CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE

JUIN 2012

ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE

Caractéristiques chimiques

Répartition spatio-temporelle des nutriments

Patrick Raimbault
(Aix-Marseille Université, LMGEM – UMR CNRS 6117, Marseille),
Nathaniel Bensoussan
et Anne-Éléonore Paquier
(IPSO FACTO, Marseille).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
Agence des aires marines protégées
Ifremer

La mer Méditerranée est connue depuis longtemps comme étant une mer oligotrophe, possédant une faible charge nutritive [1], et caractérisée par un gradient trophique ouest-est [2] [3].

Une autre caractéristique biogéochimique de la Méditerranée est le déficit en phosphore par rapport à l'azote. Alors que ces éléments se distribuent dans l'océan mondial dans un rapport proche de la valeur de 16, dit rapport de Redfield [4], le rapport nitrates/phosphates des eaux profondes de Méditerranée varient de 20–21 dans le bassin occidental à 25 dans le bassin oriental [1] [3], tandis que des valeurs très élevées (> 50) sont fréquemment mesurées dans les eaux superficielles [5] [6].

À l'échelle du bassin occidental, les bilans biogéochimiques ont révélé que le déficit de matières minérales au détroit de Gibraltar est essentiellement compensé par les apports fluviaux [7]. Dans ce contexte, le Rhône, principal fleuve méditerranéen, joue un rôle primordial avec un apport annuel estimé à un tiers de la quantité totale reçue par les eaux de surface de Méditerranée, en tenant compte des apports atmosphériques et du mélange hivernal de la colonne d'eau. Les eaux littorales et côtières sont, quant à elles, soumises aux apports par des émissaires et à l'impact d'activités industrielles et portuaires, facteurs qui peuvent entraîner de forts enrichissements localisés en éléments nutritifs. Dans ce contexte, certains auteurs ont suspecté une augmentation des teneurs en nitrates et phosphates en Méditerranée au cours des dernières décennies [8] [9] suite à la contamination d'origine agricole et industrielle des fleuves et rivières. À l'opposé, un déficit en silicates semble apparaître au cours de la même période [10], expliqué par la réduction des débits des fleuves due à la construction de barrages et à un déficit pluviométrique [8] [11].

1. BASES DE DONNÉES

Les données présentées dans ce document ont été recueillies par le biais des producteurs de données, des services d'observation – Rocch (ex-RNO), Somlit, Dyfamed, MOOSE –, et de bases de données de campagnes océanographiques françaises en ligne (Sismer) ou sur support numérique – MEDATLAS du MEDAR Group. Face à l'hétérogénéité des formats des différentes sources de données – dates, positions, unités, etc. –, il a été nécessaire d'effectuer un contrôle systématique de l'ensemble des variables importées. Afin de replacer les données de sels nutritifs dans leur contexte hydrologique, les données de température et de salinité ont également été collectées.

1.1. VALIDATION DES DONNÉES

Un traitement statistique et d'analyse graphique a été conduit afin de détecter et corriger d'éventuelles erreurs de report de données et d'identifier des valeurs aberrantes ou suspectes. Face à la forte dispersion des données, liée à l'influence continentale, la recherche d'éventuelles données aberrantes est passée par l'analyse des distributions en fonction de la profondeur et de la salinité. Ces analyses ont été effectuées pour chaque sel nutritif. Elles ont notamment permis la mise en évidence de concentrations très élevées, valeurs atypiques qui n'ont été conservées que lorsqu'elles étaient associées à une dessalure liée à des apports d'eau douce d'origine continentale. Par contre, les valeurs élevées associées à des eaux marines et profondes (salinité > 37) ont été supprimées. Cette procédure et le recoupement des sources ont permis la correction d'erreurs de compilation, l'élimination de valeurs de qualité douteuse et l'obtention d'une base de données consolidée.

1.2. RÉSULTATS DU RECENSEMENT – BASE DE DONNÉES CONSOLIDÉE

Le recensement des données dans la sous-région marine a commencé en 1962 [12]. La base de données ainsi constituée contient cinquante-cinq campagnes ou séries temporelles, réparties sur cinq décades de 1962 à 2010 (annexe 2). Vingt-huit sont des campagnes océanographiques à stratégie spatiale – certaines ayant donné lieu à des revisites – quatorze à stratégie temporelle, deux à stratégie spatio-temporelle et une campagne ponctuelle. Au total, elle compte 24 886 entrées (lignes) comprenant : 19 027 données de nitrates ; 13 826 données de nitrites ; 11 452 données d'ammonium ; 20 936 données de phosphates ; 14 605 données de silicates. La majorité (92%) des données de température et salinité associées est disponible.

La figure 1 présente la répartition spatiale de l'effort d'échantillonnage des campagnes océanographiques françaises et monégasques. Les mesures sont réparties entre l'embouchure du Rhône, le golfe du Lion, la zone Provence et la mer Ligure. La distribution spatiale de l'ensemble des prélèvements pour les sels nutritifs montre une certaine hétérogénéité. Certaines zones, comme le golfe du Lion – notamment la zone sous influence rhodanienne – et la mer Ligure, ont été intensément étudiées, alors que peu ou pas d'échantillonnage n'a été effectué dans le centre et le sud de la région. En mer Ligure, les données ont essentiellement été collectées le long de la radiale Nice–Calvi et autour du site Dyfamed. Bien que situées en bordure extérieure de la limite est du domaine, ces données doivent être prises en compte.

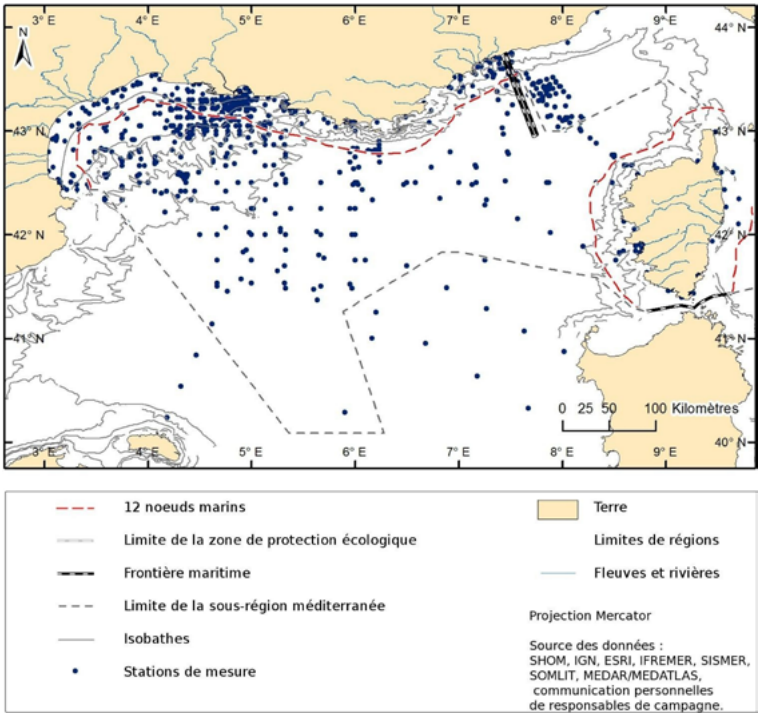


Figure 1 : Carte des stations de mesures des sels nutritifs de la base de données consolidée utilisée (1962 à 2010) (Sources : SHOM, IGN, ESRI, Ifremer, Sismer, Somlit, MEDAR/MEDATLAS, communications personnelles de responsables de campagnes).

