



**Programme des
Nations Unies
pour l'environnement**



UNEP(DEPI)/MED WG.350/3
22 juin 2010
FRANÇAIS
Original. ANGLAIS



PLAN D'ACTION POUR LA MÉDITERRANÉE

Deuxième réunion d'experts techniques sur l'application
par le PAM de l'approche écosystémique

Barcelone (Espagne), 6-7 juillet 2010

PROJET

**RAPPORT D'ÉVALUATION
Évaluation de la mer Méditerranée:
Exécution de l'étape 3 du processus d'approche écosystémique**

TABLE DES MATIÈRES

	Page
Note du Secrétariat	
Résumé à l'intention des décideurs	
I. Introduction	1
A. L'approche écosystémique et l'évaluation de la Méditerranée dans le cadre du Processus de l'approche écosystémique (APEC)	
B. Le milieu marin méditerranéen <i>Biodiversité de la région</i> <i>Diversité des habitats côtiers: sable et dunes</i> <i>Diversité des habitats côtiers: zones humides du littoral, estuaries et lagunes</i> <i>Zones marines littorales et néritiques</i> <i>Herbiers marins</i> <i>Communautés coralligènes</i> <i>Fôrets à Cystoseira</i> <i>Habitats d'encorbellements à lithophyllum, plateformes à vermétides, et autres habitats à fonds durs</i> <i>Autres habitats côtiers</i> <i>Grands fonds marins (eaux profondes)</i> <i>Systèmes pélagiques de la haute mer</i>	
C. Valeurs écosystémiques <i>Value of benefits provided by coastal and marine ecosystems</i> <i>UNEP/MAP-BP/RAC study</i>	
D. Menaces pesant sur les écosystèmes méditerranéens <i>Perte et dégradation des habitats côtiers</i> <i>Pêche</i> Tableau synoptique de la pêche méditerranéenne Surexploitation Captures accessoires et rejets à la mer Perturbations benthiques Pêche illégale et pêche dans les zones situées au delà des juridictions nationales Aquaculture/mariculture <i>Espèces introduites et invasives</i> <i>Pollution</i> Toxines Détritus et débris en mer Eutrophisation, proliférations algales et méduses <i>Propagation des agents pathogènes</i> <i>Changement climatique</i>	
II. Sous-région #1 Méditerranée occidentale	31
A. Caractéristiques physiques et chimiques <i>Bathymétrie</i> <i>Sédiments</i> <i>Circulation océanique</i> <i>Salinité et température</i>	
B. Caractérisation biologique	

C.	Pressions et impacts <i>Éléments nutritifs</i> <i>Immersion</i> <i>Surpêche</i>	
III.	Subregion #2 Central Mediterranean	51
A.	Physical and Chemical Characteristics <i>Bathymetric, hydrodynamic, and other features</i> <i>Nutrients and primary productivity</i> <i>Biological Characteristics</i> <i>Anthropogenic</i> <i>Impacts</i>	
IV.	Subregion #3 : Adriatic Sea	71
A.	Physical Characteristics	
1.	Bottom topography and bathymetry	
2.	Salinity, temperature and hydrodynamics	
3.	Nutrients <i>Biological Characteristics</i> <i>Pressures and Impacts</i> <i>Levels of hazardous substances in the marine environment: Trace metals</i>	
4.	Dumping	
5.	Nutrient Enrichment	
6.	Biological Disturbance <i>Most Threatened Areas in the Subregion</i> <i>Nutrient Enrichment</i> <i>Fishing and Other Impacts</i>	
V.	Subregion #4 Eastern Mediterranean	91
A.	Physical Characteristics	
1.	Bottom topography and bathymetry	
2.	Salinity, Temperature, Circulation, Currents	
3.	Nutrients	
B.	Biological Characteristics	
C.	Pressures and impacts	
1.	Contaminants <i>Trace metals</i> <i>Trace metals – biota</i> <i>Chlorinated pesticides in biota</i> <i>PCBs in biota</i> <i>Hazardous substances in higher biota</i> <i>a) Trace metals</i> <i>Chlorinated hydrocarbons</i>	
2.	Dumping	
3.	Nutrient enrichment and eutrophication	
4.	Fishing impacts	
5.	Biological Disturbance	
6.	Physical Disturbance, Coastal Development, and Litter	
VI.	Traits et problèmes communs, priorités	112
A.	Traits et problèmes communs aux conditions écosystémiques, menaces et forces motrices <i>Menaces communes, tendances similaires</i> <i>Priorités différentes dans les questions/pressions majeures</i> <i>Habitats de haute valeur</i>	

Nouveaux développements et questions émergentes
Lacunes dans les données et les connaissances
Inventaire des informations
La nécessité de la cartographie

- B. Implications des conditions du processus de planification de l'approche écosystémique
Accroître la faisabilité de l'approche écosystémique en fixant les priorités
Outils pour mener à bien les prochaines étapes de l'approche écosystémique
Justification d'un système de surveillance continue optimale en Méditerranée
Key Tasks to Support the Next Steps

Literature cited

ANNEX I

Note du Secrétariat¹

Le projet d'évaluation intégré a été établi par le Secrétariat avec l'assistance de Mme Tundi Agardy en sa qualité de consultante du PAM/PNUE. Le rapport se fonde sur les rapports sous-régionaux élaborés par les composantes respectives du PAM – MED POL, CAR/ASP et Plan Bleu (Mangos *et al.*, 2010) – ainsi que sur le complément d'information émanant du REMPEC et de sources publiées.

De nombreuses parties du texte sont issues des rapports sous-régionaux et du rapport général sur la biodiversité préparé par le PAM/PNUE-CAR/ASP. D'autres éléments ont été tirés du rapport du PAM/PNUE-CAR/PB ainsi que des rapports nationaux.

Ce rapport consolidé a été établi en application de la décision prise par la première réunion d'experts techniques sur l'application par le PAM de l'approche écosystémique, tenue à Rome les 8 et 9 avril 2010, qui stipulait que le rapport devait suivre la table des matières proposée et adoptée par la deuxième réunion des experts désignés par les gouvernements sur l'application par le PAM de l'approche écosystémique, tenue à Athènes les 9 et 10 juillet 2008.

Remerciements

Sera rédigé ultérieurement

¹ La présente traduction française du rapport d'évaluation, pour des raisons tenant au calendrier, est provisoire et limitée aux chapitres et passages essentiels pour permettre aux experts francophones de prendre pleinement part aux délibérations de Barcelone sur ce document. Le texte en sera revu, corrigé, complété et finalisé sur la base du rapport final anglais qui sera adopté après y avoir intégré les observations des participants. Pour la section C du chapitre I qui présente une synthèse du rapport du Plan Bleu "*Valeurs économiques des bénéfices soutenable provenant des écosystèmes marins Méditerranéens*", consulter le texte français in extenso de ce rapport qui figure dans le document de la réunion UNEP(DEPI) MED WG.350Inf. 4..

Résumé à l'intention des décideurs

**SERA ÉTABLI ULTÉRIEUREMENT UNE FOIS QUE LES OBSERVATIONS AURONT ÉTÉ
REÇUES ET QUE LE RAPPORT AURA ÉTÉ REMANIÉ**

I. Introduction

A. L'approche écosystémique et l'évaluation de la Méditerranée dans le cadre du processus de l'approche écosystémique (APEC)

1. À leur Quinzième réunion tenue en janvier 2008 (Almeria, Espagne), les Parties contractantes sont convenus d'engager le processus d'application d'une approche écosystémique en vue de gagner progressivement l'objectif d'"une Méditerranée saine, aux écosystèmes marins et côtiers productifs et biologiquement divers au profit des générations présentes et futures " (Décision IG 17/6).

2. Pour progresser sur la voie de l'approche écosystémique, les Parties contractantes ont énuméré trois buts stratégiques assignés aux zones marines et côtières de la Méditerranée (UNEP(DEPI) MED WG 326/3 Annexe 1, page 2):

- 1) protéger, permettre la remise en état et, si possible, restaurer la fonction et la structure des écosystèmes marins et côtiers – en protégeant ainsi la biodiversité marine – en vue d'obtenir et de perpétuer un bon état écologique permettant une utilisation durable ;
- 2) réduire la pollution du milieu marin et côtier pour qu'il n'y ait pas d'impacts ou de risques importants pour la santé humaine et la santé des écosystèmes et/ou les utilisations de la mer et des côtes ;
- 3) préserver, mettre en valeur et restaurer un équilibre entre activités humaines et ressources naturelles dans la mer et sur le littoral, et réduire la vulnérabilité de celles-ci aux risques.

3. Une feuille de route pour atteindre ces buts stratégiques a été examinée et adoptée; elle décline cinq autres étapes à franchir, en plus de la vision écologique pour la Méditerranée et des buts stratégiques ci-dessus, à savoir:

- a) Identification de propriétés importantes de l'écosystème et évaluation de l'état de l'environnement et des pressions exercées sur celui-ci;
- b) Élaboration d'un ensemble d'objectifs écologiques correspondent à la vision écologique et aux buts stratégiques;
- c) Établissement des objectifs opérationnels avec des indicateurs et des valeurs cibles;
- d) Révision des programmes de surveillance continue existants pour l'évaluation en cours et actualisation régulière des buts;
- e) Élaboration et examen de plans d'action et programmes pertinents.

4. La présente évaluation tire parti de quatre évaluations sous-régionales et examine les traits et problèmes communs ainsi que les questions d'un intérêt particulier pour les sous-régions. Cette méthodologie répond à une décision prise par les Parties contractantes de diviser la région méditerranéenne en quatre zones géographiques aux délimitations assez lâches – et cela aux seules fins d'analyse. Ces zones géographiques sont :

- Sous-région #1: **Méditerranée occidentale** (composée des côtes et des eaux méditerranéennes de l'Algérie, de la France, de l'Italie [mers Ligurienne et Tyrrhénienne], de Monaco, du Maroc et de l'Espagne)
- Sous-région #2: **Mer Ionienne et Méditerranée centrale** (composée des côtes et des eaux de la Grèce [mer Ionienne], de l'Italie [mer Ionienne], de la Libye, de Malte et de la Tunisie)
- Sous-région #3: **Adriatique** (composée des côtes et des eaux de l'Albanie, de la Bosnie-Herzégovine, de la Croatie, de l'Italie [mer Adriatique], du Monténégro et de la Slovénie)
- Sous-région #4: **Méditerranée orientale** (composée des côtes et des eaux méditerranéennes de Chypre, de l'Égypte, de la Grèce [mer Egée et mer de Crète], d'Israël, du Liban, de la Syrie et de la Turquie)

5. Les rapports sous-régionaux, qui ont formé la base des sections II à V de la présente évaluation offrent les meilleures informations disponibles sur les caractéristiques et la qualité environnementales, ainsi que sur les priorités des écosystèmes marins et côtiers au sein de ces sous-régions. La section qui expose les conclusions de l'évaluation (section VI) recense les traits et problèmes communs à l'ensemble des quatre sous-régions, propose des priorités concernant toute la Méditerranée sur la base de ces traits et problèmes communs, et examine succinctement les options qui se présentent pour les prochaines étapes du processus de l'approche écosystémique.

6. L'échelle de l'écosystème considéré est importante, de sorte que plus grandes sont les échelles géographiques et sectorielles et plus pressante se fait la nécessité d'une stratégie hiérarchique ou intégrée pour maintenir des liens entre les échelles. Dans le cas de la mer Méditerranée, la division en quatre sous-régions aux délimitations assez lâches n'a de sens qu'à des fins pratiques et opérationnelles, mais elle soulève aussi des questions : ces sous-régions sont-elles biologiquement ou écologiquement distinctes, que faire à propos des données peu concordantes dans l'ensemble des quatre sous-régions, et comment agréger les analyses en vue de parvenir à une approche écosystémique réellement efficace?

7. L'évaluation réalisée dans le but de progresser sur la voie d'une approche écosystémique n'est pas un processus à une seule étape, mais un processus itératif. Les futures évaluations pourraient utiliser des méthodologies qui déterminent les changements se produisant dans l'état des écosystèmes (ce que l'on appelle état environnemental ou écologique, et ce qui est spécialement mentionné dans l'UE comme 'BEE ou bon état écologique); impacts sur l'état des écosystèmes résultant des utilisations anthropiques directes et indirectes; valeur présente des services écosystémiques; tendances de la prestation de services écosystémiques; et efficacité de la gestion. En d'autres termes, pour savoir si une approche écosystémique est obtenue, il s'impose de compléter encore les connaissances de base sur les modalités de fonctionnement de l'écosystème, sur les valeurs qu'il fournit aux êtres humains, comment il est utilisé et subit des dommages, et quelles sont ses performances sous le régime de gestion existant. La section VI du rapport aborde ainsi l'examen des options concernant la surveillance et l'évaluation dans l'avenir, puisqu'il s'impose de conduire la gestion du milieu marin méditerranéen dans une direction à base écosystémique plus efficace et effective.

B. Le milieu marin méditerranéen

8. La Méditerranée comprend un ensemble vaste, riche et divers d'écosystèmes marins et côtiers. Vingt-deux pays sont les riverains de cette mer, en Europe, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord (voir figure 1 ci-dessous). Dans l'ensemble, la Méditerranée possède un plateau continental peu étendu, une frange littorale relativement étroite et des bassins hydrographiques plutôt peu étendus (à l'exception des grands bassins versants de la portion sud). Le Bassin a des profondeurs pouvant dépasser 4 000 mètres, et le canal de Sicile, profond de 400 m, sert à délimiter le bassin oriental du bassin occidental.

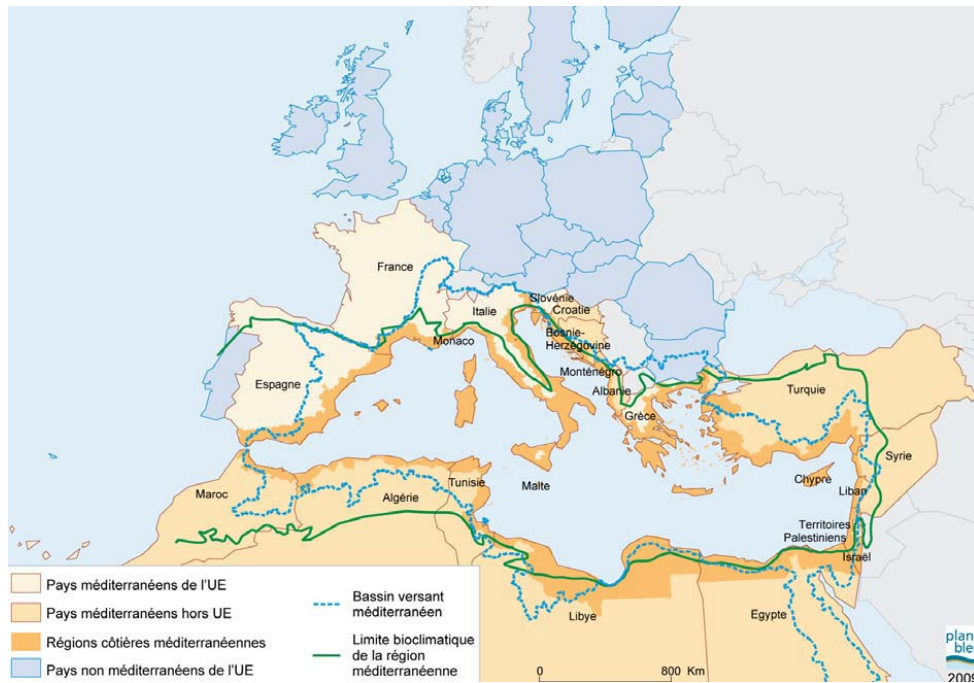


Figure 1.1. Pays riverains de mer Méditerranée, avec leurs zones côtières (couleur beige sombre) et les principaux bassins versants en lignes pointillées bleu (PAM/PNUE-CAR/PB, 2009)

9. La Méditerranée est oligotrophe, avec une teneur relativement faible en éléments nutritifs, une productivité primaire basse, et une biomasse phytoplanctonique réduite – caractéristiques qui contribuent à la limpidité de ses eaux et à ce que la lumière y pénètre. ce qui a conféré à cette mer un grand attrait esthétique pour l'homme. Cependant, il existe des régions à la productivité relativement élevée due à des systèmes frontaux ou à des phénomènes de remontée d'eau (upwelling) ou à l'apport d'éléments nutritifs par les réseaux fluviaux.

10. Une vaste cellule thermohaline englobe l'ensemble de la Méditerranée et résulte principalement du déficit en eau et du flux de chaleur, forcé par les échanges qui s'effectuent par le détroit de Gibraltar. La formation et l'étalement des eaux intermédiaires, associés à l'apport d'eaux de l'Atlantique par le détroit de Gibraltar, contribuent à la circulation thermohaline. Outre la circulation thermohaline principale, plusieurs particularités locales caractérisent la circulation méditerranéenne, tels que les gyres et les fronts. Les eaux de l'Atlantique sont présentes presque partout dans le bassin. Elles forment deux gyres anticycloniques en mer d'Alboran, restreintes par la bathymétrie, et qui bifurquent autour de l'île de la Sardaigne en deux branches différentes, l'une en mer Tyrrhénienne à l'origine de la circulation cyclonique à grande échelle se produisant dans le nord-ouest de la Méditerranée, l'autre branche traverse le canal de Sicile et pénètre en mer Ionienne. Les eaux de la mer Tyrrhénienne produisent une vaste circulation cyclonique à l'ouest de la Méditerranée, avec la gyre centrale située entre les îles Baléares et la Sardaigne étant la région de convection des eaux profondes. La figure 1. 2 indique les principaux courants, et la figure 1.3 met en évidence les fronts permanents associés à la circulation thermohaline régionale.

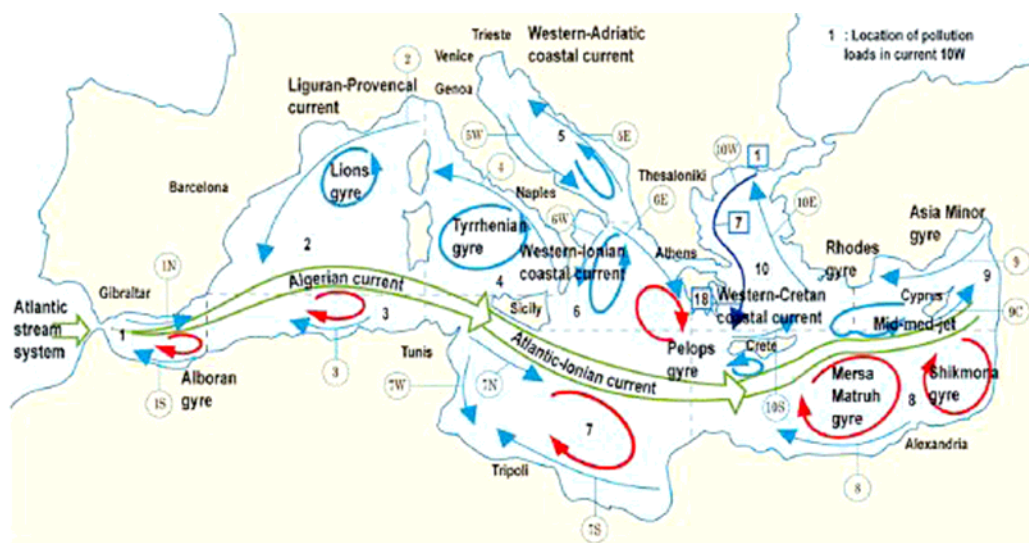


Figure 1.2. Les principales zones de la mer Méditerranée et les 18 courants côtiers (reproduit d'après Stamou et Kamizoulis, 2009)

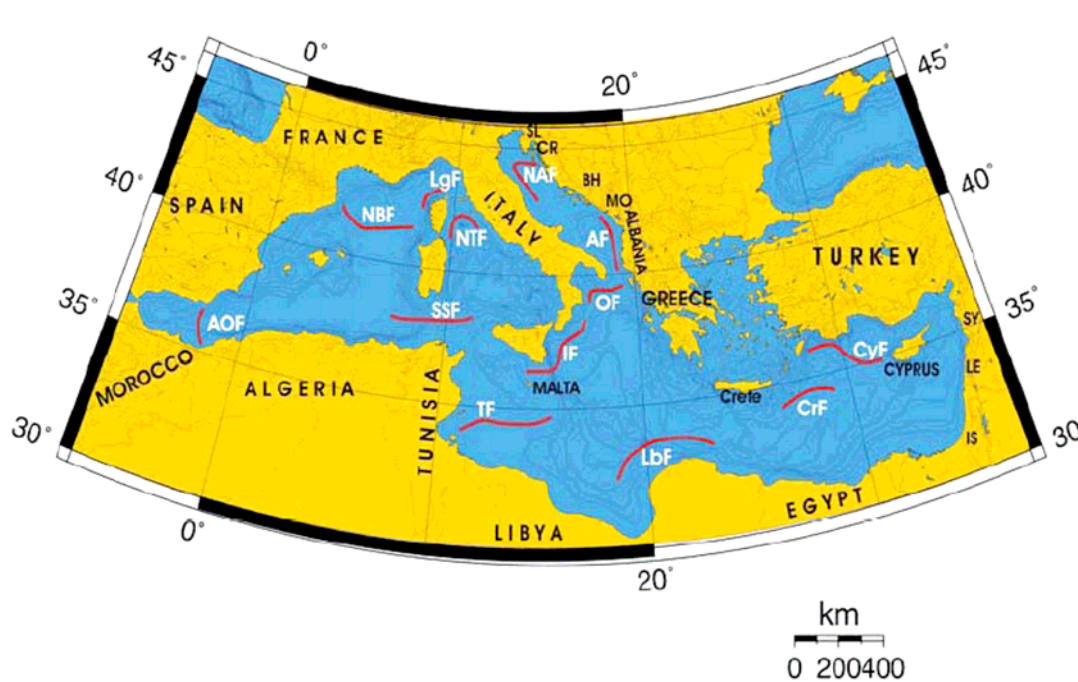


Figure 1.3: les fronts en mer Méditerranée (source: Belkin *et al.*, 2008, *in* Sea Around Us, 2009).
 AF=Front albanais; AOF=Front d'Almeria-Oran; CrF= Front de Crète; CvF= Front de Chypre;
 LbF= Front libyen; LgF=Front ligurien; NAF=Front de l'Adriatique Nord; NBF=Front des
 Baléares Nord; NTF=Front de la Tyrrhénienne Nord; OF=Front d'Otrante ; SSF= Front de
 Sardaigne-Sicile; TF=Front tunisien;
 Pays : BH=Bosnie-Herzégovine;CR=Croatie; IS=Israël; LE=Liban; MO=Monténégro,
 SL=Slovénie; SY=Syrie

Biodiversité de la région

11. La mer Méditerranée, probablement du fait des nombreux centres de recherche marine qu'elle abrite, est l'une des mers les plus étudiées du monde. Les estimations les plus récentes d'espèces marines méditerranéennes, tirées de compilations de travaux antérieurs, font état de 10 000-12 000 espèces (environ 8 500 espèces de faune macroscopique, plus de 1 300 espèces végétales et

environ 2 500 autres groupes taxonomiques (Zenetos *et al.*, 2002; UNEPMAP- RAC/SPA, 2003; Boudouresque, 2004; Bianchi, 2007; Briand & Giuliano, 2007; Boero, 2007; UNEP/MAP-Blue Plan, 2009). Ces chiffres correspondent à 4-18% (en fonction du groupe taxonomique) des espèces marines connues dans le monde. Avec environ 0,82% et 0,32% de la superficie et du volume, respectivement, de l'océan mondial (Bianchi & Morri, 2000), la mer Méditerranée constitue l'un des 25 foyers de biodiversité qui sont reconnus à l'échelle planétaire (Meyers *et al.*, 2000) (Fig. 3). Cela est également vrai pour le domaine continental du Bassin méditerranéen, lequel, bien que représentant seulement 1,6% de la superficie des continents, abrite 10% de la biodiversité mondiale.

12. Les points chauds de biodiversité se caractérisent à la fois par des taux d'endémisme exceptionnellement élevés et par des niveaux critiques de perte d'habitats, et c'est par conséquent sur ces points que se concentrent avant tout les efforts de conservation. Un endémisme élevé se rapportant aux espèces qui vivent seulement en Méditerranée est un autre trait marquant de la biodiversité marine de la région. Les taux d'endémisme en Méditerranée sont supérieurs à ceux de l'Atlantique (Bianchi & Morri, 2000). Au plan biogéographique, les biotes méditerranéens comprennent 55-77% d'espèces atlantiques (présentes en Atlantique et en Méditerranée), 3-10% d'espèces pantropicales (espèces provenant des mers chaudes du globe), 5% d'espèces lessepsiennes (espèces provenant de la mer Rouge qui ont pénétré en Méditerranée par le canal de Suez) et entre 20 et 30% d'espèces endémiques. Ce taux d'endémisme, relativement élevé par rapport à d'autres mers et océans, varie selon le groupe taxonomique. Il est de 18% pour les crustacés décapodes, 27% pour les hydres, 40% pour les rhodobiontes (végétaux), 46% pour les éponges, 50% pour les ascidiens, 90% pour les oiseaux marins nidificateurs (métazoaires) (Zenetos *et al.*, 2002; Boudouresque, 2009). Ce sont essentiellement des espèces néoendémiques comme celles du genre *Cystoseira* (chromobiontes, stramenopiles) avec plus de trente espèces connues en Méditerranée, 20 d'entre elles endémiques, et dans une moindre mesure, des espèces paléoendémiques comme celles du genre *Rodriguezella* (rhodobiontes, végétaux), le corail rouge *Corallium rubrum* (métazoaires, opisthochontes) et les herbiers à *Posidonia oceanica*.

13. Cette diversité biologique élevée peut être liée aux caractéristiques géomorphologiques et hydrographiques du Bassin méditerranéen, à son histoire géologique et à sa position d'interface entre les biomes tempéré et tropical qui permet d'accueillir des espèces à affinité pour le froid comme pour le chaud (UNEP/MAP-Blue Plan, 2009).

14. La flore et la faune de la mer Méditerranée sont différemment réparties entre ses divers bassins: 87% des formes de vie connues en Méditerranée sont présentes en Méditerranée occidentale, 49% en Adriatique et 43% en Méditerranée orientale. Cependant, de nombreuses espèces sont présentes dans deux ou trois bassins (Boudouresque, 2009). De même, les espèces endémiques sont plus nombreuses en Méditerranée occidentale.

15. L'on estime qu'il existe environ 5 942 espèces d'invertébrés benthiques en Méditerranée (622 éponges, 420 cnidaires, environ 500 bryozoaires, 1000 annélides, 2 000 mollusques, 154 échinodermes, 6 échiuriens, 3 priapulides, 33 siponcles, 15 brachiopodes, 1 pogonophore, 4 phonorides, 5 hemichordates et environ 1 935 arthropodes) (Zenetos *et al.*, 2002, 2003). Les distributions différentes de ces taxons sur le pourtour méditerranéen révèlent un gradient qui décroît d'ouest en est (Zenetos *et al.*, 2003) (Fig. 6). La macrofaune méditerranéenne comprend plus de 600 poissons (dont 81 chondrichthyens et 532 osteichthyens), trois espèces de reptiles, environ 33 espèces d'oiseaux nidificateurs, et 22 espèces de mammifères marins.

Diversité des habitats côtiers: sable et dunes

16. Les dunes de sable et les zones humides du littoral abritent une grande variété d'espèces. Les dunes jouent un rôle majeur en préservant les plages et en protégeant les forêts, les communautés biologiques et les installations situées derrière elles. Diverses sortes de dune existent en Méditerranée: blanches, grises, etc. Le déclin des dunes méditerranéennes n'a cessé de s'aggraver depuis les années 1900 et les pertes qu'elles ont enregistrées sont estimées à plus de 70%. Un petit nombre de dunes subsistent, intactes, autour de la Méditerranée. Les dunes sont des habitats exclusifs de nombreuses espèces animales (gastéropodes, arthropodes, reptiles, etc.) et végétales. Ce sont des écosystèmes abritant une flore endémique considérable. Un tiers de la flore des dunes est endémique à la Méditerranée. La végétation indigène des dunes de la région est menacée par l'invasion d'espèces exotiques, comme *Ammophila arenaria*, introduite pour stabiliser les

dunes. Les aménagements apportés aux dunes, en particulier pour développer le tourisme balnéaire, constituent une menace indéniable pour ces formations dans de nombreux pays du pourtour de la Méditerranée.

Diversité des habitats côtiers: zones humides du littoral, estuaires et lagunes

17. Les zones humides du littoral, en particulier les lagunes, les estuaires et les deltas, ont des caractéristiques physiques, économiques et sociales qui leur sont communes, quelle que soit la zone côtière concernée. Ce sont des écosystèmes extrêmement dynamiques et à forte productivité. Ces eaux de transition se caractérisent habituellement par une faible biodiversité, et elles contiennent certaines espèces qui sont bien adaptées aux variations amples et agressantes de l'état environnemental (Elliott & Quintino, 2007). Ces zones aquatiques de transition rendent d'importants services (elles combattent les inondations, stabilisent les rivages, conservent les sédiments et les éléments nutritifs, réduisent localement le changement climatique, préservent la qualité de l'eau, la biodiversité, sont des réserves de biomasse, offrent une valeur culturelle, récréative et touristique (Levin *et al.*, 2001). Leur valeur économique potentielle dépasse 22 000 dollars/hectare-1/an⁻¹ (Constanza *et al.*, 1997). En Méditerranée, les plus importantes zones humides se situent dans les zones deltaïques comme celles des fleuves Pô (Italie), Nil (Égypte), Rhône (France) et Èbre (Espagne). De faibles marées associées à des courants peu rapides ont favorisé l'établissement de systèmes lagunaires (Britton & Crivelli, 1993; Ibanez *et al.*, 2000; De Stefano, 2004).

18. Les estuaires et les lagunes côtières de Méditerranées offrent une grande diversité d'habitats pour de nombreuses espèces. Ils font office de nourriceries et de sites d'alimentation pour de nombreux poissons du littoral. Ces milieux abritent une biodiversité élevée. Plus de 621 espèces macrophytes et 199 espèce de poisson sont présentes dans les lagunes de l'Atlantique et de la Méditerranée (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2010a). En Méditerranée, il existe plus de 50 lagunes sur lesquelles on dispose de données hydrologiques et écologiques dans la littérature scientifique (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2010b), mais ce ne sont là que les lacunes les plus notoires (Fig. 4). En Grèce, il existe au moins 40 lagune consacrées à la pisciculture (Schmidt & Spagnolo, 1985). Sabetta *et al.* (2007) recensent 26 lagunes en Italie seulement, à l'exclusion de la Sardaigne.

19. La variabilité entre les lagunes méditerranéennes en termes de biodiversité (nombre d'espèces) et de processus écologiques est fonction de la taille des lagunes, de leur degré de communication avec la mer et de l'état trophique de la colonne d'eau (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2007). Au sein de chaque lagune, les formations benthiques ne sont pas homogènes et présentent des différences qui dépendent du type de substrat et du zonage vertical, comme dans toutes les communautés marines. L'organisation spatiale des communautés, la richesse en espèces, la productivité phytoplanctonique et benthique, et la biomasse algale dépendent du gradient de confinement par rapport à la distance de communication avec la mer et du taux de renouvellement des eaux ou de degré de colonisation au sein de chaque site (Guelorget et Perthuisot, 1983; Mariani, 2010; Pérez-Ruzafa & Marcos, 1992, 1993). Cependant, le confinement n'est pas le principal facteur qui conditionne la répartition des espèces végétales, ce qui autorise à penser que les gradients verticaux des variables environnementales, le type de substrat, le rayonnement, l'hydrodynamique et le stress dû aux fluctuations des paramètres environnementaux sont plus importants dans la structuration des formations algales que le taux de dispersion liée à la colonisation et au confinement (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2008). Les lagunes côtières méditerranéennes sont réputées pour leur richesse en sels nutritifs. La production primaire est bien plus élevée que dans la mer. Les vertébrés benthiques présentent des densités relativement faibles dans les biocénoses lagunaires eurythermes et euryhalines (lagunes d'une profondeur inférieure à 3 m) mais d'une plus grande richesse en espèces dans les communautés benthiques plus profondes qui se constituent sur le sable vaseux dans des conditions calmes.

20. Très peu de poissons résident dans les lagunes méditerranéennes, autrement dit y passent leur cycle de vie complet. Le mullet, l'anguille, le poisson géant, la daurade royale, la sardine, le sar à tête noire, la bogue, la saupe et la sole sont des espèces migratoires communes aux lagunes, alors que l'oblade, le rouget, le surmulet, le maquereau, le chinchard commun, l'anchois, le grondin et le rouget grondin sont à l'occasion des espèces migrantes. Le siphonostome, le syngnathe, l'hippocampe, le labre vert pastel, la gobie, la blennie paon et le grunion sont des espèces résidentes communes.

21. La biomasse macroalgale des milieux lagunaires est généralement élevée. Une avifaune riche et variée utilise ces écosystèmes comme sites de halte ou d'hivernage car elle y trouve des conditions écologiques favorables. De nombreuses lagunes côtières figurent désormais sur la liste de la Convention de Ramsar comme sites d'importance mondiale pour les oiseaux.



Figure 1.4: Principales lagunes côtières du Bassin méditerranéen en rapport avec la disponibilité de données hydrologiques, géomorphologiques et écologiques dans la littérature scientifique (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2010b)

Zones marines littorales et néritiques

22. Dans les eaux côtières, la distribution de la faune et de la flore méditerranéennes diffère grandement selon la distance à la côte, la longitude et la profondeur. La biodiversité marine est, pour l'essentiel, concentrée dans la zone littorale (entre 0 et 50 m), qui contient environ 90% des espèces végétales connues et 75% des espèces de poisson de la Méditerranée. La flore photosynthétique disparaît entre 50 et 200 m de profondeur (selon la région et la transparence de l'eau).

23. L'élément phytoplanctonique demeure peu étudié dans de nombreux pays méditerranéens. La production primaire est en moyenne trois fois plus faible dans le bassin oriental que dans le bassin occidental (Tutley 1999 *in* Zenetos *et al.*, 2002) (Fig. 5). Dans la zone euphotique, la production primaire est de 40, 78 et 155 m/m² dans les bassins oriental, central et occidental, respectivement. Une faible production primaire, associée à un faible développement des niveaux supérieurs du réseau trophique, y compris une faible production de poisson, sont les principaux éléments qui caractérisent la Méditerranée. Quelque 470 espèces de zooplancton ont été répertoriées en Méditerranée (eaux côtières et du large). L'accroissement de l'oligotrophie d'ouest en est de la Méditerranée se reflète dans l'abondance de la biomasse zooplanctonique.

24. Les systèmes benthiques côtiers sont mieux étudiés. Le plateau continental de la Méditerranée possède des habitats benthiques importants et riches. Dans cadre des outils élaborés par le Centre d'activités régionales pour les aires spécialement protégées (PAM/PNUE-CAR/ASP), une liste de référence des 27 principaux types d'habitats benthiques a été dressée pour aider les pays méditerranéens à établir des inventaires de sites naturels d'intérêt pour la conservation (PAM/PNUE-CAR/ASP, 2002). Le PAS BIO a consigné parmi ses actions prioritaires la réalisation d'un inventaire complet, intégral de ses habitats méditerranéens, et notamment la cartographie de leur distribution spatiale, avec la cohorte d'espèces associée à chaque habitat.

25. La macroflore marine méditerranéenne est estimée à environ 1 000 espèces macroscopiques, dont cinq sont des phanérogames marines. Elle se répartit généralement dans les zones peu profondes qui constituent moins de 10% de la superficie de la Méditerranée. Près du rivage, il y a des encorbellements de *Lithophyllum byssoides* (par ex. *L. Lichenoides*) à l'étage médiolittoral, les herbiers à *Posidonia oceanica* et les forêts à fucales (biocénoses à *Cystoseira*) à l'étage infralittoral, et le coralligène à l'étage circalittoral (Zenetos *et al.*, 2002; Boudouresque, 2004). D'autres habitats comprennent les plateformes à vermétides et les concrétions de *Neogoniolithon brassica-florida* (Boudouresque, 2004) (voir ci-dessous).

herbiers marins

26. Les herbiers à *Posidonia oceanica* sont considérés comme l'un des importants écosystèmes de la mer Méditerranée. Les herbiers les plus étendues sont ceux du golfe de Gabès (Tunisie), des baies d'Hyères et de Giens (France), la côte est de la Corse, et la côte ouest de la Sardaigne et de la Sicile (Boudouresque, 2004). Les herbiers sont présents sur la plupart des rivages de la Méditerranée (à l'exception d'Israël, de la Palestine et peut-être du Liban). Les rapports nationaux donnent à penser que les posidonies existent en Albanie (essentiellement dans la baie de Vlorë sur l'Adriatique) (Dedans, 2010); en Algérie, [El Tarif (El Kalam), Annaba (Cap de Garde), Jijel (Kabyle Banks, Ahana), Thizy Ouzo (Sidi Slice, District de Tigrone), Boumer dës, Alger (Sidi Frege, Ain Banian, Raïs Ha Midou, Ras Matifou), Tipaza (Kef El Haouz, Crique de Mostaganem), Kef El Avoua, Kef El Aser, Kef DOumer, Kef Boug Ghetto, Ras fouillis (Sidi Abdelkader, Kef Kharbin), Oran (Baie des Andalouses), Té mouchent (Rachat), Tlemcen (Ras crique de Tara, baie de Humaine, Iouri Damas, île Ronde, crique de Sidi Madani Couve)] (Grimes, 2010); en Égypte, où les herbiers à *Posidonia* semblent plus épais dans la partie ouest du pays par rapport à ceux d'Alexandrie (Halimi, 2010); en mer Égée et en mer Ionienne, où ils semblent très courants (Zenetos *et al.*, 2010a); en Libye (baie de Bamabah, Farwa, Ain Elghazala et El-Bardyia, baie d'Al Elghazalaha) (Shakhman, 2010); et au Maroc, près des îles Chafarin (Bazairi, 2010). En Syrie, la posidonie a probablement disparu, mais l'on estime que quelques herbiers peu importants y existent encore (Ibrahim, 2010).

27. Les herbiers de *Cymodocea nodosa* sont les herbiers venant au second rang après *Posidonia* pour l'importance en Méditerranée. Sans être vraiment endémique à la Méditerranée, l'espèce vit aussi dans l'Atlantique, du Maroc au Sénégal. Elle a été signalée dans le cadre du processus de l'approche écosystémique en Albanie (Kasmil, baie de Saranda et baie de Vlorës) (Dedej, 2010); en Algérie (Grimes, 2010); en Bosnie-Herzégovine (baie de Neum-Klek mais dans une zone restreinte) (Vučijak, 2010); dans les mers Égée et Ionienne, où elle se retrouve largement sur les substrats meubles (Zenetos *et al.*, 2010a et b); en Libye (baie d'Al Elghazalaha) (Shakhman, 2010); en Slovénie (Lipej & Mavrič, 2010); en Syrie (zone d'Ibn Hani, site d'Oum Altiur) (Ibrahim, 2010); et en Tunisie (Romdhane, 2010).

28. Il existe aussi en Méditerranée des herbiers marins à *Zostera marina*. C'est une espèce qui est répandue dans tout l'hémisphère Nord mais qui est rare, ne poussant que très localement, en Méditerranée (principalement en Méditerranée Nord-Ouest, en Adriatique et en mer Égée). Elle a été signalée en Algérie (Bou Ismail (Grimes, 2010); au Maroc, dans la lagune de Nador (Bazairi, 2010) et en Bosnie-Herzégovine (Vučijak, 2010). En outre, les herbiers à *Zostera noltii* - répandus dans tout l'Atlantique Nord (de la Suède à la Mauritanie) - sont plus rares et localisés en Méditerranée (Méditerranée occidentale, Adriatique, Grèce et Égypte). Cet herbier a été signalé en Algérie sur la côte de Mostaganem (Santa & Simonet, 1961); au Maroc dans les lagunes de Smir et Nador (Bazairi, 2010); en Syrie (Ibrahim, 2010); et en Bosnie-Herzégovine (Vučijak, 2010). Enfin, les herbiers à *Halophila stipulacea* se rencontrent, mais sur des aires circonscrites. On les relève aussi en Grèce (Zenetos *et al.*, 2010a et b); en Syrie (Ibrahim, 2010); et en Tunisie, dans le golfe de Gabès (Romdhane, 2010), de même que dans le port de Palinuro (Salerno, mer Tyrrhénienne, Italie centrale).

29. Pris dans leur ensemble, ces habitats d'herbiers figurent parmi les écosystèmes les plus productifs du milieu marin. Leur valeur économique est estimée à plus de 15 000 euros par hectare, autrement dit cent fois supérieure à celle de leurs équivalents terrestres (PAM/PNUE-CAR/PB, 2009). Les cinq espèces de phanérogame marine évoquées ci-dessus (*Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* et *Zostera noltii*) forment de vastes prairies sous-marines à une profondeur de 0 à 50 m en haute mer et dans les lagunes. D'une manière générale, les

données disponibles sur ces habitats sont très hétérogènes, voire absentes dans certains pays. Les efforts faits pour cartographier ces habitats l'ont surtout été dans le bassin nord-ouest.

Communautés coralligènes

30. Les communautés coralligènes - constructions biogéniques constituées d'organismes formant du carbonate de calcium, viennent au deuxième rang, pour l'importance, parmi les points chauds de la biodiversité spécifique en Méditerranée (Boudouresque, 2004). Très récemment, les habitats et bioconcrétions coralligènes (populations précoraligènes, coralligène en plateau, associations à faciès rhodopsines – maërl, association à faciès rhodopsines – *pralines*, association à faciès rhodopsines – *Lithothamnium minerve*, association à faciès *Peyssonnelia rosa-marina* - Peyssonneliacées libres et gros faciès à bryozoaires des fonds détritiques côtiers) ont fait l'objet d'une récapitulation régionale dont le but consiste à établir l'état actuel des connaissances et à cartographier la répartition géographique de ces habitats à l'échelle de la Méditerranée (UNEP-MAP RAC/SPA, 2009c). Les données disponibles mettent en évidence le fait que ces habitats sont les mieux étudiés en Méditerranée occidentale et, dans une moindre mesure, en mer Ionienne; il n'existe que peu de données dans l'Adriatique, en mer Égée et en mer du Levant. Bien que ces habitats soient représentés assez largement en Méditerranée, les données sur les communautés coralligènes sont généralement qualitatives et les habitats n'ont été cartographiés que dans le bassin occidental. Les communautés coralligènes ont été relevées en Tunisie (de El Haouaria à La Chebba) (Romdhane, 2010); en Israël (nord de la baie de Haifa (Galil, 2010)); en Algérie sur de nombreuses sections du littoral algérien, mais principalement à El Kala, Taza, Gouraya, Habibas, Rachgoun, Mostaganem (Grimes, 2010); dans la Principauté de Monaco, essentiellement à la réserve de Tombant des Spélugues (15-40 m) et les rochers de Saint-Nicolas (50-70 m au large du port de Fontvieille) et au delà dans les eaux peu profondes de Saint Martin (50-70 m) (Pérez *et al.*, 2010); et au Maroc (Sebta, Ben Younech, Cabo Negro, Jebha, Parc national d'Al Hoceima, Cap des Trois Fourches, îles Chafarin) (Bazairi, 2010).

Forêts à *Cystoseira*

31. Les forêts à macroalgues du genre *Cystoseira* peuvent occuper de vastes superficies des écosystèmes marins, où ils forment des communautés extrêmement productives à la biodiversité remarquable. Les espèces du genre *Cystoseira* sont dans un processus de spéciation qui a conduit à de nombreuses variétés au sein d'une seule et même espèce. En outre, ces algues présentent une importante variabilité morphologique. De remarquables forêts de *Cystoseira* ont été signalées au cap Mitjá et au cap d'en Roig (Costa Brava, Espagne: *C. mediterranea*), à Harri Bolas (Vizcaya, Espagne: *C. baccatta* et *C. tamariscifolia*); à Tuzla-Vama (Roumanie: *C. barbata*); en mer Noire (*C. crinite*); au parc national de Port-Cros (France: *C. zosteroides*); à Porto Cesareo (mer Ionienne, Italie: *C. amentacea*, *C. barbata* et *C. compressa*); à l'île d'Alboran (Espagne: *C. amentacea*, *C. tamariscifolia*, *C. mauritanica*, *C. foeniculacea*, ou *C. usneoides*); à l'île Verte (Bouches du Rhône, France: *C. foeniculacea* et *C. sauvageauana*); dans le golfe d'Eubée (Grèce: *C. amentacea*); dans la baie de Biscay (Espagne: *C. baccatta*, *C. humilis*, *C. tamariscifolia* et *C. usneoides*); à Torre del Serpe (Apulie, Italie: *C. squarrosa*); en Corse (France: *C. spinosa*, *C. amentacea* et *Sargassum vulgare*); à l'île Linosa (Sicile, Italie: *Cystoseira brachycarpa*, *C. sauvageauana*, *C. spinosa*, *C. zosteroides*, *Sargassum acinarium* et *S. trichocarpum*); dans la baie de Ramla (Gozo, Malte: *Sargassum vulgare*). Des rapports nationaux confirment la présence de ces habitats en Albanie (Dedej, 2010); en Bosnie-Herzégovine (Vučijak, B., 2010); au Maroc (Bazairi, 2010); dans les mers Égée et Ionienne (Zenetos *et al.*, 2010a et b); en Algérie (Grimes, 2010); et Tunisie (Romdhane, 2010).

Habitats d'encorbellements à *Lithophyllum*, plateformes à vermétides, et autres habitats à fonds durs

32. Les habitats à encorbellements de *Lithophyllum* sont courants dans les parties centrale et nord de la Méditerranée occidentale et dans la mer Adriatique. Les encorbellements sont rares dans la partie sud de la Méditerranée occidentale et dans la Méditerranée orientale (Boudouresque, 2004). Les encorbellements les plus spectaculaires sont ceux du Grand Langoustier et de Porquerolles (France), ainsi que de Punta Palazzu (réserve de Scandola, Corse), où ils peuvent atteindre une largeur de deux mètres (Boudouresque, 1996). Cet habitat a été relevé en Espagne (îles Medes), en Italie (Sicile), en Adriatique (île Pelagosa) et en Yougoslavie (UNEP/IUCN/GIS Posidonie, 1990). Ils sont présents en Tunisie (Sidi Mechreg, aux îlots Lakhouet, Bizerte) (Romdhane, 2010); en Albanie

(notamment à la zone nord-ouest et à la zone médiane de l'Adriatique) (Dedej, 2010); à la Principauté de Monaco (Pérès *et al.*, 2010); et au Maroc (Parc national d'Al Hoceima, cirque de Jebha et cap des Trois Fourches) (Bazairi, 2010).

