventionnement. Les 60% de fonds restant doivent être fournis par les partenaires du projet ou par des institutions privées ou publiques. Les investissements sont limités à 25% avec un maximum de 500 000 €.

La Commission européenne n'a pas encore décidé si oui ou non un coordinateur administratif ainsi qu'un coordinateur financier gèrera chaque projet.

Prof. Santer mentionne qu'ULCO considère aussi un autre projet France/Sussex et qu'un projet tripartite France/Wallonie/Flandre pourrait être présenté. D'ici fin août 2001, il fera circuler les résultats des discussions tenues à Wimereux aux partenaires actuels Interreg, et une proposition de pré-projet tripartite en octobre-novembre 2001.

Selon M. Santer les principaux sujets à inclure devraient être centrés autour de :

- 1) la métrologie
- 2) la modélisation des transports
- 3) l'établissement d'une base de données à l'attention des autorités gouvernementales en tant qu'utilisateurs finaux
- 4) la fourniture de données aux utilisateurs finaux concernés par la santé publique.

Après discussion, le projet pourrait être présenté en octobre 2001. Il ne juge pas opportun cependant d'inclure des représentants du secteur public de la santé mais propose d'élargir le partenariat à des acteurs socio-économiques tels que l'APPA (Association pour la Prévention des Pollutions Atmosphériques) et la jeune start up de conseil en environnement HYGEOS.

Dr. Roekens contactera à ce sujet l'ICEP qui est la contrepartie wallonne du VMM. Il souligne également son intérêt à inclure pour dans le consortium de cet Interreg III le partenaire français AREMA (Réseau de surveillance de la qualité de l'Air – Région de la Métropole Lillois).

→ *autre planning pour le projet AEROSOL*

1. Session d'information en Flandre

Comme cette session d'information doit avoir lieu en Flandre tous les partis acceptent que le VLIZ soit responsable de l'organisation et souhaitent prendre part aux présentations. Mme Jaspers a déjà discuté de ceci avec Mme Valérie Vandebussche, fonctionnaire dans le service Environnement de la municipalité de De Panne. Les autorités municipales souhaitent mettre à disposition les équipements de la maison communale et fournir un support logistique. La session d'information concernera un large public non-scientifique et elle se tiendra le 14 décembre 2001. Mme Jaspers s'occupera de l'organisation pratique et tiendra informé les partenaires des futurs développements.

2. Prospectus d'information

L'ensemble des partis acceptent que le prospectus soit bilingue (français/néerlandais), écrit dans une langue compréhensible de tous et contenant seulement les points marquant des résultats du projet. Pour de plus amples informations, on se référera au site internet Interreg (<http://mren.univ-littoral.fr/INTERREG/>) géré par ULCO. Mme Limerez propose de fournir un appui technique à Mme Jaspers dans la rédaction du texte français. Mme Jaspers rédigera un brouillon à l'aide des partenaires et le fera circuler aux partenaires pour approbation. VLIZ se chargera de l'impression.

Le prospectus est destiné aux autorités, industriels, et le public dans son ensemble ; il sera par conséquent diffusé aussi largement que possible. Chaque partenaire distribuera le prospectus par ses propres canaux et informera les médias appropriés.

3. Site internet (<http://mren.univ-littoral.fr/INTERREG/>)

Mme Limerez présente le site internet qui est actuellement développé par ULCO et sollicite de la part des différents partenaires l'envoi de données. Mme Jaspers souligne que selon le projet approuvé le site internet devra être en français, anglais et flamand. M. Santer répond qu'une traduction en flamand pourrait être utile pour les parties les plus descriptives du site (objectifs du projet, partenaires, etc.) mais pas pour les rapports et les résultats du projet, qui, de nature scientifique, sont communiqués usuellement en anglais. Mme Jaspers contactera Mme Ina De Wasch du secrétariat Interreg de Flandre occidentale pour se renseigner sur les exigences. Elle remarque par ailleurs que certains rapports de la Flandre sont écrits en néerlandais, tandis que d'autres sont résumés en néerlandais. Comme ces textes existent, elle considère qu'il serait approprié et intéressant de les inclure sur le site internet. Mme Jaspers traduira les textes flamands, français ou anglais (ou leur résumé) des rapports flamands en français et/ou anglais et les fournira à Mme Limerez. Elle insista aussi pour que les paramètres statistiques du site (nombre de consultation, origine etc.) soient accessibles car ces indicateurs devront être reportés dans le rapport final (cf. item 5). M. Santer répondit que jusqu'à présent cette possibilité n'avait pas été offerte.

4. Rapport final

ULCO a déjà préparé une première version du rapport final. L'ensemble des partis acceptent qu'après avoir complété le texte par les résultats des différents partenaires il serve de base pour une version définitive du rapport final. Mme Jaspers remercie M. Santer et Mme Limerez pour le travail déjà accompli et pour recevoir une copie du brouillon.

5. Indicateurs et appendices

On doit étudier la pertinence des indicateurs pouvant être insérée sur le site internet.

6. Divers

Mme Jaspers se renseigne si la campagne d'été a bien été exécutée. Les partenaires répondent positivement. Ils l'informent qu'un certain nombre d'analyses, d'interprétations de résultats est en cours. Elle remercie les participants et clôture la réunion.

III- RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

3.1 ANALYSE DES DONNÉES DE TELEDETECTION SPATIALES PAR ULCO

A partir de données atmosphériques principalement récupérées sur internet, notre laboratoire LISE retrace les flux des aérosols sur cartographie afin de les exploiter.

Le traitement des différentes images du capteur satellital SeaWiFS a permis d'identifier un panache sur l'image du 3 septembre 1999 (voir ci-dessous). Ce panache semble partir de Dunkerque et traverse la Manche jusqu'aux côtes anglaises. Il s'étend sur près de cinquante kilomètres en longueur et quelques kilomètres de largeur. Cependant la seule image ne permet pas de comprendre le phénomène de transport des particules dans le panache et nous avons alors recours aux données météorologiques telles que les rétrotrajectoires des masses d'air et les profils d'humidité relatifs.

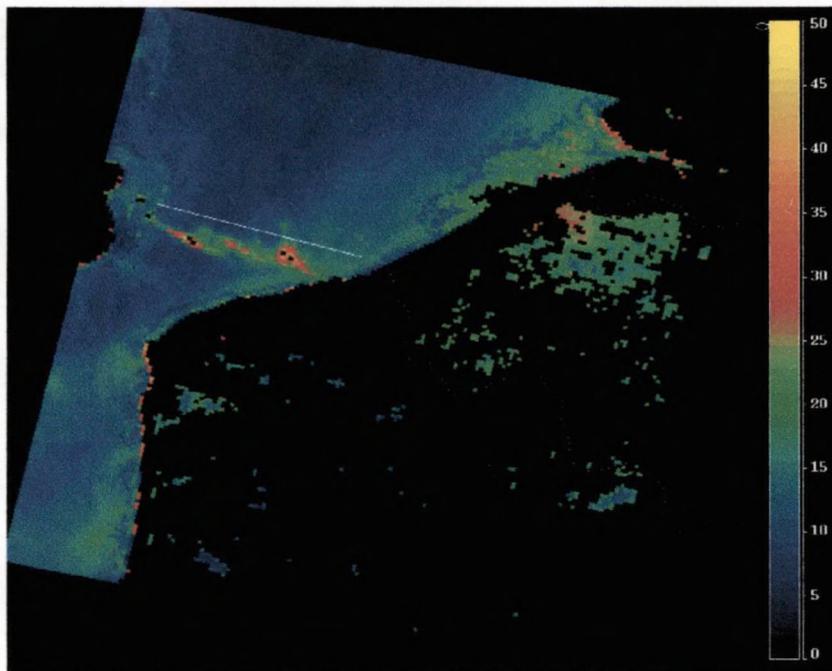
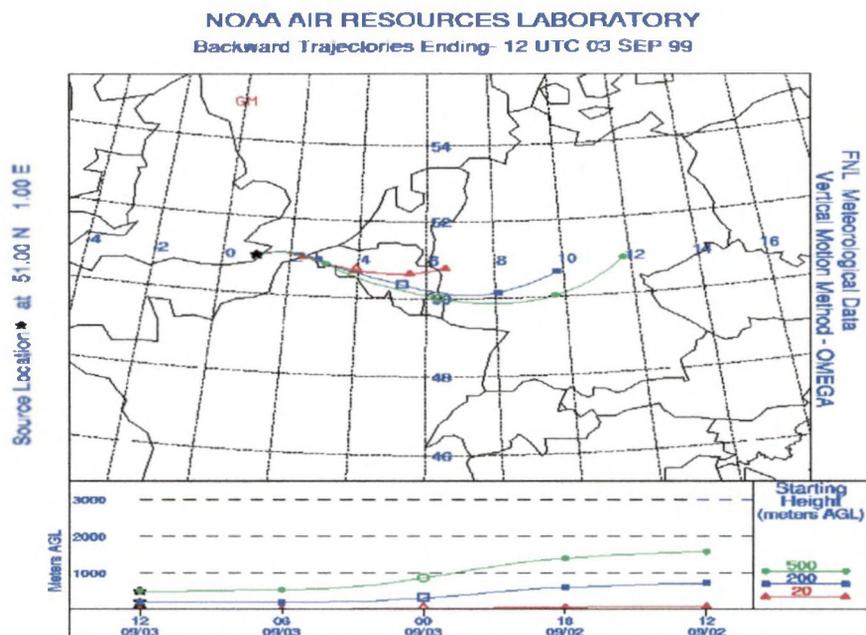
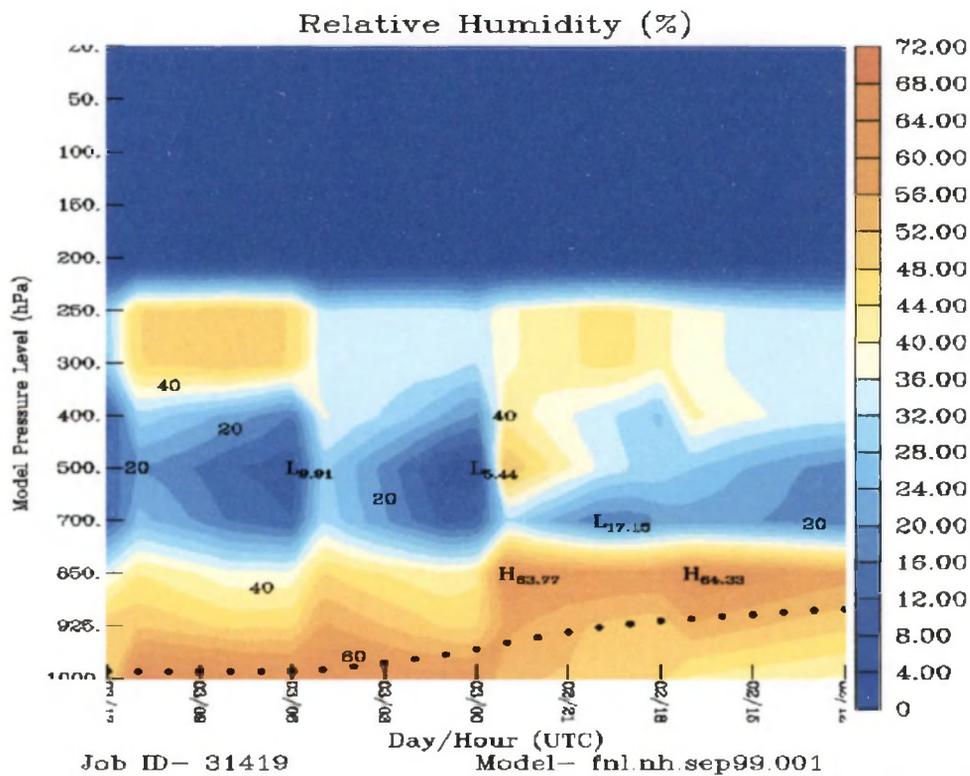


Fig x. PM_{2.5} (µg/m³) du SeaWiFS le 03/09/1999 12h UT

La carte de rétrotrajectoires des masses d'air permet clairement de distinguer le sens de déplacement du panache. Les masses d'air venant de l'est montre que le panache se déplace des côtes françaises vers les côtes anglaises.



Dans le même temps, la carte d'humidité relative le long des trajectoires montre une chute des masses d'air (points noirs). Nous comprenons qu'il y a une baisse des aérosols.



Modèle de dispersion des particules atmosphériques

Le modèle HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) est la dernière version d'un système complet permettant de calculer les trajectoires de masses d'air simples et les simulations complexes de dispersion et de dépôt. Suite aux efforts conjoints du NOAA et du Bureau de Météorologie australien, ce modèle a été récemment mis à jour. Parmi les nouvelles caractéristiques, on trouve des algorithmes d'advection améliorés, des équations de stabilité et de dispersion améliorées, une nouvelle interface utilisateur graphique, et la possibilité d'inclure des modules pour les transformations chimiques. Sans ces modules de dispersion supplémentaires, Hysplit enregistre l'advection d'une particule de pollution seule, ou simplement sa trajectoire.

La dispersion d'un polluant est calculée en faisant des suppositions soit à partir du souffle ou de la dispersion des particules.

(...)

Premier essai de simulation :

- 18 h de simulation se terminant le 03/09/1999 à 12h UT
- 1500 kg/h d'injection continue de particules sur la zone dunkerquoise
- faible taux de dépôt
- une couche verticale entre 0 et 500 m

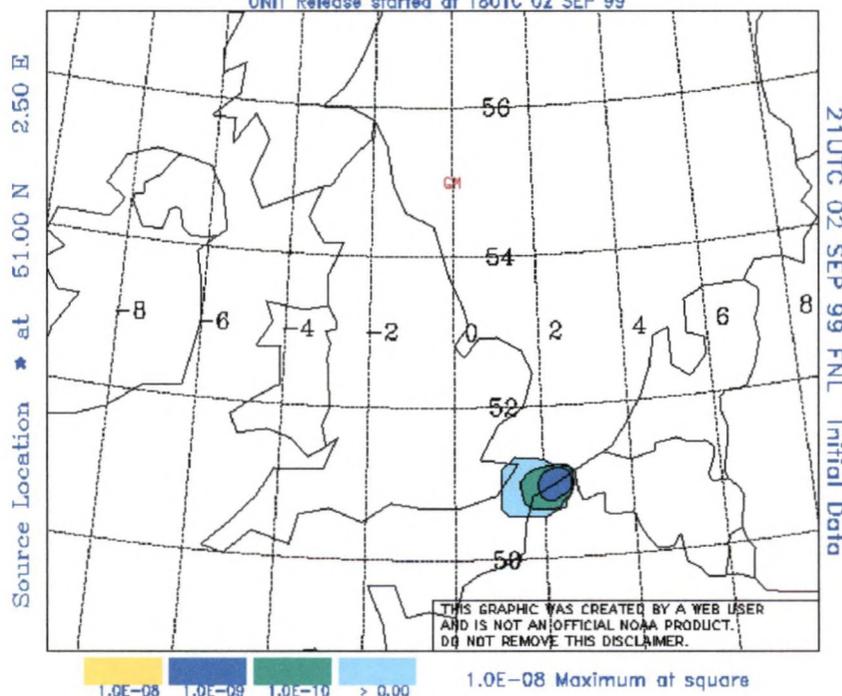


NOAA Air Resources Laboratory

This product was produced by an Internet user on the NOAA Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).

National Oceanic and Atmospheric Administration

Average Concentration from 00000 m TO 00500 m (Unit /m3)
Averaged from 18UTC 02 SEP 99 TO 21UTC 02 SEP 99
UNIT Release started at 18UTC 02 SEP 99

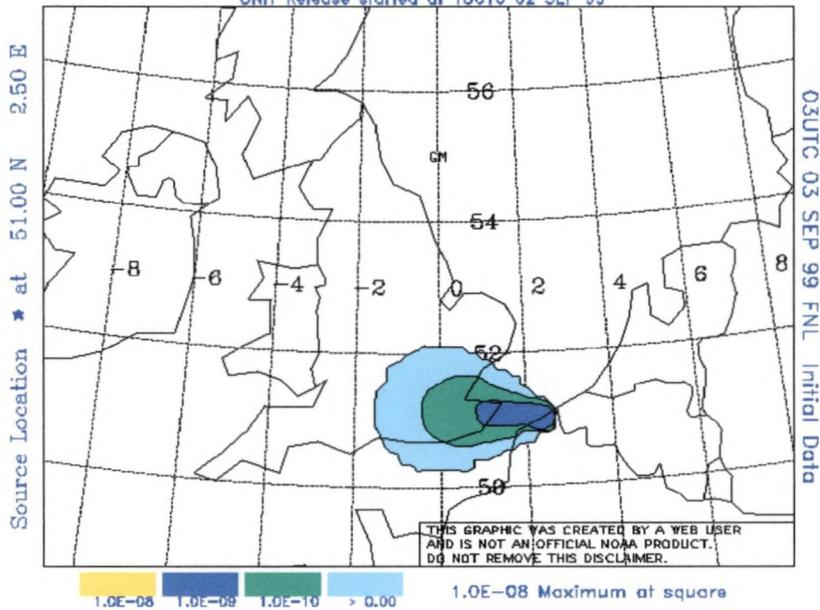




NOAA Air Resources Laboratory
 This product was produced by an Internet user on the NOAA Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).

National Oceanic and Atmospheric Administration

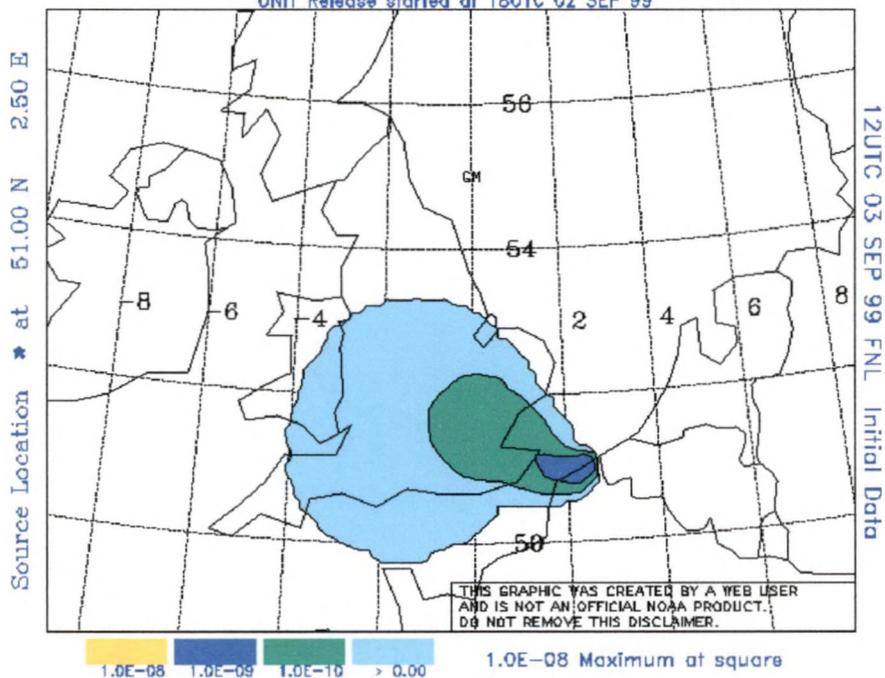
Average Concentration from 00000 m TO 00500 m (Unit /m3)
 Averaged from 00UTC 03 SEP 99 TO 03UTC 03 SEP 99
 UNIT Release started at 18UTC 02 SEP 99



NOAA Air Resources Laboratory
 This product was produced by an Internet user on the NOAA Air Resources Laboratory's web site. See the disclaimer for further information (<http://www.arl.noaa.gov/ready/disclaim.html>).

National Oceanic and Atmospheric Administration

Average Concentration from 00000 m TO 00500 m (Unit /m3)
 Averaged from 09UTC 03 SEP 99 TO 12UTC 03 SEP 99
 UNIT Release started at 18UTC 02 SEP 99



3.2 ANALYSE DES DONNÉES OPTIQUES IN-SITU PAR ULCO

3.2.1 Composants de l'atmosphère et propriétés optiques associées

Le rayonnement solaire est perturbé par deux processus atmosphériques : l'absorption des gaz et la diffusion par les molécules et les aérosols.

a) Effet d'absorption

Dans l'atmosphère, les principaux gaz absorbants sont :

L'oxygène (O_2), le dioxyde de carbone (CO_2), la vapeur d'eau (H_2O) et l'ozone (O_3). On peut encore citer le méthane (CH_4) et le dioxyde d'azote (NO_2).

L'oxygène et le dioxyde de carbone sont uniformément mélangés dans l'atmosphère en quantité constante.

Leur contribution en absorption se manifeste essentiellement autour de $0,7 \mu m$ (pour l' O_2) et au delà de $1 \mu m$ (pour le CO_2).

Les contenus en vapeur d'eau et en ozone sont, quant à eux variables (Ils dépendent du jour et du lieu où l'on se situe.) Leur influence se manifeste autour de $0,55 \mu m$ et $0,65 \mu m$ respectivement.

Le méthane et le dioxyde d'azote présentent deux bandes d'absorption à $2,3 \mu m$ et $3,35 \mu m$ (pour le CH_4) et à $2,9$ et $3,9 \mu m$ (pour le NO_2).

b) Effet de diffusion

Selon la dimension des particules diffusantes, on distingue la diffusion moléculaire ou Rayleigh, et la diffusion par les aérosols.

On définit la fonction de phase comme la probabilité de diffusion dans la direction θ .

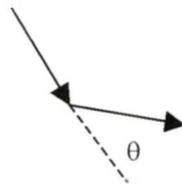


Figure 1

3.2.2 Paramètres optiques de l'atmosphère

a) Coefficient d'extinction.

Soit le flux énergétique monochromatique ϕ_λ ($W \cdot \mu m^{-1}$) transporté par le rayonnement solaire.

Une partie du flux va donc être perdue, en rencontrant les particules et les molécules de l'atmosphère par absorption et/ou diffusion.

Le flux éliminé $d\phi$ est proportionnel à ϕ_λ et au parcours élémentaire dx . (d'après la loi de Beer)

$$d\Phi_\lambda = -\sigma_\lambda \cdot \Phi_\lambda \cdot dx \quad \text{Eq. 1}$$

Où σ est le coefficient d'extinction monochromatique qui caractérise globalement l'atténuation totale du faisceau direct.

b) Epaisseur optique

Dans le cas de l'atmosphère, le coefficient d'extinction monochromatique dépend de l'altitude z . On définit l'épaisseur optique totale de l'atmosphère comptée à partir du sommet de l'atmosphère par :

$$\delta_{\lambda} = \int_0^{\infty} \sigma_{\lambda}(z).dz \quad \text{Eq. 2}$$

δ_{λ} sans dimension peut se décomposer en une somme de l'épaisseur optique des particules (ou aérosols), de l'épaisseur optique moléculaire (ou Rayleigh) et de l'épaisseur optique gazeuse (due à l'absorption moléculaire) :

$$\delta_{\lambda}^{totale} = \delta_{\lambda}^{aérosol} + \delta_{\lambda}^{rayleigh} + \delta_{\lambda}^{gaz} \quad \text{Eq. 3}$$

On peut relier la notion d'épaisseur optique à celle de visibilité, suivant la figure 2 :

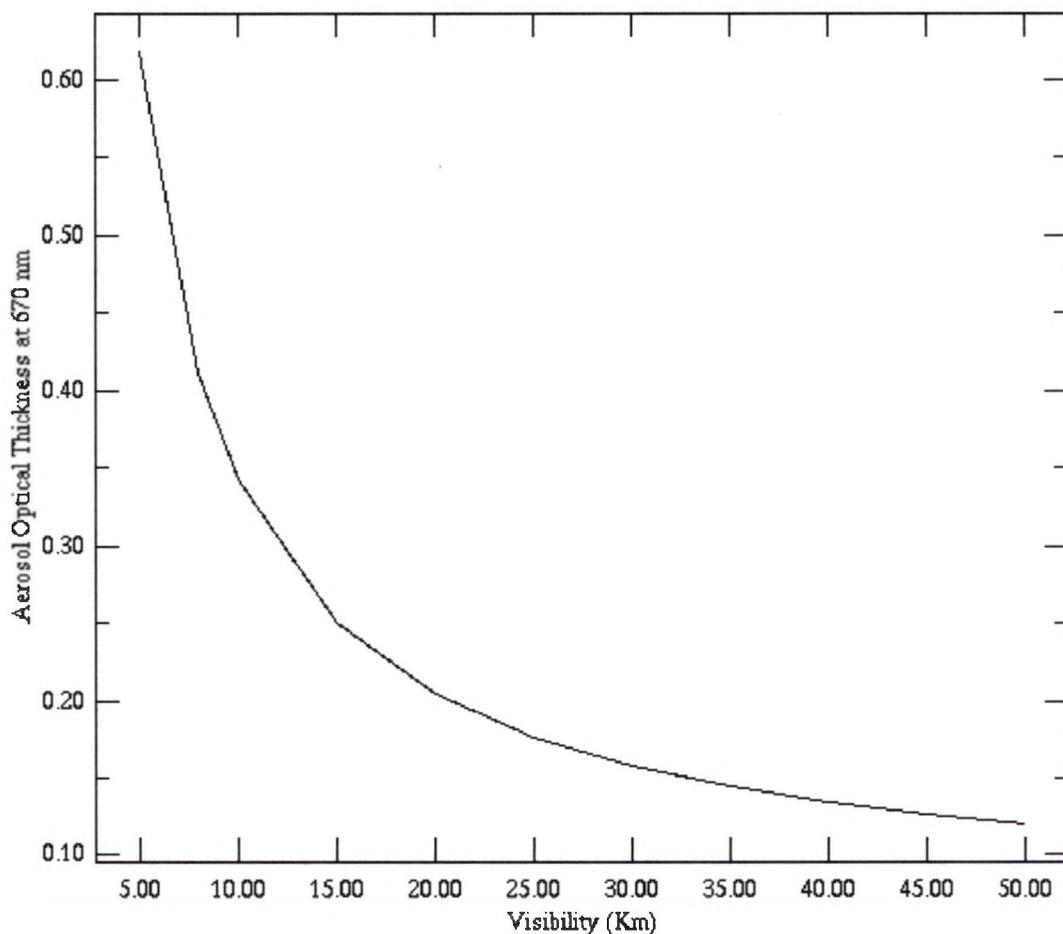


Figure 1 : Relation entre épaisseur optique aérosol et visibilité, à 670nm

c) Fonction de distribution

Il existe plusieurs modèles de distribution en taille des particules. Celle utilisée dans notre cas est une loi de puissance. Elle décrit le nombre de particules de rayon r . Cette équation est connue sous le nom de loi de Junge.

$$n(r) = a \cdot r^{-\nu} \quad \text{Eq. 4}$$

d) Coefficient d'angström

Le coefficient est défini comme suit :

$$\alpha = - \frac{\ln\left(\frac{\delta}{\delta'}\right)}{\ln\left(\frac{\lambda}{\lambda'}\right)} \quad \text{Eq. 1}$$

Ce coefficient est caractéristique du modèle d'aérosols. Il est relié à la loi de Junge (Eq 4) par la relation

$$\alpha = 3 - \nu \quad (\alpha < 0) \quad \text{Eq. 2}$$

3.2.3 Eclairage reçu par le sol

On définit l'éclairage monochromatique E_λ reçu par la surface dS comme le flux énergétique $d\Phi$ reçu par unité de surface (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)

$$E_\lambda = \frac{d\Phi_\lambda}{dS} \quad \text{Eq. 7}$$

Soit E_λ^0 l'éclairage solaire au sommet de l'atmosphère. Si δ_λ est l'épaisseur optique de l'atmosphère à la verticale, pour un trajet incliné, l'éclairage solaire direct au niveau du sol est :

$$E_\lambda(z=0, \theta_s) = E_\lambda^0 \cdot e^{-\delta_\lambda / \cos \theta_s} = E_\lambda^0 \cdot e^{-m \delta_\lambda} \quad \text{Eq. 8}$$

Où θ_s est l'angle solaire zénithal et m la masse d'air définie par $m=1/\cos \theta_s$,

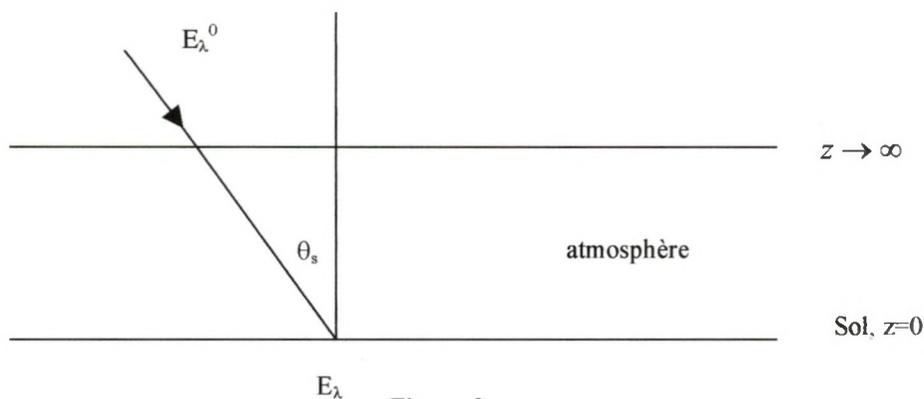


Figure 3

La masse d'air donne une indication sur la distance du trajet optique parcouru par le rayonnement solaire depuis le sommet de l'atmosphère jusqu'au sol. Typiquement, la masse d'air vaut 1 pour un soleil au zénith. Elle est de l'ordre de 10 pour un soleil levant ou couchant.

3.2.4 Principe des mesures atmosphériques

Les photomètres CIMEL mesurent l'extinction du rayonnement solaire due aux particules et aux molécules qui composent l'atmosphère.



Photomètre automatique CIMEL



Photomètre portable CIMEL

Figure 4 : Les photomètres utilisés

Le signal mesuré par le photomètre, sous forme de comptes numériques (CN) est directement proportionnel à l'éclairement énergétique reçu E_λ . Il s'exprime, d'après l'équation (4) par :

$$CN_\lambda = CN_\lambda^0 \cdot e^{-m\delta_\lambda} \quad \text{Eq. 9}$$

CN_λ^0 représente le compte numérique que mesurerait le photomètre à la longueur d'onde λ au sommet de l'atmosphère. C'est la constante d'étalonnage de l'appareil.

On détermine cette valeur par la méthode des droites de Bouguer :

On trace le logarithme des comptes numériques mesurés en fonction de masses d'air différentes. (cf figure)

L'ordonnée à l'origine nous fournit la valeur CN_λ^0 des comptes numériques que l'on mesurerait hors atmosphère.

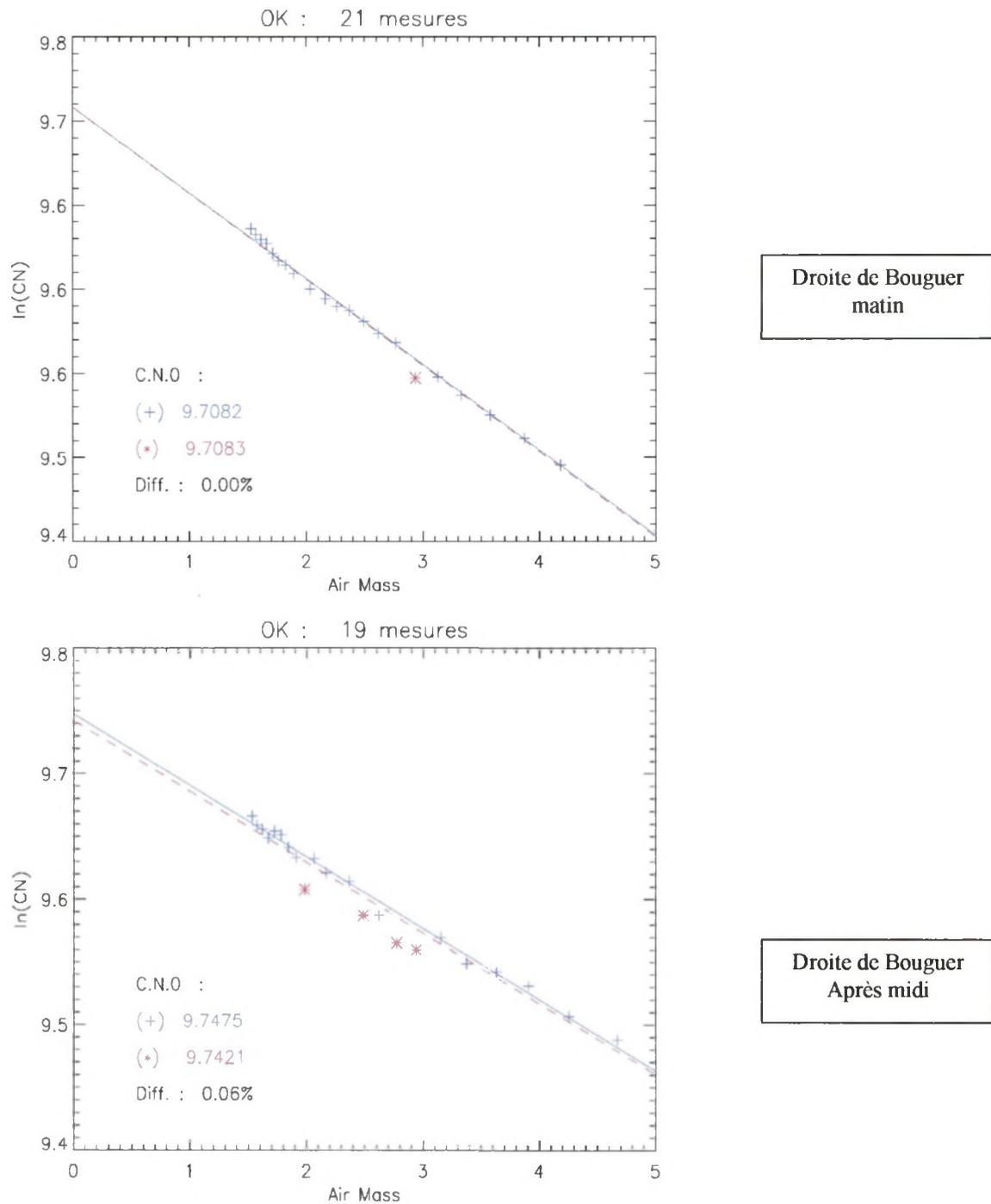


Figure 5 : Exemples de droites de Bouguer

Connaissant CN_{λ}^0 et m (fonction de l'heure de la mesure), on peut donc en déduire δ_{λ} . (cf équation 5)
 Les épaisseurs optiques rayleigh et ozone pouvant être modélisées, on en déduit alors aisément l'épaisseur optique aérosol δ_{λ} . (cf équation 3)

3.2.5 Les mesures acquises sur le site de WIMEREUX

Depuis l'année 1995, un photomètre automatique CIMEL est en place à WIMEREUX. A partir de cet appareil, nous effectuons des mesures SUN (visées du soleil), lesquelles nous permettent de suivre les variations de l'épaisseur optique. Cet instrument fonctionne de manière automatique et sa mise en route est conditionnée par la valeur de l'angle solaire zénithal.

Deux autres protocoles de mesures (Plan principal et Almucantar) sont effectués à des intervalles de temps plus espacés. Ces mesures permettent, quant à elles, de déterminer la granulométrie des particules présentes dans l'atmosphère.

Toutefois, les données acquises n'ont de signification que si elles l'ont été par une journée bien ensoleillée, sans voile nuageux devant le soleil. La période la plus propice aux mesures sur le littoral se situe donc généralement entre les mois d'**Avril** et **Septembre**.

Cf. Les tableaux en annexe qui résument les jours de fonctionnement du photomètre automatique – CIMEL de l'année 1996 à 2001. Données recueillies pour le site de WIMEREUX

3.2.6 Coefficient d'Angström et épaisseur optique aérosol

→ Relation entre l'épaisseur optique et la taille des particules

L'épaisseur optique des aérosols est proportionnelle à la quantité d'aérosols présente dans l'atmosphère.

Le coefficient d'angström caractérise quant à lui leur taille.

Qu'en est il lorsque l'on trace les épaisseurs optiques aérosol à 670nm en fonction du coefficient d'Angström 870/670 ?

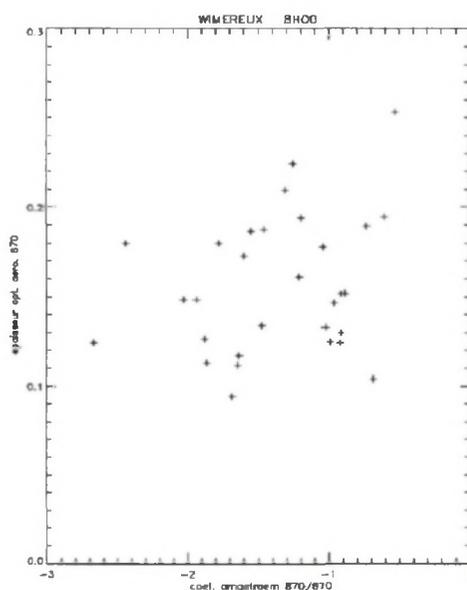


Figure 2

L'étude sur WIMEREUX semblerait nous montrer que plus les particules sont petites, moins elles sont nombreuses.

Cependant, le nombre de points dont nous disposons est insuffisant pour que la tendance observée soit significative.

D'autre part, il serait intéressant de compléter cette étude en y incluant des paramètres météo (vent, humidité relative) car les propriétés des particules observées sont probablement fonction de ces paramètres.

→ **Relation entre les coefficients d'Angström 870/670 et 670/440**

L'eau apparaît comme noire sur les images prises à 670 et 870 nm. On visualise donc aisément l'influence des aérosols sur ces images.

Par contre, à 440nm, le signal émis par l'eau est loin d'être négligeable. (On peut s'en rendre compte en observant la couleur bleu-vert de la mer).

Il devient donc impossible de déterminer directement l'épaisseur optique des aérosols à cette longueur d'onde, grâce aux données satellite.

Les mesures CIMEL ne présentent pas ce problème puisqu'elles sont effectuées depuis le sol. Ainsi, elles se prêtent bien à l'établissement d'une relation supplémentaire afin de déterminer l'épaisseur optique aérosol τ_a à 440nm.

Au dessus de l'eau, nous savons que :

$$\frac{\tau_a^\lambda}{\tau_a^{\lambda'}} = \alpha_{\lambda/\lambda'} \quad \text{Eq. 3}$$

Nous allons utiliser cette propriété pour déterminer τ_a à 440nm.

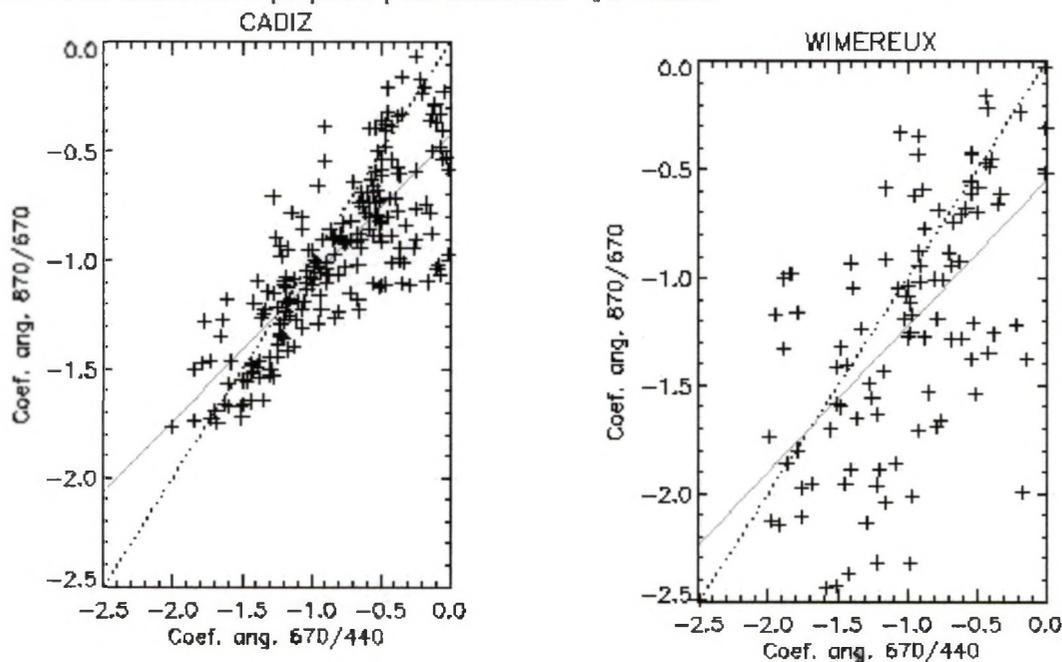


Figure 3

Le graphe tracé pour le site de Cadix nous montre qu'on peut, à cet endroit, déterminer une relation entre $\alpha_{870/670}$ et $\alpha_{670/440}$.

Connaissant $\alpha_{870/670}$, nous pouvons alors déterminer $\alpha_{670/440}$ et remonter, grâce à l'équation (10) à τ_a^{440nm} .

Cette relation est bien moins évidente lorsque l'on regarde le même graphe pour le site de Wimereux.

Ce site étant soumis à des régimes de vents très variables, il serait intéressant de refaire cette étude sur Wimereux, en tenant compte cette fois des directions et forces des vents, afin de voir si une relation plus évidente apparaît.

3.2.7 Influence des vents

Nous avons commencé à étudier l'impact de la direction du vent sur les valeurs des épaisseurs optiques et celles des coefficients d'Angström.

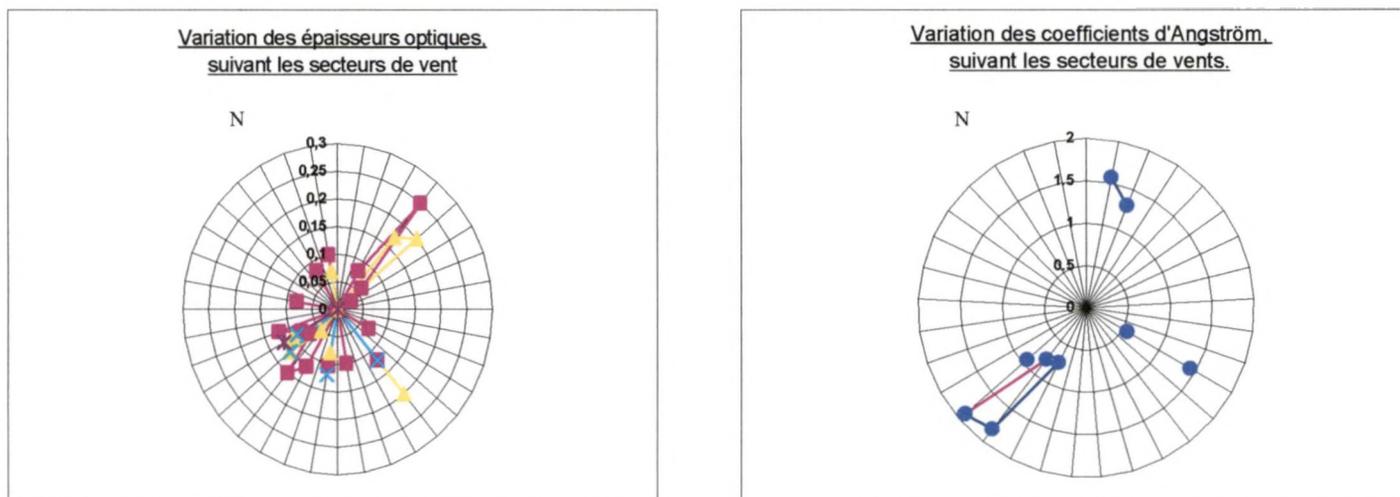


Figure 4 : Variation des paramètres atmosphériques en fonction des secteurs de vent

De manière évidente, les points se répartissent essentiellement pour des vents de sud-ouest et nord-est, qui correspondent aux directions des vents fréquemment rencontrés lors de journées bien ensoleillées.

