PRESSIONS ET IMPACTS

GOLFE DE GASCOGNE

GOLFE DE GASCOGNE

JUIN 2012

PRESSIONS CHIMIQUES ET IMPACTS ASSOCIÉS

Contamination par des substances dangereuses

Retombées atmosphériques en substances dangereuses

Aurélie Blanck
(Aamp, Brest).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Agence des aires marines protégées

Ifremer

Les retombées atmosphériques en substances dangereuses sont une source non négligeable d'apports en contaminants dans le milieu marin.

Nous nous intéressons ici aux retombées atmosphériques en métaux lourds – cadmium, mercure et plomb – et en polluants organiques persistants (POP) – lindane et PCB-153. Ces substances sont les seules à avoir fait l'objet d'études et d'analyses dans le cadre de la commission OSPAR, concernant à la fois les émissions vers l'atmosphère et leurs tendances, les retombées atmosphériques et les sources d'émission majeures [1] [2].

Les processus de combustion sont les principales sources d'émission et contribuent le plus aux retombées en métaux lourds dans la région OSPAR IV (golfe de Gascogne). En effet, la combustion dans les centrales électriques et dans l'industrie et les processus industriels contribuent pour 84 à 91 % aux retombées totales de cadmium, mercure et plomb dans la région OSPAR IV en 2005 [2]. Les autres sources varient d'un métal à l'autre. Dans la région OSPAR IV, en 2005, il s'agit du transport pour le plomb (7 %), de la combustion commerciale, domestique et autre pour le cadmium (4 %) et des déchets pour le mercure (12 %) [2].

Les retombées atmosphériques de POP représentent un problème mondial. Le transport à longue distance des émissions provenant de sources situées en dehors de la

sous-région marine contribue aux apports atmosphériques dans cette sous-région. Les biphényles polychlorés (PCB) sont interdits en France depuis 1987 et en Europe depuis les années 1980, et le lindane est interdit en France depuis 1998, les pays européens l'ayant progressivement supprimé jusqu'en 2000. Cependant, des émissions se produisent encore : il s'agit par exemple de lindane provenant de stocks piégés dans les sols et sédiments et de produits importés, et de PCB provenant de déchets et dérivés de la combustion.

1. CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

L'annexe VI de la convention internationale MARPOL (Marine Pollution) réglemente l'émission à l'atmosphère par les navires de polluants spécifiques, dont les oxydes d'azote (NOx), les oxydes de soufre (SOx), les composés organiques volatiles (VOCs), les biphényles polychlorés (PCBs), les métaux lourds et les chlorofluorocarbones (CFCs). Cette annexe a été adoptée en 1997 par la Conférence des Parties à la Convention MARPOL. Dans cette annexe, on peut citer quelques règlements en rapport avec les émissions en substances dangereuses :

- Règle 12 : interdit l'utilisation ou le rejet de substances néfastes pour la couche d'ozone (CFCs). Les nouvelles installations utilisant des substances nocives pour la couche d'ozone sont interdites sur tous les navires ; cependant les installations existantes contenant des hydro-chlorofluorocarbones (HCFCs) sont autorisées jusqu'au 1er janvier 2020.
- Règle 15 : précise que dans les ports où l'on doit contrôler les émissions de VOCs, le port doit s'assurer que les moyens de récupération sont disponibles.
- Règle 16 : interdit l'incinération de certaines substances, dont : les PCBs, les détritus contenant des traces de métaux lourds, des produits raffinés contenant des composés halogènes et des résidus de cargaisons cités dans les annexes I, II et III de MARPOL.
- Règle 18 : contient les normes concernant les documents requis sur la qualité du fioul. Le fioul doit être exempt d'acide minéral, ne doit pas contenir d'additifs ni de résidus chimiques et ne doit pas dépasser les limites de 4,5 ou 1,5 % de soufre. Pour être en conformité avec la réglementation, un bordereau de livraison de soutes doit être remis et conservé et spécifier, entre autres, le nom du produit pétrolier, sa densité à 15 °C et sa teneur en soufre.

Au niveau de l'Europe, la directive 2005/33/CE fait partie d'une stratégie de l'Union européenne pour réduire la pollution de l'air par les navires et vise à lutter contre les émissions de dioxyde de soufre.