33. Les plateformes à vermétides sont, pour l'essentiel, constituées de l'association de *dropoma petraeum* (gastéropode) et de l'algue coralline à encroûtements *Neogoniolithon brassica-florida*. Les plateformes à vermétides sont habituellement des formations qui sont typiques des points chauds de la Méditerranée. Les mieux développées se rencontrent en Sicile, en Algérie, en Tunisie, en Crète, au Liban et en Israël. Elles sont aussi présentes dans la partie méridionale de l'Espagne et de l'Italie (Boudouresque, 2004). Dans le cadre du processus de l'approche écosystémique, ces habitats ont été décrits en Tunisie (Sidi Mechreg, îlots Lakhouet, Bizerte) (Romdhane, 2010); en Algérie, où elles présentent une distribution discontinue sur toutes côtes rocheuses basses du littoral algérien (région de Cherchell-Ténès, particulièrement dans le secteur de Cherchell-Hadjaret Ennous, Sidi Ghiles et la crique de Sefah, en particulier entre Sidi Ghiles et Hadjaret Ennous) (Grimes, 2010); en Israël (Galil, 2010); en Syrie (partie nord de la côte syrienne, de Lattaquié à la frontière avec la Turquie) (Ibrahim, 2010); au Maroc (îles Chafarin, Sebta) (Bazairi, 2010).

34. Les fonds durs formés par *Neogoniolithon brassica-florida* sont connus d'après la lagune hypersaline de Bahiret-el-Bibane au sud de la Tunisie (où, à 31km, il n'y a pas d'exemple pareil ailleurs en Méditerranée). D'autres récifs plus localisés, moins spectaculaires que ceux de Tunisie sont mentionnés en Méditerranée orientale, par ex. en Grèce et en Turquie. Les seules données des rapports nationaux sur l'approche écosystémique concernant l'Albanie (de Karaburun à Porto Palermo) (Dedej, 2010).

Autres habitats côtiers

35. Outre ces habitats relativement bien étudiés, les connaissances disponibles sur d'autres sortes d'habitats sont extrêmement fragmentaires dans le Bassin méditerranéen (PAM/PNUE-CAR/PB, 2009). Dans le contexte du processus de l'approche écosystémique, les rapports nationaux ont présenté les informations complémentaires suivantes :

36. À l'étage supralittoral, les biocénoses à phanérogames rejetées sur le rivage, répandues dans toute la Méditerranée, ont été signalées en Grèce (Zenotos *et al.*, 2010a et b); au Maroc entre le cap des Trois Fourches et le cap de l'Eau (Bazairi, 2010); et en Tunisie. À l'étage médiolittoral, le faciès à *Pollicipes cornucopiae* est un habitat qui est très rare en Méditerranée. L'espèce caractéristique *Pollicipes cornucopiae* préfère les substrats rocheux bien exposés. Elle a été mentionnée au Maroc, au cap des Trois Fourches, au Parc national d'Al Hoceima et au cirque de Jebha (Bazairi, 2010); et en Algérie. L'association à *Fucus virsoides*, une espèce emblématique de la mer Adriatique, a été repérée dans l'estuaire de Vigo (Espagne), le golfe de Trieste (Italie) et la lagune de Venise, où elle est devenue particulièrement abondante. Dans le cadre de l'approche écosystémique, cet habitat a été relevé en Slovénie (Lipej & Mavrič, 2010). Des fonds de maërl sont responsables d'une grande partie des sédiments biogéniques de la zone côtière. Ils ont été signalés en Espagne (aux Baléares, Fornos *et al.*, 1988); en France (îles d'Hyères, près de Marseille, et en Corse); en Algérie (au large des îles El Aouana) (Grimes, 2010); en Grèce (Zenotos *et al.*, 2010a et b); et au Maroc (Parc national d'Al Hoceima) (Bazairi, 2010). Enfin, le faciès à *Coorallium rubrum*, à l'étage circalittoral, est principalement localisé en Méditerranée occidentale, où ses populations semblent être continues. Sa distribution en Méditerranée orientale semble être occasionnelle (mer Adriatique, mer Égée). Il a été mentionné en Algérie (essentiellement à El Kala) (Grimes, 2010); au Maroc (AHNP, Sidi Hsain, C3F) (Bazairi, 2010); en Grèce (Zenotos *et al.*, 2010a et b); en Turquie (Öztürk, 2010); et en Tunisie (Romdhane, 2010).

Grands fonds marins (eaux profondes)

37. Le terme de grands fonds a trait habituellement aux profondeurs marines à partir desquelles les organismes photosynthétiques sont absents. Selon certains auteurs, le terme s'applique aux zones situées au delà du plateau continental. Les écosystèmes des grands fonds – ou d'eaux profondes – sont considérés comme extrêmement stables par comparaison avec les environnements côtiers. Cette caractéristique importante est en rapport avec les températures et la salinité qui ne fluctuent généralement pas à ce niveau (George *et al.*, 1991).

38. En Méditerranée, comme ailleurs, ces grands fonds restent en grande part inexplorés. Les données disponibles pour la Méditerranée sont assez faibles, mais des travaux préliminaires ont déjà été permis d'amorcer un inventaire qualitatif qui sera mené à bien sur ces écosystèmes, même si les données concernant la biogéographie manquent encore (Rais, 2008). Des travaux récemment publiés par le WWF et l'UICN (WWF/IUCN, 2004) tracent les grandes lignes des écosystèmes de grands fonds en Méditerranée.

39. Les domaines bathyal et abyssal couvrent respectivement environ 60% et 10% de la superficie de la Méditerranée, alors que les plateaux continentaux représentent environ 30%. À la différence de l'Atlantique, les grands fonds de la Méditerranée sont caractérisés par l'absence d'espèces types des eaux profondes, soit les espèces bathypélagiques comme les foraminifères *Xenophyophora*, les éponges *Haxactinellidae*, l'holothurie *Elasopodida*, etc. (Zenetos *et al.*, 2002; WWF-IUCN, 2004). Les formes de vie des grands fonds de la Méditerranée sont, pour l'essentiel, des espèces eurybathes. D'autres groupes faunistiques (stropodes décapodes) ne sont guère représentés en eau profonde. La faune macrobenthique du substrat profond est d'une abondance, d'une richesse spécifique et d'un endémisme médiocres. La comparaison longitudinale indique un gradient méditerranéen décroissant d'est en ouest, en particulier pour le benthos profond.

40. La macrofaune des eaux profondes méditerranéennes est dominée par les poissons et les crustacés décapodes. Des différences existent entre la Méditerranée occidentale et la Méditerranée orientale tant dans la composition que l'abondance en espèces. Les espèces de la macrofaune sont généralement de taille plus réduite que celles de l'Atlantique. La méiofaune est moins abondante en Méditerranée orientale. Dans les grands fonds, le taux d'endémisme de nombreux taxons (à savoir 48% pour les amphipodes) est nettement plus élevé que le taux d'endémisme moyen en Méditerranée.

Systemes pélagiques de la haute mer

41. En Méditerranée, la haute mer, à savoir celle qui est située en dehors des eaux territoriales des pays méditerranéens, représente une grande partie du Bassin méditerranéen, soit 2,5 millions de km². La haute mer abrite une vaste sélection de formes de vie marine et a des poches de productivité relativement élevée (gyres, upwellings et fronts). Seule une aire protégées de haute mer a été désignée en Méditerranée: le Sanctuaire Pelagos pour les mammifères marins méditerranéens (UNEP-MAP RAC/SPA, 2009a).

42. D'une manière générale, la haute mer possède une faune diversifiée relevant de divers groupes zoologiques. Il est manifeste que les espèces décrites en Méditerranée ne se rencontrent pas toutes dans la haute mer au delà des 12 miles nautiques qui constituent la limite actuelle des eaux territoriales, mais que de nombreuses formes de vie fréquentent ces eaux. Ce sont, pour l'essentiel, des prédateurs marins supérieurs, réputés comme une macrofaune charismatique, qui présente une importance spéciale pour la conservation en tant qu'espèces-parapluie (ou paravent). Ce sont les poissons chondrichthyens, les cétacés et les tortues marines.

43. Les systèmes pélagiques de la Méditerranée présentent des caractères distincts comme les upwellings, les gyres et les fronts (voir Fig. 2). Les fronts thermiques correspondent aux zones de contact entre deux masses d'eau de températures différentes. Ces régions sont souvent le siège de mélanges verticaux susceptibles d'apporter en surface les sels minéraux qui favorisent le développement du plancton et contribuent à instaurer une chaîne trophique. Les remontées d'eau (upwellings) sont considérés comme un des écosystèmes les plus productifs du milieu marin.

44. Le fond de la mer des zones du large abrite des formes de vie uniques. Ses caractéristiques comprennent les vents hydrothermiques, les monts sous-marins et les récifs de corail en eau profonde, les canyons sous-marins, et les réserves de saumure.

45. Les canyons profonds revêtent une grande importance en Méditerranée car ils offrent, pour nombre d'espèces, de lieux de reproduction et d'alimentation (poissons, cétacés comme *Gram pus grises* et *Physe ter macrocephalus*) et sont un remarquable réservoir d'endémisme. Les communautés chémosynthétiques associées aux vents hydrothermiques, caractérisées par la symbiose entre invertébrés et bactéries chémotrophes, sont rares en Méditerranée, et ne se trouvent qu'au sud de la

Crète, au sud de la Turquie (Monts Anaximandre sous-marins) et au large de l'Égypte et de Gaza (ICSEMS, 2004).

46. Les coraux d'eau froide sont des habitats de grande valeur écologique et de diversité élevée, qui sont menacés par le chalutage des grands fonds et les effets du réchauffement climatique (ICSEMS, 2004). Les montagnes sous-marines émergent du fond de la mer et constituent des habitats singuliers du milieu marin. Elles représentent des habitats essentiels pour les cycles de vie de plusieurs espèces et contiennent des concentrations très denses de macrofaune et de mégafaune. Elles sont caractérisées par un taux élevé d'endémisme (par ex., hydrozoaires). Ce sont également des aires d'alimentation pour de nombreuses espèces de vertébrés marins. La mer d'Alboran (Espagne), la mer des Baléares (Espagne), le golfe du Lion (France) et les abysses de la mer Ionienne sont d'un intérêt spécial pour ces habitats.

47. Les habitats hypersalins ou réserves de saumure présentent une biodiversité élevée, en particulier dans les assemblages de bactéries et métazoaires de la méiofaune (IUCN-WWF, 2004). Peu de données existent sur ces habitats, mais ils sont considérés comme des milieux importants en raison de leur caractère méditerranéen spécifique (ICSEMS, 2004).

C. Valeurs écosystémiques (cf. le texte in extenso du rapport en français du Plan Bleu dans le document d'information de la réunion UNEP(DEPI WG. 350/Inf.4

48. Coastal ecosystems are among the most productive systems of the global environment, supporting not only marine and terrestrial food webs but also providing key services for humankind. Coastal communities and industries exploit coastal resources of all kinds, including fisheries resources; timber, fuel wood, and construction materials; oil, natural gas, strategic minerals, sand, and other nonliving natural resources; and genetic resources. In addition, people increasingly use ocean areas for shipping, security zones, recreation, aquaculture, and even habitation. Coastal zones provide far-reaching and diverse job opportunities, and income generation and human well-being are currently higher on the coasts than inland.

49. There are less well known, yet equally important services that coastal ecosystems provide human communities. Wetlands maintain hydrological balances, recharge freshwater aquifers, prevent erosion, regulate flooding, and buffer land from storms. Coastal areas and continental shelves support many regulatory services that keep the planet productive and in balance. Continental shelves account for at least 25% of global primary productivity, 90–95% of the world's marine fish catch, 80% of global carbonate production, 50% of global denitrification, and 90% of global sedimentary mineralization. Coastal ecosystem services present many of the "pull" factors that resulted in initial settlement along coasts as well as subsequent migration to them. Forty percent of the global population now lives within the thin band of coastal area that is only 5% of the total land mass, and dependence on these coastal systems is increasing.

50. Coastal and marine ecosystems present a complex web of goods and services, perhaps more so than any other major ecosystem type. Clearly individuals and communities value the coast, as burgeoning population growth and resource use in coastal areas attest. But there is not a clear understanding of the extent to which intact ecosystem services, particularly when taken individually, support human well-being and economies. Too often the value of services is only realized in the wake of calamities, once the ecosystems providing them have been degraded or destroyed.

51. Dependence on coastal zones is increasing around the world, even as costs of rehabilitation and restoration of degraded coastal ecosystems are on the rise. In part, this is because population growth is coupled to increased in-migration to the coasts, in part due to degradation of terrestrial areas (fallow agricultural lands, reduced availability of fresh water, desertification, and armed conflict all contributing to decreased suitability of inland areas for human use). Resident populations of humans in coastal areas are rising, but so are immigrant and tourist populations.

52. Mediterranean ecosystems support marine capture fisheries. Coastal areas also provide the foundation for the mariculture (marine aquaculture) industry, which uses coastal space or relies on wild stock to produce valuable fisheries products, from shrimp and oysters to bluefin tuna. Human

reliance on farmed fish and shellfish is significant and growing. Global annual per capita consumption of seafood averages 16 kilograms, and one third of that supply currently comes from aquaculture. Globally, aquaculture is the fastest-growing food-producing sector, with production rates doubling in weight and value from 1989 to 1998. The resource rent relating to the production of food resources of Mediterranean origin was recently valued at almost 3 billion Euros annually (Blue Plan, 2010).

53. In addition to marketed goods and products, landscape features and ecological processes within the coastal zone also provide ecosystem services that contribute to human well-being and have significant economic value. These nonmarket values often exceed market values. Much of what people value in the coastal zone—natural amenities (open spaces, attractive views), good beaches for recreation, high levels of water quality, protection from storm surges, and waste assimilation/nutrient cycling—is provided by key habitats within coastal systems. Open space, proximity to clean water, and scenic vistas are often cited as a primary attractor of residents who own property and live within the coastal fringe. Coastal housing values are strongly correlated to characteristics such as ambient environmental quality (proximity to shoreline, for example, or water quality).

54. These coastal values also underlie much of the world's coastal and marine tourism. The link between tourist visits and the revenues from and condition of the coastal system has not been analyzed at the Mediterranean level, but case studies from elsewhere in the world point to a strong correlation between value and condition. In the Mediterranean, estimates of the value of marine habitats supporting recreational activities including tourism (estimated as the resource rents related to the provision of amenities and support to the recreational sector) is in excess of 17 billion Euros (2005 values, based on the Blue Plan report 2010).

55. Mediterranean marine ecosystems also sequester carbon and play a large role in climate regulation. Blue Plan has estimated the carbon sequestration value of the 5 marine ecosystems studied at 2.219 billion Euros annually, although is thought to be an underestimate. Further ecosystem services values which were estimated in the Blue Plan study include the value of protection against coastal erosion (527 million Euros annually) and the value of waste assimilation (estimated at 2.7 billion Euros annually). The aggregate value of all five services studied (fisheries production, recreation, climate regulation, erosion control, and waste treatment) was assessed conservatively at over 26 billion Euros annually (PB, 2010).

56. In summary, ecosystem services are critical to the functioning of coastal and marine systems and also contribute significantly to human well-being. Substantial positive economic values can be attached to many of these services. Thus Mediterranean coastal and marine ecosystems are valuable for both the goods (resources) and the services (hydrological balance, carbon sequestration, buffering land from storms, providing recreational opportunities, providing space for shipping, processing/assimilating wastes) and currently undervalued but critically important processes such as keeping introduced species in check and preventing them from becoming invasive.

UNEP/MAP-BP/RAC study

57. The recent economic study completed under the auspices of UNEP/MAP-BP/RAC is entitled "The Economic Value of Sustainable Benefits from the Mediterranean Marine Ecosystems", prepared by A. Mangos, J-P. Bassino, and D. Sauzade (2010). A full version of the report is available on the Blue Plan website http://www.planbleu.org/themes/intro_marinUk.html).

58. The report sets out an economic evaluation of the sustainable benefits relating to the ecosystem services provided by the marine ecosystems in the Mediterranean in 2005. The results illustrate the economic potential of marine ecosystems as regards the sustainable development of the riparian states. The assessment looks at the value of the flows produced by the environmental assets constituting marine natural capital, without making any attempt to estimate the value of the stock of natural capital.

59. The methodological framework for this assessment (chapter 1) was established on the basis of a bibliographical analysis of numerous studies which addressed the economic evaluation of the services provided by ecosystems. The main types of Mediterranean marine ecosystems were characterised and considered according to their role in producing resources, as a regulator and in

cultural terms, as defined by the *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA, 2005). For each of these three categories, various services provided by the ecosystems under consideration were identified in respect of the human uses they allow or to which they contribute. In this study, the methods used to assess the benefits derived through the use of ecosystem services have been drawn from the framework established by the United Nations in the System for Integrated Environmental and Economic Accounting (UN, 2003). A sustainability criterion for the usages of the ecosystem services was introduced, in line with concerns expressed about sustainable development in the Mediterranean.

60. Five ecosystems have been considered as a basis for this study: Posidonia meadows (*Posidonia oceanica*), corallogenic concretions, rocky sea-beds with photophilic algae, sea-beds with a soft substrate and the open sea (over 100 m in depth). Area covered by each ecosystem was estimated using available data and expert reviews. The benefits assessed fall into three groups of services provided by the ecosystems, as set out in the following table:

Categories of ecosystem services :	Ecosystem services:	Benefits assessed:
Provisioning services	Production of food resources	Resource rent relating to the production of food resources of marine origin
Cultural services	Amenities	Resource rent relating to the provision of amenities and recreational supports
	Support for recreational activities	
Regulating services	Climate regulation	Value of man-made CO ₂ sequestration
	Mitigation of natural hazards	Value of protection against coastal erosion
	Waste processing	Value of waste treatment

61. In this study, the economic value of the benefits rendered by ecosystems has been assessed as either a more or less important part of the value added created in various economic activities or an equivalent to avoided expenditure or even as a reference value, when facing collective benefits.

62. Each type of benefit was individually assessed (chapter 2). Benefits relating to the production of food resources were assessed using fisheries and marine aquaculture related data. Benefits relating to the provision of amenities and recreational supports were assessed on the basis of data on real estate rents, hotel and restaurant service activities, and tourism. Benefits relating to climate regulation were assessed on the basis of the marine environment's capacity to absorb anthropogenic CO₂ valued at the price per tonne of CO₂ in force under the European Emission Trading Scheme in 2005. Benefits relating to the mitigation of erosion were evaluated on the basis of the proportion of the coastline exposed to this hazard and where Posidonia meadows are also supposed to be both present and efficient, the benefits being valued according to the replacement cost of defence structures. Finally, the benefits relating to waste processing by the marine ecosystems were valued by observing a reference value corresponding to a situation where waste disposal meets environmental standards.

63. Aggregation of these results provides an estimation of the overall value of the benefits resulting from the Mediterranean marine ecosystems (chapter 3). At regional level, the benefits are estimated over 26 billion Euros for 2005 (which represent almost 120% of Tunisia's GNP during the same year), more than 68% of which comes from the benefits stemming from the provision of amenities and recreational supports. The benefits relating to the production of food resources account for 11% of the overall estimated benefit. The study also provides a breakdown of the benefits relating to the production of food resources by ecosystem type. Thus for fisheries, the open seas account for over 70% of the value of the benefit in proportion to the volume of catches involved. On the other hand, basing itself on catch quantity, the study demonstrates that it is the Posidonia meadows and the rocky substrate which provide the best fishing productivity by area unit.

64. This exploratory study represents a preliminary attempt to assess the contribution made by the marine ecosystems in the Mediterranean on an economic basis. The constraints under which it was drawn up, whether these be the application of the sustainability criterion for assessing the benefits considered or the lack of sound data for certain benefits, which consequently could not be included in the study, have led to what is probably a low initial assessment of the annual value of the sustainable benefits from marine ecosystems. Further studies will thus be undertaken.

65. Nevertheless, the report and the attention which will be focused on Mediterranean marine ecosystem services that flow from it will contribute to the ecosystem approach process and will help catalyze the move from conventional management to an ecosystem approach.

D. Menaces pesant sur les écosystèmes méditerranéens

66. Les pressions s'exerçant sur l'environnement méditerranéen sont multiples et croissantes. En 2000, la population combinée du littoral méditerranéen dépassait les 150 millions d'habitants : on escomptait que celle la rive Nord resterait relativement stable et l'on prévoyait que celle de la rive Sud augmenterait. De fait, l'on dénombre aujourd'hui sur la rive Sud plus de 50 pour cent de la population totale et ce pourcentage devrait s'établir à 75 pour cent d'ici à 2025. Ces projections de changements démographiques dans la région auront des effets importants sur l'environnement méditerranéen, puisque la demande de ressources naturelles va enregistrer une hausse spectaculaire dans le sud. Les densités de population sont beaucoup plus fortes sur le littoral que dans le reste du territoire, en particulier dans la partie sud de la Méditerranée. Le nombre de visiteurs (touristes) augmente également.

67. En 2006, dans le rapport PAMPNUE/AEE intitulé "Problèmes prioritaires de l'environnement méditerranéen", une douzaine de menaces étaient consignées comme les questions les plus cruciales de la région. Elles comprenaient: pollution par les eaux usées et ruissellement urbain; élimination des déchets solides; rejet des effluents industriels; urbanisation s'accompagnant de l'altération du milieu naturel; eutrophisation; érosion du sable sur les plages; pollution par les hydrocarbures et les HAP due aux activités du transport maritime; expansion des espèces invasives; proliférations algales toxiques (HAB); surexploitation des ressources marines et impacts liés à la pêche sur les processus écosystémiques; extension de l'aquaculture avec pour corollaire des effets polluants; risques naturels et changements planétaires (dont le climat) (PAM/PNUE/AEE, 2006). Ces questions restent d'une acuité primordiale cinq ans après la publication de cette évaluation ; mais il apparaît de nouvelles problématiques qui méritent attention, comme l'accroissement des activités de dessalement, avec des impacts comportant les effets que les rejets de saumure ont sur les écosystèmes.

Perte et dégradation des habitats côtiers

68. Le développement et l'urbanisation du littoral exercent de fortes pressions sur le milieu marin. Les habitats disparaissent ou sont dégradés sous l'effet des constructions, de l'aménagement d'infrastructures et de la mise en valeur des terres côtières. L'extraction de sable et d'autres activités extractives peuvent entraîner des transformations importantes dans les habitats et la perte de services. Les dérivations d'eau douce à partir des estuaires modifie la nature saumâtre de ces écosystèmes et dégrade les services qu'ils rendent. Les constructions du littoral, telles que les digues, épis, jetées, chaussées et armatures, affectent non seulement les espaces où ils sont aménagés mais de larges franges de la côte par suite des perturbations qu'ils occasionnent dans les courants et processus côtiers. Et l'artificialisation de sols qu'entraînent l'urbanisation et le développement en les rendant moins perméables se traduit par une augmentation importante du ruissellement d'eaux polluées dans les zones proches du rivage.

69. Les pressions démographiques se soldent par une utilisation accrue de ressources et d'habitats, ainsi que par des dégradations indirectes. La perte de biodiversité marine et côtière méditerranéenne est due à des causes concomitantes et à plusieurs pressions qui agissent en synergie : la surpêche et la dégradation des milieux due aux techniques de pêche; les invasions biologiques d'espèces non indigènes sont souvent en rapport avec le changement climatique et d'autres perturbations environnementales, y compris la pression halieutique; la pollution; et la propagation des agents pathogènes. Le changement climatique constitue l'arrière-plan sur lequel s'inscrivent tous ces changements - parfois il les accélère, parfois il cause des altérations irréversibles.

70. Parmi les problèmes de l'environnement méditerranéen, l'accent a été mis sur le développement du littoral, l'urbanisation, la pollution et la surexploitation du littoral. Mais les grands fonds de la mer Méditerranée sont considérés par certains auteurs comme figurant parmi les milieux d'eaux profondes les plus lourdement atteints au monde, tout en étant les zones les moins connues au plan de la biodiversité (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2010): le risque existe qu'une perte importante de

biodiversité se produise avant que les scientifiques n'aient le temps de documenter son existence (Briand 2003, Cartes *et al.* 2004).

Pêche

Tableau synoptique de la pêche méditerranéenne

71. Les pressions des activités de pêche ont leur source dans la pêche commerciale, la pêche de loisir et l'aquaculture. La pêche commerciale comprend à la fois la pêche artisanale (principalement filet trémail, madrague, filet maillant, ligne de sonde, etc.) et industrielle (principalement chaluts, senne coulissante, filets dérivants, etc.). Le programme d'étude MEDITS, amorcé en 1993, a généré des informations de base sur les espèces benthiques et démersales quant à la distribution de leurs populations, leur structure démographique, sur les plateaux continentaux et le long des talus supérieurs à l'échelle globale en mer Méditerranée, dans le cadre d'enquêtes systématiques sur les chaluts de fond.

72. Dans l'ensemble, la petite pêche revêt une plus grande importance socio-économique pour les communautés côtières et pays riverains que la pêche industrielle avec ses impacts sur la biodiversité. En tout cas, l'hétérogénéité des engins de pêche et des espèces ciblées par la pêche artisanale permet difficilement d'aboutir à des conclusions générales concernant l'impact de ses pratiques sur l'écosystème. Si, d'un côté, la plus grande sélectivité de certains engins artisanaux est documentée, de l'autre, les effets négatifs d'autres pratiques artisanales sont notoires.

73. Les activités de la pêche ont des incidences sur les espèces (et habitats) benthiques et pélagiques. Les impacts sont dus à une surexploitation directe d'espèces commerciales ainsi qu'à des effets indirects sur les écosystèmes. L'impact de la pêche sur la biodiversité dépend de plusieurs facteurs tels que les techniques de pêche, la profondeur de l'eau, les caractéristiques du fond de la mer, et la saison. Certaines pratiques de pêche interdites par la législation dans plusieurs pays méditerranéens ont des effets particulièrement néfastes sur l'écosystème mais elles persistent sans souci des conséquences (à savoir le chalutage illégal en eaux peu profondes, la dynamite, les grands filets dérivants, les filets à taille de mailles illégale). La grande diversité des engins utilisés par la petite pêche et la grande variété des espèces débarquées rendent extrêmement complexe la gestion de la pêche en Méditerranée. Plus de 45 techniques de pêche y sont utilisées. Environ 63% des bateaux de pêche sont la propriété de pays des bassins occidental et central, et 53% des pays de l'UE (Espagne, France et Italie).

74. La pêche de loisir et la pêche sportive sont principalement associées à des engins tels la canne à pêche, la ligne à main, le harponnage, la palangre, la canne à moulinet. Les impacts des activités de la pêche de loisir sont inconnus du fait que l'on ne peut contrôler les prises. La canne à pêche et la ligne à main menacent les juvéniles du poisson littoral et démersal, car elles sont employées dans des aires de nourricerie telles que les fonds rocheux peu profonds et les herbiers. La pêche au harpon, d'autre part, a surtout des incidences sur des espèces menacées comme les mérour *Epinephelus* spp et le loup (*Sciaena umbra*). La pêche de loisir au moulinet et à la palangre a des incidences sur les espadon et le requin bleu mais aussi sur d'autres espèces d'intérêt commercial comme le thon (thonidés) et la coryphène commune (coryphénidés).

75. Les effets indirects de la pêche sur la biodiversité comprennent l'impact sur les espèces non commerciales (poissons rejetés à la mer), les habitats, la structure et le fonctionnement des écosystèmes. Par conséquent, par suite de la détérioration de l'environnement, les effets indirects peuvent aussi provoquer des pressions et impacts supplémentaires néfastes sur les espèces cibles. Certains effets indirects de la pêche comprennent: une réduction des populations (commerciales ou non) due aux prises accessoires, aux rejets à la mer, à la pêche fantôme, etc; la réduction des populations d'espèces non commerciales menacées et protégées comme les poissons cartilagineux, les tortues marines, les oiseaux marins et les mammifères marins blessés accidentellement par des engins de pêche, les perturbations ou la destruction d'habitats comme les herbiers à *Posidonia oceanica*, les formations coralligènes et bancs de maërl; cet impact est spécialement dû au chalutage, souvent pratiqué illégalement dans des eaux peu profondes, au filet de drague pour la capture de mollusques ou crustacés, à la récolte d'algues (utilisées à des fins pharmaceutiques et cosmétiques) et certaines pratiques illégales comme la récolte de la datte de mer *Lithophaga lithophaga*; les dysfonctionnement et déstructurations d'autres habitats comme les fonds boueux et sableux (voir

synthèse de Pranovi *et al.* (2000), avec les chaluts et engins de dragage qui râclent ou labourent le fond de la mer, remettent en suspension les sédiments, modifient la granulométrie et la texture des sédiments, détruisent la configuration des fonds, éliminent ou dispersent les espèces non cibles.

Surexploitation

76. Les niveaux élevés d'extraction des ressources halieutiques en Méditerranée ont abouti à une surexploitation, ou, dans le meilleur des cas, à une exploitation optimale (UNEP/MAP/RAC-SPA 2003). Le fait que plusieurs stocks d'espèces cibles en Méditerranée se caractérisent par une prédominance de juvéniles en est un indice révélateur. Certaines des espèces cibles les plus connues sont menacées par la pêche, comme l'anguille (*Anguilla Anguilla*), le mérrou brun (*Epinephelus marginatus*), le loup (*Sciaena umbra*), le thon rouge (*Thunnus thynnus*), le thon jaune ou albacore (*Thunnus alalunga*), l'espadon (*Xiphias gladius*), le rouget (*Mullus barbatus*), le mullet (*Mullus surmuletus*), la cardine à quatre tâches (*Lepidorhombus boscii*), la sole (*Citharus linguatula*), le merlu (*Merluccius merluccius*), la bonite à dos rayé (*Sarda sarda*), plusieurs poissons cartilagineux, des espèces de crustacés comme *Homarus gammarus*, *Palinurus elephas* et *Scyllarides Latus*, quelques éponges (comme *Hypospongia communis*, *Spongia* spp.), le corail rouge (*Corallium rubrum*). La surpêche a provoqué des dommages de l'écologie du littoral, comme dans les lagunes côtières. Ces effets de la surexploitation sont examinés ci-dessous par habitat.

77. Dans de nombreux pays méditerranéens, notamment dans les lagunes côtières et les estuaires, la pêche est l'utilisation la plus intensive de ressources. Les principales espèces de poisson d'intérêt commercial dans les lagunes appartiennent aux familles des sparidés, mugilidés, anguillidés et moronidés (Kapetsky & Lasserre, 1984), qui sont présentes dans plus de 75 lagunes méditerranéennes (Pérez-Ruzafa *et al.*, 2010a). Cependant, d'autres invertébrés sont utilisés à des fins commerciales, en particulier les dépôts naturels de certaines espèces de mollusques.

78. Dans les eaux côtières, l'abondance des ressources biologiques qui sont exploitées (poissons, crustacés, etc.) témoigne de variations considérables en fonction de la profondeur. Mais le plateau continental, en raison de sa forte production biologique, demeure l'habitat préféré des espèces exploitées commercialement. La pêche en Méditerranée, pour l'essentiel une production côtière et halieutique, se situe aujourd'hui entre 1 500 000 et 1 700 000 tonnes/an, dont 85% produits en Italie, Turquie, Grèce, Espagne, Tunisie et Algérie (MAP/PNUE-CAR/PB, 2009).

79. Les principales espèces de poisson exploitées dans les zones côtières sont la sardine (*Sardina pilchardus*) et l'anchois (*Engraulis encrasicolus*) parmi les petits pélagiques, le merlu (*Merluccius merluccius*), le mullet (*Mullus* spp.), le merlan bleu (*Micromesistius poutasou*), la lotte ou baudroie (*Lophius* spp.), les pageots (*Pagellus* spp.), le poulpe (*Octopus* spp.), le calamar, l'encornet (*Loligo* spp.) et la crevette rose (*Aristeus antennatus*) parmi les poissons démersaux, et les grands poissons pélagiques comme le thon rouge (*Thunnus thynnus*) et l'espadon (*Xiphias gladius*). Ces espèces représentent 70 à 80% du total débarqué en Méditerranée. Cependant, d'autres espèces d'invertébrés sont exploitées comme le corail rouge (*Corallium rubrum*), de nombreuses espèces d'éponge (*Spongia* spp., *Hypospongia* spp.), des bancs naturels de bivalves (*Lithophaga lithophaga*, *Acanthocardia* spp., *Callista chione*, etc.).

80. La pêche exploite aussi les eaux profondes du grand large de la Méditerranée, avant tout les crustacés décapodes cibles. Les principales ressources biologiques exploitées sont la crevette rose des eaux profondes *Parapenaeus longirostris* et la langoustine *Nephrops norvegicus*, auxquelles sont associées d'autres espèces comme *Merluccius merluccius*, *Micromesistius poutassou*, *Conger conger*, *Phycis blennoides* et, dans une moindre mesure, *Lophius* spp. et le céphalopode *Todarodes sagittatus*. La pêche plus profonde (jusqu'à 400-800 m environ) cible presque exclusivement les crevettes *Aristaeomorpha foliacea* et *Aristeus antennatus* (IUCN-WWF, 2004). La surexploitation devient aussi manifeste dans ces zones d'eaux profondes, où les stocks de crevettes en montrent déjà des signes. Les stocks d'*Aristeus antennatus*, ou sont ou effondrés (Ligurie: Orsi Relini & Relini, 1988), ou montrent des signes de surexploitation (Carbonell *et al.*, 1999), ou sont sous-exploités (Demestre et Leonart, 1993; Bianchini et Ragonese, 1994). Les captures d'*Aristaeomorpha foliacea* ont notablement diminué dans de nombreuses régions (golfe du Lion: Campillo, 1994; mer Catalane: Bas *et al.*, 2003; mer Tyrrhénienne: Fiorentino *et al.*, 1998) et elle est jugée surexploitée dans les eaux italiennes (Matarrese *et al.*, 1997; D'Onghia *et al.*, 1998).

81. En haute mer, les espèces ciblées par la pêche sont habituellement celles dont les stocks chevauchent à la fois la haute mer et les zones côtières. Ce sont des ostéichthyens, des élamobranches, des crustacés, des céphalopodes et de gros poissons pélagiques migratoires comme les thons et l'espadon en particulier (PNR-MAP RAC/SPA, 2003). Dans les zones pélagiques de la haute mer, les populations de grands requins (comme *Mustelus mustelus*, *Scylliorhinus stellaris* et *Squalus blainvillei*) régressent rapidement en mer Méditerranée. Ces espèces sont menacées d'extinction en raison de la surpêche, de la dégradation de leurs habitats et du lent renouvellement de leurs populations. Cette situation est inquiétante car ces prédateurs jouent un rôle déterminant dans l'équilibre des écosystèmes de la haute mer.

82. Dans l'ensemble, la surpêche en Méditerranée, au cours des dix dernières années, résulte du développement du secteur (d'environ 12%), avec l'exploitation la plus intense des stocks de poissons démersaux et des grands pélagiques (thons et espadon) (Zenetos *et al.*, 2002). La surpêche a provoqué un effondrement des bancs de corail rouge *Corallium rubrum*, de la datte de mer *Lithophaga lithophaga*, de quelques éponges (*Hypospongia communis*, *Spongia* spp., etc.), de certaines espèces de crustacés décapodes (comme *Homarus gammarus*, *Palinurus elephas*). Plusieurs autres espèces de poisson sont surexploitées (*Anguilla anguilla*, *Epinephelus marginatus*, *Sciaena umbra*, *Thunnus thynnus*, *Xiphias gladius*, etc.).

83. Les résultats de MEDITS (Enquête internationale sur le chalutage des fonds en Méditerranée) indique que la surexploitation a abouti à un grave déclin de nombreux stocks de poisson. En outre, la CGPM (2008) est d'accord pour avancer que de nombreuses espèces d'intérêt commercial font actuellement l'objet d'une surpêche. C'est le cas du merlu *Merluccius merluccius*, du rouget *Mullus barbatus* et de la crevette rose du large (*Parapenaeus longirostris* au nord de la mer d'Alboran, aux îles Baléares, au nord de l'Espagne, au golfe du Lion, en mer Ligurienne et au sud de la Sicile, de la sole *Solea solea* au nord de la mer Adriatique, de la sardine *Sardina pilchardus* et de l'anchois *Engraulis encrasicolus* au nord de la mer d'Alboran, au nord de l'Espagne, au golfe du Lion, au sud de la Sicile et au nord de la mer Adriatique). La situation également très préoccupante pour le thon rouge *Thunnus thynnus*, largement surexploité en Méditerranée. Ces tendances deviennent communes à l'ensemble de la Méditerranée et pour tous les stocks de poisson qui sont exploités avec des captures toujours plus importantes (Sea Around Us, 2009).

84. Un certain nombre d'études ont désormais établi qu'une pêche intensive a des incidences marquées à tous les niveaux de l'organisation biologique de la vie marine (PAM/PNUE/AEE, 2006). Les effets fâcheux d'activités de pêche inappropriées sur la biodiversité marine sont mentionnés dans le rapport national élaboré au titre des processus régional/nationaux (à savoir le PAS BIO) de la plupart des pays méditerranéens.

Captures accessoires et rejets à la mer

85. Un autre impact majeur de la pêche provient du fait que de nombreuses pratiques de pêche conduisent à des prises accidentelles fortuites (que l'on appelle prises accessoires) et à des rejets de ces prises à la mer. En dépit de l'adoption de certaines restrictions juridiques applicables aux pratiques de pêche les plus préjudiciables et de la réduction des flottes dans certains pays, le problème des impacts de la pêche sur la biodiversité marine est susceptible de s'aggraver en raison des améliorations continues apportées aux techniques de pêche et de navigation.

86. Plusieurs engins utilisés par la pêche commerciale ont des effets néfastes: filets de pêche au thon (dits "tonailles"), palangres et filets dérivants, spécialement utilisés pour la pêche au thon et à l'espadon, ainsi que les filets fixes à mailles fines installés sur de longues périodes (souvent de nuit), sennes traînantes hâchées à terre et chalutage des fonds. Toutes ces techniques comportent un grand nombre de prises fortuites ou accessoires, et certaines sont responsables de dommages occasionnés au fond de la mer et à une dégradation des communautés associées (voir ci-dessous).

87. Un autre problème capital est celui des prises rejetées à la mer. Les taux de rejet varient en fonction de la profondeur de la pêche, de l'engin utilisé et de l'espèce ciblée. Les rejets par les flottes de chalutiers non sélectifs sont importants. Par exemple, sur les 162 espèces méditerranéennes capturées par chalutage en Méditerranée orientale, deux étaient les espèces ciblées, 34 des prises accessoires de valeur commerciale variable et les 126 restantes des espèces non recherchées (D'Onghia *et al.*, 2003). Les effets des rejets à la mer sur les communautés marines se produisent au

niveau de telle ou telle espèce, si leur dynamique de population est altérée, et au niveau de l'écosystème, où des modifications profondes surviennent par suite de perturbations des chaînes alimentaires, favorisant les organismes prédateurs, etc.

88. Les informations disponibles sur les rejets à la mer dans la pêche au chalut méditerranéenne confirment l'ampleur du problème. Par exemple, le total annuel des rejets à la mer en Sicile au cours des années 1980 a été estimé à environ 70 000 tonnes, soit une moyenne de 44 à 72% de l'ensemble des captures (Charbonnier 1990); une étude régionale sur les rejets à la mer en Méditerranée occidentale a estimé les rejets à la mer à 23-67% du total des captures à des profondeurs inférieures à 150 m; 13-62% à des profondeurs de 150 -350 m et 14-43% à plus de 350 m. La quantité rejetée à la mer présentait des pics de 75,4% et 66,6%, respectivement, dans le cas de bateaux de plus grande taille opérant au printemps et des bateaux de taille plus petite opérant en été sur les plateaux continentaux (< 150 m de profondeur) (Carbonell 1998). Les rejets peuvent aussi porter sur des espèces commerciales des catégories de taille plus petite.

Perturbations benthiques

89. L'emploi d'engins de fond peut occasionner une série d'effets en cascade sur l'écosystème. Les phénomènes d'eutrophisation peuvent être renforcés, aboutissant à une hypoxie dans les zones de fonds meubles (comme dans le nord de l'Adriatique) et la quantité d'hydrogène sulfuré libéré à partir des sédiments peut augmenter (Caddy 2000). Par exemple, la remise en suspension de sédiments enrichis en matières organiques peut réduire les macrophytes, le zoobenthos et les poissons démersaux, et d'autre part les espèces adaptées ou tolérantes aux conditions hypoxiques peuvent s'accroître. Le chalutage et le dragage peuvent également influencer sur l'intensité et la durée des crises d'hypoxie de survenue saisonnière. Par exemple, dans l'Adriatique, ces conditions peuvent aggraver en été le taux de mortalité des coquillages jeunes. Le chalutage peut aussi emporter des espèces macrobenthiques de grande taille et à cycle de vie long et, de ce fait, réduire la zone de bioturbation (Ball *et al.* 2000). Cette réduction peut contribuer à accroître le risque d'eutrophisation. Les perturbations causées par la pêche peuvent causer des déplacements dans la structure de la communauté benthique qui affectent plus spécialement les espèces charognardes, probablement le groupe le plus limité par la nourriture dans les milieux de fonds marins boueux (UNEP/MAP - RAC/SPA 2003). Le chalutage est aussi responsable d'une modification de la distribution granulométrique et de la texture des sédiments qui détruit la configuration des fonds.

90. Les communautés coralligènes et de maërl sont surtout menacées par le chalutage, responsable de la disparition du maërl dans de vastes zones de la Méditerranée (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2008a).

Pêche illégale et pêche dans les zones situées au delà des juridictions nationales

91. La pêche illégale a d'amples incidences à travers la Méditerranée. Le chalutage illégal sur les herbiers marins atteint les écosystèmes en remettant en suspension les sédiments et en endommageant directement la masse végétale. La remise en suspension des sédiments affecte la photosynthèse des macrophytes en diminuant l'intensité de la lumière. L'on estime que cette pression a contribué à la disparition des herbiers et qu'elle affecte ainsi le recrutement de poisson et la qualité des zones de nourriture des juvéniles sur le littoral méditerranéen de l'Espagne (Sánchez-Jerez et Ramos-Espla, 1996). Les effets du chalutage sur les posidonies comprennent des modifications de la structure des communautés de poissons démersaux, la réduction ou l'élimination des espèces typiques des fonds durs et leur remplacement par des espèces ubiquitaires et d'autres typiques des fonds sableux/boueux, une augmentation des espèces filtreuses actives et sédimentovores.

92. Une autre pratique côtière illégale très répandue dans plusieurs zones méditerranéennes est la pêche de la datte de mer (*Lithophaga lithophaga*), qui repose sur la démolition des substrats par des plongeurs commerciaux. Cette pression a pour conséquence la désertification de vastes étendues de rivage rocheux provoquée par la destruction des habitats et des communautés associées, combinée au broutage par les oursins (Fanelli *et al.* 1994). Un autre problème de pêche illégale est celui de la récolte de corail rouge au moyen de la croix de saint André, une barre de fer suspendue avec des chaînes; cet outil est connu pour ses impacts prononcés sur les formations de benthos coralligènes. L'emploi de cet engin est interdit dans les eaux depuis 1994 (réglementation du Conseil No 1626/94).

93. La pêche en haute mer (zones hors juridiction nationale) vise un nombre restreint de ressources, telles que la crevette rouge, la crevette norvégienne, et quelques poissons démersaux (comme le merlu, de petits poissons pélagiques (principalement la sardine et l'anchois) et de poissons pélagiques, notamment le thon et l'espadon. Le petit nombre d'informations disponibles concernant les effets du chalutage des grands fonds sur les espèces démersales souligne la vulnérabilité communautés des fonds boueux profonds aux perturbations externes, principalement due à leur sensibilité et à la faible faculté d'adaptation de la faune profonde aux changements du régime de sédimentation et aux perturbations externes. D'Onghia *et al.* (2003) ont constaté que, lors du chalutage des grands fonds, les taux de prises rejetées la mer augmentait avec le total des prises et la profondeur. Le faciès à *Isidella elongata* distribué dans les formations boueuses abyssales constitue un exemple d'habitat profond lourdement affecté par la pêche. Plusieurs espèces demersales d'eaux profondes sont particulièrement sensibles en raison de leur faibles taux de fécondité et de métabolisme.

94. Les écosystèmes pélagiques sont principalement atteints par la senne tournante, la palangre dérivante et le filet dérivant. La seine tournante agresse fortement, surtout les populations de thon rouge. En mer Méditerranée, à l'exception de rares cas et à la différence d'autres mers, cette pratique semble ne pas avoir d'interaction particulière avec les cétacés. Les effets de la palangre pélagique s'exercent sur les espèces cibles comme l'espadon (*Xiphias gladius*), le thon rouge (*Thunnus thynnus*) et le thon jaune ou albacore (*Thunnus alalunga*) et sont responsables d'une mortalité importante parmi les élasmobranches, les tortues marines et les oiseaux de mer retenus comme prises accessoires.

95. La pêche au filet dérivant fait depuis longtemps l'objet d'un débat dans plusieurs pays méditerranéens du fait qu'elle est particulièrement non sélective et, par conséquent responsable de lourdes incidences sur de nombreux groupes vulnérables résidant dans l'écosystème pélagique ; les prises accessoires de cétacés et d'élasmobranches sont particulièrement importantes. Au cours des vingt dernières années, certains gouvernements méditerranéens ont réduit le nombre de flottes pêchant au filet dérivant, et cette pratique a été interdite par l'ICCAT et la CGPM en 2003. Cependant, exercée souvent sous des noms différents, elle est loin d'être éradiquée en Méditerranée.

Aquaculture/mariculture

96. La pisciculture est une pratique relativement ancienne dans le Bassin méditerranéen. Mais elle s'est considérablement développée depuis les années 1990, en particulier la pisciculture marine, laquelle porte sur la daurade royale *Sparus aurata*, le bar ou loup *Dicentrarchus labrax*, la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'huître creuse japonaise *Crassostrea gigas*. 58% de la production proviennent de pays de l'Europe occidentale, mais la Grèce est le premier producteur de pisciculture marine au large avec plus de 120 000 tonnes par an de bar et de daurade royale. S'agissant de la culture de mollusques bivalves, les moules et les huîtres creuses japonaises occupent respectivement la première et la seconde places, avec une production annuelle d'environ 500 000 tonnes en Espagne et en France. La pisciculture dans les lagunes méditerranéennes cible des espèces typiquement 'lagunaires' comme le bar *Dicentrarchus labrax* et la daurade royale *Sparus aurata*. La production mondiale en 2008 s'établissait à 66 738 tonnes (496 898 \$ EU) pour le bar et 113 062 tonnes pour la daurade royale. La plus grande partie de la production de la daurade royale a lieu en Méditerranée: la Grèce (49%), la Turquie (15%), l'Espagne (14%) et l'Italie (6%) sont les pays les plus productifs (FAO, 2010).

97. En ce qui concerne l'aquaculture, la récolte de populations sauvages de thon rouge (*Thunnus thynnus*) en vue de les engraisser dans des cages contribue largement à l'effondrement des stocks de cette espèce. De plus, les espèces de petite taille prises pour être engraisées (comme le maquereau) risquent aussi d'être surexploitées (UNEP/MAP/RAC-SPA 2003).

98. La pêche et l'aquaculture peuvent avoir des effets en cascade sur la structure trophique de l'écosystème marin du fait de la récolte de prédateurs supérieurs, pélagiques ou démersaux (parfois appelés 'pêche descendante des chaînes trophiques'). La surpêche réduit les populations du poisson de grande taille et de plus grand prix qui se trouvent au niveau trophiques supérieurs, tels que les piscivores, si bien que les niveaux trophiques moyens de poisson débarqués sont réduits en fonction du degré de l'effort de pêche. Selon les statistiques halieutiques de la FAO, le niveau trophique moyen

de la pêche en Méditerranée a baissé d'un palier au cours des 50 dernières années (Pauly *et al.*, 1998). Les explosions de population d'organismes indésirables tels que les méduses pourraient résulter de la surpêche, puisque les proies "échappent" à la prédation quand les prédateurs sont éliminés.