Nous n'observons cependant rien de significatif concernant une variation de l'épaisseur optique en fonction du secteur de vent. Le jeu de données que nous avons traité est bien trop faible pour que l'on puisse observer une tendance.

La mise en confrontation de nos données atmosphériques avec des paramètres météorologiques est un travail fastidieux : l'idéal pour ce genre d'étude serait de disposer d'une base de données, ce qui nous permettrait de traiter, de manière systématique, un grand volume de données et donc de dégager des tendances plus marquées.

ANNEXE I
Relative au Chap. 3.2

Légende

| | |
|--|---|
| | Journées inexploitable |
| | Journées ensoleillées (ou avec apparition(s) du soleil) |
| | Périodes où il y a eu intervention sur l'appareil. |
| | Périodes où l'instrument n'était pas sur le site de Wimereux. |
| | Journées exploitables (Campagnes de mesures) |
| | Mesures Croisées |

ANNEE 1995

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Aout | | | | | | | | ■ | | ■ | | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | ■ | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| Novembre | | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 1996

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 1997

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 1998

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 1999

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 2000

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

ANNEE 2001

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
|-----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| Janvier | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Février | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mars | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Avril | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Mai | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juin | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Juillet | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Aout | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Septembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Octobre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Novembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Décembre | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

3.3 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS CHIMIQUES

3.3.1 Résultats des analyses des aérosols sur la région dunkerquoise par Opal'Air

Ci-dessous, vous trouverez un certain nombre de données Opal'Air résultant de deux campagnes de mesures effectuées à partir d'un laboratoire mobile, :

→ sur la commune de Bray-Dunes (stade municipal de la ville), du 19 au 30 juin 2000.

→ sur les communes de ZUYDCOOTE et HONDSCHOOTE, hiver 2001

Ces rapports reprennent non seulement les mesures de particules de poussières en suspension, mais aussi l'ensemble des polluants pouvant constituer un panache de pollution.

3.3.1.1 CAMPAGNE DE BRAY-DUNES JUIN 2000

→ Contexte de la campagne

Le but de cette campagne était d'appréhender l'impact réciproque des émissions régionales, qu'elles soient industrielles, urbaines ou liées au trafic routier, de part et d'autre de la frontière.

A l'issue des différentes campagnes prévues, sera étudiée l'implantation d'un site de mesures fixe (station dite « sentinelle ») pour la surveillance de la pollution gazeuse, des particules (PM10, Poussières sédimentables) et des paramètres météorologiques (gérés par le réseau OPAL' AIR).

Cette station d'observation - à vocation scientifique - permettra de mieux étudier des polluants dont la problématique de certains phénomènes doit s'envisager à une échelle plus large que le local ou le régional, notamment l'ozone (en tant que polluant gazeux) et les particules.

CARACTERISTIQUES DU SITE DE MESURES DE BRAY-DUNES

Situé à plus de 15 km à « vol d'oiseau » de la zone industrielle de Dunkerque et éloigné des sites industriels importants, il peut cependant subir l'influence de la circulation urbaine de la commune (faible pendant la saison pré-touristique) et de la rocade littorale A16 plus importante, notamment en terme de transports.

→ Conditions météorologiques pendant la campagne (se reporter aux courbes jointes en annexe)

Pris globalement, les paramètres furent plutôt défavorables avec absence de conditions de dispersions, notamment : pression atmosphérique, rareté des pluies et vents souvent faibles.

- Pression atmosphérique :

Prédominance de conditions à caractère anticyclonique jusqu'au 30 juin 2000.

- Température :

Présence d'un temps chaud et relativement sec.

Les températures sont restées supérieures aux normales saisonnières.

La température moyenne était de 15°C, avec un minimum de 8,4 °C (le 27/06 à 4 h) et un maximum de 30,8°C (le 19/06 à 12 h).

▪ Vent (vitesse et direction) :

Présence de vents modérés à faibles de secteur Sud-Ouest dominant puis Nord en fin de période.

▪ Humidité :

Humidité relative moyenne de 72 %.

▪ Pluviosité :

Inférieure à la normale saisonnière (10 mm) sur 3 jours.

On distingue deux périodes contrastées :

- 1^{ère} période du 19 au 24 juin avec des vents orientés au secteur Sud-Ouest, apportant un temps très chaud et sec
- 2^{ème} période à partir du 24 juin avec l'établissement d'un régime de vents de secteurs Nord (Nord-Ouest puis Nord-Est) avec des températures plus basses.

Au cours de la journée du 20 juin, a été observé un phénomène de brise côtière. Ce dernier a eu des conséquences limitées en raison des conditions de nature orageuse, présentes en soirée sur la région.

Durant la journée du 19 juin, le vent synoptique a laissé la place à une condition de stagnation entraînant des conditions de dispersion médiocres. On a pu enregistrer ponctuellement une influence - limitée en concentration gazeuse mais plus significative pour les particules fines - de la zone industrielle Dunkerquoise sur la partie Est du Littoral.

→ **Bilan de la campagne (polluant par polluant)**

Remarques préliminaires – Précautions d'usage :

Le présent site de mesures s'apparente à un site rural. A ce titre, il donne une bonne indication de la pollution ambiante. Les mesures enregistrées ne sont représentatives que de la période considérée et dans une certaine mesure de la saison. Pour une caractérisation complète du secteur concerné, d'autres campagnes seront nécessaires à d'autres périodes de l'année, notamment en hiver.

▪ Dioxyde de Soufre SO₂ :

Ce polluant est émis par la combustion des combustibles fossiles, les sources fixes industrielles et les chauffages domestiques en hiver uniquement.

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air.

Les niveaux mesurés sont restés extrêmement faibles tant pour ce qui concerne le «bruit de fond » que pour les valeurs des maxima horaires.

Ce fait est confirmé par l'absence de sources industrielles à proximité immédiate. Cependant, il conviendra de faire un état des lieux pour évaluer l'apport des chauffages domestiques pour l'hiver 2000.

- Oxydes d'Azote NO - NO₂ :

Ce polluant résultant de toutes les formes de combustion provient principalement des sources mobiles (véhicules).

Seul le dioxyde d'azote NO₂ fait l'objet, ceci depuis plus de dix ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air.

Les premières mesures ont été modérées autant pour le «bruit de fond » que pour les valeurs extrêmes.

Les maxima horaires étaient de 105 µg/m³ pour le NO₂ (seuil de "mise en vigilance" à 120 µg/m²) et 10 µg/m³ pour le NO.

D'autres campagnes seront nécessaires - notamment en période hivernale - pour évaluer l'apport des chauffages domestiques ; les plus forts taux d'oxydes d'azote étant souvent observés pendant cette période.

- Ozone O₃ :

Ce polluant secondaire, c'est-à-dire non émis directement par une source, résulte du mécanisme photochimique à partir de précurseurs (NO_x, C.O.V) principalement en été sous l'action du rayonnement UV solaire. Il provient essentiellement des sources mobiles.

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air.

Les niveaux mesurés ont été élevés tant en ce qui concerne le «bruit de fond » que pour les valeurs extrêmes. Ils correspondent à des valeurs normalement mesurées en cette saison pour des sites comparables.

Les moyennes journalières se situent dans la fourchette à 38 – 67 µg/m³.

Le maximum horaire atteint était de 154 µg/m³, le 19/06 vers 15 h ; soit une valeur dépassant le seuil 1 de vigilance.

Episode photochimique des 19 et 20 juin :

Compte tenu des conditions météorologiques présentes, les valeurs observées peuvent être attribuées :

- pour la journée du 19 juin, à un apport externe ;
- pour le lendemain, compte tenu de la réorientation des vents en cours de journée, on peut penser qu'à une formation d'ozone locale (résidu d'ozone de la veille non détruit pendant la nuit) s'ajoute probablement un apport extérieur

L'examen détaillé des variations locales du vent observé avec les teneurs en O₃, au regard des directions de vent fournies par les rétro trajectoires, montre un effet de brise de mer, avec passage du vent d'ouest à nord-ouest le 19 en milieu d'après-midi et nord-est le 20, induisant un retour maritime de l'ozone.

Les rétro trajectoires (J-3) - obtenues auprès de Météo-France - indiquant l'origine et le parcours de la masse d'air (via le Rhin, l'Alsace, la Lorraine et l'Ile de France) finissant sur la zone frontalière, confirme un apport potentiel des polluants photochimiques, dont de l'ozone et ses précurseurs.

▪ Monoxyde de Carbone CO :

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé. Il a pour origine tous les foyers de combustion. Ce composé chimique a la faculté de bien se disperser car il est très léger. Pour des raisons de proximité, il provient essentiellement des sources mobiles.

Les niveaux mesurés sont restés faibles tant en ce qui concerne le «bruit de fond» que pour les valeurs extrêmes. Elles ont été très en dessous des valeurs de référence.

En hiver, on pourrait observer des valeurs sensiblement plus élevées.

▪ Poussières en Suspension PM 10 :

Elles font l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air. En site urbain ou à proximité d'axes routiers, ces particules proviennent essentiellement des gaz d'échappement des véhicules à moteur à explosion, et plus particulièrement de ceux équipés de motorisation diesel.

Les niveaux mesurés sont restés moyens en valeurs extrêmes journalières principalement.

En hiver, on doit s'attendre à une augmentation sensible des concentrations en particules.

→ Résultats

| POLLUANTS | Moyennes Journalières | Date du maximum |
|-----------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 0-4 µg/m ³ | 20 juin |
| Monoxyde d'Azote NO | 0-2 µg/m ³ | 28 juin |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 3-42 µg/m ³ | 29 juin |
| Ozone O ₃ | 38-67 µg/m ³ | 20 juin |
| Monoxyde de Carbone CO | 0.1-0.2 mg/m ³ | 29 juin |
| Poussières en Suspension | 15-45 µg/m ³ | 20 juin |

Mini-maxi

| POLLUANTS | Moyennes Horaires | Date du maxi et heure |
|-----------------------------------|------------------------|-----------------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 37 µg/m ³ | 19 juin à 13 h |
| Monoxyde d'Azote NO | 10 µg/m ³ | 28 juin à 21 h |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 105 µg/m ³ | 28 juin à 16 h |
| Ozone O ₃ | 154 µg/m ³ | 19 juin à 15 h |
| Monoxyde de Carbone CO | 0.74 mg/m ³ | 28 juin à 9 h |
| Poussières en Suspension | 93 µg/m ³ | 20 juin à 18 h |

Maxi

(voir courbes pollution et météo en annexes)

→ Comparaison avec des données du réseau fixe pour les polluants traceurs

Ozone : Concernant les données mesurées sur les stations ozone du Littoral Dunkerquois, plusieurs concentrations dépassant les $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été enregistrées sur la journée du 19 juin, corrélées avec une faible valeur des concentrations en NO_x . Cette situation correspond au niveau de mise en vigilance (anciennement alerte de niveau 1), avec deux capteurs au dessus de $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne horaire dans une plage de 3 heures.

Les autres variations journalières sont similaires aux fluctuations observées sur Dunkerque Centre ou Petite-Synthe.

Dioxyde de soufre : Une comparaison avec la station de Malo-Terminus a été faite, car c'est la plus proche et elle est située dans le même axe par rapport à l'agglomération Dunkerquoise. Les valeurs sont cohérentes, car inférieures aux mesures faites sur le réseau fixe pour la même période. Elles rendent compte ainsi de la dispersion spatio-temporelle du polluant.

Oxydes d'azote : Il est difficilement envisageable de réaliser une inter comparaison car c'est un polluant de proximité instable par réaction photochimique.

Monoxyde de Carbone : Il ne serait pas pertinent de réaliser une comparaison car il s'agit d'un polluant de proximité stable chimiquement.

Poussières (PM 10) : Une comparaison est plus complexe à entreprendre, car les poussières peuvent être originaires de plusieurs sources potentielles (industries, trafic urbain et routier). La composante industrielle est généralement prépondérante. Elles peuvent faire l'objet de transport à moyenne et longue distance.

Dans le futur, les données sont à compléter par une mesure PM 2.5 pour connaître l'impact des véhicules diesel.

→ Résultats de la première phase d'intercomparaison

Un premier travail de comparaison entre les données recueillies de part et d'autre de la frontière sur deux sites - séparés d'environ 5 km à vol d'oiseau - a permis de dégager quelques enseignements intéressants :

- qualitativement, les courbes font apparaître des tendances quasi parallèles à plus de 90% du temps pour tous les polluants. Cependant, ponctuellement, il peut apparaître des effets locaux (de proximité) ;
- quantitativement, les valeurs mesurées (moyennes ou maxima horaires) sont du même ordre de grandeur à quelques pour-cent près (5 à 10%). De la même façon, on obtient des valeurs sensiblement plus élevées sur quelques polluants lors de courtes périodes isolées. Ce phénomène concerne le dioxyde d'azote NO_2 et les PM 10.

On a pu observer lors de l'épisode photochimique des 19 et 20 juin 2000, des valeurs maximales en ozone identiques ($154 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et des valeurs moyennes égales ou très proches.

Du point de vue métrologique, les appareillages utilisés sont du même type ou de performance équivalente.

→ Évaluation de l'influence des zones

Compte tenu des facteurs météorologiques et notamment du vent, le point de mesures s'est trouvé sous l'influence de différents secteurs :

- marin (mer du Nord) : 30 %
- terrestre rural (Flandres) : 30%
- agglomération dunkerquoise : 15 %
- agglomérations belges-flamandes : 10 %
- locales : 15 %

→ Conclusion

Cette première campagne a permis une approche du contexte local et un repérage des sites de mesures potentiels. Elle a permis d'avoir une estimation globale de la pollution en conditions estivales "classiques".

On a été en présence d'un épisode photochimique du 19 au 20 juin, d'ampleur modérée, mais tout à fait intéressant du point de vue du phénomène lui-même.

La qualité de l'air est globalement restée bonne sur le site. L'influence des zones industrielles a été très peu ressentie pour les polluants gazeux et modérée pour les particules. Les valeurs mesurées ont respecté les directives européennes et les valeurs références.

Le seul problème que l'on a été amené à rencontrer, en été, est la pollution photochimique (ozone) lors d'épisodes de chaleur. Ce phénomène - limité dans le temps - ne concerne au plus que quelques jours dans l'année, et touche indifféremment toute la zone Transmanche - Mer du Nord avec des apports extérieurs (agglomérations régionales et îles britanniques) souvent prépondérants. Son ampleur est également limitée par les conditions littorales locales qui induisent un air plus frais (régime de brise côtière) que celui régnant plus à l'intérieur des terres, notamment dans les grandes agglomérations.

Les mesures enregistrées, compte tenu de l'éloignement relatif de sources industrielles, ont pour origine principale la pollution urbaine, notamment le trafic. Dans le cas que constitue l'ozone, l'origine peut être mixte. En plus de la fabrication photochimique "locale" s'ajoute probablement une composante extérieure.

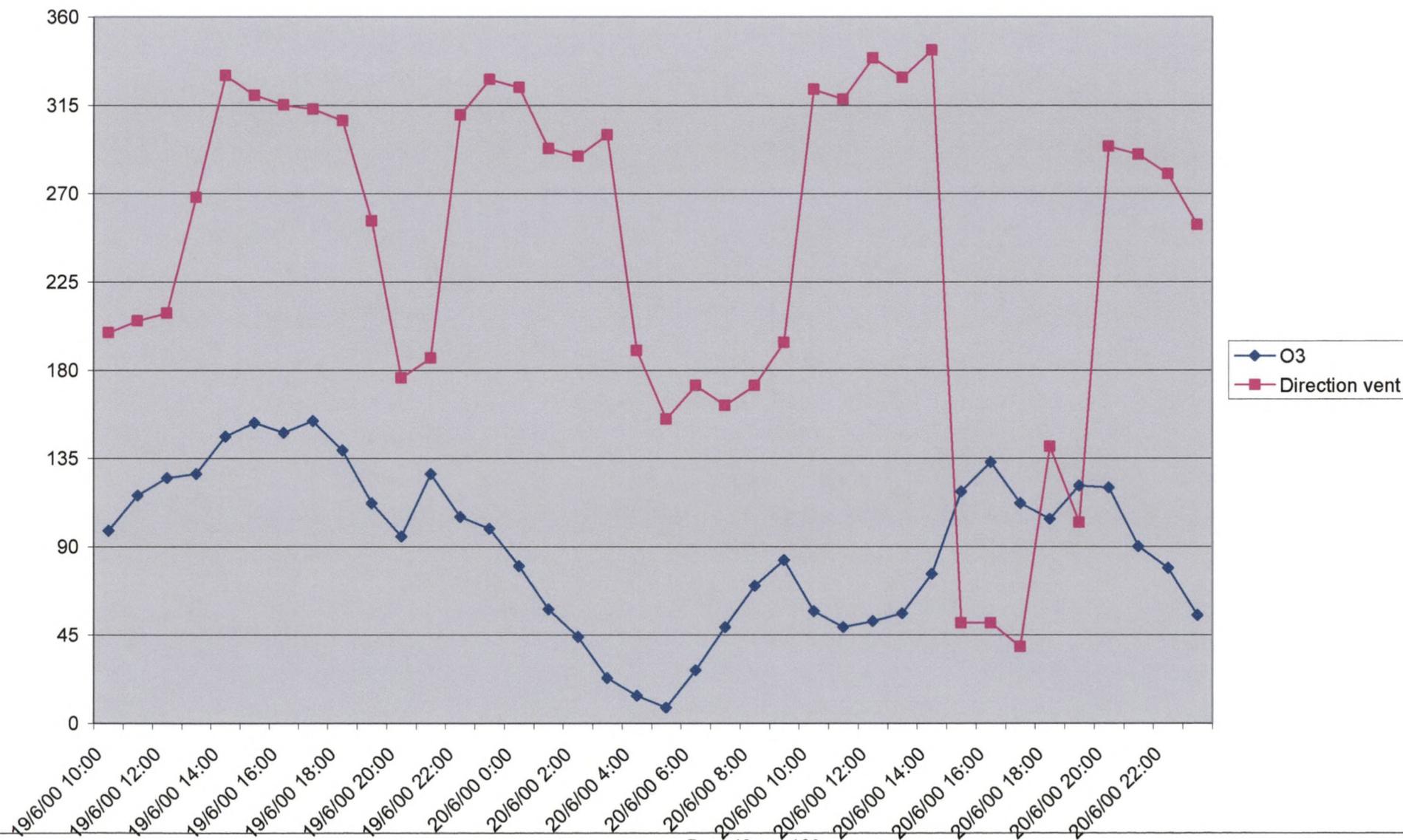
Ces faits seront à confirmer notamment avec les résultats obtenus par nos collègues du Kent.

Ces premiers résultats de mesures sont encourageants car cohérents. Ils sont aussi la preuve de la bonne fiabilité des mesures. Ils confirment l'intérêt de ce type d'études et mettent en avant l'importance de la connaissance des mécanismes de transfert des polluants atmosphériques gazeux (ozone) et particules fines (PM 10).

Ainsi, sur ces points, d'autres campagnes seront nécessaires pour couvrir, notamment, d'autres types de situations climatiques.

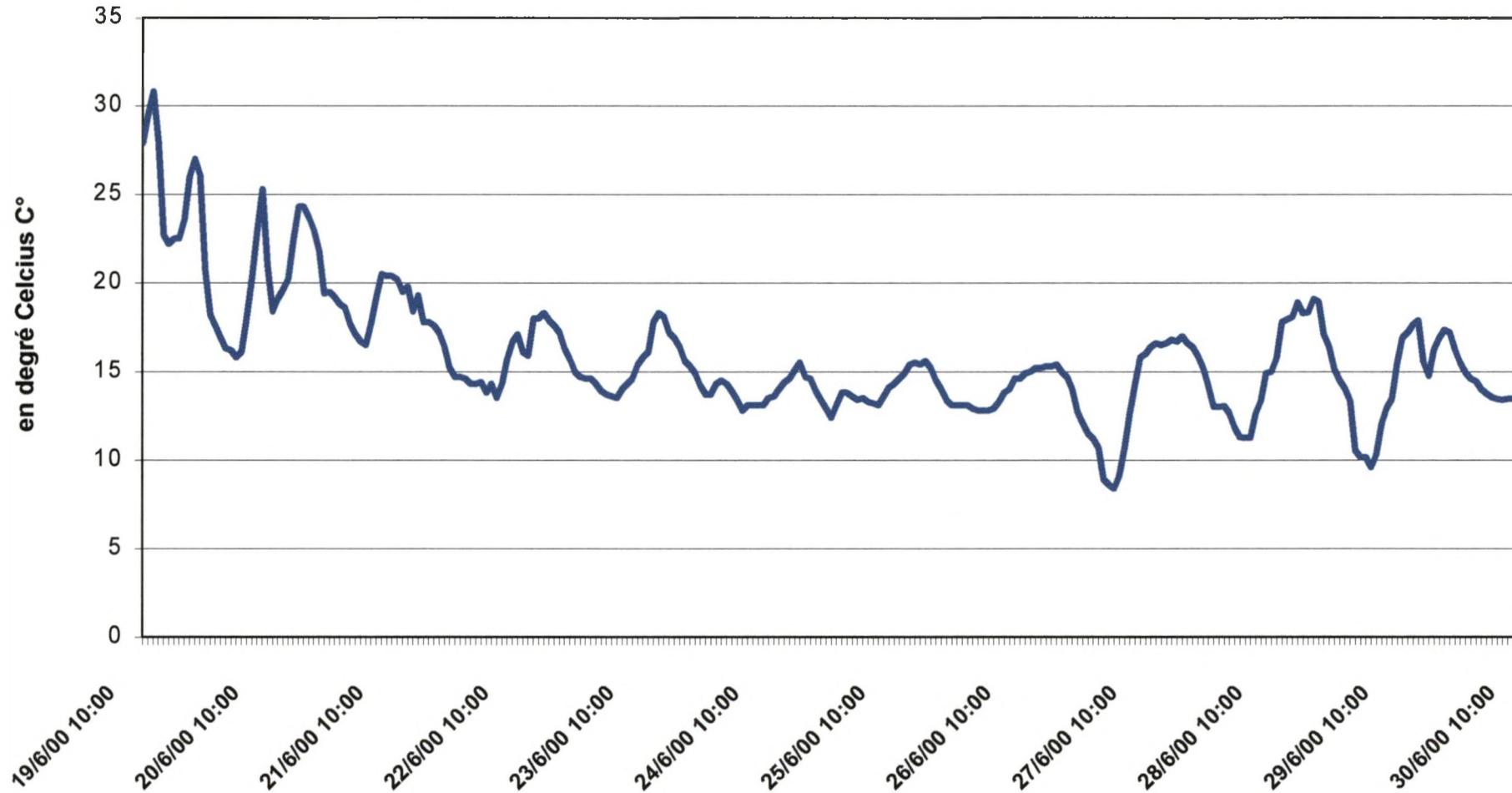
ANNEXE II

Relative à la campagne de Bray-Dunes
Juin 2000

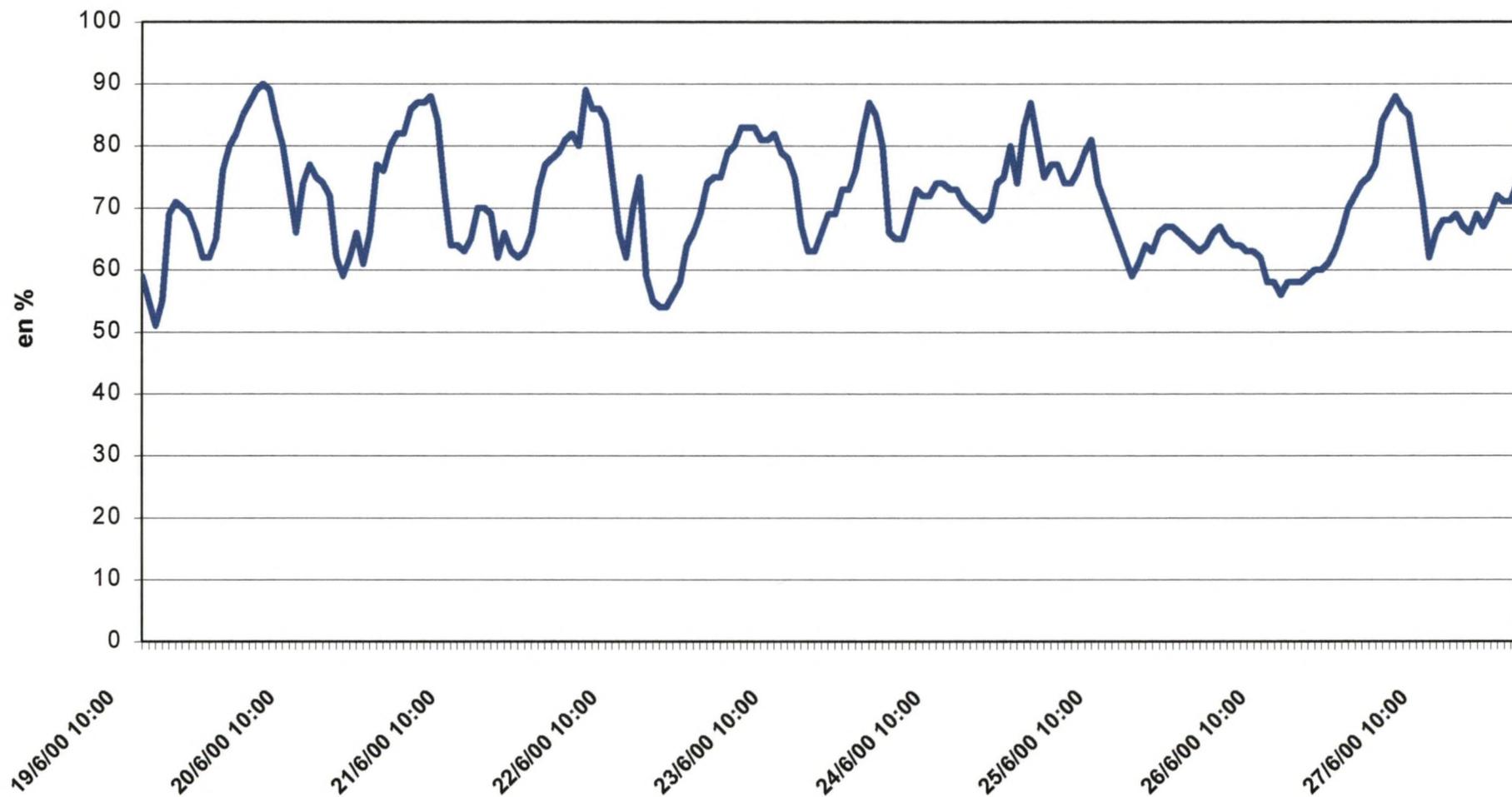


| VALEURS LIMITES ET OBJECTIFS DE QUALITE | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|----------|-------------------------|-----------------------|---------------|---------------------------|----------------|---------------------|----------------------|
| Polluants | Valeurs Limites | | | Valeurs Seuils Alerte | Base | Objectifs de Qualité | Base | Observations | Période de Référence |
| | | période | base | | | | | | |
| SO ₂ | 80 µg/m ³ (1) | annuelle | médiane moy. Jour | 600 µg/m ³ | moy. horaire | 40 - 60 µg/m ³ | moy.an | santé | an tropique |
| | 120 µg/m ³ (2) | annuelle | médiane moy. Jour | | | | | | |
| | 130 µg/m ³ (3) | hiver | médiane moy. Jour | | | | | | |
| | 180 µg/m ³ (4) | hiver | médiane moy. Jour | | | | | | |
| | 250 µg/m ³ (5) | annuelle | percentile 98 moy. Jour | | | | | | |
| | 350 µg/m ³ (6) | annuelle | percentile 98 moy. Jour | | | | | | |
| NO ₂ | 200 µg/m ³ | | horaire | 400 µg/m ³ | percentile 98 | 50 µg/m ³ | percentile 50 | santé | an civil |
| | | | | | (moy.horaire) | 135 µg/m ³ | percentile 98 | | |
| | | | | | | | (moy. Horaire) | | |
| O ₃ | | | | 360 µg/m ³ | horaire | 200 µg/m ³ | horaire | santé | an civil |
| | | | | | | 110 µg/m ³ | moy. 8 h | santé | |
| | | | | | | 65 µg/m ³ | moy. jour | protection végétaux | |
| CO | | | | | | 10 mg/m ³ | moy. 8 h | santé | an civil |
| Poussière en suspension PM 10 | | | | | annuelle | 30 µg/m ³ | | | |
| Benzène | | | | | | 2 µg/m ³ | moy. An | santé | an civil |
| (1) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est supérieure à 40 µg/m ³ | | | | | | | | | |
| (2) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est inférieure ou égale à 40 µg/m ³ | | | | | | | | | |
| (3) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est supérieure à 60 µg/m ³ | | | | | | | | | |
| (4) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est inférieure ou égale à 60 µg/m ³ | | | | | | | | | |
| (5) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est supérieure à 150 µg/m ³ - pas de dépassement plus de 3 jours consécutifs de 250 | | | | | | | | | |
| (6) Si la valeur correspondante pour les particules en suspension est inférieure ou égale à 150 µg/m ³ - pas de dépassement plus de 3 jours consécutifs de 350 | | | | | | | | | |