Nitrates et phosphates sont les variables les mieux décrites. Elles sont à la fois les plus abondantes et les mieux distribuées (annexe 2). Ces deux variables présentent une couverture spatiale satisfaisante à l'échelle de la sous-région marine. Les autres variables présentent en revanche des manques importants, avec de vastes zones peu ou pas échantillonnées. Pour les nitrites, l'ammonium et dans une moindre mesure les silicates, le nombre de stations est très restreint en zone Provence et en mer Ligure.

L'effort d'échantillonnage présente de grandes variations au cours du temps, dans l'espace et en fonction des variables considérées (annexes 3a et 3b), mais aussi au niveau saisonnier (annexes 5a et 5b). On distingue :

- nitrates et phosphates, qui sont bien échantillonnés au début des années 1970, puis de 1990 à 2000 ;
- nitrites et ammonium, mesurés seulement depuis les années 1980 et surtout dans les années 1990 ;
- silicates, mesurés depuis les années 1960, mais avec une faible couverture spatiale.

De manière générale, les mesures sont beaucoup moins nombreuses à l'automne, et à moindre échelle en été. Nitrates et phosphates sont bien représentés dans le golfe du Lion, en zone Provence et en mer Ligure en hiver et au printemps, mais uniquement dans le golfe du Lion en été. Les données de silicates suivent la même répartition saisonnière et spatiale, à l'exception de la zone Provence. Nitrites et ammonium ont surtout été mesurés en hiver et au printemps dans le golfe du Lion et en mer Ligure. Ce modèle de distribution des données s'applique jusqu'à 1 000 m de profondeur. L'abondance de données est décroissante depuis la surface jusqu'à devenir très faible au-delà de 1 000 m pour toutes les variables, et à plus forte raison pour les variables les moins représentées (annexe 4).

2. ÉTAT DES LIEUX ET TENDANCE

La distribution verticale des différents éléments nutritifs est synthétisée sur la figure 2. Les profils de nitrates, phosphates et silicates sont très semblables, caractérisés par une large gamme de valeurs dans la couche 0–100 m, une augmentation avec la profondeur jusqu'à environ 500 m, puis des concentrations plus ou moins constantes jusqu'au fond.

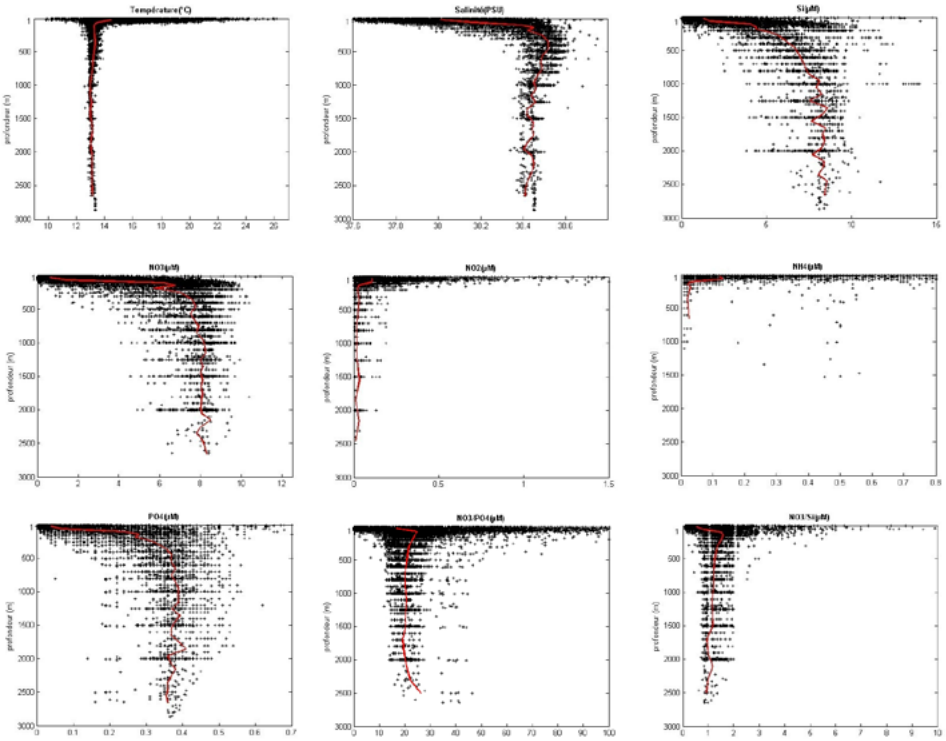


Figure 2 : Présentation de la distribution verticale des sels nutritifs et des variables associées considérées dans la base de données pour des eaux marines. La courbe rouge représente la médiane des observations aux différentes profondeurs. De gauche à droite et de haut en bas :

- températures pour des profondeurs > 1 m comprises entre 9 et 27 °C ;
- salinité pour des profondeurs > 1 m ;
- données de nitrates pour des profondeurs > 1 m comprises entre 0 et 11 µM ;
- données de nitrites pour des profondeurs > 1 m comprises entre 0 et 1,5 µM ;
- données d'ammonium pour des profondeurs > 1 m comprises entre 0 et 0,8 µM ;
- données de phosphates pour des profondeurs > 1 m comprises entre 0 et 0,7 µM ;
- données de silicates pour des profondeurs > 1 m comprises entre 0 et 15 µM ;
- rapport NO3/PO4 pour les données présentées ci-dessus ;
- rapport NO3/Si pour les données présentées ci-dessus.

(Sources : Université Aix-Marseille, 2011).

La forte dispersion des valeurs en surface est due à la fois aux variations saisonnières et à l'impact des apports d'eau douce continentale, d'origine naturelle et anthropique. En hiver, au large du golfe du Lion et en mer Ligure, l'évaporation due aux vents induit une augmentation de la salinité qui, couplée au refroidissement des eaux de surface, les rend plus denses. Ces processus provoquent un mélange vertical intense amenant les sels nutritifs des eaux profondes vers la surface. En été, les eaux du large sont fortement stratifiées et la couche de surface est caractérisée par une disparition totale des sels nutritifs suite à la consommation biologique.