Espèces introduites et invasives

99. Le nombre des espèces exotiques rencontrées en Méditerranée est actuellement de l'ordre d'un millier et leur rythme d'introduction est estimé à une espèce chaque semaine et demie (Zenetos, 2010). Leur nombre en Méditerranée a enregistré un essor spectaculaire depuis leur apparition au siècle dernier (Fig.1.5). Ces espèces sont représentées par 13 branches dominées par les mollusques (216 espèces), suivies des poissons (127 espèces), les végétaux benthiques (124 espèces) et les crustacés (106 espèces).

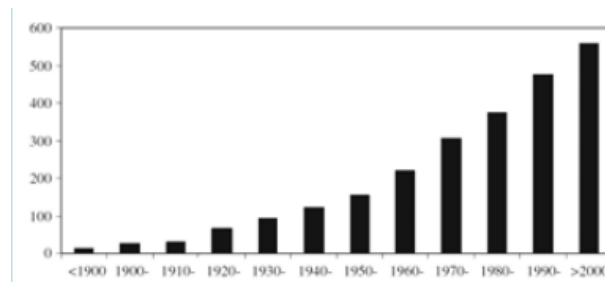


Figure 1.5. Nombre d'espèces introduites en mer Méditerranée au 20^{ème} siècle.

100. Parmi ces espèces exotiques, plus de 500 sont bien établies en Méditerranée (PAM/PNUE-CAR/PB, 2009). C'est le cas de deux poissons provenant de la mer Rouge, *Siganus luridus* et *S. rivulatus* (poisson-lune), qui constitue aujourd'hui des populations remarquables dans le bassin du Levant. D'autres espèces se limitent à une seule observation, comme la langouste rouge *Palinuris ornatus*, aperçue une fois sur le littoral d'Israël en 1989. En outre, toutes les espèces non indigènes introduites en Méditerranée sont invasives.

101. La distribution des espèces non indigènes varie d'un pays à l'autre. Les espèces non indigènes l'emportent davantage dans le bassin oriental que dans le bassin occidental (Fig. 10). De même, les origines de l'introduction diffèrent entre les espèces non indigènes des deux bassins: celles du bassin occidental ont pour la plupart été introduites par le transport maritime et la pisciculture, alors que celles du bassin oriental sont de espèces lessepsiennes qui sont entrées en Méditerranée par le canal de Suez (Figure 1.6).

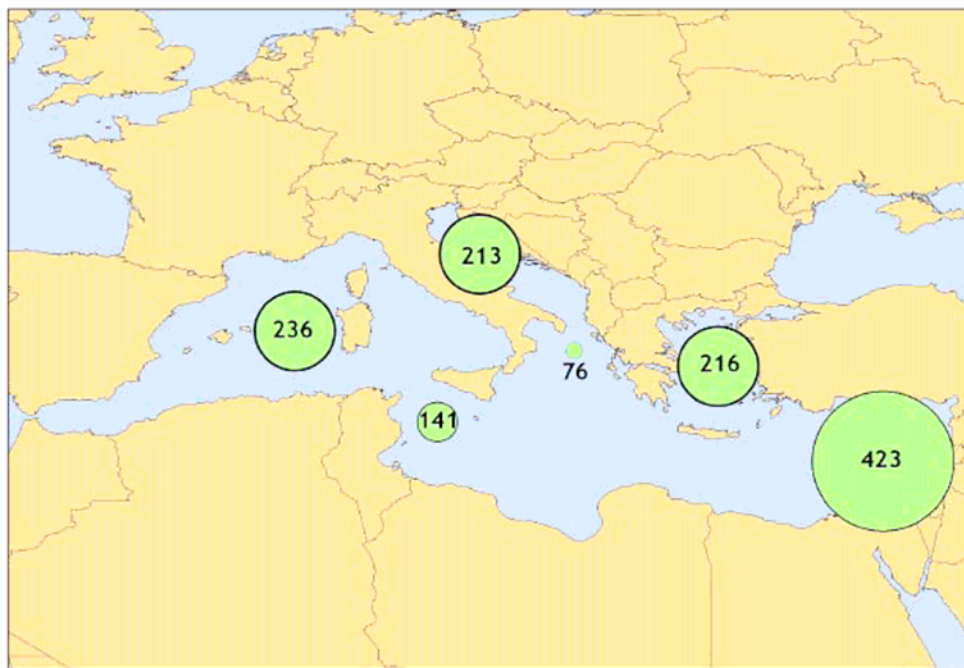


Figure 1.6 Distribution des espèces exotiques dans les bassins méditerranéens (source: Zenetos & Streftaris 2008)

102. Les espèces exotiques invasives (dites encore envahissantes) sont considérées par plusieurs auteurs comme une des causes primordiales de la perte de biodiversité. Les espèces non indigènes représentent un problème grandissant principalement dû aux effets inattendus et néfastes qu'elles peuvent avoir sur les écosystèmes et, par conséquent, sur l'économie et la santé humaine (PAM/PNUE/AEE, 2006). Cependant, il importe de reconnaître que toutes les espèces non indigènes ne sont pas également invasives (dans la mer Égée grecque, sur les 172 espèces allogènes signalées, seules 26 sont classées comme invasives); certaines espèces non indigènes ont accru la biodiversité de la Méditerranée orientale; un nombre important d'espèces exotiques sont devenues de précieuses ressources de pêche dans la zone du Levant.

103. Cette distinction faite, les pressions et impacts d'espèces non indigènes et invasives ont été consignés dans plusieurs rapports et documents et, dans certains cas, leurs menaces écologiques, économiques et sanitaires ont été documentées. Bien que l'on ne connaisse pas d'extinctions d'espèces indigènes, une régression rapide de l'abondance et des extirpations locales (parfois concomitantes à la prolifération d'espèces non indigènes invasives) ont été enregistrées.

104. Même si les pertes de populations locales et la contraction des niches d'espèces indigènes peuvent ne pas entraîner d'extirpation immédiate, la pression de la présence des espèces invasives aboutit à une réduction de la diversité génétique, à la perte de fonctions, processus et structures d'habitats, elle accroît le risque de déclin et d'extinction. L'effet final est souvent une homogénéisation biotique et une réduction de la biodiversité.

105. Les espèces invasives peuvent modifier la structure et le fonctionnement de l'écosystème; par exemple, l'invasion d'une espèce herbivore peut modifier la structure d'une côte rocheuse habitée par des algues. Le long du littoral turc, la présence du poisson-lapin invasif (*Siganus luridus*) a entraîné, dans les zones rocheuses, la modification du paysage marin avec la formation de substrats sans macroalgues (zones arides). La palourde japonaise *Ruditapes philippinarum*, en dehors du fait qu'elle est une espèce sans concurrente, a eu des effets marqués sur le milieu naturel car sa récolte a abouti à accroître les charges de matières en suspension (Occhipinti Ambrogi, 2002).

106. Les problèmes sanitaires des populations locales d'anguilles (*Anguilla anguilla*) ont été causées par l'introduction de *A. japonica* et *A. australis*. Un exemple d'hybridation est celui rencontré par l'erismature à tête blanche (*Oxyura leucocephala*) après l'introduction de l'erismature rousse d'Amérique (*O. jamaicensis*). La lagune de Thau (France) s'est avérée être l'un des principaux "points chauds" de l'introduction d'espèces marines en mer Méditerranée, en Europe, et même dans le monde. Les substrats durs de la lagune de Thau sont manifestement dominés par les espèces introduites (avant tout végétales) au détriment de la flore indigène. Un vecteur très probable des introductions de macroalgues est le transfert d'huîtres.

107. Dans certains cas, un impact donné n'affecte pas seulement l'écosystème mais a aussi des répercussions directes sur les activités humaines. L'on en a un exemple à la lagune de Thau où les algues *Sargassum muticum* constituent des fronts longs de plus de quatre mètres qui forment une sorte de tapis sur la surface de la lagune et restreignent la navigation dans la zone.

108. Il est possible de mentionner plusieurs exemples d'espèces invasives ayant des impacts sur les écosystèmes côtiers. L'un des plus fameux est celui de la propagation de l'espèce *Caulerpa*, principalement *C. taxifolia* et *C. racemosa*. Les invasions de *Caulerpa taxifolia* ont occasionné des dommages écologiques dans les écosystèmes méditerranéens, notamment en disputant l'espace et la lumière à d'autres espèces, ce qui a conduit au déplacement de communautés indigènes et à la création de tapis denses uniformes qui peuvent avoir des incidences sur les communautés benthiques et réduire d'importants habitats de poissons servant à leur reproduction et leur alimentation. Le rythme moyen spectaculaire de développement de *Caulerpa taxifolia* et ses mécanismes de défense chimiques (l'algue produit des toxines répulsives qui la rend inconsommable pour les herbivores généralistes) facilitent cette invasion biologique. L'espèce du même genre *C. racemosa*, grâce à ses stolons à croissance rapide, peut recouvrir d'autres macroalgues, principalement des espèces de tourbe incrustantes, et restreint le nombre d'espèces et le pourcentage de couvert de la communauté macroalgale. On a fait état d'une croissance de *C. racemosa* sur des fonds meubles qui occasionnait de graves problèmes à la pêche en raison de la collecte par les chaluts et les filets calés d'une quantité énorme d'algues.

109. Les modifications de la composition du phytobenthos peuvent entraîner un changement du macrozoobenthos. Par exemple, des études indiquent une prolifération de polychètes, de bivalves et d'échinodermes ainsi qu'une réduction du nombre de gastéropodes et de crustacés. D'autres recherches, axées sur les porifères, indiquent que la propagation de *C. racemosa* peut être en rapport avec une baisse significative du pourcentage de couvert par les éponges. Néanmoins, aucun changement majeur n'a affecté la composition des assemblages d'éponges, ce qui autorise à penser que, au début de la colonisation du moins, l'expansion des algues n'a pas comporté une perte de la biodiversité des éponges (Baldacconi & Corriero, 2009).

110. La contraction des niches et la diminution rapide des espèces indigènes ont été aussi décrites comme un résultat de la compétition avec des espèces non indigènes invasives. Par exemple, en Israël, où les populations de l'astérie bossue (étoile de mer) *Asterina gibbosa*, de la crevette caramote *Melicerus kerathurus* et de la méduse *Rhizostoma pulmo* ont diminué, alors que les espèces non indigènes invasives *Asterina burtoni* (étoile de mer), crevette impériale *Marsupenaeus japonicus*, et *Rhopilema pulmo* (méduse) ont accru leurs populations (PAM/PNUE/AEE, 2006). Dans certaines situations, la compétition pour l'espace peut obliger les espèces indigènes à gagner les eaux plus profondes comme dans le cas des populations de rouget (*Mullus barbatus*) et de merlu (*Merluccius*) qui ont migré vers de plus grandes profondeurs en raison de la présence d'espèces exotiques *Uppercuts moluccensis* et *Saurida undosquamis*, respectivement (Galil et Zenetos, 2002).

111. Pour certaines espèces invasives, un impact direct sur la santé humaine a été démontré. C'est le cas du tétronon *Lagocephalus sceleratus*, un poisson toxique qui est originaire des eaux profondes de l'Indo-Pacifique sur des substrats sableux et boueux. Ce poisson s'est propagé de manière spectaculaire en Méditerranée orientale (10 % des captures de poisson en Turquie). Découvert pour la première fois en 2003 (au sud de la Turquie), il s'est répandu rapidement dans la mer du Levant, atteignant aussi le nord de l'Égée. Cette espèce contient une tétrotoxine qui peut provoquer des intoxications alimentaires. En 2005-2008, treize patients ont été hospitalisés en Israël après avoir consommé *L. sceleratus* (Bentur *et al.*, 2008). D'autres exemples d'effets directs sur la santé humaine causés par des espèces non indigènes invasives concernent des algues toxiques

(*Ostreopsis ovata*, *Alexandrium catenella*); ces effets sont décrits à la section ci-dessous consacrée aux agents pathogènes microbiens.

112. Plusieurs exemples d'impacts d'espèces invasives capables d'occasionner des pertes économiques ont été relevés dans les eaux côtières, où sont concentrées la majeure partie des activités et pressions anthropiques qui déclenchent une tendance à la dégradation des écosystèmes. Par exemple, les macroalgues *Womersleyella setacea* et *Acrothamnion preissii* obstruent les filets de pêche en France et en Italie, où ces espèces invasives sont connues pour leurs impacts sur les engins de pêche (Verlaque, 1989; Cinelli *et al.*, 1984); un autre exemple est donné par la méduse *Rhopilema nomadica*, aujourd'hui distribuée le long de la Méditerranée orientale et remontant vers le nord jusqu'au littoral sud-est de la Turquie avec des impacts sur le tourisme, la pêche et les aménagements côtiers (Galil et Zenetos, 2002). Un autre cas est celui de la crevette mouchetée *Metapenæus monoceros*, qui a en partie remplacé la crevette ceramote indigène *Penæus kerathurus* en Tunisie. Dans l'ensemble, la pêche des crevettes n'a pas diminué et 50% en sont composés par des espèces non indigènes; la perte économique est due au fait que le prix commercial des nouvelles espèces est sept fois inférieur à celui des crevettes indigènes.

113. Cependant, l'impact économique des espèces non indigènes n'est pas toujours négatif. Un nombre significatif d'espèces exotiques sont devenues des ressources halieutiques de grand prix dans la région du Levant pour la pêche côtière. Certaines des espèces les plus notables sont : la conque *Strombus persicus*; les crevettes *Marsupenæus japonicus*, *Metapenæus monoceros* et le crabe *M. stebbingi*; le crabe *Portunus pelagicus* et quelques espèces de poisson tels que les mullidés (*Upeneus moluccensis* et *U. pori*), la bécune *Saurida undosquamis*, la barracuda obtuse de la mer Rouge (*Sphyranea chrysotaenia*), les clupéidés (*Dussummiera acuta*, *Herklotsichthys punctatus*) et le poisson-lapin (*Siganus rivulatus*) (PAM/PNUE/AEE, 2006). Quarante-trois pour cent des ressources halieutiques de la Turquie consistent en espèces exotiques.

114. L'importance de l'impact d'une espèce exotique invasive ne peut être appréhendée sans envisager les conséquences au niveau du fonctionnement de l'écosystème. La vulnérabilité d'un écosystème aux espèces invasives semble être également en rapport avec l'état environnemental: les environnements pollués ou physiquement dégradés sont plus enclins à l'invasion que des sites tout à fait vierges. Par exemple, le ver serpulide cosmopolite *Hydroides elegans*, qui a dominé la faune des marinas polluées, n'était que rarement signalé dans les marinas non polluées (Kocak *et al.*, 1999). La réaction des espèces exotiques à la pollution est si nette que, dans certains cas, ces espèces font de bons candidats pour une évaluation de l'état de qualité écologique.

Pollution

115. La pollution marine revêt de nombreuses formes, y compris les substances dangereuses telles que les métaux lourds et les POP, un excès d'éléments nutritifs (examiné plus haut), les produits pétrochimiques et les débris/détritus. D'autres polluants marins ayant des effets sur les espèces et les écosystèmes marins sont chimiques et microbiologiques. De nombreuses et différentes sortes de polluants pénètrent dans les eaux méditerranéennes par les points de rejet et les sites d'immersion, par les fleuves et le ruissellement, et par le dépôt atmosphérique. Les "points chauds" de pollution connus sont indiqués sur la Figure 1.7.

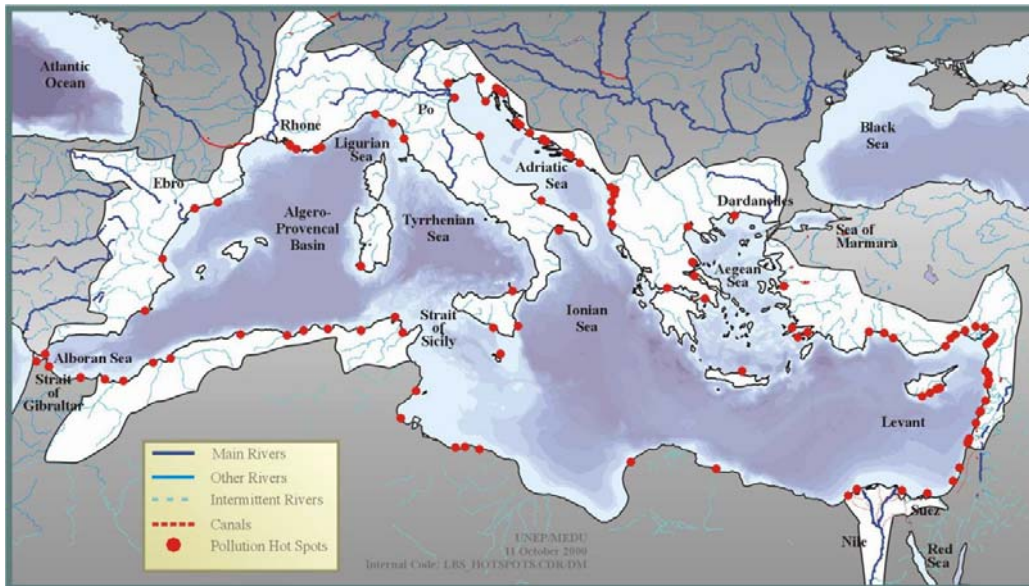


Figure 1.7 "Points chauds" de pollution tels que recensés par le PAM/PNUJ-MED POL

116. Les déblais de dragage et autres formes d'immersion peuvent entraîner des concentrations élevées de métaux lourds et de matière organique, et ceux-ci peuvent s'accumuler dans les eaux profondes. Ces composés pénètrent aussi dans les écosystèmes marins par les déversements fluviaux, le ruissellement et les dépôts atmosphériques. L'amplification des polluants chimiques dans les chaînes alimentaires profondes peut avoir des répercussions sur les espèces marines et la santé humaine. L'influence sur le succès du recrutement et les effets de l'incorporation de certains matériaux dans les réseaux trophiques restent en partie peu connus.

Toxines

117. De nombreux composés dangereux pénètrent dans le milieu marin par la voie atmosphérique. Par exemple, la principale source anthropique de radionucléides dans la mer Méditerranée consiste dans les retombées des essais d'armes dans l'atmosphère et d'accidents comme celui de Tchernobyl en 1986 (PAM/PNUJ/AEE, 2006). Les apports provenant de l'industrie nucléaire sont considérés comme très réduits par rapport aux autres sources. Selon l'AEE (PAM/PNUJ/AEE, 2006), le stock total de radionucléides en mer Méditerranée est en diminution.

118. Le PAM/PNUJ (UNEP, 2002) a procédé à une évaluation des composés organiques et persistants en Méditerranée, dont les hydrocarbures halogénés. Le rapport concluait que, hormis quelques zones soumises à une très forte contamination locale, les composés préoccupants au niveau régional étaient, entre autres, les PCB, le DDT, les HCH et les HCB. D'autres composés, comme les phthalates, les alkylphénols et les PBDE/PBB étaient suspectés d'être ubiquitaires mais les données manquaient. La plupart de ces composés pénètrent dans le milieu marin par les déversements des fleuves et les apports provenant des milieux urbains et des centres industriels.

119. Les études toxicologiques ont relevé des concentrations de PCB qui, chez les poissons des grands fonds (*Alepocephalus rostratus*, *Bathypterois mediterraneus*, *Coryphaenoides guentheri* et *Lepidion lepidion*) étaient inférieures à celles mesurées chez les poissons côtiers, proches des sources de pollution, mais bien supérieures à celles des poissons vivant en haut du talus du plateau continental (*Micromesistius poutassou*, *Phycis blennoides* et *Lepidorhombus boscii*). Les concentrations de PCB relevées se situaient dans la même fourchette que celles des prédateurs supérieurs comme le thon (Porte *et al.*, 2000; Solé *et al.*, 2001). Les concentrations de TPT (triphénylétain) s'avéraient plus élevées chez deux espèces bathyales (*Mora moro* et *Lepidion lepidion*) que chez les bivalves et poissons des ports et des zones côtières (Borghi & Porte, 2002).

120. Le transport maritime entraîne aussi une pollution des eaux, aussi bien lors de la marche normale des navires que lors de leurs accidents et sinistres. Si les activités maritimes en Méditerranée

ont toujours été un élément caractéristique et essentiel de la présence de l'homme, selon Abdulla et Linden (2008), entre 1985 et 2001, une augmentation de 77% a été enregistrée dans le volume des cargaisons chargées et déchargées dans les ports méditerranéens. L'on estime que ce sont au total 200 000 navires marchands qui croisent en mer Méditerranée chaque année, et approximativement 30% du volume transporté par mer au plan international provient des 300 ports de la mer Méditerranée ou s'y dirige. Ces chiffres devraient tripler ou quadrupler au cours des 20 prochaines années. Cette croissance est principalement due au trafic maritime et à une augmentation de la taille des navires

121. Le transport maritime est l'un des principales sources de pollution par les hydrocarbures de pétrole et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) en mer Méditerranée. L'on estime qu'environ 220 000 navires de plus de 100 tonnes chacun traversent la Méditerranée en rejetant 250 000 tonnes de pétrole. Ces rejets résultent des opérations de navigation (comme le rejet des eaux de ballast, le lavage des citernes, la mise en cale sèche, les rejets de carburants et d'huiles, etc.). L'apport de HAP varie en fonction du type d'hydrocarbures rejetés et ils sont estimés varier de 0,3 à 1 000 tonnes par an (UNEP Chemicals, 2002). Les rejets illicites par les navires peuvent être décelés au moyen de l'interprétation des images du radar à synthèse d'ouverture (ERS SAR) (figures 26 et 27).

122. Le transport maritime et la navigation de plaisance sont également liés à la pollution par les composés organostanniques. Ces produits toxiques ont été utilisés pour toute une série d'applications, en général pour leurs propriétés biocides. L'un des plus connus est le tributylétain (TBT) qui était, jusqu'à une période récente, utilisé comme agent antisalissures.

123. En outre, 80 000 tonnes d'hydrocarbures ont été déversées en mer Méditerranée et dans ses parages immédiats à la suite d'accidents de navigation (en prenant en compte les accidents se soldant par des déversements de plus de 700 tonnes) (Figure 1.8). Enfin, les événements survenus aux terminaux pétroliers et les rejets de routine par les installations basées à terre ont été estimées à 120 000 tonnes/an (PAM/PNUE/AEE, 2006).



Figure 1.8. Localisation des principaux déversements accidentels d'hydrocarbures par des navires-citernes (> 700 tonnes) 1990–2005 (réproduit d'après l'AEE - PAM/PNUE/AEE 2006)

124, Le REMPEC (2008) a récemment procédé à un bilan du trafic maritime dans la région méditerranéenne. En 2006, environ 10 000 navires, principalement de grandes dimensions, ont transité par les voies de la région entre des ports non méditerranéens. Les navires marchands opérant dans les limites et à travers la Méditerranée chargent et transportent des cargaisons plus volumineuses. Les navires transitant par la Méditerranée sont en moyenne de 50 000 tpl et ils sont trois fois plus grands que ceux restant dans les limites de la Méditerranée. Au total, l'activité des navires dans les limites de la Méditerranée s'est accrue régulièrement au cours des dix dernières années et l'on prévoit qu'elle s'accroîtra encore de 18 pour cent au cours des 10 prochaines années.

Détritus et débris en mer

125. Associés en partie à l'intensité du trafic maritime dans le Bassin, mais provenant aussi d'autres sources, les débris en mer demeurent un problème pour de nombreuses zones de la Méditerranée. La grande masse de ces débris sont apparemment d'origine ménagère, avec rejet direct en mer. Les infrastructures touristiques y contribuent aussi comme le font les apports fluviaux, les ordures des bateaux et navires et les rejets par les municipalités (voir Figure 1.9).

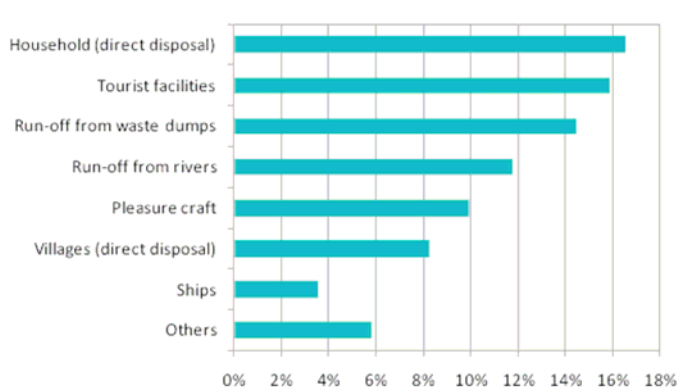


Figure 1.9. Sources des débris en mer (Plan Bleu, 2009)

126. L'immersion de navires abandonnés, de boues portuaires et autres matières dangereuses au large représente un risque pour les écosystèmes méditerranéens. Les rejets accidentels qui se produisent lors des accidents de navigation et les déversements accidentels d'hydrocarbures constituent un péril grave pour les organismes marins. L'exploration pétrolière et gazière, notamment le recours aux réseaux sismiques, peuvent avoir des conséquences marquées sur les organismes marins. Les activités associées, telles que la pose de pipelines, peuvent avoir des effets supplémentaires.

127. Les océans et les mers sont des sites d'accumulation de déchets solides, liquides et atmosphériques, ce qui paraît manifeste aux abords du littoral, mais aussi dans les grands fonds affectés. Soixante-dix pour cent des investigations de chaluts remorqués de la haute mer contiennent des débris et débris tels que plastiques, bouteilles en verre, canettes et boîtes en métal, câbles de nylon et feuilles plastique (Galil *et al.*, 1995). Les ordures produites par les navires sont considérées comme une source majeure de déchets en Méditerranée. Bien que leur rejet (à l'exception des déchets alimentaires) soit interdit dans les eaux méditerranéennes, ces réglementations ne sont d'ordinaire pas effectivement appliquées.

Eutrophisation, proliférations algales et méduses

128. Un apport excessif d'éléments nutritifs (azote et phosphore) est un problème de pollution majeur dans de nombreuses zones côtières développées. Les sources de ces éléments nutritifs comprennent les eaux usées anthropiques non traitées, les déjections animales, les engrais utilisés dans l'agriculture et l'aménagement paysager (et les terrains de golf), et les rejets industriels (usines de transformation du poisson, etc.). Les exploitations aquacoles, aménagées le long des côtes, sont un facteur croissant à l'œuvre derrière l'eutrophisation.

129. La concentration d'éléments nutritifs entrant en Méditerranée a augmenté au cours des dernières décennies, comme l'illustre le graphique à barres ci-dessous (Figure 1.10).

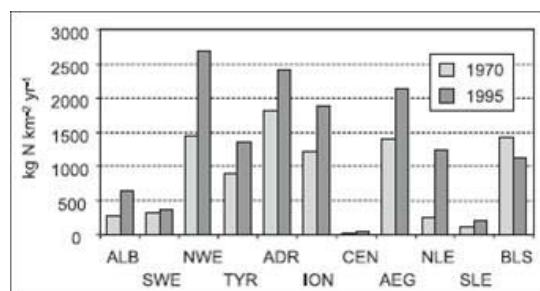


Figure 1.10. Utilisation d'engrais dans les bassins versants de la mer Méditerranée et de la mer Noire en 1975 et 1995. (Source: Ludwig *et al*, 2009)

130. Un rapport de l'AEE (2009) a récemment évalué les charges/émissions d'azote dans les États membres de l'UE. L'agriculture et le transport étaient cités comme les principales sources de pollution par l'azote. Quand cette pollution dépasse certains niveaux ('charge critique'), elle est préjudiciable à la biodiversité par suite de l'eutrophisation, etc. Dans les pays de l'UE, environ 47 % des zones d'écosystèmes (semi-) naturelles étaient exposées à des dépôts d'éléments nutritifs azotés ayant entraîné une eutrophisation en 2004. Le degré de dépassement des charges critiques variait notablement selon les pays de l'Europe.

131. Le rapport PAM/PNUE-CAR/PB (2009) fournit de plus amples détails, évaluant l'importance respective des différentes sources de rejets/émissions d'éléments nutritifs, de matières organiques et du total des solides en suspension (TSS) en Méditerranée. Cette évaluation se fondait sur les Bilans de base nationaux (BBN) reçus des différents pays méditerranéens. Elle concluait que, pour l'azote, les plus gros émetteurs étaient le traitement des eaux urbaines résiduaires (31%), l'élevage (19%) et l'industrie métallurgique (11%); pour le phosphore, la production d'engrais représente la majorité des émissions (63%), suivie de l'élevage (20%) et du traitement des eaux urbaines résiduaires (8%).

132. Un enrichissement localisé en éléments nutritifs localisés et matières organiques aboutit souvent à une productivité primaire accrue, éventuellement aussi aux proliférations algales anormales. Ces phénomènes peuvent ou non être associés à des conditions eutrophes. Bien que de telles proliférations soient souvent dues à des conditions naturelles, d'autres sont, du moins en partie, dues à des rejets/émissions anthropiques. Ces phénomènes de proliférations accrus sont souvent aisément décelables à partir de l'espace.

133. Quand les algues apparaissent en quantités importantes et produisent des toxines, on parle de proliférations algales nocives (Harmful Algal Blooms, ou HAB). Les HAB sont un phénomène mondial et elles ont aussi atteint la mer Méditerranée (Smayda, 1990). Leur nocivité peut être due à la production de toxines ou à l'accumulation de leur biomasse, qui peut affecter les organismes de présence concomitante et altérer la dynamique de la chaîne alimentaire. Les effets comportent un état pathologique chez l'homme et d'éventuels décès par consommation de toxines HAB ou exposition indirecte à celles-ci, d'importantes pertes économiques pour les communautés côtières et la pêche commerciale, et une mortalité associée aux HAB chez les poissons, les oiseaux et les mammifères.

134. La présence du dinoflagellé tropical toxique *Ostreopsis ovata* dans diverses zones telles que le nord de l'Égée suscite des préoccupations car il s'est avéré produire une toxine, analogue de la palytoxine (palytoxine putative, p-PLT) (Aligizaki & Nikolaidis, 2008). La détection de cellules de *Gambierdiscus* sp. sur les côtes ouest de la Crète en septembre et octobre 2007 est le premier relevé de l'agent responsable de la ciguatera en mer Méditerranée. Des intoxications périodiques aux mollusques provoquées par des efflorescences de dinoflagellés toxiques ont été observées en Espagne, en France, en Italie, au Maroc, en Algérie et en Turquie.

135. Les modifications dans le temps de l'abondance des espèces indigènes non toxiques peuvent aussi avoir un effet perturbateur sur l'écologie. Par exemple, des proliférations régulières des méduses *Scyphozoa* sont également très courantes en Méditerranée (CIESM, 2001) mais semblent être devenues plus fréquentes au cours de ces toutes dernières années. Les manifestations les plus spectaculaires ont été celles de *Pelagia noctiluca*. De fortes densités de *Pelagia* ont été régulièrement observées au cours des 12 dernières années dans l'ensemble de la Méditerranée (Ramsak & Stopar,

2007). La méduse commune *Aurelia aurita* est généralement présente en hiver/printemps en mer Adriatique mais récemment sa prolifération est devenue très nette, en particulier dans les régions côtières du nord de l'Adriatique. Il en va de même pour la méduse *Rhizostoma pulmo*, qui prolifère pendant l'automne et l'hiver au nord de l'Adriatique. De nombreuses hypothèses ont été avancées pour expliquer ces proliférations fréquentes dans l'ensemble du monde, qui s'appliquent aussi à la Méditerranée: fluctuations climatiques, eutrophisation, surexploitation, transport des méduses via le trafic maritime (Mills, 2001; Lynam *et al.*, 2004; Purcell *et al.*, 1999).

Propagation des agents pathogènes

136. Ces dernières années, des mortalités en masse dues à l'apparition de foyers de maladies ont frappé de nombreux taxons en mer Méditerranée. Pour des groupes étroitement surveillés comme les coraux et les mammifères marins, les rapports sur la fréquence des épidémies, le nombre de nouvelles maladies ont augmenté récemment. En dépit du nombre croissant de cas signalés, on en sait très peu sur les agents infectieux qui peuvent agir dans les écosystèmes tempérés. Le principal problème tient à l'effort nécessaire pour déterminer l'agent responsable (UNEP-MAP-RAC/SPA 2008). Il est incontestable que le climat et les activités humaines peuvent avoir accéléré le transport d'espèces dans le monde, mettant en contact les agents pathogènes et des populations hôtes jusque là non exposées (Harvell *et al.*, 1999).

137. Un agent pathogène est défini comme "tout organisme qui vit sur ou au sein d'un autre organisme (l'hôte) et cause une maladie chez ce dernier" (FAO, 1998). Dans l'ensemble, les agents pathogènes sont des agents de maladies véhiculées par l'eau, dont les virus, les bactéries et les protozoaires (Gerba, 1996). Si de nombreuses espèces d'agents pathogènes microbiens sont connues pour apparaître sous des conditions naturelles dans l'eau ou provenir de sources de contamination fécale, d'autres peuvent apparaître et se multiplier en raison de l'invasion d'espèces non indigènes et invasives et par suite de la survenue d'un changement climatique.

138. In addition to those occurring naturally in marine waters, such as the cholera bacterium (*Vibrio cholerae*), pathogens are carried into waterways via sewage effluent, agriculture and storm water runoff, ship waste discharges, recreational aquatic activities, industrial processes, septic tanks closed to the shore and wildlife (WHO, 2003). The sewage collection systems are often only connected to parts of the urban population, which lead to direct discharge of untreated wastewater into the sea through other outfalls (UNEP/MAP-EEA, 2006). The rapid growth of many coastal cities, especially in the southern Mediterranean, makes the problem even more acute; coastal beaches are subject to heavy human activity and susceptible to microbial contamination as well.

139. La survie des agents pathogènes dépend de facteurs tels que la qualité de l'eau, de l'apport d'éléments nutritifs, de la salinité, de l'exposition à la lumière solaire, et l'identification des risques associés est déterminante. Ces questions sont régies par la directive-cadre sur l'eau (DCE) de l'UE (2000/60/CE) et par la directive-cadre Stratégie pour le milieu marin (DCSMM) de l'UE (2008/56/CEC), qui proposent des stratégies pour prévenir et réduire la pollution de l'eau.

140. Recreational waters generally contain a mixture of pathogenic and non-pathogenic microorganisms. Consequences of pathogens on human health frequently include gastrointestinal illness (Kay *et al.*, 1994) and skin rashes, fever, acute febrile respiratory illness caused by pathogenic bacteria and protozoa (Fleisher *et al.*, 1996a), salmonellosis, meningo-encephalitis, cryptosporidiosis, and giardiasis (Prüss, 1998).

141. Les impacts des agents pathogènes sur le milieu marin peuvent causer des pertes de la biodiversité. Par exemple, les infections à *Aeromonas spp.* sont responsables de septicémies hémorragiques.

142. While "classic" pathogens – related pressures and incidences are already known, the concern for "new" pathogens is recently increasing. The explanation of such rises is mostly linked up to two main causes, invasion of alien or invasive species and climate change, that have been implicated in the decline and even collapse of several marine ecosystems (Harris and Tyrrell, 2001; Stachowicz *et al.*, 2002; Frank *et al.*, 2005).

143. Whether intentional or non-intentional, alien species present a growing problem due to the fact that they are importing subset of their parasitofauna, thus releasing themselves from the parasites of their native habitat into the new environment. The introduction of new species on endemic populations, a process termed “pathogen pollution”, lead to the co-introduction of parasites through the alteration of pre-existing infectious disease dynamics (Daszak *et al.*, 2000). Pathogenic microbes can devastate populations of marine plants and animals, causing loss of biodiversity. Yet, many sessile organisms such as seaweeds and sponges suffer remarkably low levels of microbial infection, despite lacking cell-based immune systems.

144. A recent study of the rabbitfish (*Siganus rivulatus*) has shown the prevalence of its Erythrean monogenean ecto-parasite *Polylabris cf. mamaevi* off the Mediterranean coast is three times as high as the one found in the Red Sea population. These authors ascribe the heavier infection to “changes in the natural environment and impact of anthropogenic factors encountered by the rabbitfish in their new Mediterranean habitats” (Pasternak *et al.*, 2007).

145. Une autre question compliquant le tableau de la propagation des agents pathogènes est le changement climatique. Les stress physiologiques associés à celui-ci peuvent compromettre la résistance de l’hôte et accroître la fréquence des maladies opportunistes (Harvell *et al.*, 1999).

146. Certains auteurs avancent l’hypothèse selon laquelle la multiplication des agents pathogènes thermo-dépendants est favorisée par le réchauffement de la Méditerranée (Bally et Garrotte, 2007; Susan *et al.* 2003). Pérez (2008) a aussi communiqué des foyers de maladie comme un impact potentiel du changement climatique sur la faune benthique marine. Ces maladies peuvent causer des mortalités parmi les invertébrés benthiques, que ce soit en raison de leur plus faible tolérance induite par les modifications des variables environnementales que du fait que certains de ces agents pathogènes sont plus nocifs par suite des températures plus élevées.

Changement climatique

147. Le changement climatique est la toile de fond sur laquelle s’inscrivent toutes les modifications et pressions d’origine anthropique. Il a beaucoup été écrit à propos des effets prédits du changement climatique sur les écosystèmes de la Méditerranée, ainsi que sur l’altération des cycles du carbone et de l’azote. En fait, l’on se ne saurait réfuter la preuve que le changement climatique a déjà eu un impact sur l’écologie méditerranéenne. Cependant, comme la présente évaluation a pour objet de préciser les menaces que l’on peut détourner grâce à une gestion révisée au titre d’une approche écosystémique, les menaces que fait peser le changement climatique ne seront pas détaillées dans le présent rapport.

II. Sous-région #1 Méditerranée occidentale

A. Caractéristiques physiques et chimiques

Bathymétrie

148. La mer Méditerranée occidentale peut être divisée en quatre grandes unités morphologiques (Rehault *et al.*, 1984). La *plaine bathyale*, entourée par l'isobathe de 2700 m, se situe à la partie centrale la plus profonde du bassin, avec une profondeur maximale (jusqu'à 2 850 m) atteinte au sud-ouest de la Corse, dans la plaine sardo-baléare. Les sommets de quelques dômes de sel enfouis se rencontrent sous forme de monticules, de 50 à 100m de haut, ponctuant les plaines bathyales plates ligurienne et algérienne. *Les éventails détritiques du glaciais continental et des grands fonds* (entre 2 000 et 2 700 m) sont largement développés dans la partie nord du bassin, où il y a trois grandes masses sédimentaires ayant déposé par gravitation. L'éventail détritique en eau profonde du Rhône, comportant de nombreux lobes élémentaires, a le plus vaste prolongement avec un canal en eau profonde et des branches latérales servant de collecteurs. Dans la mer Ligurienne, les apports sédimentaires des fleuves Var et Roya et des canyons construisent un éventail détritique confluent en eau profonde. Enfin, la majeure partie du golfe de Valence, d'une profondeur supérieure à 1000 m, appartient à la zone géomorphologique du glaciais continental. Le canyon de l'Èbre et de nombreux canyons plus courts sous-marins coupent le talus continental et fusionnent en un éventail détritique complexe, comportant maintes masses sédimentaires juxtaposées. Des crêtes et parois salines allongées sont observées, à direction NE-SO ou NO-SE (bassin Liguro-Provençal), N-S (sud du golfe du Lion) et E-O (bassin algérien). Par comparaison avec le glaciais provençal ou catalan, les glaciais corse, sarde, baléare et algérien sont encore très étroits.

149. Cette asymétrie du bassin résulte de la différence des apports sédimentaires à partir des deux zones de bordures continentales de la Méditerranée: au nord, le glaciais continental et l'éventail détritique profond sont alimentés par les afflux sédimentaires véhiculés par de grands fleuves européens comme la Roya, le Var, le Rhône et l'Èbre; mais les fleuves sont de taille modeste en Corse, en Sardaigne, aux îles Baléares et en Algérie, et par conséquent les bords sont resserrés.

150. Hormis au large du golfe du Lion, à l'ouest de la Sardaigne, au promontoire sud de Minorque et au plateau d'Ibiza, les régions du plateau et du talus continentaux sont étroites dans l'ensemble du bassin méditerranéen. La plupart des plateaux continentaux sont issus de petits prismes progradationnels du Pliocène et du Quaternaire, construits sur les surfaces érosionnelles messiniennes, mais le Rhône et l'Èbre construisent une plateforme prograde large et épaisse dans le golfe du Lion et le golfe de Valence. La profondeur de la rupture de pente du plateau est variable: au large de la Provence, de la Corse, des îles Baléares et de l'Algérie, elle n'a pas plus de 100 à 125 m de profondeur. Elle est plus profonde au large de la Toscane (130-150 m) et atteint 200 à 235 m au large de l'ouest de la Sardaigne. Comme le montre la bathymétrie computerisée (<http://www.ifremer.fr/caraibes>), la pente est abrupte (6 ° à 10°), rocheuse ou recouverte par une fine couche sédimentaire, et divisée en paliers successifs. Quand la côte est montagneuse (Provence, Alpes ligures, Corse, Algérie, île Baléares Sud), la pente est localement de plus de 15°.

151. Autour du Bassin méditerranéen, de nombreux canyons sous-marins entaillent le talus continental, et certaines incisions profondes atteignent les couches sédimentaires prépliocènes, parfois le socle antémésozoïque. Elles sont issues de la crise messinienne qui a conduit à une baisse du niveau de la mer, voici 5 à 6 millions d'années (Bache *et al.*, 2009; Garcia-Castellanos *et al.*, 2009).

152. *La mer d'Alboran* doit être décrite séparément. Le bassin occidental algérien est délimité par des isobathes de 2000 m. Le bassin de la mer d'Alboran peut être divisé en trois unités morphologiques, avec la partie moyenne, la dorsale d'Alboran, délimitée par les isobathes de 1000 m, des directions NE--SO, qui séparent deux bassins, profonds respectivement de 1500 m (au nord) et de 1100 m (au sud). Vers le sud et vers le nord, les larges plateaux marocain et espagnol (1000 m) sont des extensions vers le large des bordures continentales africaine et ibérique. Vers l'Est, la profondeur diminue doucement de 1000 m jusqu'au rivage. Reposant sur la croûte océanique, la colonne sédimentaire est très épaisse (atteignant 7 km) et peut être divisée en trois couches: une couche détritique inférieure, une couche moyenne d'évaporites, et une couche turbiditique supérieure.

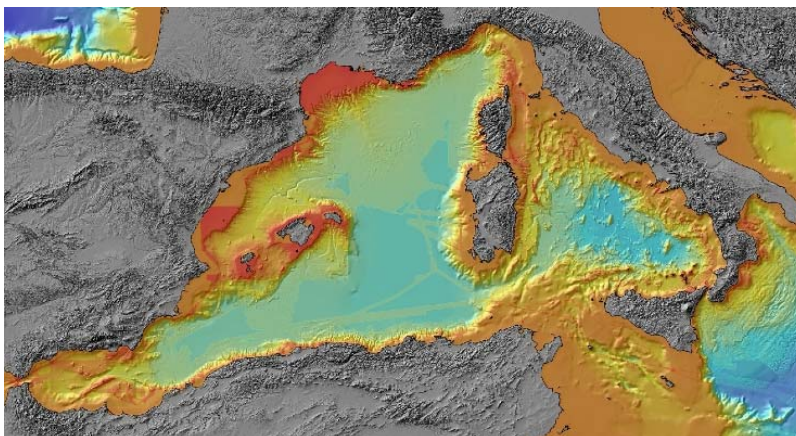


Figure 2.1 : Bathymétrie du bassin occidental de la mer Méditerranée (d'après Geosciences Azur, IFREMER, CIESM, 2008) et données provenant des pays environnants)

153. Le plateau continental de cette sous-région est fragmenté et discontinue. Extrêmement réduit, il disparaît le long des montagnes côtières et se développe à proximité et au large des grands fleuves comme le Rhône, l'Èbre et le Tibre, et dans les grands golfes (golfe de Lion) ou les baies (Alger, Algésiras, Tunis, etc.).

Sédiments

154. La sédimentation est d'origine double: biogénique à partir des organismes planctoniques ou benthiques, et terrigène à partir des sédiments fluviaux (de granulométrie fine et grossière). Cette dernière est la plus importante. La distribution des sédiments terrigènes sur le fond de la mer se fait selon un gradient bathymétrique ou un gradient des formes de vase de la côte à la mer avec une succession caractéristique de faciès sédimentaires: sable fin, sable fin vaseux, boue sableuse et vase réelle. La vase sableuse et la boue sableuse sont des sédiments de transition permettant le passage du sable fin côtier à la vase pure du large. Au pied des promontoires entourant les baies et les golfes du littoral africain, le fond de la mer est rugueux (sable très grossier, gravier). Puis la distribution suivante des faciès sédimentaires est un modèle général pour les rivages du sud. Le sable fin se situe dans les eaux peu profondes où ils forment une étroite bande côtière. La vase est parfois pure et occupe presque entièrement le plateau continental (golfe d'Al-Hoceima, baie d'Arzew, Bou Ismail, golfe de Bejaia, Skikda, baie de Tunis), alors que l'absence de fleuves et d'oueds (baie d'Oran) favorise le sable grossier et le gravier. Des apports directs de sédiments influencés par les mouvements tectoniques ont été décrits pour le bassin occidental. Ils font office de sources importantes de métaux en traces naturels et complètent d'autres sources provenant de cycles biogéochimiques (Rajar *et al.*, 2008). Il est difficile de distinguer entre ces deux sources.

155. Les apports liés à la tectonique sont importants dans les zones volcaniques et autour des sources géothermiques comme au sud de la mer Tyrrhénienne. Ces contributions expliquent les concentrations naturelles importantes de métaux autour de certaines îles (Éoliennes, Sardaigne, Palmarola). La présence de mines situées en amont des fleuves ou des cours d'eau du bassin (Almaden, Espagne, Monte Amiata en Toscane) est aussi une source de sédiments enrichis (UNEP-MAP, 1996).

156. La remise en suspension naturelle des sédiments est dominée par des vagues de courte durée jusqu'à 40 m de profondeur. Les vents côtiers (mistral, tramontane sur la rive nord et sirocco au sud) n'ont pas d'effet sur la remise en suspension mais régulent la dispersion vers le large des eaux turbides. Ce phénomène naturel permet de libérer les éléments nutritifs piégés dans l'eau des pores sédimentaires. Les impacts du chalutage des fonds sont très comparables à ceux de violentes tempêtes localisées, et ils influent sur la remise en suspension des sédiments fins des plateaux continentaux (50 m à 200 m de profondeur) où les effets des vagues et des courants sont négligeables. À l'échelle de la flotte de pêche du golfe du Lion, le volume de sédiments remis en

suspension (5 millions de tonnes, # 3% des apports de tempêtes) équivaut à un apport de particules du Rhône (Ferre *et al.*, 2008). Ainsi, les éléments nutritifs remis en suspension sont en quantités supérieures de plusieurs ordres de grandeur à celles des flux naturels et de la bioturbation. Aussi doivent-elles être prises en compte pour l'évaluation des cycles biogéochimiques.