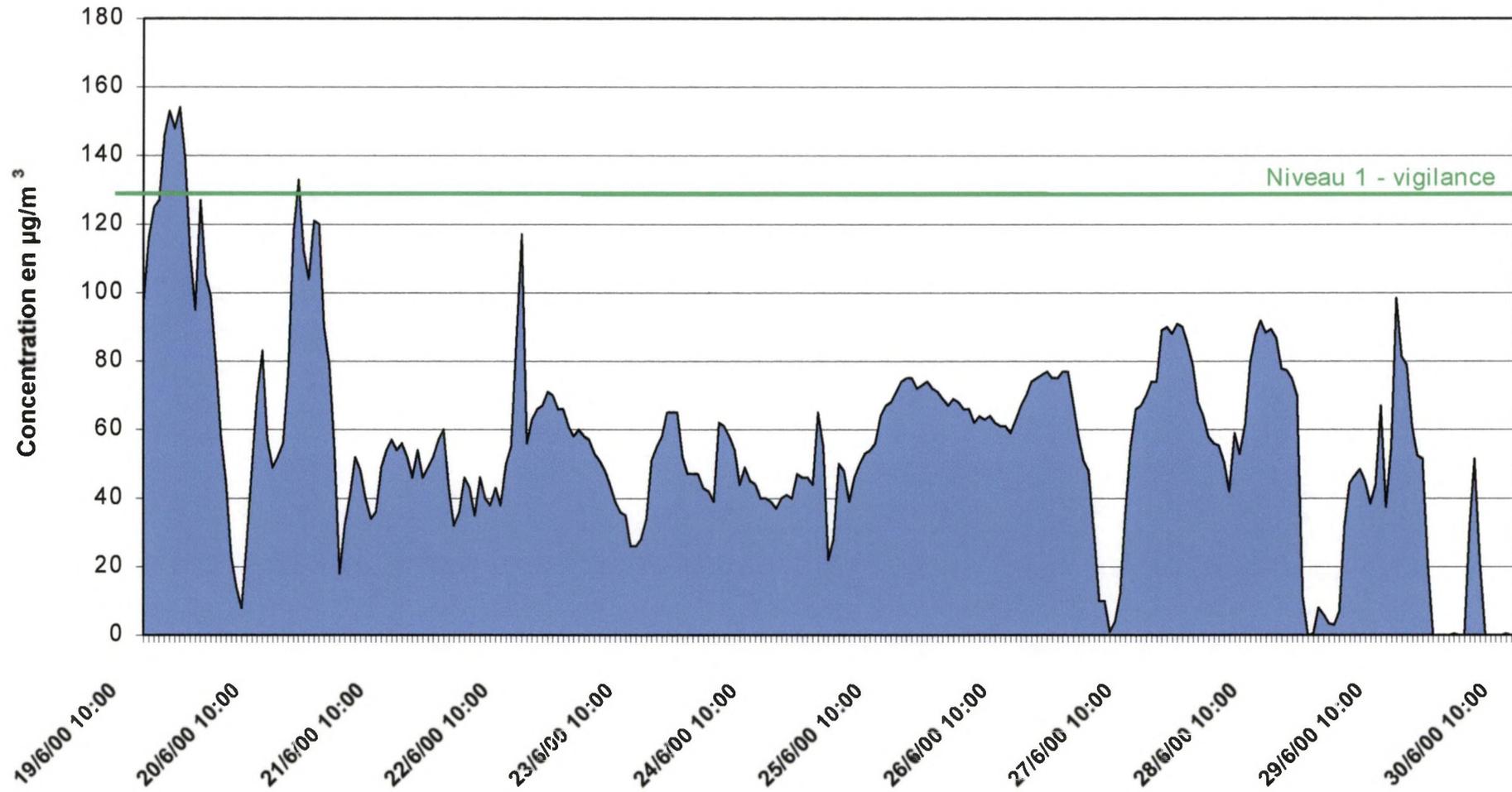
Température de l'Air - BRAY-DUNES



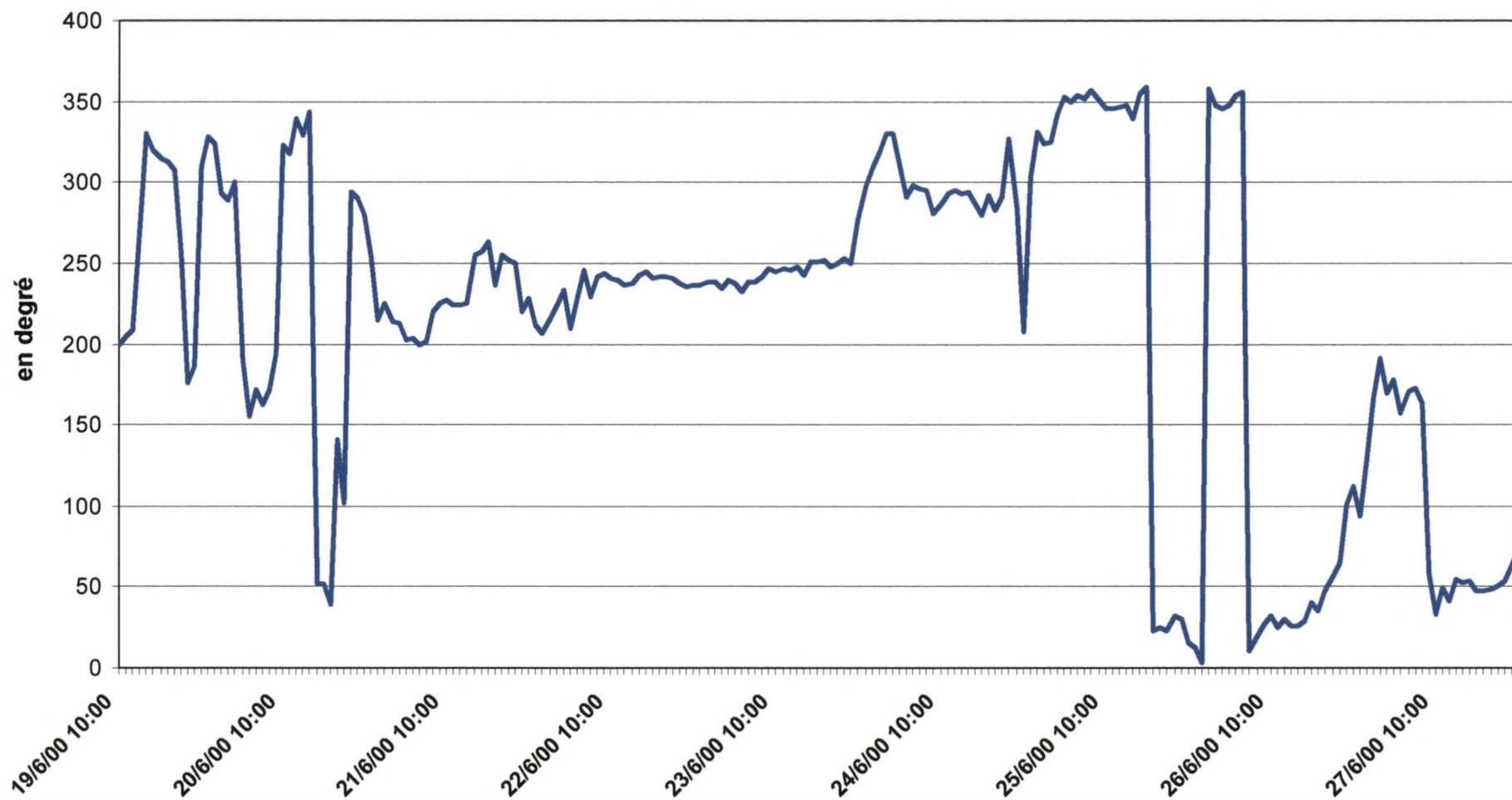
Humidité - BRAY-DUNES



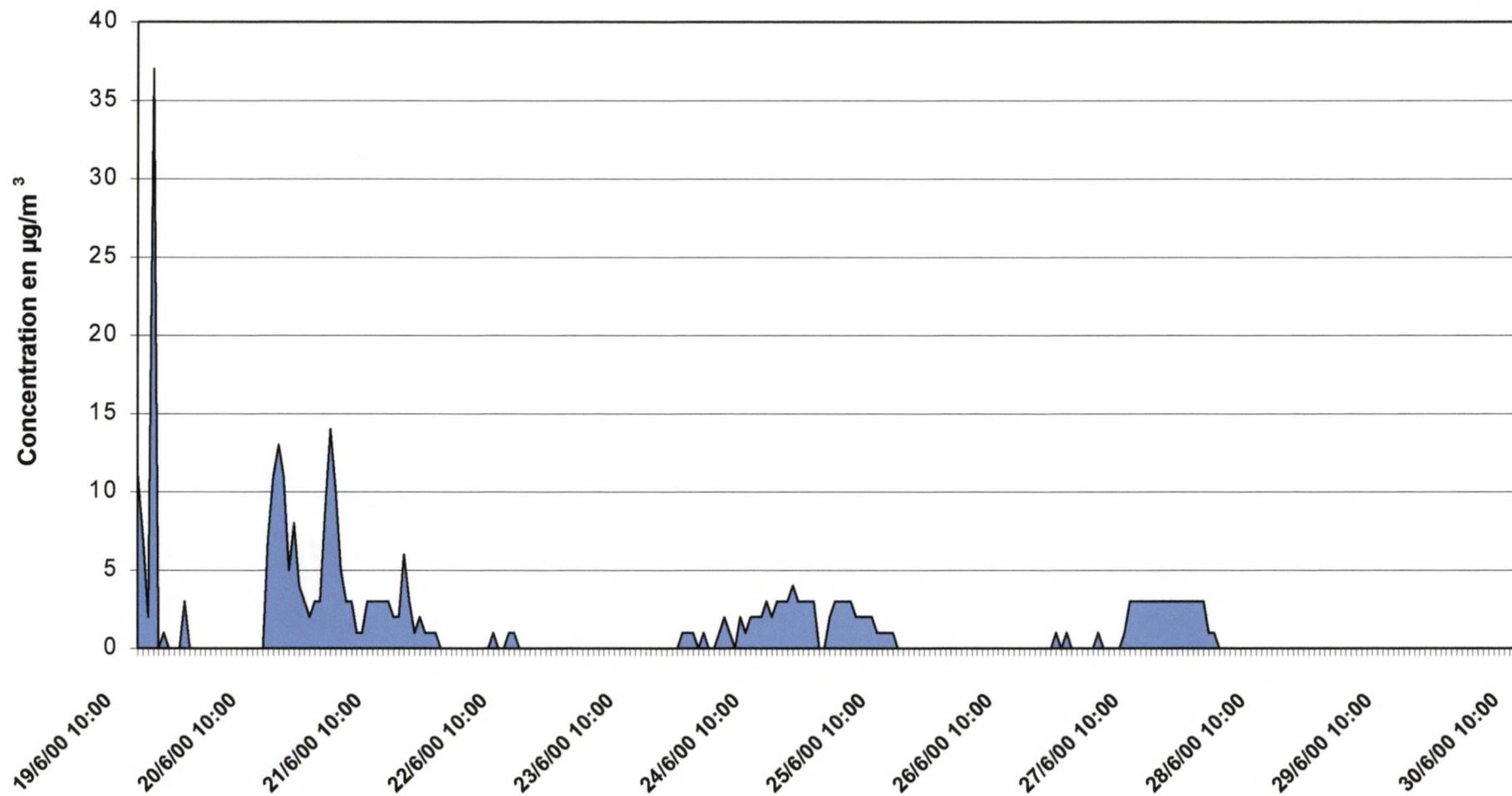
Ozone O₃ - BRAY-DUNES



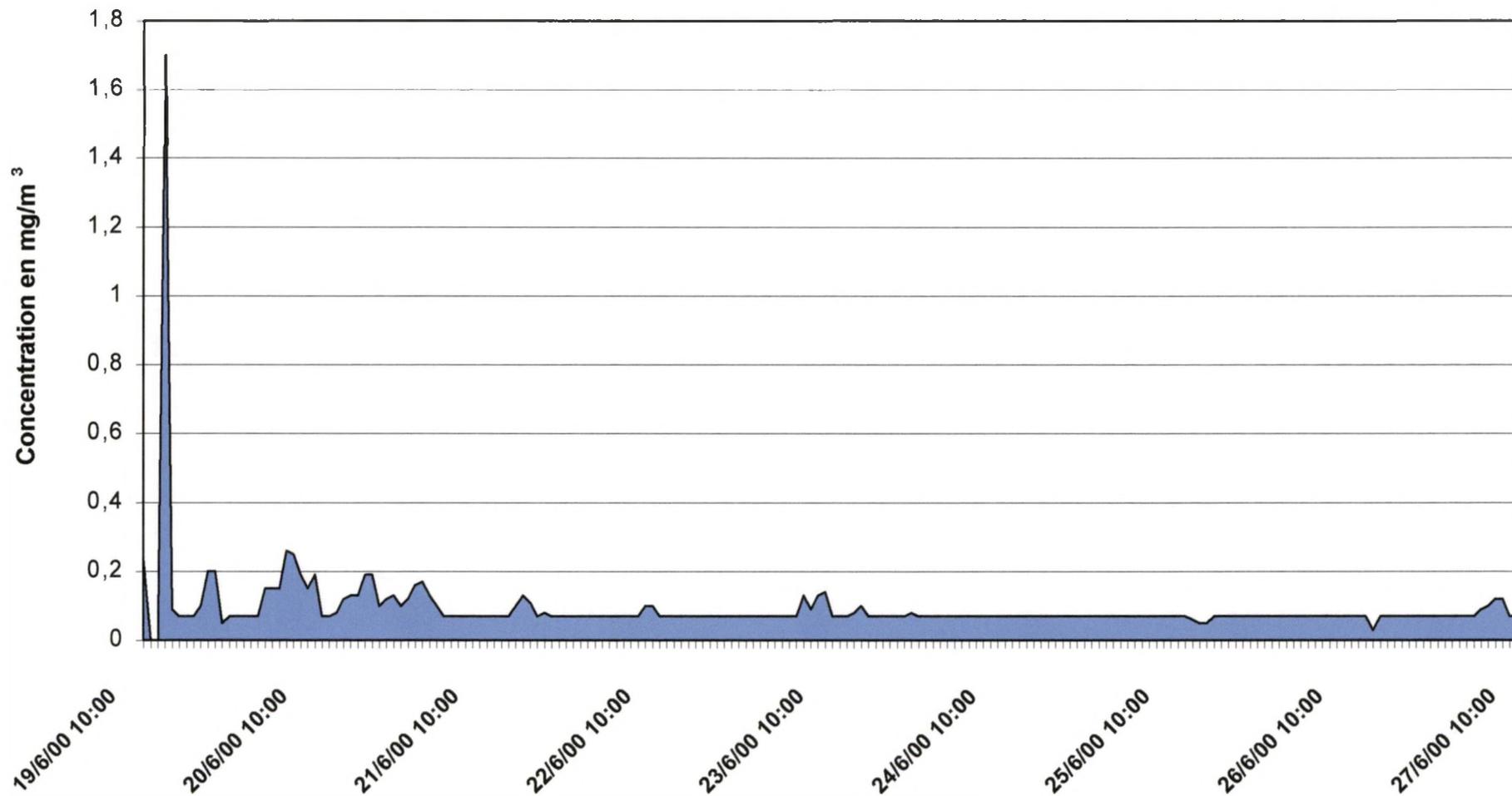
Direction du Vent - BRAY-DUNES



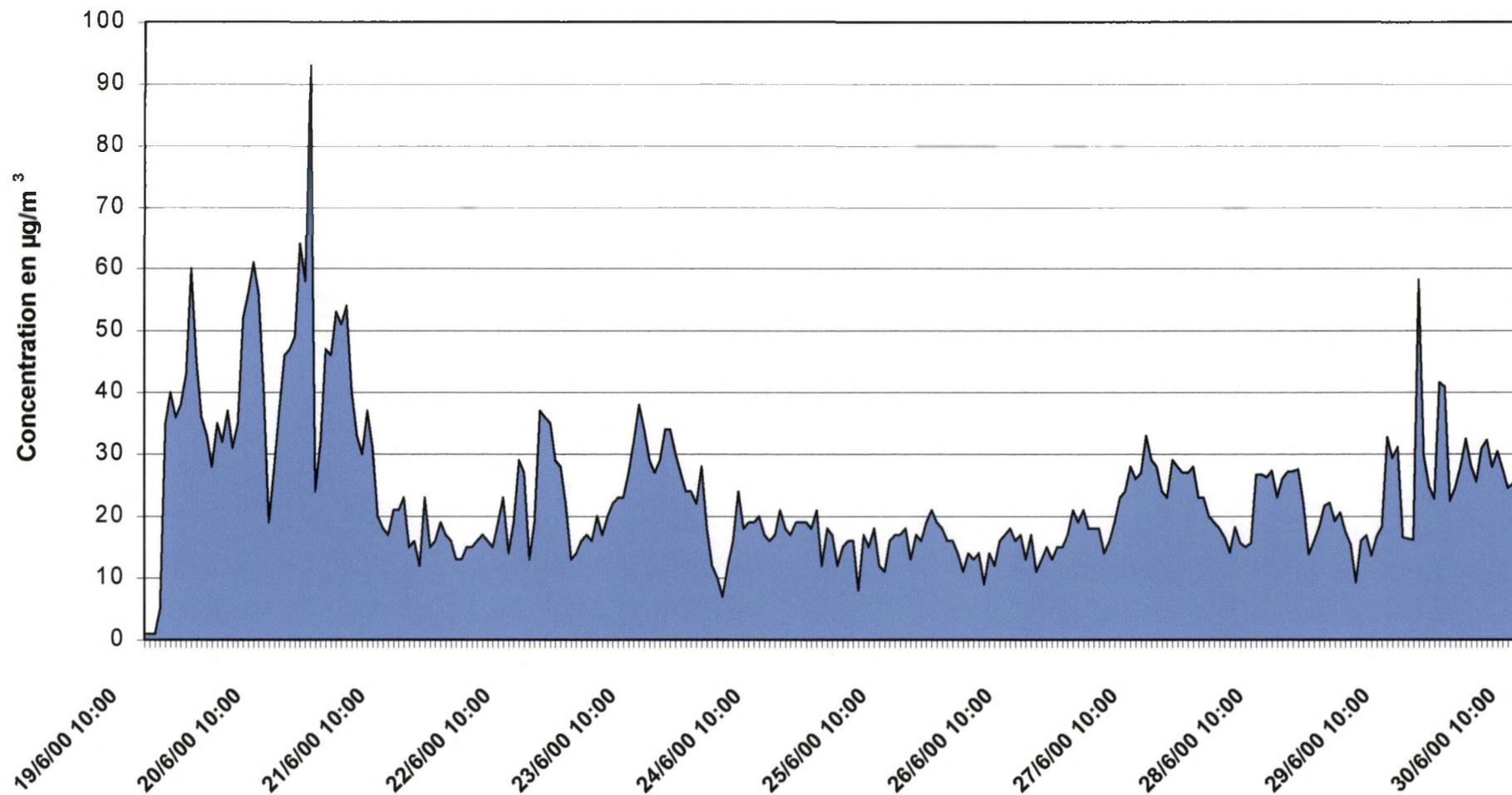
Dioxyde de Soufre SO₂ . BRAY-DUNES



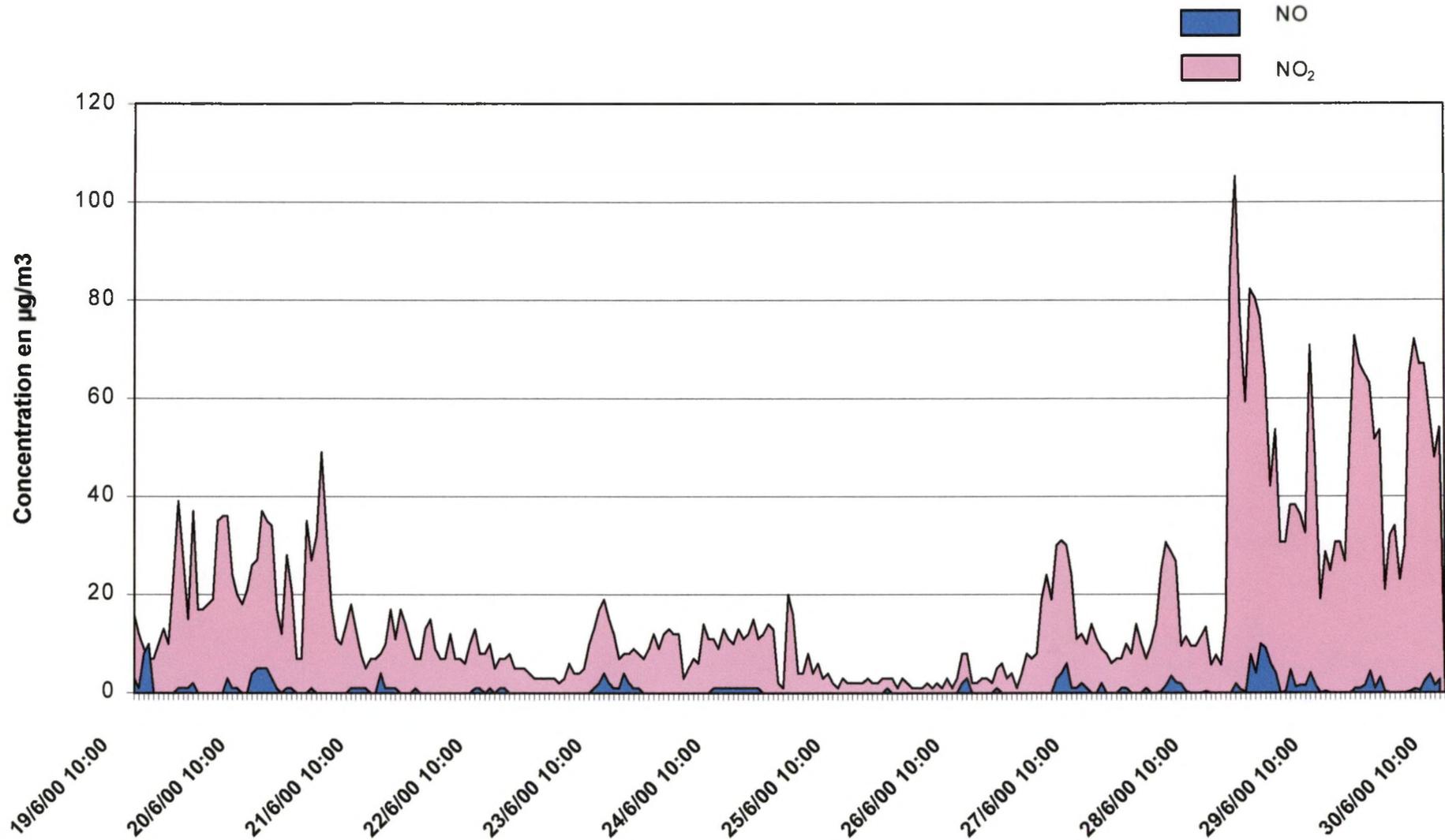
Monoxyde de Carbone CO - SAINT-MARTIN-au-LAERT Laboratoire Mobile n°1



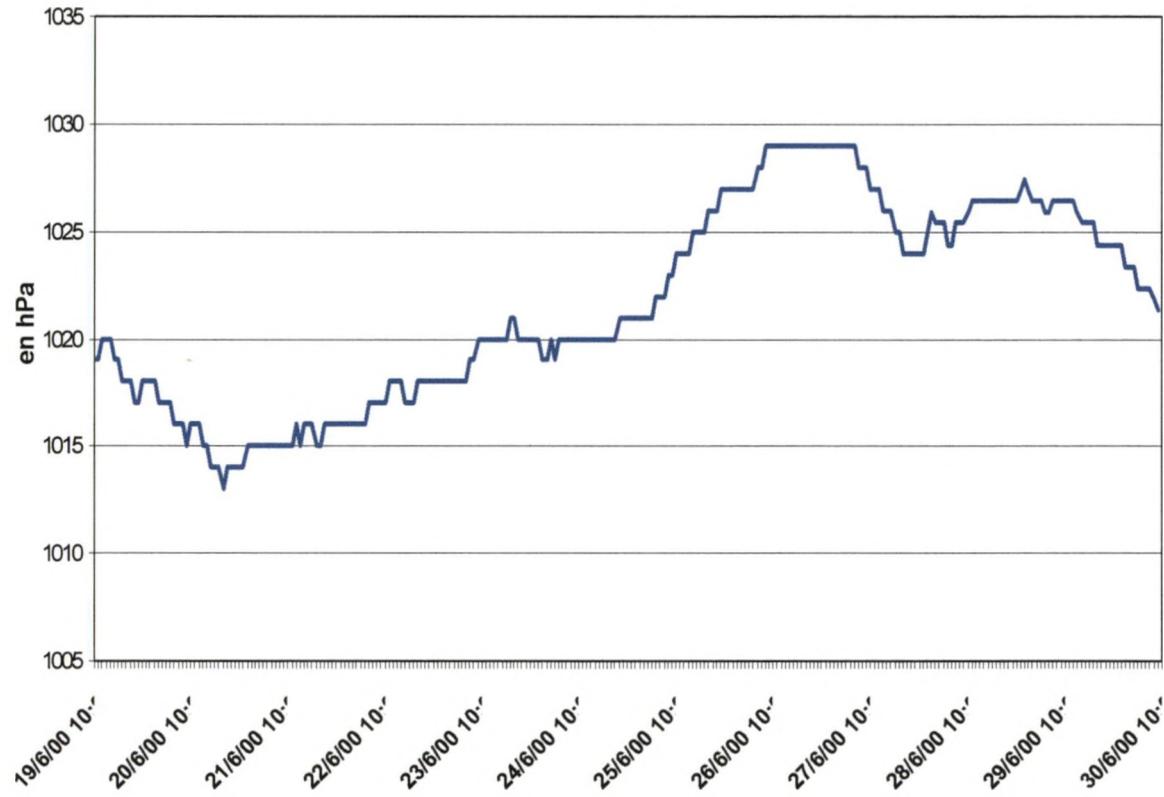
Poussières en Suspension - BRAY-DUNES



Oxydes d'Azote NOx - BRAY-DUNES



Pression Atmosphérique - BRAY-DUNES



3.3.1.2 CAMPAGNE DE ZUYDCOOTE ET HONDSCHOOTE - HIVER 2001

→ SITUATION

UNITE MOBILE N°1

- Lieu : Commune de ZUYDCOOTE
- Présence sur site : du 23 janvier au 1^{er} février 2001
Au parking de la plage

UNITE MOBILE N°2

- Lieu : Commune de HONDSCHOOTE
- Présence sur site : du 24 janvier au 5 février 2001
Au parking des Ateliers Municipaux

→ CONTEXTE DE LA CAMPAGNE

Dans le cadre de la poursuite du programme INTERREG-FLANDRES mené en collaboration avec nos homologues belges du VMM (Réseau Régional de Flandres) ainsi que les universités d'Anvers UIA et Littoral - Côte d'Opale ULCO, le réseau OPAL'AIR a effectué deux campagnes par l'intermédiaire des Unités Mobiles.

En effet, suite aux deux précédentes campagnes de juin et décembre 2000, il a été décidé d'élargir le maillage entre les différents laboratoires mobiles disposés en triangle d'environ 10 Km de côté ; deux unités mobiles (VMM et unité mobile n°1 OPAL'AIR) localisées à proximité immédiate de la bordure littorale et la troisième (unité mobile n°2 OPAL'AIR) à l'intérieur des terres le long de la frontière.

D'autres campagnes devraient suivre sur d'autres sites et à d'autres saisons, le but étant d'appréhender l'impact réciproque des émissions régionales qu'elles soient industrielles, urbaines ou liées au trafic routier, de part et d'autre de la frontière.

A l'issue des campagnes sera étudiée la possibilité d'implantation d'un site de mesures fixe (station dite « sentinelle ») pour la surveillance de la pollution gazeuse, des particules (PM10, PM 2.5 et poussières sédimentables) et des paramètres météo (gérés par le réseau OPAL'AIR).

Cette station d'observation - à vocation scientifique - permettra de mieux étudier certains phénomènes devant s'envisager à une échelle plus large que le local ou le régional, notamment l'ozone et les particules.

Ces opérations sont également l'occasion d'échanges en matière de métrologie, par exemple, au profit de chacun des réseaux et de la surveillance en général.

▪ CARACTERISTIQUES DU SITE DE MESURE

Situés respectivement à plus de 10 et 15 km à « vol d'oiseau » de la zone industrielle de Dunkerque et très éloignés de tout émetteur industriel important, les sites de mesure peuvent cependant subir

l'influence de la circulation urbaine de la commune (faible en cette saison) et de l'autoroute littorale A16 plus importante, notamment en terme de transport.

**→ CONDITIONS METEOROLOGIQUES PENDANT LA CAMPAGNE
(se reporter aux courbes jointes en annexe)**

Pris globalement, les paramètres furent plutôt favorables à une bonne dispersion des polluants atmosphériques, et notamment : pression atmosphérique, température et épisodes pluvieux.

▪ Pression atmosphérique :

Conditions dépressionnaires en début de période, puis retour à des conditions anticycloniques.

▪ Température :

Présence d'un temps frais et humide.

Les températures sont restées conformes aux normales saisonnières.

La température moyenne était de 5,4°C, avec un minimum de - 3,1°C (le 01/02 à 4 h) et un maximum de 12,1°C (le 23/01 à 23 h).

▪ Vent (vitesse et direction) :

Présence de vents modérés de secteur Sud dominant.

▪ Humidité :

Humidité relative moyenne assez élevée de 89,5 %.

▪ Pluviosité :

34 mm - source Météo-France.

→ BILAN DE LA CAMPAGNE (polluant par polluant)

Remarques préliminaires – Précautions d'usage :

Le présent site de mesures s'apparente à un site rural. A ce titre, il donne une bonne indication de la pollution ambiante. Les mesures enregistrées ne sont représentatives que de la période considérée et dans une certaine mesure de la saison.

- Dioxyde de Soufre SO₂ :

Ce polluant est émis par la combustion des combustibles fossiles, les sources fixes industrielles et les chauffages domestiques (en hiver uniquement).

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air.

Les niveaux mesurés sont restés faibles tant pour ce qui concerne les moyennes journalières que pour les valeurs de maxima horaires.

Cependant, à certaines périodes, les valeurs ont été sensiblement plus élevées que pour la campagne d'été. Elles ont pour origine essentielle des sources locales - en l'occurrence - l'apport des chauffages domestiques.

- Oxydes d'Azote NO_x (NO - NO₂) :

Ce polluant résultant de toutes les formes de combustion provient principalement des sources mobiles (véhicules).

Seul le dioxyde d'azote NO₂ fait l'objet, ceci depuis plus de dix ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air. Le monoxyde d'azote NO, impliqué dans plusieurs réactions photochimiques, peut se recombinaison et former du NO₂.

Les premières mesures ont été modérées tant pour les valeurs journalières que pour les maxima horaires. La valeur maximale journalière est restée inférieure à l'objectif de qualité (médiane annuelle). Les maxima horaires étaient de 67 µg/m³ pour le NO₂ et de 114 µg/m³ pour le NO.

De même que pour le SO₂, les valeurs ont été sensiblement plus élevées que pour la campagne d'été, s'expliquant également par l'apport des chauffages domestiques, les plus forts taux d'oxydes d'azote étant souvent observés pendant cette période.

- Ozone O₃ :

Ce polluant secondaire, c'est-à-dire non émis directement par une source, résulte du mécanisme photochimique à partir de précurseurs (NO_x, C.O.V) principalement en été sous l'action du rayonnement UV solaire. Il provient essentiellement des sources mobiles.

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites et de seuils ou niveaux d'alertes dans le cadre de la loi sur l'Air.

Les niveaux mesurés sont restés inférieurs à ceux mesurés en été autant pour les moyennes journalières que pour les valeurs extrêmes (maxima horaires).

Cependant, des niveaux qui ne correspondent pas à des valeurs que l'on devrait mesurer en cette saison ont été observés, des moyennes journalières supérieures à 50 µg/m³.

Le maximum horaire atteint était de $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le 05/02 vers 20 h.

Ce phénomène s'explique par des phénomènes de transport à plus grande échelle avec pour partie des apports extérieurs.

▪ Monoxyde de Carbone CO :

Il fait l'objet, depuis plus de vingt ans, de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé. Il a pour origine tous les foyers de combustion. Ce composé chimique a la faculté de bien se disperser car il est très léger. Pour des raisons de proximité, il provient essentiellement des sources mobiles.

Les niveaux mesurés sont restés bas, et même en dessous des niveaux de référence tant en ce qui concerne le «bruit de fond» que pour les valeurs extrêmes.

En hiver, on observe des valeurs sensiblement plus élevées qu'au cours de la campagne d'été, liées ici aussi à l'apport des chauffages domestiques.

▪ Poussières en Suspension - PM 10

Elles font l'objet, depuis plus de vingt ans de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé, de directives européennes et plus récemment d'objectifs de qualité, de valeurs limites dans le cadre de la loi sur l'Air. Ces particules proviennent essentiellement des activités industrielles mais aussi d'autres activités humaines (trafic, chauffage et travaux), et pour les plus fines d'entre elles des gaz d'échappement des véhicules à moteur à explosion, plus particulièrement de ceux équipés de motorisation diesel.

Les niveaux mesurés sont restés moyens pour les valeurs extrêmes journalières principalement.

On a observé pour la période du 27 au 29 janvier sur le secteur d'Hondschoote par vents de secteurs nord une augmentation sensible des concentrations en particules, liée aux chauffages domestiques de proximité ou transportés à moyenne distance.

Ce qui s'explique le 27 janvier par une influence du Dunkerquois avec des vents de Nord-Ouest et les 27 et 28 janvier par une contribution de la Flandre Belge par vents de secteurs Nord-Est.

En fin de campagne, à partir du 29 janvier, on a noté l'élévation de tous les niveaux à corrélés avec le retour à un temps plus froid et sec avec des conditions anticycloniques.

→ **RESULTATS** (voir courbes pollution et météo en annexes)

ZUYDCOOTE

| POLLUANTS | Moyennes Journalières Mini - Maxi | Date du maximum |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 2-11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 27 janvier |
| Monoxyde d'Azote NO | 0-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 31 janvier |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 15-39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 31 janvier |
| Ozone O ₃ | * $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | * |
| Monoxyde de Carbone CO | 0.11-0.41 mg/m^3 | 31 janvier |
| Poussières en Suspension | 11-31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | 31 janvier |

| POLLUANTS | Moyennes Horaires Maxi | Date du maxi et heure |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 38 µg/m ³ | 27 janvier à 11 h |
| Monoxyde d'Azote NO | 114 µg/m ³ | 1 ^{er} février à 3 h |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 67 µg/m ³ | 1 ^{er} février à 2 h |
| Ozone O ₃ | * µg/m ³ | * |
| Monoxyde de Carbone CO | 0.98 mg/m ³ | 1 ^{er} février à 2 h |
| Poussières en Suspension | 67 µg/m ³ | 1 ^{er} février à 3 h |

HONDSCHOOTE

| POLLUANTS | Moyennes Journalières Mini - Maxi | Date du maximum |
|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 3-11 µg/m ³ | 30-31 janvier |
| Monoxyde d'Azote NO | 1-53 µg/m ³ | 1 ^{er} février |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 6-60 µg/m ³ | 1 ^{er} février |
| Ozone O ₃ | 3-55 µg/m ³ | 26 janvier |
| Monoxyde de Carbone CO | 0.02-0.6 mg/m ³ | 1 ^{er} février |
| Poussières en Suspension | 7-33 µg/m ³ | 1 ^{er} février |

| POLLUANTS | Moyennes Horaires Maxi | Date du maxi et heure |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Dioxyde de Soufre SO ₂ | 39 µg/m ³ | 25 janvier à 8 h |
| Monoxyde d'Azote NO | 85 µg/m ³ | 1 ^{er} février à 1 h |
| Dioxyde d'Azote NO ₂ | 75 µg/m ³ | 2 février à 11 h |
| Ozone O ₃ | 85 µg/m ³ | 5 février à 20 h |
| Monoxyde de Carbone CO | 1.13 mg/m ³ | 28 janvier à 4 h |
| Poussières en Suspension | 55 µg/m ³ | 28 janvier à 8 h |

→ ESSAI DE COMPARAISON ENTRE LES 2 SITES DE MESURES

A l'exception des oxydes d'azote NO et NO₂, pour lesquelles on observe des valeurs sensiblement plus élevées à HONDSCHOOTE, les concentrations moyennes et les valeurs maximales sont très proches (à 10% près).

Ce fait s'explique par des conditions presque homogènes pendant la période considérée, en raison principalement de l'orientation des vents qui ne placèrent pas les deux sites de mesures sous l'influence directe des sources polluantes potentielles.

→ COMPARAISON AVEC LES DONNEES DU RESEAU FIXE POUR LES POLLUANTS TRACEURS

▪ Ozone

Concernant les données mesurées sur la station "ozone" du littoral dunkerquois, des concentrations assez proches ont été enregistrées pendant toute la période. Par ailleurs, la présence de plus faibles concentrations en NO_x sur le site de mesures que sur l'agglomération dunkerquoise explique pour partie les valeurs plus élevées en ozone.

Les courbes de Gravelines (station de périphérie urbaine et industrielle) et Sangatte (station à caractère rural) montrent les mêmes profils pendant la période avec des valeurs très proches (moins de 10% d'écart).

▪ Dioxyde de soufre

Une comparaison avec la station de Malo-Terminus - située à l'est de l'agglomération dunkerquoise - a été faite, car c'est la plus proche. Les valeurs sont cohérentes, car inférieures aux mesures faites sur le réseau fixe pour la même période, rendant compte ainsi de la dispersion spatio-temporelle du polluant.

▪ Oxydes d'Azote

Il est difficilement envisageable de réaliser une inter-comparaison car il s'agit d'un polluant de proximité instable par réaction photochimique.

▪ Monoxyde de Carbone

Il ne serait pas pertinent de réaliser une comparaison car il s'agit d'un polluant de proximité stable chimiquement.

▪ Poussières (PM 10)

Une comparaison est plus complexe à entreprendre, car les poussières peuvent être originaires de plusieurs sources potentielles (industries, activités domestiques, trafic urbain et routier). La composante industrielle est généralement prépondérante sur l'agglomération dunkerquoise. Elles peuvent aussi faire l'objet de transport à moyenne et longue distance.

Si l'on observe à peu près les mêmes tendances (augmentation ou baisse des concentrations), on ne peut pas mettre en évidence un parfait parallélisme entre les courbes.

→ EVALUATION DE L'INFLUENCE DES ZONES

Compte tenu des facteurs météorologiques et notamment du vent, le point de mesures s'est trouvé sous l'influence de différents secteurs :

- marin (mer du Nord) : 10 %
- terrestre rural (Flandres) : 65%
- agglomération dunkerquoise : 10 %
- agglomérations belges-flamandes : 10 %
- locales : 5 %

(Cf : rose des vents en annexe)

A noter que ces chiffres sont très proches de ceux observés pour la campagne d'automne.

La comparaison s'arrête là car la vitesse du vent, la pluviométrie et les températures n'étaient pas comparables entre ces périodes.

→ CONCLUSIONS

Les premiers éléments qui apparaissent de façon récurrente, comme pour la campagne d'été, concernent une problématique particulière sur deux polluants principalement, à savoir :

- les particules PM10
- et l'ozone

Cette nouvelle campagne a permis une approche du contexte local avant l'implantation sur la zone frontalière d'une station de référence. Elle a permis d'avoir une estimation globale de la pollution en

conditions hivernales "classiques" ; c'est à dire proche de la normale pour certains paramètres sauf pour les conditions de vent et les températures.

La qualité de l'air est restée globalement bonne sur le site. L'influence des zones industrielles a été très peu ressentie pour les polluants gazeux et modérée pour les particules. En extrapolant, on peut estimer que les valeurs mesurées ont respecté les directives européennes, les valeurs références et objectifs de qualité.

Les concentrations mesurées, compte tenu de l'éloignement relatif de sources industrielles, ont pour origine principale la pollution urbaine, notamment le trafic et le chauffage domestique (en hiver). Dans le cas que constitue l'ozone, l'origine peut être mixte. En plus de la fabrication photochimique « locale », il peut s'ajouter dans certaines configurations une composante extérieure dont l'origine peut être lointaine (Angleterre, Europe de l'Est ...).

Comme prévu, pour l'ensemble des polluants gazeux et particulaires, on a assisté à une augmentation du « bruit de fond » et dans une certaine mesure des maxima horaires ; sauf, bien sûr, pour l'ozone.

Tout en complétant les données déjà obtenues, ces résultats semblent cohérents par rapport à ceux des précédentes campagnes. Ils sont aussi la preuve de la bonne fiabilité des mesures, confirment l'intérêt de ce type d'études et mettent en avant l'importance de la connaissance des mécanismes de transfert des polluants atmosphériques gazeux (ozone) et particules fines (PM 10).

Remarque:

Du 15 au 20 janvier 2001, il a été enregistré sur l'ensemble des réseaux Nord Européens occidentaux un épisode très critique en poussières fines (jusqu'à $226 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM 10 sur Dunkerque) en raison de conditions météorologiques très particulières, mais non exceptionnelles en cette période de l'année. Cependant, une telle situation n'avait pratiquement pas été observée depuis près de 12 ans. Une campagne de ce type à ce moment aurait permis d'obtenir des informations très intéressantes. Malheureusement, les unités mobiles étaient occupées, par ailleurs, sur un autre secteur de la Région, mais qui a dû enregistrer sur place le phénomène.

Ainsi ce fait confirme que d'autres campagnes seront nécessaires pour couvrir, notamment, d'autres types de situations climatiques comme celle évoquée au paragraphe précédent.

→ PERSPECTIVES

Le travail de comparaison réalisé à partir des mesures des réseaux VMM (Flandres Belges) et OPAL' AIR est à compléter en tenant compte des mesures obtenues par prélèvement.

Les mesures de poussières de type PM 10 devraient être complétées, dans le futur, par des mesures PM 2.5 ; ceci afin de mieux caractériser la composante issue des sources mobiles, notamment les particules issues du parc des véhicules « diesel ».

Les analyses des données pourront ainsi être affinées.

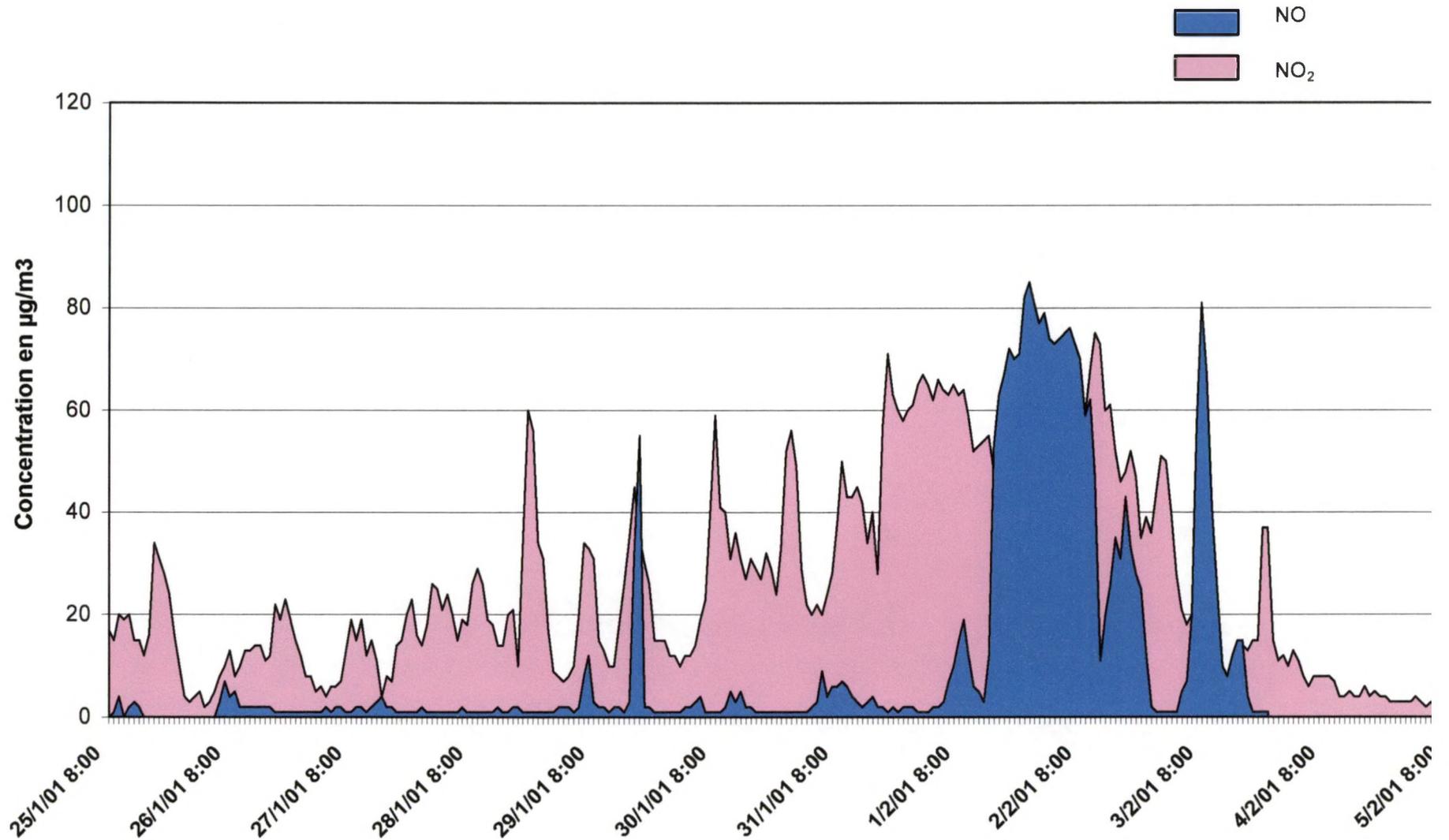
D'autres campagnes seront programmées à l'horizon 2002-2003, sur d'autres sites et à d'autres saisons.

ANNEXE III
Relative à la campagne de Zuydcoote & Hondschoote
Hiver 2001

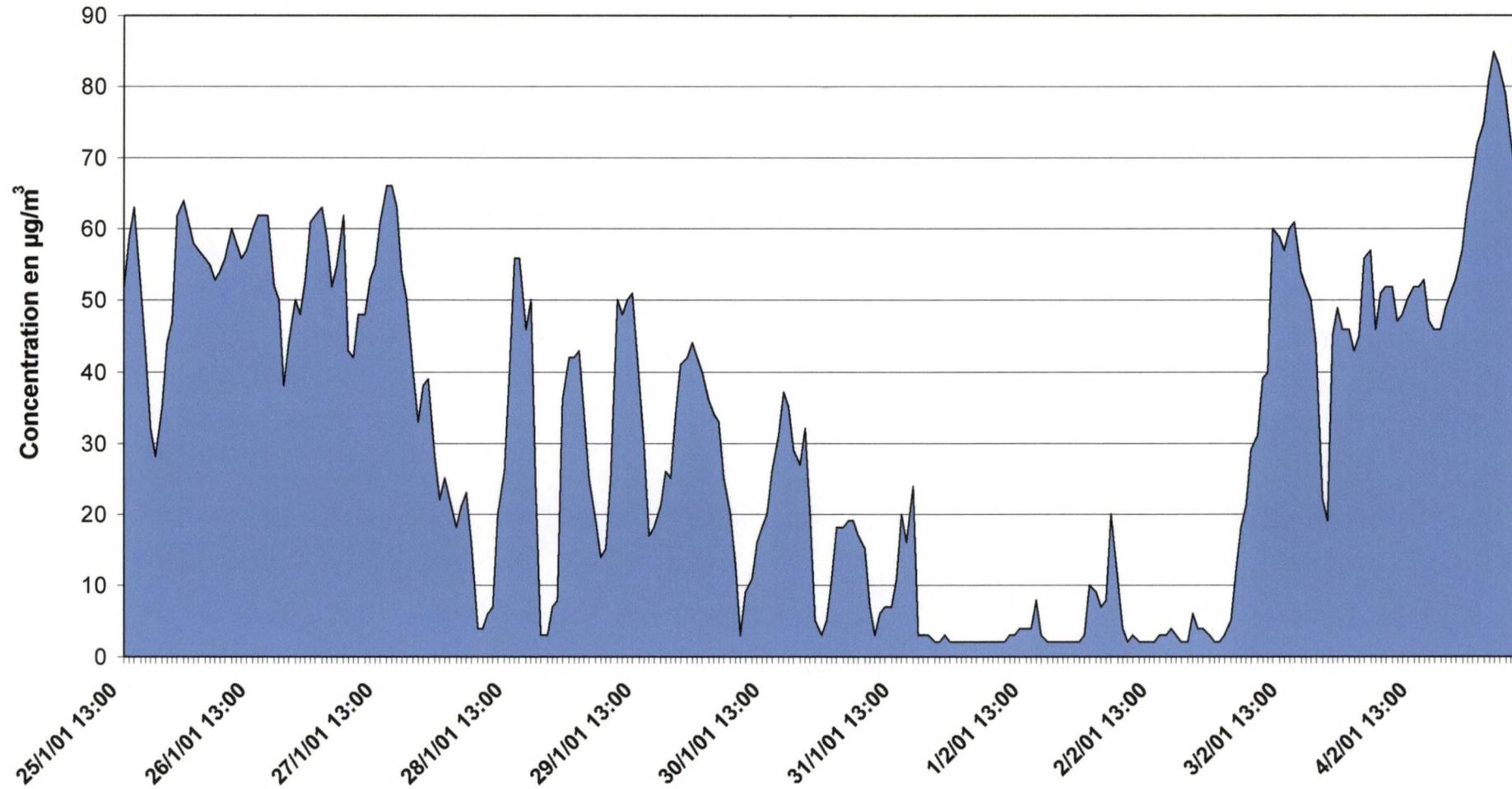
MOYENNES JOURNALIERES - HONDSCHOOTE

| DATE | Pression Atmosphérique | Température de l'Air | Direction du vent | Vitesse du vent | Humidité | NO | NO ₂ | O ₃ | SO ₂ | Poussières en Suspension | CO |
|------------|------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------|----------------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------------------|---------|
| 26-janv-01 | 992 | 6 | 195 | 2,81 | 86 | 1 | 11 | 55 | 4 | 12 | 0,22 |
| 27-janv-01 | 991 | 4 | 268 | 0,38 | 87 | 1 | 13 | 50 | 5 | 15 | 0,14 |
| 28-janv-01 | 999 | 3 | 5 | 0,11 | 91 | 6 | 24 | 23 | 6 | 24 | 0,33 |
| 29-janv-01 | 1012 | 4 | 342 | 1,56 | 92 | 2 | 20 | 33 | 4 | 22 | 0,07 |
| 30-janv-01 | 1017 | 3 | 189 | 1,54 | 90 | 3 | 31 | 22 | 11 | 26 | 0,2 |
| 31-janv-01 | 1018 | 2 | 96 | 0,83 | 91 | 24 | 43 | 10 | 11 | 30 | 0,33 |
| 01-févr-01 | 1020 | 0 | 186 | 0,6 | 96 | 53 | 60 | 3 | 5 | 33 | 0,6 |
| 02-févr-01 | 1008 | 2 | 191 | 1,63 | 93 | 16 | 49 | 5 | 5 | 17 | 0,44 |
| 03-févr-01 | 999 | 7 | 171 | 0,55 | 95 | 1 | 20 | 37 | 3 | 11 | 0,29 |
| 04-févr-01 | 993 | 8 | 198 | 1,59 | 93 | 1 | 6 | 51 | 4 | 7 | 0,02 |
| Unités | en hPa | en degré C° | en ° Nord | en m/s | en % | en µg/m ³ | | | | | en mg/n |

