

FLUX ATMOSPHERIQUES ET MARINS DE METAUX-TRACES EN MER LIGURE

Blandine Journal^{1, 2*}, Emmanuel Nicolas¹, Christophe Migon¹, Valérie Sandroni¹ et Jean-Pierre Béthoux¹

¹ Laboratoire de Physique et Chimie Marines, Université Paris 6, CNRS INSU, BP 8, 06238 Villefranche-sur-mer Cedex, France

² CEREGE, URA 132, Europôle méditerranéen de l'Arbois, BP 80, 13545, Aix-en-Provence, Cedex 4, France

Résumé

Les flux atmosphériques totaux de Cd, Co, Cu, Ni, Pb et Zn sont mesurés sur le site côtier du Cap Ferrat (France), du printemps à l'automne 1993. En parallèle, les flux particuliers marins sont mesurés à 200 et 1000 m de profondeur, en Mer Ligure centrale. Le transfert des apports atmosphériques vers les eaux profondes se traduit par des flux d'importance décroissante de l'atmosphère vers la mer profonde (*i.e.*, pas ou peu de sources internes) et par une réponse marine dont l'intensité dépend de la saison, c'est-à-dire en fonction des variations de l'activité biologique.

Mots-clés : air-sea interactions, metals, particle flux, Ligurian Sea

Introduction

L'atmosphère est le vecteur principal de matière vers les zones océaniques (1-3). Ceci est particulièrement vrai en Méditerranée occidentale, bassin semi-fermé soumis à des influences anthropiques (4) et naturelles (apports de poussières sahariennes; 5, 6). De plus, cette mer présente un temps de réponse relativement court, de l'ordre de l'année, aux fluctuations des apports externes (7, 8). Les flux totaux de traces métalliques ont déjà été décrits pour la région ligure (9, 10). Cependant, il existe peu de données sur la concomitance des données atmosphériques et océaniques. Situé en Mer Ligure centrale, le site DYFAMED permet la mesure des flux océaniques à - 200 et - 1000 m. Protégé des apports advectifs par le courant ligo-provençal (11, 12) et couplé au site atmosphérique côtier du Cap Ferrat, le site DYFAMED permet une observation à long terme de la réponse marine aux perturbations environnementales. On peut ainsi étudier les processus de transferts des apports atmosphériques vers les couches marines profondes, c'est-à-dire essentiellement l'activité biologique (13-15), elle-même dépendante des conditions hydrologiques (stratification estivale des eaux) et climatiques (coups de vent, ensoleillement). Le présent travail, qui se définit comme une étude préliminaire dans ce domaine, a pour objectif de mettre en regard les flux atmosphériques et marins de Cd, Co, Cu, Ni, Pb et Zn, afin d'appréhender le devenir des apports atmosphériques, d'abord au-dessous de la couche euphotique (- 200 m), puis en eaux profondes (- 1000 m).

Méthodologie

Les échantillons atmosphériques ont été collectés au site côtier du Cap Ferrat (43°41'10" N, 7°19'30"E) en 1993. Les apports totaux ont été mesurés et répertoriés selon un pas de temps de 15 jours (10, 16) qui correspond au pas d'échantillonnage des trappes à particules. Les échantillons marins ont été prélevés au site DYFAMED, situé à 28 milles de la côte ligure française, sur la radiale Nice-Calvi. Des trappes à particules y sont mouillées à 200 et 1000 mètres de profondeur (17, 18). Les retombées atmosphériques totales ainsi que les échantillons de pièges à particules ont été dosés par voltampérométrie de redissolutions anodique et cathodique. Les limites de détection sont les suivantes : 1; 2; 20; 3; 2 et 20 ng l⁻¹ pour Cd, Co, Cu, Ni, Pb et Zn respectivement. Les détails méthodologiques et analytiques ont déjà été publiés antérieurement (10, 18, 19).

Résultats et discussion

Les apports atmosphériques ont été collectés de mars à septembre 1993. Les échantillons marins sont disponibles de mai à novembre 1993. Bien qu'on ne dispose pas d'une année entière, les périodes considérées devraient permettre de mettre en parallèle les flux atmosphériques et marins au cours de saisons contrastées (printemps et été) au point de vue de la production biologique. En effet, les mécanismes de transfert des apports atmosphériques à travers la couche euphotique seront vraisemblablement conditionnés par le cycle saisonnier de l'activité biologique (20). Le flux de matière particulaire étant dûs essentiellement aux grosses particules biogéniques détritiques (18), l'activité biologique et la sédimentation régissent les transferts de matière dans la colonne d'eau. L'ensemble des données atmosphériques et marines est disponible dans des publications antérieures et les valeurs de flux atmosphériques ont été comparées à celles obtenues par d'autres auteurs dans différentes régions méditerranéennes (10, 16).