157. Sur les rives sud, les particules atmosphériques du corridor Sahara-Sahel (Sahara occidental, Algérie, Tchad et Niger) sont des sources naturelles d'aluminium, de fer et de la plupart des métaux en traces, et elles contiennent des niveaux élevés de molécules d'origine anthropique (Zn, Pb, Cd) ou de produits chimiques lixiviés après abrasion de roches naturelles (chrome, nickel). Toutes les côtes du bassin sud sont concernées (Castillo *et al.*, 2007). Dans certaines zones comme Annaba (Algérie), les flux de particules et les vents atmosphériques sont responsables d'apports atmosphériques de plomb, chrome, manganèse, nickel, cadmium et cobalt associés à la présence d'activités industrielles (Khoja ali *et al.*, 2008).

158. Une évaluation du bilan des flux de carbone organique particulaire (COP) réalisée dans la partie profonde du bassin N-O (Ziga *et al.* 2008) a démontré le faible apport de ce carbone aussi bien dans les eaux profondes de la mer Thyrrénienne que dans le bassin d'Algero aux Baléares, principalement en rapport avec la dispersion d'une eau froide dense dans l'ensemble des bassins qui apportait des particules à des profondeurs supérieures à 2000 m. La structure des tailles du phytoplancton peut aussi dépendre plus directement des forces hydrodynamiques que de la source de l'azote disponible (Rodriguez *et al.*, 2001) et des mesures de pièges à sédiments dérivants ont indiqué des flux extrêmement variables de lipides planctoniques et terrigènes à 200 m en Méditerranée N-O et que les impulsions dépendaient de l'intensité du poids sec des particules, du plancton et des processus d'aggrégation (Mejanelle et Dachs, 2009).

Circulation océanique

159. La Méditerranée occidentale a un bilan hydrique négatif: la déperdition atmosphérique par évaporation l'emporte sur les gains dus aux précipitations, aux déversements des principaux fleuves et aux apports de la mer Noire. Comme le Bassin est limité par les détroits peu profonds de Gibraltar et de Sicile, l'afflux superficiel d'eau chaude de l'Atlantique transformée en eau méditerranéenne dense reste pour la plus grande partie piégée dans les zones plus profondes.

160. Une vaste cellule thermohaline englobe l'ensemble de la Méditerranée et résulte principalement du déficit en eau et des flux de chaleur, forcés par les échanges qui s'effectuent par le détroit de Gibraltar. La formation puis l'étalement des eaux intermédiaires, associés à l'apport d'eaux de l'Atlantique par le détroit de Gibraltar, contribuent à cette circulation thermohaline. Tout en progressant vers l'Est, les eaux de l'Atlantique deviennent progressivement plus denses avant d'être transformées en eaux denses le long du littoral de l'Afrique du Nord (Bethoux *et al.*, 2002, Gasparini *et al.*, 2005). La contribution de l'eau formée dans le bassin du Levant (eaux intermédiaires levantines) est également essentielle pour la formation d'eaux profondes dans le bassin occidental via le Canal de Sicile-Tunisie.

161. La circulation profonde dans les deux principaux sous-bassins, séparée par le canal de Sicile, est découplée et composée de deux cellules thermohalines minimales forcées par des phénomènes de formation d'eau dense se produisant dans le golfe du Lion pour la Méditerranée occidentale. Des conditions hydrographiques favorables provoquent la formation d'eaux profondes et intermédiaires, qui se produit en Méditerranée quand des vents violents et des structures cycloniques sont observées de manière récurrente. Les eaux intermédiaires levantines en Méditerranée orientale sont caractérisées par un pic de salinité et de température et représentent le facteur le plus important de la circulation thermohaline méditerranéenne et sont en fait la principale composante des eaux méditerranéennes affluant dans le bassin occidental par le canal de Sicile. En outre, elles représentent la principale composante du flux de sortie des eaux au détroit de Gibraltar, lequel est principalement dû à la différence de densité entre les deux côtés du détroit. Les vents du nord et la circulation permanente force la formation d'eaux profondes, qui s'effectue dans le golfe du Lion pendant l'hiver. Les caractéristiques (densité, température et salinité) des eaux profondes sont déterminées par la longue accumulation des eaux denses formées au cours des hivers successifs jusqu'à un niveau supérieur aux seuils. Au détroit de Gibraltar, le flux de sortie des eaux méditerranéennes (plus salées) descend fortement le long de la pente dans l'océan Atlantique avec un débit 10 à 20 fois plus important que les apports méditerranéens, et il influe sur la couche profonde

et la circulation thermohaline dans l'océan Atlantique. Les volumes d'eau échangés à Gibraltar sont principalement fixés par les conditions locales près du détroit.

162. La principale caractéristique de cette sous-région est le fort courant (Liguro-Provençal), qui quitte la côte italienne et se dirige vers le sud-ouest le long des marges continentales, et un front intensif allant des îles Baléares à la Sardaigne. L'afflux des eaux de la mer d'Alboran et le courant nord dans la mer Ligurienne présentent à la fois des mouvements verticaux qui induisent d'importants échanges de propriété entre la couche de surface et les couches plus profondes. Ces mouvements verticaux ont un rôle important sur les apports d'éléments nutritifs hétérogènes dans la couche mixte et affecte la distribution des agrégats marins.

163. Dans la partie sud, les courants algériens sont instables et génèrent (50-100 km) des tourbillons à extensions verticales vers le fond à environ 3000 m et des durées de vie dans un intervalle de l'ordre de mois-année. Les tourbillons se propagent habituellement vers l'est le long du talus continental à une vitesse de quelques km/jour. Ils peuvent se détacher et dériver dans la pleine mer du bassin. Cette activité à moyenne échelle entraîne l'envoi de masses d'eau aux niveaux superficiel, intermédiaire et profond. Dans les parties nord, le courant à moyenne échelle a un signal saisonnier clair et est associé à la formation d'eau profonde. Pendant l'hiver, le courant est plus fort et plus rapide. Des tourbillons génèrent un upwelling et une subduction importants. Le long du talus continental, les courants suivent des canyons sous-marins en produisant des remontées et descentes d'eau (upwellings et downwellings) qui affectent les transferts trans-talus de matière particulaire et biogène. Ce processus peut être renforcé par des tempêtes concomitantes qui chassent l'eau du plateau ou entraver un rejet intensif d'eau douce (Ulses *et al.*, 2008). Les régions du plateau sont affectées par la dynamique des panaches fluviaux, la circulation à moyenne échelle due aux vents et un transport intensif d'eau qui régule les échanges d'eau et d'éléments biogéochimiques provenant des zones côtières enrichies vers l'intérieur du bassin. Les rejets d'eaux douces par les grands fleuves (par ex., le Rhône, le Pô) produisent des flux flottants hautement stratifiés, parfois au delà du plateau continental. Enfin, les mesures altimétriques ont montré que l'altitude de la surface de l'eau a changé depuis la dernière décennie sur le Bassin méditerranée. L'amélioration des capteurs qui surveillent la région méditerranéenne avec une résolution temporelle plus élevée a rendu possible l'observation de ces changements, lesquels devraient être en rapport avec le changement climatique.

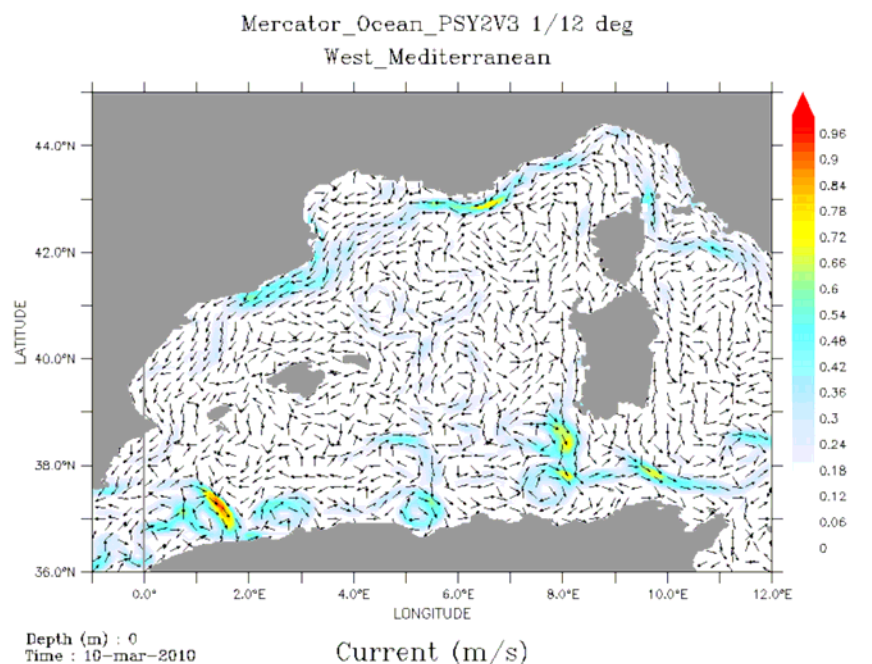


Figure 2.2: Circulation générale à grande échelle dans le bassin occidental de la Méditerranée le 10 mars (Mercator, <http://www.mercator-ocean.fr/>) et le 21 mars (<http://www.cnr.it/sitocnr/home.html>)

164. Les fleuves sont des sources importantes d'eau douce et d'éléments nutritifs pour la mer méditerranéenne. Une reconstruction de la variabilité temporelle et spatiale de ces apports depuis le début des années 1960, fondée sur les données disponibles concernant les déversements, les concentrations d'éléments nutritifs et les paramètres climatiques, a été récemment réalisée (Ludwig *et al.*, 2009). Les résultats ont montré que les fleuves pâtissent d'une réduction significative du déversement d'eau douce, que l'estime avoir été au moins de l'ordre de 20% entre 1960 et 2000. Il se pourrait même que les changements climatiques récents et la construction de barrages aient encore réduit davantage les déversements. Les fleuves jouent un rôle particulier en soutenant la productivité marine dans la mer Méditerranée. Cette dernière est un bassin semi-fermé et possède une valeur élevée de zone de drainage vers la zone superficielle par comparaison avec le grand large de l'océan. L'importance de la forte subordination aux apports fluviaux est liée au caractère oligotrophe de la mer Méditerranée. Comme les éléments nutritifs sont exportés vers l'océan Atlantique, ils sont perdus pour la production primaire interne du Bassin. De ce fait, les zones de forte productivité sont principalement restreintes aux eaux côtières situées à proximité des grands apports dulçaquicoles, comme le montre les images satellite sur les concentrations de chlorophylle dans les eaux de surface (Bosc *et al.*, 2004).

165. Les estimations du flux total d'eaux douces fluviales dans la mer Méditerranée a été établie au moyen d'inventaires des grands fleuves, de la cartographie des profondeurs moyennes d'écoulement, de la modélisation ou des inventaires par pays des ressources en eau. La plupart de ces estimations varient autour de 400 à 450 km³ an⁻¹ pour la Méditerranée. Une quantification précise de la réduction est compliquée par le fait que se superpose également à l'évolution les cycles de périodes humides et de périodes sèches. Les séries à long terme de précipitations et de rejets (par ex. dans le Rhône) indiquent que, dans la partie nord de la Méditerranée, ces cycles surviennent à des intervalles d'environ 20 ans (Zanchettin *et al.*, 2008). Une diminution du déversement total d'eau douce de 80 à 100 km³ an⁻¹ par les fleuves constitue par conséquent une estimation réaliste pour les 40 à 50 dernières années dans l'ensemble de la mer Méditerranée. Les résultats des analyses font ressortir de fortes tendances négatives pour la moitié aux deux tiers des fleuves méditerranéens.

166. Des tendances négatives plus prononcées apparaissent pour les fleuves qui ont été affectées par la construction de barrages, comme l'Èbre en Espagne et la Moulouya au Maroc. Le Rhône ne suit pas la tendance générale. Le déversement de ses eaux reste à peu près constant car il n'est pas affecté par le climat méditerranéen dans la partie nord de son bassin.

167. La surveillance climatique et les études de modélisation ont mis en évidence une tendance générale à des conditions plus sèches et plus chaudes, qui a déjà commencé au cours du siècle dernier et que l'on présume devoir empirer encore à l'avenir (Giordi et Lionello, 2008). L'on peut s'attendre à de graves répercussions sur les déversements fluviaux et les modifications des apports d'eaux fluviales en Méditerranée sont par conséquent des facteurs potentiel de changements à long terme dans les écosystèmes marins. S'agissant des bassins versants de la Méditerranée occidentale, l'on observe une tendance négative extrêmement significative des précipitations avec une diminution moyenne d'environ 11%. Cette diminution est particulièrement importante pour la mer d'Alboran (34%). De même, la mer du sud-ouest paraît affectée par une baisse des précipitations. D'autre part, la température s'est fortement accrue. Lespinas (2008) a fait état d'une hausse moyenne d'environ 1,5 °C pour la période 1965–2004 dans une étude régionale sur les bassins versants du golfe du Lion. Bien que les précipitations annuelles soient restées approximativement constantes, il est apparu que les déversements d'eau avaient diminué dans cette région, principalement en raison d'une réduction, en rapport avec la température, du stockage d'eau interne sous forme de neige, et des réservoirs du sol et des eaux souterraines.

168. Les réservoirs peuvent réduire les déversements naturels d'eaux par les fleuves, notamment quand ils permettent l'extraction d'eau aux fins d'irrigation des champs. L'Èbre, en Espagne, est un exemple type où la construction de barrages n'a cessé de se développer à des fins agricoles. Ce fleuve compte aujourd'hui plus de 130 barrages dans son bassin, et la réduction forte et continue de ses déversements d'eau est couramment attribuée aux utilisations anthropiques de l'eau (Ludwig *et al.* 2009). Un exemple intéressant est celui du fleuve Moulouya dans le bassin versant de la mer d'Alboran. Là, le stress hydrique induit par le climat a été important dans cette région de la Méditerranée et un grand barrage (Mohamed V) a été construit en 1967 (Snobissime *et al.* 2002). La diminution prévue du débit de ce fleuve (72%) se retrouve presque entièrement dans les analyses

tendancielle et les déversements observés avant et après la construction du barrage autorisent à penser que l'extraction d'eau pourrait avoir réduit d'environ 20% le déversement fluvial

169. Les vents du nord-ouest (mistral, tramontane) qui dominent la rive nord du bassin occidental de la Méditerranée influent sur les courants générés dans le nord du bassin. Bien que ses effets soient secondaires sur l'ensemble du bassin, l'upwelling créé par ces vents et courants nord-ouest entraînent des phénomènes physiques complexes qui favorisent la redistribution d'éléments dissous, de particules et des couches néphéloïdes du fond et la récupération à la surface de l'eau des éléments nutritifs. Ce brassage occasionne l'homogénéisation de l'eau, notamment avec les eaux des grands fleuves, comme dans le delta du Rhône et l'estuaire de l'Èbre. La période aride 1990-2000, la diminution importante des apports d'eau, le piégeage des sédiments dans les barrages sont les principales raisons de la baisse du flux de matières d'origine fluviale. Des études de l'Agence nationale des ressources hydriques (ANRH) de l'Algérie ont clairement mis en évidence le lien entre les rendements en sédiments et les débits des déversements. Les volumes de sédiments piégés dans les barrages situés dans les zones côtières prive les plages des apports de particules solides, ce qui est illustré par le cas des oueds représentatifs du littoral de l'Afrique du Nord.

170. Des gradients prononcés concernant de nombreux paramètres physiques et chimiques se produisent dans les estuaires (Chapman et Wang, 2001) et affectent la quantité et la composition des matières organiques dissoutes et des particules colloïdales, qui jouent un rôle important dans le transfert de contaminants et leur transformation puisque la force ionique et les phénomènes de précipitation altèrent la biodisponibilité des contaminants. En raison des gradients de salinité, la stratification de l'eau est courante, occasionnant des courants dont la densité dépend de la topologie dans le cas du Rhône et de l'Èbre. L'analyse des séries chronologiques du climat, des courants et des flux de matières particulaires (Durrieu de Maderon *et al.*, 1999) a indiqué que les particules transportées au fond pourraient être liées aux échanges de sédiments entre la marge continentale et les grandes profondeurs plutôt qu'aux seuls apports atmosphériques ou au transport à partir des grands fleuves. Dans ce cas, les oscillations verticales du flux sur le talus continental régissent une grande partie des contributions au fond et subissent d'importantes variations saisonnières dues aux fluctuations de la température verticale .

171. Les courants isopichaux sont susceptibles d'appuyer un très important transfert au canyon adjacent profond de plus d'une centaine de kilomètres pour atteindre les lobes distaux. Dans ces conditions, le transport de contaminants associé aux particules sédimentaires dans les plaines abyssales doit être envisagé. Enfin, les contributions liées à des inondations accidentelles ou à des tempêtes sont en rapport avec des événements climatiques exceptionnels. Ils affectent le transport de sédiments dans les fleuves, y compris les petits fleuves (Gremare *et al.* 2003). Dans ce cas, une importante contribution de sédiments mais aussi de substances dissoutes ou de contaminants est assumée par l'hydrodynamique locale et concourt à l'enrichissement des côtes et des canyons. Le rôle des vagues et des courants générés par des régimes de vents du littoral et du large a été déterminé comme mécanismes dominants de la dispersion des panaches fluviaux, la remise en suspension de sédiments du plateau et l'exportation de sédiments au large des plateaux continentaux (Canals *et al.*, 2006, Palanques *et al.*, 2008).

172. Les observations in situ combinés à une modélisation en 3D pour quantifier le transport de sédiments remis en suspension dans le golfe du Lion a révélé (Ulses *et al.*, 2008) que la plus grande partie de la matière particulaire délivrée par le Rhône était immobilisée au pro-delta, et que les tempêtes marines jouaient un rôle déterminant dans la dispersion de sédiments sur le plateau et dans son exportation au large de celui-ci. L'érosion est régie par les vagues à la partie interne du plateau et par les courants énergiques à sa partie externe. Le dépôt de sédiments a lieu à la partie centrale du plateau, entre 50 et 100 m de profondeur. Les sédiments remis en suspension et les particules véhiculées par le fleuve sont transportées à l'extrémité sud-ouest du plateau par une circulation cyclonique induite par ces vents du rivage et exportés vers le plateau catalan et dans le canyon du cap de Creus qui entaille la pente près du rivage.

173. Les observations faites à un canyon sous-marin de la marge du golfe de Lion ont démontré que ces flux peuvent aussi être déclenchés par une cascade d'eau dense du plateau, un type de courant qui est provoqué uniquement et de manière saisonnière par le contraste dans les densités de l'eau de mer. Il ne transporte pas seulement de grandes quantités d'eau et de sédiments mais refaçonne également le lit du canyon et affecte rapidement le milieu en eau profonde. Une étude a mesuré la matière particulaire remise en suspension dans ces zones. D'après l'évaluation du flux particulaire, des taux de sédimentation et des différents modes des apports (fleuves, atmosphère, production primaire) et des résultats (dégradation dans la colonne d'eau et à l'interface eau-sédiment), une première évaluation des flux de carbone organique particulaire a été établie. Il en ressort que moins de 10% de la matière particulaire apportée au golfe du Lion est exportée au nord du Bassin méditerranéen.

Salinité et température

174. Au plan climatique, la Méditerranée se caractérise par des températures chaudes, des pluies à prédominance hivernale, des étés secs et une profusion de microclimats dus aux conditions environnementales locales (Ludwig *et al.*, 2003). Les températures annuelles moyennes suivent un gradient prononcé du nord au sud sur lequel se superposent les effets orographiques locaux. Les températures moyennes les plus basses de <5°C se rencontrent dans les parties les plus élevées des Alpes, et les températures de >20 °C sont typiques de la partie sud. Les précipitations annuelles moyennes présentent un gradient de diminution générale du nord au sud. Des valeurs de précipitations annuelles de 1500–2000mm an-1 et plus existent dans les régions des Alpes et des Pyrénées où prennent leurs sources le Rhône et l'Èbre, respectivement.

175. Le contraste pluviométrique entre l'hiver et l'été est la principale caractéristique du climat méditerranéen. Ce contraste s'accroît du nord au sud et de l'ouest en est (Ludwig *et al.*, 2003). Les précipitations se produisent principalement durant l'hiver et l'automne, et il est fréquent que moins de 10% de la pluviométrie annuelle aient lieu durant l'été. Les fortes précipitations de l'automne sont typiques des côtes de l'Espagne, de la France et de l'Italie. Le Rhône et l'Èbre représentent à eux seuls plus de 20 % des apports fluviaux de la Méditerranée.

176. Les mesures altimétriques ont montré que l'altitude de la surface de l'eau a changé au cours de la dernière décennie sur le Bassin méditerranéen. Au cours des 25 dernières années, le taux de hausse de la température dans toutes les mers européennes a été environ 10 fois plus rapide que le taux moyen de hausse au cours du siècle passé. En Méditerranée, le réchauffement s'effectue trois fois plus vite que la moyenne mondiale sur les 25 années passées. Les eaux profondes du bassin occidental ont aussi évolué lentement depuis 1970 avec une hausse de la température et de la salinité (Rixen *et al.*, 2005), tandis que la température de la surface de la mer s'est élevée en moyenne annuelle d'environ 1°C en 30 ans, en raison principalement d'hivers plus chauds. De même, l'eau dense formée en hiver sur le plateau continental du golfe de Lion a pu contribuer dans une mesure significative à modifier les caractéristiques des eaux profondes occidentales.

177. Les processus hydrologiques sont très variables dans le temps et l'espace en raison de la variabilité du régime pluviométrique, de l'influence de la topographie et de la distribution spatiale du sol et de ses utilisations. La variabilité temporelle intra-annuelle et inter-annuelle des précipitations est l'une des caractéristiques spécifiques de ce climat marqué par une succession de périodes sèches et de crues subites qui ont des effets locaux sur la salinité.

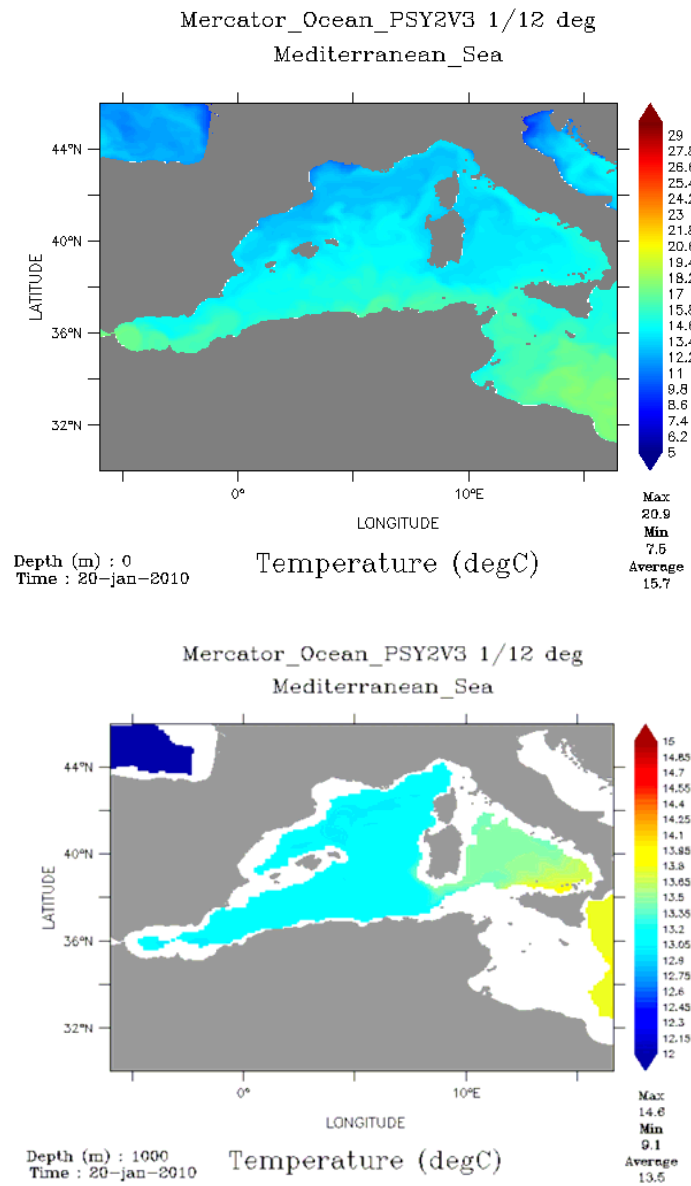


Figure 2.3: Exemples de mesures de la température à l'échelle du bassin occidental (<http://bulletin.mercator-ocean.fr/>)

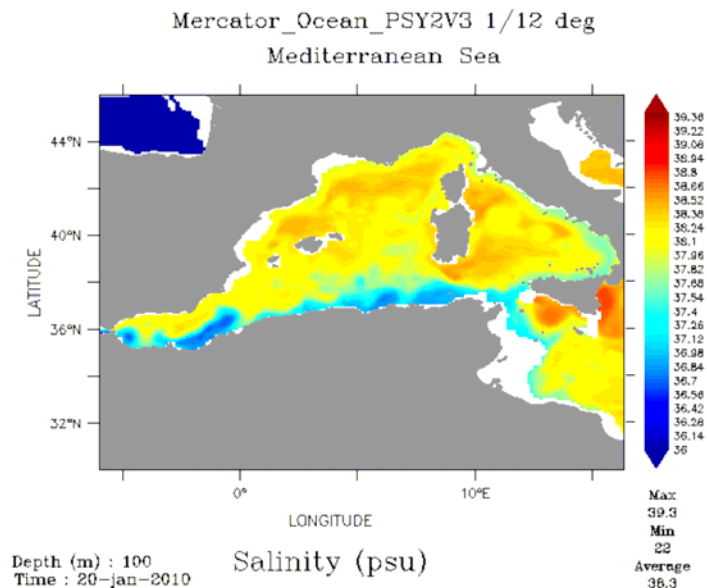


Figure 2.4: Salinité de surface à l'échelle du bassin occidental (20/01/2010) et profil de salinité le long d'un transect Sète – Tunis (valeurs moyennes pour la période 28/07 - 04/08/2009, <http://bulletin.mercator-ocean.fr/>)

B. Caractérisation biologique

178. Le Bassin méditerranéen se caractérise par une biomasse réduite de phytoplancton, qui confère à ses eaux leur limpidité et permet une pénétration profonde de la lumière dans la colonne d'eau. Les eaux les plus riches du bassin occidental sont situées sur la rive nord. Inversement, les eaux du large, sont généralement oligotrophes, à l'exception des cas de remontée d'eau (upwelling) riche en éléments nutritifs.

179. La sous-région occidentale abrite la plus grande partie de la biodiversité en espèces méditerranéennes connues: 87% des formes connues de vie en Méditerranée sont présentes en Méditerranée occidentale. Cette sous-région possède aussi un haut niveau de diversité d'habitats (niveau bêta), avec, entre autres, de nombreuses zones humides et marais bien développés du littoral, des herbiers marins étendus, des rivages rocheux et des récifs, des communautés coralligènes bien étudiées, et des systèmes frontaux hautement productifs.

180. Le Sanctuaire Pelagos pour la protection des mammifères marins de Méditerranée est une région particulièrement bien étudiée au sein de cette sous-région. Par comparaison avec le reste de la Méditerranée, cette zone marine se caractérise par des niveaux élevés de productivité primaire au large, causée par l'interaction de facteurs océanographiques, climatiques et physiques (Notarbartolo di Sciara *et al.*, 2007). Des niveaux élevés de production primaire avec des concentrations de chlorophylle 'a' dépassant 10 g m⁻³ (Jacques, 1989), appuient une biomasse remarquable de faune zooplanctonique hautement diversifiée, dont du macrozooplancton et les essaims de *Meganyctiphanes norvegica* – des crustacés de la famille des euphausiidae, appelés le krill (Sardou *et al.*, 1996). Les concentrations de zooplancton attirent à leur tour dans la zone divers prédateurs du niveau trophique supérieur, y compris des cétacés qui se nourrissent de krill, de poisson et de calmars/encornets (Forcada *et al.* 1995; 1996; Gordon *et al.*, 2000).

181. Le Sanctuaire Pelagos renferme des habitats convenant aux besoins de reproduction et d'alimentation des effectifs complets d'espèces de cétacés que l'on rencontre généralement en mer Méditerranée (Notarbartolo di Sciara, 1994; Beaubrun, 1995). Les deux espèces les plus abondantes dans le Sanctuaire, le rorqual commun et le dauphin bleu et blanc, représentent plus de 80% de

toutes les observations faites durant les croisières d'été menées dans la zone entre 1986 et 1989 (Notarbartolo di Sciara, 1994). Environ 3 500 rorquals communs se trouvent en Méditerranée occidentale, dont la plupart de concentrent dans le bassin Corsico-Liguro-Provençal en été pour se nourrir de krill (Forcada *et al.*, 1996), bien que des baleines puissent y être observées tout au long de l'année (Notarbartolo di Sciara *et al.*, 2003). Le dauphins bleus et blancs sont les cétacés les plus abondants dans toutes les eaux du large de la Méditerranée (Aguilar, 2000); dans le Sanctuaire Pelagos, l'on en dénombre 20 000 à 30,000 (Forcada *et al.*, 1995), et ils représentaient 60% de l'ensembles des signalements de cétacés in 1986-89 (Notarbartolo di Sciara, 1994).

182. Les espèces restantes sont aussi des éléments habituels de la faune cétacée du Sanctuaire ; elles comprennent des odontocètes teutophages plongeant dans les profondeurs tels que le grand cachalot *Physeter macrocephalus*, le globicéphale commun (ou noir) *Globicephala melas*, le dauphin de Risso *Grampus griseus*, fréquentant à fois les eaux du large et les eaux des talus continentaux (Di-Méglio *et al.*, 1999; Gordon *et al.*, 2000), et la baleine de Cuvier (ou baleine à tête d'oie) *Ziphius cavirostris*, préférant les zones des talus surplombant les canyons sous-marins (Nani *et al.*, 1999); désormais rares et menacés à court terme, il y a le dauphin commun à bec court *Delphinus delphis*, que l'on rencontre dans les eaux côtières et du large, en particulier dans la partie sud du Sanctuaire (Bearzi *et al.*, 2003) et, de manière prédominante, le grand dauphin *Tursiops truncatus*, qui fréquente le plus souvent les zones des plateaux entourant la Corse, le nord de la Sardaigne, l'archipel toscan, et la France continentale (Nutti *et al.*, 2004; Ripoll *et al.*, 2004). Le seul autre mammifère marin que l'on trouve en Méditerranée, le phoque moine *Monachus monachus*, a disparu complètement de la zone du Sanctuaire au milieu du XX^e siècle (Notarbartolo di Sciara et Demma, 1997), mais il pourrait théoriquement recoloniser ses rives si ses effectifs devaient à nouveau s'accroître, et l'empiètement par l'homme sur ses habitats de reproduction cruciaux a diminué à un niveau acceptable pour ce mammifère timide.

183. La zone soutient aussi des effectifs importants de la tortue *Caretta caretta* (G. Lauriano, comm. pers.)

184. La mer d'Alboran, les îles Baléares et le golfe du Lion sont aussi relativement bien étudiés avec une diversité élevée d'habitats et d'espèces et une productivité élevée favorisant la pêche commerciale et de loisir ainsi que le tourisme. Ces pressions individuelles, et les conflits croissants autour de diverses utilisations dans certaines zones (conservation de la biodiversité et navigation viennent à l'esprit pour la mer d'Alboran, par exemple), ont déjà eu des impacts sur la biodiversité marine. La régression des herbiers à *Posidonia* dans l'ensemble de la région en est un exemple.

185. Les communautés des zones rocheuses et des fonds meubles dans cette région sont également productives et diverses. Cependant ses zones commencent à subir les effets des activités anthropiques, de manière directe ou indirecte. Selon Badalamenti *et al.*, 2008, une mortalité catastrophique qui a frappé les populations d'invertébrés sessiles, comme les gorgones et les éponges, a été documentée en mer Ligurienne (Cerrano *et al.*, 2000; Rodolfo-Metalpa *et al.*, 2000, 2005, 2006), mais il se peut qu'elle soit survenue aussi dans d'autres mers italiennes. Des épisodes de chaleur ont été enregistrés à la fin des années 1990 et au début des années 2000 et sont susceptibles d'avoir abouti à un accroissement des tailles de populations d'espèces vivant dans les eaux chaudes de la Méditerranée et une colonisation étendue d'espèces invasives provenant de l'Atlantique et de la mer Rouge (comme *Caulerpa racemosa*, *Caulerpa taxifolia*, *Percnon gibbesi*, *Cerithium scabridum*, entre plusieurs autres).

186. Outre ces expansions/invasions bien documentées, une observation intrigante est l'existence de bancs de moules étendus, principalement composés de la moule érythréenne *Brachidontes pharaonis* sur de nombreuses plateformes à vermétides, de *Dendropoma petraeum*, du nord-ouest de la Sicile (Milazzo, données non publiées). *B. pharaonis* est commune dans le bassin du Levant, où elle est entrée 6 ans après l'ouverture du canal de Suez. Cette espèce a été signalée en Sicile à la fin des années 1960 (Di Geronimo, 1971), en s'étendant successivement à des habitats hyperhalins (réseaux de salines) à la fin des années 1980 (Gianguzza *et al.*, 1998; Sarà *et al.*, 2006). Elle a désormais colonisé plusieurs plateformes à vermétides le long du littoral sicilien (Badalamenti *et al.*, 2008).

187. Il paraît raisonnable de supposer que l'extension nord (système Liguro-Tyrrhénien) de l'isotherme 15 degrés peut entraîner un accroissement de l'éventail des espèces thermophiles d'origine atlantique tropicale (comme *Sparisoma cretense*) qui ont pénétré en mer Méditerranée durant les périodes interglaciaires plus chaudes pour rester confinées au secteur sud-est avec le refroidissement ultérieur (Bianchi, 2007). Dans leur dérive vers le nord, ces espèces viendront en contact avec la flore/faune de la Méditerranée du Nord-Ouest qui est très différente du reste de la Méditerranée. De fait, l'on trouve des populations reliques ayant une affinité pour les eaux froides (par ex. les mollusques *Buccinum humphreysianum*, *Colus gracilis*, *Natica catena* et le poisson *Pomatoschistus pictus*, *P. microps*, *P. minutus*), que l'on ne rencontre généralement pas dans l'Atlantique au sud du golfe de Gascogne, ainsi que de nombreuses espèces endémiques.

C. Pressions et impacts

188. Le bassin nord-ouest de la Méditerranée est affecté par des activités humaines intensives qui peuvent occasionner une contamination chimique, une dégradation et un risque de grave nocivité dans les zones marines et côtières (PAM/PNUE/AEE, 1999). La côte est particulièrement atteinte en raison du trafic maritime intense, de l'absence de marées, de l'importance des routes maritimes et de l'industrie pétrolière présente sur tout le pourtour du Bassin. L'urbanisation a enregistré un développement important, en particulier le long de la bande côtière, afin de desservir la population résidente et temporaire, avec les altérations qui l'ont accompagnée dans la qualité de l'environnement.

189. Les pays industriels très développés du Nord font un contraste frappant avec les zones non urbanisées des rives sud. À l'avenir, les zones côtières devraient faire face à des pressions encore plus fortes et il conviendrait d'adopter une approche pluridisciplinaire dans les études sur la distribution et les flux des contaminants chimiques, puisque le comportement et le devenir des composés d'origine anthropique sont influencés par la dynamique des grands cycles biogéochimiques (Cossa *et al.* 2009). L'évaluation des plans et rapports nationaux sur les "points chauds" et l'identification des sources de pollution permettent de comprendre la nature et les niveaux de la contamination chimique le long des côtes du bassin occidental de la Méditerranée.

190. Pour l'Italie (UNEP/MAP, BDN Italie, 2005), même avec des objectifs de réduction de la plupart des apports totaux d'ici à 2025 et la fermeture des décharges d'enfouissement des déchets, les sources les plus concordantes restent liées aux industries et à l'urbanisation à Gênes, La Spezia, Livourne-Rosignano, Piombino, Bagnoli-Naples et Palerme. Les sources sont variées mais encore responsables de contributions de polluants majeurs (métaux, hydrocarbures, PCB et insecticides). Dans certaines zones, des polluants sont plus spécifiques, comme les métaux au sud-ouest de la Sardaigne, les hydrocarbures et les éléments nutritifs à Porto Torres, le chrome à Cogoleto Stopani (Gênes) ou les oxydes d'azote à Piombino. De même, les fleuves italiens du bassin occidental (Arno, Tibre, Salento) sont décrits comme des sources de matières organiques mais aussi de polluants.

191. Des zones nationales sensibles (Orbetello) sont aussi affectées, bien que la plupart soient liées aux eaux de transition. Comme la Principauté de Monaco a mis en place un plan rationnel de gestion des déchets, de récupération des déchets industriels et d'épuration des eaux usées comportant des procédés spécifiques, il n'existe pas de zone gravement atteinte par la pollution (UNEP/MAP, PAN Monaco, 2005).

192. Dans le cas de la France (UNEP/MAP, PAN France, 2006), les sources définies de pollution et les "points chauds" sont avant tout situés sur le littoral sud-est de la façade méditerranéenne du pays. Elles concernent les villes de Marseille-Fos (déchets municipaux, apports industriels, et activités portuaires), Toulon (port militaire et commercial) et, dans une moindre mesure, la zone de Cannes-Nice (fortement urbanisée, industrie légère, marinas). Les sources de contaminants spécifiques tels que les déchets industriels de Gardanne immergés au fond du canyon de Cassidaigne (métaux) et, à un degré moindre, les résidus d'amiante immergés autrefois à la partie ouest du cap Corse (Galgani *et al.*, 2006) doivent aussi être pris en compte. Le Rhône et les fleuves de moindre débit comme le Var et l'Argens (Fréjus) sont responsables d'apports significatifs de contaminants. Enfin, les zones de grande vulnérabilité concernent aussi les eaux de transition telles que de nombreuses lagunes côtières, mais aussi les nourriceries du golfe du Lion.

193. L'Espagne a recensé sept zones prioritaires-clés au plan de la pollution et deux sites sensibles dans le bassin occidental (UNEP/MAP, PAN Espagne, 2005). Ce sont le port de Barcelone et le fleuve Llobregat en Catalogne, la zone côtière de Tarragona –Vila Seca, la région de Castellon, Carthagena-Valle Escombreras-Port man (activités portuaires, activités extractives), Carboneras-Villaricos (province d'Almeria, usine de dessalement, effluents industriels et urbains), la région de Motril (mines de fer) et la baie d'Algésiras (industries pétrochimiques). Les zones sensibles sont représentées par la lagune de la Mar Menor et l'estuaire de l'Èbre, ce dernier étant le plus systématique dans sa contribution à la pollution du littoral.

194. Au Maroc, avec une population réduite, une pluviométrie moyenne faible (300 - 500 mm/an), 14 oueds dont deux seuls ont affecté des zones côtières de plus de 1 000 km², les sources de pollution marine sont limitées aux agglomérations urbaines (Tanger-Tétouan, Al Hoceima, Nador/Melilla), aux zones industrielles (Tanger-Tetouan, Nador, Oujda). Les industries chimiques et de pâte à papier dans l'ouest, les aciéries et l'agroalimentaire dans l'est sont les principales sources de métaux lourds. Les rejets d'eaux usées sont les principales sources de pollution de l'eau, de même, par les oueds côtiers (oueds Moghgha, Martil, Lihoudi) enrichis en nickel, arsenic, chrome et mercure. Les villes n'ont que des infrastructures de base et des installations de traitement réduites (Nador, Al Hoceima), et les eaux usées et eaux d'orage sont rejetées directement dans le milieu marin. Il n'y a pas de décharges contrôlées et la lixiviation véhicule souvent les polluants jusqu'à Al Hoceima. Le développement de l'agriculture intensive et les traitements phytosanitaires impliquent la consommation de quantités importantes de pesticides. Les stocks de pesticides obsolètes sont limités à quelques tonnes à l'ouest. Ces dernières années, les plages marocaines ont été exposées au tourisme. En raison de la proximité du détroit de Gibraltar et des voies maritimes voisines, le transport maritime peut avoir des incidences marquées sur le littoral et ses ressources, notamment avec les risques liés au transport de matières dangereuses et les déversements accidentels d'hydrocarbures. Ainsi, la ville de Tanger et ses activités industrielles devraient être considérées comme une source majeure de polluants qui peuvent affecter le bassin occidental. L'élimination des stocks de pesticides obsolètes, un meilleur contrôle des niveaux de pollution, un programme rationalisé de traitement des effluents et la collecte récente d'huiles usées sont les principales actions effectives pour améliorer la qualité des eaux côtières (Lahbabi et Anouar, 2005).

195. En Algérie (UNEP/MAP, BDN Algérie, 2003), les zones côtières les plus touchées par la pollution de l'eau et les détritiques sont celles qui sont adjacentes aux grandes villes (Alger, Oran, Annaba) ou les grands ports industriels voisins (Ghazaouet, Mostaganem, Arzew, Bejaia, Skikda). Ces zones subissent les effets de plusieurs sources de pollution, notamment les rejets de polluants organiques (Alger, Annaba, Oran, Mostaganem, Skikda), les terminaux pétroliers et les raffineries chimiques près des ports industriels (métaux, hydrocarbures, composés azotés, cyanures, pesticides et détergents), les rejets de centrales électriques (Marsat, El Hadjadj, Alger, Cap Djinnet), le ruissellement sur les terres agricoles (plaine centrale et Annaba), et surtout les déchets solides et les eaux usées non traitées, industriels et domestiques, un problème spécifique des grandes agglomérations du littoral et des oueds adjacents.

196. Avec ses apports urbains, ses activités industrielles et pétrochimiques connexes, desservies par un important réseau fluvial (oueds Medjerda, Meliane, Elbey, Bézirk, El Abid), la baie de Tunis est la zone la plus atteinte du nord de la Tunisie (Baouendi, 2005) et subit de fortes pressions anthropiques (Sammari, 2010). Cette structure hétérogène (lagunes, baies, estuaires) et, dans une moindre mesure, la lagune de Bizerte, restent une source potentielle de contaminants.

197. Le dépôt atmosphérique est la voie d'entrée majeure des apports d'origine anthropique de métaux en traces accumulés dans les sédiments de la mer, alors que l'advection latérale, les courants et les flux de sédimentation gravitaire sont censés refléter des concentrations préindustrielles de métaux (Martin *et al.*, 2009). De même, le comportement géochimique peut être très différent du fait que Pb et Cu restent dans les sédiments et que Zn est soumis à une advection. Dans les zones côtières, les apports atmosphériques sont largement remplacés par les dépôts fluviaux quand ils sont présents (Roussiez *et al.*, 2006). Compte tenu de l'importance particulière du transport atmosphérique, des échanges air-eau et de la circulation, les eaux du large sont également un motif de préoccupation en tant que source de contamination chimique, notamment par le biais des processus de transfert trophique et de bioaccumulation. La connaissance des concentrations, des apports et du comportement de sortie dans les eaux et les sédiments et des impacts toxicologiques sur les écosystèmes sont extrêmement variables, en fonction des groupes de contaminants étudiés.

Pour de nombreux pays, on ne dispose pas d'informations détaillées sur les quantités de produits dangereux provenant de sources ponctuelles (industrie et centres urbains). Dans l'ensemble, l'on relève un manque de données adéquates et l'interprétation des données passe aussi par une compréhension des cycles géochimiques. À titre d'exemple, le bilan global du mercure en Méditerranée a été évalué par Rajar *et al.* (2008) avec un apport du fond égal à 120 kmol/an, ce qui inclut les apports directs dues aux mouvements tectoniques et la lixiviation naturelle du mercure. La distinction entre ces deux sources est difficile. Les contributions liées aux sources tectoniques sont importantes dans les zones volcaniques et sources géothermiques proches du sud de la mer Tyrrhénienne. Ces contributions expliquent les importants niveaux naturels de fond dans certaines îles du bassin. La présence de mines situées en amont des fleuves ou cours d'eau du bassin (Almaden en Espagne, Monte Amiata, Toscane) peut expliquer les flux à la mer qui peuvent être évalués sur l'ensemble de la Méditerranée à 610 kmol/an par comparaison avec les 4 ou quelques autres kmol/an pour d'autres sources (UNEP-MAP, 1996).

198. Il existe une masse importante d'informations sur la distribution des produits chimiques, émanant tant des projets de recherche que de la surveillance continue. Cependant, les données sont souvent disponibles à partir d'études locales, aboutissant à des lacunes significatives dans la couverture géographique ou/et dans l'émergence de contaminants comme les dioxines, les alkylphénols. De plus, le manque de méthodes normalisées dans ces études rend difficile une comparaison et une utilisation des données issues de sources différentes dans une évaluation régionale en vue de tirer des conclusions sur les tendances spatiales et temporelles.

199. Le dépôt de métaux en traces est dominé par les apports atmosphériques (Migon *et al.*, 2005), qui se caractérisent par une signature d'origine européenne, tant naturelle qu'anthropique. En Méditerranée, les signatures des poussières du Sahara se superposent sur cette signature de fond naturelle. La variabilité spatiale du dépôt atmosphérique semble cependant faible, en dépit de la variabilité des conditions météorologiques et du climat (pluviométrie, vitesse du vent, balayage des aérosols). L'influence des grands fleuves est plus forte dans les régions côtières et les sources primaires de particules métalliques sur quelques plateaux continentaux.

200. Dans le bassin Nord-Est, d'importants apports de métaux peuvent être liés à des inondations et à des catastrophes naturelles (jusqu'à 80% de contributions dans certaines zones côtières). On connaît mal l'absorption de contaminants dans les premiers niveaux trophiques (plancton et benthos) et comment ils se comportent dans les cycles. Les bactéries semblent jouer un rôle important dans la bioaccumulation et l'enrichissement en métaux du premier niveau trophique, tant pélagique que benthique. La saisonnalité des proliférations de phytoplancton est responsable d'amples variations dans les concentrations de métaux et, par conséquent, sur les profils verticaux d'éléments nutritifs. Dans le cas de fortes concentrations de métaux, leur assimilation par les organismes peut être limitée par leur solubilité ou leur toxicité.

201. Le transfert de métaux en traces dans la chaîne trophique aux organismes marins supérieurs a été démontré, y compris chez les dauphins et les baleines. Les concentrations de métaux en traces dans les estomacs des baleines donnent à penser que la source de nourriture est responsable dans une proportion importante de la contamination par les métaux. Au cours des années 1970, plusieurs articles ont mis en évidence les niveaux élevés de mercure chez le poisson de Méditerranée. Des travaux plus récents ont confirmé l'accumulation de méthylmercure chez le merlu du golfe du Lion, lié en partie à la bioaccumulation à partir de la chaîne alimentaire, spécialement le phytoplancton et le bactérioplancton (Harmelin-Vivien *et al.* <http://www.ifremer.fr/medicis/EN/projets/merlumed.html>). Des concentrations de 0,1 à 1,4 mg Hg kg⁻¹m avec des pics de 4 mg kg⁻¹, ont été relevés chez des requins et des thons (UNEPMAP, 1996; Storelli *et al.*, 2006).

202. Dans l'ensemble, le transfert trophique pourrait représenter une exportation de 1,2 million de tonnes par an. La production d'engrais représente la principale source de plomb et de mercure, et l'industrie du ciment, la transformation de l'énergie et des métaux produisent des émissions de mercure. Le chrome dans l'eau est principalement rejeté par les raffineries de pétrole, suivies par l'industrie des engrais et le tannage. Enfin, les émissions atmosphériques de nickel proviennent des centrales électriques. Dans le cas des ports, l'analyse des carottes sédimentaires démontre explicitement l'origine récente des métaux dans les sédiments (Di Leonardi *et al.* 2009).