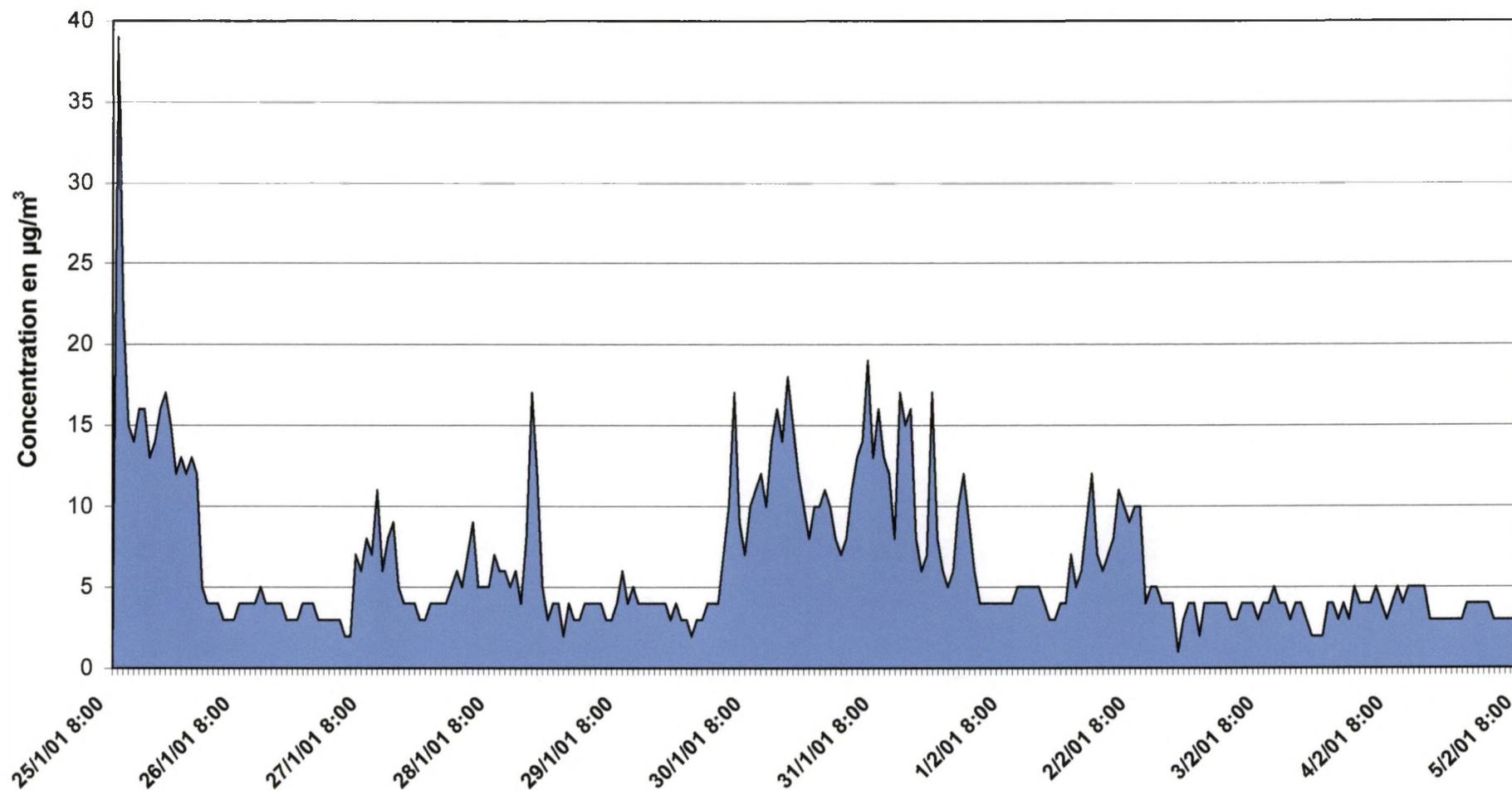
Oxydes d'Azote NOx - HONDSCHOOTE



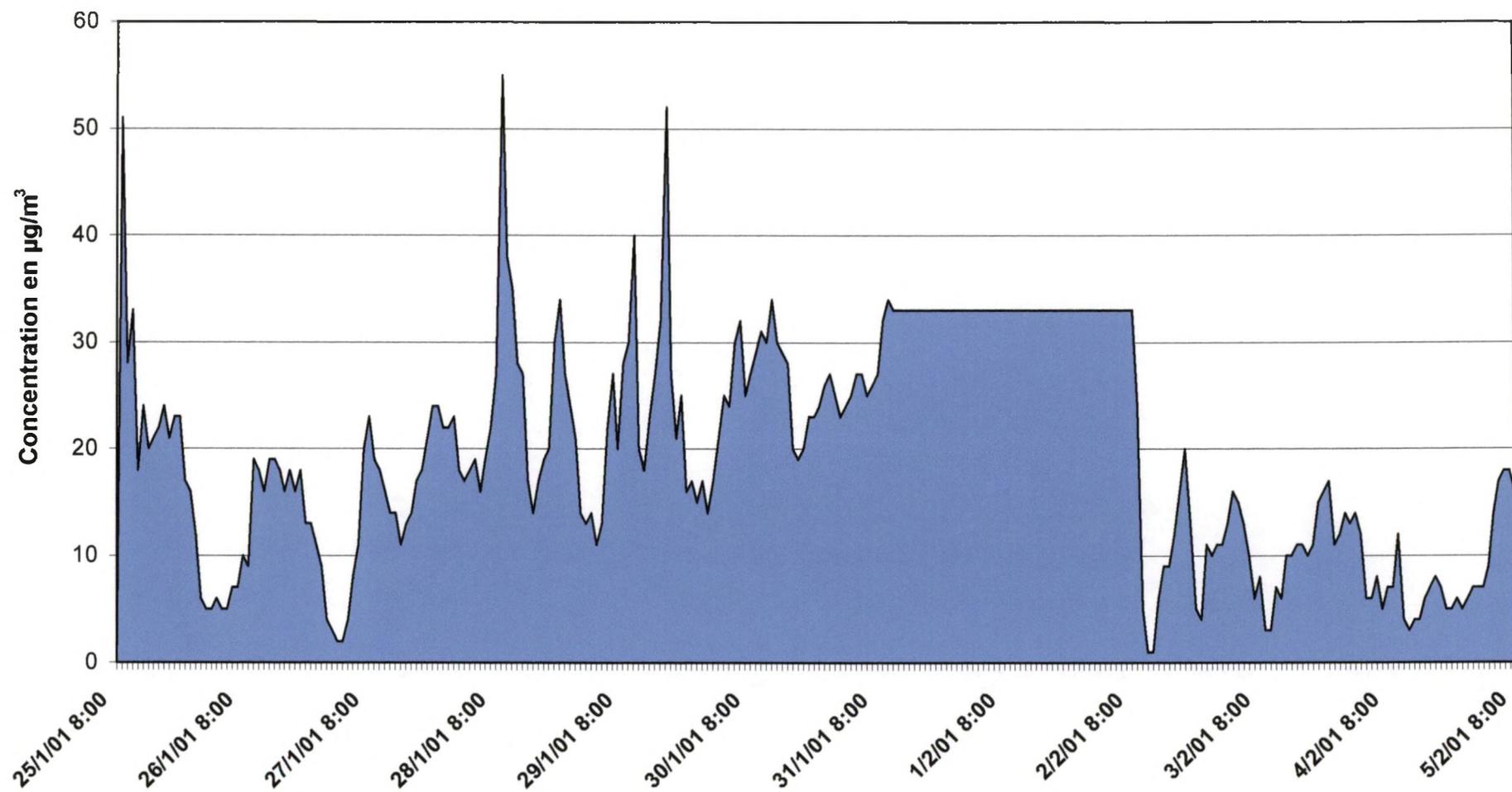
Ozone - HONDSCHOOTE



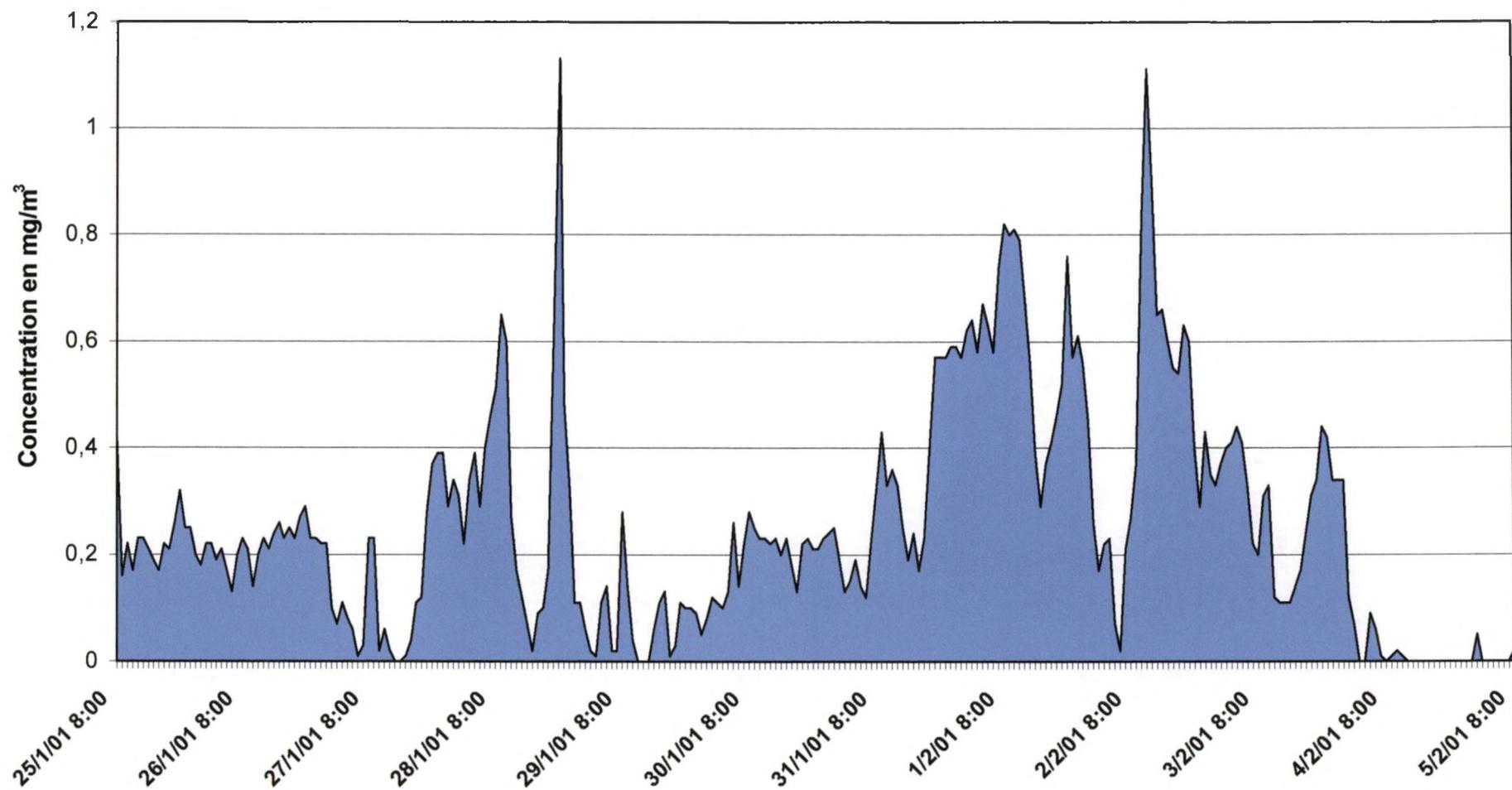
Dioxyde de Soufre SO₂ - HONDSCHOOTE



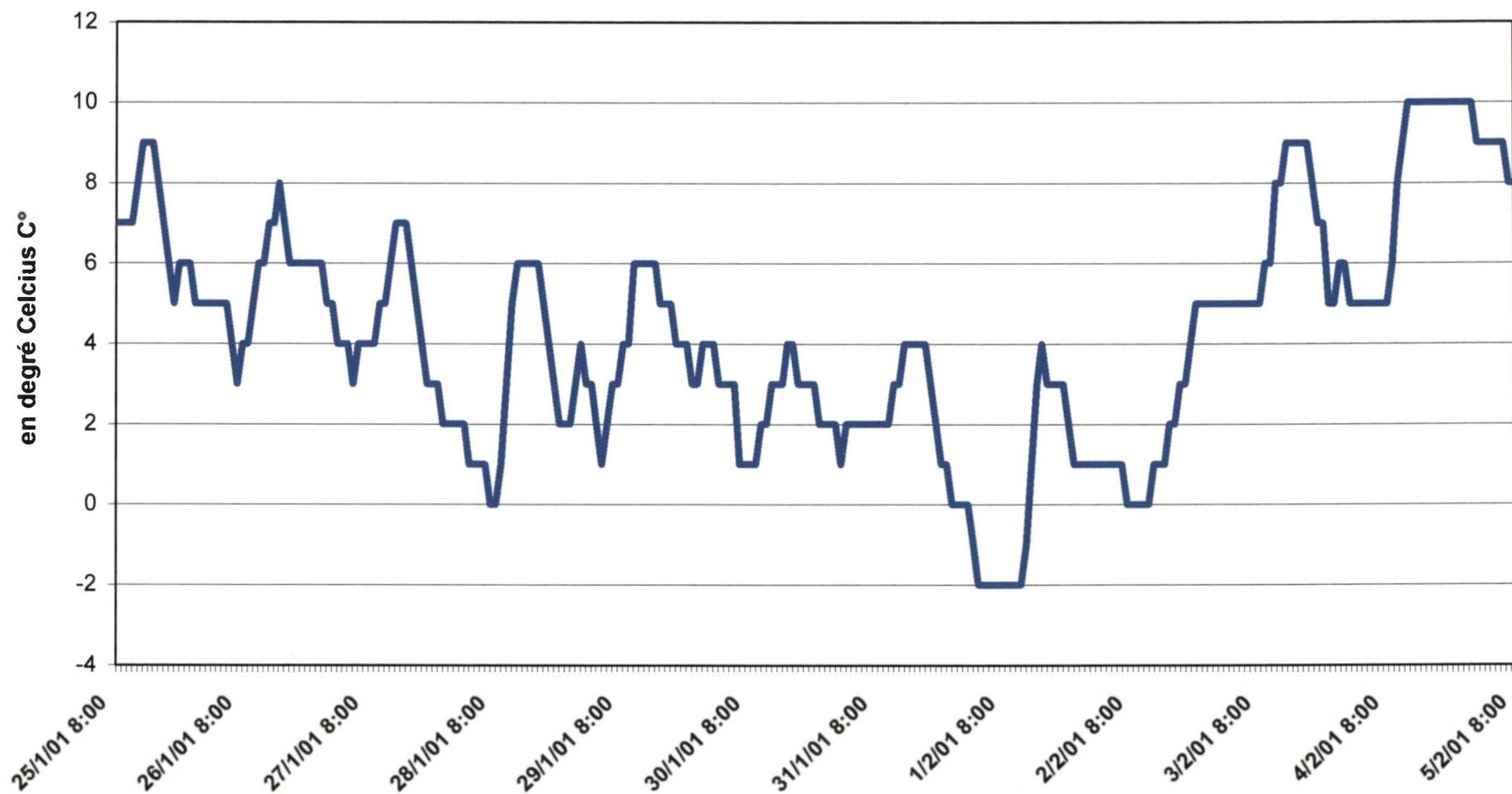
Poussières en Suspension - HONDSCHOOTE



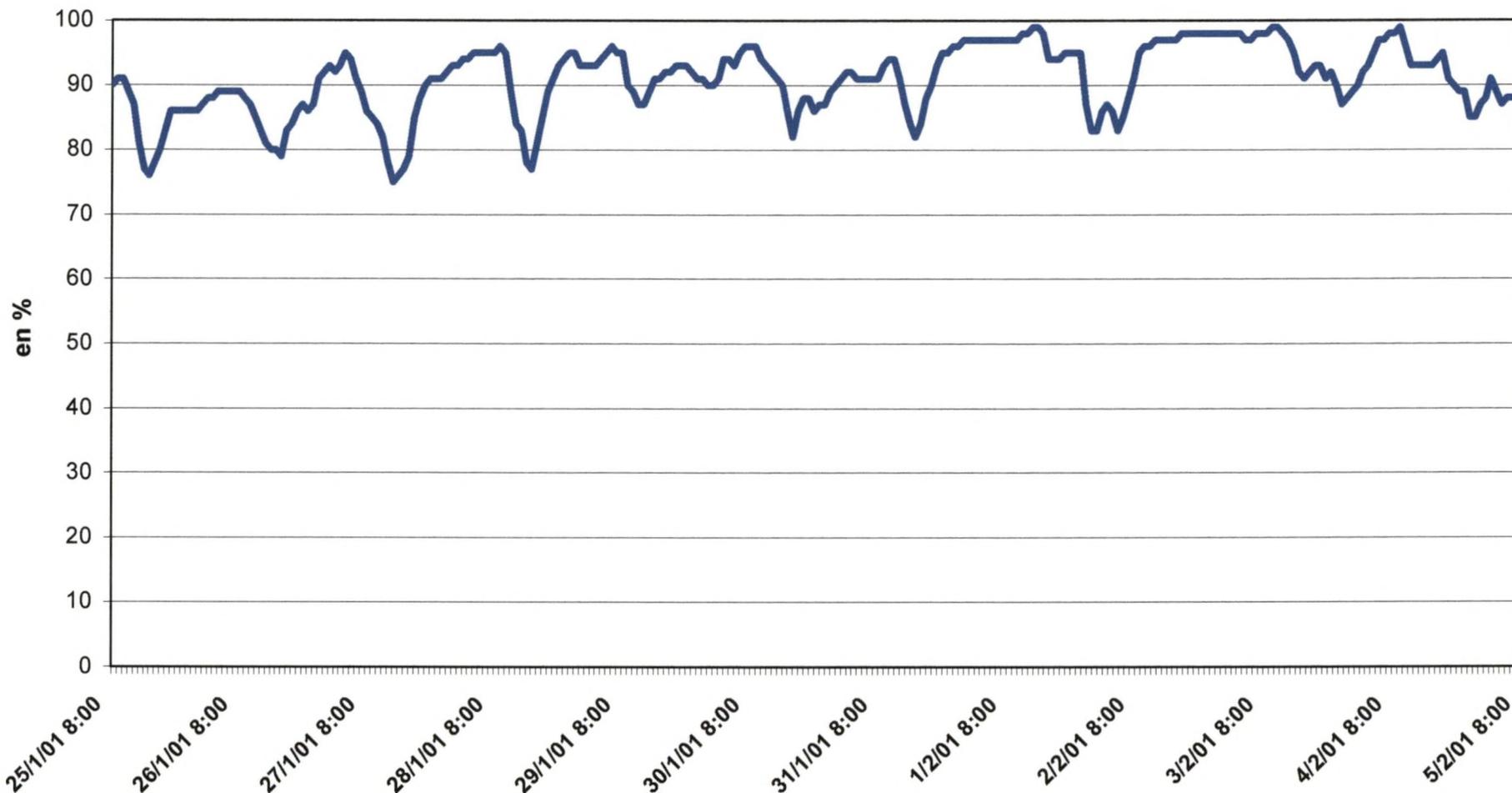
Monoxyde de Carbone CO - HONDSCHOOTE



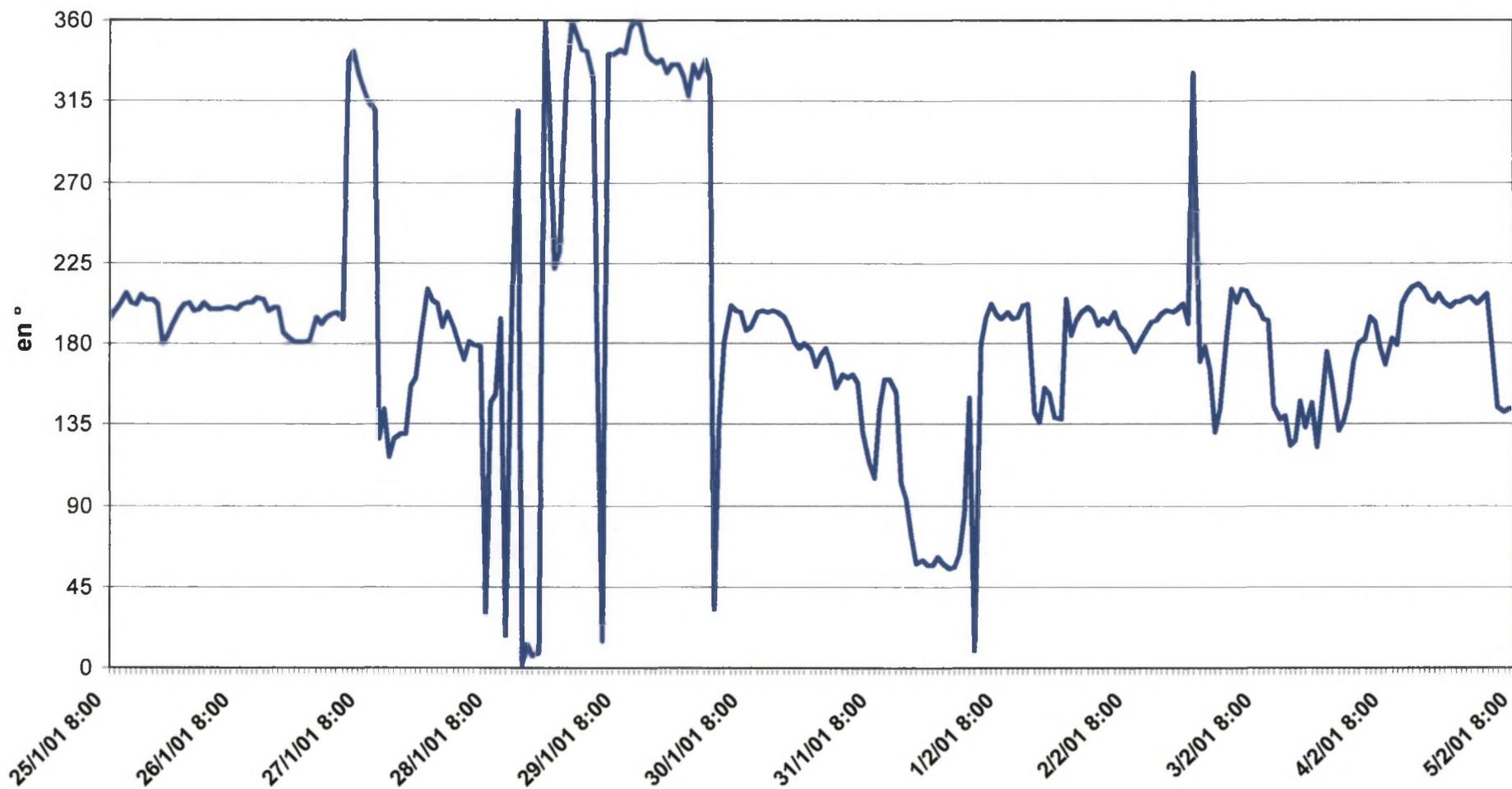
Température de l'Air - HONDSCHOOTE



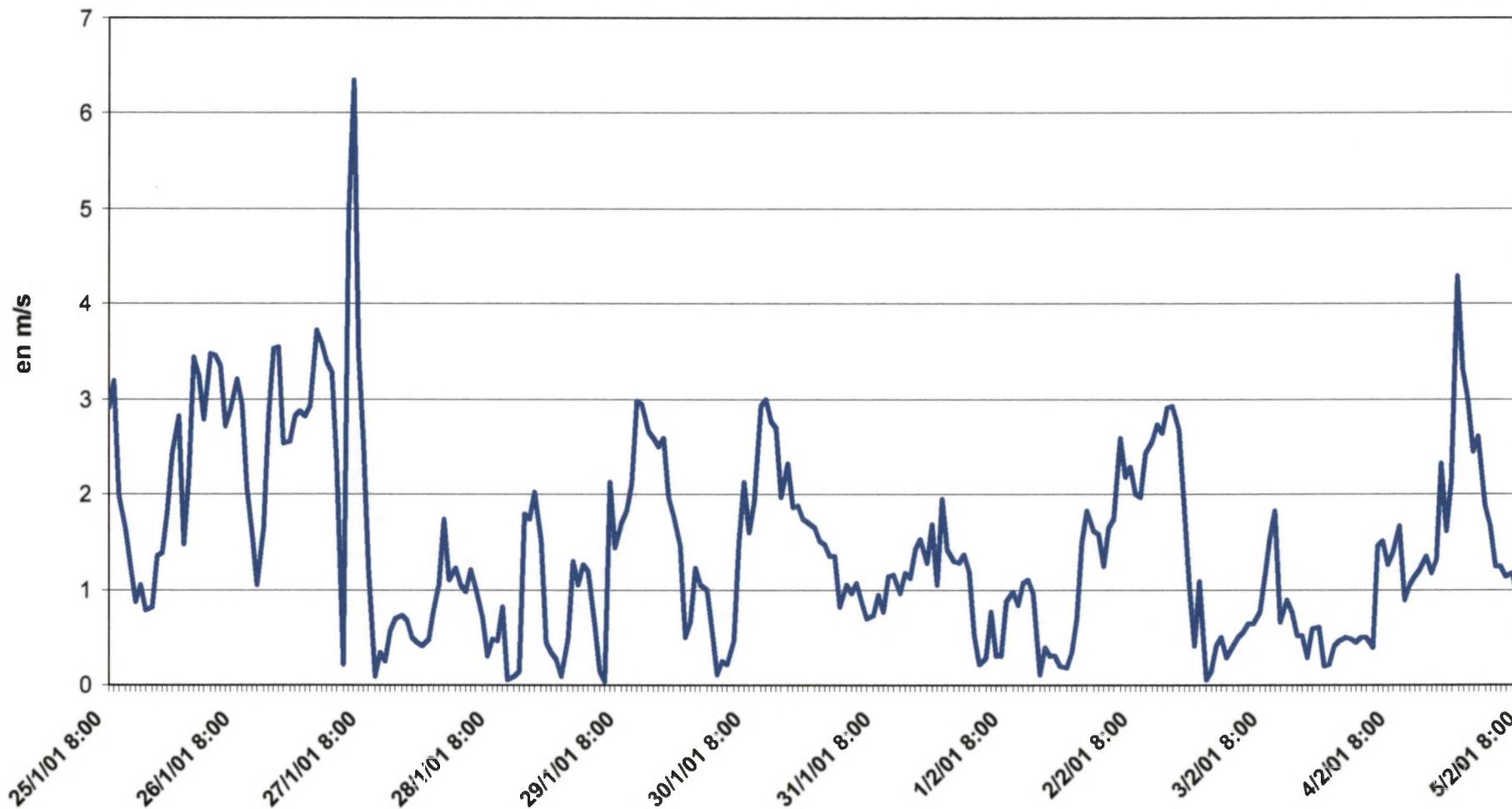
Humidité - HONDSCHOOTE



Direction du Vent - HONDSCHOOTE



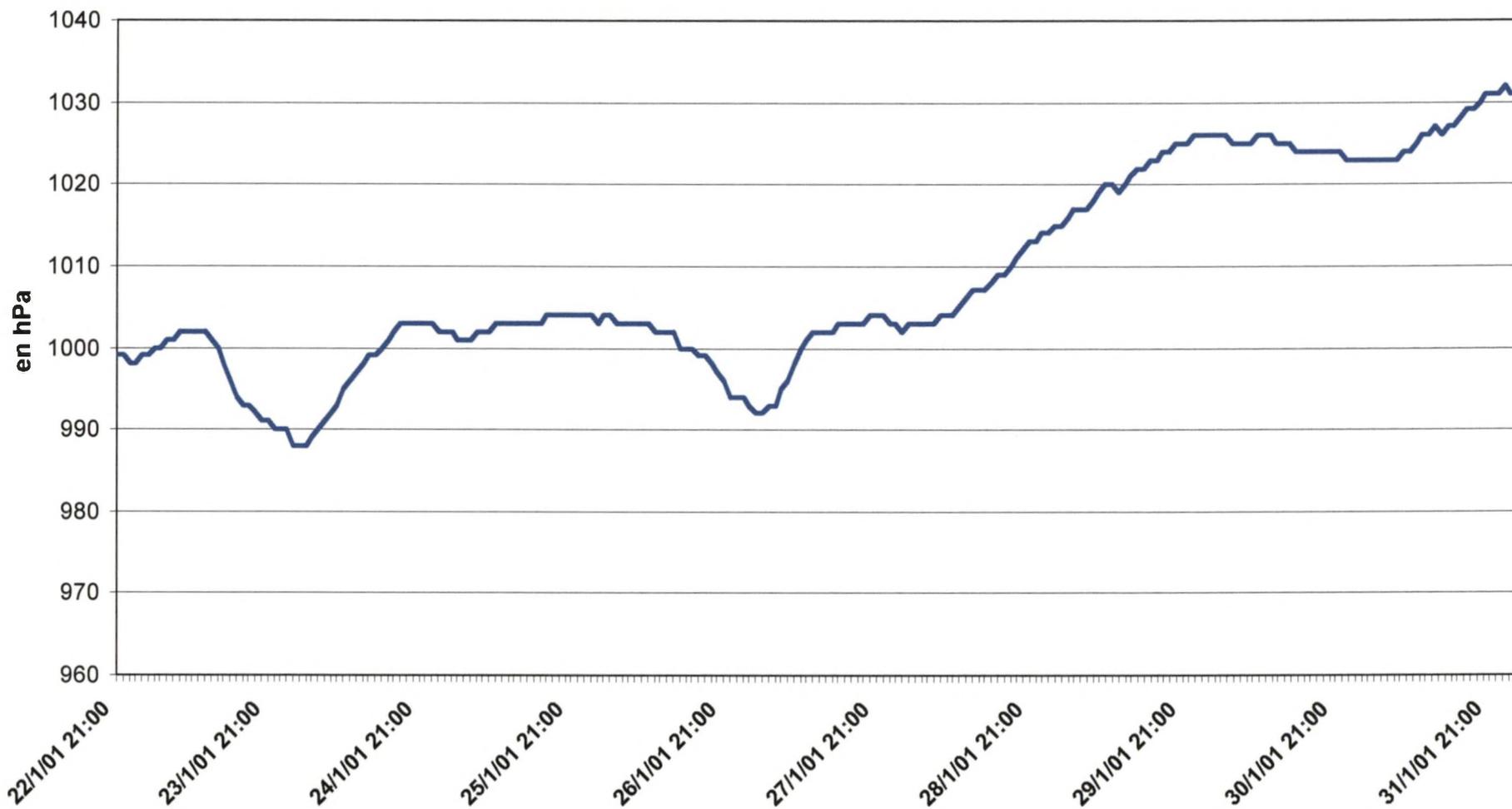
Vitesse du Vent - HONDSCHOOTE



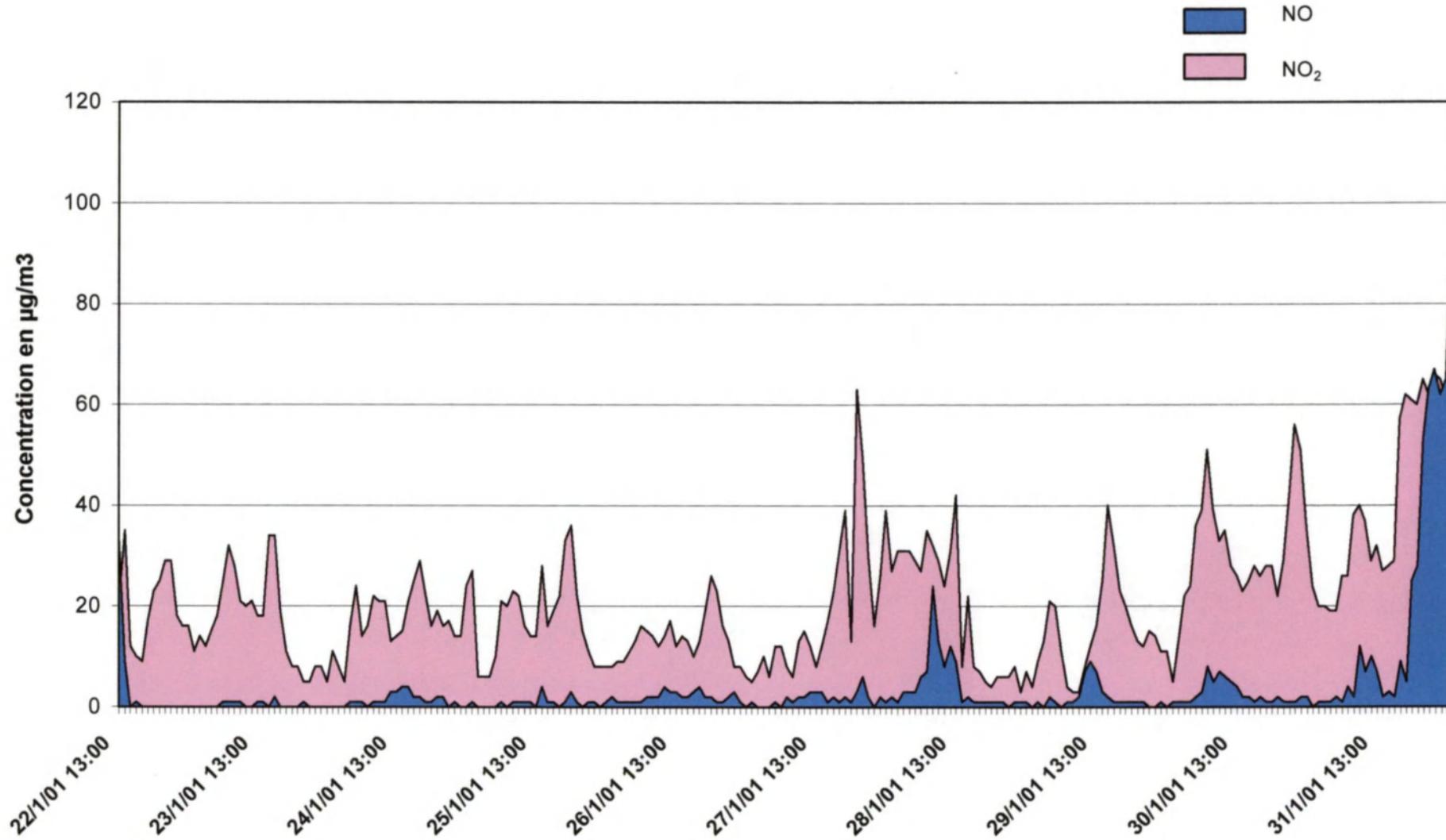
MOYENNES JOURNALIERES - ZUYDCOOTE

| DATE | Pression Atmosphérique | Température de l'Air | Direction du vent | Vitesse du vent | Humidité | NO | NO ₂ | S ₀ ₂ | Poussières en Suspension | CO |
|------------|------------------------|----------------------|-------------------|-----------------|----------|----------------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------|------|
| 23-janv-01 | 997 | 7,8 | 182 | 3,6 | 94 | 0 | 17 | 3 | 11 | 0,17 |
| 24-janv-01 | 997 | 8,5 | 230 | 3,3 | 85 | 4 | 17 | 10 | 26 | 0,21 |
| 25-janv-01 | 1003 | 6,8 | 203 | 2,2 | 86 | 1 | 18 | 4 | 17 | 0,21 |
| 26-janv-01 | 1000 | 5,7 | 192 | 2,9 | 88 | 2 | 13 | 2 | 13 | 0,15 |
| 27-janv-01 | 1000 | 5 | 305 | 4,8 | 87 | 1 | 18 | 11 | 27 | 0,22 |
| 28-janv-01 | 1007 | 4,1 | 16 | 1 | 91 | 4 | 20 | 5 | 28 | 0,32 |
| 29-janv-01 | 1021 | 5,4 | 341 | 4,3 | 91 | 2 | 15 | 2 | 28 | 0,11 |
| 30-janv-01 | 1025 | 2,7 | 185 | 2,1 | 92 | 2 | 30 | 7 | 27 | 0,35 |
| 31-janv-01 | 1026 | 9 | 126 | 1,7 | 93 | 15 | 39 | 5 | 31 | 0,41 |
| Unités | en hPa | en degré C° | en ° Nord | en m/s | en % | en µg/m ³ | | | en mg/m ³ | |