Le tableau 1 donne les valeurs moyennes des flux élémentaires atmosphériques, sous la couche euphotique (- 200 m) et en mer profonde (-1000 m). Pour tous les éléments, on observe un flux atmosphérique toujours supérieur au flux marin (Fa/Fm > 1), ce qui signifie que l'atmosphère enrichit le stock disponible dans les eaux de surface, du moins pour la période considérée. Le flux à 200 m est toujours supérieur (Cd, Ni, Pb, Zn) ou égal (Co, Cu) au flux profond à 1000 m. Ceci rend compte de l'efficacité de l'exportation de la matière vers les couches profondes. Les éléments transportés par l'atmosphère se déposent à la surface de la mer sous forme dissoute (dans les pluies) ou particulaire (dans les pluies et dans les retombées sèches). Cette dernière phase va elle-même se dissoudre pour une large part dans la couche superficielle (21, 22).

Tableau 1. Moyennes géométriques des flux atmosphériques (Fa) et marins (Fm), en 1993, exprimées en $\mu\text{g m}^{-2} \text{j}^{-1}$, et rapports des flux Fa/Fm. Les écarts-types, calculés à partir de moyennes arithmétiques, illustrent la variabilité des flux.

| Flux | | Atmosphérique | Marin (-200 m) | Marin (-1000 m) |
|------|---------|---------------|----------------|-----------------|
| Cd | moyenne | 0,17±0,07 | 0,04±0,03 | 0,02±0,02 |
| | Fa/Fm | | 4,6 | 10,1 |
| Co | moyenne | 0,28±0,36 | 0,14±0,14 | 0,13±0,25 |
| | Fa/Fm | | 1,8 | 1,9 |
| Cu | moyenne | 5,77±4,2 | 1,7±1,65 | 1,32±1,48 |
| | Fa/Fm | | 4,1 | 4,1 |
| Ni | moyenne | 3,1±2,02 | 1,28±0,91 | 0,86±1,5 |
| | Fa/Fm | | 2,1 | 2,9 |
| Pb | moyenne | 6,72±5,1 | 2,09±1,94 | 0,65±0,96 |
| | Fa/Fm | | 2,2 | 5,3 |
| Zn | moyenne | 173±157 | 11,3±7,9 | 4,5±6,1 |
| | Fa/Fm | | 20,6 | 41,2 |

Cependant, les particules collectées dans les pièges proviennent aussi bien d'apports atmosphériques dissous (après assimilation par l'activité biologique) que particulaires. Le pas de temps de collecte des pièges étant de 15 jours, les processus de dissolution de la matière atmosphérique ne sont pas pris en compte. Par conséquent, le fractionnement dissous-particulaire des apports atmosphériques, quand ils pénètrent dans la couche de surface, n'intervient pas dans cette discussion.

Ensuite, le transfert du matériel atmosphérique vers les couches marines profondes résulte d'une série de processus complexes (adsorption/désorption et agrégation/désagrégation) résultant de l'activité biologique. Les échantillons de pièges sont le résultat de cette séquence, mais ces processus ne sont pas discernables.

La figure 1 met en parallèle les évolutions saisonnières des flux atmosphériques, marins sous-jacents à la couche euphotique (200 m) et marins profonds (1000 m) de Cd, Co, Cu, Ni, Pb et Zn.

Les flux atmosphériques présentent une variabilité saisonnière assez peu marquée par rapport aux concentrations élémentaires (9). Par conséquent, les valeurs maximales de flux correspondent d'autant plus manifestement à des périodes particulièrement intenses, à partir desquelles on pourra tenter d'identifier une réponse océanique.

Le flux de matière (DYFAMED, série temporelle, Miquel *et al.*, données non publiées) mesuré à 200 m décroît de 196 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ en mai à un minimum de 16 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ en juillet. Il oscille ensuite entre 30 et 65 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ entre les mois d'août et septembre pour atteindre un second maximum de 103 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ en octobre et décroître jusqu'à 22 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ en novembre. Ces fluctuations traduisent des variations des conditions hydrologiques et biologiques en surface. Le mois de mai marque la fin du bloom printanier. Les eaux de surface, en se réchauffant, se stratifient, ce qui empêche leur alimentation en sels nutritifs par les eaux profondes. Pendant la saison estivale, le renforcement de la stratification des eaux induit un épuisement progressif des ressources nutritives qui ralentit l'activité biologique et favorise le recyclage en surface, et enfin ralentit la chute des particules. Le second maximum du mois d'octobre peut s'expliquer par des conditions météorologiques susceptibles de relancer l'activité biologique par le mélange des couches marines euphotique et sous-jacente (coups de vent) ou par approvisionnement atmosphérique (pluies; 23). De fait, l'apport atmosphérique des mois de septembre et octobre 1993 se résume quasiment à des épisodes pluvieux, soit 171 et 185 mm respectivement (16).

Le flux de matière à 1000 m croît de 100 à 160 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ pendant le mois de mai. Il décroît jusqu'à 20 $\text{mg m}^{-2} \text{j}^{-1}$ à la fin juin et se stabilise à cette valeur jusqu'au mois de septembre. On remarque que le flux maximum (à 200 et à 1000 m) correspond à une période de type mésotrophe (mois de mai).