203. Les données sur les contaminants dans l'eau et les sédiments ne sont pas répandues dans le nord-ouest de la Méditerranée. L'analyse des évaluations du PAM/PNUE-MED POI a mis en évidence des concentrations importantes de cadmium et de cuivre sur la côte du Maroc (Nador), et de mercure et de plomb au nord de la mer Ligurienne. Le cadmium est relevé en quantités importantes (> 10 mg/kg) sur le site d'El Portus (Espagne), dans la baie de Naples et sur la côte sud-est de la France.

204. Les niveaux moyens restent également élevés dans les îles (nord de la Sardaigne et Sicile) mais probablement en rapport avec un niveau naturel de fond d'origine tectonique. Le plomb est principalement localisé en Italie, en particulier dans des zones autour de Lazio et dans le golfe de Gênes. Les concentrations de cuivre sont très importantes le long du littoral italien de la Sardaigne, alors que le zinc se situe à Naples, Palerme et, dans une moindre mesure, dans le golfe de Gênes. Une différence significative a été observée pour le mercure entre la partie orientale du bassin nord-ouest, le long de la côte italienne, avec de faibles concentrations, et celles trouvées dans partie ouest le long de l'Espagne. Deux principaux sites, en Sardaigne et à Portoscuso El Portús en Espagne, à proximité d'une grande zone d'activités industrielles et extractives, sont caractérisés par des concentrations élevées de plomb, de mercure et de cadmium. Portoscuso, en Sardaigne, est aussi une zone à risque pour l'environnement (Mitis *et al*, 2005).

205. Le site d'El Portus, près du "point chaud" de Cartagena (UNEP, 2003), est soumis à l'influence d'une base navale, d'un complexe industriel et des anciennes activités extractives de Portman. Trois sites sont affectés par des métaux sur la côte espagnole, en plus de la zone de Cartagena. L'embouchure du Llobregat, responsable d'apports massifs de plomb dans la zone de Barcelone, la baie d'Algésiras, avec de fortes concentrations de cadmium, et la baie de Valence affectée par le nickel confirment aussi des données antérieures (Palanques *et al*, 2008; Benedicto *et al*, 2005).

206. D'autres auteurs ont fait état de niveaux élevés de cadmium et de mercure dans un herbier à *Posidonia oceanica* (Sanchiz *et al*, 2000). En Tunisie, le golfe de Tunis est le plus atteint par les métaux en raison des affluents de la ville, des échanges avec la lagune, du débit de la Medjerda et de ses apports atmosphériques. En Algérie, les rejets sont responsables des principaux apports. Les concentrations maximales de Hg et de Ni se situent à Skikda, Annaba, Oran et Alger, et du mercure a été relevé à Alger, comme on l'a évoqué plus haut (Taleb *et al.*, 2007; Souaili, 2008).

207. Sur la côte du Maroc, l'importance du plomb a été confirmée à Nador (Benaoui *et al.*, 2004). Sur la côte française, le fleuve Huveaune (Pb et Hg) est considéré comme une source majeure de pollution dans le golfe de Marseille (Sauzade *et al.*, 2007). De même, l'ancienne usine d'amiante située à l'ouest du cap Corse est responsable d'apports de contaminants associés à des métaux tels que le chrome, le cobalt ou le nickel (Galgani *et al*, 2006, Lafabrie *et al*. 2009).

208. En dehors de Portoscuso, Palerme, Gênes et Livourne-Cornigliano-Rosignano sont les sites les plus atteints de la côte italienne du nord-ouest du Bassin par les métaux, dont le cadmium et le nickel (Tranchina *et al*, 2008; Lafabrie *et al.*, 2007). En plus de ces sites, Zinola, Oristano (Cucco *et al*, 2006; Magni *et al*, 2006), Piombino (Bocchetti *et al*, 2008) ont indiqué des concentrations significatives de métaux dans divers organismes.

209. Les fleuves et cours d'eau favorisent les apports de métaux. Le Tibre, le Rhône, l'Èbre et des fleuves plus modestes comme le Gapeau (France) ou la zone de Zhor sont responsables d'apports d'origine industrielle (Andral *et al*. 2004) ou naturelle (Bouzenoune et Remoum, 2008). Le ruissellement provenant des agglomérations urbaines peut aussi exercer des impacts majeurs sur la géochimie environnementale de certaines zones côtières comme Portman ou Porto Ferraiolo sur l'île d'Elbe (Marín-Guirao *et al*, 2005; Benedicto *et al*, 2008). Dans ces zones, la remise en suspension est possible au cours des orages ou tempêtes en plus de la lixiviation naturelle de sols et une autre origine géochimique. Dans le cas des îles (Baléares, Palmarola, Éoliennes), les apports naturellement associés aux substrats géologiques semblent les sources les plus probables de métaux en traces.

210. D'une manière générale, les comparaisons des concentrations avec des sites hors du Bassin méditerranéen (Andral *et al*, 2010) indiquent des niveaux de contamination du même ordre de grandeur. La comparaison des données avec les valeurs fixées par la législation européenne fait ressortir des concentrations de métaux qui ne dépassent pas les limites en vigueur, à l'exception du mercure dans les organismes du golfe de Portoscuso. Liés aux processus de bioaccumulation et de

bioamplification, ces composés peuvent atteindre des niveaux dangereux, en particulier chez les prédateurs supérieurs, dont les mammifères marins.

211. Les données disponibles indiquent que les contaminants ne sont pas uniformément distribués dans l'ensemble de la sous-région. Par exemple, les concentrations de DDT total dans les sédiments varient de <0, 25 à 885 ng/g et de PCB de 1,3 à 7274 ng/g, les concentrations supérieures correspondant aux "points chauds" à proximité des émissaires d'eaux usées de grandes villes ou aux embouchures de grands fleuves (comme le Rhône). Des concentrations atteignant 400 mg/g poids humide de DDT et 1400 mg/g poids humide de PCB ont été relevés dans la graisse de mammifères marins (dauphins), bien supérieures aux données équivalentes recueillies dans l'Atlantique. Certaines zones géographiques sont dans des situations préoccupantes. Elles comprennent des estuaires (Rhône, Èbre), des baies et des golfes (Fos-sur-mer, baie d'Alger et Tunis, Gênes, Naples, Algésiras) et des zones atteintes par une décharge non contrôlée.

212. En général, les plus fortes teneurs en hydrocarbures chlorés sont décelées dans les zones portuaires, en raison des échanges d'eau restreints et d'activités urbaines et industrielles intensives. Les rejets directs, le ruissellement (Tolosa *et al.* 1995) ou le dépôt de déblais de dragage (Alzieu, 2000) sont aussi très importants localement. Par conséquent, les concentrations relevées dans les aires de drainage des villes et les bassins versants des fleuves sont supérieures à celles décelées dans les plateaux continentaux.

213. D'après la base de données PAM/PNUE-MED POL, il ressort que les concentrations d'aldrine, de dieldrine, d'endrine, d'hexachlore, de lindane, telles que mesurées chez *Mytilus galloprovincialis* à l'état sauvage, sont faibles dans le bassin nord-ouest. Les concentrations de DDT sont plus élevées, en particulier que celles de ses produits de dégradation comme p, p'-DDE. Les polluants organiques persistants (POP) sont un problème à proximité de sites industriels et urbains, comme aux embouchures des grands fleuves méditerranéens. Les ports d'Imperia, Viareggio, Piombino, les agglomérations de Marseille, Toulon, Barcelone, Gênes et Nice ainsi que les pro-deltas sous l'influence du Rhône et de l'Èbre sont affectés par les pesticides POP et en particulier par la famille DDTs avec les risques associés (SIDIMAR, 2005; Giutierrez *et al.*, 2007).

214. Ces contributions sont liées aux accroissements de matières particulières associées au ruissellement, à la remise en suspension de sédiments et à la saisonnalité de l'utilisation des produits agrochimiques. L'analyse des concentrations du total des PCB or des 153 BC de la base de données PAM/PNUE-MED POL révèle un faible nombre de données sur les organismes marins de la rive sud. Dans le nord du bassin, les concentrations de référence sont élevées et les sites les plus touchés sont les agglomérations de Barcelone et de Marseille (jusqu'à 1500 ng/g poids sec) et la baie de Gênes.

215. Les congénères de PCB 31, 52, 156 et 180 sont présents à faibles concentrations et, dans les zones industrielles ou les agglomérations urbaines. Les PCB 153 et 138 présentent des niveaux maximaux d'accumulation le long de la façade française, en particulier à Marseille et à des émissaires (respectivement 42, 3 mg/kg et 27.6 mg/kg) et, dans une moindre mesure à l'embouchure du Rhône dans le bassin de la Méditerranée (d'après Scarpatto *et al.*, 2010). Les concentrations sont également importantes le long du littoral italien - à Naples (28, 0 mg/kg et 19,0 mg/kg) et Bagnoli (16,0 et 12, mg/kg), en Sardaigne, à La Maddalena (PCB 153: 26, 0 mg/kg ; PCB 138: 12,0 mg/kg)- ; à l'embouchure du Llobregat(18,1 et 14, 4 mg/kg) et à Barcelone (11,0 et 8, 2 mg/kg). Dans le sud de la Méditerranée, des valeurs importantes des PCB 153 et 138 (20,5 et 14, 1 mg/kg) ont été relevées à Alger.

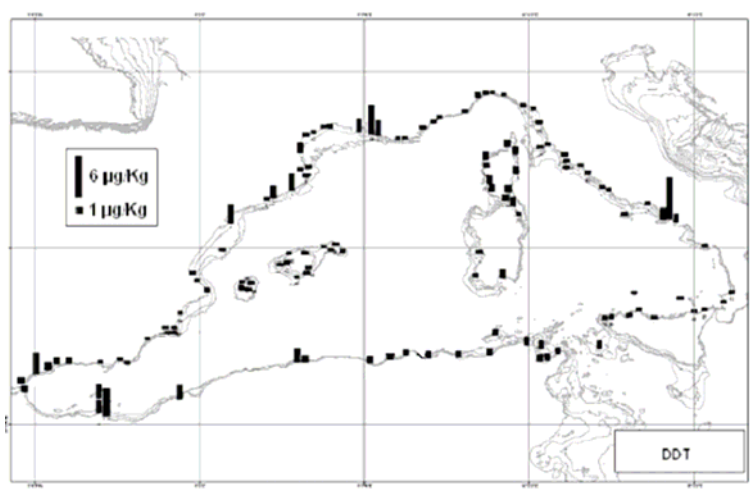


Figure 2.5: Teneurs en DDT de *Mytilus galloprovincialis* transplanté dans le bassin occidental de la Méditerranée (d'après Scarpato *et al.*, 2010)

216. Une analyse des dioxines chez les moules *Mytilus galloprovincialis* à 33 stations sur l'ensemble du bassin occidental (Andral *et al.*) indique que les valeurs les plus élevées ont été enregistrées à Marseille (2,66 ng/kg) avec des apports importants. À l'échelle du bassin, la répartition des dioxines était similaire à celle des PCB, avec les valeurs maximales à Barcelone, la Maddalena (Sardaigne), Alger et Naples mais aussi à Toulon (Munschy *et al.*, 2008), alors que la Corse et l'Afrique du Nord étaient les régions aux concentrations inférieures.

217. L'on a également fait état d'une forte contamination de la Méditerranée occidentale par les HAP, avec des valeurs élevées dans les sédiments (Mille *et al.*, 2007; Martínez-Lladó *et al.*, 2007), dans l'eau (Bouloubassi *et al.*, 2006), dans les organismes marins (Piccardo *et al.* 2001; Andral *et al.*, 2004, Galgani *et al.*, 2010), et en mesurant les effets biologiques (Burgeot *et al.* 1996; Minier *et al.*, 2006; Box *et al.*, 2007, Martínez-Gómez *et al.*, 2008).

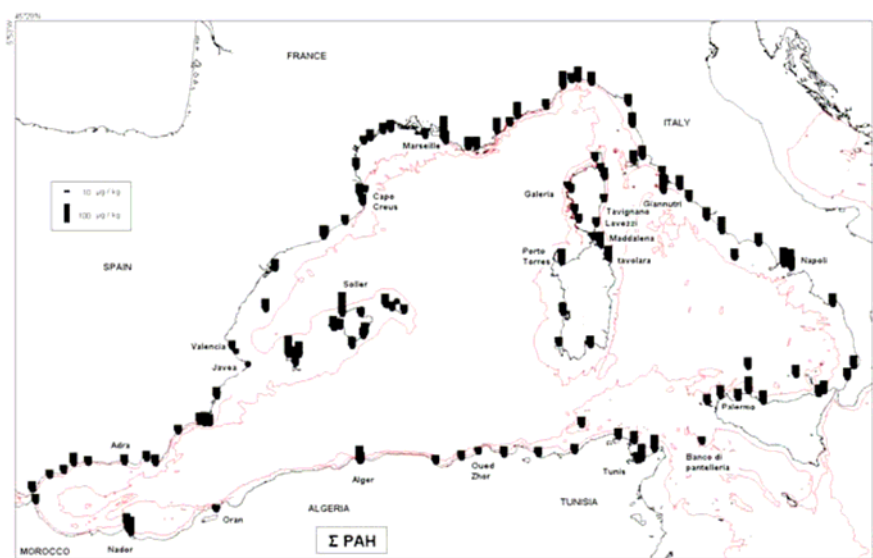


Figure 2.6: Teneurs en HAP totaux de *Mytilus galloprovincialis* transplanté dans le bassin occidental de la Méditerranée (d'après Galgani *et al.*, 2010)

218. Les études sur le TBT dans le bassin occidental indiquent que la contamination n'est cependant pas limitée aux zones portuaires mais s'étend le long du littoral, y compris aux aires protégées où des valeurs atteignant jusqu'à 7 ng TBT I-1 ont été relevées (Michel *et al.*, 2001) et aux eaux profondes, comme en témoigne un transect à travers le courant ligure (Michel et Averty, 1999).

219. Une fois qu'il est libéré à partir des peintures antisalissures des coques de navires, le TBT est rapidement absorbé par les bactéries et les algues ou adsorbé sur les particules remises en suspension dans l'eau (Luan *et al.*, 2006) et incorporé dans les tissus des organismes filtreurs du zooplancton, chez les invertébrés brouteurs, puis chez les organismes supérieurs où il s'accumule (Borghini et Porte, 2002). Sous des conditions favorables, le TBT peut se dégrader, dans un délai de quelques jours à quelques semaines, par désalkylation, pour produire du dibutylétain (DBT), du monobutylétain (MBT), et enfin en étain inorganique, devenant progressivement moins toxique au cours de ce processus.

220. Les concentrations des BT dans les sédiments récents prélevés à un grand nombre de stations côtières en Espagne ont démontré que les marinas et les ports du nord de la mer Méditerranée sont davantage pollués que les sites d'échantillonnage du sud de la Méditerranée (Diez *et al.*, 2002).

221. Avec l'amélioration et le développement des techniques analytiques, l'identification et la quantification d'un grand nombre de composés organiques que l'on ne pouvait déceler auparavant dans le milieu marin se sont accrues de manière spectaculaire ces dernières années. Des molécules telles que les PBDE, les alkylphénols, les nouveaux pesticides ou les phénylurées, des produits vétérinaires et pharmaceutiques, les biocides/bactéricides et les phtalates, ont été identifiées. Ces molécules pourraient être préoccupantes en raison de leurs propriétés de persistance, toxicité et bioaccumulation. Dans le cas du microfilm de surface, des concentrations de phtalates atteignant 177 mg I-1 ont été constatées en mer Tyrrhénienne (Cincinelli *et al.* 2009).

222. L'on estime que ces contaminants sont ubiquitaires mais on manque de données sur leur présence en Méditerranée. Les agents tensioactifs, utilisés dans les procédés industriels ainsi que dans la composition des produits d'entretien ménagers, présentent l'un des taux de production les plus élevés. Dans les villes méditerranéennes, les alkylsulphonates linéaires sont les principaux agents tensioactifs utilisés (Blasco *et al.*, 2010). Des concentrations atteignant 50µg/l ont été décelées dans l'eau et 2mg/kg dans les sédiments en Espagne. D'autres agents tensioactifs ont été relevés aux "points chauds" de la façade méditerranéenne espagnole, notamment les nonylphénols (NP) et les nonylphénols éthoxylates (NPEO).

223. Les produits pharmaceutiques sont également considérés comme des contaminants émergents dans l'environnement. L'activité d'un radionucléide (précisément le Césium 137) en mer Noire et au nord de la mer Égée étaient supérieures de deux ordres de grandeur à celle constatée dans le bassin occidental de la Méditerranée où elle variait de 0,01 à 0,077 Bq kg⁻¹ poids humide, l'Algérie étant moins atteinte que d'autres pays. Les données sur les métaux en traces dans des échantillons de *Mytilus galloprovincialis* prélevés à 21 stations au cours de la période 1979-2006 dans le cadre du réseau français de surveillance (RNO, <http://www.ifremer.fr>) ont fait clairement ressortir une régression générale des concentrations au cours de cette période. De même, l'analyse des concentrations de métaux dans les sédiments du golfe de Tunis (Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Fe) réalisée en 1999, 2003 et 2010 a montré que les métaux sont restés dans la même fourchette de concentrations au cours des 12 dernières années, à l'exception du cadmium dont les teneurs ont diminué de plus de 10 fois. Une baisse du cadmium a aussi été relevée chez *Mytilus galloprovincialis*, aux stations tunisiennes, au cours de la période 2001-2008.

224. La baisse des concentrations des composés organohalogénés qui sont des contaminants persistants interdits ou d'utilisation restreinte tels que les PCB et les PCDD/F dans des milieux comme les biotes ou les sédiments a été constatée tant en Europe qu'à l'échelle mondiale (Gomara *et al.*, 2005). (voir, par exemple, les concentrations de lindane reproduites sur la Figure 2.7). Cette tendance est à mettre en relation avec les mesures de restriction sévère ou de suppression progressive de ces composés et d'une maîtrise efficace des émissions. Les données recueillies dans le cadre des programmes nationaux de surveillance continue indiquent une tendance à la baisse habituellement observée dans les concentrations de produits chimiques dont l'emploi a été interdit depuis des

décennies (DDT, PCB, lindane, etc.), bien que dans certains cas elles puissent rester relativement élevées.

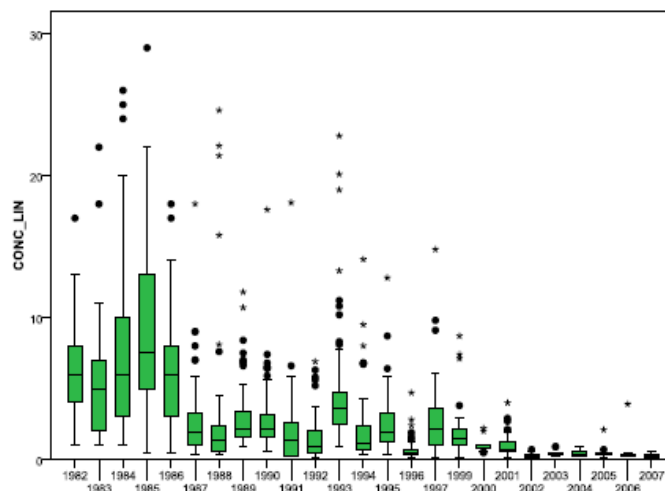


Figure 2.7 : Tendances temporelles du lindane (ng g-1 poids sec) chez *Mytilus galloprovincialis* observées aux stations du Réseau français de surveillance en Méditerranée (www.ifremer.fr)

225. Dans le nord du bassin, les concentrations de DDT total chez les moules *Mytilus galloprovincialis*, ont diminué. Plus récemment, une analyse des concentrations de DDT dans la graisse du grand dauphin, conduite entre 1978 et 2002 en différents points de la côte du bassin occidental a permis de constater que les concentrations avaient été divisées par 23,7 au cours de cette période (Borrell et Aguilar, 2007). Des tendances similaires ont également été observées pour les teneurs en HAP des moules dans le cadre du programme national français de surveillance continue.

226. Shipping-related pollutions is also an key presuure in this subregion. Rates of chemical tanker and container vessel traffic are growing, and increases in transits are expected to be most pronounced in the product and crude tanker sector. The top 20 ports within the Mediterranean account for 37 per cent of all Mediterranean calls and 43 per cent of DWT capacity, and with a few exceptions most of the top ports are located in the western Mediterranean.

Éléments nutritifs

227. Le Bassin méditerranéen se caractérise par une faible production de matières premières et une biomasse de phytoplancton réduite. À quelques exceptions près, tous les réseaux fluviaux se jetant en mer Méditerranée sont restreints. Les eaux plus eutrophes du bassin occidental sont situées sur la rive nord, à l'embouchure du Rhône et de l'Èbre. Ceux-ci ont un bassin hydrographique s'étendant sur 96 000 et 84 000 km², respectivement. Le total des charges estimées s'établit à quelque 304 000 tonnes/an pour N et 22 000 tonnes/an pour P. Les dépôts de l'azote et du phosphore s'effectuent dans l'eau et le sol sous différentes forme: azote et ammoniac qui se sont évaporés du fumier/lisier animal, et sous forme de NOx provenant de la combustion de combustibles fossiles, à savoir les centrales électriques et transports; phosphore sous forme de poussière, chutes des feuilles et excréments d'oiseaux. Les zones de grande productivité sont situées à proximité des deltas ou des grandes agglomérations urbaines, alors que les eaux du large sont généralement oligotrophes.

228. Dans l'ensemble de la Méditerranée, les principaux facteurs favorisant l'eutrophisation dans les milieux marins et côtiers sont l'urbanisation du littoral, le tourisme, l'agriculture, l'industrie et les effets de l'aquaculture et de la pêche. Le tourisme pourrait aussi exercer une forte pression relative à l'eutrophisation.

229. Sur le littoral algérien, le transfert d'éléments nutritifs s'effectue du système terrestre au système marin par l'écoulement des oueds qui gagne directement la mer et les zones portuaires

(Djijell, Alger et Annaba) ou certaines baies attenantes (Arzew et baie d'Alger). Dans ces zones, les concentrations d'éléments nutritifs dans les sédiments sont supérieures à celles mesurées à proximité et aux concentrations de polluants organiques corrélées.

230. En France, seuls deux sites sont réellement eutrophes mais en rapport avec des lagunes côtières (complexe de Palavas et lagune d'Or). Des phénomènes d'enrichissement et d'eutrophisation ont toutefois été observés dans d'autres lagunes et zones côtières le long du golfe du Lion et certaines baies, qui témoignent manifestement de l'importante contribution du Rhône et de fleuves adjacents de moindre importance. Des proliférations de dinoflagellés ont fait l'objet de constats réguliers. (PAM/PNUE, 2007).

231. Au Maroc, les données utilisées pour l'évaluation de l'eutrophisation ont été obtenues dans le cadre de l'Institut national de recherche halieutique (INRH), du programme national PAM/PNUE-MED POL de surveillance continue des eaux côtières et de l'Autorité de télédétection. Un seul site important, l'estuaire de l'Oued Martil, où sont rejetés des déchets urbains et industriels, a été déclaré à risque d'eutrophisation, les concentrations maximales de nitrates enregistrées variant entre 400 et 500 µg/l. Les études réalisées dans la lagune de Nador ont montré aussi que certains sites présentent des problèmes d'eutrophisation.

232. Le littoral espagnol se caractérise tant par l'enrichissement naturel dû à l'upwelling que par l'apparition d'une eutrophisation causée par des rejets d'origine anthropique. La productivité élevée de la mer d'Alboran paraît être en relation avec l'upwelling créé par la circulation anticyclonique générée par le flux des eaux de l'Atlantique pénétrant en Méditerranée par le détroit de Gibraltar. D'autres zones eutrophisées ont été observées près de Valence et du delta de l'Èbre, où les proliférations de dinoflagellés se sont développées.

233. En Italie, les données historiques pour l'évaluation de l'eutrophisation sont disponibles pour la période de 2001 à 2006 et elles indiquent que les phénomènes d'eutrophisation dépendent de l'hydrologie, de l'hydrodynamique et de la morphologie des zones concernées. En mer Ligurienne et en mer Tyrrhénienne, les phénomènes sont épisodiques et généralement peu étendus, avec des effets secondaires de peu d'importance (hypoxie/anoxie dans les eaux du fond).

234. Les conditions à l'origine d'une eutrophisation proviennent, dans une large mesure, des effets des rejets d'effluents émanant d'agglomérations urbaines, et seulement dans un petit nombre de cas des apports fluviaux. Les seuls phénomènes épisodiques mais graves se produisent sur la côte occidentale de l'Italie.

235. S'agissant de la mer Ligurienne, deux sites ont été recensés comme eutrophes : Foce Torrente Lerone, avec des rejets d'eaux usées et des apports organiques de l'industrie, et le port Gênes et Marinella - Foce Magra, avec une pollution provenant de la zone portuaire de La Spezia, notamment les rejets de déchets ménagers et industriels ainsi que les apports organiques des activités aquacoles. Les rejets de déchets ménagers et industriels du cours fluvial fortement pollué de l'Arno ainsi que les rejets des activités agricoles, les éléments nutritifs, les apports industriels et organiques du port de Naples sont les principales sources d'eutrophisation dans la baie de cette ville. Les apports d'éléments nutritifs (P et N) de l'agriculture et les rejets d'eaux usées urbaines véhiculées par le Tibre sont responsables des phénomènes d'eutrophisation à l'estuaire de ce fleuve. Enfin, les éléments nutritifs véhiculés par l'Arno, qui sont dus aux activités agricoles et aux rejets des eaux usées urbaines de Florence et de Pise expliquent l'eutrophisation de l'estuaire de ce fleuve et des zones adjacentes.

236. En recourant à l'imagerie satellite, le golfe du Lion et la zone de l'Èbre se sont avérés être les sites les plus touchés. Les eaux côtières du sud de l'Italie sont oligotrophes, à quelques exceptions près comme celle du golfe de Naples, due aux rejets des eaux usées.

Immersion

237. L'immersion est maîtrisée dans les grands ports de la Méditerranée occidentale: écoports (www.ecoport.com) mis en place à Gênes, Livourne et Civitavecchia, plans de gestion (Valence, Bejaia, Alger, Nador, Tunis, Naples), avec notamment une réduction du nombre des stations

d'épuration pour limiter les zones atteintes (Marseille), essais de recolonisation et surveillance des impacts. Cependant, les opérations d'immersion (déchets, déblais de dragage, et immersions industrielles) restent importantes : de l'ordre du million de tonnes, autour des ports méditerranéens.

238. Comme exemples de sites affectés par l'immersion, les apports industriels contrôlés, tels les résidus de minerais d'aluminium (boues rouges dans le canyon de Cassidaigne (France, 330 m, Galgani *et al.*, 2005; Dauvin 2010)) et l'ancienne usine d'amiante du cap Corse contaminée par la lixiviation de sédiments enrichis en métaux (Galgani *et al.*, 2006; Lafabrie *et al.*, 2009) ont permis d'évaluer les effets biologiques de l'immersion de minerais.

239. Le rejet de déchets et détritiques est un problème qui s'aggrave dans cette sous-région, ce qui implique une dégradation esthétique mais aussi un nombre d'effets potentiellement nocifs, notamment en raison du transport de polluants organiques persistants, le rejet de composés toxiques (médicaments compris), l'emmêlement d'organismes marins volumineux et la mortalité de nombreuses espèces, y compris les mammifères marins, les oiseaux et les tortues marines par suite de l'ingestion de détritiques (Katsanevakis, 2008).

240. Parmi les détritiques marins les plus problématiques figurent les engins de pêche abandonnés ou perdus, alors qu'ils peuvent continuer à capturer pendant des années, ce que l'on a appelé la "pêche fantôme". Les animaux pris à ces pièges peuvent mourir de noyade, *suffocation* ou strangulation.

Surpêche

241. Selon la CGPM (2006), de nombreuses espèces d'intérêt commercial font actuellement l'objet d'une surpêche dans cette région. C'est le cas du merlu (*Merluccius merluccius*), du mullet (*Mullus barbatus*) et de la crevette rose d'eau profonde (*Parapenaeus longirostris*) au nord de la mer d'Alboran, aux îles Baléares, au nord de l'Espagne, dans le golfe du Lion, en mer Ligurienne et au sud de la Sicile, de la sole (*Solea solea*) au nord de la mer Adriatique, de la sardine (*Sardina pilchardus*) et de l'anchois (*Engraulis encrassicolus*) au nord de la mer d'Alboran, au nord de l'Espagne et dans le golfe du Lion.

III. Subregion #2 Central Mediterranean

242. The Central Mediterranean and Ionian subregion includes the parts of Greece and the parts of Italy within the Ionian Sea, Malta, Libyan Arab Jamahiriya (henceforth referred to as Libya) and Tunisia (Figure3.1).



Figure 3.1: Subregion #2, showing major coastal cities, location of pollution hot spots (red circles) and locations of major environmental concerns (blue circles).

243. The Ionian Sea is bounded by southern Italy including Calabria, Sicily and the Salento peninsula to the west, and by southern tip of Albania, and a large number of the Greek Ionian islands, including Corfu, Zante, Cephalonia, Ithaka, and Lefkas to the east. The Central Mediterranean extends from the southern margin of the Ionian to the coastlines of Libya and Tunisia.

244. The approximate length of coastline involved has been estimated to amount to 5700 km which represents 12% of the total Mediterranean coastline. The total surface area of marine waters amounts to approximately 800,000 km², which again represents 32% of the total surface of the Mediterranean Sea.

A. Physical and Chemical Characteristics

Bathymetric, hydrodynamic, and other features

245. The bathymetry of the area under review is highly variable, with the western half being much shallower, generally up to 1000 m deep, than the eastern half, which can extend up to 3000m deep and more. This eastern half includes the deepest part of the Mediterranean (5267m) which is south-west of Pylos Greece, forming part of the Hellenic Trench. The western half forms the relatively shallow submarine ridge (sill) between Sicily and Tunisia, which divides the Mediterranean in two main basins. The eastern ridge has maximum depth of about 540m connecting the Sicilian Channel with the Ionian Basin. The western sill is divided in the large Adventure Bank and the Nameless Bank. These large sill systems are separated by the narrow shelf in the central part. The shape of slope is extremely irregular, incised by many canyons, trenches and steep slopes. The Maltese Archipelago is located on the outermost limit of the Sicilian continental shelf. Figure 3.2 shows the bathymetry of the subregion.

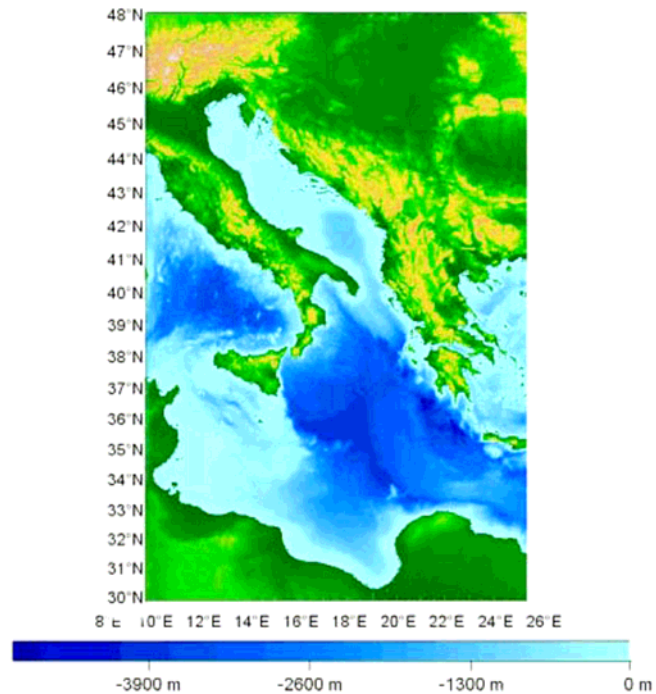


Figure 3.2. Marine bathymetry of the area under review

246. The hydrodynamics of the area (as in other Mediterranean areas) are determined by water exchanges through the various straits, by wind forcing and by buoyancy flux at surface due to evaporation, river inputs and heat fluxes. The slow Mediterranean thermohaline basin-scale circulation leads to the formation of a two water masses consisting of less saline Modified Atlantic Water flowing towards the East at surface and a deeper more saline Levantine Intermediate Water flowing in the opposite direction. This flow occurs at an average depth of 280m. At surface the Atlantic-Ionian Stream (AIS) meanders its way towards the East for most of the year. As it reaches the deeper waters it moves northward forming the so called Ionian Shelf Break Vortex (Drago and Sorgente, 1998, Robinson, *et al.*, 2001).

247. Modified Atlantic Water is carried along with the AIS across the area under review moving towards the South-East and re-circulating in part on the Tunisian and Libyan continental shelf areas. The Maltese Archipelago is located on the outermost limit of the Sicilian continental shelf.

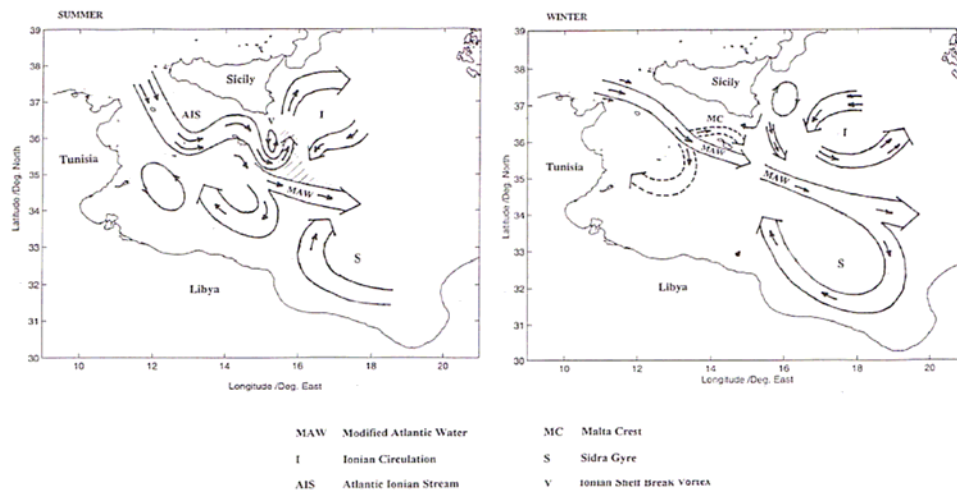


Figure 3.3: Surface currents in the Central Mediterranean (From Drago and Sorgente, 1998)

248. The surface currents in the Ionian Sea generally follow a counter-clockwise course, flowing towards the north parallel to the Greek coast and then turn west and south along the Italian coast. In general this current is not very strong though it can be stronger in straits or close to islands.

249. A recent review of surface circulation in the Central Mediterranean (Poulain and Zambianchi, 2007), based on data of satellite-tracked drifters for 1990-99, provides a broad quantitative description of the central Mediterranean surface circulation. The emergent view is that the dynamics of the channel at large, including the Tunisian shelf and the area south of Malta, sometimes exhibit unexpected characteristics of the surface velocity field, sometimes stagnant or even directed the opposite way with respect to the currents flowing further to the north. Furthermore the seasonal character of the surface circulation in the area as well as the effect of wind forcing was found to be well evident. It was found that when winds blow from the northwestern sector (like the Mistral) the surface eastward transport in the Sicily Channel is enhanced. In contrast, for opposing wind conditions (blowing from the southeastern sector), the transport through the Channel is significantly reduced.

250. These hydrodynamic features are highly relevant to determine the fate of contaminants in the area. In general the tides in the area under review are weak, at about 10-50 cm. Surface sea temperatures and salinity patterns in the open waters are mainly influenced by seasonal circulation patterns and coastal upwelling. Upwelling events are often evident in the Straits of Otranto and off Sicily as well as off the Tunisian and Libyan coasts. Along the Sicilian coast upwelling is governed by the south-eastward winds and by the inertia of the isopycnal domes of the Atlantic Ionic Stream meanders and cyclonic vortices that can extend its influence far offshore due to the configuration of the circulation. Furthermore, relatively sharp transitions in SST along the east-west axis of the area under review are often evident especially during certain parts of the year, due to sub-basin hydrodynamic changes. In the coastal regions, SST exhibit wider diurnal and seasonal fluctuations due to the shallow water (Figure 3.4).

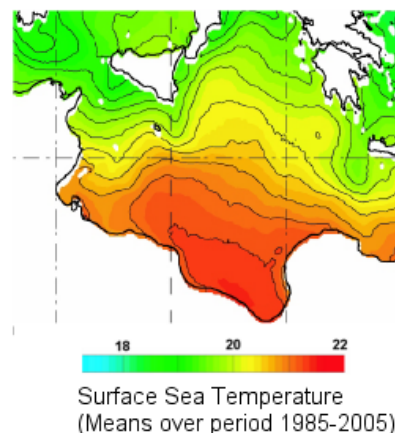


Figure 3.4: Sea surface temperatures for the area under review as estimated by Marullo *et al.*, 2006.

251. The transitional nature of the area along the North-South Axis in terms of SST is clearly visible in this figure. According to the review by Ludwig *et al.*, (2009), the annual average rate of precipitation over the period 1960 to 2000 has been estimated to be 552 mm for the whole Mediterranean basin, 784 mm for the Ionian area and 79 mm for the southern Central Mediterranean. This clearly shows that the uneven availability of water in the area under review, with its European half having an average precipitation rate above the Mediterranean average, and its African half being one of the driest areas of the whole basin. Furthermore trend analysis suggests that climate in the Mediterranean clearly evolved towards dryer conditions. The same authors indicate that the mean recorded air temperatures in the Mediterranean show an upward trend. The only exceptions are the drainage basins of the Ionian, Aegean and North-Levantine seas, where the trends are statistically not significant.

Nutrients and primary productivity

252. Like in other oligotrophic marine areas, the Mediterranean, including the area under review is characterized by generally pronounced thermal stratification of the water column, which delimits (1) a warm surface mixed layer with high light intensity but depleted in nutrients and (2) a sub-superficial

layer with low light levels and more nutrients. The depth where the dissolved nitrate concentration approaches zero (nitracline) is around 75 m in the Ionian Sea, during the stratified period. The same nitracline is found at about 10m depth at the Alboran Sea, and can reach more than 150 m in the Levantine basin of the Mediterranean Sea. This is one of the features of this area which well exhibits its transitional nature between the two basins.

253. As expected, these low nutrient conditions have a direct and great impact on the level of primary productivity in the area. In fact a decrease in integrated primary production, particulate carbon export and nutrient availability towards the eastern side of the Mediterranean Sea is observed, while integrated chlorophyll a remained constant.

254. Integrated primary production normally reach 300 mg C m⁻² d⁻¹ in the Ionian basin, which is again found to be intermediate between the value generally recorded for the western basin (approx. 500 mg C m⁻² d⁻¹) and that recorded in the Levantine basin, which is 150 mg C m⁻² d⁻¹ and which is considered as a limit for primary production rates under strong oligotrophic conditions (Moutin and Raimbault, 2002). The highest levels of productivity occur along the coasts, near major cities, and at river estuaries.

255. It is generally believed that in the Mediterranean, photosynthetic production is limited by phosphate availability. Dissolved inorganic phosphate concentrations in the upper photic zone are known to decrease from west to east reaching levels well below 1 nM (Moutin and Raimbault, 2002). Nonetheless in some places where nitrates or even silicates are low, they are also known to be major limiting factors for primary productivity.

256. Pacciaroni and Crispi (2007), evaluated the relative importance of nitrogen and phosphorus, as external loads, on Mediterranean biogeochemical cycles. Biomass concentrations were analysed considering the steady state response of the threedimensional ECHYM model to three nitrogen and phosphorus atmospheric depositions, considered as continuous in time. The distributions of nutrients within the biochemical compartments were analysed, highlighting, inside the Mediterranean oligotrophic environment, the role played by ultraplankton, the smaller phytoplankton compartment. The authors review how the oligotrophy of the Mediterranean Sea is explainable as a response to the negative thermohaline circulation. The inverse estuarine circulation of the whole basin determines a negative budget for nutrients at the Gibraltar Strait, since there, nutrient-poor surface water is imported from the Atlantic Ocean and relatively nutrient-rich intermediate water is exported. Thus the detailed three-dimensional hydrodynamics of the entire basin, coupled to the main biogeochemical dynamics, must be taken into account to resolve the Mediterranean ecosystem variability. Furthermore, phytoplankton growth depends on the abovementioned nutrient conditions. Chlorophyll concentrations remain high in the upper layer and coincide with nutrient depletion. The nutrient-depleted surface layer is separated from a layer of abundant nutrients, at some distance below the euphotic depth, by a nutricline, layer in which nutrient concentrations increase rapidly with depth. Therefore, depending on light intensity at the surface and the turbidity of the water, the displacements of nutricline and pycnocline determine abundance and productivity of phytoplankton.

257. The authors estimated through the application of models the yearly averaged Chl:C ratio for ultra- plankton in the whole Mediterranean basin. The western side of the Mediterranean Sea shows the greatest values, 0.018, in the Gulf of Lions and in the south of Sardinia. The lower Chl:C ratio is detected in the extreme eastern basin with about 0.008. They also estimated the Chl:C ratio for netplankton, giving values about halved than those for ultra-plankton. For the Ionian and Central Mediterranean, the values for Chl:C for ultra-plankton ranged from 0.01 to 0.04 (Figure 3.5), while for netplankton, the rations varied from 0.004 to 0.009. The higher values tended to be located in the western half of the area under review and in particular along the Tunisian coastline.

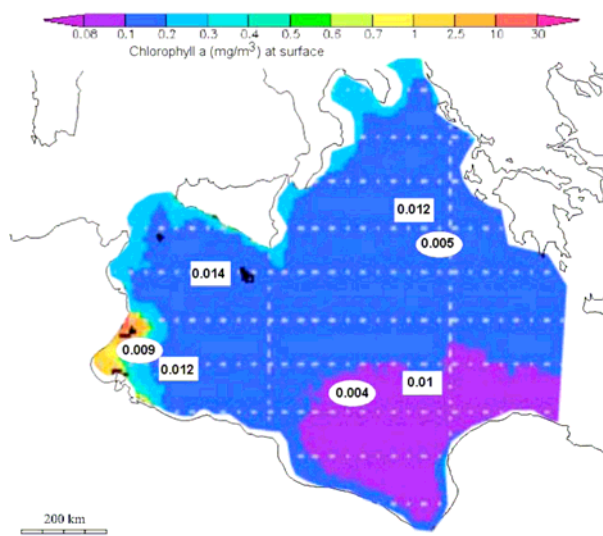


Figure 3.5. Chlorophyll a level means averaged between August 2002 and December 2008 (Cruzado 2009). The values inserted in rectangles show annual chlorophyll to carbon ratios relative to plankton, and those inserted in eclipses show the same ratios relative to net plankton (Pacciaroni and Crispi 2007)

258. In the south and central Ionian and in the far Eastern Mediterranean, values are generally well below 0.05 mg Chl m⁻³ (Figure 5). These models also show near-surface chlorophyll signals above background northwest and south of Sicily. Unfortunately such models did not cover many coastal zones of the southern Mediterranean (including Libya).

259. The same models were also used to estimate vertical profiles (up to 200m depths) of chlorophyll distribution along selected transects of the Mediterranean, one running from the Gulf of Gabes towards the East. The result suggest a deep chlorophyll maximum of 0.2 mg Chl m⁻³ at 100 to 40 m depths starting within the Gulf of Gabes, and extending along the Gulf of Sirte with values of 0.15 mg Chl m⁻³

260. As regards the atmospheric nutrient deposition in the different Mediterranean areas, the authors estimated values ranging from 9.9 to 10.4 x 10⁻⁸ umol N dm⁻³ s⁻¹ for nitrates and 1 to 2.9 umol P dm⁻³ s⁻¹ for phosphates within the Central Mediterranean.

261. These values are intermediate between those for the Western and Eastern basins. Figure 6 shows the distribution of particulate carbon in February 2010 as visualized and analyzed by the Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC. In spite of its limited temporal extent (representing the situation in a single month), this figure in general collaborates the features of bio-productivity in the area under review as have been identified in the above account.

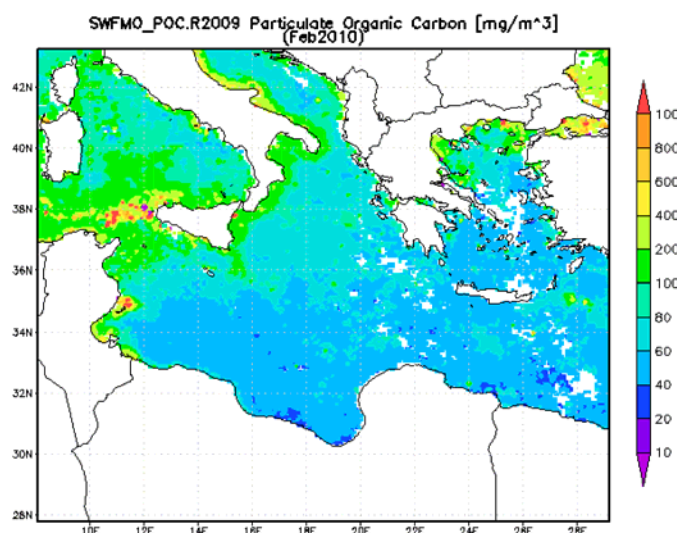


Figure 3.6: Particulate Organic Carbon as recorded in February 2010. *Analyses and visualization were produced with the Giovanni online data system, developed and maintained by the NASA GES DISC.*

Biological Characteristics

262. The Central Mediterranean subregion comprises approximately 5700 km of coastline which represents 12.4% of the total Mediterranean coastline. The physical and topographic coastline features in the area vary greatly, from the relatively long sandy beaches of Libya to the undulating Ionian coastline of Greece. Unlike the rest of the Mediterranean basin, mountains are not particularly evident in this area, except for Mount Etna in Sicily. Relatively significant alluvial plains are found in Tunisia, being associated with the Medjerda River discharging in the Gulf of Utica and forming the crucially important wetlands associated with Ghar el Melh lagoon. Wetlands of unique beauty may also be found along the Greek coastline such as the Gialova lagoon at Pylos, Messinias.

263. Like the western subregion, the Central Mediterranean and Ionian subregion is characterized by high species and habitat diversity. Similar to the whole Mediterranean, biodiversity hotspots in the Ionian sea and the Central Mediterranean are characterized by both high levels of endemism and critical levels of habitat loss, and it is thus on them that conservation efforts mainly focus.

264. This high biological diversity is to be related to the specific geomorphological and hydrographical features of the Mediterranean basin, its geological history and its position as interface between temperate and tropical biomes that allow it to host both cold- and hot-affinity species (UNEP/MAP-Blue Plan, 2009).

265. The Central Mediterranean, as same as the whole Mediterranean, is currently experiencing a decline in the number of species and a deterioration of habitats, related to various human-origin activities, basically uncontrolled urbanisation and coastal development, ports, fish farming, pollution and fishing.

266. Broadly speaking in the Ionian Sea and the Central Mediterranean, the planktonic element (phytoplankton and zooplankton) remains little studied. In general, there is a low primary production, linked to low development of the higher levels of the trophic chain, including low production of fishes, are the main features that characterize the Mediterranean. The growth in oligotrophy from the west to the east is reflected in the abundance of the zooplanktonic biomass.