La forte dispersion des données observées au-delà de 200 m de profondeur est surprenante compte tenu de la relative stabilité des caractéristiques hydrologiques – température et salinité – des deux masses d'eau type, à savoir l'eau intermédiaire d'origine levantine – LIW, 300–800 m – et l'eau profonde de Méditerranée occidentale – WMDW, au-delà de 1 000 m. Les profils des rapports nitrates/phosphates et nitrates/silicates montrent une plus grande homogénéité, ce qui indique que la dispersion des données de concentrations observée en profondeur serait en partie due à des variations spatiales et/ou temporelles similaires pour les trois sels nutritifs considérés.

Les profils d'ammonium et de nitrites sont tout à fait différents. Ces éléments nutritifs, formes transitoires de la reminéralisation de l'azote, sont totalement absents des eaux profondes. Ils ne sont détectables que dans la couche de surface, généralement à de très faibles concentrations dans les eaux du large et indicateurs d'une intense activité biologique. Les teneurs les plus élevées sont localisées en surface dans les eaux littorales, généralement liées à des contaminations d'origine continentale.

Le nombre et la répartition temporelle des données – sous-représentation en été et surtout en automne – apparaissant insuffisant pour établir des climatologies à l'échelle mensuelle, il est proposé une description de

la répartition de surface (0–10 m) selon deux saisons hydrologiques caractéristiques de la sous-région marine (figure 3) :

- la période d'homogénéisation de la couche superficielle entre novembre et avril ;
- la période de stratification de la colonne d'eau entre mai et octobre.

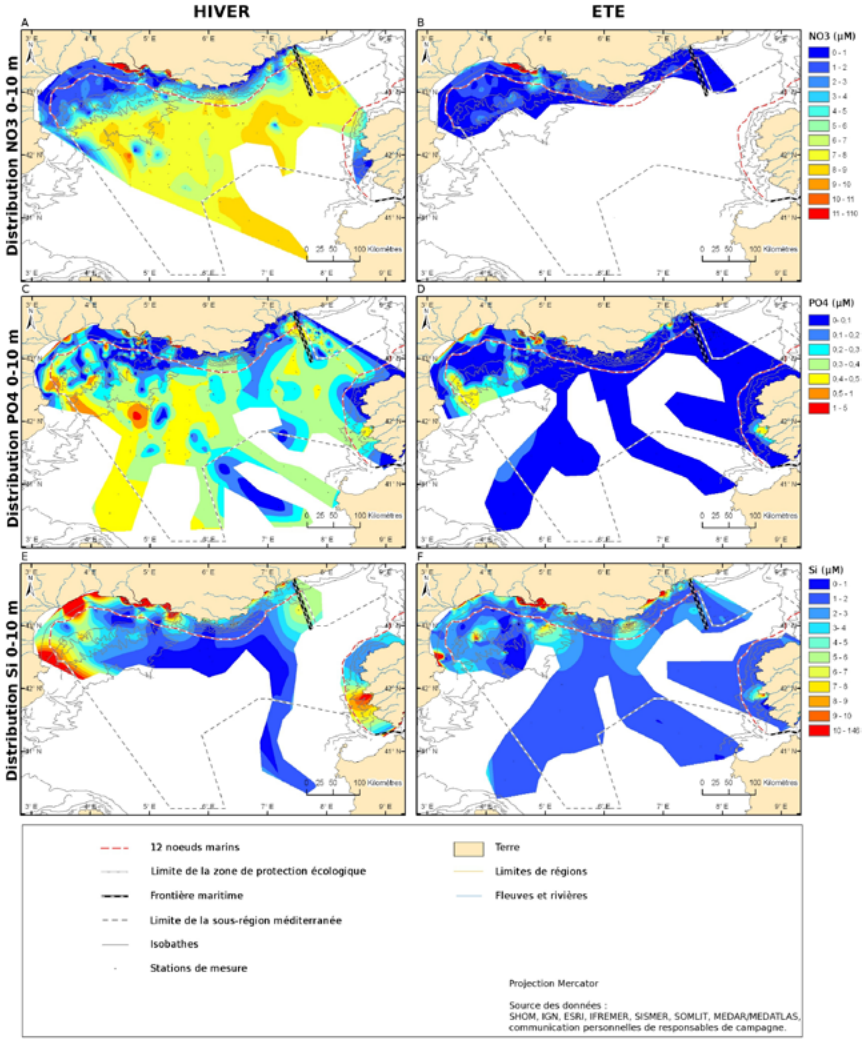


Figure 3 : Cartes de distribution en surface (0–10 m) des nitrates, phosphates et silicates en hiver (novembre à avril) et en été (mai à octobre). Les données proviennent des mesures effectuées entre 1962 et 2010 dans la sous-région marine. L'agrégation et l'interpolation ont été réalisées par la méthode des voisins naturels sous ArcMap (taille de cellule en sortie : 0,01 degré décimal) (Sources : SHOM, IGN, ESRI, Ifremer, Sismer, Somlit, MEDAR/MEDATLAS, communications personnelles de responsables de campagnes).

La période d'homogénéisation apparaît mieux échantillonnée que la période de stratification, notamment pour les nitrates, qui montrent un important déficit en données estivales. En effet, suite à l'absence de mesures de nitrites, certaines bases de données sont uniquement renseignées en termes de nitrates + nitrites. À titre d'information, les cartes nitrates + nitrites sont fournies en annexe 6.

En hiver, les mélanges d'eau, dus aux processus convectifs associés à l'augmentation de densité des eaux de surface, entraînent un enrichissement des eaux superficielles au large, notamment au centre de la mer Ligure et de la zone Provence. Les teneurs dans les eaux côtières apparaissent alors moins élevées, excepté dans les zones littorales sous influence continentale directe. C'est notamment le cas de la zone du panache rhodanien, enrichissement qui reste très localisé à proximité de l'embouchure.

Pendant la période de stratification, la consommation biologique entraîne un appauvrissement des eaux de surface. Au large comme en zone côtière, les concentrations en éléments nutritifs sont généralement très faibles, souvent indétectables. Les zones sous influence continentale, notamment le panache du Rhône, sont mieux individualisées par des teneurs élevées en nitrates et en silicates. La distribution estivale des silicates révèle de nombreux points littoraux à fortes concentrations associés au suivi du Rocch.