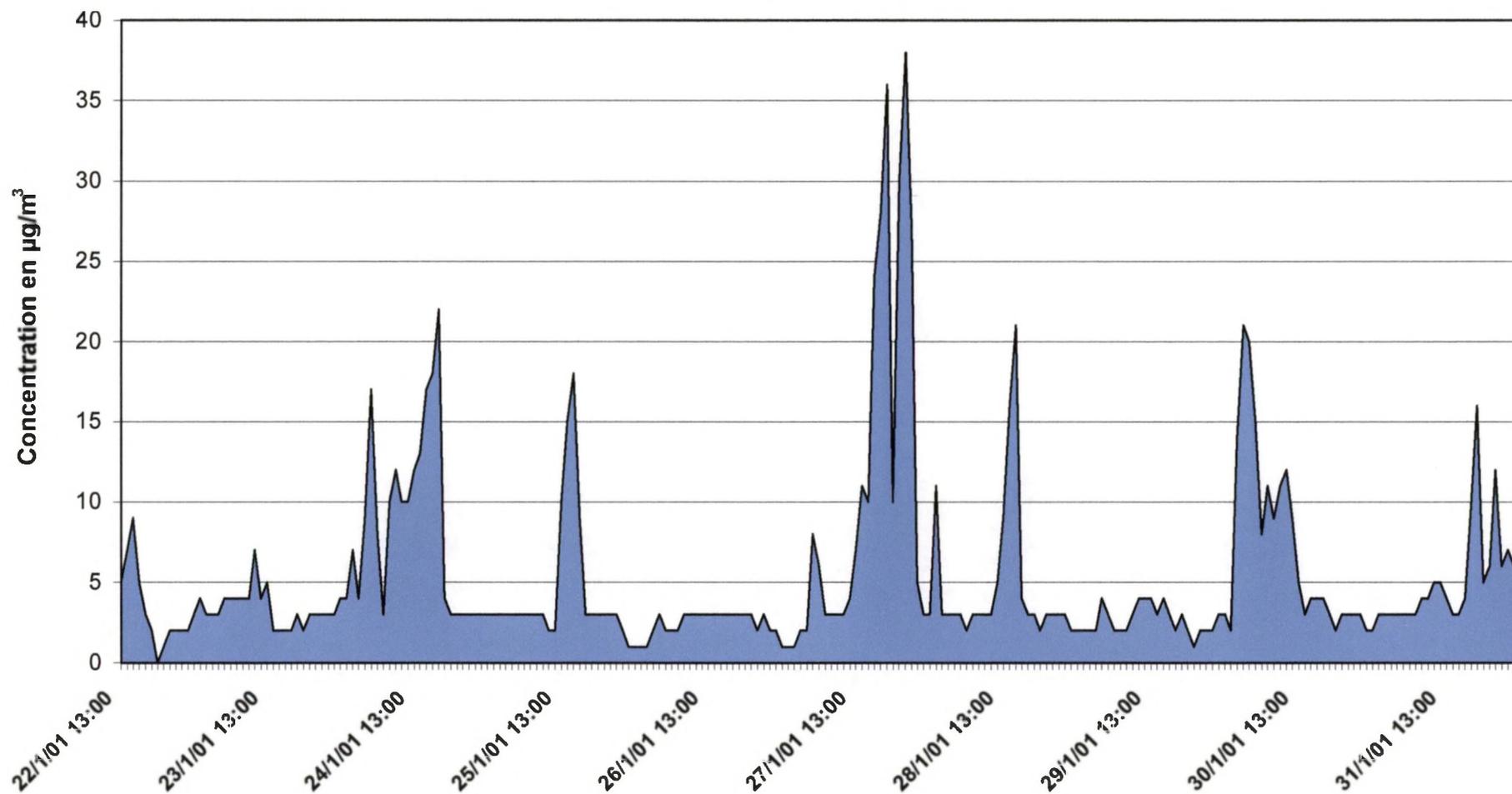
Pression Atmosphérique - ZUYDCOOTE



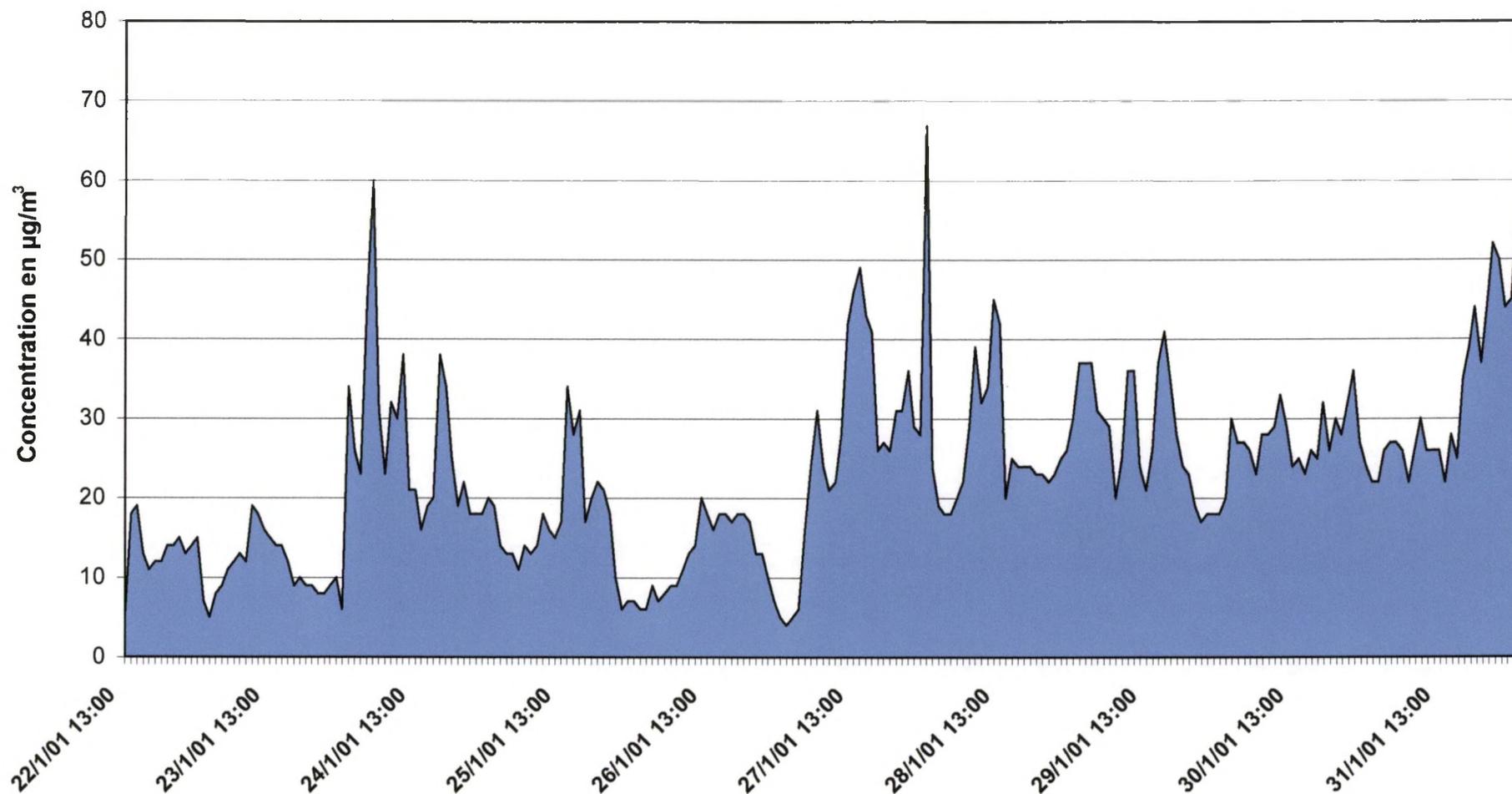
Oxydes d'Azote NOx - ZUYDCOOTE



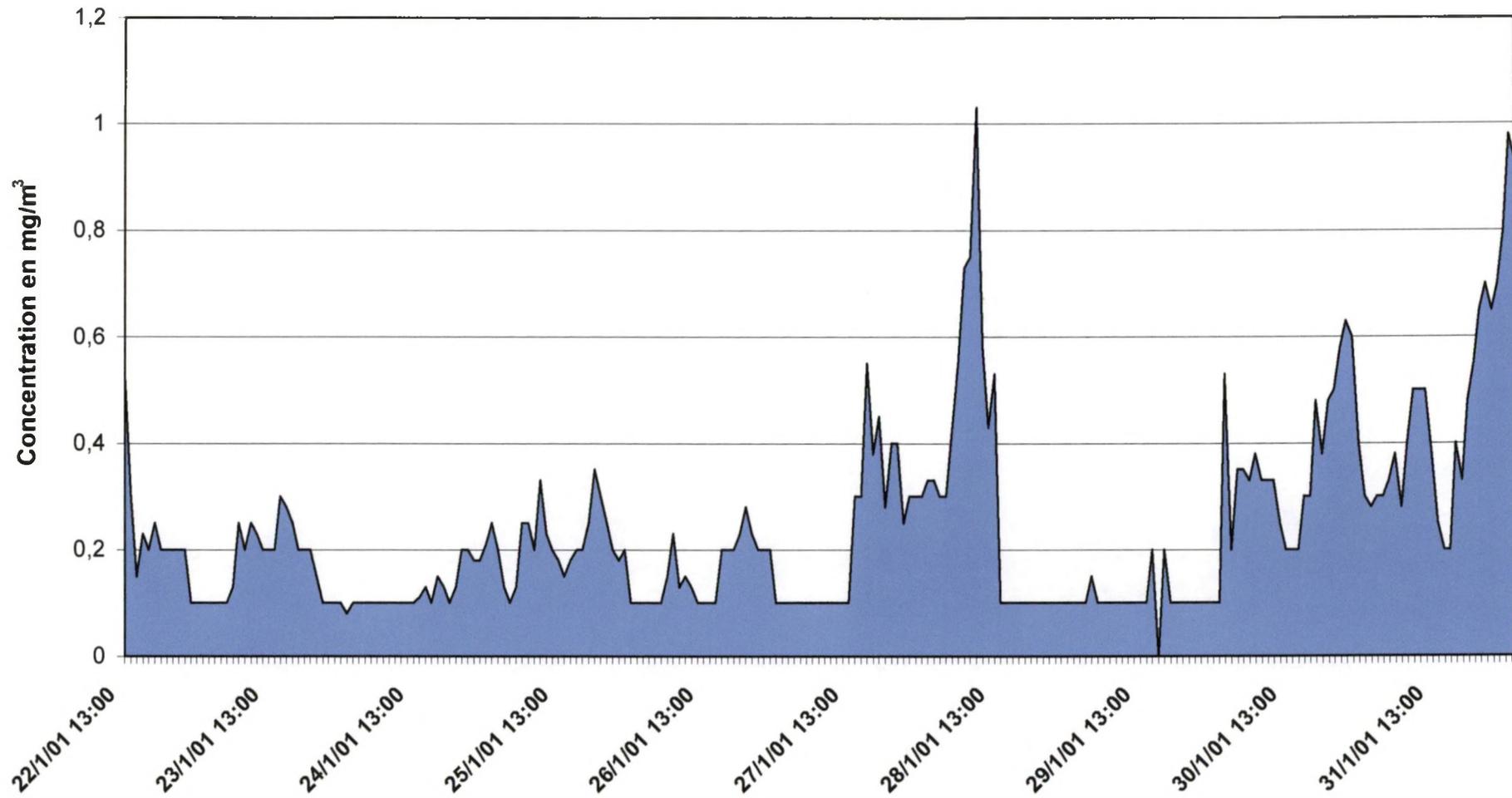
Dioxyde de Soufre SO₂ - ZUYDCOOTE



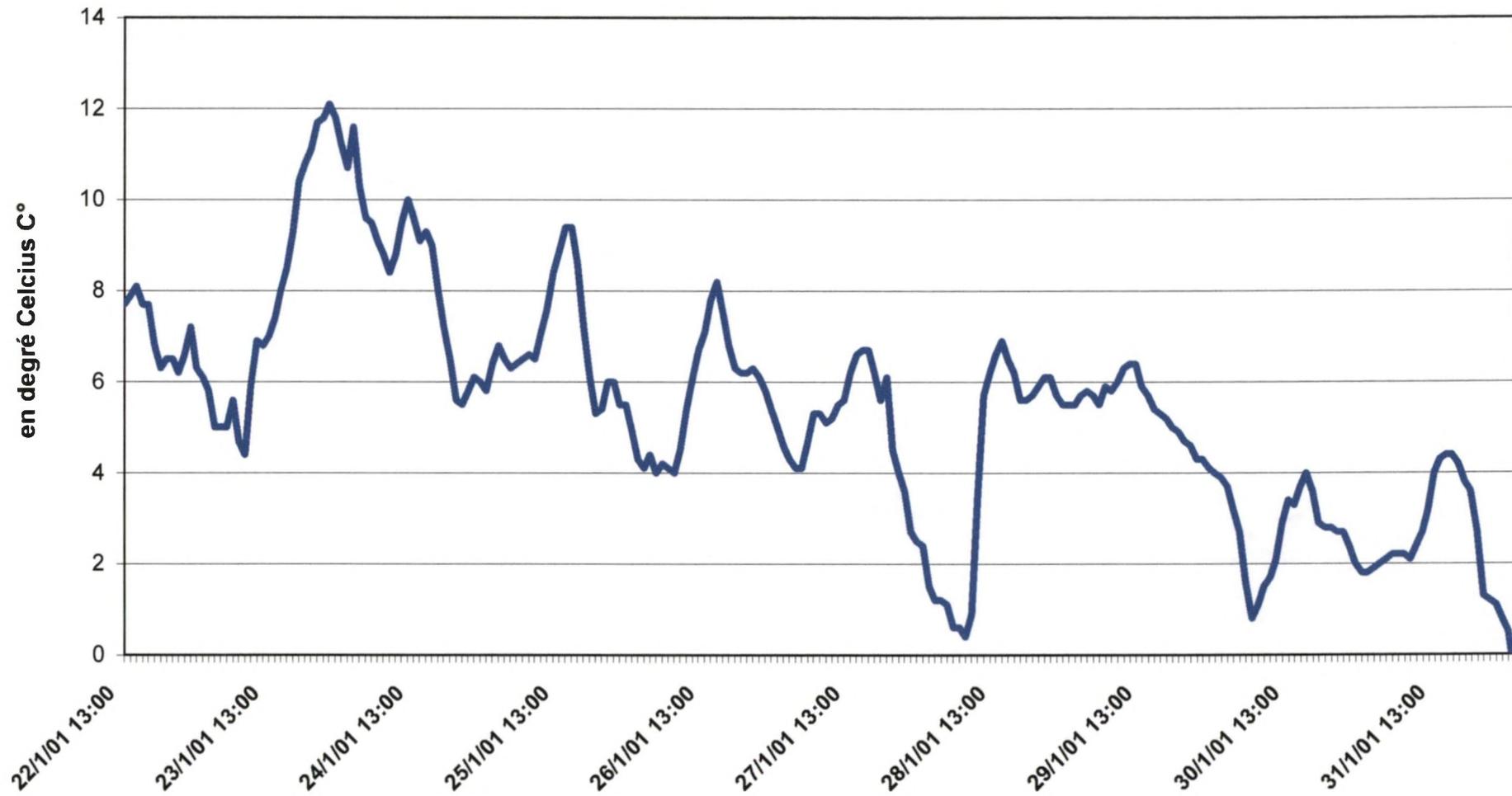
Poussières en Suspension - ZUYDCOOTE



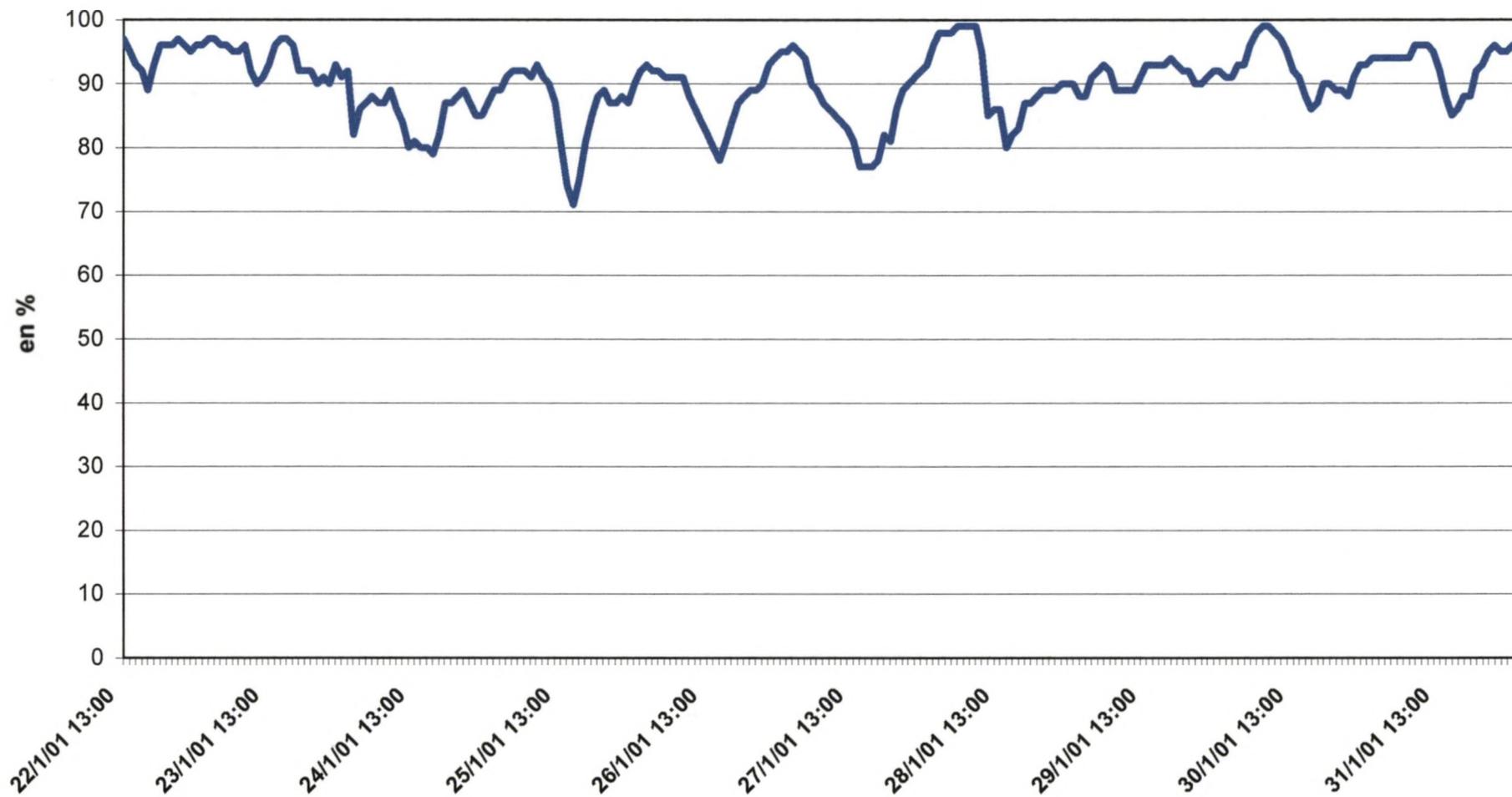
Monoxyde de Carbone CO - ZUYDCOOTE



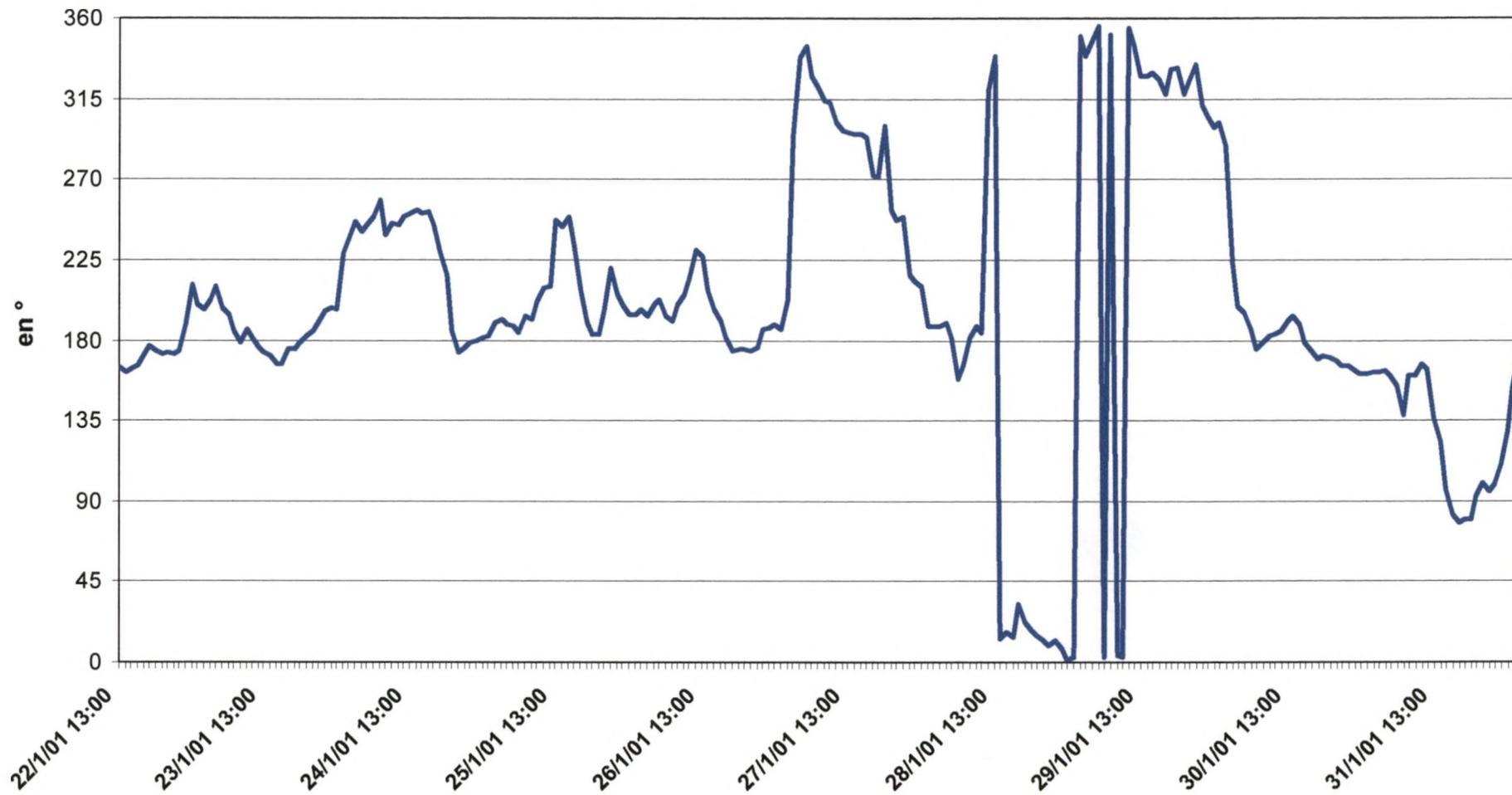
Température de l'Air - ZUYDCOOTE



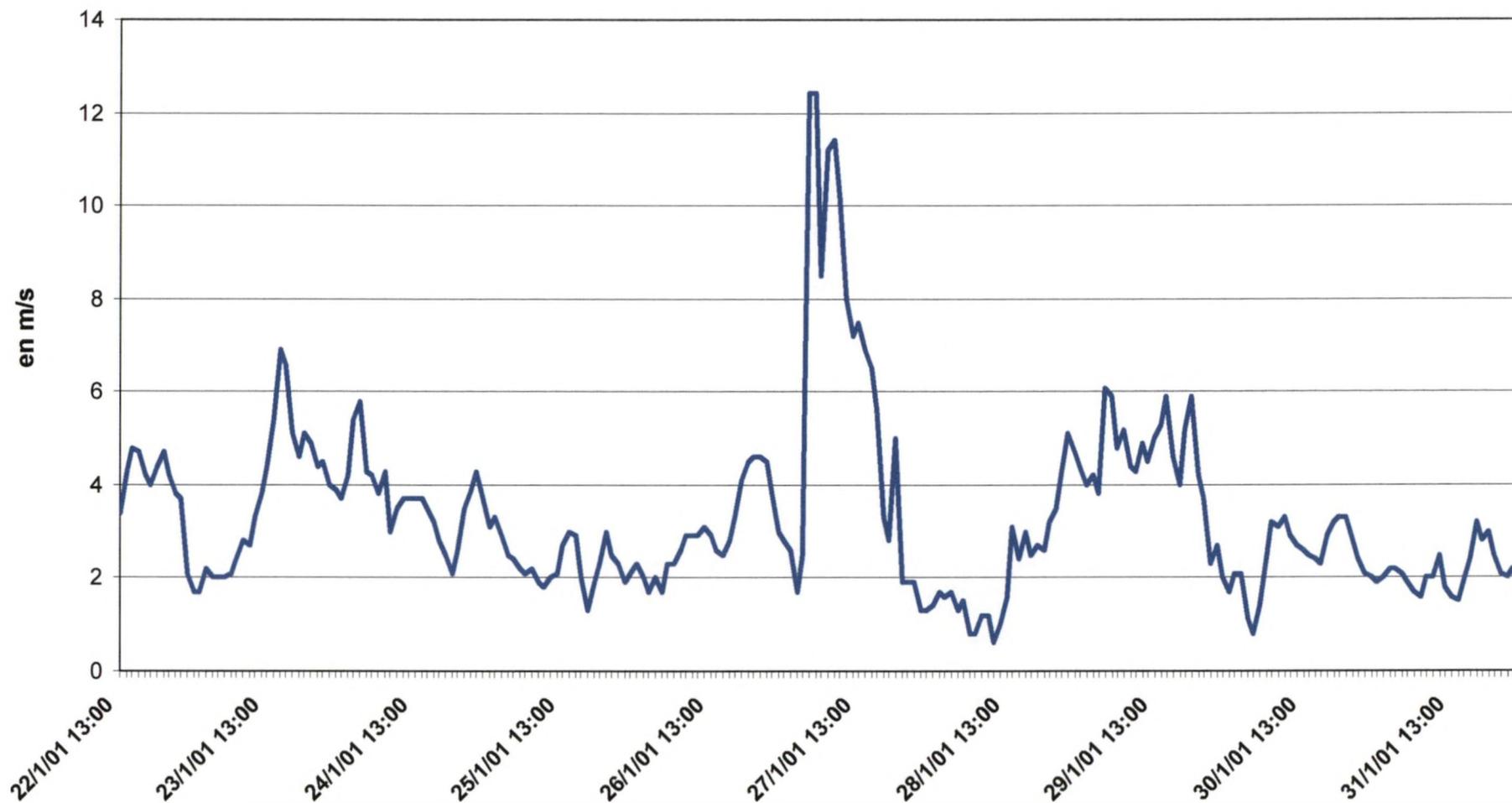
Humidité - ZUYDCOOTE



Direction du Vent - ZUYDCOOTE



Vitesse du Vent - ZUYDCOOTE



3.3.2 Résultats des analyses des aérosols sur le littoral flamand

Les résultats ci-dessous concernent les prélèvements effectués par nos partenaires flamands sur la période de :

- Campagnes 1998/1999 (Westhoek)
- Campagnes fin 1999 / 2000 (Westhoek)
- juin 1999 à mai 2000. (Knokke-Heist ; hors projet AEROSOL)
- juin à juillet 2000 (Adinkerke)
- décembre 2000 à janvier 2001 (Adinkerke)

→ Ne figurent pas ci-dessous les rapports détaillés des campagnes de 1998 / 1999 déjà inclus dans le rapport d'activités I, (cf. § 1.3), ainsi que dans le rapport intermédiaire de juin 2001 (cf. § 4.2).

3.3.2.1 Résumé des campagnes au Westhoek (VMM)

I. Mesures de dégradation dans le "Westhoek" : 1998 / 1999

Campagne de mesures septembre - octobre 1998

Dépôts de dioxine juin - juillet 1998 & mars - avril 1999

Par Nicole Wintjens et Dr. Edward Roekens du Vlaamse Milieumaatschappij (VMM)

→ Résumé

A. Introduction

Dans la région de la Panne, La pollution a été mesurée au moyen d'appareils installés dans un laboratoire mobile pendant la période septembre 98 – octobre 98. Ce véhicule a été placé à quatre endroits différents à La Panne et Adinkerke. Pendant à peu près une semaine, des mesures ont été effectuées à ces quatre endroits. En même temps, une station d'échantillonnage de métaux lourds a été installée.

A la suite d'un rapport indiquant des émissions élevées en provenance de Dunkerque, des prélèvements de la pollution atmosphérique ont été effectués à la demande de l'administration communale de La Panne.

Dans la région Nord / Pas-de-Calais 71 280 tonnes de SO₂, 12 000 tonnes de poussières et 39 450 tonnes de NO_x sont émises chaque année.

Depuis plusieurs dizaines d'années, les habitants de la côte occidentale observent des nuages de fumée noire passant la frontière. Cette pollution vient de l'industrie métallurgique française et plane selon la direction du vent dominant au-dessus de la côte occidentale et de la mer.

Précisément, dans cette zone se situent les régions protégées des dunes du 'Westhoek'. Ces dunes jouissent d'une protection particulière au sein des programmes Interreg. Elles font partie du plan de gestion intégrée de la zone côtière en exécution dans le cadre de Natura 2000, et sont limitrophes à la région marine Ramsar des Bancs flamands.

B. Description des appareils de mesures

→ Camion de mesure

1) Analyseur SO₂ 43 C (TEI)

Le principe de mesure est la méthode par fluorescence-UV.

C'est un analyseur continu de dioxyde de soufre, utilisant le principe de la détection par fluorescence dans l'ultraviolet.

Les molécules SO_2 absorbent du rayonnement dans la zone UV. Les molécules, acquérant une certaine quantité d'énergie, se trouvent portées à un état d'excitation électronique et émettent un rayonnement d'une plus grande longueur d'onde.

Il n'y a pas d'interférence avec d'autres éléments.

2) *Analyseur soufre-total : modèle SA 285 E (CSI)*

Le principe de mesure est la méthode de flamme photométrique. Dans une flamme d'hydrogène les composants de soufre sont réduits en molécules de soufre à un état d'excitation électronique.

Le rayonnement émis est détecté par le PMT.

Le système de détection est muni d'un 'scrubber' spécifique qui élimine avec une grande efficacité le SO_2 , SO_3 et l'acide sulfurique.

3) *Analyseur O_3 41 M (Environnement)*

Le principe de mesure est la méthode par absorption de lumière UV par des molécules d'ozone. La détection est réalisée dans la chambre d'absorption dans une bande étroite.

Afin d'obtenir des résultats valables, la lampe doit être bien stable.

4) *Analyseur CO 10 M (Environnement)*

Le CO 10 M est un analyseur continu du monoxyde de carbone spécifique aux faibles teneurs dans l'air ambiant, et aux conditions atmosphériques.

Le moniteur utilise le principe de la détection par absorption dans l'infrarouge.

Grâce à des technologies optiques et électroniques récentes, l'appareil offre de nombreux avantages.

5) *Analyseur CO_2 41 H (TEI)*

Le principe de mesure est analogue à celui de l'analyse du CO.

6) *Analyseur NO_x 42C (TEI)*

Le NO_x 42 C est un analyseur continu d'oxydes d'azote de faibles teneurs. Le principe utilisé est la chimiluminescence. La réaction de chimiluminescence, qui a lieu dans chacune des chambres de réaction, se produit lorsque les molécules d'ozone et de NO sont en contact.

7) *TEOM (Rupprecht & Patashnick)*

Ce moniteur est constitué d'une microbalance oscillante.

Le principe de mesure est le suivant : le changement de la fréquence de vibration du 'tapered element', un élément qui se trouve dans l'appareil en dessous d'un filtre de fibre de verre, change avec l'accroissement des particules de poussière sur le filtre.

8) *Acquisition des données*

Le camion laboratoire est équipé d'un ordinateur 'single-board', pourvu d'un processeur 486 DX et de l'appareillage nécessaire. Les données provenant de différents moniteurs et des capteurs météorologiques sont enregistrées par des canaux d'entrées analogues.

Toutes les dix secondes, les canaux d'entrées font un 'scan' (indication sur l'écran des concentrations actuelles de tous les éléments). Chaque demi-heure, ces données font l'objet d'un calcul des moyennes semi-

horaires qui sont reportées dans un document (un relevé) puis stockées sur disquette. Chaque mois, les données de ces relevés font l'objet d'un traitement afin d'obtenir un relevé mensuel. Ultérieurement ces données sont validées.

→ **Métaux lourds dans les poussières en suspension dans l'air**

1) Echantillonnage

L'échantillonnage se fait au moyen d'une pompe à débit bas (13 à 17 m³/jour), sur un filtre de nitrate de cellulose. Les particules inférieures à 10 µm sont prélevées. L'appareil est équipé de 8 postes de filtres. Toutes les 24 heures un autre filtre est échantillonné.

2) Méthode d'analyse

Les analyses sont faites au moyen d'un spectromètre de fluorescence à rayons-X de longueur d'onde dispersive.

Cette technique permet d'exécuter les analyses directement sur les filtres échantillonnés sans aucune préparation secondaire.

C. Valeurs limites

Dans le rapport extensif ce chapitre décrit les valeurs limites prévues dans la législation flamande (cf. la liste des tableaux et figures du rapport extensif en fin de ce résumé).

D. Description des lieux d'échantillonnage

Cette étude avait pour objet d'installer le camion-laboratoire à quatre endroits différents afin de pouvoir mesurer l'influence éventuelle des émissions produites par les industries du Nord / Pas-de-Calais et de Dunkerque.

La pollution de l'air provenant de cette région peut-être essentiellement mesurée par vent de secteur sud-ouest (205°-245°).

Les endroits ont été choisis en concertation avec le fonctionnaire local responsable de l'environnement.

Tableau 1- Lieux d'échantillonnage

| Période | Adresse | Coordonnées Lambert | |
|---------------------|--|---------------------|---------|
| | | X (km) | Y (km) |
| 31/08/98 - 09/09/98 | Cimetière militaire : Heldenweg Adinkerke | 26,175 | 197,415 |
| 09/09/98 - 18/09/98 | Plage : Leopold I - Esplanade De Panne | 23,775 | 201,965 |
| 18/09/98 - 28/09/98 | Réserve naturelle 'Westhoek': Schuilhavenlaan De Panne | 22,195 | 200,925 |
| 28/09/98 - 08/10/98 | Parking salle de sports Veurnestraat / Sportlaan De Panne | 26,875 | 199,695 |

Emplacement du camion-laboratoire de mesure

- Endroit 1 : installation sur une petite place devant le cimetière militaire. Il y a aussi une entrée pour les voitures de service de l'atelier mécanique de la commune de La Panne.
De l'autre côté de la petite place, à peu près à 300 m, se situe le Parc Meli.
- Endroit 2 : installation au niveau de la plage.
- Endroit 3 : la Réserve naturelle 'Westhoek'. Le camion se trouvait sur un petit parking, terrain de stationnement des voitures, destiné aux visiteurs de la réserve naturelle.
- Endroit 4 : un grand parking public, situé près de la salle de sports de La Panne.

Les endroits de mesures sont aussi indiqués sur une carte topographique compris dans le rapport extensif.

E. Résultats des mesures et interprétation

1) Introduction

Comme on n'a pas constaté de grandes fluctuations dans les résultats entre les différents lieux de mesures, que les périodes des mesures étaient courtes, et qu'il n'y avait pas de sources d'émissions locales importantes, les données sont traitées et les résultats interprétés dans leur ensemble pour la période du 01/09/98 jusqu'au 07/10/98.

2) Camion de mesures

→ *Comparaison par rapport aux valeurs limites et valeurs de référence*

Les concentrations moyennes journalières et les concentrations moyennes mensuelles sont mentionnées dans les tableaux 5.5 et 5.6. Dans le tableau 5.7 les résultats statistiques sont mentionnés. Le cours des concentrations, représenté dans des figures ainsi que les roses de pollution se trouvent en fin du rapport extensif.

Les normes sont souvent fixées en tenant compte des percentiles et moyennes de mesures au long d'une année complète : une comparaison aux normes n'est donc qu'indicative.

Tableau 2 - Dioxyde de soufre (concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Période | Moyenne | Concentration journalière maximale |
|--------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Septembre - octobre ' 98 | 7 | 15 |
| Valeur de référence | Moyenne journalière | 100 à 150 |
| | Moyenne annuelle | 40 à 60 |

La valeur journalière de référence n'a pas été dépassée dans la période des mesures.
Les valeurs moyennes mensuelles sont nettement inférieures à la valeur annuelle de référence.

Tableau 3 - Dioxyde d'azote (concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Période | Moyenne | Concentration journalière maximale |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Septembre - octobre '98 | 26 | 51 |
| Valeur de référence | 98 pct. Valeurs semi-horaires. | 135 |
| | Médiane (semi-horaires) | 50 |

Le 98me centile pour la période de mesure du 01/09/98 jusqu'au 07/10/98 est $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la médiane est $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Les valeurs mesurées sont inférieures à la valeur limite et la valeur de référence.

Tableau 4 - PM 10 poussière – TEOM (concentrations en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

| Période | Moyenne | Concentration journalière maximale |
|-------------------------|---------------------|------------------------------------|
| Septembre - octobre '98 | 30 | 78 |
| Valeur de référence | Moyenne journalière | 83 à 125 |
| | Moyenne annuelle | 33 à 50 |

Pour la période de mesures 01/09/98 - 7/10/98, la valeur du 98me centile est $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$; tandis que le 50me centile est $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La moyenne journalière de référence n'a pas été dépassée.

La nouvelle directive européenne 1999/30/EG concernant la poussière sera appliquée en 2005. La nouvelle norme pour la valeur moyenne journalière sera fixée à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; le nombre de dépassements permis par an sera limité à 35. La gravimétrie a été choisie comme méthode d'analyse.

L'application de cette future norme aux valeurs données dans cette étude révèle qu'il y aurait eu trois dépassements.

Tableau 5 - Monoxyde de carbone (concentrations en ppm)

| Mois | Moyenne mensuelle | Concentration journalière maximale (ppm) |
|----------------|---------------------------|--|
| Septembre '98 | 0,4 | 0,7 |
| Octobre '98 | 0,4 | 0,5 |
| Valeur limite: | 98pct valeur semi-horaire | 26,2 (= $30 \text{ mg}/\text{m}^3$) |

Le 98me centile pour la période de mesure susmentionnée est 0,7 ppm et est nettement inférieure à la valeur limite.

Tableau 6 - Moyennes journalières septembre

| Moyennes journalières Station : 7BAC01 | | | | | | | | |
|---|---|--------------------------------|---|----------------------------------|--|-----------|------------------------|------------|
| Date | SO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | NO $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | NO ₂ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | TEOM $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | O ₃ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | CO ppm | CO ₂ ppm | SXH ppb |
| 01-09-98 | 10 | 11 | 51 | 43 | 34 | 0,2 | 378 | 1,8 |
| 02-09-98 | 7 | 15 | 42 | 30 | 16 | 0,2 | 381 | 1,0 |
| 03-09-98 | 6 | 12 | 30 | 27 | 35 | 0,4 | 390 | 0,9 |

| | | | | | | | | |
|-------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|------|
| 04-09-98 | 5 | 8 | 28 | 37 | 47 | 0,2 | 366 | 0,6 |
| 05-09-98 | 4 | 4 | 13 | 13 | 55 | 0,3 | 353 | 0,2 |
| 06-09-98 | 8 | 4 | 17 | 22 | 56 | 0,5 | 363 | 0,3 |
| 07-09-98 | 5 | 7 | 24 | 21 | 43 | 0,4 | 372 | 0,2 |
| 08-09-98 | 4 | 8 | 16 | 17 | 48 | 0,2 | 360 | **** |
| 09-09-98 | 3 | 6 | 11 | 15 | 54 | 0,2 | 355 | **** |
| 10-09-98 | 4 | 3 | 11 | 18 | 66 | 0,2 | 351 | 2,6 |
| 11-09-98 | 6 | 4 | 16 | 13 | 63 | 0,3 | 355 | 2,4 |
| 12-09-98 | 10 | 4 | 12 | 21 | 75 | 0,3 | 348 | 1,5 |
| 13-09-98 | 7 | 3 | 10 | 36 | 74 | 0,2 | 347 | 1,1 |
| 14-09-98 | 8 | 4 | 15 | 59 | 67 | 0,4 | 348 | 1,5 |
| 15-09-98 | 8 | 4 | 18 | 35 | 51 | 0,4 | 350 | 1,3 |
| 16-09-98 | 4 | 4 | 11 | 78 | 68 | 0,3 | 348 | 1,3 |
| 17-09-98 | 4 | 4 | 11 | 57 | 54 | 0,4 | 353 | 2,1 |
| 18-09-98 | 4 | 5 | 21 | 21 | 46 | 0,3 | 371 | 2,0 |
| 19-09-98 | 9 | 6 | 30 | 21 | 33 | 0,2 | 367 | 1,4 |
| 20-09-98 | 8 | 4 | 23 | 31 | 47 | 0,3 | 366 | 2,2 |
| 21-09-98 | 13 | 8 | 38 | 32 | 37 | 0,4 | 372 | 1,6 |
| 22-09-98 | 15 | 10 | 43 | 37 | 27 | 0,4 | 375 | 0,4 |
| 23-09-98 | 10 | 8 | 47 | 36 | 32 | 0,6 | 373 | 0,3 |
| 24-09-98 | 8 | 8 | 44 | 43 | 39 | 0,7 | 379 | 0,4 |
| 25-09-98 | 6 | 5 | 35 | 37 | 53 | 0,5 | 375 | **** |
| 26-09-98 | 5 | 5 | 25 | 28 | 49 | 0,4 | 376 | **** |
| 27-09-98 | 4 | 4 | 17 | 14 | 40 | 0,4 | 364 | **** |
| 28-09-98 | 7 | 5 | 22 | 21 | 37 | 0,3 | 384 | **** |
| 29-09-98 | 4 | 6 | 27 | 30 | 38 | 0,4 | 391 | 0,8 |
| 30-09-98 | 4 | 5 | 23 | 21 | 43 | 0,4 | 368 | 0,4 |
| Moyenne mensuelle | 7 | 6 | 24 | 31 | 48 | 0,4 | 366 | 1,2 |

Tableau 7 - Moyennes journalières octobre

| Moyennes journalières | | | | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----|-----------------|-----|
| Station : 7BAC01 | | | | | | | | |
| Date | SO ₂ | NO | NO ₂ | TEOM | O ₃ | CO | CO ₂ | SXH |
| | µg/m ³ | ppm | ppm | ppb |
| 01-10-98 | 6 | 10 | 30 | 24 | 32 | 0,5 | 367 | 1,7 |
| 02-10-98 | 6 | 9 | 32 | 29 | 10 | 0,2 | 370 | 2,6 |

| | | | | | | | | |
|---------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| 03-10-98 | 6 | 6 | 27 | 22 | 13 | 0,4 | 368 | 3,1 |
| 04-10-98 | 8 | 11 | 33 | 30 | 10 | 0,5 | 383 | 2,6 |
| 05-10-98 | 10 | 27 | 35 | 33 | 4 | 0,5 | 392 | 2,1 |
| 06-10-98 | 9 | 13 | 27 | 35 | 16 | 0,3 | 377 | 1,8 |
| 07-10-98 | 8 | 8 | 30 | 23 | 8 | 0,3 | 377 | 1,7 |
| Moyenne par semaine | 8 | 12 | 31 | 28 | 13 | 0,4 | 376 | 2,2 |

Tableau 8 - Traitement statistique des données de mesures à base de valeurs semi-horaires

| Polluant Unité | SO ₂ µg/m ³ | TEOM µg/m ³ | NO µg/m ³ | NO ₂ µg/m ³ | O ₃ µg/m ³ | CO ₂ ppm | SXH ppb | CO ppm |
|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|------------------------|------------|-----------|
| P-10 | 3 | 13 | 3 | 10 | 3 | 348 | 0,2 | 0,2 |
| P-20 | 3 | 16 | 3 | 12 | 11 | 350 | 0,3 | 0,2 |
| P-30 | 4 | 19 | 4 | 15 | 22 | 353 | 0,7 | 0,2 |
| P-40 | 5 | 22 | 4 | 19 | 32 | 359 | 1,1 | 0,3 |
| P-50 | 5 | 26 | 4 | 24 | 42 | 364 | 1,4 | 0,3 |
| P-60 | 7 | 30 | 5 | 28 | 51 | 369 | 1,6 | 0,4 |
| P-70 | 8 | 35 | 6 | 32 | 59 | 375 | 1,9 | 0,4 |
| P-80 | 9 | 40 | 8 | 36 | 67 | 384 | 2,3 | 0,5 |
| P-90 | 12 | 48 | 15 | 46 | 76 | 394 | 2,8 | 0,6 |
| P-95 | 16 | 60 | 21 | 53 | 83 | 402 | 3 | 0,6 |
| P-98 | 21 | 78 | 35 | 59 | 90 | 411 | 3,2 | 0,7 |
| P-99,9 | 32 | 225 | 83 | 69 | 125 | 486 | 3,8 | 0,8 |
| Max | 36 | 248 | 194 | 72 | 130 | 493 | 5,3 | 0,9 |
| Moyenne arithmétique | 7 | 30 | 7 | 26 | 41 | 368 | 1,4 | 0,4 |
| Déviati on standard | 5 | 21 | 9 | 14 | 27 | 20 | 0,9 | 0,1 |
| Moyenne géométrique | 6 | 26 | 5 | 22 | 27 | 367 | 1 | 0,3 |
| Déviati on géométrique | 1,73 | 1,76 | 1,92 | 1,77 | 3,11 | 1,05 | 2,57 | 1,5 |
| Nombre de mesures validées | 1724 | 1741 | 1735 | 1735 | 1733 | 1735 | 1506 | 1736 |
| % de mesures validées | 97 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 85 | 98 |

→ **Résumé des données de mesures**

Sous le point 4 'Description des lieux d'échantillonnage' il a déjà été stipulé que les émissions provenant de l'industrie du Nord / Pas-de-Calais et de Dunkerque sont surtout détectées dans la région de La Panne quand la direction du vent se situe entre 200° et 245°. La rose du vent en annexe du rapport extensif montre que le vent souffle dans cette direction au maximum 11 % du temps total de mesure (environ quatre jours).

Entre les valeurs des mesures pendant toute la période, il n'y a pas de concentrations élevées et pas de dépassements de la valeur limite et de référence.

Les remarques à faire concernant les mesures faites du camion sont les suivantes :

- Le 08/09/98 et le 09/09/98 : concentrations élevées pour le NO le matin (194 et 190 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
A cette époque le vent venait de secteur sud. Les concentrations élevées étaient produites par des gaz d'échappements temporaires d'un camion stationné près de l'endroit de mesure.
- Le 16/09/98 et le 17/09/98 : des concentrations élevées des poussières PM-10 ont été mesurées (valeurs semi-horaires maximales de 248 et 209 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces deux jours donnent aussi des valeurs élevées pour les moyennes journalières (78 et 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A cette époque le camion de mesures était stationné près de la plage. Les mesures élevées de la poussière étaient dues au sable de la plage par un vent fort venant de la direction ouest-nord-ouest et ayant une vitesse variant de 22 à 32 km/heure.
- Le 25/09/98 : les concentrations d'ozone étaient élevées l'après-midi. Les mêmes concentrations ont été mesurées dans les stations de mesures du réseau télémétrique.

→ *Origine de la pollution*

Les roses de pollution se trouvent dans le rapport extensif publié en néerlandais (cf. référence Chap. 4.3).

Il faut remarquer que ces roses ne sont pas représentatives de l'origine de la pollution de l'air au cours d'une année complète.

Des concentrations de pollution élevées pour SO_2 , NO et NO_2 ont été mesurées venant des directions nord-est et est. Ces deux secteurs sont responsables pour l'apport d'air continental.

Pour le NO, il y a une concentration 'pic' dans le secteur 185 °-195°; probablement dû aux gaz d'échappement d'un camion stationné près de l'endroit de mesure.

Les plus hautes concentrations d'ozone se forment ou sont amenées quand le vent souffle de la direction ouest.

Pour la poussière, un 'pic' de 99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ a été mesuré avec un vent venant de la direction nord. Le sable de la plage, agité par le vent est responsable de cette mesure élevée.

Il n'y avait pas de concentrations élevées de la pollution de l'air pendant la période de mesures de cette étude. On peut remarquer que cette période était courte (37 jours) et que le vent venant de secteur sud-ouest (direction de Dunkerque) était limité à (11 %) du temps.

II. Campagnes du Westhoek : fin 1999 - 2000

Laboratoire mobile et métaux lourds

Campagne de mesures de juin - juillet 2000

Mesures de dépôts de dioxine

octobre – novembre 1999, avril – mai 2000 et novembre - décembre 2000

Mesures d'ammoniac

Période 08/12/1999 – 20/10/2000

Il s'agit ici du résumé des campagnes effectuées sur le Westhoek, campagnes dont les résultats ont été publiés intégralement en flamand :

* Résumé

Au cours des mois de juin - juillet 2000, une étude a été réalisée au Westhoek à l'aide d'un laboratoire mobile. Cette unité mobile a été mise en place par le service technique municipal (Zwartenbroekstraat, Adinkerke). Simultanément, des mesures ont été effectuées à Adinkerke et Houtem (Veurne) pour déterminer les quantités de métaux lourds dans les particules de matière en suspension.

Ce rapport inclut aussi les résultats des observations relatives aux dépôts de dioxine effectués en octobre - novembre 1999, avril - mai 2000 et novembre - décembre 2000. L'ammoniac a été mesuré par Vito à Knokke, De Panne, Houtem et Diksmuide durant la période de décembre 1999 à octobre 2000.

Ces études font toutes partie du projet Interreg II AEROSOL. Ce projet commencé en 1998 dans le but d'assister la région frontalière pour les problèmes spécifiques liés à leur distance géographique. L'inquiétude des populations locales et le respect de l'environnement étaient au centre de leur souci.

Dans le cadre d'Interreg II, un projet de recherche a été accepté pour définir la pollution de l'air transfrontalière entre le Nord de la France (Nord / Pas-de-Calais) et la Flandre (Westhoek). La présence d'une infrastructure industrielle proche des populations a été la raison d'être de ce projet. En fonction de la direction du vent, une pollution transfrontalière peut avoir lieu dans les deux directions.

Les résultats enregistrés par l'unité mobile ont été bien en dessous des valeurs SO₂, NO₂, CO et PM10.

De plus, les résultats des métaux lourds ont été très bas. Encore plus bas que les mesures de Knokke.

Excepté pour l'ozone, aucune augmentation de concentrations de polluants déterminés n'a été trouvée durant cette campagne. Il faut spécifier que la période de prélèvements n'a duré que 45 jours et que la direction du vent est venue du secteur 235°-295° (direction Dunkerque) pendant environ 17% du temps (7.5 jours).

Deux autres campagnes ont été organisées en décembre - janvier 2000 et mai - juin 2001. Les résultats seront discutés dans ce rapport final.

Toutes les dépôts de dioxine à Adinkerke, De Panne, Veurne et Poperinge sont restés en dessous des valeurs limites. On a remarqué une importante augmentation de ces valeurs à Menen seulement. En 2001, VMM réalisera des mesures de concentrations en fonction des vents pour localiser la source de pollution.

Les valeurs moyennes annuelles trouvées à De Panne (4.5 µg/m³) et Knokke (forêt) (2.6 et 4.3 µg g/m³) sont bien en dessous des valeurs locales de 1997 et 1998. A Houtem, les concentrations d'ammoniac de 10,8 et 12,8 µg g/m³ ont été trouvées, et à Diksmuide elles sont de 14,7 et 15,9 µg g/m³ et ceci, cependant, sans excéder les valeurs trouvées en 1997 - 1998 dans les zones d'élevage intensives. A Knokke (zone ouverte), une moyenne annuelle de 8,7 µg g/m³ a été mesurée, ce qui est comparable aux zones cadres.

III. Mesures Lidar de la pollution de l'air dans la zone de La Panne (Belgique) Novembre-décembre 2000

* Résumé

Du 27 novembre au 15 décembre 2000, la compagnie Lidar a effectué des mesures dans la zone de De Panne en Belgique, dans le cadre d'un contrat avec VMM. Les coefficients d'extinction, c'est-à-dire la distribution/répartition des aérosols et les concentrations de SO₂, NO₂ et d'ozone ont été déterminées. Le but principal de cette campagne était de décrire l'impact de la pollution provenant de la zone industrielle dunkerquoise sur la région de De Panne. Les mesures de pollution atmosphérique ont été effectuées en utilisant la technologie Lidar.

En plus de la pollution atmosphérique, on a mesuré la vitesse et la direction du vent à différentes altitudes en utilisant la technologie Sodar. Les mesures ont été effectuées avec un laboratoire mobile composé d'un système Lidar 510M et Sodar PA2. On a fait des mesures pendant neuf jours durant toute la durée de la campagne.