2. MÉTHODOLOGIE

Les données de retombées atmosphériques en métaux lourds et en POP sont calculées à partir des données d'émissions couplées avec un modèle de transport chimique atmosphérique.

Les données d'émission sont issues du programme EMEP, Programme coopératif de surveillance continue et d'évaluation de la transmission des polluants atmosphériques à longue distance en Europe, mis en place suite à la signature en 1979 par les États membres de la convention sur la pollution atmosphérique, convention dont le but est de protéger la santé et l'environnement contre la pollution atmosphérique. Les données d'émission sont accessibles pour le cadmium, mercure, plomb, lindane et PCB-153 sur la période 1990-2006. Ces données sont publiques et disponibles sur la base de données EMEP et se basent sur les émissions recueillies par pays. Une description plus détaillée de ces données est disponible sur le site de la base de données[1].

Les modèles estiment les retombées atmosphériques totales et nettes en cadmium, mercure, plomb, lindane et PCB-153 pour la période 1990-2008 à partir de données d'émission EMEP de différents pays et provenant des principaux secteurs de contribution – combustion, déchets, transport, agriculture – et de données météorologiques. Les modèles sont menés par EMEP MSC-E (Meteorological Synthesizing Centre East)[2]. Les modèles utilisés et les méthodes de calculs sont décrits dans le rapport de la commission OSPAR [1], et plus en détail pour les métaux lourds dans Travnikov and Ilyin (2005) [3] et pour les POP dans Gusev *et al.* (2005a, b) [4] [5]. Pour les métaux lourds, les modèles reposent sur (1) les émissions, (2) le transport des substances dans l'atmosphère, (3) les transformations chimiques (du mercure seulement) à la fois en phase aqueuse et gazeuse et (4) le dépôt à la surface. Les modèles pour les POP prennent en considération les principaux compartiments environnementaux (atmosphère, sol, mer, végétation), les mécanismes basiques de comportement des POP, à savoir les émissions, le transport, la transformation entre phase particulaire et gazeuse, le dépôt, la dégradation, les échanges gazeux entre l'atmosphère et la surface et les processus de ces mécanismes au sein des compartiments environnementaux.

1 http://www.ceip.at/emission-data-webdab/user-guide-to-webdab/
2 http://www.msceast.org/

Les résultats des modèles sont téléchargeables pour l'année 2008 pour les métaux lourds sur le site EMEP MSC-E[3]. Par contre, en ce qui concerne les données antérieures à 2008, elles ne sont disponibles que pour les régions OSPAR où une analyse des tendances a été entreprise [1] [2]. Les retombées atmosphériques en substances dangereuses pour 2008 seront donc traitées ici pour la sous-région golfe de Gascogne, et l'évolution inter-annuelle des retombées atmosphériques de 1990 à 2008 concernera l'ensemble de la région OSPAR IV.

En règle générale, les retombées atmosphériques en métaux lourds et POP sont accompagnées d'un phénomène de ré-émission de ces contaminants vers l'atmosphère. Ceci est particulièrement évident pour le mercure, qui peut facilement être réduit dans la mer sous forme élémentaire dissoute et s'évaporer ensuite vers l'atmosphère. Le plomb et le cadmium, quant à eux, peuvent être remis en suspension à la surface de l'océan et ré-émis *via* les embruns provenant de la couche d'ultra-surface, elle-même réputée enrichie en métaux par chélation.

Afin d'évaluer l'entrée nette de ces substances en provenance de l'atmosphère, les retombées atmosphériques nettes sont calculées, elles représentent la différence entre les retombées totales et les flux estimés de ré-émission vers l'atmosphère. Les retombées nettes sont les données les plus pertinentes pour apprécier quantitativement ce qui arrive réellement de l'atmosphère vers la mer. Cependant, le calcul des retombées atmosphériques nettes présentant certaines incertitudes – le taux de ré-émission est un paramètre difficile à évaluer –, les retombées totales sont donc également présentées.

3. RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN SUBSTANCES DANGEREUSES EN 2008

3.1. RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN MÉTAUX LOURDS EN 2008

Les calculs des modèles se fondant sur les émissions suggèrent que les retombées atmosphériques nettes en métaux lourds sur l'ensemble de la sous-région marine golfe de Gascogne s'élèvent en 2008 à 1,55 t pour le cadmium, -134 kg pour le mercure et 57 t pour le plomb. La valeur négative pour le mercure suggère que les ré-émissions sont supérieures aux retombées totales. Ce dernier résultat est conforme avec une précédente étude OSPAR réalisée sur la mer du Nord au sens large qui mentionne que les flux de ré-émissions en mercure sont au minimum comparables avec les retombées en mercure dans cette région [6]. De plus, le modèle développé par Hedgecock *et al.* (2006) [7] suggère que les ré-émissions de mercure en mer Méditerranée sont 4 fois plus importantes que les retombées totales de mercure dans ces eaux.

La figure 1 présente la répartition géographique des retombées atmosphériques totales et nettes en métaux lourds sur l'ensemble de la sous-région marine golfe de Gascogne en 2008.

Les retombées atmosphériques nettes en cadmium et en plomb suivent un gradient, les plus élevées se situant à proximité du littoral et les plus faibles en pleine mer (figure 1). Les faibles différences observées entre retombées totales et nettes pour le plomb (figures 1C, C') suggèrent le faible rôle du transfert du plomb vers l'atmosphère, et indiquent le rôle dominant des émissions anthropiques dans les retombées atmosphériques de plomb. Par contre, les retombées totales en cadmium sont nettement plus importantes que les retombées nettes (figures 1A, A'), laissant présager le rôle important des ré-émissions de cadmium vers l'atmosphère. Les retombées totales et nettes en cadmium et en plomb sont plus importantes dans la partie sud du golfe de Gascogne (figure 1).

Contrairement à ce qui est observé pour le cadmium et pour le plomb, on ne note pas de gradient des retombées atmosphériques totales et nettes en mercure, des côtes au large (figures 1 B, B'). Cela est principalement dû à l'impact significatif du transport atmosphérique de mercure en provenance d'autres pays, voire d'autres continents, sur les retombées dans la sous-région marine [1]. Une autre particularité des retombées en mercure réside dans les valeurs négatives observées le long de la côte en ce qui concerne les retombées nettes (figure 1 B'), suggérant, comme dit plus haut, des ré-émissions supérieures aux retombées totales. Selon l'étude OSPAR [1], il a été établi que les ré-émissions de mercure de l'océan vers l'atmosphère sont proportionnelles à la production primaire en mer. Ainsi, les flux importants de ré-émissions observés le long des côtes s'expliquent par une forte production primaire en mer près des côtes [8].