L'évolution temporelle des eaux de surface est principalement dominée par le rythme saisonnier, lequel est marqué par de longues périodes d'oligotrophie – plusieurs mois de l'année. Il est donc difficile, voire impossible, d'établir une tendance d'évolution générale sur l'ensemble de la sous-région marine avec le jeu de données actuel. Néanmoins, les régions sous influence continentale, notamment celles pour lesquelles on dispose de séries temporelles longues – Rocch, Somlit – peuvent permettre d'établir les bases de la dynamique temporelle de distribution des nutriments en relation avec les aménagements littoraux et l'activité humaine (figure 4). Les données Rocch collectées sur des sites fortement impactés par l'activité humaine présentent des concentrations sur une gamme très étendue, qui atteignent des valeurs très éloignées de celles rencontrées dans le milieu marin naturel. Les moyennes annuelles ne permettent pas de déceler de tendance temporelle, mais la diminution des écarts-types à partir 1990 - 2005 pour les nitrates, révélant une diminution de la fréquence des valeurs extrêmes, est à noter. Les données du réseau Somlit recueillies en trois points côtiers, mais hors apports continentaux directs, s'étendent sur une gamme de concentrations beaucoup plus réduites. L'évolution des moyennes annuelles ne révèle pas de tendance temporelle (figure 4).

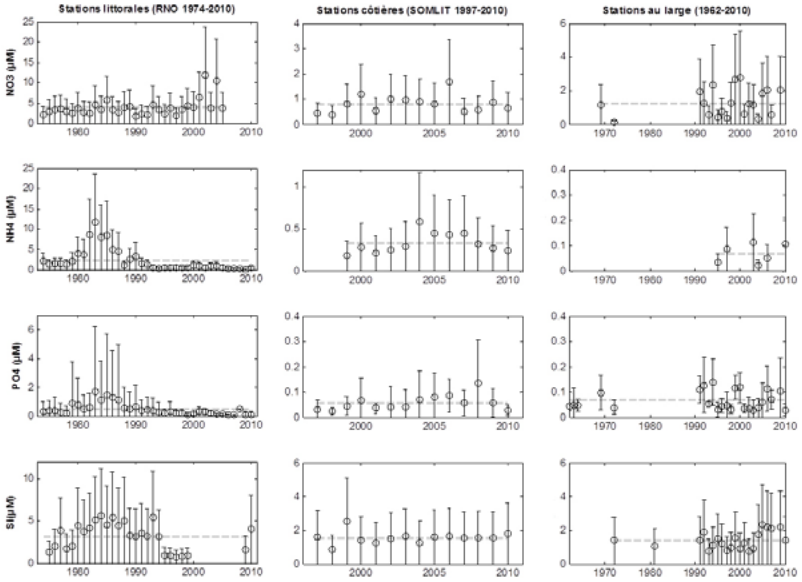


Figure 4 : Évolution temporelle des moyennes annuelles de nitrates, ammonium, phosphates, et silicates dans les eaux de surface littorales (suivi Rocch sur bathymétrie < 50 m), côtières (suivi Somlit) et du large (hors zone d'influence rhodanienne). La droite en pointillés gris représente la moyenne de toutes les moyennes annuelles considérées (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).

Les eaux intermédiaires et profondes – LIW et WMDW –, dont les temps de résidence sont beaucoup plus longs, peuvent également refléter des modifications des caractéristiques nutritives de la sous-région marine. La figure 5 montre en fait que leurs teneurs en macronutriments n'ont pas significativement évolué au cours des cinquante dernières années. Cela contredit certains travaux antérieurs [8] [9] qui présentaient, à partir d'un jeu de données beaucoup plus réduit, une augmentation de type exponentielle des teneurs en phosphates et nitrates, mais confirment des observations plus récentes [3] [13]. Ces résultats permettent de qualifier l'état initial de LIW et WMDW.

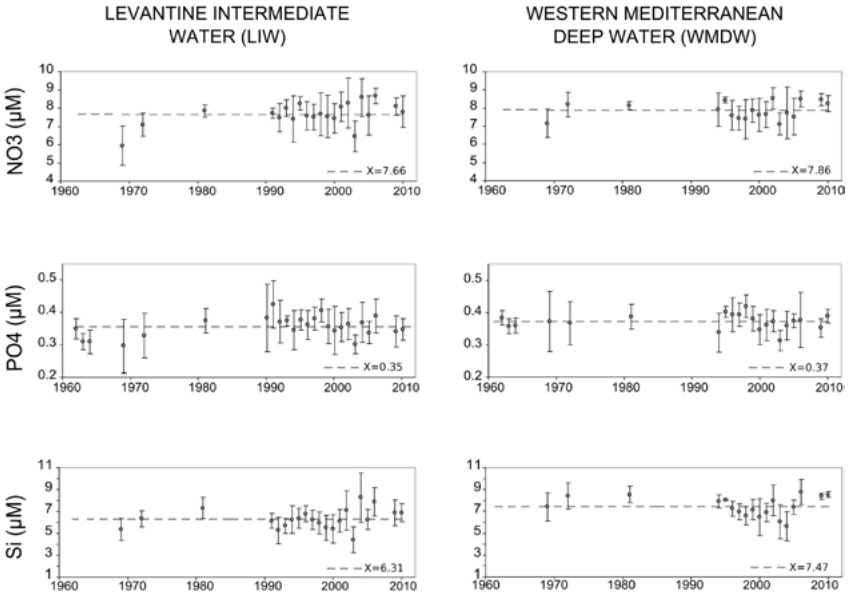


Figure 5 : Évolution temporelle des moyennes annuelles de nitrates, phosphates et silicates dans les eaux intermédiaires LIW – salinité > 38,5 ; température > 13,2 °C ; profondeurs comprises entre 200 et 1 200 m – et les eaux profondes WMDW – salinité < 38,5 ; température < 13,2 °C ; profondeurs comprises entre 600 et 3 000 m. La droite en pointillés gris représente la moyenne de toutes les moyennes annuelles considérées, le x en précise la valeur (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).

3. CONCLUSION

Cette contribution thématique constitue une première analyse concernant la nature des données potentiellement mobilisables sur la période 1962–2010. L'inventaire du contenu de la base a permis d'identifier des manques dans la répartition spatio-temporelle des données. On note par exemple la bonne couverture en nitrates et phosphates dans le golfe du Lion et la zone Provence au début des années 1970, ou encore un effort d'échantillonnage soutenu sur une zone restreinte de la mer Ligure depuis les années 1970. L'analyse des données, bien que très préliminaire, met en évidence l'intérêt de la base ainsi constituée pour définir un état initial de la distribution des éléments nutritifs dans la sous-région marine, en révélant quelques points forts qui permettent d'envisager la conduite future d'analyses spatio-temporelles, sinon globales, au moins locales ou à l'échelle de sous-régions.