Du 27 novembre au 9 décembre, les conditions météorologiques ne convenaient pas pour mesurer l'impact de la pollution de la zone industrielle de Dunkerque. Le vent soufflait principalement du sud, de telle sorte que les masses d'air étaient emmenées vers la mer du Nord et n'atteignaient pas la région de De Panne. Cette situation s'est produite durant les quatre premiers jours de prélèvements. Ces jours-là généralement, de très basses concentrations de polluants étaient détectées. Lorsqu'une augmentation des concentrations était mesurée, elles provenaient de sources locales. Par exemple, des concentrations accrues de NO₂ ont été détectées au-dessus d'une grande route de De Panne le 27 novembre. Certaines couches d'aérosols ont été détectées durant les quatre premiers jours de prélèvements. On ne pouvait pas distinguer avec exactitude les sources des aérosols, mais dans la plupart des cas, elles étaient d'origine naturelle (nuages, brouillard, etc.).

On a relevé une pollution atmosphérique en provenance de Dunkerque durant les quelques premiers jours de prélèvements, du 10 au 15 décembre. Des concentrations de SO₂ accrues de façon significative ont été relevées lorsque les masses atmosphériques étaient transportées par des vents venant de Dunkerque. Des panaches de SO₂ ont été relevés à la fois au niveau du sol et sur des couches d'air plus élevées. La concentration maximale de SO₂ atteignait 250 µg/m³ dans ces panaches. Parfois, les panaches de SO₂ correspondaient aux zones de fortes concentrations d'aérosols. Ceci peut prouver que les nuages d'aérosols provenaient de la même source que le SO₂, à savoir la zone industrielle de Dunkerque.

REMARQUE

Bien que les mesures Lidar n'aient pas été financées par INTERREG II NF : 2.2.1 projet AEROSOL, les données fournies comportent des informations intéressantes et facilitent la comparaison et l'interprétation des résultats fournis par le projet AEROSOL.

3.3.2.2. Campagnes de prélèvements par UIA (Universitaire Instelling Antwerpen)

Les principaux prélèvements sur la côte belge ont déjà été effectués. Les différentes campagnes à bord du navire océanographique Belgica, de la Manche jusqu'en Mer du Nord, se sont terminées avec succès. Durant ces campagnes, les prélèvements ont été effectués avec différents impacteurs (May, Berner) et systèmes de filtre.

Des échantillons ont été prélevés pendant un an à un point fixe au "Zwin", une réserve ornithologique de Knokke-Heist. Ce point rural d'échantillonnage, à 500m de la mer, est situé loin des activités industrielles. Les résultats de cette campagne donnent une vue d'ensemble de la pollution n'ayant pas une origine industrielle, le long des côtes belges. Les activités agricoles constituent ici les principales sources de pollution anthropogène.

L'influence de la zone industrielle de Dunkerque a été examinée en détail durant une campagne de prélèvements à Adinkerke, près de la frontière française, à 4 km de la mer. On mettra l'accent sur l'influence industrielle lorsque ces données seront comparées avec celles de Knokke-Heist. La campagne de prélèvements de Knokke-Heist ne fait pas partie du projet AEROSOL, mais dans cette étude, les données seront utilisées pour comparer les différentes régions.

A. Campagnes Belgica

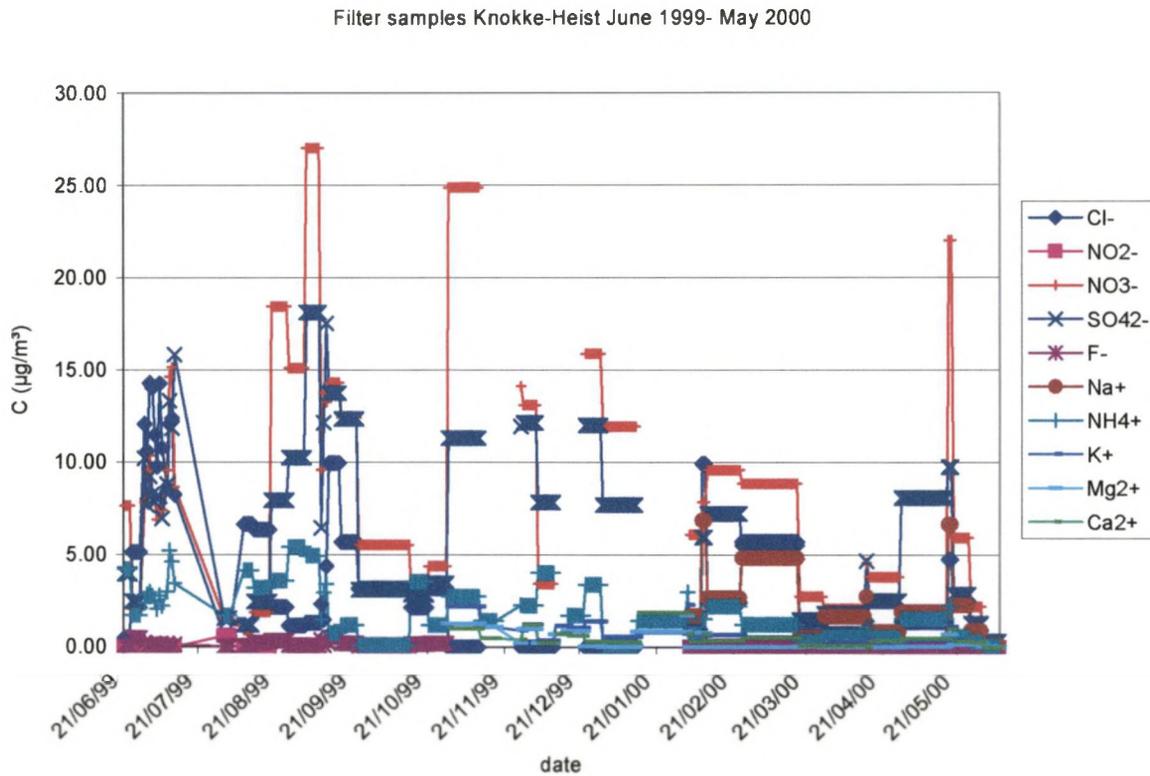
Les résultats des campagnes du Belgica ont déjà été présentés et discutés dans les précédents rapports.

B. Echantillonnages à Knokke-Heist

Les campagnes de prélèvements de Knokke-Heist ont démarré en juin 1999 et se sont terminées à la fin du mois de mai 2000. La station de prélèvement était située à une distance de 500 m de la mer.

Les aérosols ont été prélevés grâce à un système de pompage à haut volume. L'échantillonnage pouvait durer de 24 heures à quelques jours. En gérant la pompe de façon continue, on a échantillonné des masses d'air de quelques centaines à de nombreux milliers de mètres cubes. Ensuite, les filtres ont été nettoyés et analysés par chromatographie ionique (CI).

La fraction d'aérosols a révélé de fortes concentrations en nitrate, sulphate et sel marin. Les particules de nitrate sont le résultat de la réaction de l'acide nitrique avec du gaz d'ammoniac ou des particules de sel marin. Les sulphates de sodium et d'ammonium représentent la majorité des particules de sulphate. Ces aérosols se forment lors du contact du sel marin ou de l'ammoniac avec l'acide sulphurique. Les aérosols de sel marin se forment au-dessus de la mer ou en surface.

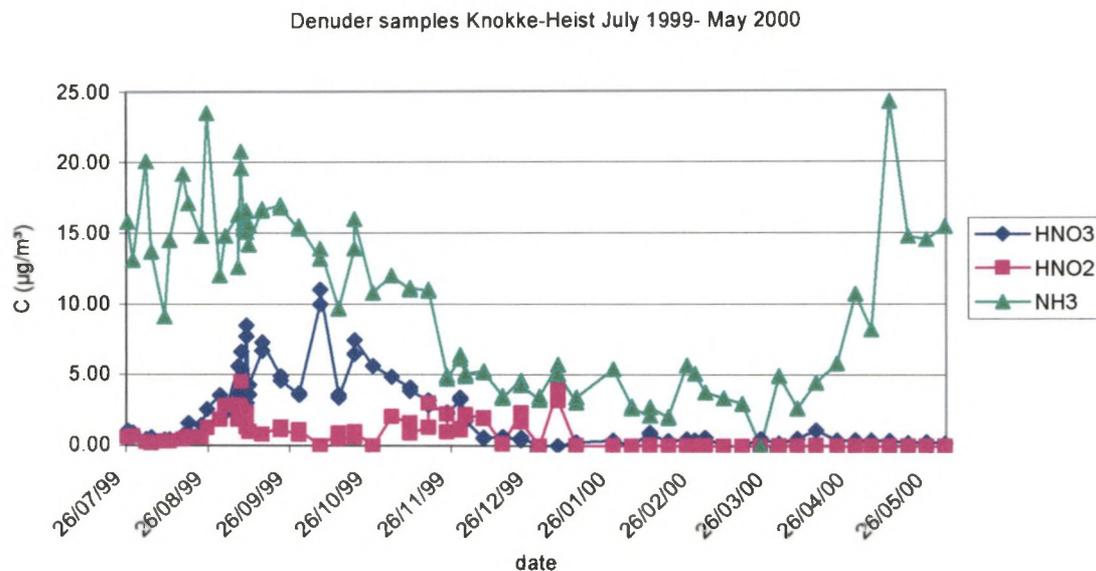


Dessin 1: Échantillons filtrés lors des campagnes de Knokke-Heist juin 1999 - mai 2000

Les échantillons gazeux ont été prélevés sur une base hebdomadaire en utilisant un système annulaire dénudé. Les fluctuations saisonnières des concentrations d'ammoniac sont représentées dans le dessin No. 2.

95% de l'ammoniac est rejeté dans l'atmosphère par les activités agricoles et l'élevage de bétail et de cochons. Les concentrations d'ammoniac sont les plus basses d'octobre à avril. Début mai, les champs sont fertilisés pour la culture du maïs. Des températures plus élevées durant l'été sont à l'origine d'une augmentation de la concentration due à la décomposition des composants d'ammonium volatiles.

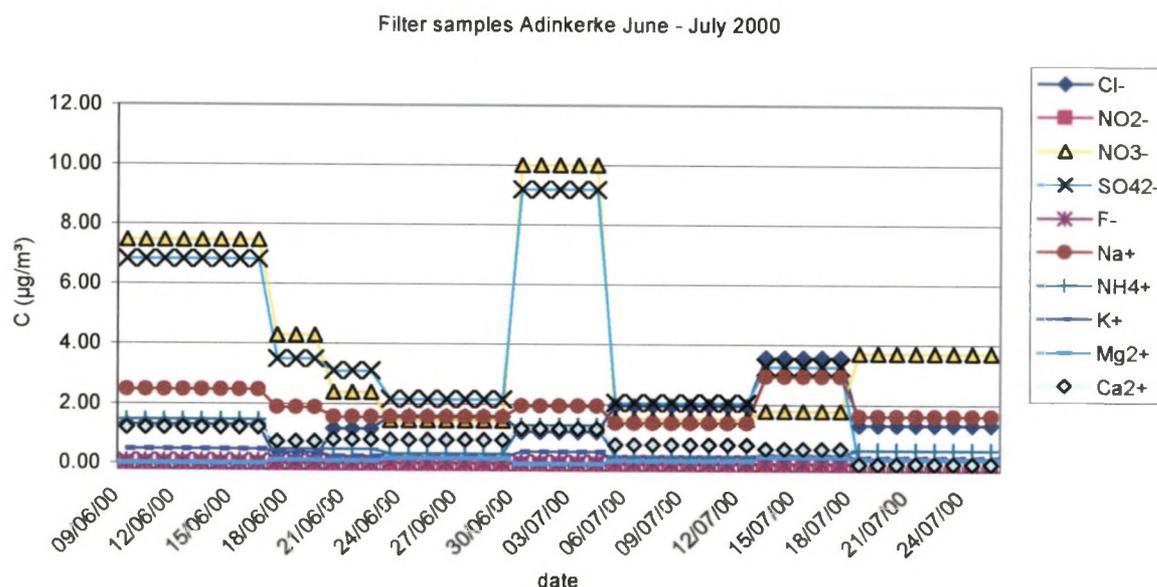
Les acides nitriques et nitreux sont issus de la réaction des oxydes de nitrogène. Ces oxydes de nitrogène sont émis lors des traitements industriels et lors des émissions de la circulation.



Dessin 2: Échantillons dénudés de Knokke-Heist campagne juillet 1999 - mai 2000

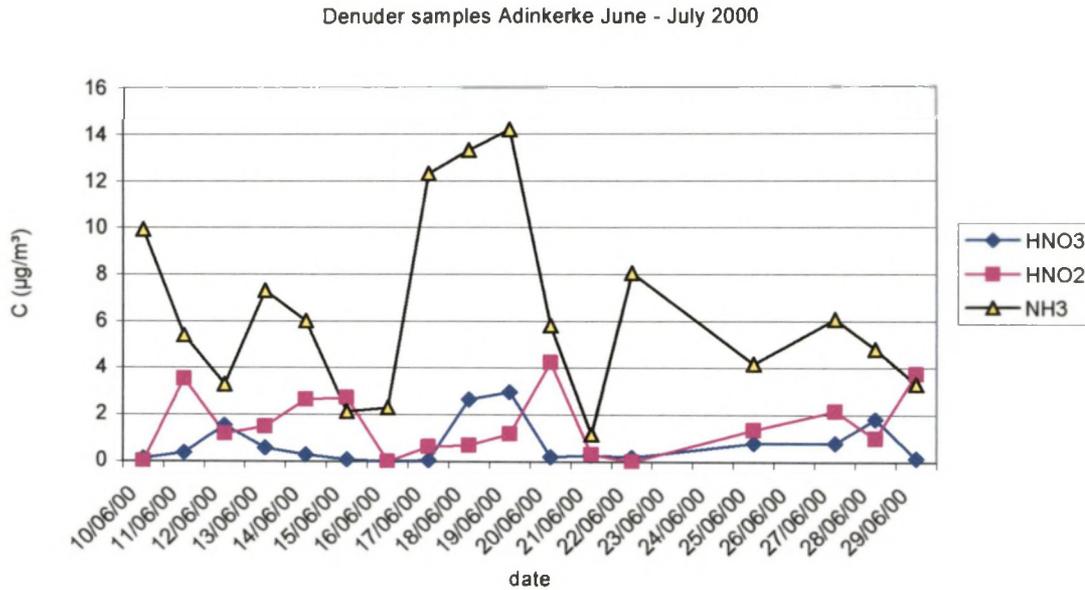
C. Prélèvements à Adinkerke

La première campagne d'échantillonnage d'Adinkerke a été organisée en juin et juillet 2000. Ces mois ont été très pluvieux et les précipitations provoquèrent des concentrations d'aérosols fluctuant (dessin No. 3). La concentration a été la plus basse du 22 au 29 juin, après 4 jours de précipitations. Au cours de cette période, il faisait sec et les particules se sont accumulées dans l'air.



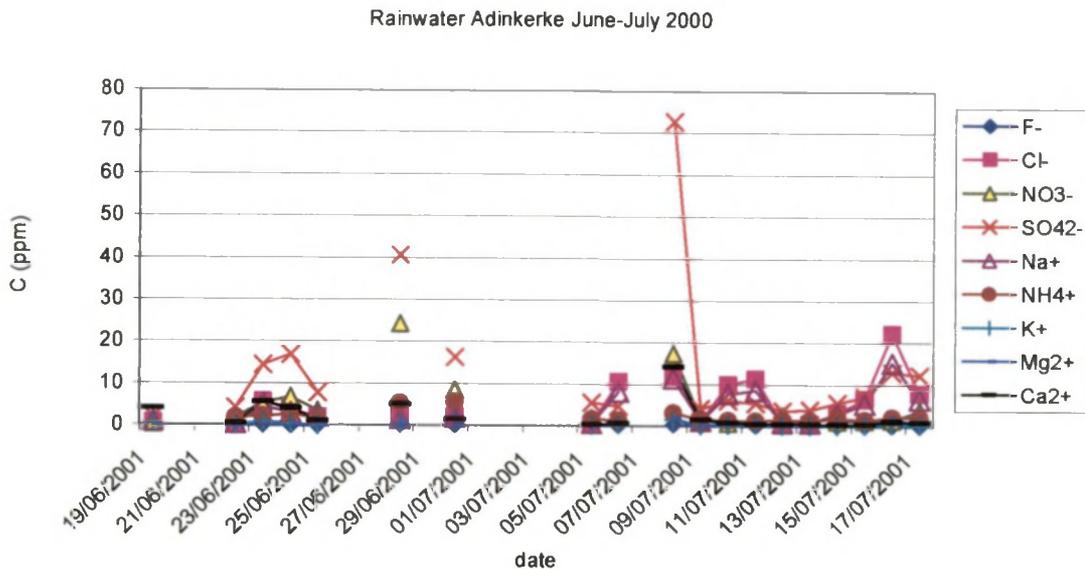
Dessin 3: Échantillons filtre Adinkerke, campagne juin-juillet 2000

De plus, les concentrations de gaz dans l'air (dessin No. 4) ont baissé durant les précipitations.

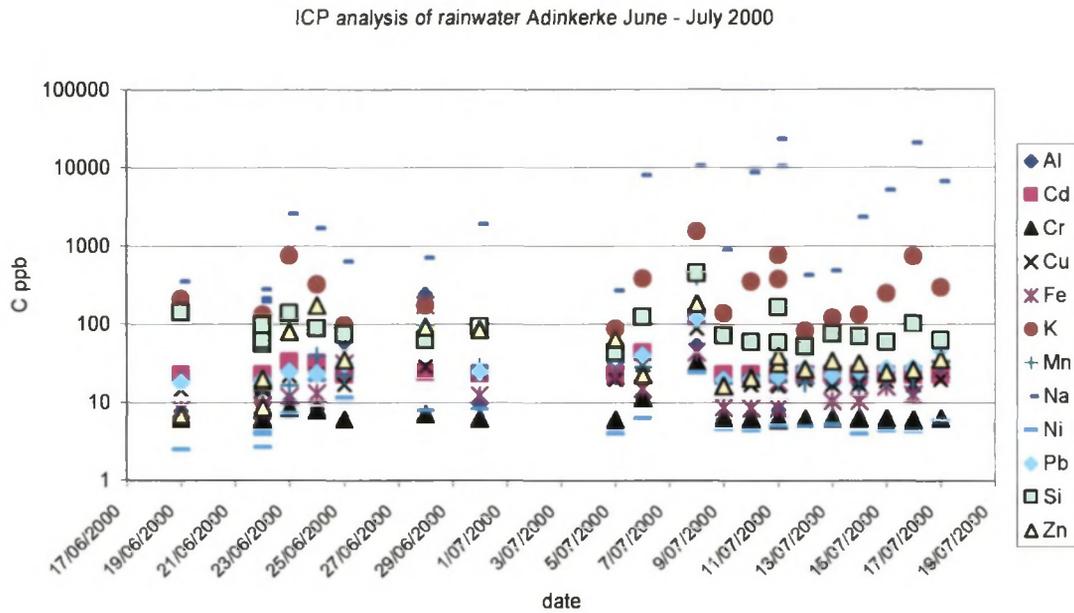


Dessin 4: Échantillons de gaz à Adinkerke, campagne juin-juillet 2000

Il est tout à fait clair que la concentration de polluants dans l'eau de pluie a été plus importante après les périodes de sécheresse (dessins Nos. 5, 6). Au début d'une période pluvieuse, les particules sont éliminées dans l'air.



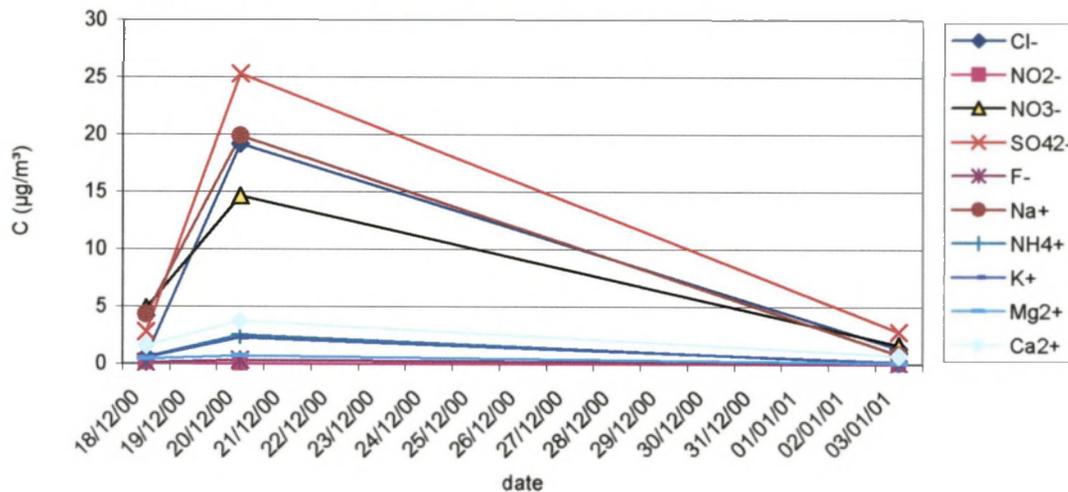
Dessin 5: Échantillons d'eau de pluie Adinkerke, campagne juin-juillet 2000 (analyse CI)



Dessin 6: Échantillons d'eau de pluie Adinkerke, campagne juin - juillet 2000 (analyse ICP)

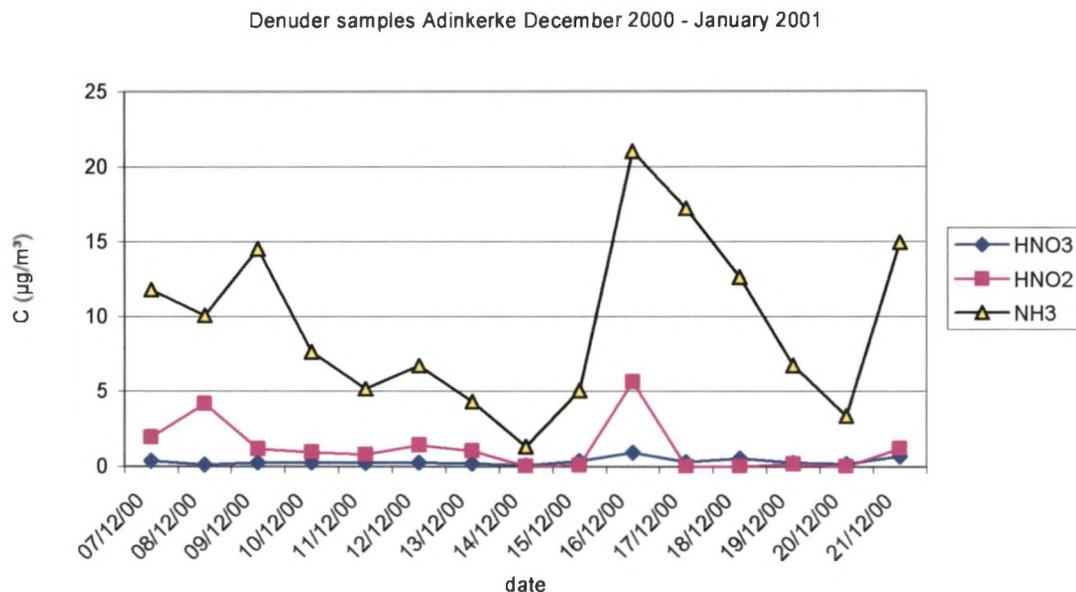
La plupart des échantillons filtre issus de la campagne de décembre doit encore être analysée. Les échantillons d'eau de pluie de décembre (dessins Nos. 9, 10) montrent aussi une teneur plus importante en sulfates, nitrates et chlorures.

Filter samples Adinkerke December 2000 - January 2001



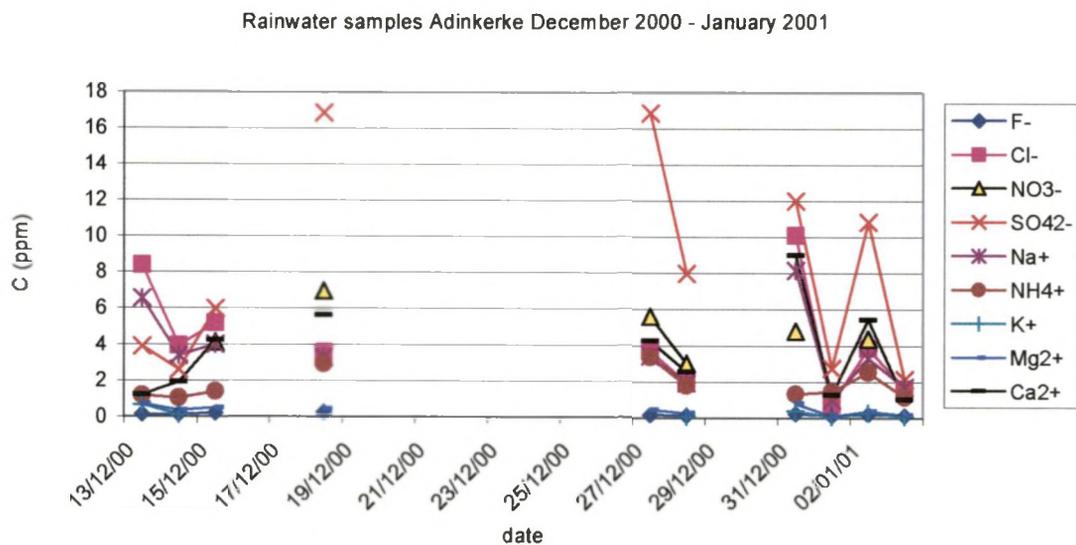
Dessin 7: Échantillons filtre Adinkerke, campagne décembre 2000 – janvier 2001

Les plus basses concentrations gazeuses ont été détectées lors des précipitations des 13 et 15 décembre. La pluie du 18 décembre a provoqué une baisse de la concentration gazeuse les jours qui ont suivi.

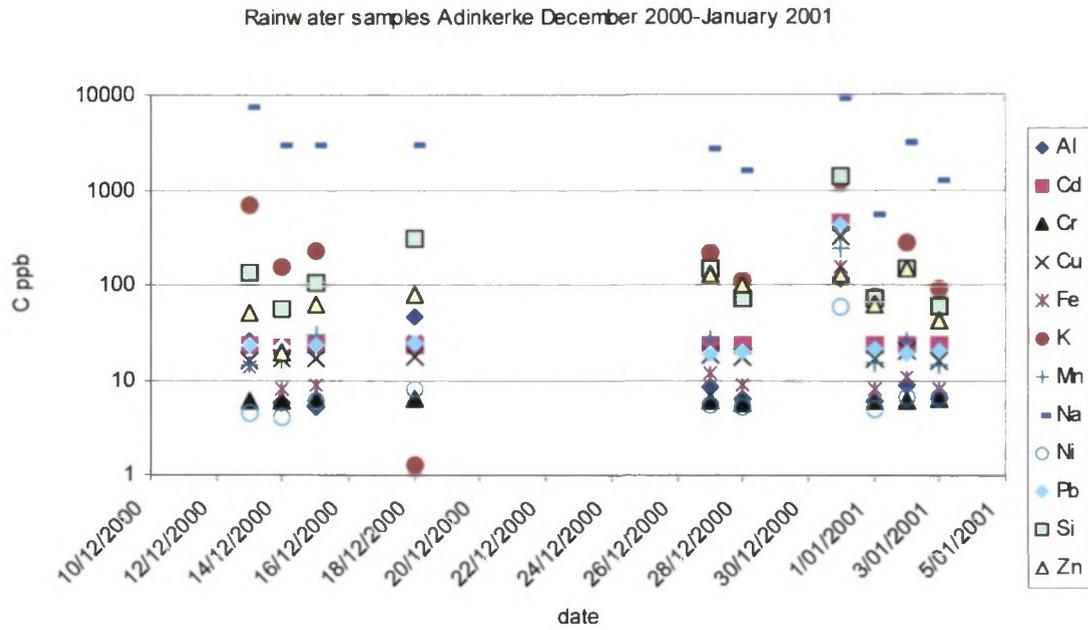


Dessin 8: Échantillons dénudés Adinkerke, campagne décembre 2000 – janvier 2001

L'effet d'élimination des 27 et 28 décembre est représenté sur les dessins Nos. 9 et 10. Au bout d'une journée de pluie, la teneur en polluants a déjà été réduite de moitié. Les plus fortes concentrations en sulfates, nitrates et chlorures ont été enregistrées.



Dessin 9: Échantillons d'eau de pluie Adinkerke, campagne décembre 2000 - janvier 2001 (analyse CI)



Dessin 10: Échantillons d'eau de pluie Adinkerke, campagne décembre 2000 - janvier 2001 (analyse ICP)

Des échantillons de traces métalliques ont aussi été prélevés sur une base hebdomadaire. Ces échantillons ont été préparés et seront bientôt analysés.

3.3.3 Analyse des prélèvements effectués sur Wimereux selon la technique de "RPE" (Résonance Paramagnétique Electronique) par ULCO

3.3.3.1 Introduction

Afin d'appliquer la résonance paramagnétique électronique dans le domaine des particules atmosphériques, une première étude a été menée à Wimereux. Ce site représente un cas simple car une seule source majeure de rejets est présente : l'usine métallurgique COMILOG (10% de la production mondiale FeMn). L'objectif était de déterminer les particules de FeMn et de suivre leur déplacement.

Ce travail représente une première étape nécessaire avant de considérer des cas plus compliqués comprenant des sources d'émission beaucoup plus importantes, notamment dans la zone dunkerquoise.

3.3.3.2 Utilisation de la spectroscopie selon la technique de résonance Paramagnétique Electronique (RPE) dans l'étude des ions Fe^{3+} et Mn^{2+} dans les particules atmosphériques Aérosols

A- INTRODUCTION

La mer du Nord est entourée par quelques unes des nations les plus industrialisées dans le monde. Ces récentes années, on s'est davantage inquiété de la pollution composée notamment de traces métalliques dans cette zone (Baeyens and Dedeurwaerder, 1991 ; Injuk et al. 1998). Des outils d'analyse comme GFAAS, PIXE (Duta et al. 1998 ; Borbely-Kiss et al., 1998), la spectroscopie Mossbauer (Hoffman et al., 1996) sont aujourd'hui disponibles pour étudier les métaux dans les aérosols, mais la spectroscopie par RPE reste encore rarement utilisée dans l'étude des particules atmosphériques. L'objectif de ce travail était de caractériser le Fe et le Mn dans les aérosols atmosphériques et de présenter les possibilités de spectroscopie par RPE dans le domaine des matières de particules aéroportées. La première application RPE dans l'étude des aérosols fut faite entre 1958 et 1961 : des expériences furent effectuées sur la fumée de cigarette afin d'améliorer une dépendance entre le nombre d'électrons impair et l'activité cancérigène de la fumée de tabac (Austen and Ingram, 1952 ; Ingram, 1961). Jusqu'en 1988, la fumée de cigarette a été le premier objet d'études sur les aérosols par RPE. Dzuba et al., en 1988, ont été les premiers auteurs à avoir étudié le spectre RPE des matières récupérées après filtration de l'air atmosphérique. Plus récemment, Yordanov et al. (1996) ont appliqué cette technique pour la quantification des produits carbonés dans les aérosols dans l'air urbain de Sofia, Bulgarie.

B- MÉTHODOLOGIE

Les aérosols atmosphériques ont été collectés à Wimereux (50°45'N, 1°39'E), station française située sur la côte est de la Manche (Fig. 1). Ce site est - par les vents sud-sud/ouest - directement sous l'influence des émissions d'une importante usine métallurgique de ferromanganèse implantée à Boulogne-sur-Mer et distante de 5 km de Wimereux. Les aérosols ont été échantillonnés de novembre 1998 à juin 1999 sur un mât d'une hauteur de 10 mètres, sur des filtres nettoyés Whatmann 41 cellulose pendant une période de 24 h, au moyen d'un procédé d'aspiration de l'air d'un taux de débit de 5 m³/h connecté à un mètreur de volume de gaz sec calibré (Gallus 2000, Schlumberger*). Des échantillons furent aussi prélevés à 20 km (Cap Gris-Nez) et 80 km (Dunkerque) de la source d'émissions afin d'observer l'évolution des formes chimiques de Mn durant le transport atmosphérique.

Des concentrations métalliques ont été mesurées GFAAS (Perkin Elmer Analyst 600). Le spectre RPE a été enregistré avec une bande X (9.56 GHz) spectromètre Brüker EMX à 293K (température

de l'espace) et 77K (température du nitrogène liquide). Le filtre fut divisé en bandes étroites (environ 1 mm de large) et pour analyse (i) à 293K, introduit dans un tube de quartz (ii) à 77K directement mis à l'intérieur d'un vase Dewar® rempli d'azote liquide - et alors placé à l'intérieur de la cavité du spectromètre.

C- RÉSULTATS ET DISCUSSION

La réponse RPE à 77K de la matière collectée sur le filtre est représentée dans la figure 2. Le large signal ($g=2.04-2.21$, $\Delta H=220-520G$) résultant de fortes interactions entre deux espèces paramagnétiques ou plus ainsi appelées "agglomérées" est toujours présente et ne permet pas l'identification des espèces. Le signal sextet centré à $g=2.00$ définit les Mn^{2+} isolés. Les ions Fe^{3+} sont identifiés par un signal intense bas à $g=4.3$. Celui-ci a été rarement observé dans nos échantillons. Cette étroite ligne singlet $g=2.002$ est attribuée aux radicaux carbonés, elle est présente sur quasiment tout le spectre avec des intensités variables selon la direction du vent. Le spectre RPE peut être analysé avec deux approches différentes : la première est quantitative sachant que les zones du signal sont proportionnelles à la somme des espèces paramagnétique, la seconde est qualitative et consiste à observer le signal et ses caractéristiques (g -facteur, constante hyperfine).

a) Étude générale

Les quantités relatives de la totalité des espèces paramagnétiques, N_S , ont été évaluées en utilisant la double intégration normalisée DI/N donnée par le software Brüker WINEPR. Pour obtenir une valeur de N_S indépendante des conditions analytiques et de prélèvements, nous utilisons aussi la formule (1) :

$$N_S = \frac{M \cdot DI / N}{m \cdot V} \quad (1)$$

où M , m , V sont respectivement le poids du filtre entier, la masse de la portion analysée et le volume d'air prélevé. Ce calcul a été réalisé sur un spectre à 293 K. Les quantités relatives des produits carbonés N_R ont été approchées en utilisant la formule :

$$N_R = \frac{I(\delta H) \cdot M}{m \cdot V} \quad (2)$$

où I et δH sont respectivement l'intensité et la largeur (point à point) du signal radical. Cette estimation a été faite sur le spectre à 77K ; dans notre cas les signaux de produits carbonés sont seulement présents à cette température de travail.

Les résultats de ces calculs sont déterminés selon la direction du vent (figures 3a et 3b). On rencontre les quantités maximales d'espèces paramagnétiques quand les aérosols atmosphériques sont d'origine continentale, et les minimales quand le vent souffle de la mer (figure 3a). Nous pouvons facilement expliquer cette observation : les sources d'émissions sont principalement situées sur le continent, ainsi les quantités d'espèces paramagnétiques sont plus élevées pour les masses d'air ayant cette origine. La même observation peut être faite pour les quantités de produits carbonés (croquis 3b) et nous pouvons invoquer la même raison ; cependant, pour les aérosols, certaines valeurs provenant du secteur métallurgique Fe-Mn ne peuvent pas être calculées, en fait le signal de radicaux carbonés se superpose aux ions isolés Mn^{2+} .

Les quantités de radicaux carbonés sont déterminées en fonction des quantités d'espèces paramagnétiques (figure 4) et la tendance est la suivante : plus la quantité d'espèces paramagnétique est importante, plus celle des radicaux carbonés l'est : quelle que soit la direction du vent, ces deux paramètres sont proportionnels.

On a examiné les corrélations existant entre les teneurs métalliques et les paramètres RPE. Aucune relation évidente n'a été relevée pour le Mn, cependant on a pu la mettre en valeur avec précision entre les teneurs Fe dans les aérosols et la quantité totale d'espèces paramagnétiques (figure 6). Les espèces paramagnétiques pourraient principalement provenir des composés ferreux..

b) Influence de la direction du vent

Les spectres aérosols 293K et 77K RPE correspondant à différentes directions du vent sur Wimereux sont indiqués dans les figures 6 et 7. Aucun spectre spécifique 293K ne peut être attribué à une origine particulière, cependant il peut l'être avec un spectre de 77K : les spectres avec un signal d'ions isolés Mn^{2+} ($g=2.00$ et constante hyperfine $A=96G$) peuvent être placés d'un côté, et de l'autre les spectres avec cette sorte de réponse. Le premier type de spectre est rencontré avec des vents provenant du site métallurgique de ferromanganèse (190° - 220°) et la seconde forme de spectre est faite par les aérosols collectés lors de vents de directions différentes. Dans le spectre RPE de particules collectées durant des vents de direction moyenne de 166° et 237° (en dehors du secteur 190° - 220°), le signal spécifique de Mn^{2+} est présent : la direction de vent moyenne représente la direction principale de vent durant la période de prélèvements et dans ce cas, le secteur effectivement échantillonné incluait les émissions de l'usine métallurgique FeMn. Un prélèvement fut réalisé sous des conditions météorologiques pluvieuses et sous l'influence possible de l'usine FeMn (180°), le spectre de la figure 7 n'indique aucun signal Mn^{2+} . Des particules provenant de cette source ne semblent pas avoir atteint notre point de prélèvement, l'effet d'élimination par la pluie peut être envisagé. Des quantités relatives d'ions Mn^{2+} peuvent être évaluées en utilisant l'équation (2) appliquée sur la première ligne du spectre Mn^{2+} isolés et sont déterminées selon la direction du vent sur la figure 8. Les quantités d'ions Mn^{2+} sont maximales pour les vents provenant de l'usine métallurgique Fe-Mn, et par conséquent l'origine de ces ions Mn^{2+} ions est clairement définie.

c) Prélèvement par impacteur en cascade

Pour s'assurer que le signal d'ions Mn^{2+} avec la constante hyperfine $A=96 G$ soit spécifique à la source d'émission, un prélèvement par impacteur en cascade fut réalisé à environ 200 m de ce site. La matière de particule fractionnée selon la taille est échantillonnée par l'utilisation d'un impacteur en cascade à haut volume de filtre à 5 niveaux (Sierra Instruments Model 235). Le tableau I indique pour chacun des niveaux les valeurs expérimentales pour le diamètre aérodynamique réduit de 50% (Flament et al., 1986). La figure 9 représente les spectres obtenus pour les aérosols selon leur taille à 77K. Les spectres des particules dont le diamètre aérodynamique équivalent (ead) est inférieur à $1\mu m$ – niveaux 4 à 6 – sont tout à fait différents de ceux à $1\mu m$ – des niveaux 1 à 3. Un signal à champ magnétique bas est ajouté aux niveaux les plus bas. Ainsi, le signal RPE peut se décomposer en 4 signaux élémentaires. Le premier résulte des ions Mn^{2+} isolés et est constitué de six raies centrées $g=2.00$ distante de $96G$ l'une de l'autre, le second est dû aux radicaux carbonés et est centré à $g=2.00$, le troisième est donné par les espèces paramagnétiques dites "agglomérées" et le dernier présent sur un champ magnétique bas, attribué à une phase ferromagnétique contenant des Mn. Il est nécessaire de prélever davantage d'échantillons pour une identification exacte et utiliser d'autres outils analytiques.

Les calculs précédemment définis ont été faits. De même il a été observé dans l'étude globale de particule de matière sur Wimereux qu'une corrélation existait entre les quantités d'espèces paramagnétiques et les produits carbonés ($R^2 > 0.9$) sur le site COMILOG.

Les radicaux carbonés et les espèces paramagnétiques semblent être associés de préférence avec la fraction la plus fine des aérosols (Figure 10). Cependant, cette observation doit être prise avec précautions, car la quantité et en particulier le poids des particules aux différents niveaux n'est pas connu et cela n'autorise aucune conclusion définitive.

d) Traceur de source Mn

Dans tous les spectres, excepté le spectre de particules de niveau 6, on trouve des ions Mn^{2+} isolés de très faible intensité. La constante hyperfine correspondant $A=96$ G est la même que celle trouvée sur Wimereux et il est possible d'affirmer que le Mn présent à Wimereux provient de l'usine métallurgique Fe-Mn. La constante $A=96$ G pourrait servir de traceur de cette source d'émission. Des aérosols ont été prélevés au Cap Gris-Nez et sur Dunkerque, respectivement à 20 et 80 km de distance de la source d'émission et sous des vents incluant l'usine de Fe-Mn. Les spectres obtenus sont résumés dans la figure 11. Les particules prélevées sur Wimereux et au Cap Gris-Nez donnent un signal RPE d'ions Mn^{2+} isolés plus élevé avec la même constante hyperfine et la valeur de facteur-g prouvant que le Mn conserve le même environnement chimique durant son transport atmosphérique depuis la source d'émission jusque ces deux sites et entre les sites.

Au cap Gris-Nez, nous observons aussi des ions Mn^{2+} avec d'autres constantes hyperfines $A=75$ G et $A=88$ G. On rencontre ceux-ci lorsque le vent souffle depuis l'Angleterre et nous pouvons aussi distinguer plusieurs formes de Mn sur ce site ($A=96$ G de COMILOG ; $A=75$ G et $A=88$ G en provenance d'Angleterre). Des particules prélevées à 80 km de la source de Fe-Mn ne révèlent aucun signal caractéristique tandis que le Mn est effectivement présent dans l'échantillon : la forme chimique du Mn pourrait avoir changé à une distance comprise entre 20 et 80 km de la source d'émissions, ou plus probablement, des particules de la source n'ont pas atteint Dunkerque. Des prélèvements à une distance de 20 à 80 km devraient être effectués pour déterminer quelle hypothèse est la bonne.

e) Identification exacte du composant Mn (II).

Selon Simanek et al. (1970) & Chepeleva et al. (1977), la constante $A=96$ G pourrait être attribuée aux composants $MnCl_2$: les chlorures sont l'un des plus importants composants de l'atmosphère dans notre zone d'étude (front de mer) ; la confirmation a été apportée grâce au microscope électronique à balayage en combinaison avec le spectromètre à rayon X (SEM-EDX). Cette technique est la plus importante et est largement utilisée pour définir la morphologie et la composition des particules (Ortner, 1999, Gunst et al., 2000). L'avantage majeur de l'EDX est d'accéder à la composition exacte de chaque particule. L'analyse SEM-EDX fut réalisée au microscope 438 (LEO, Cambridge, England) équipé d'un spectromètre à rayon X à dispersion (IXRF, USA). Il fut procédé à l'analyse d'un échantillon prélevé sur Wimereux par des vents de sud-sud/est pour confirmer la forme de Mn suggérée par le spectromètre RPE. Afin d'obtenir une série de données réaliste, 500 particules ont été traitées. Les données ont été soumises à l'analyse à regroupement hiérarchique (software IDAS de l'Université d'Anvers), des particules similaires sont alors regroupées en même classe. Les résultats de cette diminution de données sont indiqués dans la figure 12. Un échantillon d'aérosols de vents de sud-sud/ouest est composé de 7 groupes "clusters" dont le Mn-Cl avec une proportion relative de 1 à 2. Une identification probable d'un tel composant est le $MnCl_2$ ce qui confirme l'examen RPE.