3 http://www.msceast.org/countries/seas/seas_index.html

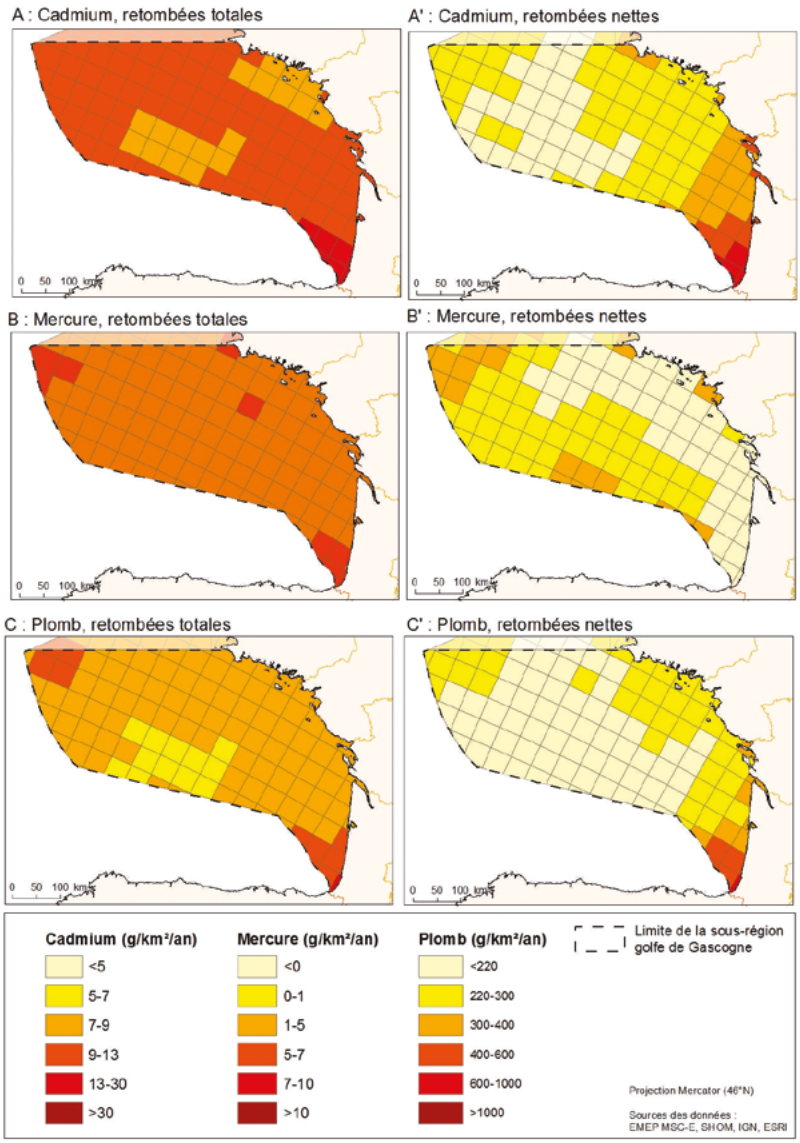

Figure 1 : Retombées atmosphériques totales et nettes en cadmium (A et A'), mercure (B et B')et plomb (C et C') dans la sous-région marine golfe de Gascogne en 2008, exprimées en g·km-2, selon le modèle EMEP (Sources : EMEP, 2008).

3.2. RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN POLLUANTS ORGANIQUES PERSISTANTS (POP) EN 2008

Concernant les POP, les retombées atmosphériques nettes sur l'ensemble de la sous-région golfe de Gascogne s'élevaient en 2008 à 2,13 t pour le lindane et -40 kg pour le PCB-153. La valeur négative pour le PCB-153 suggère que les ré-émissions sont supérieures aux retombées totales.

La figure 2 présente la répartition géographique des retombées atmosphériques totales et nettes en POP sur l'ensemble de la sous-région marine, en 2008.

Les retombées atmosphériques totales et nettes en lindane suivent un gradient, les plus élevées se situant à proximité du littoral et les plus faibles en pleine mer (figure 2 A, A'). Les faibles différences observées entre retombées totales et nettes suggèrent le rôle dominant des émissions anthropiques dans les retombées atmosphériques de lindane.

Les retombées atmosphériques totales en PCB-153 suivent un gradient net comparable, les plus élevées se situant à proximité du littoral et les plus faibles en pleine mer (figure 2 B). Les retombées nettes sont sensiblement plus faibles que les retombées totales et montrent des valeurs négatives le long des côtes (figure 2 B'), suggérant ainsi le rôle important des ré-émissions de PCB-153 vers l'atmosphère.