En surface comme au niveau des eaux profondes, aucune tendance d'évolution de concentrations moyennes annuelles n'est détectable. L'enrichissement hivernal en nutriments lors des processus de convection verticale dans le golfe du Lion et en mer Ligure ainsi que la présence du Rhône expliquent que la sous-région marine est l'une des zones les plus riches en éléments nutritifs et donc des plus productives de la Méditerranée. L'affaiblissement de la circulation thermohaline et de la convection profonde que pourrait engendrer le changement climatique [14] [15] et la diminution des apports continentaux – diminution des débits des fleuves – pourraient réduire l'apport en éléments nutritifs dans les eaux de surface et favoriser le développement d'espèces phytoplanctoniques plus adaptées à un environnement oligotrophe, telles que dinoflagellés et nano- et picoplancton, aux dépens des diatomées [16].

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Mc Gill D.A., 1961. A preliminary study of the oxygen and phosphate distribution in the Mediterranean Sea. Deep-Sea Res., 8: 259-275.

[2] Mc Gill D.A., 1965. The relative supplies of phosphate, nitrate and silicate in the Mediterranean sea : Comm. Inter. Explor. Sci. Mer Medit., rapport P.V. réunions, 198 : 734-744.

[3] Moutin T., Raimbault P., 2002. Primary production, carbon export and nutrients availability in western and eastern Mediterranean Sea in early summer. J. Mar. Systems, 33-34 : 273-288.

[4] Redfield A.C., Ketchum B.H., Richards F.A., 1963. The influence of organisms on the composition of sea-water. In: Ideas and observation on progress in the study of the sea, Hill M.N. Editor, vol. 2, Wiley, London, 26-77.

[5] Raimbault P., Coste B., 1990. Very high values of nitrate:phosphate ratio (>30) in the subsurface layers of the western Mediterranean Sea. Rapport et PV reunion Comm. Inter.Explor. Sci. Mer Medit., 32,C-18.

[6] Krom M.D., Kress N., Brenner S., Gordon L.I., 1991. Phosphorus limitation of primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. Limnol. Oceanogr., 36: 424-432.

[7] Coste B., Le Corre P., Minas H.J., 1988. Re-evaluation of the nutrient exchanges in the strait of Gibraltar. Deep-Sea res., 35(5): 767-775.

[8] Béthoux *et al.*, 2002. Temporal tends in nutrient ratios: chemical evidence of Mediterranean ecosystem changes driven by human activity, Deep-Sea 313 Res., Part II, 49: 2007–2016.

[9] Béthoux J.P., Copin-Montégut G., 1988. Phosphorus and nitrogen in the Mediterranean Sea: Specificities and forecasting. Oceanologica Acta, Special issueN°9: 75-78.

[10] Lucea A., Duarte M., Agusti S. and Sondergaard M. 2003. Nutrient (N, P and Si) and carbon partitioning in the NW Mediterranean. J. Sea Res. 49: 157–170.).

[11] Ludwig, W., Dumont, E., Meybeck, M., Heussner, S., 2009. River discharges of water and nutrients to the Mediterranean and Black Sea: major drivers for ecosystem changes during past and future decades? Progress in Oceanography 80, 199–217.

[12] Gostan J., 1968. Contribution à l'étude hydrologique du bassin liguro-provençal entre la Riviera et La Corse. Thèse Doc Etat Fac. Sci. Paris, 206pp.

[13] Raimbault P., Conan P., Coste B., 1995. Le phosphate en Méditerranée occidentale. Données récentes et réévaluation de l'évolution temporelle au sein des eaux profondes. Rapp. Commi. Intern. Exp. Mer Médi., 34 : 68.

[14] Somot S., Sevault F., Déqué M., 2006. Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the 21st century using a high-resolution ocean circulation model. Climate Dynamics, Volume 27, Numbers 7-8, December, 2006, pp. 851-879.

[15] Thorpe R.B., Bigg G.R., 2000. Modelling the sensitivity of Mediterranean Outflow to anthropogenically forced climate change. Climate Dynamics 16, 355: 307-368.

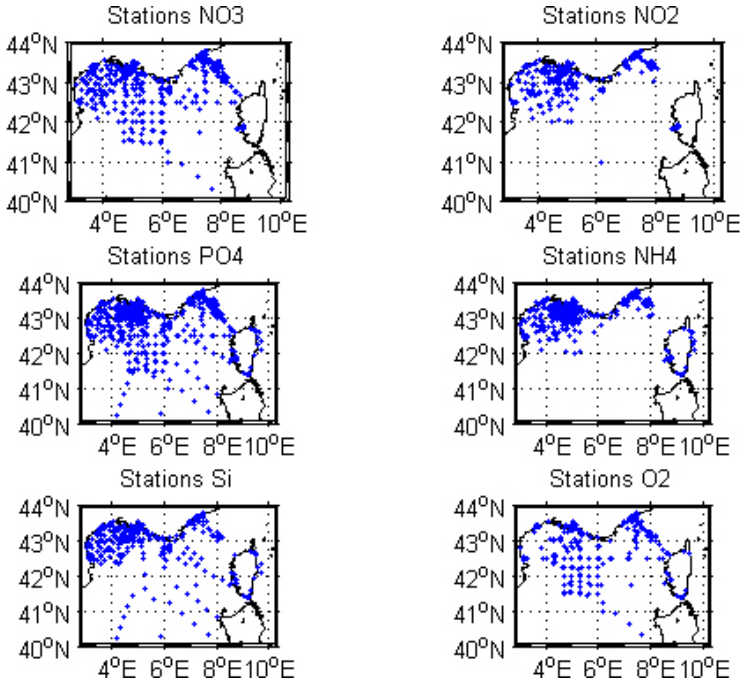
[16] Marty J.C., Chiavérini J., Pizay M.D., Avril B., 2002. Seasonal and interannual dynamics of phytoplankton pigments in the Western Mediterranean sea at the DYFAMED time series station (1991-1999). Deep-Sea Res. II 49 (11): 1965-1985.