D- CONCLUSION

La RPE a été introduite avec succès dans l'examen des aérosols atmosphériques, en particulier pour identifier les ions Mn^{2+} . Cet outil permet d'observer trois formes de Mn - (i) isolé, (ii) aggloméré, (iii) en phase magnétique (ferromagnétique et antiferromagnétique) - en fonction de la taille des particules et de la distance de la source d'émission. Ce dernier paramètre semble être très important pour l'étude de la spéciation des métaux contenus dans les aérosols. Au Cap Gris-Nez, trois ions Mn^{2+} isolés différents ont été distingués : $A=75$ G et $A=88$ G d'Angleterre et $A = 96$ G du site COMILOG. La constante $A=96$ G peut agir en tant que "traceur" pour les émissions de FeMn de l'usine métallurgique COMILOG et peut être imputable aux composants $MnCl_2$. A partir du moment où la corrélation entre les quantités d'espèces paramagnétiques et les radicaux carbonés a été mise en évidence, celle entre les quantités d'espèces paramagnétiques et les concentrations Fe l'a été également. Nous confirmons aussi le fait que les particules atmosphériques ont différentes propriétés selon leur taille. L'identification exacte des espèces chimiques n'apparaît pas possible avec uniquement l'utilisation de la RPE. Par conséquent son association avec la technique du SEM-EDX donnant la composition individuelle des particules semble être un outil très puissant pour la détermination chimique des aérosols atmosphériques.

E- REFERENCES

- Austen D.E.G., Ingram D.J.E., Trans. Faraday Soc., vol. 54, 1958, p 400.
- Baeyens W. and Dedeurwaerder H., 1991. Particulate trace metals above the southern bight of the North Sea II. Origin and behaviour of trace metals. *Atm. Env.* 25 A, 1077-1092.
- Borbely-Kiss I., Kertesz Zs., Koltay E., Szabo Gy., Tar K., 1999. Composition and sources of urban and rural atmospheric aerosol in eastern Hungary. *Nucl. Instr. Meth. B* 150, 339-344.
- Chepeleva E.V., Zhilinskaya E.A., Lazukin V.N., Chernov A.P., Olkovskii V.E., 1977. *Titre. Phys. Stat. Solids* 82, 189-192.
- Dutta R.K., Sudarshan M., Bhattacharyya S.N., Chakravorty V., Chintalapudi S.N., 1998. Quantitative PIXE analyses of ferromanganese oxide deposits from different locations of the Indian Ocean and a deposit from the Pacific Ocean. *Nucl. Instr. Meth. B* 143, 403-413.
- Dzuba S.A., Puskin S.G., Tsvetkov Y.N., 1988. EPR as applied to the study of chemical composition of atmospheric aerosols. *Dokl. AN USSR* 299, 1150.
- Flament P., 1986. Les métaux-traces associés aux aérosols atmosphériques : apports au milieu marin sur le littoral Nord-Pas de Calais. PhD Thesis, University of Lille, France.
- Hoffmann P., Dedik A.N., Enslig J., Weinbruch S., Weber S., Sinner T., Gütlich P., Ortner H.M., 1996. Speciation of iron in atmospheric aerosol samples. *J. Aerosol Sci.* 37, 325-337.
- Ingram D.J.E., *Acta Med. Scand. Suppl.*, vol.369, 1961, p 43.

Injuk J., Van Grieken R., De Leeuw G., 1998. Deposition of atmospheric trace elements into the North Sea : coastal, ship, platform measurements and model predictions. *Atm. Env.* 32, 3011-3025.

Simanek E., Müller K.A., 1970. *J. Phys. Chem. Solids* 31, 1027-1040.

Yordanov N.D., Veleva B., Christov R., 1996. EPR study of aerosols with carbonaceous products in the urban air. *Appl. Magn. Reson.* 10, 439-445.

Annexe IV

Figures et tableaux

TABLEAU 1 : diamètre aérodynamique équivalent $D_{p,50}$
(masse volumique = 2 g.cm^{-3})

| Étage Numéro | $D_{p,50}$ (μm) |
|--------------|------------------------------|
| 1 | 5.08 |
| 2 | 2.10 |
| 3 | 1.04 |
| 4 | 0.64 |
| 5 | 0.33 |
| 6 (Back up) | 0.04 |

Figure 1 : localisation de l'échantillonnage

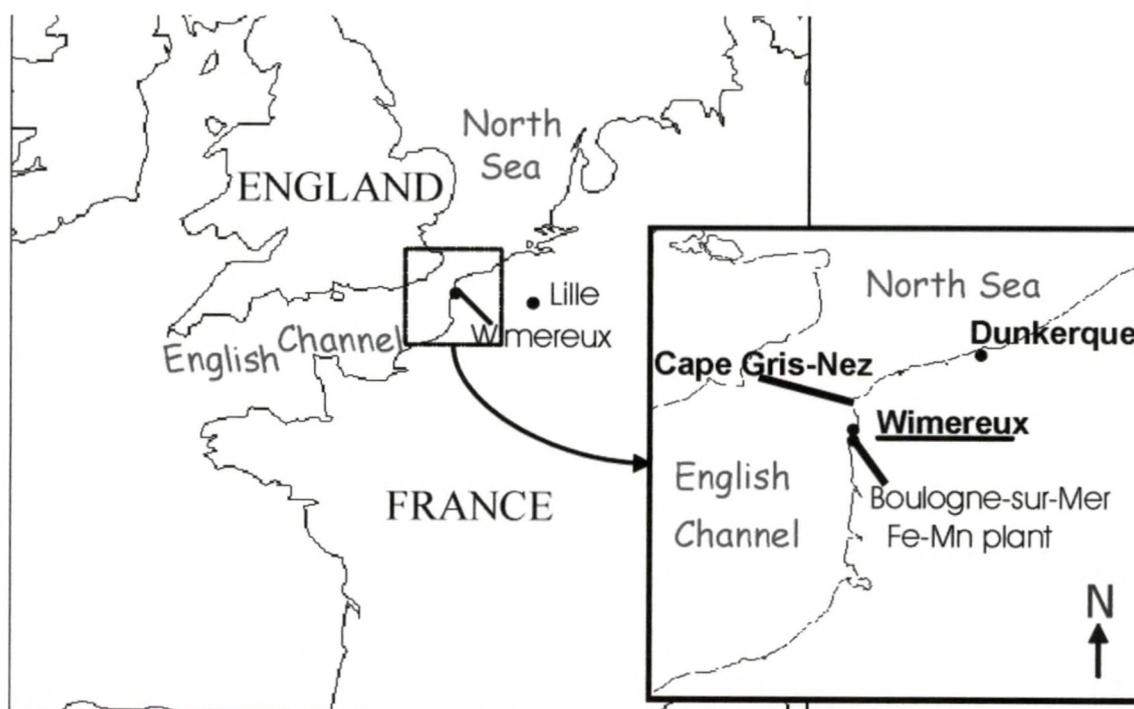


Figure 2 : spectre RPE typique (77K) des aérosols atmosphériques
Identification des Fe^{3+} , Mn^{2+} et radicaux carbonés

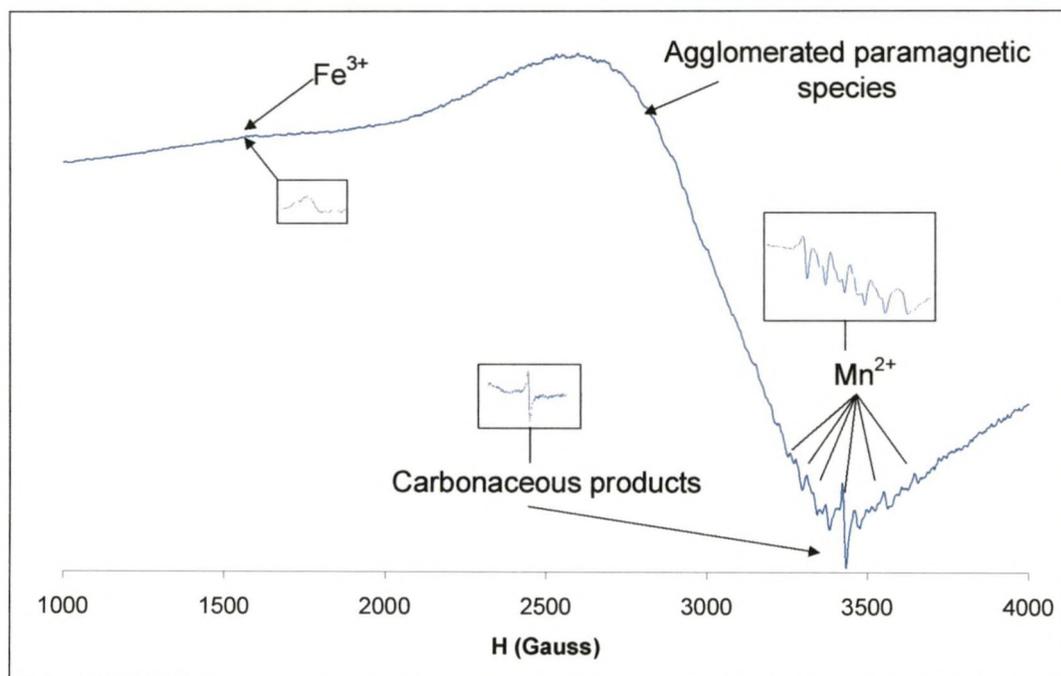


Figure 3a : sommes des espèces paramagnétiques selon la direction du vent

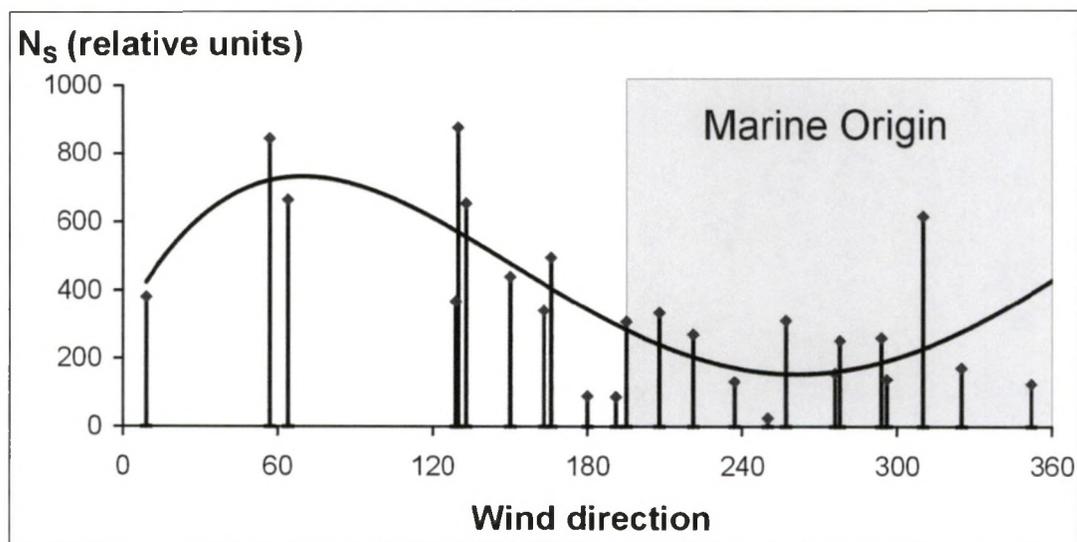


Figure 3b : sommes des radicaux carbonés selon la direction du vent.

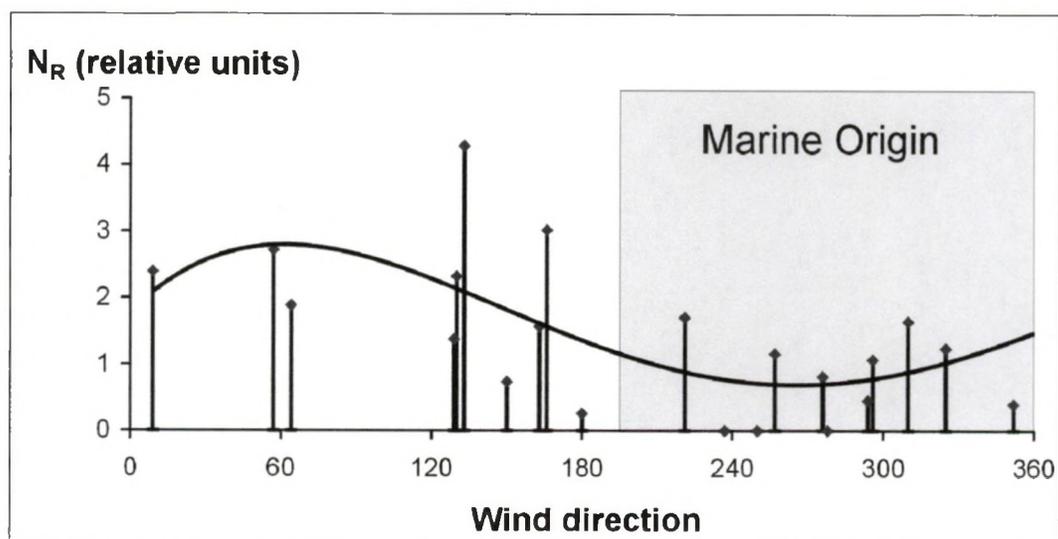


Figure 4 : sommes des radicaux carbonés selon l'importance des espèces paramagnétiques (unités arbitraires)

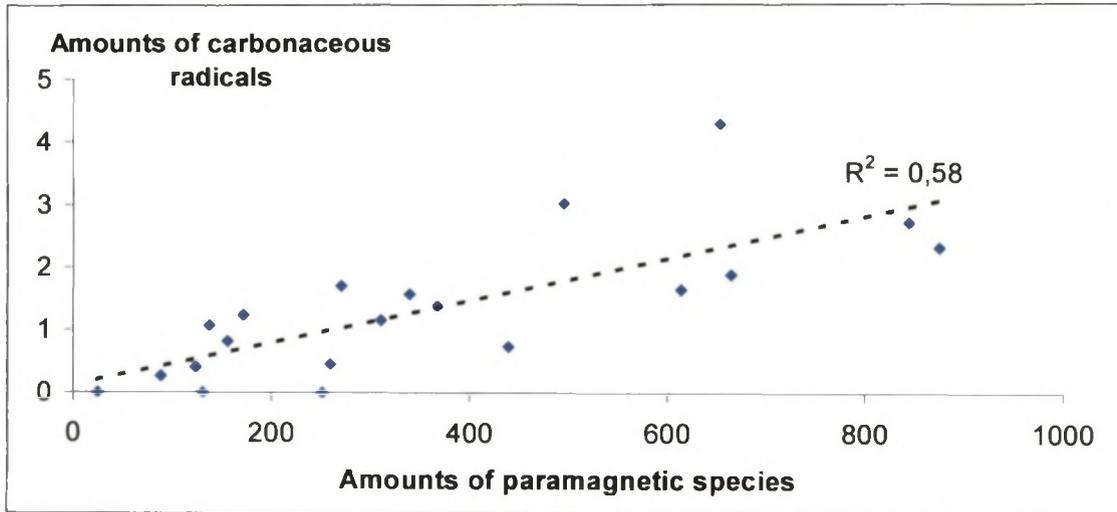


Figure 5 : concentrations Fe dans les aérosols selon l'importance des espèces paramagnétiques

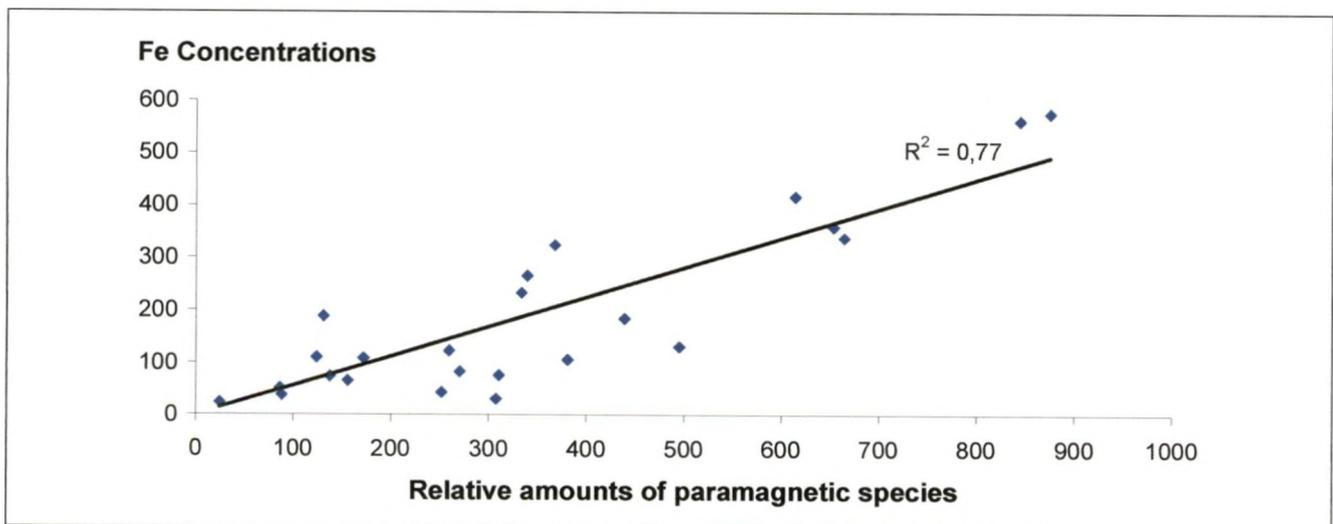


Figure 6 : spectre RPE 293 K pour les aérosols collectés à Wimereux selon la direction du vent

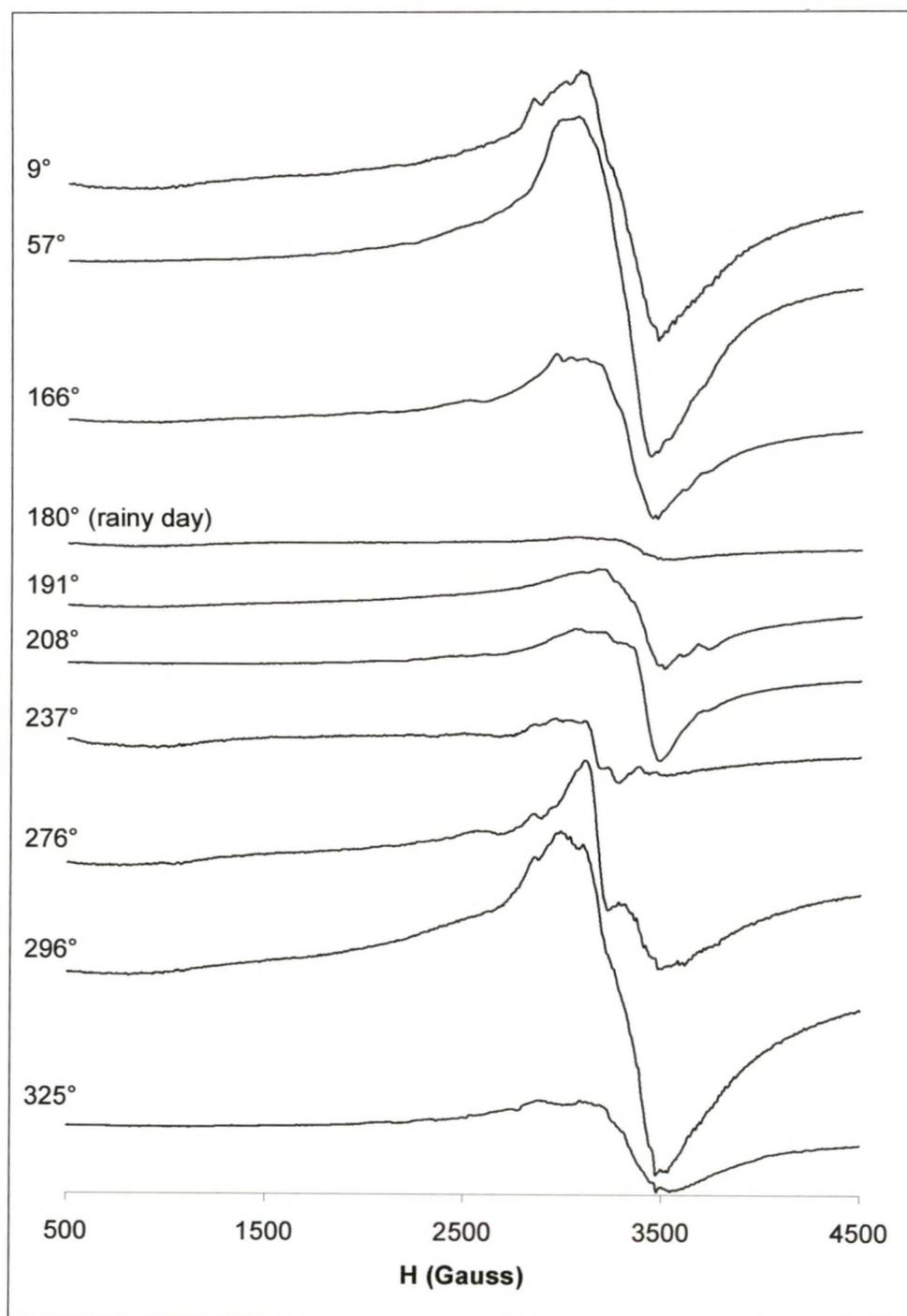


Figure 7 : spectre RPE 77 K pour les aérosols collectés à Wimereux selon la direction du vent

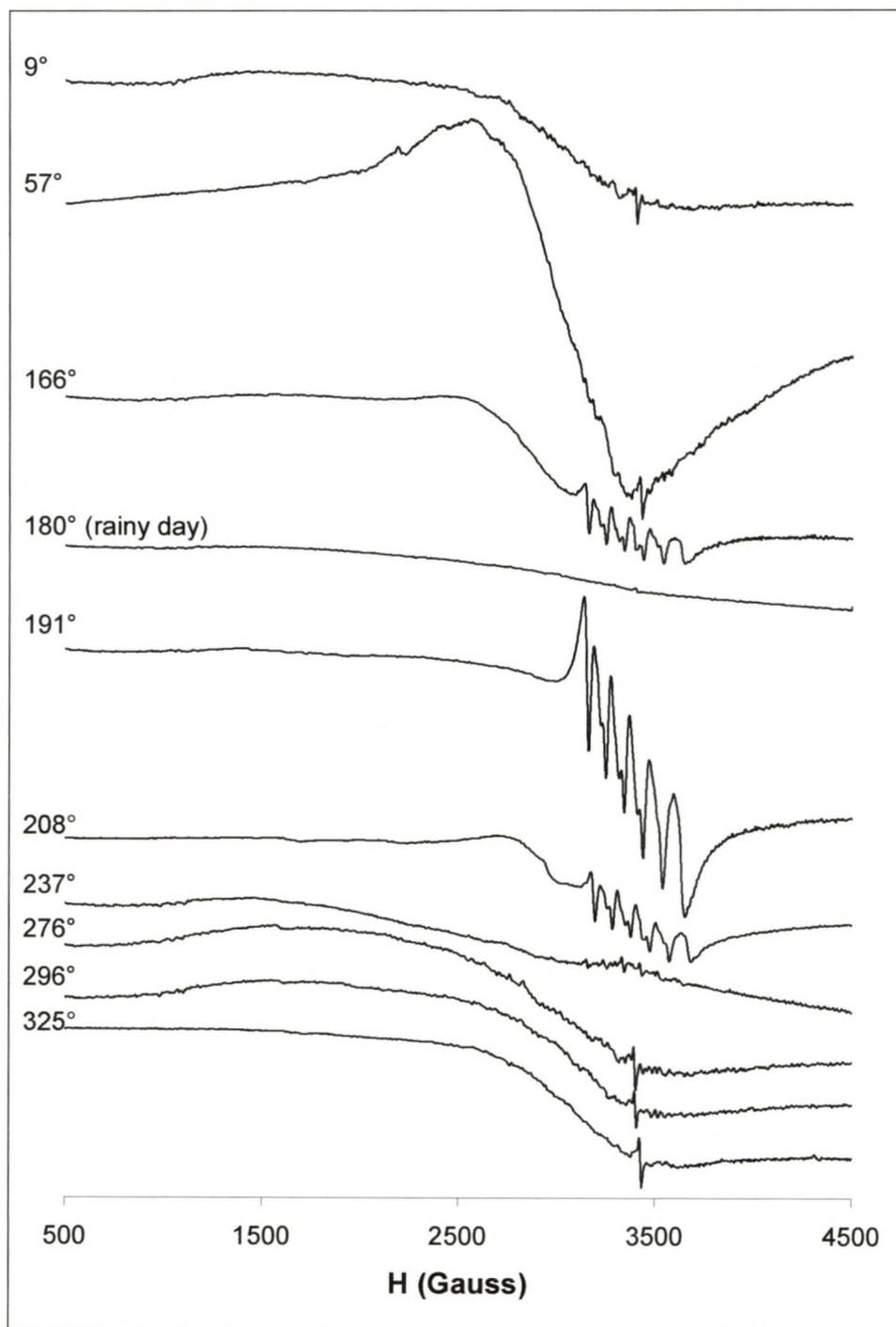


Figure 8 : sommes d'ions Mn^{2+} selon la direction du vent

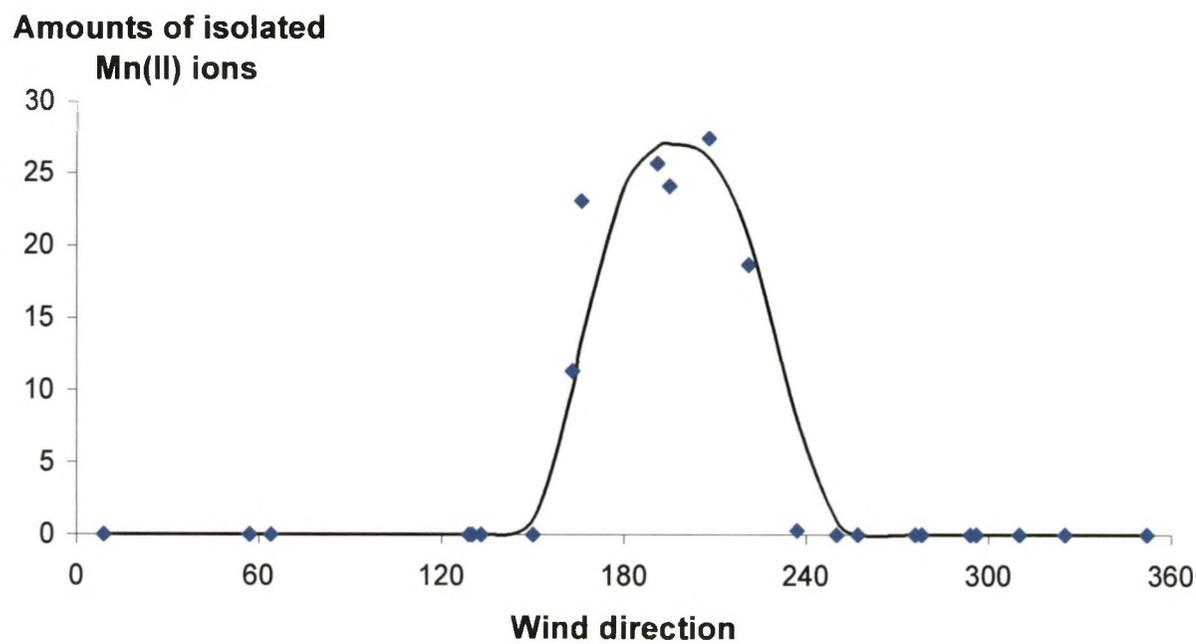


Figure 9 : spectre RPE 77 K des aérosols collectés sur le site COMILOG avec un impacteur en cascade (6 étages)

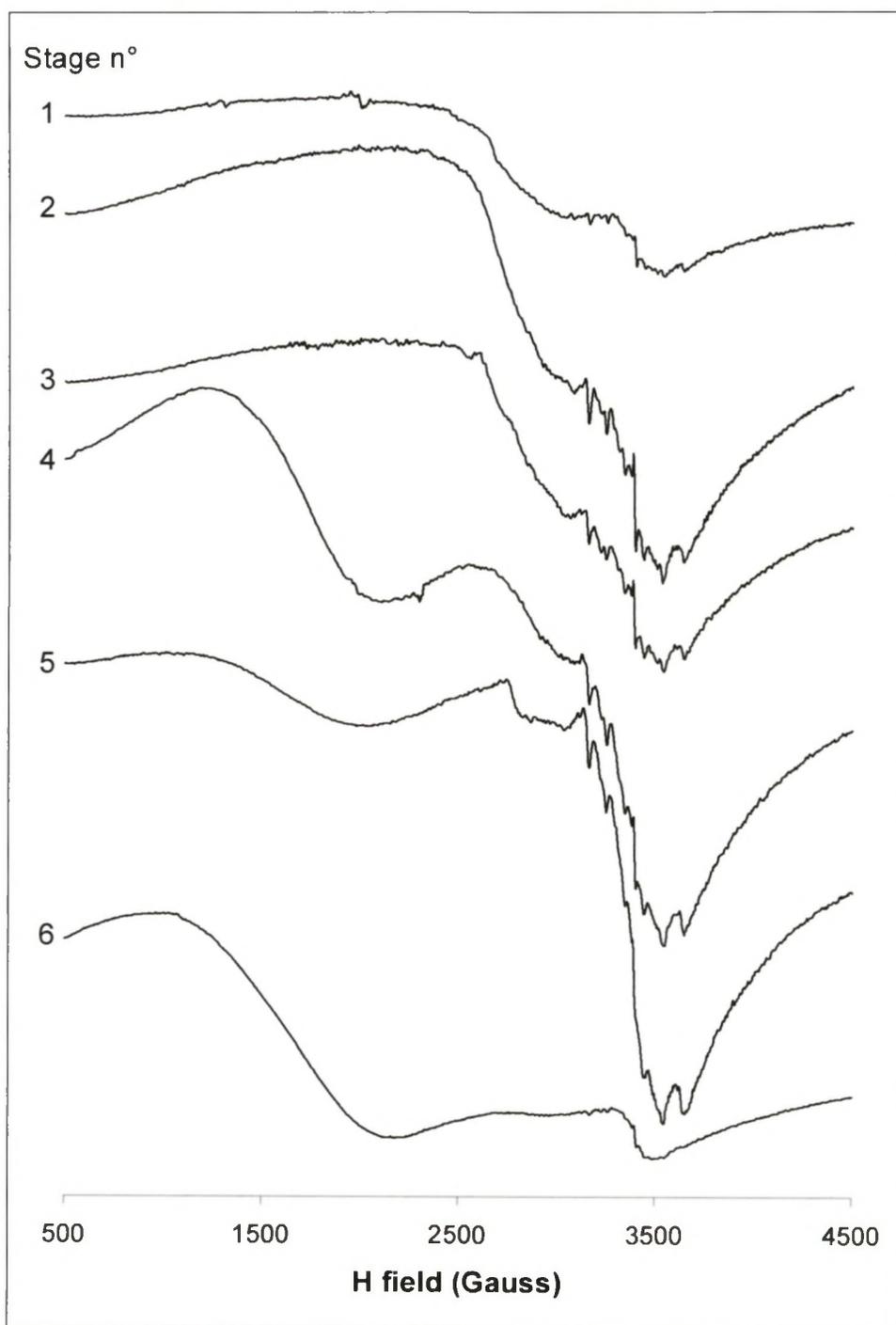


Figure 10 : sommes des espèces paramagnétiques et produits carbonés selon la taille des particules sur le site COMILOG

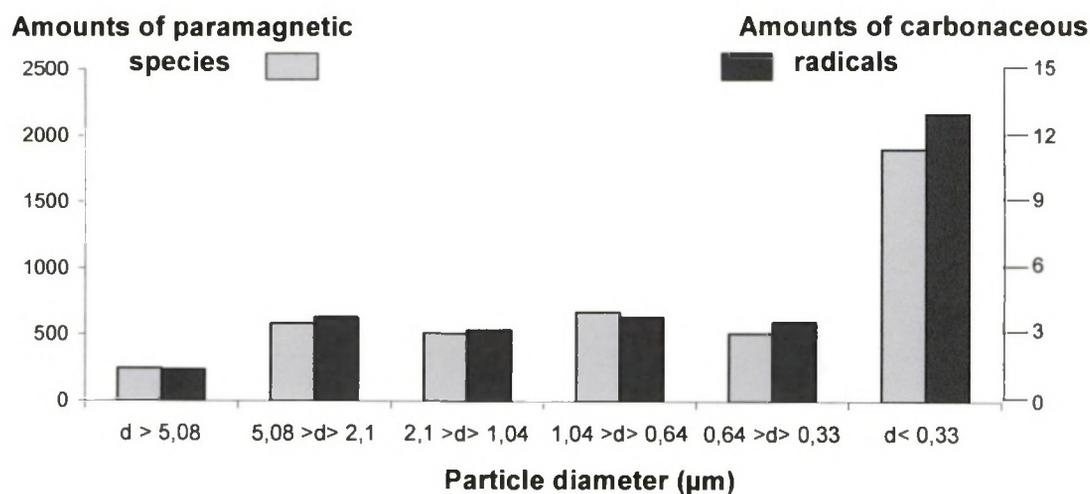


Figure 11 : spectre RPE 77K des aérosols collectés à différentes distances de l'usine métallurgique COMILOG et sous son influence

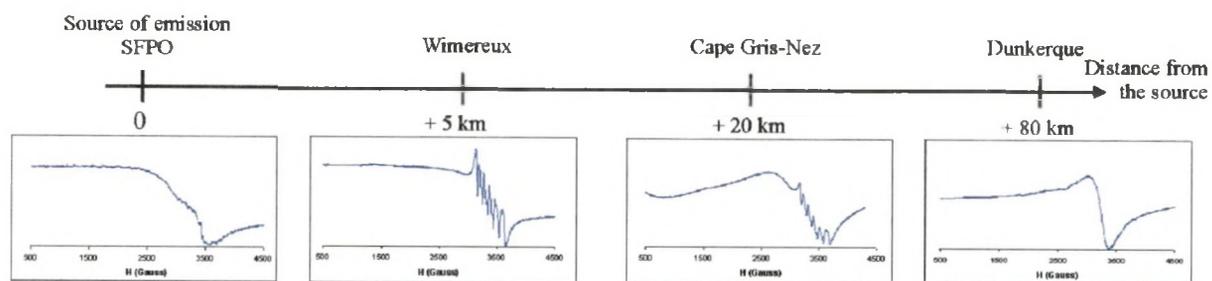
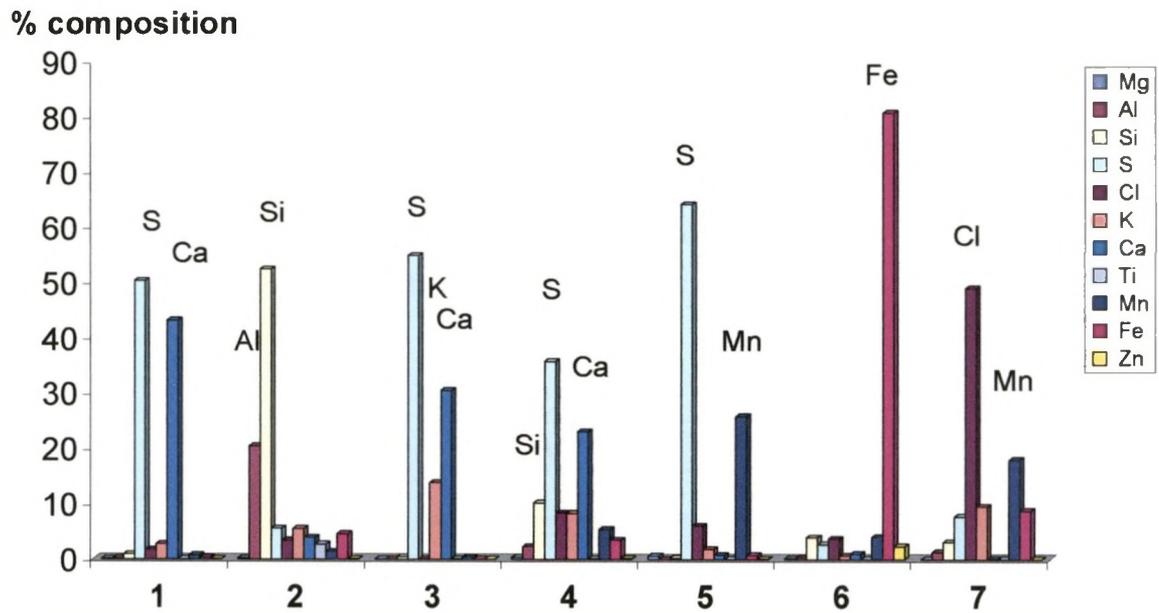


Figure 12 : classes de particules dans un échantillon d'aérosols atmosphériques prélevé à Wimereux par des vents de S-SO



3.3.4 Analyse de la composition des aérosols et émissions particulières sur le littoral par ULCO

→ Introduction

Dans le cadre du programme Interreg – Flandres "Particules atmosphériques polluantes sur le littoral franco-flamand de la Mer du Nord : leur transport transfrontalier et leur impact sur l'environnement", quatre campagnes avaient été prévues sur l'étude des aérosols particuliers. Les deux premières campagnes, l'une effectuée en février-mars 1998 et l'autre de mars à novembre 1999, avaient pour but d'étudier :

- (i) les relations pouvant exister entre la composition des aérosols collectés dans le détroit du Pas de Calais (Cap Gris Nez) et leur origine.
- (ii) d'évaluer l'importance des sources d'émissions particulières métalliques non négligeables du fait de l'important complexe industriel de la zone dunkerquoise.

Les deux campagnes suivantes réalisées en juin-juillet 2000 et janvier-février 2001, avaient pour but essentiel d'évaluer les échanges particuliers transfrontaliers entre le nord de la France et la Flandre belge.

→ Campagne de février-mars 1998 :

Afin d'étudier dans les meilleures conditions les relations entre la composition des aérosols et leur origine, il nous a semblé intéressant de réaliser des prélèvements d'aérosols particuliers au niveau du Cap Gris Nez, ce qui avait l'avantage de collecter les échantillons soit d'origine marine, soit d'origine continentale, ou les deux à la fois (Angleterre), et les prélèvements pouvaient être considérés comme représentatifs des masses d'air arrivant sur ce site.

Le rapport de la DRIRE de 1998 met nettement en évidence que trois zones principales sont la cause des plus importants rejets industriels de poussières : la zone bouloonnaise, la zone dunkerquoise ainsi que la région lilloise associée au bassin minier. De ce fait, trois points d'échantillonnages avaient été prévus entre ces zones sources et le Cap Gris Nez: le Mont Duez (N-E de Boulogne), le Platier d'Oye (W de Dunkerque) et St-Floris (W de Lille). Cette campagne réalisée entre le 16 février et le 10 mars 1998, nous a permis de ne retenir que les deux premiers sites après l'étude des rétrotrajectoires des masses d'air.

Les teneurs en éléments majeurs (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , C organique) relevées lors de cette campagne sont consignées dans la figure 1.

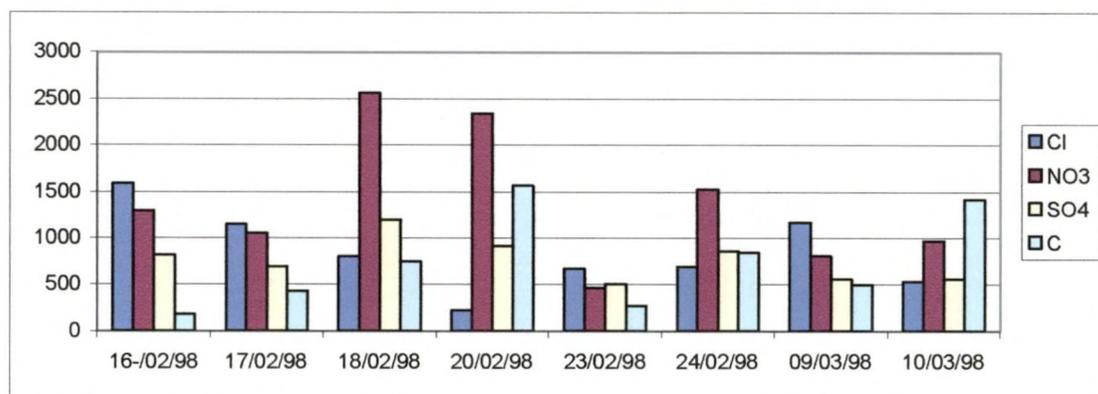


Fig.1 – Eléments majeurs au Cap Gris Nez

La prise en considération des rétrotrajectoires des masses d'air relatives aux échantillons récupérés sur les trois premiers étages de l'impacteur en cascade, montre que ces aérosols sont en majeure partie d'origine marine (16/02 ; 17/02 ; 23/02 et 09/03) confirmé par une valeur élevée du rapport Cl/C_{org} (Fig.2) et caractérisé également par la taille de leurs particules supérieure au micron, ce qui n'est pas le cas pour les autres prélèvements.