267. 'Bloom'/proliferation of certain life forms in the subregion has become increasingly common over the past few years, in the Gulf of Gabes in the southern area of Tunisia.

Anthropogenic Impacts

268. In the Central Mediterranean Subregion, an estimated 8.6 million inhabitants reside in a total of 27 coastal urban centers or areas. Of these, Tripoli is the biggest urban centre with 1.06 million inhabitants, with Tunis being the second largest with 0.72 million inhabitants, and Benghazi being the third largest with 0.67 million inhabitants. On the European side, the biggest coastal urban area is that of Taranto with 0.58 million and then Reggio Calabria with 0.57 million. This evidently shows that the urban concentrations with the highest populations are located on the African coastline in the subregion. On the Ionian Greek coastline, Patra is the biggest urban center with 0.22 million populations. Figure 3.7 shows the location of these urban centers, together with the relative levels of populations residing in such centers.

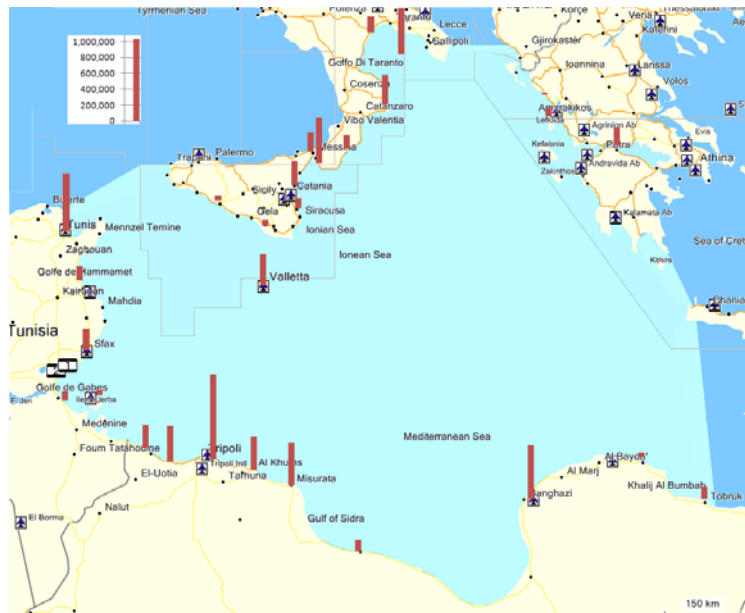


Figure 3.7: Location of major urban centres with relative population levels in the area under review.

269. A list of pollution hotspots and locations of areas of major environmental concern for the various Mediterranean countries has been compiled on the basis of national diagnostic analysis submitted to the Mediterranean Action Plan (MAP). Such list includes a total of 138 hotspots and 69 areas of major environmental concern. Fifteen (22) of such hotspots and 14% (10) of areas of major environmental concern are located within the subregion. The locations of such areas were shown in Figure 3.1.

270. Terrestrial inputs including runoff and river discharges have a direct influence on the coastal and marine systems and therefore on the quality status. The degree of such an impact may be at least partly gauged by the ratio between the surface area of the terrestrial watershed to that of the marine basin into which such discharges are emptied. For the whole Mediterranean basin, this ratio amount to 0.55 (CIESM, 2006).

271. The various sub-basins within the Mediterranean have different ratios. For example the greatest value for such a ratio is that for the Central Mediterranean (1.87), while that for the Ionian Sea is the smallest (0.37). This implies that the Central Mediterranean and in particular, the shallow coastal waters along the African coastline would be expected to come under great influence of the terrestrial watershed (drainage basin), which is particularly large for Libya. On the other hand, since the rate of precipitation in the area is low, then the rates of discharges would be low. In fact, according to Ludwig *et al.*, (2003) the estimated rate of freshwater inputs in the Ionian Sea in 1995 was estimated to be 25 km³ per year, while that for the Central Mediterranean may be less than 5 km³ per year. Grenon and Batisse (1989) report the average annual runoff flows from different river basins within the Mediterranean from different sub-regions. While such runoff volumes would be expected to vary significantly from year to year depending on precipitation and other factors, it is evident that the area

under review would be expected to receive approximately only 10% of the total annual runoff reaching the whole Mediterranean basin. Considering that this area is approximately 32% of the total surface of the Mediterranean, it may be expected that such area is not unduly directly influenced by such runoff when compared to other sub-regions within the Mediterranean. Furthermore, the greatest impact that may be expected from such runoff on coastal and marine water status would be in the Ionian part and along the coastlines of Italy and Greece, which would receive more than 95% of such runoff for the area.

272. Evidently, the manner and degree to which such land-based natural discharges effect the coastal and marine environment also depends on a large degree on the various anthropogenic pressures and activities on land. This includes forest cutting and grazing, leading to increased erosion, intensive agriculture as well as animal husbandry, damming and irrigation, as well as coastal urbanization.

273. In a recent report by Ludwig, *et al.*, 2009, river inputs of nutrients in the Mediterranean were reviewed. According to such estimates, the annual amounts of nitrogen, phosphorus and silica reaching the Ionian and Central Mediterranean from rivers in 1998, amounted to 63,000 tonnes N, 2,900 tonnes P and 59,000 tonnes Si, respectively. When compared to the same estimates for the whole Mediterranean, these inputs of N, P, and Si amount to 5 to 6% of the total amounts reaching the whole basin. The same report includes estimates of the amount of fertilizers (nitrogen) applied in the different drainage basins around the Mediterranean. For 1995 it was estimated that the amount of fertilizers (N) applied in the drainage basins for the Ionian and Central Mediterranean waters amounted to 1,900 kg N /km²/year. This amounted to 15% of the application rates for the whole Mediterranean basin.

274. Evidently, when viewed at the sub-region basin scale, river inputs may not be considered as a significant pressure on coastal and marine quality status for the subregion. The same may not be true to localized inshore areas in immediate vicinity of major river discharges.

Impacts

275. According to UNEP/MAP-EEA (2006), all five countries within the subregion consider the marine discharge of urban wastewaters as a priority environmental issue. Such effluents often include excessive loads of nutrients and of organic matter which lead to a deterioration in the water and sediment quality status and therefore of the eutrophic status of inshore waters, as well as pathogens and a whole range of hazardous chemicals, which are potential risks to human health. These issues may seriously affect the quality of life in the coastal areas, and therefore have economic implications to coastal development and tourism.

276. The permanent population along the coastal areas of the Ionian and Central Mediterranean is in the order of 8.6 million inhabitants residing in about 27 coastal urban centers or conglomerations. The demographic features of the area have already been reviewed above. Furthermore, due to the intense tourism activities in the area, this population may be doubled during the summer peak months. Though no regionally based data of tourist's arrivals were available for the present report, a rough calculation from the available published data may indicate that the number of tourist arrivals may reach from 15 to 20 million visitors per year.

277. As part of the pollution reduction component of the Euro MED Initiative Horizon 2020, LDK-ECO S.A. Environmental Consultants (2006) reviewed the pressures arising from urban wastewaters in a range of South Mediterranean countries, including Libya and Tunisia. While past infrastructure projects have extensively taken place on urban wastewater sanitation in Libya, the report refers to defects in pumping stations and wastewater treatment plants, and improper connection with run-off ditches and open channels, resulting in lack of proper treatment of urban effluents. At least up to 2006, rehabilitation of the treatment plants was required for the largest two cities Tripoli and Benghazi, as well as Janzur, Dernah, Khums, Tobruk and Sabrata.

278. Maintenance of civil and mechanical works and connection of sewage pumping sanitation were needed for a number of wastewater treatment plants. The report also refers to large amounts of run-off water from urban areas find their way to the sea through special outlets, as in Tripoli, or through natural valleys and watercourses, as in Khums, Al Qarabulli, Tajura, and Sirt Cities. In the case of Tunisia, the LDK-ECO S.A. report (2006) states that wastewater services were very well developed. However up till 2006, some large cities required an extension of their sewage network

(Ariana and Ben Arous in Tunis area, Mahdia, Sfax, Gabes and Djerba), where the connection rate is below 85%. Furthermore, because of the fast growth of the urban population, some treatment plants cannot cope with the rapidly increasing flow of effluents. For example, although the greater Tunis area operated a sewage treatment plant, the rapid population growth has resulted to a treatment capacity deficit of 60,000 m³ per day. It is quite likely that this state of affairs had improved since 2006.

279. As part of the present assessment, an attempt has been made to estimate the approximate volume of domestic wastewaters produced in the region, and of this how much receives treatment. Although available data are insufficient in some cases, nonetheless some estimates were possible on the basis of reported number of residents in these areas. Furthermore, according to various EU online databases, for the whole Italy it has been reported that than 60% of its urbane wastewaters, currently receiving some kind of treatment. Based on this information, as well as on the data provided by the NDA reports for the other countries, it was estimated that the approximate total volume of urban wastewaters generated in the area under review would be 765 million m³ per year. At least 40% of this remains untreated and a significant amount is bound to reach the marine environment. Figure 3.8 shows such assessment graphically.

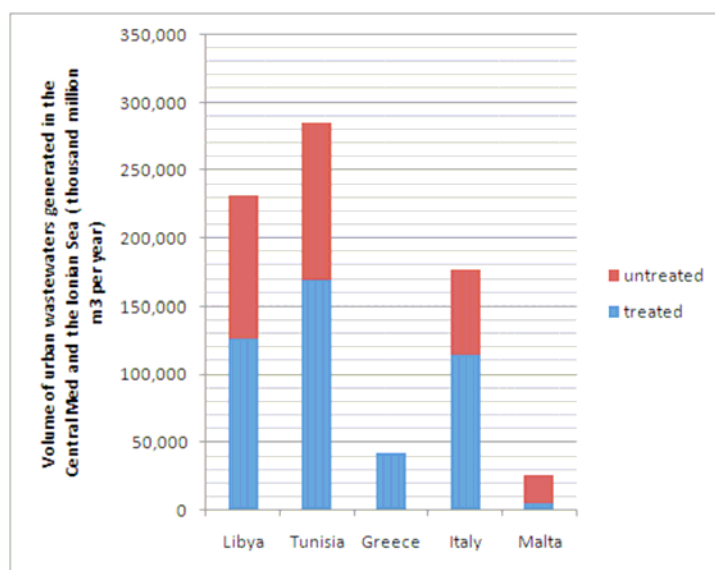


Figure 3.8: Volume of urban wastewaters (million *1000 m³ per year) by the various regions bordering the Ionian and Central Mediterranean.

280. Industrial effluents also affect water quality, and in the case of phosphorus, industrial effluents far exceed urban effluents in importance.

281. UNEP/MAP (2008) had reported the total load of some selected pollutants as reported by all Mediterranean countries by sector. The data suggest that when compared to releases over the whole Mediterranean, the annual rates of release of a number of important pollutants in the subregion are not significant. This particularly applies to mercury, phenols, lead, chromium and possibly nickel. On the other hand releases of polyaromatic hydrocarbons in this area are significantly higher than those that would be expected, probably related to the increased shipping traffic in the Central Mediterranean.

282. The most important sources of releases of marine contaminants in the Mediterranean, has been recently reviewed by UNEP/MAP (2008) and UNEP/MAP-BP/RAC (2009). As pointed out by the UNEP/MAP-BP/RAC report, data transmission of NBB by the various states within the Mediterranean presents gaps. This is particularly so for the Central Mediterranean since the data on industrial releases from the southern Mediterranean states accounted to only 11% of the whole data set received by UNEP/MAP. Based on the emissions reported to UNEP/MAP-MED POL, in the Central Mediterranean area manufacture of metals and oil refining and oil/fuel related operations assume bigger importance as sources of pollution, than production of energy. As expected (due to the level of water scarcity), the industrial sector of desalination also features quite prominently. Also, aquaculture appears to be a sector of emerging importance. Figure 3.9 shows the relative importance of releases (% loads) of trace metals from the various identified industrial sectors in Italy (releases into the Ionian sea only), Libya and Malta.

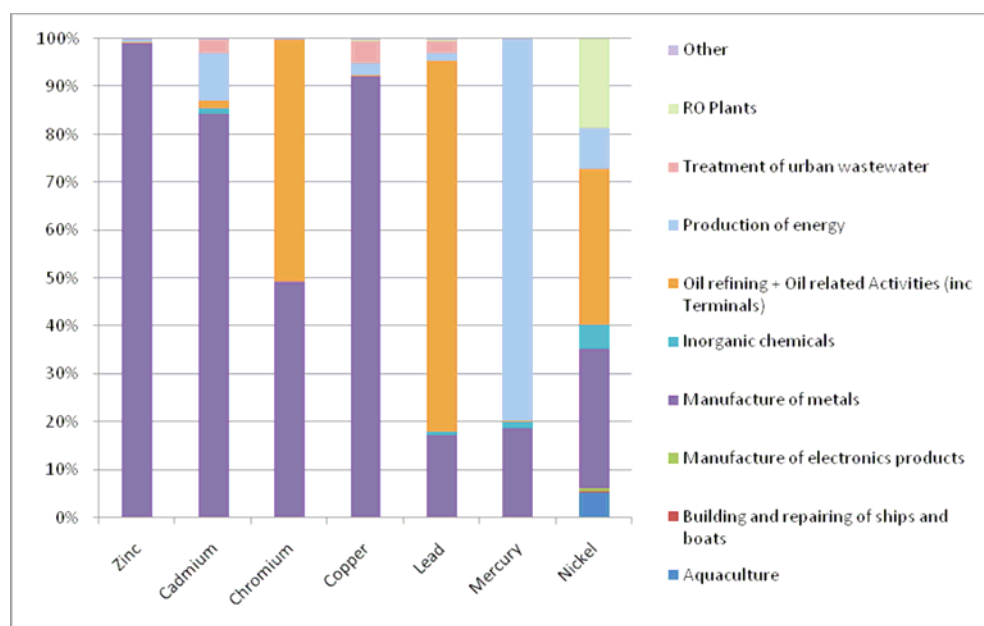


Figure 3.9: The relative importance of various sectors for the release in the marine environment of various trace metals (based on data from Italy-Ionian, Malta and Libya)

283. As would be expected, most of the metals released in the area arise mainly from the manufacture of metals as well as from oil refining and oil/fuel related activities. Mercury is mainly released from production of energy, unlike for the rest of the Mediterranean, where is mainly released from manufacture of fertilizers (UNEP/MAP, 2008).

284. Figure 3.10 shows the relative importance of releases (% loads) of various other main contaminants from the various identified industrial sectors in Italy (releases into the Ionian sea only), Libya and Malta.

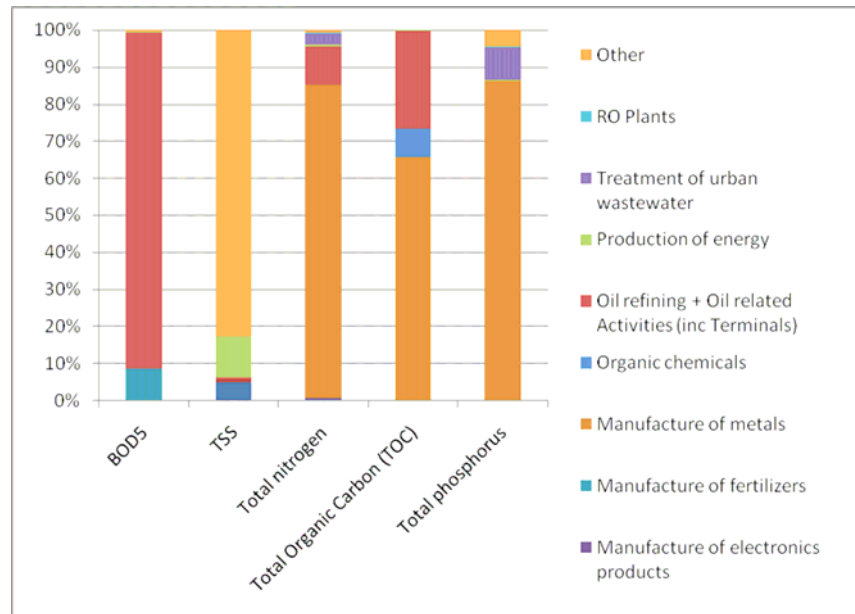


Figure 3.10: The relative importance of various sectors for the release in the marine environment of BOD5, TSS, TOC and total Nitrogen and Phosphorus (based on data from Italy-Ionian, Malta and Libya)

285. Manufacture of metals causes the release of a number of contaminants. This may not necessarily be representative for the whole subregion. Furthermore, UNEP/MAP (2008) shows this industrial sector to be only relatively important for the release of total nitrogen, for the Mediterranean as a whole.

286. The available data suggest that the oil sector is the main industrial sector responsible for BOD5 release. According to UNEP/MAP (2008), this is also a main feature found for the rest of the Mediterranean (along with food packaging, and farming of animals).

287. Agriculture has been reported to be the largest non-point contributor of pollutants to the Mediterranean (UNEP/MAP, 2001). One of the main drainage basins dominated by agricultural land is located in Sicily (online EU database: reports.eea.europa.eu). Indeed, agriculture is a main economic sector in the subregion. In fact it has been cited as the main consumer of fresh water resources within the Mediterranean (64% for the whole basin, UNEP/MAP-BP/RAC, 2009).

288. For Tunisia, Libya and Greece, irrigation for the agricultural sector accounted for approximately 80% for water demand over the period 2005-2007). Coastal agriculture is a common feature in the subregion, (especially for Tunisia and Libya), and in view of the need to increase produce with limited land availability, the application of natural and artificial fertilizers (apart from pesticides) must be quite intense in several localities. Rain runoff from the drainage basin containing such agricultural lands is most likely to be an additional source of nutrients and organic loadings in coastal waters. This may be less important in countries like Libya where the rate of annual precipitation is quite limited, but may be much more important along the Ionian coastline.

289. Agriculture in Tunisia makes a considerable contribution to the country's GDP. The industry is faced with problems of water availability, desertification and soil erosion. Coastal agriculture in particular is characterized by fairly advanced technologies, including considerable use of inorganic fertilizers and increasingly generalized phytosanitary treatment. To a certain extent this contributes to the pollution of seawater (UNEP/MAP-BP/RAC, 2001). The development of intensive irrigated agriculture has led to the overexploitation of ground water; the response has been to design recharge programmes in order to maintain the agricultural activities necessary to the region.

290. Agriculture in Malta is not an important contributor to the country's GDP. Nonetheless it has an important role in landscape conservation. One of the main environmental pressures arising from current agricultural practices on the island is the release of excessive nutrients (particularly nitrates) in

the fresh water aquifer resources. Several studies also indicate that specific coastal areas such as Marsascala, and Xlendi are particularly sensitive to increased nutrient loadings from agricultural run-off.

291. Eighty per cent of Libya's agriculture is located in coastal areas. A major environmental concern here is the depletion of groundwater as a result of overuse in agriculture, causing salinization due to sea-water penetration into the coastal aquifers.

292. The following assessment of levels of contaminants in the marine waters, sediments and biota in the Ionian and Central Mediterranean is mainly based on UNEP/MAP (2008) and UNEP/MAP - MED POL (2009a). Both reports noted that the main problem to be taken into consideration was unequal geographical distribution of the available data.

293. Most of the data on trace metals are available on five metals, namely: cadmium, mercury, lead, zinc and copper. UNEP/MAP-MED POL (2009) produced synoptic figures of the distribution of mean concentrations of trace metals as found in coastal marine sediments and in marine bivalves, in the Mediterranean. As indicated by UNEP/MAP (2008), elevated levels of mercury in marine sediments are more often found in the immediate vicinity of industrialized or heavily urbanized coasts. For example, mercury levels in the Gulf of Taranto range from 40 to 410 ng g⁻¹ dw in sediments near the coast and 70 ng g⁻¹ dw in sediments offshore, in the centre of the gulf. An extensive study in the Strait of Sicily revealed that mercury levels ranged from 50 to 70 ng g⁻¹ dw, with samples registering higher contents with maxima up to 202 ng g⁻¹ dw. Similarly, sediments of the Strait of Otranto reached 78 ng g⁻¹ dw.

294. Mercury levels in marine offshore sediments as recorded in the Ionian Sea were generally found to be comparable to those from other Mediterranean areas (around 50 ng g⁻¹ dw). Di Leonardo *et al.*, (2006) have shown occasional high levels of mercury in the Strait of Sicily.

295. More recently some additional data is available for trace metals in sediments from Malta, Lampedusa and to a lesser extent from Linosa. The most elevated levels of such contaminants in sediments were associated with the main sewage outfall in Malta. This currently discharges 80% of the total liquid wastes (domestic and industrial wastes) generated in Malta, untreated in the marine environment. Of the trace metals assessed, zinc levels were generally higher, probably due to natural factors. For the case of mercury in marine sediments in Malta, Lampedusa and Linosa, levels were relatively low, except for some outlier maxima reported in the immediate vicinity of the main outfall in Malta.

296. Organotins have been used for a wide range of applications, generally related to their biocide effects. One of the best known is tributyltin (TBT) which has until recently been used as an antifouling agent for ships and boats (amongst other applications).

297. TBT is one of the most potent biocides which may reach the marine environment and as such warrants a more detailed look at the available data. UNEP/MAP (2008) reviewed much of the available data on organotins in general and more specifically on TBT. Such review has shown that much of the data available for the Mediterranean comes from the western basin (especially Spain) and Egypt. For the Central Mediterranean, Axiak *et al.*, (2000), reported that the two main sources of marine contamination by TBT in Malta were the ship-repairing dockyards and marinas. It was found that in bulk seawater, TBT values ranged from below the detection limit of 5 ng Sn L⁻¹ to 300 ng Sn L⁻¹; in sediments deriving from the most polluted areas, TBT concentrations as high as 1500 ng Sn g⁻¹ dw were measured as seen from Figure 3.2.

298. At TBT levels found in local harbours, several biological responses were observed, including significant reduction in Mixed Function Oxidase enzyme system activities of fish; digestive cell atrophy in the oyster *Ostrea edulis*; and induction of imposex in the snail *Hexaplex trunculus*. The latter two responses are evident at TBT concentrations below the environmental quality standard (20 ng Sn L⁻¹).

299. Imposex monitoring in Lampedusa and Linosa during 2006-2007 (Axiak, *et al.*, in press) have shown that recent TBT contamination in both islands which have to date been considered as relatively pristine areas, is significant. There is also evidence that the occurrence of such imposex has increased significantly since 1996 (as reported by Terlizzi *et al.*, 1998, and so has the impact on the populations of this species. The most likely source of pollution by TBT in both islands is the relatively high maritime activities during summer. Through imposex monitoring, it is evident that levels of TBT

are or at least until very recently were widespread found in the Ionian, the Central Mediterranean and elsewhere.

300. According to UNEP/MAP-MED POL data, (UNEP/MAP-MED POL 2009a) the Central Mediterranean and Ionian Sea were relatively free of hotspots of chlorinated hydrocarbons in marine bivalves, at least according to the present availability of data. Lower median levels were also estimated for total DDTs, and for lindane in the bivalve *Mytilus*, when compared to median levels in other Mediterranean sub-regions.

301. Few spatial and long-term temporal trend monitoring of fish, mussels and seabird eggs have been carried out in the Northern Mediterranean. A general decline of DDTs has been reported for marine biota along the Mediterranean coast of France and Italy, and from the Adriatic Sea between 1970's and 1990's, which is consistent with the regulatory restrictions on production and use of this compound. PCBs, in general, do not exhibit such clear trend. No such conclusions could be reached for the area under review, due to limited availability of data.

302. UNEP/MAP (2008) reviewed the levels of various forms of halogenated hydrocarbons within the Mediterranean, including DDTs and other halogenated pesticides, chlorinated paraffins, perfluorinated compounds, brominated flame retardants, dioxins and furans, as well as polychlorobiphenyls. In this review, a number of case studies (often of an ad hoc nature, rather than resulting from long-term monitoring) are reviewed. Few case studies which fall within the area under review were identified. Ranges of reported levels of PCB levels in the fish *Dicentrarchus labrax* and of *Thunnus thynnus* in the Strait of Messina, were in general comparable to those of other regions, though sometimes higher. The same applies to levels of DDT (though wide ranges in such levels have been often recorded). Levels of dioxins and furans (polychlorinated dibenzo-p-dioxins, and dibenzofurans) in the shrimp *Aristeus antennatus*, during 2001 as measured in the western and eastern Ionian Sea were generally lower or comparable to those measured along the Catalan and Balearic coastal waters. Recent results from 'mussel watch' experiments as well as chemical monitoring in sediments, in Lampedusa, Linosa and Malta (Scarpato *et al.*, in preparation) suggest that except in the immediate vicinity of the main sewage outfall in Malta, the levels of PCBs, chlorinated pesticides and other halogenated hydrocarbons are low and often below the detection limit.

303. Most of these halogenated hydrocarbons often reach the marine environment through river discharges, coastal runoff (especially from agricultural land for pesticides) as well as sewage outfalls (especially when industrial wastewaters are discharged into public sewers. The above account suggests that though levels of such contaminants may be high in the immediate vicinity of likely sources (as identified above), such as along heavily industrialized coastal areas along the Ionian and Sicilian Italian coast. However, the subregion as a whole is relatively free of contamination hot-spots.

304. A geographical trend in contamination was found in studies of the striped dolphin in the Mediterranean basin: PCB and DDT levels decreased from the north-west (Ligurian Sea) to the south-east (Ionian Sea). Fossi *et al.*, 2004, investigated the bioaccumulation of a range of contaminants in specimens of striped dolphin collected from various regions within the Mediterranean.

305. Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) are often related to crude oil, and petroleum fuels and products. Though there is a range of potential land-based sources of such marine contaminants, the most evident are maritime traffic and the chronic (from normal operations) and accidental releases of oils and other fuels, oil refineries and oil/fuel terminals, as well as atmospheric fallout from point and diffuse land-based sources. Industrial solvents and degreasers may also be considered as significant sources of such hydrocarbons.

306. PAHs are often associated with superficial marine sediments, especially in harbors and near coastal industrial complexes. UNEP/MAP (2008), while reviewing PAHs in marine sediments from several Mediterranean localities, indicated that such levels as measured in Sfax coastal region and in Bizerte lagoon, Tunisia, are in general comparable or lower than those from other regions. Furthermore, PAHs as measured in limpets collected from various Sicilian coastlines were again comparable or lower than PAHs as measured in a whole range of other biota, elsewhere. Levels of PAHs in superficial sediments from Lampedusa, Linosa and Malta were in general very low and often below detection limits, except in the immediate vicinity of Malta's major sewage outfall. However, the validity of such 'snapshot' to an assessment of a region-wide assessment of levels of pollution is limited.

307. Nonetheless there is evidence to suggest that levels of petroleum hydrocarbons in the vicinity of oil refineries and oil terminals located within the area under review are often significantly high. For example, Zrafi-Nouira *et al.*, (2008 a,b) reported on the concentrations, spatial distribution and chemical profiles of petrogenic PAHs in the coastal area of Jarzouna, Bizerte in Tunisia, which is one of the major oil refineries in the area. Total hydrocarbon levels ranged between 46 and 76 mg L⁻¹ in seawater samples and between 28 and 102 mg L⁻¹ in water extracts. The sites nearest to the oil refinery were found to be chronically contaminated by total petroleum hydrocarbons based on aliphatic biomarkers.

308. Zaghden *et al.*, (2005) also reported significantly high levels of non-aromatic hydrocarbons in superficial marine sediments from Sfax, Tunisia, with ranges from 310 to 1406 µg g⁻¹ dw. The same authors suggest that such status is due to the marine discharge of untreated industrial effluents. Similar situations must be found in the vicinity of other refineries in Libya and Sicily. Cardellicchio, *et al.*, (2007) analyzed for a range of marine contaminants in surface sediments from various stations in the Mar Piccolo of Taranto. Total PAH concentrations ranged from 380 to 12,750 µg kg⁻¹ d.w., these levels being considered as higher than those found in others marine coastal areas of the Mediterranean Sea. For PAHs, low molecular weight/high molecular weight, phenanthrene/anthracene and fluoranthene/pyrene ratio were used for discriminating between pyrolytic and petroleum origin. Results showed that PAHs were mainly of pyrolytic origin.

309. The research by Axiak (in preparation) indicates that levels in harbors may sometimes exceed 100 µg, especially near intense shipping activities and near a tanker reception facility. Bouloubassi *et al.*, (2006) showed that deep and open waters in the Mediterranean appear to act as a significant PAH sink. However, PAH temporal patterns showed noticeable seasonality.

310. Bianchi *et al.*, (2004), reviewed several data on persistent toxic contaminants in various environmental phases at Augusta-Priolo and Gela, Sicily (both sites of important oil refineries and petrochemical operations). These include a range of heavy metals, PCBs as well as PAHs. The group concluded that a high birth prevalence of hypospadias and other human congenital anomalies from the two areas are related to such levels of pollution.

311. Small to medium size oil slicks and floating pelagic and coastal tar are unfortunately a common feature in surface waters of the subregion. Golik *et al.*, (1988) reported on a monitoring survey of 101 stations in the Mediterranean Sea in August– September, 1987, where floating tar samples were collected, using neuston nets. The authors concluded that the Gulf of Sirte, where the mean tar content was recorded at 6859 µg m⁻², had the highest level of oil slick pollution. The area with the next polluted levels was found to be in the far eastern basin with mean values being at least 75% less. The least polluted areas were the western Mediterranean, 236 µg m⁻², and the northern Ionian Sea as far east as halfway between Crete and Cyprus, with mean tar concentration of 150 µg m⁻².

312. At the four main Libyan oil terminals in the region (Tripoli, Misurata, Khoms and Zawia), no waste reception facilities are available, except for the one in Tripoli, which according to REMPEC lacks 'adequate and organized reception and treatment facilities for oily waste' (REMPEC, 2005).

313. According to the EC Joint Research Centre/IPSC (2006), the area between Sicily and Malta is a pollution hotspot regarding oil spills in the Mediterranean Sea. The same conclusion has been reached by a recent review by Heber, 2009. The author explains how since 2008, the European Maritime Safety Agency has been providing Member States with snapshots of their monitoring zone, allowing potential oil spills to be spotted. In 2007-2008, REMPEC collaborated with the European Space Agency under the MARCOAST project to report 454 potential cases of discharge.

314. Oil spill density maps derived from satellite imagery for the whole Mediterranean have been produced by various authors (e.g. Tarchi *et al.*, 2006; Ferraro *et al.*, 2007). In general, these reviews provide the following conclusions:

- Offshore areas, often beyond territorial waters are often exposed to high levels of oil spill incidents. This suggests that such spills arise from illegal and deliberate releases in high seas.
- For the subregional, most of the oil spills are often located along the major East-West maritime traffic lane along the Sicilian Channel, and especially between Malta and Sicily, as well as on the Ionian stretch between Sicily and the Peloponnese peninsula. Considerable oil spills are also present along the Ionian waters off western Greece and in the Straits of Otranto. These latter spills most likely arise from the considerable maritime traffic leading into and away from the Adriatic.

- The Gulf of Sirte and the Tunisian waters are often depicted as have relatively low levels of oil spills. This may be due to the relatively low number of images available for analysis from this area.

315. The main point source of radionuclides releases into the marine environment would be operational or active nuclear reactors used for energy generation and/or research. At present, the subregion is relatively free from such sources. However, no data on the levels of possible nucleotides in Italy were available. In the case of Greece, the NDA reported that the activities that could cause the pollution of waters with radioactive substances are limited and connected to research programmes of Institutes and thus, there is low probability of pollution. The NDA reports for Libya refer to the potential sources of radionuclides (these being research centres and hospitals) but do not provide any information on levels. The situation is the same for Tunisia.

316. Releases for nutrients, organic matter and total suspended solids within the Ionian and Central Mediterranean were assessed by UNEP/MAP-BP/RAC in 2009. The geographical distribution of point sources of BOD5 and Total N (industrial sources) was based on the individual countries' emission inventories (NBB). Using this information, an attempt was made to identify the percentage of releases of such contaminants in the subregion on the basis of the graphical information as reported by UNEP/MAP-BP/RAC, 2009. The results are presented in Figure 3.11 below.

317. In spite of the inherent limitations of the available data, it appears that the releases of total nitrogen (from industrial point sources) as well as of organic matter (in terms of BOD5) from the area under review is lower than similar releases from other regions (taking into account that the area covers 32% of the total surface of the whole basin).

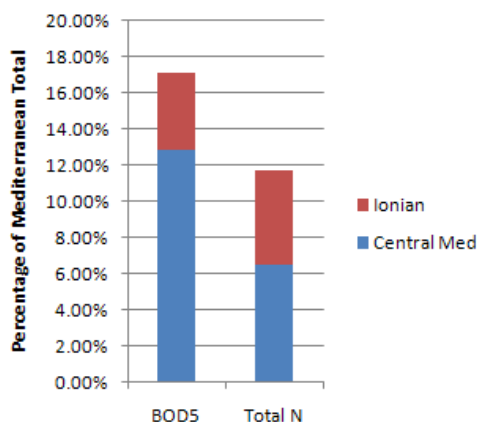


Figure 3.11: Percentage releases from industrial point sources, of BOD5 and of total nitrogen as reported by UNEP/MAP-BP/RAC, (2009) in the area under review as compared to releases in the whole Mediterranean.

318. Increased nutrient loads and localized enrichment by organic materials can lead to eutrophic conditions as well as possible to harmful algal blooms. A recent UNEP/MAP-MED POL draft assessment (UNEP/MAP – MED POL 2009b) commented that although in open water of the Central Mediterranean Sea there is no evidence of eutrophication, nonetheless a number of coastal and estuarine areas in the area are regularly exposed to such risks, due to localized enrichment by nutrients and organic material.

319. For the Greek Ionian waters, eutrophic conditions have been reported in the semienclosed Amvrakikos Gulf, mainly due to agricultural runoff and effluents. Furthermore high levels of nutrients (e.g. nitrate maxima of $>100 \mu\text{g-at L}^{-1}$) and phosphate levels in excess of background levels were often recorded in the Gulf of Patras. On the other hand, the Greek Ionian coastal waters are generally oligotrophic, except in the immediate vicinity of river discharges (which carry mainly agricultural runoff).

320. In Tunisia available data indicate eutrophic conditions of the coastal lagoon of the Lagoon of Tunis, where various cases of dystrophic events have been reported, including fish mortalities due to anoxic conditions and blooms of toxic algae. In the Northern Ionian Sea, including the Sicilian Channel

only minor levels of increased nutrients have been recorded (as evidenced through chlorophyll levels). Libyan waters are mostly affected in the immediate vicinity of the large cities such as Tripoli and Benghazi. In the case of Tunisia, the levels of chlorophyll in the Gulf of Gabes were found to be relatively high, this being probably due to natural conditions. Incidence of mild eutrophic conditions in Maltese waters is restricted to harbour areas (such as the innermost part of Grand Harbour) and marinas (eg. Msida marina), as well as to creeks exposed to significant agricultural and other runoffs, such as Marsascala (Axiak, 2004). In Italy, only one area is reported sensitive to eutrophication, in the southernmost regions, this being Castellamare del Golfo, in Sicily, which is not strictly within the subregion.

321. Satellite images of the subregion show the southern coastal waters of Calabria and Basilicata flanked by a large algal bloom with distinctive gyres. Image B, shows a massive long-shore algal bloom covering all of the southern coastline of Sicily. The eastern part of the bloom extends into large swirls which penetrate the Central Mediterranean and reaching to the East of Malta. Another algal bloom appears along the eastern coastal waters of Tunisia extending into the Gulf of Gabes, showing a very high anomaly (absolute values of chlorophyll equal or exceeding 10 mg m^{-3}).

322. It is likely that these massive bloom phenomena are mostly due to natural hypertrophic events linked with local upwellings and other factors. Nonetheless, these images clearly show the geographical extent of such blooms, which may then be augmented through anthropogenic induced hyper-productivity especially in the vicinity of river estuaries (often carrying agricultural runoffs) and sewage or industrial discharges. Barale *et al.*, (2008) had used SeaWiFS data acquired over the period 1998 to 2003 to identify algal blooming patterns in the Mediterranean. In general the recurrent, increasing blooms at the various hotspots, appearing in the chlorophyll anomalies, have been described as localized phenomena, linked to either air-sea interactions in pelagic domain or increased nutrient availability and low water renewal in coastal areas. The latter kind of anomalous blooms are likely anthropogenic or may be caused by the combination of specific geographical and meteorological conditions (e.g. enclosed bays during summer, when hydrodynamic forcing is low). This would suggest that noxious, or harmful, blooms — known to have occurred in the areas and periods considered — are predominantly local phenomena, with little or no connection to regional events.

323. Figure 3.12 shows the distribution of recorded events of eutrophication and of harmful algal blooms.



Figure 3.12: Locations of reported cases of eutrophication (red circles) and of harmful algal bloom events (green circles) in the area under review. (Sources: UNEP/MAP-EEA, 2006)

324. Apart from the coastal waters of Libya, it seems that the pressures possibly leading to such phenomena are evenly distributed throughout the coastline of the area, though in the case of harmful algal blooms, they seem to arise more frequently along the Italian coastline. Nonetheless, this may be an artifact of data availability. In fact no data is available about such phenomena from Libyan waters.

325. UNEP/MAP-MED POL, 2005 had reviewed the main sources of dumping wastes reaching the Mediterranean Sea. Most of this dumped material originates from the direct disposal from household waste, with releases from touristic facilities and run-off from waste dumps being also significantly important. Dumping of mine tailings is particularly important due to the often hazardous nature of such wastes. Deliberate dumping of oily bilge wastes from ships also occurs.

326. Voluntary dumping or loss of fishing gear may also be considered of importance, especially in this area under review which is often exposed to intense fishing practices. This may often lead to ghost fishing whose ecological and economic impacts may be considerable.

327. The NAP for Greece states that the disposal of solid wastes and sludge to the aquatic environment is prohibited. However, the degree of compliance with such regulations is not assessed. In the case of Malta, Axiak *et al.*, (2002) reports that considerable amounts of excavation wastes and dredged spoils are dumped at sea off the Grand Harbour, Valletta. For 2001 alone, approximately 177,000 tonnes of material were deposited at this official spoil ground. This practice has been ongoing ever since.

328. The NAP for Libya refers to the fact that the disposal of solid waste often presents problems for 'all coastal towns'. Furthermore, 'rains may cause these wastes to be driven to the seashore and hence may go further back along the coast'. In Tunisia the discharge of industrial by-products such as phosphogypsum (10,000 -12,000 tonnes per day) into the Gulf of Gabes (e.g. near Sfax, Ghannouch) constitutes a threat to the coastal marine environment and the ecological impact of such releases is significant. Guillaumont *et al.*, (1995) had earlier on reported on a pollution impact study in the Gulf of Gabes in 1995, with particular reference to phosphogypsum discharge. The group indicated that 50 million tonnes of this material had been discharged near Gabes city since 1975. Analysis of remote sensing data indicated major ecological changes in the Gabes Gulf to the west of the Gneiss-Djerba sill. *Posidonia* meadows that covered most part of the Gulf were by then restricted to some areas upwards of 10m depth. Under hydrodynamic processes, bare sediments could be easily re-suspended. Light reaching the bottom was reduced, inducing a shift from bottom primary production to a planktonic one. As regards marine disposal of dredging from coastal engineering works, very little detailed information was available from the relevant countries' NDA reports.

329. Nonetheless, due to the intense urbanization as well as mass tourism developments along the most of the coastline of the area under review, it is likely that this type of impact is significant. The NDA report for Malta gives some details about such activities, especially related to development of marinas. The report states that over the period 1998-2002, the estimated coastline of mainland Malta had been increased by 5% as a result of such engineering works. The ecological impacts of such works were also briefly outlined and these included reduction in the transparency of the water column, regression of *Posidonia* meadows and other related benthic changes. It was calculated that over a period of 1996-2002, approximately 4870 tonnes of TSS had been released in the coastal waters arising from five major coastal engineering works and dredging. It is quite likely that the same phenomenon has been occurring along many coastal areas especially in Tunisia, Libya and the Ionian coast of Greece which have been exposed to intense tourism activities.

330. Badalamenti *et al.*, (2006) report on impact studies of dredging works associated with a methane pipeline between Sicily and Tunisia (1981-93). This development involved considerable trenching at Capo Feto (Sicily) which resulted in significant impacts on *Posidonia oceanica* meadows. The mortality rate decreased with distance from the trench at all depth ranges, showing that the plants close to the excavation suffered a higher level of disturbance. Turnover and annual gross shoot recruitment rate were higher in the shallow portion of the meadow than in the deep range. Forecast of future meadow development close to the trench indicates that, if present conditions are maintained, shoot density will be reduced by 50% over the next 6 to 17 yrs.

331. Sea reclamation by disposal of solid waste in inshore waters, has often been proposed as one management option for solid inert waste. Sandy beach reclamations and replenishment programmes are also known from Malta.

332. Though not being classified along with hazardous substances, marine litter often pose significant risks to marine life. Some of the most frequently documents risks are those related to marine turtles and cetaceans, as well as to the smothering effects of bottom sea litter on benthic communities. Furthermore, besides representing an aesthetic problem in several coastal areas, marine litter is known to lead to economic impacts due to damages to small water crafts. The NDA

country reports for the area under review do not give sufficient details on this environmental issue, so only a brief outline of the potential problem within the area, may be included here.

333. Unpublished work from Malta (O'Neil, 2003) reported on the levels of beach stranded litter in four local sites in 2002. The same sites had been investigated in 1992. The study showed that the mean mass litter densities on the various beaches ranged from 622 to 40 g m⁻², with plastic being the most abundant component. The reported beach litter densities of a decade before were of the same order of magnitude. This had been explained by assuming that the level of stranded marine litter at these sites has reached a dynamic maximum (dependent on a balance between rates of stranding and rate of release back into the water phase due to currents) which may not be exceeded. Compared to other beaches within the Mediterranean, the reported values of beach stranded marine litter were quite high.

334. UNEP/MAP, 2009, quotes studies undertaken by the University of Patras in collaboration with volunteer fishermen in four major gulfs along the western coast of Greece. A total of 3,318 items of marine litter were collected from an overall area of 20 km² and reaching depths of 300 m. The results showed that the major sources of the collected litter were from land-based activities while the predominant items were composed of plastic (56 percent). The most impacted area was that of the Gulf of Patras with a recorded number of items ranging between 188 and 437 per km².

335. UNEP/MAP, 2009, gives the most recent overview of this problem within the Mediterranean and elsewhere. During the period from February to April 2008, 14 reports were received from ships within the Mediterranean recording the incidence and densities of marine litter in surface waters. In total, observations of 1,947 km of Mediterranean Sea resulted in the recording of 500.8 kg of marine litter. Observations were carried out mainly in the eastern Mediterranean (Aegean Sea, Libyan Sea and Eastern Mediterranean Levantine Sea), in the Alboran Sea between Spain and Morocco and in the Adriatic Sea, with plastic items the most numerous.

336. Marine litter released from ships and water craft amount to only 5% of litter at sea. This was attributed to the fact that all vessels above 400 tons or carrying more than 15 persons are obliged to implement garbage management plans in accordance with international maritime law. It is also true that the situation concerning the availability of reception facilities in the major Mediterranean ports has also improved in recent years. The status of 'Special Area' of MARPOL Annex V for the Mediterranean has taken effect as from the 1 May 2009. Subsequently disposal of plastics, and other litter is now prohibited into the Mediterranean Sea. Furthermore, Italy, Greece, Malta and Tunisia have confirmed that they have adequate port reception facilities for garbage disposal in the area.

337. The same report states that 52% of marine litter in the Mediterranean originates from shoreline and recreational activities. This is mainly due to the inadequate solid waste management practices of several countries within the region. Marine litter from 'shoreline and recreational activities' is also highly related to the tourism industry. Given the importance of tourism industry in the area under review, there is little doubt that a substantial amount of marine litter originates from the tourism industry, even here. This will evidently be much dependent on the level of solid waste management at the localities mostly exposed to intense tourist influxes, especially in summer. In fact UNEP/MAP-BP/RAC, 2009, cited UNEP/MAP-MED POL sources indicating that tourist facilities may generate up to 16% of coastal marine litter.

338. UNEP/MAP-MED POL/WHO (2008), has carried out a basin-wide assessment of the state of microbial pollution in the Mediterranean Sea. The report gives a review of the potential sources of pathogens on coastal waters and sediments, as well as the various bacteriological standards for bathing waters in different EU and non-EU countries, and details will not be repeated here. The same report indicates that for Greece, by 2005, all of the 2006 sampling points were complying with the national standards. For Italy, by 2005, only 6.2% of the 4919 stations sampled failed to comply with the national (EU) standards. In the case of Malta, by 2005, all 87 stations sampled complied with EU standards.

339. In the case of Libya, it may be noted that the number of stations sampled was quite low (30) compared to the length of coastline. Of these 30 stations, 10% failed to comply with the national standards. For Tunisia, out of a total of 506 stations sampled in 2007, 10% failed to comply with the national standards. Considering that the Central Mediterranean is the main traffic-way between the East and West Mediterranean, and the Ionian Sea is the gateway to and from the Adriatic, it is not

surprising to conclude that the area under review is exposed to more than its fair share of such pressures as arising from such maritime activities.

340. With respect to the Ionian and Central Mediterranean, the main ports are Patras and Corinth in Greece, Gioia Tauro and Augusta in Italy, the Grand Harbour and Marsaxlokk in Malta, the Port of Tunis in Tunisia, and the ports of Tripoli, Misurata and Bardia in Libya. Since 1997, Gioia Tauro has been one of the focal points of development in the container trade in the region. Gioia Tauro and Augusta feature as two of the main Mediterranean ports which receive the largest vessels, while the Grand Harbour, Malta is one of the regional ports with the smallest size ranges of calling vessels. Figure 3.13 shows the main maritime traffic routes for the region in 2006. In addition, one major traffic route for container ships (in excess of 190 transits per year) passes along the Sicilian Channel. When compared to the location of oil spills throughout the Mediterranean, it becomes evident that the main cause of the reported spills in along these lanes are due to illegal releases of bilge oils and other 'operational losses', rather than due to any accidental releases from ships.

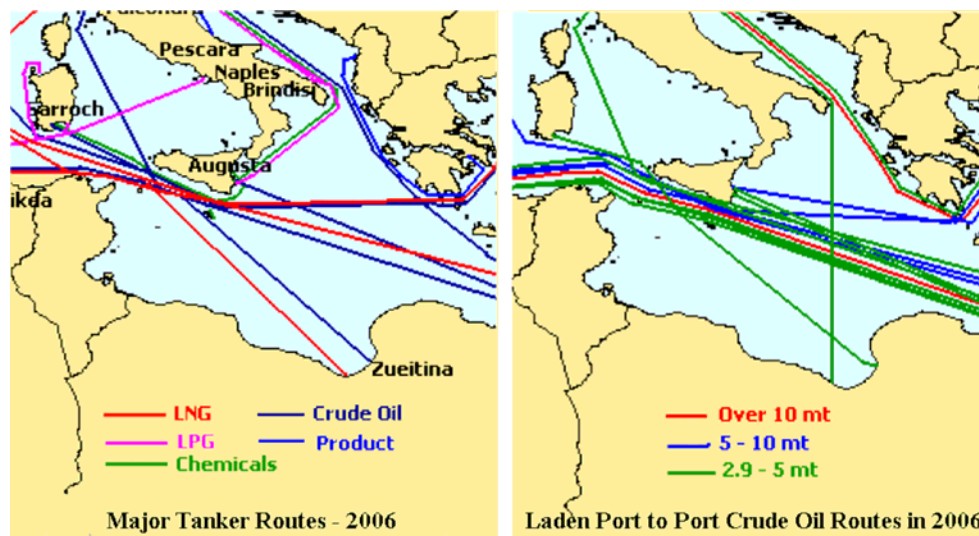


Figure 3.13: Main maritime routes in 2006 according to Lloyd's Marine Intelligence Unit, as reported by REMPEC (2008).