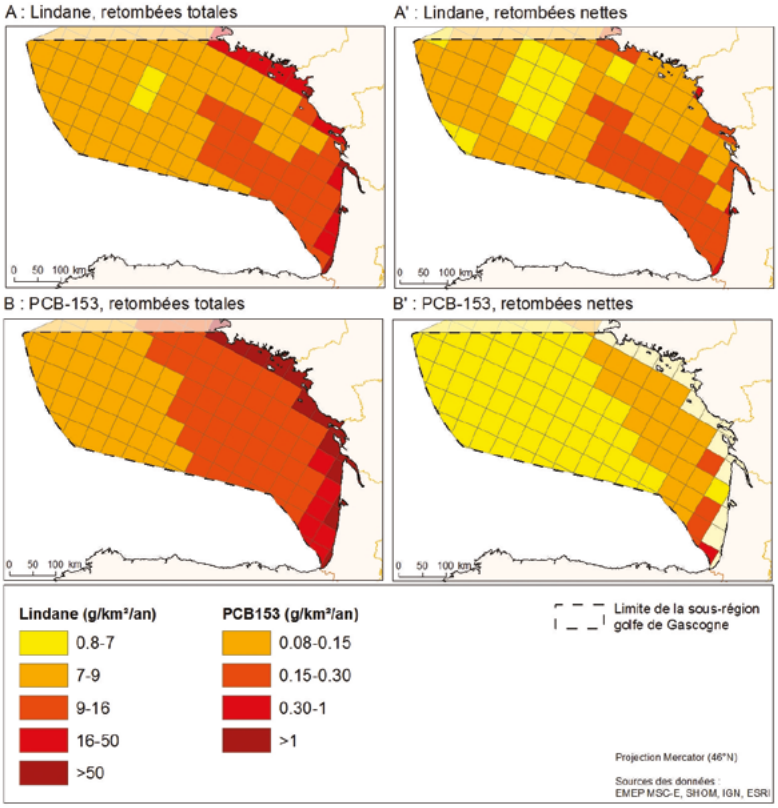

Figure 2 : Retombées atmosphériques totales et nettes en lindane (A et A') et PCB-153 (B et B') dans la sous-région marine golfe de Gascogne en 2008, exprimées en g·km^{-2}, selon le modèle EMEP (Sources : EMEP, 2008).

4. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN SUBSTANCES DANGEREUSES DANS LA RÉGION OSPAR IV (GOLFE DE GASCOGNE)

Les retombées atmosphériques sont estimées pour les années 1990 à 2006 pour le cadmium, le mercure, le plomb, le lindane et le PCB-153 pour l'ensemble de la région IV OSPAR (golfe de Gascogne ; figures 3 et 4).

4.1. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN MÉTAUX LOURDS DANS LA RÉGION OSPAR IV

Les retombées atmosphériques totales et nettes en plomb ont baissé significativement entre 1990 et 2006, avec une nette tendance à la diminution entre 1990 et 2000 liée à une baisse des émissions atmosphériques, puis une stabilité observée depuis 2001 (figures 3 C, C').

Les retombées atmosphériques totales et nettes en cadmium montrent une tendance à la diminution depuis 1990, qui est cependant moins évidente que celle observée pour le plomb (figures 3 A, A'). Cela peut s'expliquer par des réductions des émissions atmosphériques en cadmium moins significatives que les réductions des émissions atmosphériques en plomb.

Les années 1993 et 1996 montrent des retombées en cadmium et en plomb particulièrement importantes, probablement dues à des conditions météorologiques exceptionnelles ces années. En effet, les retombées particulièrement importantes en 1996 peuvent être liées à un indice ONA (Oscillation Nord-Atlantique) fortement négatif cette année, comparativement aux autres années, impliquant ainsi une modification de la circulation atmosphérique sur l'ensemble de l'Europe et de l'Atlantique Nord-Est, ce qui affecte les transports atmosphériques de polluants. Les niveaux relativement stables des retombées atmosphériques en cadmium et en plomb depuis 2001 peuvent s'expliquer par une stagnation des réductions des émissions anthropiques.

Les retombées atmosphériques totales et nettes en mercure montrent une tendance à la diminution entre 1990 et 2005, mais beaucoup plus faible que celle observée pour les retombées atmosphériques en cadmium et en plomb (figures 3 B, B'). Ceci est en accord avec des études sur les émissions globales de mercure [9], qui ne changent pas significativement malgré des réductions importantes de ces émissions en Europe et en Amérique du Nord, en raison d'une augmentation des émissions dans d'autres parties du monde, comme en Asie.