4. ANNEXES

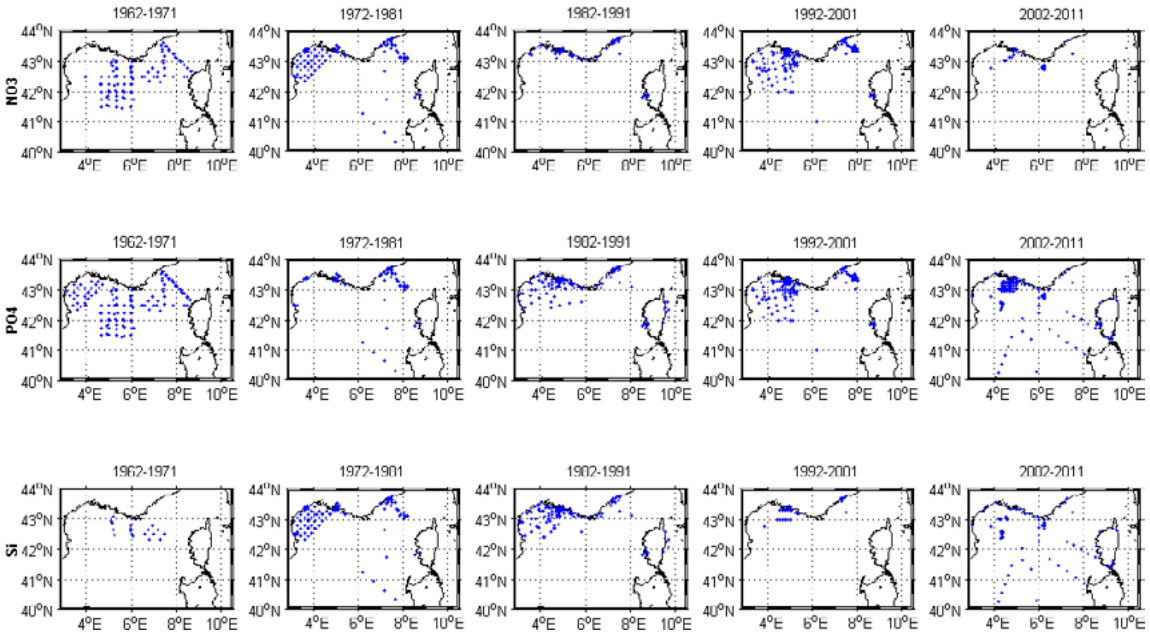
Annexe 1. Résumé des métadonnées concernant directement les données présentées dans le texte. « Index » fait référence aux numéros de campagnes, DateD et DateF aux dates de début et de fin de campagnes, « Typemesure » à la stratégie d'échantillonnage (S pour spatiale, T pour temporelle et ST pour spatio-temporelle), « Z min » et « Z max » aux profondeurs minimum et maximum de mesure, et N–* au nombre de données de la variable considérée pour chaque campagne.

INDEX	NOM	DATED	DATEF	TYPEME-SURE	Z MIN	Z MAX	N-T	N-S	N-NO3	N-NO2	N-NO3+-NO2	N-NH4	N-PO4	N-SI	N-OXY	N-CHLA
		dd/mm/yyyy	dd/mm/yyyy	S/T/ST/P	m	m										
7	DARK VADOR	09/05/2010	16/06/2010	P	8	1 798	20	20	19	3	19	8	20	20	0	0
1	BIODYPAR I	12/04/1998	22/04/1998	S	1	60	0	57	57	57	0	57	57	0	0	53
2	BIODYPAR II	17/11/1998	28/11/1998	S	0	10	0	106	106	106	0	67	106	0	0	0
3	BIODYPAR III	22/03/1999	04/04/1999	S	1	10	0	55	55	55	0	53	53	0	0	55
4	BIODYPAR IV	21/04/1999	02/05/1999	S	1	10	0	50	50	50	0	50	50	0	0	50
5	BIOPRHOPI	14/05/2006	27/05/2006	S	0	900	260	260	0	0	285	224	164	285	260	0
6	CYBELE	17/04/1990	23/04/1990	S	2	1 526	92	92	0	78	0	91	72	52	0	10
8	DYNAPROC I	30/04/1995	02/06/1995	S	1	1 105	1 253	1 254	1 180	868	0	388	1 233	0	0	0
11	GOSTAN I	08/06/1962	26/11/1962	S	1	2 000	315	315	0	0	0	0	315	0	0	0
12	GOSTAN II	03/06/1963	29/11/1963	S	1	2 600	686	686	0	0	0	0	686	0	0	0
13	GOSTAN III	14/01/1964	30/07/1964	S	1	2 600	482	482	0	0	0	0	482	0	0	0
20	MEDIPROD I	01/03/1969	16/04/1969	S	0	1 167	1 506	1 500	1 451	0	0	0	1 401	0	1 487	0
21	MEDIPROD III	06/04/1972	01/07/1972	S	0	2 400	377	376	374	0	0	0	377	376	360	159
22	MEDIPROD IV	12/11/1981	15/11/1981	S	3	2 598	138	138	114	0	0	0	129	137	138	0
33	MINOS	21/05/1996	29/06/1996	S	5	200	148	148	105	107	41	107	143	84	21	93
34	MOOGLI I	03/03/1998	15/04/1998	S	5	1 000	259	259	307	291	0	193	250	0	0	256
35	MOOGLI II	02/06/1998	29/06/1998	S	2	260	273	273	225	209	0	64	206	0	0	248
36	MOOGLI III	09/01/1999	22/01/1999	S	2	800	269	269	269	266	0	66	234	0	0	244
37	MOOSE	25/05/2010	30/05/2010	S	8	2 865	180	180	0	0	180	0	180	180	0	0
38	ORIGNY I	18/01/1969	07/03/1969	S	0	2 647	321	321	320	0	0	0	279	245	0	0
39	ORIGNY II	02/09/1971	08/10/1971	S	0	101	80	80	0	0	0	0	80	0	0	0
40	ORIGNY III	03/05/1972	30/07/1972	S	0	780	416	416	388	0	0	0	0	337	0	0
42	PANACHE I	10/05/1988	11/05/1988	S	0	30	14	14	0	14	0	14	14	14	0	12
43	PELAGO-LION I	03/09/1986	10/09/1986	S	2	200	175	175	0	172	0	143	93	169	0	0
44	PELAGOLION II	07/12/1986	14/12/1986	S	0	750	100	100	0	100	0	97	85	99	0	0
45	PELAGOLION III	02/02/1988	06/02/1988	S	0	1 342	107	107	0	0	0	106	0	107	0	0
48	RHOPI I	03/05/2001	04/05/2001	S	0	10	134	132	0	131	130	26	114	133	0	131
49	RHOPI II	06/05/2002	14/05/2002	S	0	20	321	322	32	35	221	320	267	0	0	320
50	RHOPI III	17/04/2003	23/04/2003	S	2	30	292	285	0	0	180	218	170	0	0	178
41	OPERA	23/01/2009	15/12/2009	ST	9	2 401	73	73	70	15	0	0	69	71	0	0
51	RNO/REPHY	14/09/1984	26/04/2011	ST	0	1	7 755	7 685	6 415	5 990	635	6 737	6 992	5 411	5 863	6 603
9	DYNAPROC II	13/09/2004	18/11/2004	T	0	2 300	1 274	1 274	1 229	1 077	0	279	1 136	1 260	1 274	244
10	DYPAMED	24/01/1991	11/12/2007	T	0	2 383	2 019	2 034	2 882	1 267	0	0	2 658	2 887	0	0
14	HPP I	15/03/1997	18/03/1997	T	5	165	0	0	15	15	0	10	15	0	0	15
15	HPP II	22/03/1997	24/03/1997	T	5	165	70	70	72	72	0	31	68	0	67	70
16	HPP III	03/04/1997	08/04/1997	T	5	165	71	71	72	69	0	34	72	0	71	72
17	HPP IV	13/04/1997	17/04/1997	T	5	165	72	72	71	54	0	34	68	0	72	72
18	HPP V	21/04/1997	24/04/1997	T	5	165	72	72	72	66	0	29	71	0	70	72
19	HPP VI	01/05/1997	04/05/1997	T	5	165	71	71	67	56	0	36	70	0	71	71
23 à 32	MELISSA I à X	25/01/2004	15/12/2004	T	3	200	12	12	12	12	0	11	12	12	0	8
46 & 47	PROPECHE I & II	24/03/2003	30/06/2003	T	3	250	20	20	30	32	0	29	27	32	0	28
52	SOPI	02/11/1997	14/09/2000	T	5	170	265	265	247	255	0	192	250	0	0	262
53	SOMLIT BANYULS	13/03/1997	06/09/2010	T	3	24	851	843	923	559	0	850	525	722	695	0
54	SOMLIT MARSEILLE	24/03/1994	13/12/2010	T	1	55	872	843	823	821	0	871	830	888	807	848
55	SOMLIT VILLE-FRANCHE	01/02/1997	23/11/2010	T	1	50	1 123	1 111	975	924	0	17	813	1 084	1 001	1 104