341. In 2006, crude oil loaded at Mediterranean ports amounted to 220 million tonnes. If we include the main oil loading port of Skikda, in Algeria, which is close to Tunisia, then the total weight of crude oil loaded in ports within the subregion amounts to 55.9 million tones, which is 25% of the Mediterranean total. In fact, crude oil and LNG trades are concentrated around a relatively small population of load and discharge ports and routes in the western and central Mediterranean. Crude oil shipments from Novorossiysk to Mediterranean destinations and from Sidi Kerir to both Mediterranean destinations and ports west of Gibraltar as well as exports from the Persian Gulf through the Mediterranean via Suez dominate the major traffic lines. In the LNG sector North African exports to other Mediterranean destinations predominate.

342. The average age of vessels calling at ports in the eastern Mediterranean is significantly higher than at western and central Mediterranean ports. For example, the average age of vessels calling Valletta, Malta is over 20 years compared to less than 14 years at the western Mediterranean ports. This point is highly relevant when assessing the risk of casualty in the region.

343. The introduction of alien species is also considered a major threat in the subregion, with corollary disruptions to biodiversity. The number of introduced species in the Mediterranean has increased spectacularly since the start of the last century. Their distribution varies from country to country. They have been mainly introduced through two pathways : (i) by maritime transport and fish farming and (ii) through the Suez Canal.

344. In the Central Mediterranean, marine fisheries are characterized by a large number of species caught per main fishing gear (i.e. multi-species fisheries) as well as by a variety of species that are exploited concurrently by different fishing gears (i.e. multi-gear fisheries). Fish farming is a relatively ancient practice in the Mediterranean basin. It has expanded enormously since the 1990s, particularly marine fish farming. This involves farming the gilthead sea bream *Sparus aurata*, the sea bass *Dicentrarchus labrax*, the mussel *Mytilus galloprovincialis* and the flat oyster *Crassostrea gigas*. Greece is the first offshore marine fish farming producer country in the sub-region but also in the whole Mediterranean with over 120,000 tons per year of sea bass and gilthead sea bream, while in raising bivalve molluscs, mussels and flat oysters hold respectively first and second place. Recently, the maintaining and growing out of tuna *Thunnus thynnus* has expanded. Fisheries and aquaculture cause major impacts in the subregion.

345. The fisheries of the region are characterized by a high level of exploitation, often resulting in overfishing. The target species are dominated by juveniles. The main species threatened by overfishing and illegal fishing are: *Anguilla anguilla*, *Epinephelus marginatus*, *Sciaena umbra*, *Thunnus thynnus*, *Xiph gladius*, *Mullus barbatus*, *Mullus surmuletus*, *Merluccius merluccius*, *Sarda sarda*, some species of cartilaginous fishes, crustaceans as *Homarus gammarus*, *Palinurus Elephas* and *Scyllarides latus*, bivalves such as *Lithophaga lithophaga*, sponges (*Hypospongia communis*, *Spongia spp.*) and red coral (*Corallium rubrum*).

346. The use of non-selective fishing methods often illegal contribute to the destruction of marine organisms in general and particularly juvenile fish, decreasing significantly the maintaining or recovery of the stocks. For instance, the use of dynamite or kyss (gear used in waters of southern Tunisia) is a significant example. Spear fishing is one of the causes of overfishing of protected species such as grouper.

347. The trophic level of exploited species is clearly decreasing. Due to the modernization of fleets for longer campaigns and navigation in rough seas, a tendency to increase the exploitation of species living in the open ocean and deep water is noticed.

IV. Subregion #3: Adriatic Sea

A. Physical Characteristics

1. Bottom topography and bathymetry

348. The Adriatic Sea is a semi-enclosed basin within the northernmost part of the Mediterranean Sea. It has a surface area of 138600 km² and a volume of 35000 km³. It extends northwest from 40° to 45° 45' N., with the length of about 800 km and width of about 200 km. The Strait of Otranto, which connects the southern part of the Adriatic Sea with the Ionian Sea, is 72 km wide and 780m deep, which allows for extensive water exchange between the two basins. The Adriatic Sea is characterized by an extended continental shelf in the Northern and Central part while the continental slope is mostly found in the Southern part where the maximum depth of 1223 m is reached. The sea basin is surrounded by Dinarides on the East, Alps on the North and Apennines on the West. The largest country in the Adriatic basin is Italy, followed by Albania, Croatia, Bosnia and Herzegovina, Montenegro and Slovenia (Figure 4.1).



Figure. 4.1. The Adriatic Sea subregion

349. The Adriatic Sea represents a small but very specific and the most isolated part of the Mediterranean Sea. Due to its specificities it is considered as distinct biogeographical subunit of the Mediterranean Sea (Pérès and Gamulin-Brida, 1973). While Northern Adriatic clearly shows its relationship with boreal region, thermophilous elements dominate in middle and southern basin. Due to geomorphology of this area and its main abiotic characteristics, very high diversity of habitats and species has evolved in marine and coastal environment, including significant proportion of endemic elements.

350. The Adriatic Sea represents only 5 per cent of the Mediterranean Sea. Its northern part is the shallowest, with depths that do not exceed 50 m. The High Adriatic in particular represents only 0.4% of Mediterranean waters; however the specific environmental situation, with the presence of the Po basin, the Venice lagoon and its shallow waters, demands immediate action to manage and protect this particularly sensitive area. Alongside the Rhone and the Ebro, the Po is one of the three most important Mediterranean rivers in terms of discharge. Roughly one-third of the Mediterranean continental water flows into the northern and central Adriatic Sea. Eutrophication is one of the threat for the Adriatic Sea due to excessive nutrient discharge.

351. The Adriatic Sea stretches in the NW-SE direction in the length of 783 km, with the surface area of 138,595 km² at the mean sea-level. Its salinity is relatively high - cca 38,3 ‰. North Adriatic is extremely shallow with depths varying from 25 to 50 m and also rather cold (6-12 °C) because of the influence of cold winds and water coming from Alps. It makes this area unique in Mediterranean and

famous for a number of boreal biota. The sea bottom here consists mostly of sand and sand-detritic sediments due to the inflow from the Po River. Although the Adriatic as the whole is oligotrophic sea, its northern part is one of the most productive parts of Mediterranean (Pérès and Gamulin-Brida, 1973). Middle Adriatic is also rather shallow (average depth of 140 m) with the exception of Jabuka Pit that reaches depth of 275 m. South Adriatic depression goes down to 1330 m. The depths of up to 200 m (continental shelf) occupy as much as 73.9 % of the Adriatic. Water temperatures in Middle Adriatic vary from 12-13 °C and in South Adriatic from 13-15 °C. The sea bottom along the eastern Adriatic coast is rocky while offshore it is mostly flat with sediments and corallogenic concretions along the islands. Large coral reefs beyond depths of 300 m have also been registered.

352. The Adriatic Sea receives large amounts of fresh water from numerous rivers. The largest is the river Po, which contributes to 46, 5% of all the freshwater input. Most of the riverine input is in the north- west side (72%), while only 27% of fresh water comes from the Eastern side. The biggest river in the South-Eastern Adriatic area is Drin, bringing 10% of annual freshwater input. Rivers provide important inputs of low-salinity waters and land-drained materials from the land. (Cushman-Roisin *et al.*, 2001, Vollenweider *et al.*, 1992).

353. Albania's coast is about 429 km long, the northern part belonging to Adriatic basin, while the southern part belongs to Ionian coast. Albania has a population of 3.100.000 people, with approximately 58% of population living in the coastal zone. Its Adriatic coast, with a total length of about 259 km, is low-lying alluvial plain 4-50 km wide. The low coast is interrupted at a number of locations by hills at a right angle to the coast forming capes. These divide the coast into a number of closed physiographic units of varying sizes. Several small deltas and coastal lagoons, formed by nine rivers are in the Adriatic part of the coastline. Shoreline shows dynamic changes in the vicinity of the river mouths of the deltas, which are still kept in a natural state. In the case of the Darci River, however, the old delta is undergoing severe erosion at the river mouth as the sediment input to the coast has almost completely ceased. (NDA Albania, 2003).

354. The coast of Bosnia and Herzegovina is 25 km long. Only 24% of the country's hydro-geographical network drains into the Adriatic Sea, while 76% drain into the Black Sea (Sava River) catchment area. The main rivers are Neretva, Trebišnjica and Cetina river catchment areas. Population density in the Mediterranean region of the country is 33 capita per square kilometre. The largest city in the coastal area is Neum, with population of 4 300 inhabitants. (NDA Bosnia and Herzegovina, 2003).

355. The Croatian Adriatic mainland coast length is 1777 km coast. Entire coast is divided on Istria, Hrvatsko Primorje and Dalmatian area. The Dalmatian coastline area is the longest, extending from Premuda near Zadar to the Kobili promontory south of Dubrovnik. Within this zone there are 4324.5 km of shoreline of which 74% are islands. Croatia has a permanent coastal population of 1 000 000 which increases considerably during the summer because of tourism. The larger coastal towns are Split, Rijeka, Zadar, Pula, Sibenik and Dubrovnik. Dalmatian area makes up two thirds of the total Adriatic coastline and island shoreline length. Within the main rivers outflows in Croatian coastline are Zrmanja, Krka, Cetina rivers. (NDA Croatia, 2003).

356. Italy's coastline stretches 7 500 km and the whole territory is located in drainage basins flowing into the Mediterranean Sea. Several rivers drain into the Adriatic Sea (Po, Piave, Adige and Reno). Some of the larger cities are Trieste, Venice, Ancona and Brindisi. The Po River, on the NW side of the Adriatic, together with other important rivers draining the southern divide of the Alps (Reno, Adige, Brenta, Piave, Isonzo, etc.) (NAP Italy 2005).

357. The Mediterranean coast of Montenegro has a population of approximately 150.000 and a total length of 293 km. The major towns are: Bar, Herceg Novi, Kotor, Ulcinj, Budva and Tivat. The summer population of these towns increases because of tourism. Slovenian coastline has the length of 46 km. It hosts approximately 80 000 people who mainly reside in the towns of Koper, Izola and Piran. Main rivers in Slovene coastal are Rizana, Badasevica and Dragonja. Adriatic Sea catchment part in Slovenia is 3 842,25 km² large. This represents 19% of the country area. 81% of Slovene hydrogeographical network drains in the Black Sea (Danube catchment). Two hundred eighty thousand inhabitants live in the Slovene part of Adriatic catchment area, representing 12% of entire population (NDA Slovenia, 2003).

358. The Northern part of the Adriatic is very shallow, with depth increasing slowly southwards, reaching 270 m in the Middle Adriatic and Jabuka Pits (Pomo Depressions). The Palagruža pit (Pelagosa Sill) links Mid-Adriatic with much deeper south Adriatic Pi, reaching maximum depth slightly over 1200 m. Further south the bottom rises to 780 m in the Otranto Sill, which links Adriatic and Ionian Sea (Figure 4.2). The western coastline along the Adriatic is relatively smooth, without any islands and with a gentle shelf, while the eastern part is characterized by many islands and irregular bottom increasing steeply in the offshore direction. There are 1246 islands in the Adriatic Sea, of which only 69 are inhabited.

359. The difference between east and western part is attenuated by high mountain chain (the Dinaric Alps) in the east versus much smoother land surface in the Italian side, where the Apennine Mountains are more distant from the coast. The Dinaric Alps strongly influence the wind field and strengthen the land-sea temperature differences (Cushman-Roisin *et al.*, 2001).

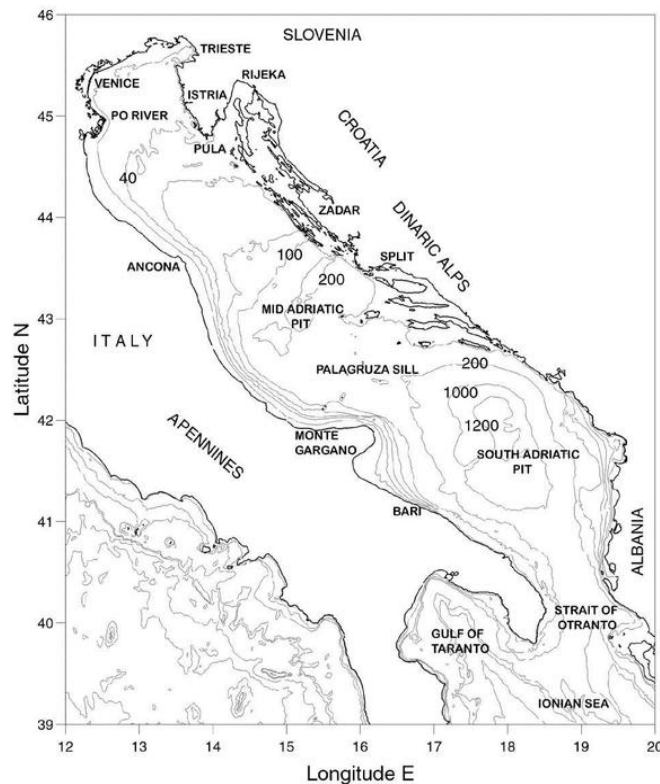


Figure 4.2. Adriatic Sea coastline and topography. (from Cushman-Roisin *et al.*, 2001)
The eastern coast is generally high and rocky, whereas the western coast is low and mostly sandy.

2. Salinity, temperature and hydrodynamics

360. Inflow of fresh water by precipitation and river runoff exceeds evaporation in the Adriatic basin. Freshwater inflow decreases water salinity, while the influx of saline Mediterranean waters through the Strait of Otranto increases it. The open waters in the southern part of Adriatic basin have salinity between 38.4 – 38.9. Salinity is lower and more variable in the northern part and in coastal zones (average 37-38‰), while it can fall under 35‰ in the summer (Cushman – Roisin *et al.*, 2001). Long term measurements of salinity in the coastal and open waters in the middle and southern basins have shown historical increase of salinity, suggesting the reduction of freshwater supply caused due to Aswan Dam on the Nile River (Zore-Armanda *et al.*, 1991). Variability of other climatic factors, such as changes in precipitation and increase of evaporation may also contribute to fluctuations in salinity. (Grezio and Pinardi, 2006).

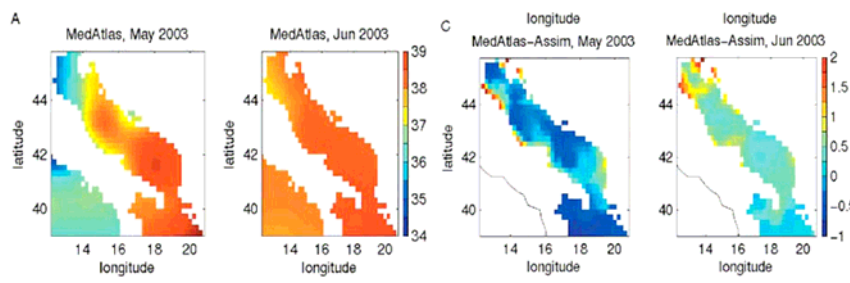


Fig. 4.3 Monthly mean salinity at 5 m depth (in psu) for May and June: A: MedAtlas climatological months for May and June, B: salinity AF for May and June 2003 (Grezio and Pinardi, 2006)

361. The annual surface temperature range is 18°C in the South and 25°C in the North. The extremes of the surface temperature range from 3°C to 29°C respectively. Adriatic is a temperate warm sea, since even temperatures of the deepest layers are mostly warmer than 10°C. The thermocline occurs at 10-30m during warmer seasons. (Cushman *et al.*, 2001). The Northern Adriatic exhibits substantial fluctuations, possibly linked to the cycle of winter cooling and summer warming in the relatively shallow sub-basin. The northwestern section shows larger fluctuations than the northeastern one, with lower winter SST, probably due to the freshwater inflow from the Po River delta. The Southern Adriatic exhibits less variability, possibly influenced by the periodic water exchanges with the Ionian Sea. The South Eastern section shows somewhat larger fluctuations than the South Western one, with higher winter SST, probably due to the inflow of warmer waters from the south. The two Central sections reveal patterns similar to the ones of the whole basin. The observed temperature patterns appear to follow the classical Adriatic cyclonic circulation scheme (Barale *et al.*, 2004).

362. From a long-term time data (1981-1999), which were processed to estimate Sea Surface Temperature (SST) values, an apparent general warming trend of sea surface can be recognized in Adriatic basin. The linear fit to the seasonal cycles suggests an increase of about 2°C in 20 years, essentially due to a steady rise of summer values. A general north-south temperature gradient can be found during winter, the northern sections being colder than the Southern ones. An east-west gradient also appears, the western sections being warmer than the eastern ones. (Figure 4.4).

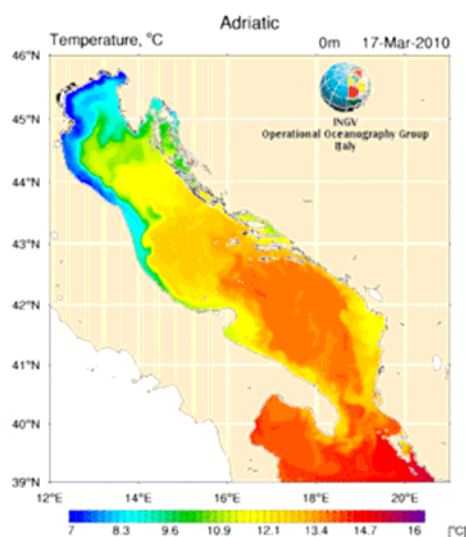


Figure 4.4. SST in March 2010 (From: http://gnoo.bo.ingv.it/afs/external/domani_T.gif)

363. The Adriatic Sea is composed of three regional basins (North, Central and South), differing in latitude, bathymetry, physiography and biogeochemical features. Three types of water masses were identified in Adriatic by Zore – Armanda (1963), distinguished according to temperature (T, °C), salinity (S) and density (σ_t in kg/m³). These three regions are:

- Northern Adriatic Dense Water (NadDW: T=11, S=38,5 and σ_t = 29,52 kg/m³);
- Mid-Adriatic Dense Waters (MadDW: T=12, S=38,2 and σ_t = 29,09 kg/m³);
- South-Adriatic Dense Waters, called also Deep Waters (ADW: T=13, S=3,6 and σ_t = 29,20 kg/m³).

364. Another distinct fourth water type is the Mediterranean Levantine Intermediate Water (LIW), formed in the Levantine Basin, which enters the Adriatic through the Strait of Otranto.

365. The intensity of water exchange rate between the Adriatic and Ionian Sea is influenced by the variability of air pressure field, which varies considerably from year to year.

366. The variable impact of the Mediterranean water also influences primary and secondary production (Cushman-Roisin *et al.*, 2001). The Modified Levantine Intermediate Water, which enters the Adriatic Sea through the Otranto Strait recirculates within the central basin. However, part of the southern salty waters flows northward till the Gulf of Trieste, turning west and forming a cyclonic gyre in the Northern Adriatic. Northern Adriatic Dense Water is generated locally in winter, when water temperature drops below 12°C. These cold and saline waters sink and flow southward along the western Adriatic side close to the bottom until they reach the Ionian Sea through the Otranto Strait (Artegiani *et al.* 1997a; Russo *et al.* 2005). A main frontal system, mostly visible in winter, divides the coastal from the offshore waters, the latter containing the freshwater contributions of the Po and other minor rivers, showing a partial thermohaline stratification. The offshore waters in the eastern part of the basin are not influenced by continental inputs and are generally characterized by a lower degree of winter stratification.

367. The prevailing winds, 'bora' (NE) and 'scirocco' (SE), trigger modifications of hydrological properties by altering the stratification and the vertical stability regimes and by changing the physical features of the basin in general (Cushman *et al.*, 2001). This is reflected in the biogeochemical properties of the basin as well as biomass and the structure of the pelagic phytoplankton community (Mauri *et al.* 2007). The spatial and temporal extension of seasonal stratification, characterized by variable pycnoclines, also shows strong interannual variability in intensity and duration (Socal *et al.*, 2008).

368. Three regions of relatively homogeneous vertical water mass properties (climatological water masses) exist in the subregion: (i) the northern Adriatic Sea, from the 100 m isobath to the northernmost corner of the basin; (ii) the middle Adriatic containing the Pomo Depressions, more than 250 m deep; and (iii) the southern Adriatic starting approximately from the Pelagosa sill to the Otranto Channel. At the surface the winter general circulation is composed only of NAd and SAd current segments and the flow field is very different from all other seasons (Figure 4.5). The general circulation is dominated by temperature and salinity compensation effects, which give no resulting density signal. Barotropic, wind-induced transport and circulation are probably major components of the general circulation during winter (Artegiani *et al.*, 1997b).

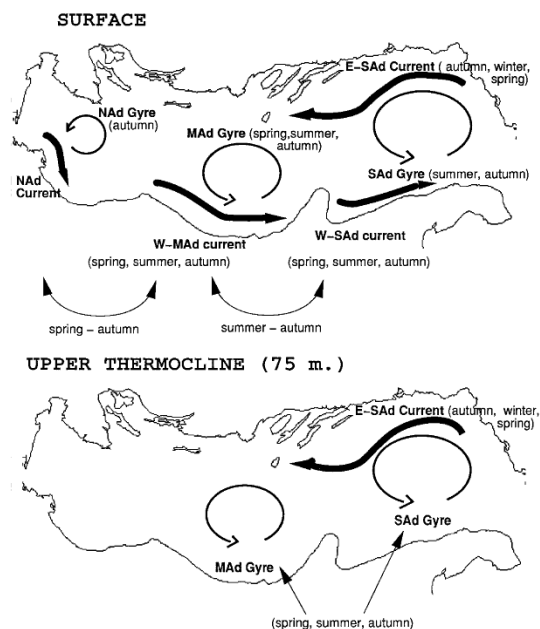


Figure 4.5. Schematics of the Adriatic Sea baroclinic circulation (Artegiani et al, 1997b)

369. The spring–summer surface flow field is characterized by the appearance of western current segments (W-MAd, W-SAd currents) and the two major cyclonic gyres of the Adriatic circulation. The seasonal vertical stratification in the basin triggers the appearance at the surface of gyres and boundary intensifications, more generally of eddies and jets, probably a result of baroclinic/barotropic nonlinear instabilities in the basin. During summer the smallest spatial scales occur and the E-SAd current weakens. The autumn conditions are characterized by maximum spatial coherence in the general circulation structure. There are three cyclonic gyres, a continuous western Adriatic boundary current, connected between the three subbasins, and an intense SAd current. In autumn there is a maximum MLIW entrance and spreading from Otranto, causing maximum warming of the subsurface layers of the northern Adriatic. The aggregation of the general circulation into large-scale structures could be due both to the stabilization of the water column and to the structure of the external forcing of the circulation. The Otranto inflow of MLIW could be a substantial part of that external forcing. The wind driving during autumn also consists of a south-easterly wind, called “scirocco,” which in turn could reinforce the inflow of water at Otranto.

370. At the depth of the seasonal thermocline (75 m) the presence of the E-Sad current and the SAd gyre was identified. The MAd gyre is not evident at this depth during winter as is the case for the surface flow field. The spring–summer flow field is again characterized by smaller spatial scales than in the other two seasons (Artegiani *et al.*, 1997b).

371. The deep waters of the Adriatic can be separated into two categories: the first, clearly formed in the northern Adriatic region, cool and relatively fresh, found in the northern and middle Adriatic, and the second of much higher temperature and salinity, in the southern Adriatic. Vertical mixing between water masses is an extremely powerful dynamical process in the basin, especially as an explanation of the modification of NAdDW into MadDW (Artegiani *et al.*, 1997a).

372. The western side of the Adriatic basin is a site of intense current segments, which are disconnected in the three sub basins (northern, middle, and southern) in spring and summer. The autumn conditions show an overall cyclonic circulation with the intensification of three cyclonic gyres in the sub basins. The forcing of the general circulation has three major components, perhaps equally important for the overall Adriatic dynamical engine. The first component is river runoff, characterized by the low salinity waters derived mainly from the Po and Albanian Rivers. The Po forcing produces compensation of temperature and salinity gradients horizontally and is an important component of the buoyancy budget in the overall basin. The second component is the wind and heat forcing at the surface, which produce deep-water masses in the northern and southern Adriatic and forces the circulation to be seasonal. The third component is the Otranto Channel forcing, which inputs heat and

salt in the circulation as a restoring mechanism for the northern heat losses and water gains (Artegiani *et al.*, 1997b).

373. The Gulf of Trieste is limited in size (20kmx20 km) and occurs in the shallow (24 m) part of the northern Adriatic, but it plays an important role in the circulation of the entire northern Adriatic Sea. In general, circulation of the Gulf is driven by wind stress (particularly bora), buoyancy fluxes and general circulation of the Adriatic Sea, together with tides and seiches (Bogunović and Malačič, 2009). The Isonzo River is the largest freshwater inflow in the Gulf of Trieste (average of 204 m³/s according to Raichich, 1994). Dynamics of the Gulf is largely impacted by the Isonzo freshwater input, since its waters flow into the southern part of the Gulf. In all seasons there is a general inflow into the Gulf of Trieste at its lower, deeper part. This inflow makes a cyclonic turn centered in the southern part during average winter conditions. This turn is enhanced during spring and closes in an elongated cyclonic gyre during average summer conditions. In spring and summer, the cyclonic gyre is coupled with an anticyclonic gyre near the closed eastern part of the gulf. A “dome”-like density profile across the gulf's axis in the inner part of the gulf above the bottom appears with this circulation during spring and summer. In climatic autumn there is a smaller anticyclonic gyre on its southern side. Near the sea surface there is an outflow during winter, which is driven by the dominant “bora” wind blowing along the gulf's axis.

374. This outflow, however, is detached from the southern coastline to the right, and crosses the gulf diagonally, merging with the belt of freshwater outflow along the northern coastline. This is shown to be a consequence of the balance between the pressure gradient force caused by elevation piled up in the direction out of the gulf, the Coriolis force, and vertical friction between layers near the sea surface. During the stratified season the surface of the gulf is occupied by an anticyclonic gyre due to the inertial plume of the Isonzo River (Malacic and Petelin, 2009).

375. Unlike the Western Adriatic, the eastern part is replete with islands and headlands, among which the water depths can reach 100 m. Due to complicated geographical features every bay and channel tends to have specific oceanographic characteristics. The wind is an important forcing mechanism and is modulated seasonally. Alongshore winds and offshore winds are stronger in winter than in the summer due to changing state of atmosphere above the Adriatic. The strongest winds in Adriatic are bora and sirocco, which are accompanied by different weather patterns. Bora winds come with high air pressure, low sea and air temperature, almost cloudless sky, low humidity and no precipitation, while sirocco winds are accompanied by low air pressure, high sea and air temperatures, large amounts of clouds, high humidity and heavy precipitation.

376. Freshwater discharges are smaller than along the Italian coast, amounting altogether to 900m³/s. 59% of freshwater input is due to rivers, 31% due to underground seepage, spring water (6%) and land runoff (4%). Upwelling events, associated to the prevailing NW winds, is frequent along the Croatian coast during summer months (Cushman-Roisin *et al.*, 2001).

377. The Albanian coast is a narrow shelf area, north of the Strait of Otranto, with smooth bathymetry and with circulation features determined by waters from Ionian Sea. The total discharge of Albanian rivers reaches 1000 m³/s. The influence of freshwater inflow is felt also far downstream the Croatian coast. North-eastern wind generates also very intense coastal upwelling along the Albanian shoreline due to the sudden change of the coastline orientation. Bora winds induce an undercurrent at intermediate depths near the Albanian shelf break and weaken the Levantine Intermediate Water flow into the Adriatic Sea (Cushman-Roisin *et al.*, 2001).

378. In the Adriatic Sea, the sea level alteration due to storm surges is highly related to the tide's amplitude, which is usually higher than in the rest of the Mediterranean, especially in the northern Adriatic. Astronomical forcing produces an almost complete “co-oscillation” with the Mediterranean, where the continuous driving from the southern inlet is much more important than the negligible local direct forcing from the moon and sun. Additionally, the southeast winds (Sirocco) raise the sea level, especially in the North Adriatic, where a long-lasting Sirocco and low air pressure can also raise the water level up to 1 m. Wind influence is less important in the South Adriatic, where the air pressure influence is dominant giving rise to sea level changes of up to 30 cm (Tsimplis *et al.*, 1995; Bondesan *et al.*, 1995; Leder, 1988).

379. Low-elevation coastal areas and their populations are at risk during and after the appearance of a storm surge event. The sea level rise due to storm surge events was examined for the period 2000–2004 and potential inundation zones were then identified using a 90-m horizontal resolution

digital elevation model. Based on the combination of the risk level determination of an area and the calculation of sea level alteration the major 'risky' coastal regions were identified (1) (Krestenitis *et al.*, 2010). Venice Lagoon is the area of the highest risk is, due to the largest potential inundation area and highest population density.

380. Geophysical investigations in western Adriatic indicate that the top of the limestone series, underlying the clayey and sandy deposits of the Pliocene and the Quaternary has a very uneven topography. Its greatest depths (4–6 km) are found a) between Ravenna and Rimini, b) between San Benedetto and Pescara, and c) below the Albanian shelf. Recent sands are mainly limited to the littoral zone; Pleistocene sand, originally supplied by rivers, covers the greater part of the deeper shelf. Between these zones a terrace-shaped pro-littoral mud belt is present, where the bulk of the recent terrigenous mud is deposited. The maximum rate of accumulation in this belt is probably about 4 1/2 mm per year.

381. The remaining part of the recent mud is transported in the sea water as floccules of such small size that they remain suspended over the deeper zones of the shelf. Most of it is deposited in the basins of the Central Adriatic (maximum accumulation rate for the Holocene on the average circa 1/2 mm per year) and in the bathyal basin in the southeast. The deepest area of the latter basin is formed by an almost horizontal plain (circa 1218 m deep). The longest core from this plain (240 cm of Holocene and 400 cm of late Pleistocene) is composed for roughly 61% of turbidity material, 5% of volcanic ash (coarser than fine silt), 0,2% of organic carbonate remains (coarser than silt) and 34% of normal terrigenous mud. The ash falls were limited to the central and south-eastern parts of the Adriatic (van Straaten, 1970).

382. The Po River, draining a catchment of about 75,000 km², is the main sediment entry point in the region. The Apennine Rivers, draining smaller catchments characterized by very high sediment yield, act altogether as some sort of a linear source. The Adriatic pro-delta deposit is up to 30 m thick along a shore-parallel belt from the Po to the area south of the Gargano Promontory, and is characterized by subaqueous gradational geometry. Prograding sigmoids reflect fluctuations in sediment supply, climatic/anthropic impacts in catchment areas, and basinal energy regime. Fluctuations in sediment flux to the basin result in diagnostic geometries within the Adriatic pro-delta wedge and can be quantified by establishing chronological constraints from sediment cores (Vollenweider *et al.*, 1992; Boldrin, *et al.*, 2005).

3. Nutrients

383. In the northern Adriatic, the most extensive nutrient comes mostly from the extensive freshwater inflow of nutrient rich waters from Po river (de Wit, 2002). In the early 1990s the estimated average contribution of agriculture to the total nutrient load was 43-49% (Rhine), 28-58% (Elbe), and 47-57 % (Po) for N and 13-21% (Rhine), 11-16% (Elbe), and 22-25 % (Po) for P. The reduction of the fertilizer consumption and the increase of crop yields resulted in a slight (Rhine and Po basins) and a drastic (Elbe basin) reduction of the agricultural surplus of N and (especially) P between 1985 and 1995. However, this reduction has not (yet) resulted in a similar reduction of the agricultural inputs to the river network.

384. The results of this study suggest that the EU Nitrates Directive may not be stringent enough to substantially reduce the river N and P load in the nearby future (2015-2020). One solution for agriculturally-based nutrient pollution in Europe would be a large-scale change towards agricultural systems where the input (manure and fertilizers) is balanced with the requirements of the output in crops (de Wit *et al.*, 2002).

385. The research of Barmawidjaja (1995) shows the historical impacts of Po River on the Northern Adriatic Sea ecosystem. First substantial changes are related to variations in sedimentation rate due to changes in natural course of the Po River (canals, dikes) as well as deforestation started already between 1800 and 1840. The association of existing vegetation started to change and decreased substantially. Since 1900 the trend of nutrification started to increase and became strongly eutrophied until 1930's. Faunal changes from 1960's are related to seasonal anoxia episodes (Barmawidjaja, 1995).

386. The average rate of urban population with access to a sanitation system in Adriatic basin is around 96%, although not all collected wastewater is appropriately treated. Across the Mediterranean,

the rate of wastewater collected and treated by public sanitation ranges from 7% to 90%. On a regional scale, 40% of municipalities with over 2,000 inhabitants (673 cities out of 1699) are not served by wastewater treatment plants. The most common treatment level is secondary treatment, used in 55% of the coastal cities with over 10 000 inhabitants. Tertiary treatment is not extensively used, albeit proportionally more in small cities: 28% and 25% for non coastal cities and 15% in large coastal cities (Figure 4.6).

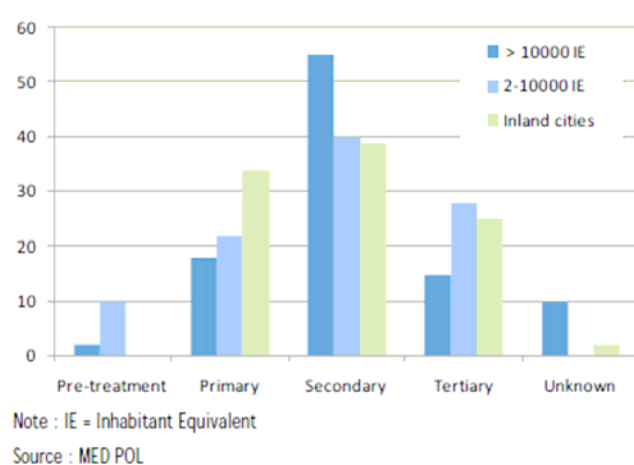


Figure 4.6: Degree of treatment process of waste water treatment plants in coastal and inland cities, 2004 (%) (From UNEP/MAP-BP/RAC, 2009)

387. Comparison of quantities and degree of wastewater treatment in small and large coastal cities shows that smaller cities have no- or limited primary treatment, while larger coastal populations in big cities are connected to WWTP with primary or secondary treatment.

Biological Characteristics

388. The Adriatic is home to nearly half (49%) of the recorded Mediterranean marine species. Yet of all four subregions, the Adriatic may be the most unusual, due to its shallowness, restricted flows, and large degree of influence of rivers – all of which has colored that ecology and biological character of the subregion.

389. For instance, the phytoplankton population dynamics in many parts of this subregion are strongly influenced by hydrology of adjacent watersheds. The Gulf of Trieste has only recently been involved in long-term phytoplankton studies, but it is well recognised that phytoplankton dynamics in the Gulf are mostly driven by freshwater runoff.

390. The most important fraction of phytoplankton is nanoflagellates, which on average constitute almost two thirds of the phytoplankton community at the annual scale. Diatoms, in contrast, constitute less than one third of phytoplankton abundance, and predominate only during blooms (up to 95% of the total phytoplankton). Dinoflagellates and coccolithophorides are of minor numerical importance in the phytoplankton community of the Gulf of Trieste.

391. Among microzooplankton oligotrich ciliates are representing the dominant group through the whole year, while copepod nauplii are important mostly in the warmer period of the year. Tintinnids are present more or less in modest abundances only occasionally they may become very (metazooplankton) it should be mentioned the role of a marine cladoceran *Penilia avirostris*, which is usually a dominant metazooplankton element in the summer period.

392. Five marine angiosperms are known to inhabit Slovenian coastal sea and Slovenian coastal wetlands: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Nanozostera noltii*, *Zostera marina* and *Ruppia cirrhosa*. Among them only *C. nodosa* is widely distributed in the area, whereas others are restricted to particular habitat types. *Ruppia cirrhosa* inhabits various salt-marsh habitats such as basins and ponds, found in hyper-saline environment. *Zostera marina* is considered to be a rare species present only in the form of small islets, mainly in the mouths of rivers and streams. *Nanozostera noltii* is on

the other hand quite common sea-grass occurring in different parts of the Slovenian coastal sea. The most endangered sea grass in the studied area is certainly *Posidonia oceanica*.

393. The hard bottom communities are less studied than soft-bottom communities and only few reports are published in that regard. Certain taxonomic groups such as mollusks deserved better attention than others. There are certain habitat structuring species known as bioconstructors and bioeroders. The main such species is the mussel date (*Lithophaga lithophaga*), which is boring burrows in the sandstone. Due to the exploitation of this species in the past, many huge rocks were fragmented into smaller pieces, which were subsequently less interesting for colonization of benthic organisms. Another habitat forming species in the Slovenian coastal area is the Mediterranean Stony coral (*Cladocora caespitosa*) which forms a unique facies with this species in the biocoenosis of photophilic algae (Lipej et al., 2006) in the Natural Monument of Cape Madona.

394. One marine turtle species is regularly occurring in the Adriatic: the loggerhead turtle (*Caretta caretta*). It can be found in the Solenian area mainly from May through October (Tija et al., 2001). The majority of loggerhead turtle specimens are juveniles in the size range from 20 to 50 cm. There are also two known sightings of the leatherback turtle (*Dermochelys coriacea*), recently confirmed for the very first time in Slovenia (Lazar et al., 2009) in the waters of Izola.

395. The Mediterranean shearwater (*Puffinus yelkouan*) is occurring in the area only seasonally, from July to November. The data on this species are rather scarce since it is only rarely approaching the coast (Makovec, 1995). Much more data exists on terns and gulls. Regular monitoring of the breeding population of Yellow-legged Gull (*Larus cachinnans*) occurs in its unique breeding ground in Slovenia, the coastal wetland Sečovlje salina. Two other important breeding bird species are the common tern (*Sterna hirundo*) and the Little tern (*S. albifrons*). The breeding population of the first is more or less stable or showing a slightly increase in the very last years, whereas the trend of the later is growing increasingly (Iztok Škornik, *personal communication*).

396. The Slovenian part of the Gulf of Trieste is inhabited regularly only by one species, the bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*), of which there are more than 100 specimens in Slovenia alone -- whereas other cetaceans are only sporadically or rarely observed in the area. Recently, striped dolphins colonized the area of Gulf of Trieste, as evidenced by the increasing number of records (see Francese et al., 2007). Other dolphins known to be reported in the area are the striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*), the Risso's dolphin (*Grampus griseus*) and the Common dolphin (*Delphinus delphis*). While the Common dolphin has been almost completely extirpated in the Gulf of Trieste area, there is an increasing trend of records of striped dolphins in the Gulf (Francese et al., 2007).

397. Baleen whales are only rarely reported. The last record of the fin whale (*Balaenoptera physalus*) occurrence in the area is from 2009. This species has been previously recorded in several occasions (see Lipej et al., 2004). A humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) sighting was reported for almost two months in the Slovenian part of the Adriatic Sea (Genov et al., 2009); this was only the second record of this species in the Adriatic Sea.

Pressures and Impacts

398. In Albania, mercury contamination inland of the former chlor-alkali plant detected in an area of 20 ha around the factory at a soil depth of 1.5 m is problematic in Vlora district (mercury concentrations 5 000–60 000 mg/kg soil) as well as mercury in groundwater and coastal sediments of Vlora Bay (up to 2.33 mg/kg). Chlorinated hydrocarbons and other dangerous pollutants are found in the soil (NDA Albania, 2003). After 1991, most large Albanian industries (e.g. mineral production and processing, pesticides, fertilizers, chemicals, plastics, paper, food and textiles) were closed down. This left stockpiles with obsolete hazardous substances as well as contaminated land.

399. In Bosnia and Herzegovina, the pollutants generated in the drainage basins of the major Bosnian rivers of Neretva (from the nearby towns of Konjic, Mostar, Caplinja, Ploce and Metcovic) and Trebisnjica (from the towns of Bileca and Neum) can be carried to the Adriatic Sea affecting its environment (NDA Bosnia and Herzegovina, 2003). The area of greatest concern is Mostar (population 130 000), where barrels of obsolete chemicals have been left on both riverbanks. During the war (1992–1995), bombing destroyed electric power transformers leading to oil leakage and contamination of soil and water with PCBs.

400. In Croatia, major pollution problems occur in Kastela Bay (Split), where metals and organohalogen compounds accumulated in the sediment due to the discharge of untreated urban and industrial wastewater (NDA Croatia, 2003).

401. The river Po in Italy is a very important pollution vector in the area transporting urban and industrial wastewater as well as agricultural run-off from its drain-age basin to the Adriatic Sea, draining the entire northern part of most industrialized part of Italy.

402. The main areas of concern in Montenegro are in Bar, due to industrial wastewater coming from food industry; Herceg Novi, due to effluents from urban areas and industry (shipyard, harbor and food); Kotor: urban and industrial (metal, chemicals, petroleum storage and harbor); Ulcinj: urban and industrial impacts (salt and harbor); Budva: urban and harbor; Tivat: urban and industrial (shipyard and harbor) (NDA Montenegro, 2003).

403. In Slovenia, discharges of partly treated industrial wastewater (NDA Slovenia, 2003), which contain heavy metals (Ni, Cr and Zn), are emitted in Koper Bay. Tributyltin compounds are also still reaching high concentrations in sediments as well as in water column (national monitoring programme, 2008).

404. The main sources of oil pollution in the marine environment include land-based activities (either discharging directly or through riverine inputs), maritime transport, both through accidental and deliberate discharges, atmospheric deposition (from military activities and commercial jet flights), coastal refineries and offshore installations (GESAMP, 2005; GESAMP 2007; Redondo *et al.*, 2008). Marine transport is one of the main sources of petroleum hydrocarbon (oil) and polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) pollution in the Mediterranean Sea (UNEP/MAP-EEA, 2006).

405. Oil discharges and spills to marine areas can have a significant impact on marine ecosystems in this and other subregions of the Mediterranean. The consistency of oil can cause surface contamination and smothering of marine biota, and its chemical components can cause acute toxic effects and long-term accumulative impacts. The damage of oil spills is not restricted to the environment but also has socio-economic component. Oil spills in fishing (catching, spawning and feeding) or aquaculture areas or coastal locations which rely upon tourism can be severely impacted. Fisheries may close and tourism decline with the associated loss of income and livelihoods. Even if there is little or no actual environmental damage the perception that an oil spill has affected the coastline can still have the same impact (UNEP/MAP-EEA, 2006).



Figure 4.7. Major ports and shipping lanes, including those in the Adriatic subregion.

406. It is estimated that about 220 000 vessels of more than 100 tonnes each cross the Mediterranean each year discharging 250 000 tonnes of oil. This discharge is the result of shipping operations (such as deballasting, tank washing, dry-docking, fuel and discharge oil, etc.) and takes place in an area which since 1973 has been declared as a 'Special Sea Area' by the MARPOL 73/78 convention, i.e. where oily discharges are virtually prohibited. The PAH input varies according to the

type of oil discharged, with a range estimated at between 0.3 and 1 000 tonnes annually (UNEP/MAP Chemicals, 2002).

407. Several approaches to assessment of oil spills quantities are widely used. Illicit vessel discharges can be detected through the interpretation of ERS SAR (Synthetic Aperture Radar) satellite images. Analysis shows that during the years 1999 to 2002 about 7000 oil spills were detected (Figure 4.8). According to the Regional Marine Pollution Emergency Centre in the Mediterranean (REMPEC) statistics, 82 accidents involving oil spills were recorded during the period January 1990 to January 1999 and the quantity of spilt oil was 22 150 tonnes (REMPEC, 2001). Incidents at oil terminals and routine discharges from land-based installations (estimated at 120 000 tonnes/year (UNEP/MAP-EEA, 2006).

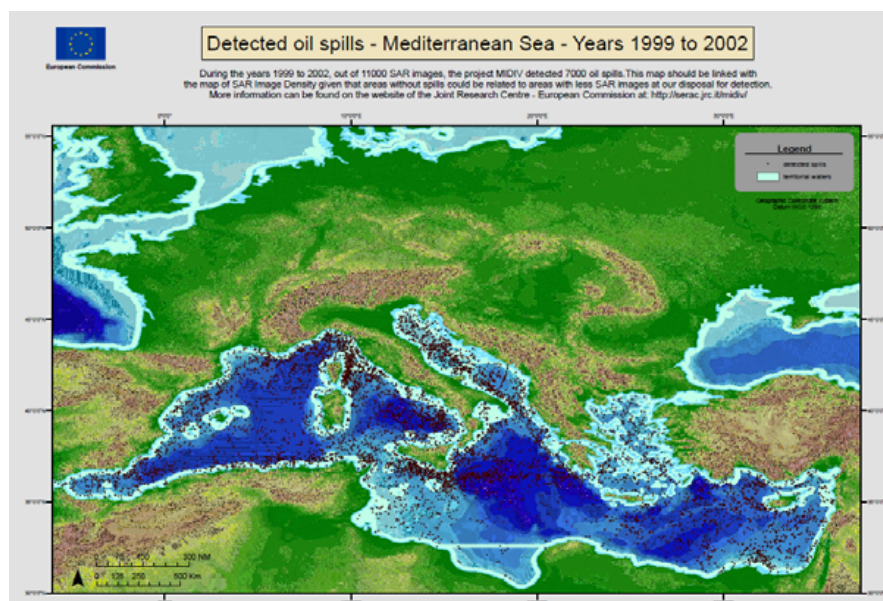


Figure 4.8. Oil spill locations 1999-2002 (Source UNEP/MAP-EEA)

Levels of hazardous substances in the marine environment: Trace metals

408. Overall concentration ranges of Cd, total Hg, Pb, Zn and Cu in sediments and biota (*Mytilus galloprovincialis*) in the Adriatic are monitored by the Adriatic countries. Analysis reveals the occurrence of some stations with high levels of Hg, Pb and Zn in Croatia. The accumulation in mussels follows a similar trend as what is seen in sediments, with Cd values higher than mercury, which in turn are higher than lead levels, and which in turn are higher than zinc levels (UNEP/MAP-MED POL, 2009).

409. Kljakovic-Gaspic *et al.* (2007) monitored the Blue Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) in the Mali Ston Bay, located on the eastern Adriatic coast, from 1998 to 2005. The content of trace metal concentrations in the edible tissue of mussels fell in the range of values usually found in low to moderately contaminated marine coastal areas, although according to EU and WHO legislation and guidelines, consumption of the edible tissue of the mussels was not harmful for humans. Analysis of temporal trends during the 7 years of monitoring showed that metal concentrations have not changed significantly over time (UNEP/MAP-MED POL, 2009).