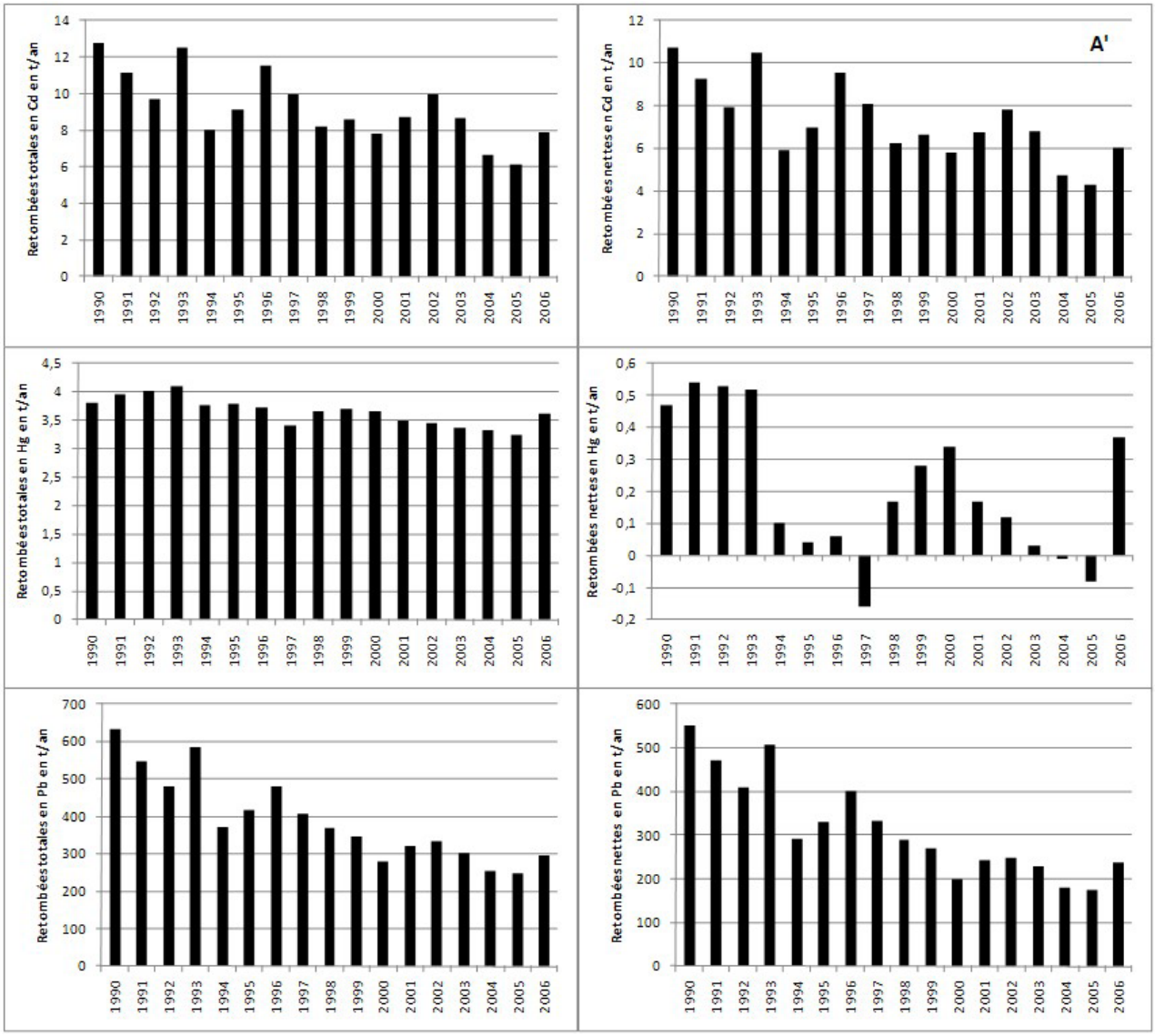

Figure 3 : Évolution inter-annuelle des retombées atmosphériques totales et nettes en cadmium (A et A'), en mercure (B et B') et en plomb (C et C') de 1990 à 2006 dans la région OSPAR IV (golfe de Gascogne), exprimées en $t \cdot an^{-1}$ (Sources : EMEP, 2008).

4.2. ÉVOLUTION INTERANNUELLE DES RETOMBÉES ATMOSPHÉRIQUES EN POP DANS LA RÉGION OSPAR IV

Les retombées atmosphériques totales et nettes en lindane ont baissé significativement entre 1990 et 2006, avec une augmentation des retombées entre 1990 et 1993, une nette tendance à la diminution entre 1993 et 2001 liée à une baisse des émissions atmosphériques, puis une stabilité observée depuis 2001 (figures 4 A, A'). Ceci est dû à une stagnation des réductions des émissions atmosphériques en lindane à partir de 2001.

Les retombées atmosphériques totales et nettes en PCB-153 montrent également une nette tendance à la diminution depuis 1990, tendance qui est perçue jusqu'en 2006 (figures 4 B, B'), due à une baisse continue des émissions atmosphériques en PCB-153 de 1990 à 2006.