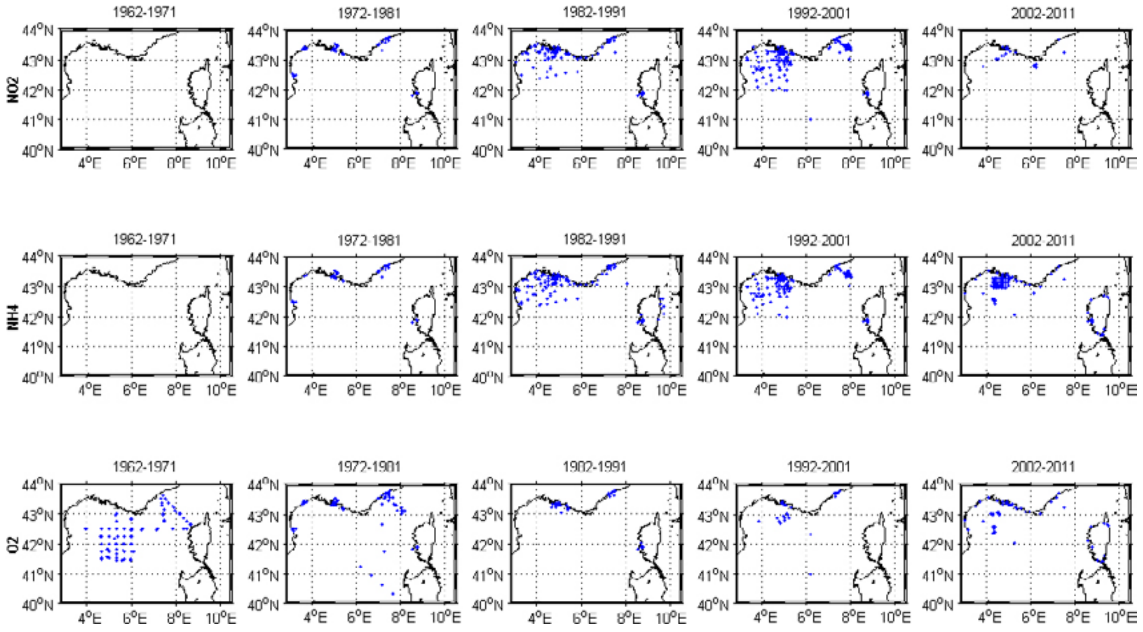
Annexe 2. Cartes des stations par sel nutritif sur la période 1962–2010
(Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



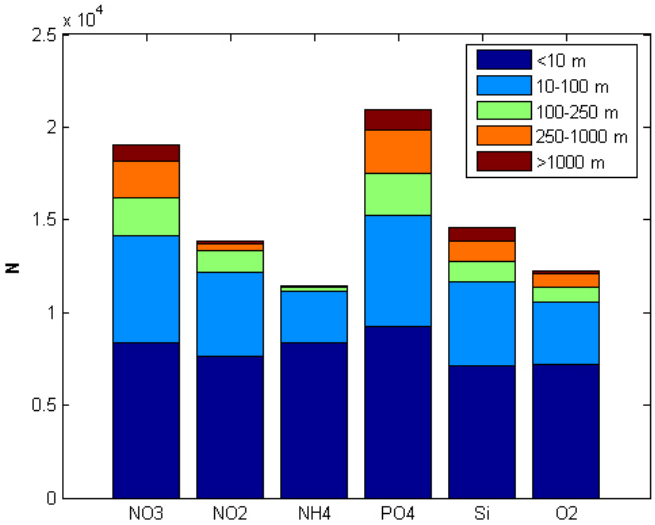
Annexe 3a. Cartes des stations par décade pour les nitrates (en haut), les phosphates (au milieu) et les silicates (en bas) (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



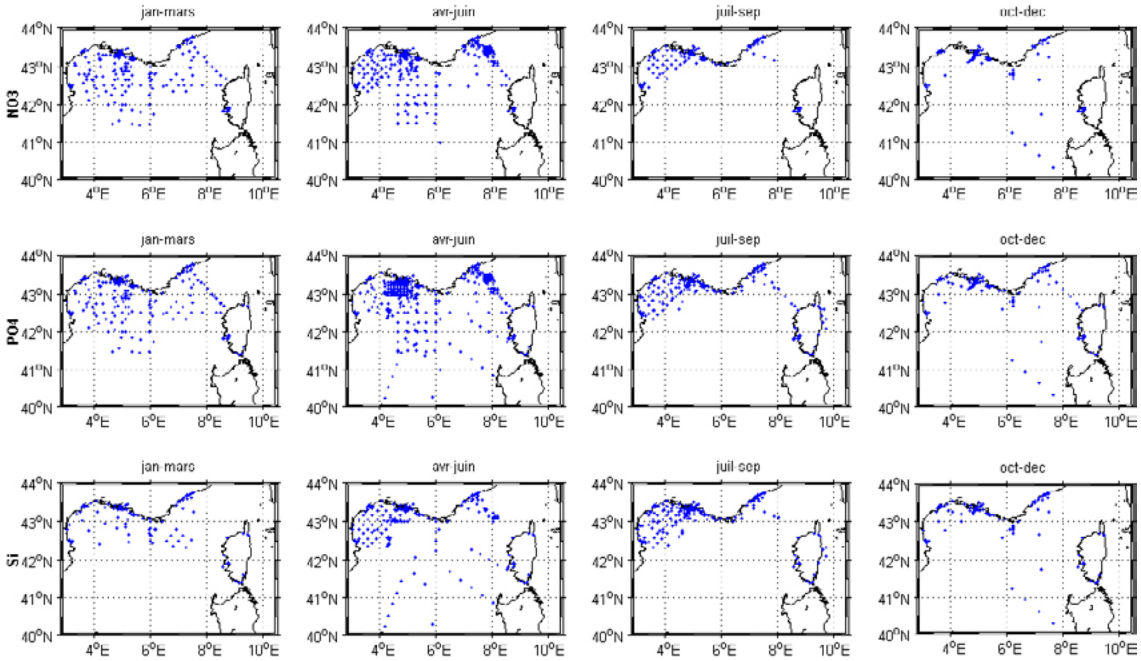
Annexe 3b. Cartes des stations par décade pour les nitrites (en haut), l'ammonium (au milieu) et l'oxygène (en bas) (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