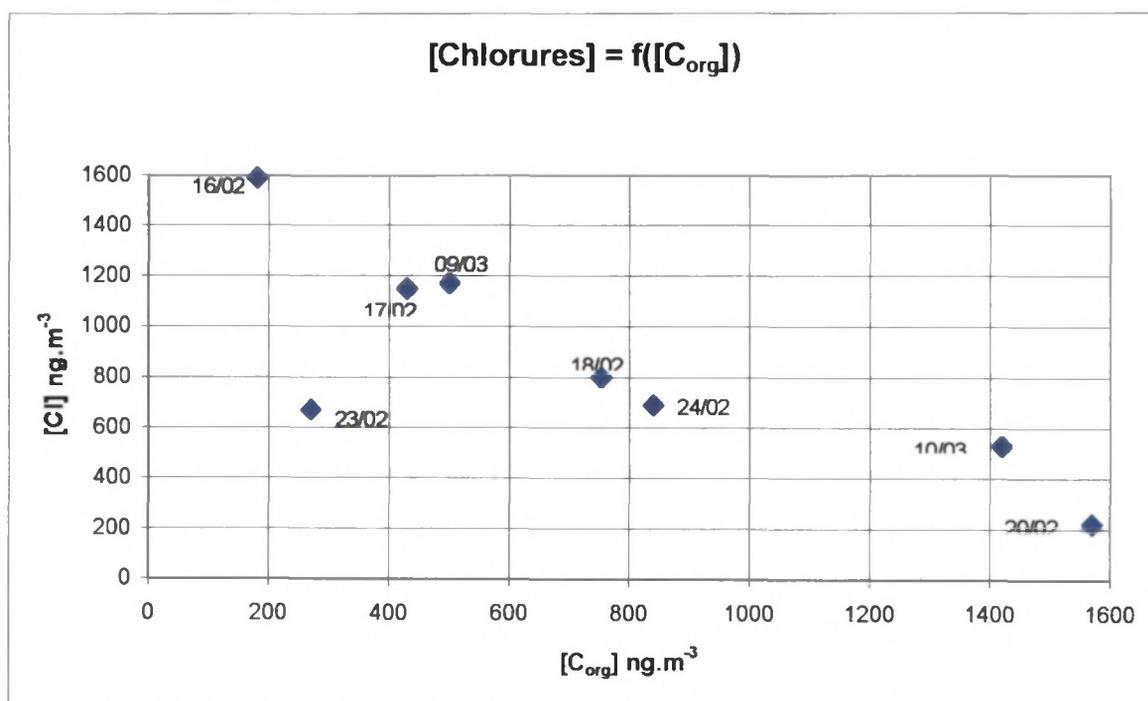


Fig.2

L'étude des rétrotrajectoires nous conforte dans cette affirmation :

- 16/02 Atlantique + Sud de l'Angleterre
- 17/02 Côte est de l'Angleterre
- 23/02 Atlantique Nord + Irlande + SW Angleterre + Manche
- 09/03 Côtes belges + Nord de la France

La caractérisation des aérosols d'origine continentale est parfaitement mise en valeur par une répartition granulométrique centrée sur les aérosols de taille submicromique ainsi que par une teneur en carbone organique élevée et associée à une teneur en chlorure relativement faible, caractéristiques des émissions anthropiques. C'est ainsi que le 18/02, et le 20/02, nous relevons une majorité de fines particules $<1\mu$, d'origine boulonnaise, alors que le 10/03, l'origine est dunkerquoise, caractérisée par une importante teneur en ions sulfates de taille inférieure au micron et par la masse d'air d'origine scandinave.

→ Campagne de mars à novembre 1999

Au cours de cette campagne, les prélèvements ont été réalisés à Dunkerque (site des Darses) par filtration totale, et nous ont permis à partir d'une trentaine d'échantillons :

- D'évaluer les concentrations en anions majeurs (chlorure, nitrate, sulfate) (Fig.3), ainsi que celles de trois éléments (fer, manganèse, cuivre) Fig.4)
- De relier les teneurs obtenues à leurs sources d'émission à l'aide des données météorologiques Fig.5)
- De dégager les tendances de pollution en fonction des résultats obtenus.

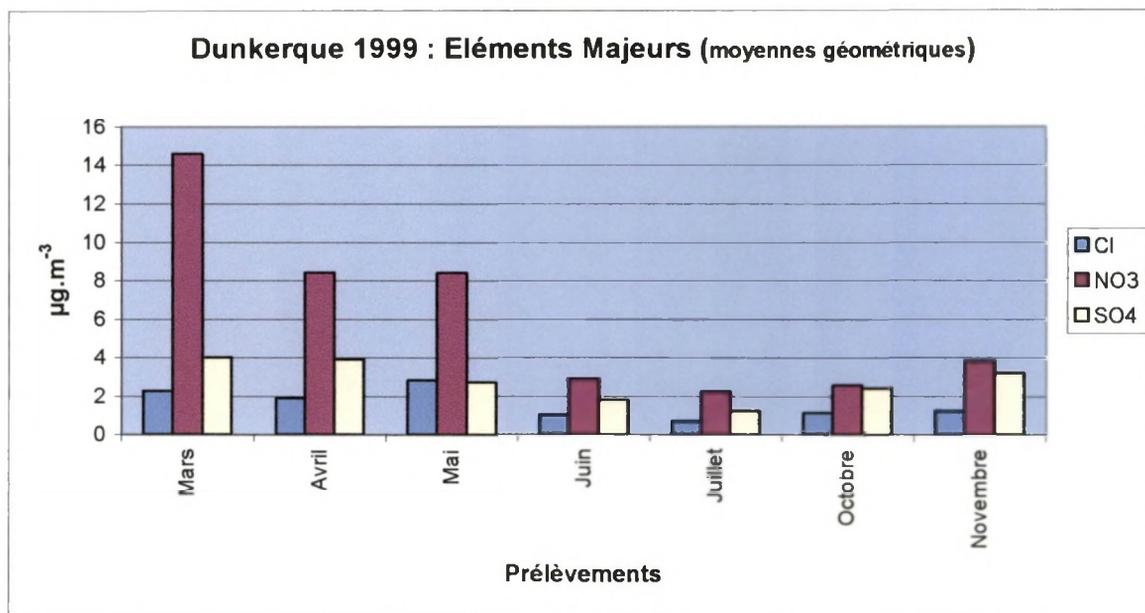


Fig.3

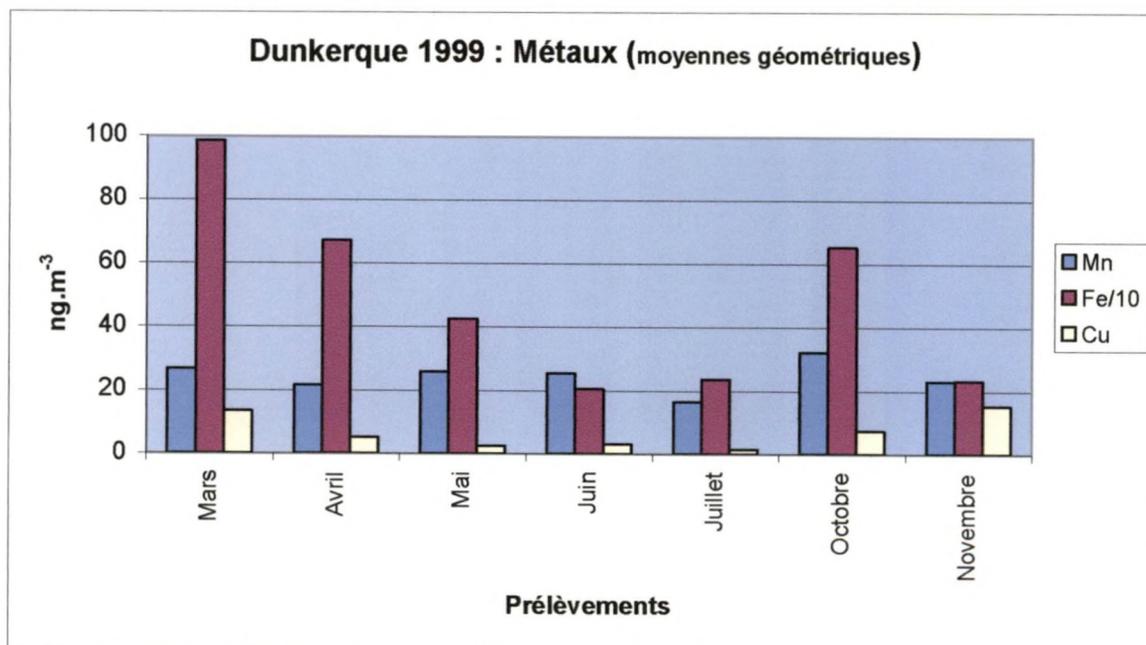
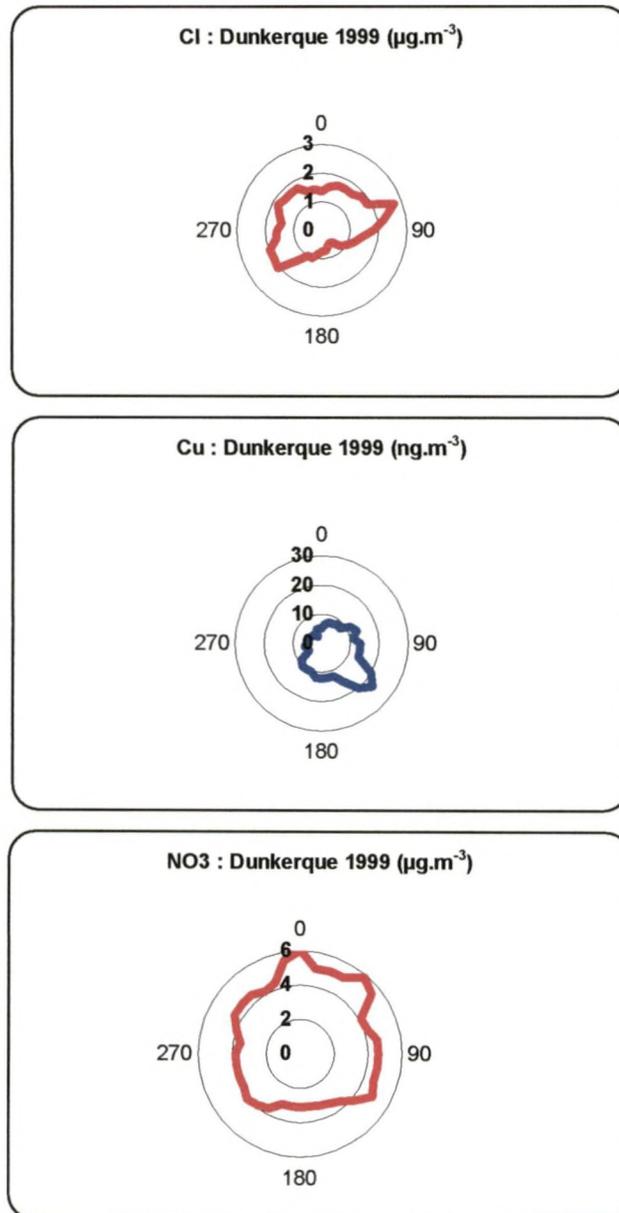


Fig.4

Nous pouvons constater à partir de ces résultats l'influence saisonnière sur les teneurs aussi bien en éléments majeurs qu'en éléments métalliques. En effet ces teneurs décroissent lorsque l'on aborde la période estivale, étant donné que les vents dominants sont à cette époque de N-NE et S-SW, et dans ces conditions notre point de prélèvement n'est pas soumis directement à l'influence de la zone industrielle, ce qui n'est plus le cas en dehors de cette période. La figure 5 nous donne un aperçu de l'importance de l'évolution de la teneur de nos différents éléments en fonction de la direction des vents



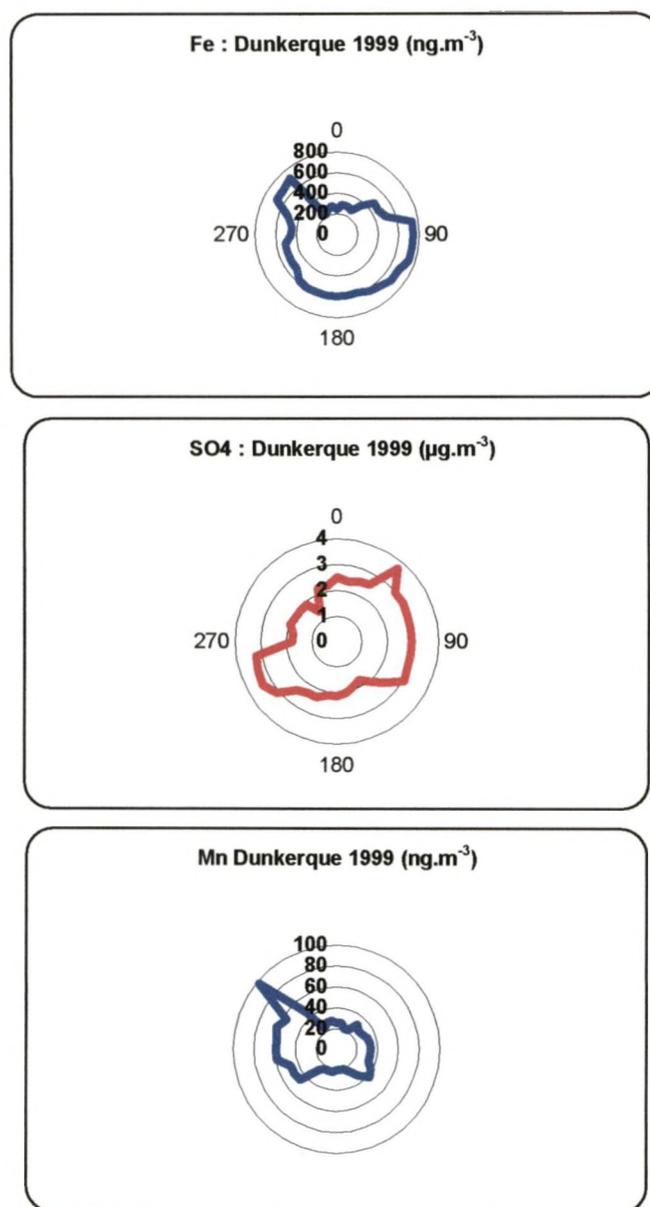


Fig.5

Cette étude a mis en évidence que le rapport $[\text{SO}_2]/[\text{SO}_4^{2-}]$ augmentait de façon significative au cours des mois d'été, ce qui permet d'évaluer, dans une certaine mesure, l'influence des conditions météorologiques sur la transformation du SO_3 en sulfate. Une étude portant sur un plus grand nombre d'échantillons englobant les effets saisonniers, permettrait de vérifier la validité de cette tendance.

→ Campagne de Juin-Juillet 2000

Cette campagne effectuée du 16 juin au 22 juillet 2000 avait pour but essentiel d'évaluer les échanges transfrontaliers. A cet effet, les prélèvements ont été réalisés en continu en même temps à Dunkerque (site des Darses) et à Les Moères. Les aérosols particuliers ont été échantillonnés par filtration totale et impaction en cascade sur filtres cellulose, et par filtration totale sur filtre Nucléopore pour une étude par MEB.

Les analyses réalisées à ce jour concernent les anions majeurs qui nous montrent l'influence et l'importance des vents (Fig.6).

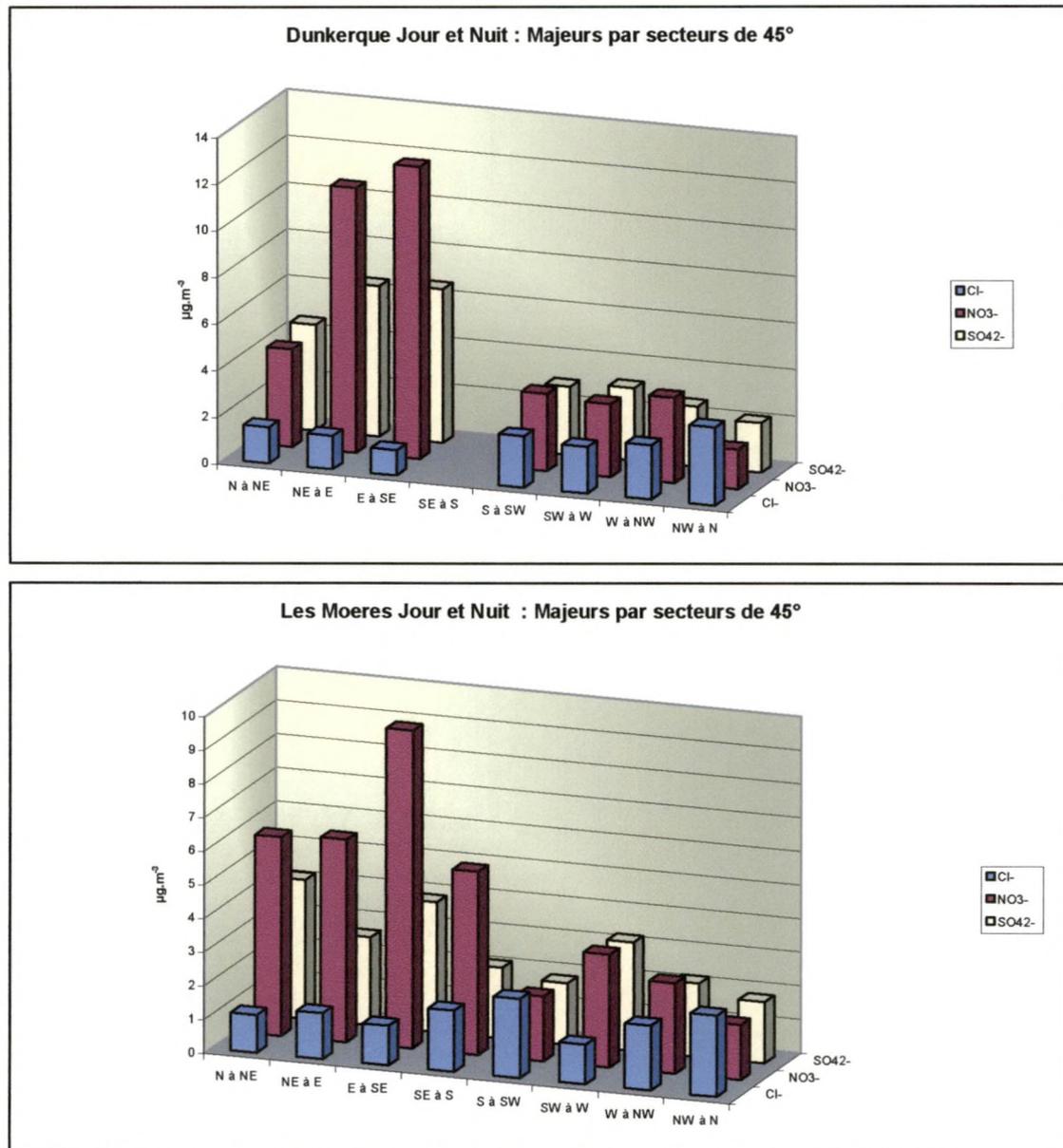


Fig.6

Il apparaît nettement à travers ces résultats, que les teneurs en éléments majeurs sont nettement prépondérantes pour des vents de NE à SE-S pour atteindre des valeurs maximales pour des directions de vent d'E à SE, notamment en ions sulfate et nitrate. Par ailleurs, les teneurs en ces deux espèces d'ions sont plus importantes aux Moères pour des vents de W, ce qui est normal étant donné la position géographique de ce point de prélèvement par rapport à Dunkerque.

La figure suivante (Fig.7) permet de mettre en évidence de façon plus précise l'évolution des teneurs en ions majeurs en fonction de la direction des vents pour nos deux sites de prélèvements mis en place au cours de cette campagne.

DUNKERQUE : Jour – Nuit
Moyennes géom. ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

LES MOERES : Jour - Nuit
Moyennes géom. ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)

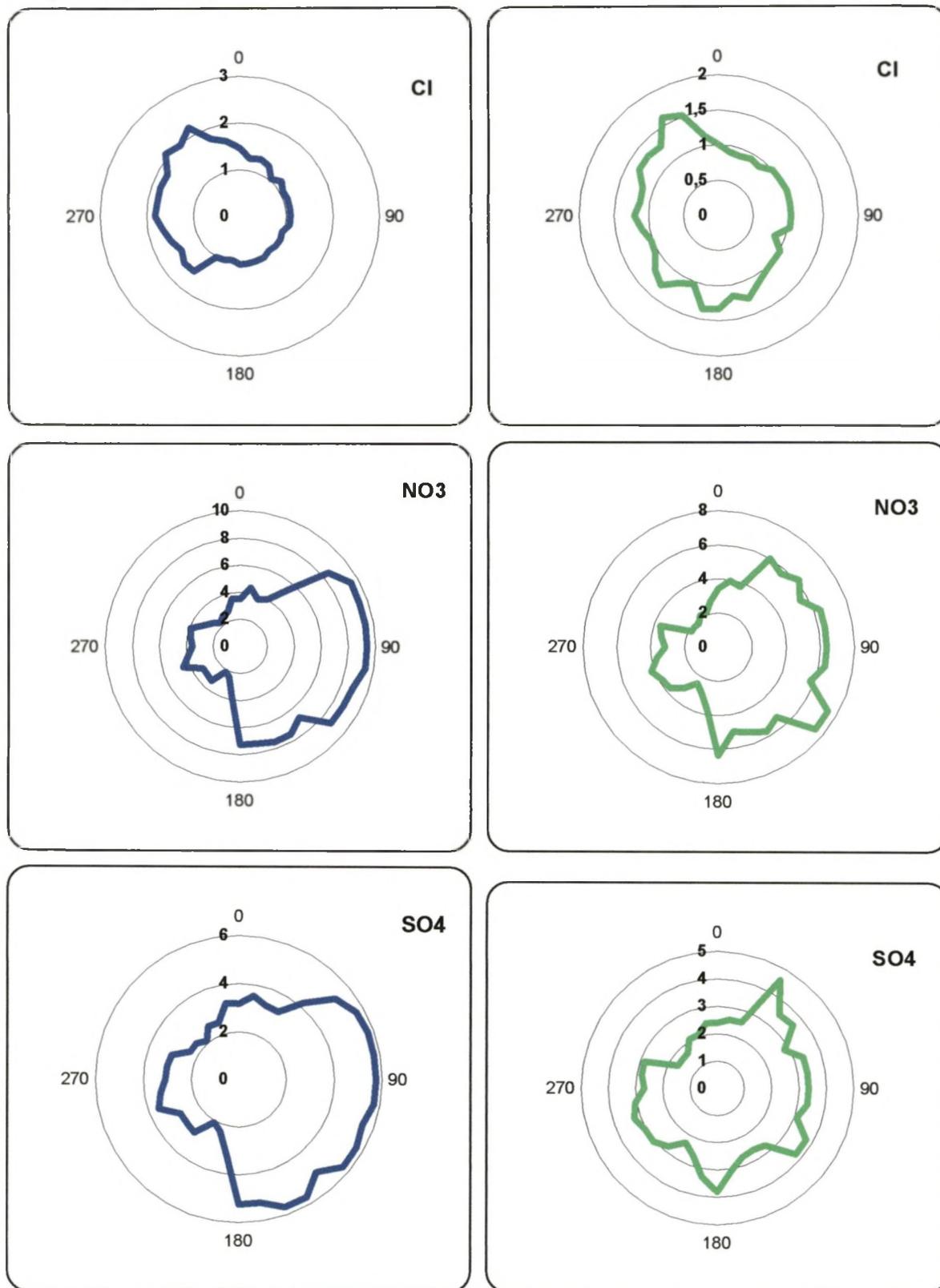


Fig.7

Si nous observons l'évolution des teneurs en ions sulfate et nitrate, nous constatons qu'elles évoluent de façon uniforme pour les trois campagnes considérées, et qu'elles affichent une parfaite corrélation comme le montre la figure 8

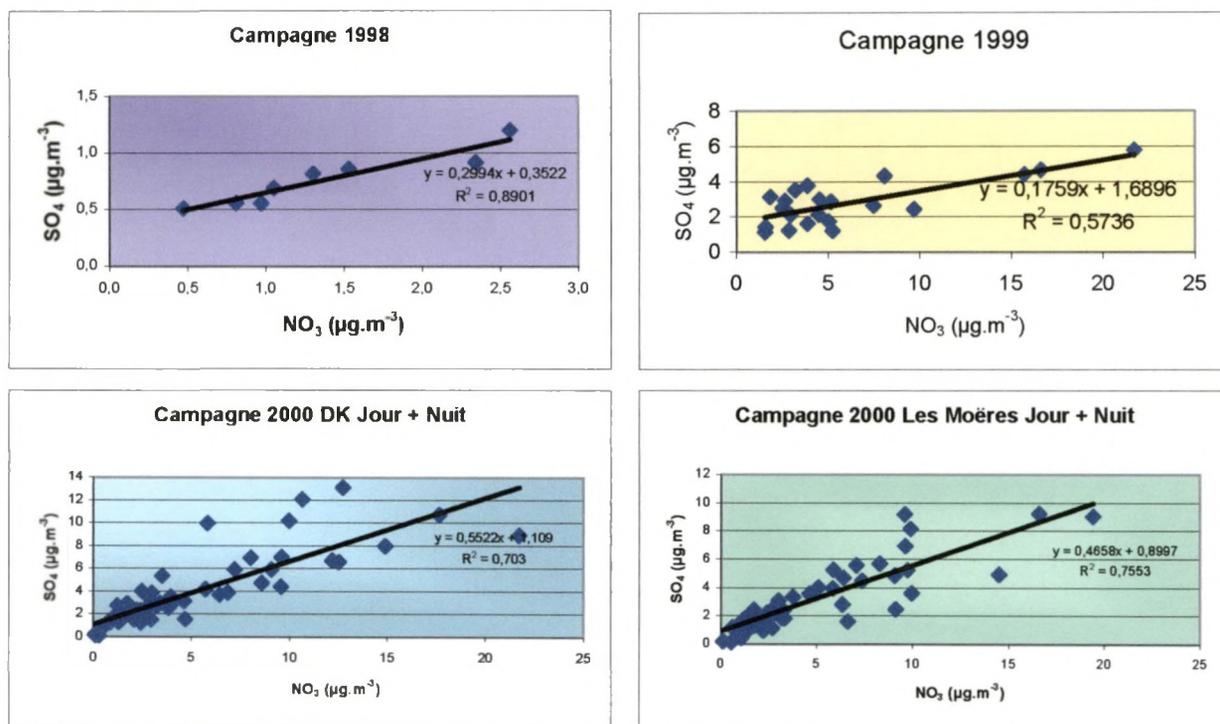


Fig8

Les analyses en cours actuellement permettront d'obtenir des résultats plus significatifs concernant les échanges transfrontaliers notamment grâce à la connaissance de la distribution granulométrique de certains éléments métalliques lors de leur prélèvement par impaction en cascade, ainsi que leur caractérisation physico-chimique par l'étude par microscopie électronique à balayage.

IV- PROMOTION ET VALORISATION DU PROJET

4.1 Organisation de colloques

Des actions de sensibilisation sont régulièrement menées par l'ensemble des membres du programme (Opal'Air, VMM, Université du Littoral, VLIZ, Université d'Anvers...), actions d'information en direction de la presse locale et régionale réalisées lors des diverses campagnes de mesures afin de mobiliser un large public aux problèmes de la qualité atmosphérique et notamment de transport des particules polluantes :

- Conférence spécialisée eurorégionale du 24 novembre 1999 : Aérosols et Qualité de l'Air (Wimereux)
- Conférence spécialisée eurorégionale du 27 juin 2001 : Aérosols et Qualité de l'Air (Wimereux)

Rappelons que le plan de financement du projet AEROSOLS ne prévoyait pas de ligne budgétaire dédiée en particulier à l'organisation de manifestations événementielles. Par contre, à travers la ligne "frais de personnel", ce projet a permis d'embaucher les ressources humaines nécessaires à l'exécution des tâches de Communication / Promotion. Les frais directement induits par l'organisation en soi des événements (location de salle ; repas etc.) ont été supportés par le programme Interreg II NPDC-Kent dans le cadre du projet Valorisation Transmanche de la Recherche dont le but était de promouvoir le plus largement possible notre expertise R&D et nos expériences eurorégionales. Conférence spécialisée eurorégionale

4.2 Création et mise à jour du site Web

Par ailleurs, outre l'organisation de conférences, l'accent a été plus récemment mis sur la réalisation d'un site internet de présentation du programme INTERREG, accessible à l'adresse ci-dessous :

→ <http://mren.univ-littoral.fr/INTERREG/>

Ce site réunit nos partenaires "transfrontaliers" mobilisés autour de ce projet. Il permet d'accéder facilement aux sites de chacun d'entre eux, ce qui favorise ainsi les échanges et accélère la mise en commun des travaux et informations. Ainsi, le site du VLIZ (www.vliz.be) comporte un lien direct vers le site INTERREG (et vice-versa).

Nous vous rappelons les principaux sujets développés :

- 1- La présentation du projet, avec ses tenants et aboutissants (cf. Chapitre I de ce rapport)
- 2- Les rapports scientifiques sur les premiers travaux, à savoir :
 - les campagnes de l'hiver 1998 (Nord-Pas de Calais, Belgique)
 - les campagnes réalisées en 1999-2000 (Cap Gris-Nez, zone frontalière)...
- 3- Des liens vers nos partenaires (qui ils sont, quelles sont leurs missions,...)
- 4- La mise en images et description des techniques et procédés utilisés

L'architecture du site du programme « Interreg Nord-Pas de Calais – Flandre - AEROSOLS » est d'ores et déjà terminée. Vous trouverez d'ailleurs en annexe la page « index » du site. Un compteur indiquant le nombre de visiteurs par jour vient d'ailleurs tout juste d'y être inséré, tandis que l'on étudie la pertinence de nouveaux indicateurs potentiels.

Le compteur inséré il y a quelques mois sur la page d'accueil du laboratoire L.I.S.E. <http://mren.univ-littoral.fr> qui était utilisée au départ pour accéder au site INTERREG AEROSOL indique à ce jour 1497 visiteurs.

4.3 Publications générées par le projet Interreg

→ PUBLICATIONS CÔTÉ FRANÇAIS

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, S. BOUHSINA, L. COURCOT, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAIS ET E. PUSKARIC, "EPR investigations of Mn^{2+} , Fe^{3+} ions and carbonaceous radicals in atmospheric particulate aerosols during their transport over the eastern coast of the English Channel". Acceptée à Atmospheric Environment.

BORDE R., RAMON D., SCHMECHTIG C., SANTER R..

Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor. Acceptée à International Journal of Remote Sensing.

Communications par Posters

V. SOUFFLET, K. DEBOUDT, P. FLAMENT, D. RAMON, R. SANTER, S. LAVOINE ET F. LEDOUX, (1999), "Study of Intercorrelation between the Chemical and the Optical Properties of the Aerosols", Symposium on "Atmospheric Chemistry – Climate Interaction Ptl : Aerosols, Clouds and Climate", XXII General Assembly IUGG, Birmingham, Angleterre, Juillet 19-30

V. SOUFFLET, K. DEBOUDT, P. FLAMENT, D. RAMON, S. LAVOINE ET F. LEDOUX, (1999), "Chemical Composition versus Radiative Properties of Tropospheric Aerosols in an Heavy Anthropogenically Perturbated Coastal Aera", Journnées de Bilan et Prospective du PNCA, Clermont Ferrand, France, Décembre 1-3.

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, C. COEUR, S. BOUHSINA, L. COURCOT, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAIS ET E. PUSKARIC, (2000), "Characterization of atmospheric aerosols during their transport on the eastern coast of the English Channel", 9 ème colloque scientifique international , "Transport et pollution de l'air", Avignon, France, 5-8 Juin .

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, C. COEUR, S. BOUHSINA, L. COURCOT, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAIS ET E. PUSKARIC, (2000), « Alternative methods for identification of Fe^{3+} and Mn^{2+} in Atmospheric particulate aerosols during their transport over the Eastern Coast of the English Channel", Congrès Méditerranéen pour l'Environnement et le Solaire COMPLES 2000, Beyrouth, Liban, 16-18 novembre

F. Ledoux, E.A. Zhilinskaya, S. Bouhsina, L. Courcot, M.-L. Bertho, A. Aboukaïs, E. Puskaric, (2001), "The use of electron paramagnetic resonance (EPR) spectroscopy in the study of Fe^{3+} and Mn^{2+} ions in atmospheric aerosols particles.", European Geophysical Society, XXVI th General Assembly, Nice, France, 25-30 Mars

Communications Orales :

F. LEDOUX, L. COURCOT, E.A. ZHILINSKAYA, C. CŒUR, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAÏS ET E. PUSKARIC, (1999), "Caractérisation d'aérosols particuliers sur le littoral Nord-Pas-de-Calais", 4ème Journée des Jeunes Chercheurs, Villeneuve d'Ascq, France, 2 Décembre.

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, S. BOUHSINA, A. ABOUKAÏS, E. PUSKARIC,
2001, "The use of EPR spectroscopy in the characterization of atmospheric particles on the eastern coast of the English Channel.", Air Quality Conference, Wimereux, France, 27 Juin

Publications :

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, C. COEUR, S. BOUHSINA, L. COURCOT, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAIS ET E. PUSKARIC,

"Alternative methods for identification of Fe^{3+} and Mn^{2+} in Atmospheric particulate aerosols during their transport over the Eastern Coast of the English Channel", Journal of IEEE, acceptée.

F. LEDOUX, E.A. ZHILINSKAYA, S. BOUHSINA, L. COURCOT, M.-L. BERTHO, A. ABOUKAIS ET E. PUSKARIC,

"EPR investigations of Mn^{2+} , Fe^{3+} ions and carbonaceous radicals in atmospheric particulate aerosols during their transport over the eastern coast of the English Channel", Atmospheric Environment, acceptée.

SCHMECHTIG C, BORDE R., RAMON D., DESSAILLY D., SANTER R.

(2001) Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor, International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Aussois, France.

RAMON D. & SANTER R., (2000).

"Remote sensing of the aerosol over land accounting for the directional effects". International Radiation Symposium 2000. Saint Petersburg, 24-29 July

BORDE R., D. RAMON, PH. DUBUISSON, D. DESSAILLY, R. SANTER, P. REGNER (1999)

« Validation of MOS_IRS algorithm developed to generate Level2 products over land », in Proceedings 3rd Workshop MOS_IRS and ocean color, Berlin, avril 1999

RAMON D., SANTER R., BORDE R & DUBUISSON P. (1998).

MOS Operational algorithm for atmospheric corrections over land. Proceedings 2 th MOS Workshop, Berlin.

DEVAUX C., VERMELEN A., DEUZE J.L, DUBUISSON P., HERMAN M., SANTER R. AND M. VERBRUGGHE (1998).

Retrieval of aerosol single scattering albedo from ground based measurements. Application to observational data. Journal of Geophysical Research, Vol. 103.

CHAMI M. , SANTER R. (1998).

Aerosol remote sensing using ground-based measurements and POLDER airborne sensor above coastal waters. Remote Sensing of Environment, Vol. 66-16, p203-221.

SANTER R., CARRERE V., DUBUISSON P., & ROGER J.C. (1999).

Atmospheric correction over land for MERIS, International Journal of Remote Sensing, Vol. 20. Issue 9, p 1819-1840.

RAMON D, SANTER R. (2001)

"Operational remote sensing of aerosols over land to account for directional effects." Applied Optics, Vol 40 (18): 3060

BORDE R., RAMON D., SCHMECHTIG C., SANTER R..

Extension of the DDV concept to retrieve aerosol properties over land from the Modular Optoelectronic Scanner sensor. Accepté à International Journal of Remote Sensing.

CARRERE V., DUBUISSON P., ROGER J.C. et SANTER R., (1997).

MERIS Level 2 Atmospheric Correction over Land: Pixel Identification, Data Simulation and Algorithm Validation, 7th International Colloquium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Courchevel, April 1997 , p.27-34.

SCHMECHTIG C, RAMON D., DESSAILLY D., SANTER R. (2001)

Validation of the atmospheric correction over land algorithm for the MOS sensor, Proceedings 4th Workshop MOS_IRS and ocean color, Berlin, may 2001.

→ PUBLICATIONS COTE FLAMAND

Articles :

K. EYCKMANS, J. ZHANG, J. DE HOOG, P. JOOS AND R. VAN GRIEKEN

Leaching of nutrients and trace metals from aerosol samples; a comparison between a re-circulation and an ultrasound system,
International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 80 (2001) 227-243

Chapitres ;

R. VAN GRIEKEN, J. INJUK, L. DE BOCK AND H. VAN MALDEREN

Study of individual particle types and heavy metal deposition for North Sea aerosols using micro and trace analysis techniques,

in: "Exchange and Transport of Air Pollutants over Complex Terrain and the Sea", S. Larsen, F. Fiedler and P. Borrell, Eds., Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (2000) 105-110

Abstracts ;

R. VAN GRIEKEN, P. JOOS AND K. EYCKMANS

Atmospheric deposition of nutrients to the sea ,

Abstracts of the International Colloquium on the Management of the Ecosystems of the Coastal English Channel-North Sea, 1999, 1pg

K. EYCKMANS, J. DE HOOG, F. DEUTSCH AND R. VAN GRIEKEN

Air-water exchange of nutrients and inorganic trace elements on the North Sea and over the French-Flemish North Sea Coast,

Abstracts of the VLIZ Young Scientists' Day, pg. 42

A. WOROBIEC, J. DE HOOG, J. OSAN, I. SZALOKI, C.-U. RO, K. EYCKMANS AND R. VAN GRIEKEN

Atmospheric particles above the North Sea: new insights using recent technology,

Abstracts of the VLIZ Young Scientists' Day, pg. 71-72

3 rapports publiés par le :
Vlaamse Milieu­maatschappij (VMM)
Afdeling Meetnetten en Onderzoek
Cdvp Immissiemeetnetten Lucht

Immissiemetingen in de Westhoek
Meetcampagne september – oktober 1998
Dioxinedepositie juni – juli 1998 en maart – april 1999

Traduction:

Mesures de dégradation dans le ‘Westhoek’
Campagne de mesures septembre – octobre 1998
Déposition de dioxine juin – juillet 1998 et mars – avril 1999

Document D/2000/6871/005
Publié en néerlandais à Erembodegem (Belgique), décembre 1999, 69 pages

Lidar metingen in de omgeving van De Panne
Periode 27 november – 15 december 2000

Lidar measurements of air pollution in the area of De Panne
27 November – 15 December 2000

Document D/2001/6871/017
Publié en anglais à Erembodegem, mai 2001, 97 pages

Immissiemetingen in de Westhoek
Meetwagen en zware metalen, meetcampagne juni – juli 2000
Dioxinedepositiemetingen
oktober – november 1999, april – mei 2000 en november – december 2000
Ammoniakmetingen
periode 8/12/1999 – 20/10/2000

Translation:

Immission measurements in the ‘Westhoek’
Mobile laboratory and heavy metals, measuring campaign June – July 2000
Dioxin-deposition measurements
October – November 1999, April – May 2000 and November – December 2000
Ammonia measurements
Period 8/12/1999 – 20/10/2000

Document D/2001/6871/024
Publié en néerlandais à Erembodegem, mai 2001, 87 pages

ANNEXE V

**Présentation de la page d'accueil du site INTERREG AEROSOL
(en anglais)**

Programme Interreg II



(1998-2001)

POLLUTING ATMOSPHERICAL PARTICLES OVER THE FRENCH-FLEMISH NORTH SEA COAST

TRANSPORT & IMPACT

Partners :

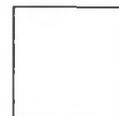


Flanders Marine Institute
(VLIZ)

With the financial Support of :



With the support of
the Flemish authorities



PROMOTION
&
VALORISATION

The ambition of the project is to increase the relative knowledge to the phenomenon of borderline transport of aerosols to marine and terrestrial levels.

Maison de la Recherche en Environnement Naturel (MREN)
32, avenue du Maréchal FOCH - 62930 WIMEREUX
Tel : +33 (0)3. 21 996 400 - Fax : +33 (0)3. 21 996 401

Practical Information:

Web sites to consult

Up dated : November 2001
Webmaster

V- CONCLUSION ET PERSPECTIVES

a) Projet franco-flamand INTERREG III : génèse

Suite au projet AEROSOLS financé par Interreg II, l'ensemble des partenaires s'est mobilisé pour étendre le consortium à des utilisateurs finaux, en particulier :

- associations spécialisées dans la prévention de la pollution atmosphérique,
- collectivités,
- institutions spécialisées dans le problème de santé publique.

et ce, en vue de soumettre une proposition dans le cadre d'Interreg III.

Le projet intitulé " EXposition des Populations vivant au cœur de l'Euro-Région aux polluants atmosphériques : le cas des Poussières Fines (EXPER/PF)" a été soumis le 31 octobre 2001 auprès de la Préfecture de Région du Nord-Pas de Calais.

Ce projet , coordonné par le Pr SANTER, regroupe un partenariat de 8 instituts :

- 1) le laboratoire de M. SANTER, qui va coordonner le projet en étroite collaboration avec :
- 2) la société de conseil en Environnement HYGEOS (Dr Didier RAMON)
- 3) l'association ADRINORD de promotion R&D en région N PdC
- 4) le VLIZ à Oostende en partenariat avec l'Université d'Anvers (UIA, labo du Pr Van Grieken)
- 5) le VMM (Dr Edward ROEKENS)
- 6) le réseau de surveillance lillois de la qualité de l'air "AREMA "
- 7) le réseau de surveillance littoral de la qualité de l'air "OPAL AIR"
- 8) l'Association régionale pour la Prévention des Pollutions atmosphériques (APPA)

Dans la continuité du projet INTERREG II , ce projet INTERREG III a élargi le consortium qui maintenant regroupe des universitaires et réseaux de mesure mais aussi des associations et 1 start up : cela nous semble important au niveau des retombées socio-économiques du projet.

b) Projet franco-flamand INTERREG III : objectifs

La conclusion du projet INTERREG II « AEROSOL » peut se résumer ainsi :

- Une étude sur des particules sur le littoral franco-flamand de la Mer du Nord a montré que les normes en vigueur étaient respectées.
- Une étude de faisabilité a été faite concernant l'utilisation de la télédétection spatiale pour la caractérisation des PM2.5 et de s PM10. Le résultat est prometteur et des perspectives quantitatives sont envisageables. Le manque de données in-situ de PM en coïncidence avec les images satellites n'a pas permis une validation quantitative.
- On a pu initier des études d'impact des poussières sur l'environnement notamment en estimant les retombées atmosphériques de nutriments en Mer du Nord en liaison avec les blooms d'algues.

Le projet INTERREG III « EXPER-/PF » a pour contexte l'application des Réglementations européennes à venir sur les PM2.5 and PM10. Il aura pour vocation d'utiliser en partie la méthodologie développée pour le précédent projet mais en la développant et/ou la modifiant sur différents aspects :

- La zone d'intérêt s'est déplacée au cœur de l'euro-région, là où la densité de population est la plus importante et où l'environnement naturel et industriel est fort différent du littoral dunkerquois.
- La thématique est centrée sur les poussières fines et leur impact sanitaire.

- L'opérationnalité du projet est maintenant affichée avec la constitution d'une base de données à l'usage des partenaires et des autorités locales.
- L'usage de la télédétection va devenir partie intégrante du système, grâce en partie aux possibilités d'étalonnage fournies par la base de données sus-mentionnée.
- La sensibilisation du public va s'accroître avec des moyens de communication plus nombreux et un programme structuré de vulgarisation des deux côtés de la frontière.
- Le partenariat s'est étoffé avec la participation d'une PME.

c) **Projet franco-flamand INTERREG III : Méthodologie et tâches en rapport**

5.2.1 Métrologie

- 1) synergie entre les données in-situ
- 2) télédétection comme outil complémentaire
- 3) études des méthodes alternatives pour les mesures in situ PM (telles que les mesures optiques)
- 4) évaluer la contribution des mesures Lidar.

5.2.2 Transport

- 1) disposer de modèles régionaux pour le transport de masses d'air et ajouter l'advection des aérosols
- 2) trajectoires retour pour identifier les sources
- 3) composition chimique des aérosols pour mieux connaître leur origine.
- 4) comparer les données d'émission aux sources

5.2.3 Information

- 1) Page internet du projet
- 2) Base de données pertinente
- 3) Utilisation d'internet pour fournir des informations sur les aérosols.