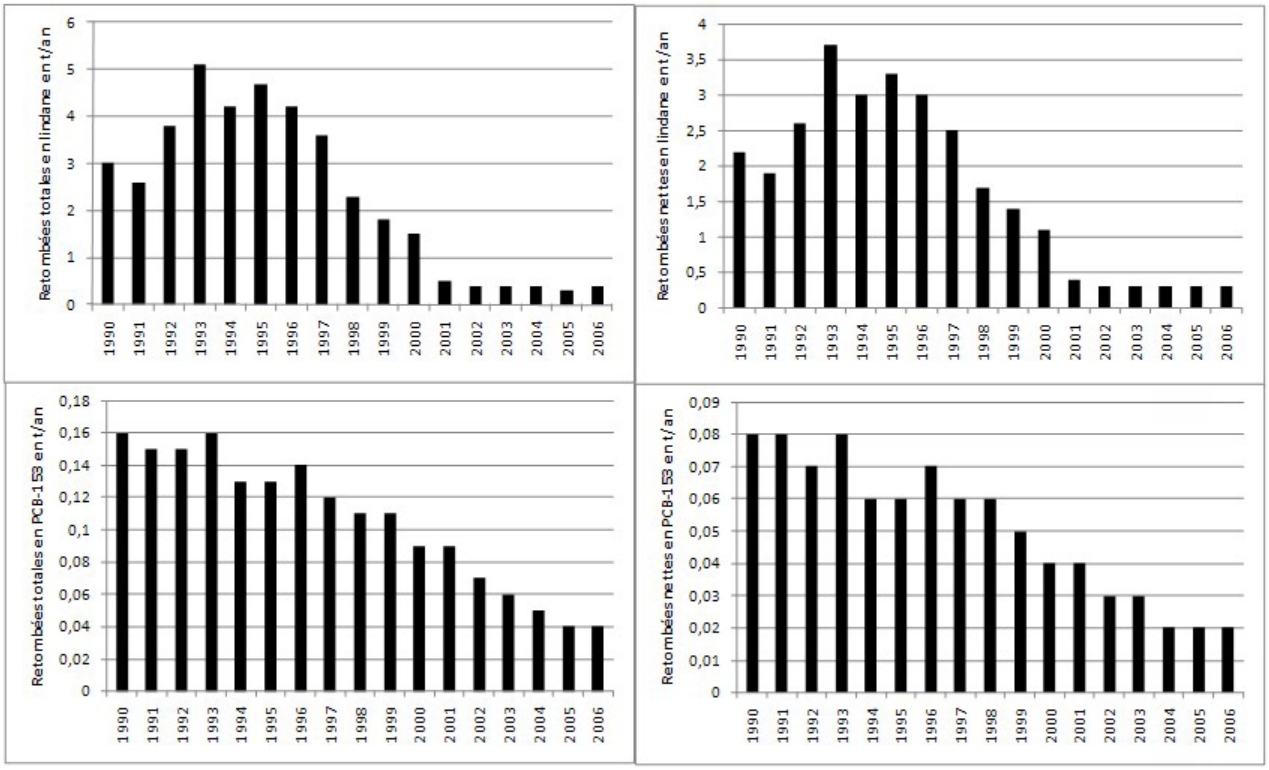

Figure 4 : Évolution inter-annuelle des retombées atmosphériques totales et nettes en lindane (A et A') et en PCB-153 (B et B') de 1990 à 2006 dans la région OSPAR IV (golfe de Gascogne), exprimées en $t \cdot an^{-1}$ (Sources : EMEP, 2008).

5. CONCLUSION

En conclusion, les calculs des modèles se fondant sur les émissions suggèrent que les retombées atmosphériques nettes en métaux lourds sur l'ensemble de la sous-région golfe de Gascogne s'élèvent en 2008 à 1,55 t pour le cadmium, - 134 kg pour le mercure et 57 t pour le plomb. Les apports en cadmium et en plomb par les rivières se situent respectivement entre 0,1 et 0,8 t (estimation basse et estimation haute[4]) pour le cadmium et entre 42 et 127 t (estimation basse et estimation haute) pour le plomb pour l'année 2009 pour l'ensemble de la sous-région (voir la contribution thématique « Apports fluviaux en substances dangereuses »).

Ainsi, les apports atmosphériques en cadmium constituent la principale voie de pénétration du cadmium dans le milieu marin. Pour le plomb, les apports atmosphériques représentent 31 à 58 % des apports totaux en plomb dans le milieu marin, ce qui constitue une part non négligeable. Les retombées atmosphériques nettes en cadmium et en plomb suivent un gradient, les plus élevées se situant à proximité du littoral et les plus faibles en pleine mer.