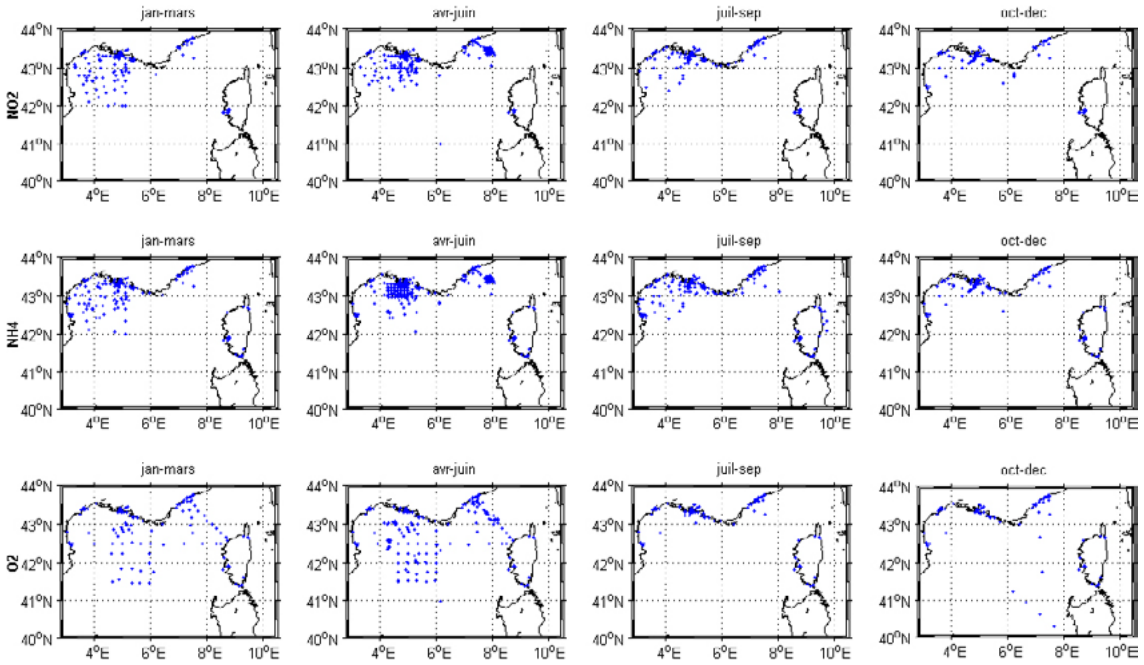
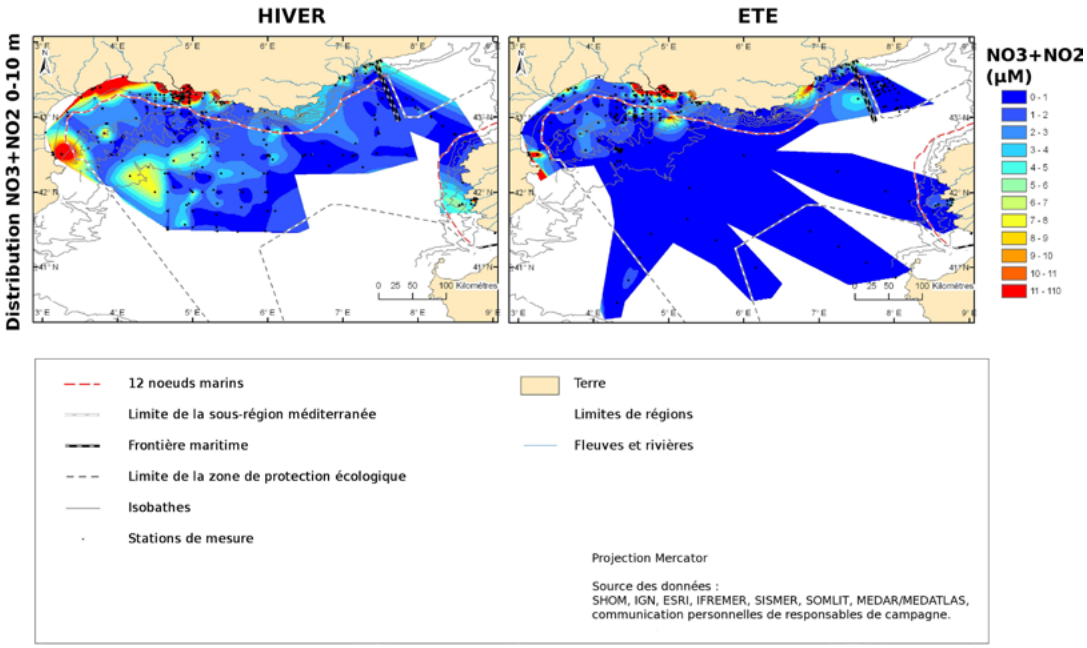
Annexe 4. Distribution des effectifs des données de sels nutritifs et d'oxygène, par couche bathymétrique (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



Annexe 5a. Cartes des stations par saison pour les nitrates (en haut), les phosphates (au milieu) et les silicates (en bas) (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



Annexe 5b. Cartes des stations par saison pour les nitrites (en haut), l'ammonium (au milieu) et l'oxygène (en bas) (Sources : Université Aix-Marseille, 2011).



Annexe 6. Cartes de distribution en surface (0–10 m) des teneurs en nitrates + nitrites (µmol·l^{-1}) en période d'homogénéisation (novembre à avril) et en période de stratification (mai à octobre). Les données proviennent des mesures effectuées entre 1962 et 2010 dans la sous-région marine. L'agrégation et l'interpolation ont été réalisées par la méthode des voisins naturels sous ArcMap (taille de cellule en sortie : 0,01 degré décimal) (Sources des données : SHOM, IGN, ESRI, Ifremer, Sismer, Somlit, MEDAR/MEDATLAS, communications personnelles de responsables de campagnes).