Pour le mercure, on ne note pas de gradient des retombées atmosphériques totales et nettes, des côtes au large. Une autre particularité des retombées en mercure réside dans les valeurs négatives observées le long de la côte en ce qui concerne les retombées nettes, suggérant que les ré-émissions sont supérieures aux retombées totales.

Les retombées atmosphériques en cadmium et en plomb ont baissé significativement dans la région OSPAR IV entre 1990 et 2006 avec une nette tendance à la diminution entre 1990 et 2001 liée à une baisse des émissions atmosphériques, puis une stabilité observée depuis 2001. Les retombées atmosphériques en mercure connaissent une tendance à la baisse beaucoup plus faible que celle observée pour le cadmium et le plomb.

Concernant les polluants organiques persistants (POP), les retombées atmosphériques nettes sur l'ensemble de la sous-région golfe de Gascogne s'élèvent en 2008 à 2,13 t pour le lindane et - 40 kg pour le PCB-153. Les apports en lindane par les rivières se situent entre 0 et 0,1 t (estimation basse et estimation haute) pour l'année 2009 pour l'ensemble de la sous-région (voir la contribution thématique « Apports fluviaux en substances dangereuses »).

4 Apports fluviaux calculés selon la méthode OSPAR. Concernant les analyses non quantifiées, la commission OSPAR propose de calculer les flux de deux façons : soit en considérant ces analyses comme nulles, estimation basse, soit en considérant ces analyses comme égales aux limites de quantifications associées, estimation haute. Le flux « réel » se situe alors entre ces deux estimations.

Ainsi, les apports atmosphériques constituent la principale voie de pénétration du lindane dans le milieu marin. Les retombées atmosphériques en POP suivent un gradient, les plus élevées se situant à proximité du littoral et les plus faibles en pleine mer. Les retombées atmosphériques en POP ont baissé significativement dans la région OSPAR IV entre 1990 et 2006, en lien avec une baisse des émissions atmosphériques.

Les impacts des apports de substances dangereuses dans le milieu marin, quelles que soient les sources d'apport, sont traités dans la contribution thématique « Synthèse des impacts des substances dangereuses sur l'écosystème ».

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] OSPAR Commission, 2008. Atmospheric deposition of selected heavy metals and persistent organic pollutants to the OSPAR maritime area (1990 – 2005). Publication 375/2008. Disponible sur : http://qsr2010.ospar.org/media/assessments/p00375_Atmospheric_deposition_HM_and_POPs.pdf

[2] OSPAR Commission, 2009. Trends in atmospheric concentrations and deposition of nitrogen and selected hazardous substances to the OSPAR maritime area. OSPAR Commission, London, 2009. Publication 447/2009. Disponible sur : http://www.ospar.org/html_documents/ospar/html/P00447_Trend%20atmospheric%20inputs.pdf

[3] Travnikov O. et Ilyin I., 2005. Regional Model MSCE-HM of Heavy Metal Transboundary Air Pollution in Europe. EMEP/MSC-E Technical Report 6/2005.

[4] Gusev A., Mantseva E., Shatalov V., Strukov B., 2005a. Regional multicompartment model MSCE-POP EMEP/MSC-E Technical Report 5/2005, June 2005.

[5] Gusev A., Li Y.-F., Mantseva E., Shatalov V., Rozovskaya O. et Vulykh N., 2005b. Evaluation of B[a]P and γ-HCH transport from European and North American emission sources and assessment of deposition to the OSPAR region. Report was prepared in the framework of EMEP as a contribution to German Canadian Project " Quality of measuring data on atmospheric input of POPs ". EMEP/MSC-E Technical Report 12/2005. June 2005.

[6] OSPAR Commission, 2000. Quality Statut Report. Region II-Greater North Sea. Ospar Commission London. 136 + xiii pp.

[7] Hedgecock I.M., Pirrone N., Trunfio G.A., Sprovieri F., 2006. Integrated mercury cycling, transport, and airwater exchange (MECAWEx) model. J. Geophys. Res., vol. 111, No. D20, D20302

[8] Behrenfeld M.J. et Falkowski P.G., 1997. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration. Limnol. Oceanogr., vol. 42, No.1, pp.1-20.

[9] Pacyna E.G., Pacyna J.M., Steenhuisen F. et Wilson S., 2006. Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. Atmos. Environ., vol. 40, No. 22, pp. 4048-4063.