410. Similarly, a monitoring survey carried out during the 2001-2005 period in the Croatian coast using the blue mussel as an indicator species, determined that Pb and Hg were significantly elevated in the urban and industrial areas, while Cd was more uniformly distributed across the monitored sites, being also high in mussels from rural areas located far away from anthropogenic sources of pollution. The majority of values were below the maximum thresholds for fresh seafood. Again, metal concentrations had not changed during the five year-period (Kljakovic-Gaspic *et al.*, 2007).

411. However, a review of data obtained by monitoring tissues of cetacean species shows that concentrations of mercury in liver found in species living in the Mediterranean are substantially higher than in species from the Pacific and Atlantic (Monaci *et al.*, 1998, Capelli *et al.* 2008).

412. Concentrations of aldrin, dieldrin, endrin, lindane and hexachlorobenzene in *Mytilus galloprovincialis* are in the low ng g⁻¹ range, with the exception of some stations from Albania. Concentrations of DDTs were one order of magnitude higher, with p,p'-DDE being, in general, the predominant component, although recent inputs of DDT in some areas cannot be ruled out. Concentrations up to 9779 ng g⁻¹ dw of total DDTs were found in mussels from the Albania coast, probably indicating the presence of stockpiles of DDT in the country, as well as of lindane.

413. Data for concentrations of DDT levels in sediments were published for river Po delta. Concentrations were in the range of between 0.3 – 1406 DDTs (ng/g dw), while background values 0.08 – 5 were determined for Mediterranean (Gómez- Gutiérrez *et al.* 2007).

414. PCB content in sediments in Mediterranean according to overview (UNEP/MAP – MED POL, 2009) ranges between 1-15815 ng/g dw (Aloclor eq.), while PCB levels in *Merluccius merluccius* from the Adriatic Sea were shown to slightly decrease between 1993 and 2003 from 1,380 ng/g to 943 ng/g lipid weight (Storelli *et al.*, 2004). The remaining levels are still high and the declining trend was not statistically significant. Such values are in accordance to the PCB concentrations in other fish species from the same region (UNEP/MAP-MED POL, 2009).

415. In general, PAH pollution in the Mediterranean is widespread detected in coastal areas, clearly influenced by urban and industrial emissions to air and water. Atmospheric inputs are the main source of pollution in the open sea. In sediments, research has been focused on ports, coastal lagoons, river mouths and coastal enclosures close to urban centers. Higher levels are usually detected in harbors, especially Trieste.

416. Maximum levels of PAHs in biota are usually lower than those reported in sediments. The highest levels (up to 46700 ng/g dw) have been detected for mussels and fish in the Egyptian coasts. According to referenced data, concentrations in the Adriatic do not exceed 1000 ng/g dw.

417. The widespread use of organotin compounds as stabilizers in the manufacture of polyvinylchloride, as biocides in agriculture, as a fungicidal component in wood preservation and as anti-fouling agents has provided several sources of entry for these compounds into aquatic and terrestrial environments, which are found in both estuarine and marine waters, sediments and biota. Much of the attention on the release of organotin compounds into the environment has focused on tributyltin (TBT), which has been widely used as a biocide in paints and coatings in marine antifouling applications.

418. Antifouling products play an important role in the shipping industry and are of significant economic importance. Research evidence of the damage caused by organotin compounds on the reproduction and growth of various marine organisms has prompted action by many countries to regulate or ban their use in antifouling products. TBT has been banned since the 1980s in antifouling paints for ships smaller than 25 m in many countries, including many European countries. TBT-based antifouling paints, however, are still used in developing countries, for example most Asian countries, and their use have also continued worldwide for most vessels longer than 25 m (Horiguchi 2000, Stewart 1996). Despite such restrictions, TBT persists in many areas at levels considered to be chronically toxic to the most susceptible organisms (Berto, *et al.*, 2006). Recent uses of tributyltin beside as a biocide in anti-fouling paints are wood preservatives and a wide range of industrial applications including cooling water, pulp and paper mills, breweries, leather processing and textile mills.

419. TBT has been found to be a problem in the Adriatic, but show downwards trends (Nemanic *et al.* 2008). In the year 2000, organotin pollution was investigated in the Bay of Piran, Slovenia, at the northern extremity of the Adriatic Sea by speciation analysis of pentylated organotin compounds in water and mussels (*Mytilus galloprovincialis*). The highest concentrations of tributyltin (TBT) in marine water ranged from 500 to 630 ng L⁻¹ (as Sn) in summer (Nemanic *et al.*, 2002).

420. Notwithstanding the increasing efforts to outlaw the TBT in antifouling paints, there is evidence of a persistent contamination in the aquatic environment. Measurements in the southern Venice lagoon there still show high TBT and DBT contamination in waters and sediments due to the increase

of dockyards, shipping, and fishing activities. Significant contamination of TBT and DBT in the scavenger gastropod, *N. nitidus*, at dockyards, harbors, and marinas testifies to the continuous, even if not massive, input of BTs in the southern part of the lagoon. The higher content of DBT than TBT in gastropods is probably due to the greater mobility of DBT than TBT in the aquatic systems. The persistence of BTs in sediments and their diffusion, through resuspension by storms and by the enhanced anthropogenic activities, could facilitate the mobilization of these contaminants and their transfer to invertebrates and fish (Berto *et al.*, 2007).

421. Concerning fish species, Bayarri *et al.* (2001) carried out a study regarding PCDD/Fs content in anchovy (Engraulidae), mackerel (Scombridae) and red mullet (*Mullus barbatus*) from the Adriatic Sea. In general, PCDD and PCDFs contamination levels were found to be low. PCDFs analytical contributions were higher than those of PCDD. Concentrations were greater for those species at higher levels in the trophic web (mackerel > red mullet > anchovy), although the higher fat content of these species should also be taken into account. PCDD/Fs in species from the northern area were in general greater than those from the central and southern areas. Thus, these species showed a trend towards higher contamination levels associated with areas showing increased anthropogenic impact (Bayarri *et al.*, 2001).

422. There are very few countries with more than five years of available data to fulfil the requirements of a temporal trend assessment. In general, the country median values do not exhibit clear trends for metals, with few exceptions. On the basis of recent UNEP/MAP-MED POL monitoring data, concentrations of Cd in Slovenia appear to be decreasing during the last decade. In the case of Italy, the decreasing trends are observed in NW Adriatic, while slight increase is observed in NE Adriatic part. Trends of Hg concentrations do not show tendencies, although concentrations seem to have increased in Albania (which is recognized to keep stockpiles of obsolete chlorinated pesticides) and the NW Adriatic (Italy) since 2000. The median values of DDT in mussels from Croatia exhibit clear decreasing trends.

423. The UNEP/MAP-EEA indicator using the Mediterranean mussel (*Mytilus galloprovincialis*) as a monitoring organism reveals that in most cases low or moderate levels were found, in particular for HCB, cadmium, mercury, and, to a lesser degree, lead. However, high concentrations were found in PCBs and DDTs in 87% and 62% of the cases, respectively. Even though only 3% of the stations had high values for cadmium, there is a statistically general upward trend in this compound. The large number of high values and upward trends should be a strong warning sign that steps to safeguard the abatement process (UNEP/MAP-EEA, 2010).

424. Temporal trends of pollution based on Eionet data 1998-2005 prepared by UNEP/MAP-EEA show that concentrations of Hg in marine organisms are moderate in Northern, NE and NW part of the Adriatic Sea basin, while they are high in one area in Dalmatia. Generally the concentrations are lower in the southern part of the basin. Concentrations of Cd in marine organisms in Adriatic Sea show low concentrations and no significant trend in northern and eastern coast and decreasing trends along the western coast (Figure 17) (EEA CSI 40, 2010).

425. For hexachlorobenzene (HCB), temporal trends of pollution in marine organisms based on Eionet data 1998-2005, show mostly low concentrations along the northern and eastern coast with two areas with moderate concentrations (Figure 20). PCB concentrations show the highest values of all substances reported in the CSI 40 (EEA). Concentrations are moderate along entire northern and western coast, with one area with high concentrations.

426. Data on lindane are available for eastern part of this subregion (Croatia). Concentrations are low and a decreasing trend is shown in most of the area.

4. Dumping

427. There are several large ports in the northern Adriatic as well as in the southern part (Figure 4.9). Intensive marine traffic and related port maintenance work are expected to have significant impacts on the marine environment, especially in the sensitive, shallow part of the Northern Adriatic.

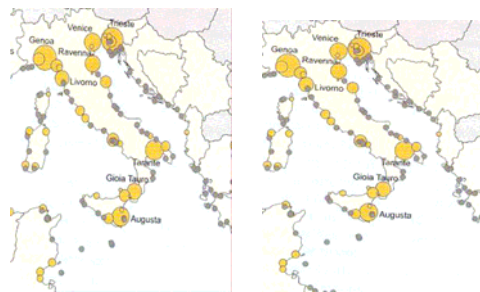


Figure 4.9. Major ports showing number relative number of exits in thousands of tonnes per port (left) and relative number of entries in thousands of tonnes per port (Source Blue Plan, 2009)

428. Accessibility of coastal ports, fishing harbors and navigable waterways is rarely naturally deep; therefore navigable depths must be maintained by repeated dredging. Every year, dredging operations result in hundreds of millions of cubic meters of sediment worldwide, which must be disposed of and managed in economically and environmentally sustainable ways (Van Dolah *et al.*, 1984; Harvey *et al.*, 1998). Dredging and disposal of dredged material is one of the most important problems of coastal zone management (Simonini *et al.*, 2005a).

429. Depending on their chemical and physical characteristics and the concentration of contaminants, dredged sediments may be disposed of in several ways: i.e. clean sediments with appropriate grain size may be used for beach nourishment, while contaminated sediments must be isolated and contained on land. However, for economic reasons, most dredged material is currently disposed of in appropriate offshore disposal sites (Regoli *et al.*, 2002; Cruz-Motta and Collins, 2004). In Italy, the discharge of dredged material in appropriate off-shore disposal sites is permitted only if there is no established technical or economical possibility for their reutilization or settlement in land dumps (ICRAM, 2002; Simonini *et al.*, 2005a).

430. Sediment disposal in open water may be more damaging to the benthic community than to any other part of the aquatic ecosystem because of the relative immobility of benthic organisms. Studies of dredge spoil dumping have demonstrated a range of impacts on soft-bottom benthos, ranging from large, long-term impacts to few or non-detectable effects (Harvey *et al.*, 1998; Newell *et al.*, 1998; Van Dolah *et al.*, 1984; Roberts and Forrest, 1999; Smith and Rule, 2001; Simonini *et al.*, 2005a). Where impacts were detected, these were primarily manifested by reductions in the diversity of communities at the receiving sites, compared to controls. Shifts in dominance patterns within the community may also occur, with a reduction in the abundance of some species and an increase in the abundance of opportunistic species (Harvey *et al.*, 1998; Simonini *et al.*, 2005a).

431. In some cases, studies have also demonstrated a shift in the trophic structure of the affected community. The type and severity of the impact of sediment disposal on benthic ecosystems varies, depending upon several factors:

- chemical–physical characteristics and volume of sediment,
- water depth, surface, sedimentary and hydrological regime of the dumping site,
- time of the year and similarity of the sediment in dredged and disposal areas,
- contamination of dredged material,
- disposal method,
- adaptation of organisms to the local sedimentary regime and structure, and
- composition of benthic assemblages in the dumping site and nearby areas (review from Simonini *et al.*, 2005a and references therein).

432. One of the transboundary impacts of waste released in the environment, related to waste dumping or inappropriate waste management is the phenomenon of marine litter. A recent bibliographical study conducted by UNEP/MAP-MED POL on the phenomenon in the Mediterranean concluded that, between 2002 and 2006, the situation had not improved significantly. Marine litter, found in the sea and on the coastline, originate mainly from coastal urban centers. These wastes are generated by direct disposal of domestic waste, tourism infrastructure waste, flows from landfills and rivers (Figure 33) and waste from maritime traffic. UNEP/MAP-MED POL observes, in particular, that

the management of solid waste in coastal areas is generally not covered by national environmental policies, but by health policies, and that there is generally no municipal policy of management of solid waste: municipal strategies being geared, above all, to meeting basic standards of public hygiene. For technical and economic reasons, it seems that the sea is still considered as the easiest waste disposal site and that, consequently, the disposal of solid waste into the sea is still common practice for small and medium size towns.

433. National, regional and international NGOs are active in Mediterranean beach cleaning campaigns. The International Coastal Cleanup (ICC) observes that, in the Mediterranean, the heavy fraction (big household appliances) is on the decrease and that the average weight of waste found in the sea has dropped from 511 g to 258 g. As regards the light fraction, the number of plastic bags, caps and plastic bottles is also on the decrease; the share of plastic found in the sea dominates and composes 75% of collected items. The analysis of the data available indicates that coastal and recreation activities account for 52% of the waste found on beaches (UNEP/MAP-BP/RAC, 2009).

5. Nutrient Enrichment

434. The extent to which the Mediterranean is nitrogen-limited, as are other ocean bodies, is open to speculation. Research by Guerzoni *et al.* (1999) suggests that despite the early observations of P limitation, later work suggests that Mediterranean surface waters are nitrogen-limited. In fact, there is growing evidence that the Eastern MED is phosphorus-limited and that the Western MED is probably N-limited, or that limitation shifts from nitrogen to phosphorus and vice versa depending on the period of the year, or the area considered. The uniquely high levels of N/P ratios in the Mediterranean (20/27) compared with other open ocean averages (15) may reflect this situation, and are probably evidence of P limitation. (Guerzoni *et al.*, 1999).

435. According to the UNEP/MAP-MED POL reports (Legovic *et al.*, 1990; UNEP/MAP-MED POL 2009), eutrophication of the northern Adriatic Sea was investigated since 1911 until 1982 using data on dissolved oxygen (DO). It was concluded that DO increased in the surface layer and decreased in the bottom layer in all seasons except during winter. DO changes were attributed to an increase of anthropogenic nutrient inflow starting from 1955-66. According to these observations, the North Adriatic ecosystem had changed towards a more eutrophic state leading to more frequent occurrence of significant episodes such as extensive phytoplankton blooms, extensive mucilage formations and mass mortality of benthic animals than before. The only remedy for decreasing the growth of primary production was to reduce the excessive rate of inflow of nutrients. Primary production, chlorophyll-a, dissolved oxygen near the bottom and measures of DO were parameters, measured regularly in affected areas while the benthic and demersal communities had been poorly investigated although massive mortalities of benthic organisms connected to oxygen depletion at the bottom have been reported.

436. In the shallow North Adriatic, the 1989 autumn offshore phytoplankton bloom was followed by a lack of oxygen in the bottom layers and a wide-scale mortality of sediment-living meio- and macrofauna (Zavodnik *et al.*, 1990). In meiofauna an initial mortality of 80-95% was established: nematode populations were less affected than copepods and other taxa. The recovery "latent" period lasted about six months and, afterwards, a sharp increase in abundance occurred. From the macrofauna, some sponges, polychaetes, echinoderms and tunicates were almost totally exterminated but most of the actinians survived. The recovery of macrofaunal populations occurred stepwise but the process was faster in infauna than in sessile epifaunal assemblages. Some bivalve and nematode species took advantage of the "free space" phenomenon observed at all stations surveyed. After two years of recovery the monitoring showed that at the macro- and meiofaunal levels, the communities studied were not yet stabilized.

6. Biological Disturbance

437. During 1989-1992, phytoplankton blooms occurred several times in offshore and coastal north Adriatic areas. Mucous aggregates ("sea snow", "strings", "carpets") were assessed as a visual, i.e. secondary, effect of microphytic blooms. Mucous aggregations can be displaced by means of wind/waves and currents, and can be accumulated locally. Under special hydrographic and meteorological conditions, mucous aggregates can accumulate and deposit on the sea bottom, thus adversely affecting the benthic flora and fauna by smothering and/or provoking oxygen depletion in the bottom layer. In the area surveyed, bottom oxygen depletion was limited in space and time. Following the mass mortality of benthic organisms at one station in November 1989, biological anoxia was noted

repeatedly in 1990 and 1991. These events affected the population and community recovery process (Zavodnik et al, 1994).

438. In the last two decades, a shift from red tides to mucilage phenomena was observed. This phenomenon is known to occur regularly for more than two centuries and was first recorded in 1729 (Vollenweider *et al.*, 1995). Almost every year mucilage phenomena appears as marine snow or as dense cobweb, clouds, blankets, creamy/gelatinous layer (Precali *et al.*, 2005). Mucus aggregates influence zooplankton temporal and spatial variability and can severely affect some species of fish which breed during the warm period of the year (Bochdansky and Herndl, 1995; Malej & Harris, 1993; Cabrini *et al.*, 1992; Cataletto *et al.*, 1996; Fonda Umani *et al.*, 2005). When the mucilage sinks to the bottom, it physically covers the organisms living on the bottom or in the sediment and thus makes normal physiological processes impossible. Below the settled mucilage, total lack of oxygen occurs.

439. In the subregion, the most destructive anoxia was recorded in September 1983 and lasted for two weeks, covering one third of the Gulf of Trieste (Stachowitsch, 1984, 1986; Faganeli *et al.*, 1985). In the affected area all the attached, partially attached and poorly mobile demersal animals died at that time. Recovery of the benthic system is not complete yet (Stachowitsch, 1991; Kollmann & Stachowitsch, 2001).

440. Scientists are still not sure how human activities affect mucilage occurrence. New approaches to the research of mucilage are being conducted with hypothesis that occurrences are a consequence of the carbon cycle disruption (Gogek, 2008).

441. In anoxic events, the most sensitive macro-organisms to biological anoxia proved to be sponges, some polychaetes, echinoderms and tunicates, while actinians appeared to be the most resistant. Of the sediment living meiofaunal taxa, copepods were affected much more than nematodes (Zavodnik et al, 1994). The recovery of soft bottom communities is a slow process which, because of the community instability, is very sensitive to interactions of biotic and abiotic environmental factors.

Most Threatened Areas in the Subregion

442. The Gulf of Trieste is known to have frequent algal blooms and hypoxia events. The first bloom has been described in 1954 from a coastal area close to the Po delta and was due to algal organism typical for transitional waters (*Chromulina rosanofii* and *Oscillatoria tenuis*). Monitoring shows that such events are frequent in this area (Danovaro, 2003). The most affected areas are south of river Po and lagoons in the northern portion of the Adriatic (Giovanardi and Vollenweider, 2004). One of these lagoons is the Lagoon of Venice, which is a eutrophic lagoon system receiving urban, industrial and agricultural nutrient loads. This nutrient loading has drastically changed parts of the original ecosystem with enhancement of seaweed growth and proliferation of anoxic areas.

443. The northwestern Adriatic coastline is the most commonly and severely impacted area affected by periodic anoxia events and frequent algal blooms, jelly fish invasions and mucilages.

444. Kastela Bay in the central Adriatic is another threatened area. Studies were undertaken in order to gain better knowledge of the red tide phenomenon frequently recorded in the coastal waters of the Adriatic Sea (Marasovic, 1990). Long term observations in the most threatened areas were aimed at determining the circumstances preceding the red-tide phenomenon and which species caused it. Results showed a very high level of biological activity due to an increased eutrophication of Kastela Bay. In summer, due to poor vertical and horizontal circulation in parts of the water surface, stratification occurs with layers manifesting characteristics different from the rest of the bay. These phenomena seem to be responsible for the algal concentration, fostering the growth of monospecific blooms of those organisms showing certain competitive advantages in relation to the rest (*Gonyaulax polyedra*, *Olisthodiscus luteus*). In addition to a whole range of other competitive advantages, such as photoadaptation, resting cysts, temporary cysts and production of certain metabolites which enable them to exclude other organisms from the environment, these flagellated organisms are highly motile. Such intensive phytoplankton blooms eventually lead to their self-destruction. The resulting anoxia causes mass mortalities of other marine organisms.

445. A thorough consideration of these results leads to the conclusion that those regions constantly burdened with waste waters have sufficient quantities of micro and macro nutrients not to cause but, on the contrary, to enable and to support excessive phytoplankton blooms. In Kastela Bay, sea temperature in excess of 22 °C, seem to trigger explosive development of certain populations mainly

those with organisms (dinoflagellates) showing competitive advantages over other organisms thus developing monospecific blooms. When these blooms collapse, oxygen consumption takes place resulting in anoxic or quasi-anoxic states.

446. Some regions in the Central Adriatic have achieved such a high level of eutrophication that they can be described as hypertrophic. In order to rehabilitate such regions, it is essential to reduce the discharge of waste waters. However, since great quantities of micro- and macro-nutrients are deposited in the sediments, these areas will continue to exhibit a high level of eutrophication for a long time. The results obtained from these studies, combined with the results of physical, chemical and dynamic investigations should enable a more precise evaluation of the basin absorptive capacities i.e. to estimate the quantities of waste water that can be discharged without a significant disturbance of the ecological balance (Marasovic, 1990).

447. The Krka River salt wedge is another area of concern. In the Krka River estuary, the exchange of freshwater and marine water in the stratified estuary varies with flux (Zutic and Legovic, 1990). During winter, the estimated renewal time of freshwater was from 6 to 20 days while during summer it was found to be around 80 days. The exchange time of marine water is about five times longer. The temperature maximum is located on the lower edge of the halocline where the highest temperature in the Adriatic has been recorded (31 °C). Strong northerly wind induces a tilt of the brackish water layer and hence sudden mortality of marine shellfish culture located close to the halocline. The halocline is an accumulation interface of living and non-living organic particles and pollutants; a site of physico-chemical transformation of organic matter under the influence of salinity gradient; a site of intensive, mainly marine, primary production with a peak of dissolved oxygen concentration; a site of intensive decomposition processes; a barrier for oxygen transport to the marine layer.

448. The main source of silica and nitrogen is the Krka River itself. The dominant source of phosphorus in the upper estuary sinks and decomposition of freshwater phytoplankton occurs, while in the lower estuary receives the anthropogenic inflow of the city and port of Šibenik. Benthic hypoxia and massive mortality of benthic macrofauna was observed in two consecutive years. The hypoxia persists until the river flow increases and the sea water on the bottom is renewed by compensatory flow with colder, oxygen richer water. A similar effect was found to happen in the lower Ebro River in Spain (Cruzado et al, 2002).

Nutrient Enrichment

449. The effect of river discharge mediated eutrophication in the Gulf of Trieste is limited to the river mouths and to some inner part of the bays (e.g. Koper bay). Chlorophyll biomass, phytoplankton abundances and nutrient concentrations in these areas are higher compared to more distant stations, but the extent of observed biological response is not as high as expected. The same trends as stated above are true for the whole Northern Adriatic and are even more pronounced in the western part of the basin (Mozetič *et al.*, 2009).

450. Assessment of nutrients concentrations and chlorophyll data, based on Eionet data (2005), show consistently, that largest problems with eutrophication are observed in the northwestern part of Adriatic Sea, related to river Po input of nutrients. Time trend analyses shows that summer chlorophyll a concentrations are increasing at 8% of the Italian stations, decreasing at 5% of the stations, and no statistically significant trend can be detected at the remaining 87% of stations. In 2005, the highest oxidized nitrogen concentrations were observed along the coast of Italy. In NW part of Adriatic the high concentrations can be attributed to inputs from the Po River. High concentrations were also observed at single stations in Croatia.

451. Time trend analyses of data from Italy shows that oxidized nitrogen concentrations are increasing at 4% of the stations, decreasing at 1% of the stations, and no statistically significant trend can be detected at the remaining 95% of stations.

452. In 2005, the highest orthophosphate concentrations were observed along the coast of Italy. In the NW part of Adriatic the high concentrations can be attributed to inputs from the Po River. Time trend analysis shows that while orthophosphate concentrations are decreasing at 6% of the Italian stations, they are also increasing at 5 % of stations and no statistically significant trend can be detected at the remaining 89% of Italian stations.

453. In both coastal and freshwaters the point sources of pollution that cause most health concern are those due to domestic sewage discharges. Diffuse outputs and catchments aggregates of such pollution sources are more difficult to predict. Risks to human health are related to recreational waters quality and to shellfish associated infections.

454. During the period 1996-2005, there was a near stagnation in the percentage of bathing waters conforming to national standards (from 92.3% to 92.8%), with fluctuations during the period. Quality of those areas where monitoring takes place appears to have steadily increased until 2003 and then a slight worsening of quality are seen in 2004. A slight improvement is seen between 2004 and 2005. It should be noted that data only refer to waters that are officially monitored and that there may be a number of bathing areas which are used for recreation that are not monitored.

455. The positive trend for bathing water is also noticed in the number of sampling points, where samples were collected for analysis. In fact, following a minor decrease in 1999-2000, the number of sampling points was increased from 9,500 to 11,600 sampling points per year. The results confirm that every year more and more countries with an increasing number of sampling points implemented monitoring programmes.

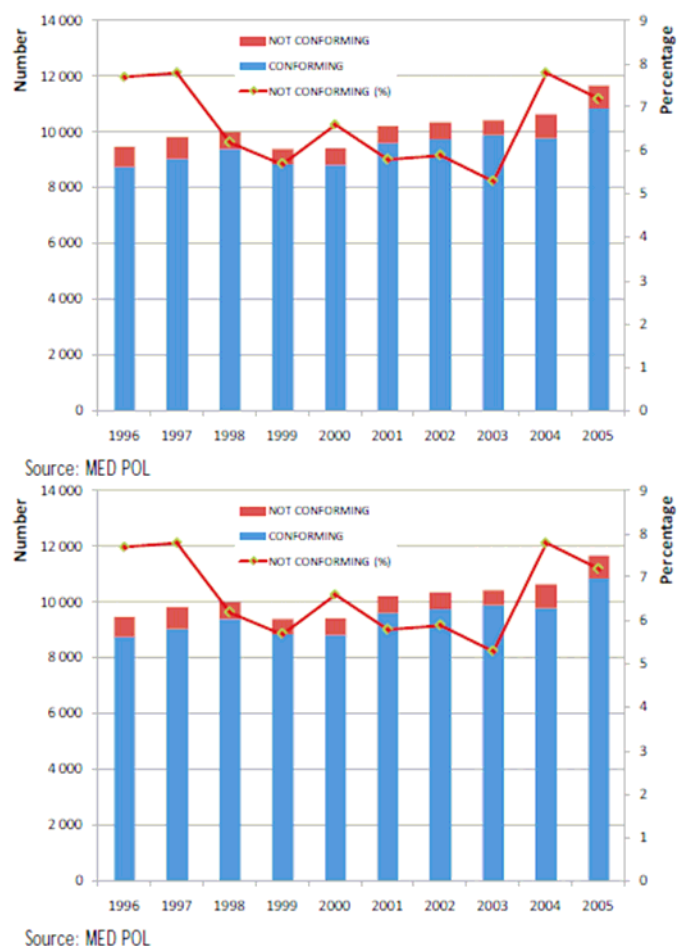


Figure 4.10: Number and percentage of bathing water areas complying and non-complying with the national legislation per year, 1996–2005 (UNEP/MAP-BP/RAC, 2009).

Fishing and Other Impacts

456. Insufficient fisheries management is one of the problems in the Adriatic Sea. The most common and commercial fish are *Sardina pilchardus sardina*, *Engraulis encrasicolus*, *Merluccius merluccius*, *Sparus auratus*, *Dicentrarchus labrax*, *Mullus barbatus*, *Mugil cephalus*, *Mugil labrosus*,

Anguilla anguilla, *Lithognathus mormyrus*, *Solea* sp., *Aphanius fasciatus*, *Lichia amia*, *Pagrus pagrus* and *Arnaglossus laterna*. Recently a total 28 shark species were confirmed from the Adriatic Sea and the Adriatic was supposed to be nursery and spawning areas for many large shark species, such as *Carcharhinus plumbeus*, *Alopias vulpinus*, *Prionace glauca*, *Oxynotus centrina* and *Lamna nasus* (Soldo, 2006).

457. Introduction of alien species occurs through the discharge of ballast waters at sea, Suez Canal, mariculture and fouling. Dulcic *et al.* (2010) reported at least 11 lessepsian migrant fish species were identified in the Adriatic Sea. Dulcic and Gerbec (2000) found that the change of the ichthyofauna in the Adriatic was associated with climatic and oceanographic changes.

458. The cubozoan, *Carybdea marsupialis*, was firstly recorded from the Adriatic in the mid-1980's and now an obnoxious stinger. Besides, *Pelagia noctulica* is increasing again. The global trend towards high abundance of jellyfish might also be correlated with overfishing. Jellyfish and fish interact both as predators and competitors of each other. The removal of large fish, due to overfishing, is opening an ecological niche for jellyfish (Boero *et al.*, 2008).

459. Bello *et al.* (2004) reported that the tropicalization of the Adriatic Sea is confirmed by the population expansion northward along its south-western coast of the some resident species (bony fishes *Thalassoma pavo* and *Sparisoma cretense*, a gastropod species *Stramonita haemastoma*, a cephalopod species *Octopus macropus*, and the short-term resident *Caulerpa racemosa*, a chlorophyte) and the settlement in the province of Bari of three tropical dinoflagellates (*Ostreopsis lenticularis*, *Coolia monotis* and *Prorocentrum mexicanum*).

460. ADRIAMED project is one example of regional cooperation. This project named "Scientific Cooperation to Support Responsible Fisheries in the Adriatic Sea" is an FAO Regional Project since 2007. The project aims to promote scientific cooperation among the Adriatic countries (Albania, Croatia, Italy, Montenegro and Slovenia), in line with the Code of Conduct for Responsible Fisheries (UN-FAO). Expected results are to establish a scientific information network pertinent to the shared fisheries resources of the Adriatic Sea and their management. In addition, the continuation of a process of cooperation and coordination in the various key areas (data collection; dissemination of information; biological, statistics, economic and social research and analysis; institutional networking and strategic planning). Results of the Project will help fisheries management in the Adriatic Sea.

V. Subregion #4 Eastern Mediterranean

461. The East Mediterranean Sea constitutes the last remnant of the Mesozoic-Cenozoic oceanic basin of Tethys, which is now almost totally consumed as a result of the long term plate convergence between Eurasia and Africa. The morphology of the East Mediterranean seafloor relates both to the early history of formation of the deep basins and the recent geodynamic interactions between interfering microplates.

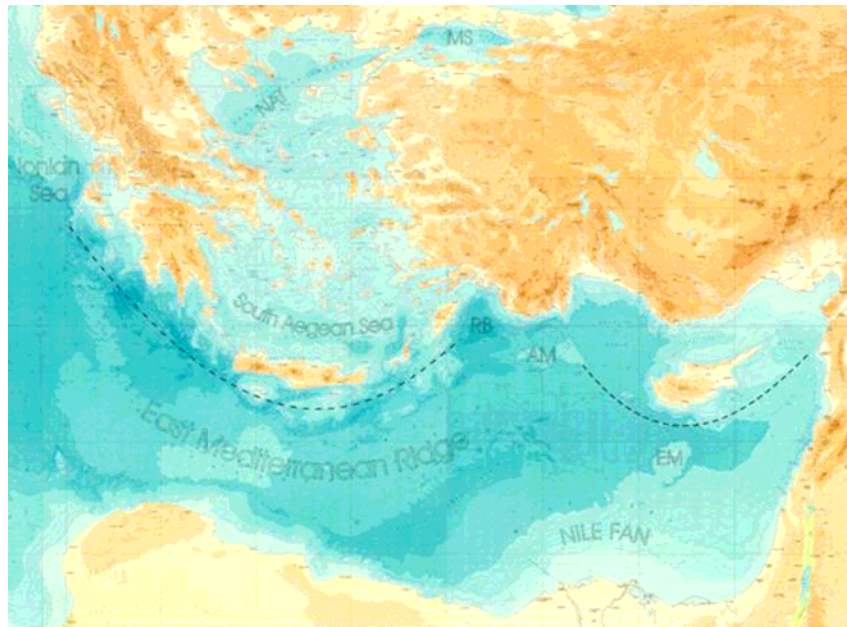


Figure 5.2. Morphology of the Aegean –Levantine Basin

A. Physical Characteristics

1. Bottom topography and bathymetry

462. From southwest Peloponnesus to south of Crete and Rhodes, this subregion is characterized by a 1500 km long and 200–250 km wide, arc-shaped, sedimentary wedge / accretionary prism, known as the East Mediterranean Ridge (Heezen and Ewing, 1963; Emery *et al.*, 1966). It results from the relatively rapid convergence between Eurasian and African continents, the subsequent subduction of the oceanic crust along the Hellenic Island Arc underneath the overriding Aegean microplate and the deformation of its sedimentary cover, which is responsible for the cobblestone relief of the ridge (Le Pichon *et al.*, 1995; Dewey and Sengoer, 1979; Kreemer and Chamot-Rooke, 2004; McClusky *et al.*, 2000; Reillinger *et al.*, 1997). Gas hydrates are also thought to occur.

463. The deep trenches north of the Mediterranean Ridge, known as Hellenic Arc and Trench System, represent the morphological expression of transpressional fault-zones, like the Herodotus and Matapan trenches to the west and the Strabo and Pliny trenches to the east. Maximum depth of 5100m has been observed in the Oinousses Deep, southwest of Peloponnesus. Numerous canyons and deep valleys originate from the shelf off mainland Greece and the Ionian and South Aegean Islands. Of particular interest is the seafloor topography of the West and East Cretan straits, which are characterized by complex morphology with narrow canyon running between steep sloped ridges. The Hellenic Arc terminates eastward at the Rhodes basin, a 4000- 4500m deep relatively young basin east of Rhodes island, characterized by thin sedimentary cover.

464. Adjacent to the eastern side of the deep Rhodes basin the Anaximander Mountains are rising to minimum depth of about 1500m. They represent a continental block, tectonically separated from Anatolia, composed of alpine rocks (Woodside and others 1997, 1998). The Anaximander Mountains are the only site in the Mediterranean Sea where gas hydrates have been sampled (Lykousis *et al.*, 2004). Their formation is related to the active mud volcanoes which occur on the shallow parts of the Mountains.

465. A second arc-shaped feature, the Cyprus Arc, initiates at the Anaximander Mountains and comprises the Florence Rise, the Cyprus margin, Larnaka and West Taurus ridges, to finally stretch towards the Levantine coast off Syria. Eratosthenes Seamount, located south of the Cyprus Arc, is a striking positive morphological feature of the Levantine seafloor. It has been interpreted as a continental block of the African plate, which is underthrusting beneath the Cyprus Arc.

466. The Nile Fan, covering the Egyptian passive margin over more than 100000 km², which corresponds to a fairly thick sedimentary wedge, resulting from successive terrigenous inputs delivered by the Nile River since at least 5 million years before present (Dolson, Boucher, & Shann, 2000; Salem, 1976). Extensive mass movements and widespread cold seeping phenomena (mud volcanoes, pockmarks etc) characterize particularly the deeper, western sector of the fan (Loncke *et al.*, 2004).

2. Salinity, Temperature, Circulation, Currents

467. The Mediterranean Sea consists of two major interacting sub-basins, the western and eastern Mediterranean, connected by the Straits of Sicily with sill depth ~1000m. The Ionian, Levantine, Adriatic and Aegean are the sub basins in the eastern part which communicates with the Black Sea through the Strait of Dardanelles. On the largest scales of interest, i.e. interannual and basin-wide scales, the circulation of the Mediterranean is determined by its exchanges of water and heat with the atmosphere through the sea surface and the water and salt with the adjacent seas through the Straits. The thermohaline circulation of the Mediterranean, which reflects the largest scale motion, is forced by the buoyancy exchanges and is driven by its negative heat and freshwater budgets (Theocharis, 2008) and the wind stress forcing (Tsimplis *et al.* 2006).

468. A general north-south gradient in the net heat flux is apparent, from a net heat loss in the northern half of the basin to a gain in the southern half. The gradient primarily reflects a reduction in the shortwave flux with increasing latitude and strong wind driven latent heat loss in the Aegean Sea. In winter, the heat loss is the major factor contributing to the deep water formation. Significant interannual variations in the winter heat loss are known to occur, the prime example being the severe winters of the early 1990s which have been linked to the Eastern Mediterranean Transient (Theocharis *et al.*, 1999; Josey, 2003).

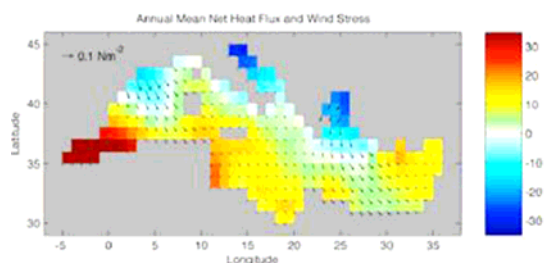


Figure 5.2: Climatological annual mean fields based on the SOC climatology for the net heat flux and the wind stress. Climatological annual mean net heat flux (colours Wm⁻²) and wind stress (arrows) (Josey *et al.*, 1999)

469. The physical characteristics (T and S) of the waters in eastern Mediterranean are summarized in Table x1. Satellite derived maps describing the mean spatial T and S variability are shown in figure 37 whereas figure 5 provides satellite snapshots of T across the basin in May 2010 (top) and December 2009 (bottom).

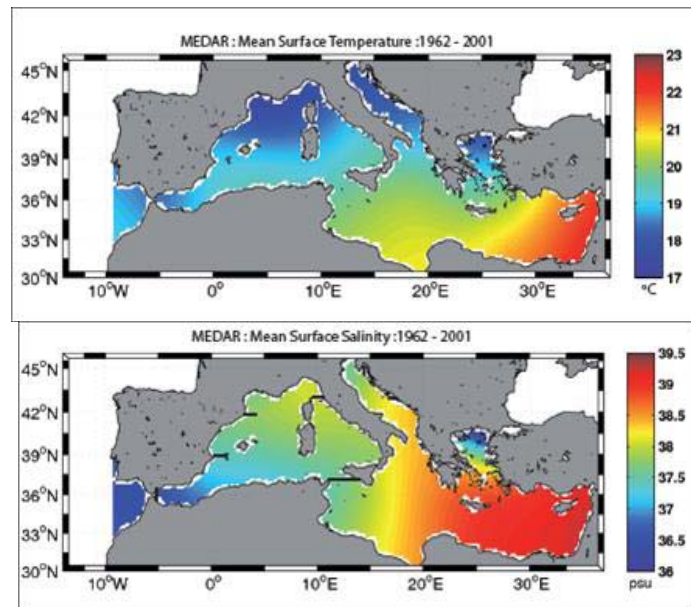


Figure 5.3: MEDAR Mean surface Temperature (top) and salinity (bottom) 1962 -2001.
Source: Reprinted from Vidal-Vijande (2008)

470. The general circulation consists of a number of sub-basin-scale gyres and eddies interconnected and interleaved by current jets and filaments. There is variation in the shape, position and strength of permanent gyres; the meander pattern, bifurcation structure and strength of permanent currents; and the occurrence of transient and aperiodic eddies and jets (Robinson et al 1991). The inherent seasonal and interannual flow variability impinges on the coastal regions and strongly influences the local dynamic of currents (UNEP/MAP-EEA, 1999).

471. Schematically, the Mediterranean Sea can be considered as comprising three main water masses all of which of major importance in the eastern Mediterranean sub-basin (Figure 38) :

- the Atlantic Water, found in the surface layer, having a thickness of 150-200 m and characterized by a salinity of 36.2 psu near Gibraltar to 38.6 psu in the Levantine basin;
- the Levantine Intermediate Water (the main water body of the Mediterranean) formed in the Levantine basin, from the overlying Levantine Surface Water (LSW) lying in depth between 200-500 m, and characterized by temperatures of 13-15.5°C and salinity of 38.4-39.1 psu;
- the Mediterranean Deep Water formed in both the western and eastern basins; the Western Mediterranean Deep Water (WMDW) is characterized by a temperature of 12.7°C and a salinity of 38.4 psu while the Eastern Mediterranean Deep Water (EMDW) is characterized by a temperature of 13.6°C and a salinity of 38.7 psu.

472. The northwest Levantine Basin is the main source of the Levantine Intermediate Water (LIW), while the Adriatic Sea is basic site of Eastern Mediterranean Deep Water (EMDW). the North and South Aegean Sea, is also an important source which under the synergy of extreme meteorological and favorable hydrological conditions become more effective and may considerably influence the thermohaline circulation in medium or longer term. LIW is considered the most important component of the large scale circulation and dynamics because it spreads throughout most of the Basin and affects the background stratification at the other major deep water formation areas (Adriatic and Aegean). It is also the main constituent (80%) of the high-salinity Mediterranean Water that is exported to the Atlantic Ocean (Lascazatos *et al.*, 1999).

473. Another loop connects the Mediterranean with the Black Sea. In this case, the Aegean Sea acts as an intermediate machine that modifies the received LIW and exports it to the Black Sea via the Marmara Sea.

474. Sub-regional eddies and local current systems have also been identified: the mid-Mediterranean jet which is an intensification of the Atlantic-Ionian Stream in the Levantine basin; the Rhodes and Ierapetra gyres; and the Mersa-Matruh and Shikmona gyres (Figure 38).

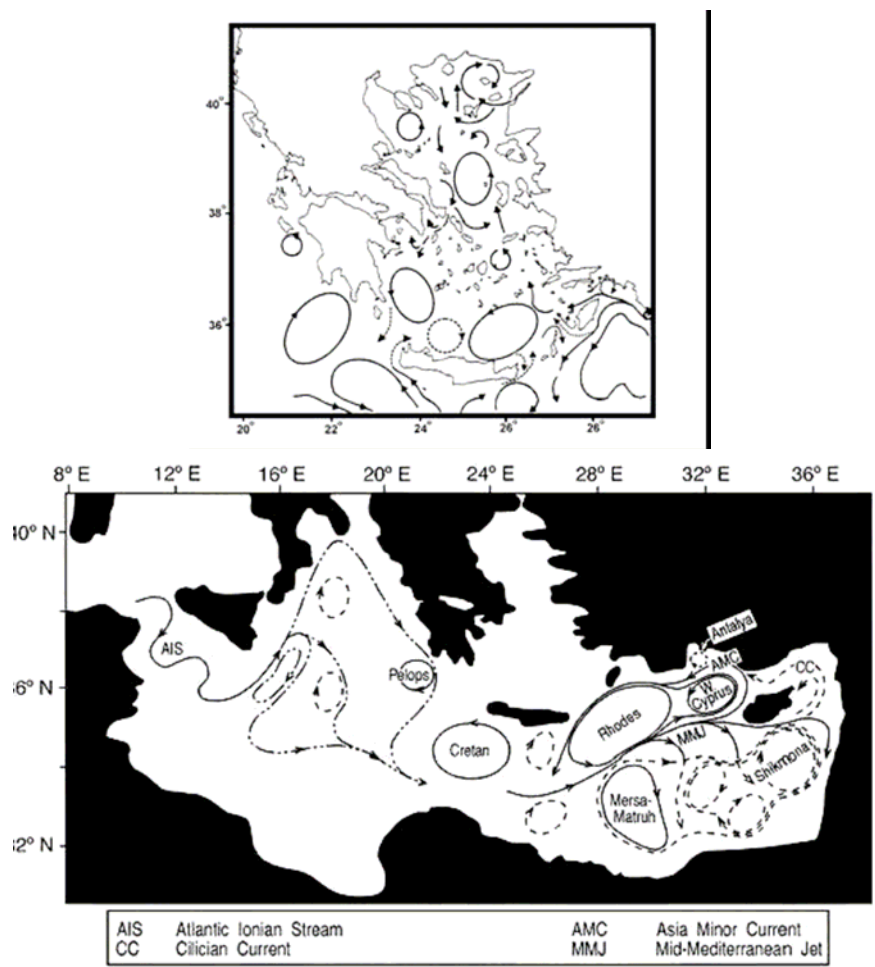


Figure 5.4: Schematic upper general circulation in Eastern Mediterranean(Lykousis *et al.*, 2002 (top) and Malanotte-Rizzoli *et al.*, 1997 (bottom))

475. Although the inflow of water from the Black Sea to the Mediterranean is about 2 orders of magnitude smaller than the inflow of Atlantic water, the large salinity difference between the Black Sea and Mediterranean of ~18 psu, makes the role of the Black Sea outflow significant at least for the Aegean Sea. This inflowing Black Sea water occupies the surface layers in the north Aegean Sea where it is thought to have a controlling function on the vertical stability and mixing (Zervakis *et al.*, 2004).

476. Variations of the Black Sea water outflow may affect the thermohaline circulation in the North Aegean; reductions of ~100 km³/yr are quite plausible, which are equivalent to changes in evaporation of 0.2 m/yr over the Aegean Sea (Stanev and Peneva, 2002). By contrast, an increase of the transport of Black Sea water into the Mediterranean Sea could block or at least decrease the rates of any deep water formation taking place in the north Aegean Sea (Zervakis *et al.*, 2004).

477. It is only recently that the role of the Aegean Sea as a deep water formation area has been conclusively demonstrated (Roether *et al.*, 1996). In late 80s-early 90s, abrupt significant consecutive changes, increase in salinity (1987-1992) and drop in temperature (1992-1994), caused continuous increase of density and massive deep water formation in the 1999, that altered the thermohaline circulation of the eastern Mediterranean (Figure 6a,b) (Robinson *et al.*, 2001; Roether *et al.*, 1996) with consequences also for the distribution of other environmental parameters (Klein *et al.*, 1999). This

major event, unique in the oceanography of the Mediterranean since the beginning of the 20th century, evolved within the last 18 years and was called the “Eastern Mediterranean Transient” (EMT). The engine of the conveyor belt was up to 1987 the convective cell of the Southern Adriatic, while in early 90s the active convection region shifted to the Aegean. The Aegean became the new more effective source than the Adriatic, since it produced not only denser water, namely the Cretan Deep Water (CDW), but also in large volumes (Theocharis *et al.*, 1999).

478. It is worth mentioning that palaeoceanographic information has certified the large sensitivity of the Aegean Sea to climatic variability. Additionally during the EMT period a new intermediate water was generated in the Cretan Sea, namely the Cretan Intermediate Water (CIW), that replaced the LIW within the western region of the Eastern Mediterranean (Ionian Sea). This salty water fed the Adriatic during the following years, supporting the reactivation of the previous long term dominance of the Adriatic (Theocharis, 2008). In conclusion, the Mediterranean is not in a steady state and is potentially very sensitive to changes in atmospheric forcing (Tsimplis *et al.*, 2006).

479. Rivers are important sources of freshwater and nutrients for the Mediterranean (Ludwig *et al.* 2009). Freshwater inputs alone can influence the marine ecosystems functioning through their control on the general water circulation in the Mediterranean Sea (e.g. Skliris *et al.*, 2007). Estimates of total riverine freshwater flux into the Mediterranean and Black Sea have been established in a recent work (Ludwig *et al.* 2009) Table 2. In the eastern Mediterranean a decreasing trend has been established for the Aegean (AEG) and the Southern Levantine (SLE); for the North Levantine Sea (NLS) no significant trends could be detected. Discharge reductions were frequent in the rivers of the eastern Mediterranean when the records extend to recent years rather than stopping in the eighties. This is in agreement with Skoulidikis and Gritzalis (1998) who reported that many Greek rivers reduced to up to half of their original discharge.

480. According to Ludwig *et al.* (2009), the patchiness of the discharge records makes it difficult to extrapolate the detected changes to larger spatial and temporal scales unless the records are compared to the general evolution of climate. Results of trend analyses on hydroclimatic parameters in the eastern Mediterranean revealed a precipitation decrease with reductions in the Aegean Sea (-13%), and the South- Levantine Sea (-10%) following the general Mediterranean precipitation trend. On the other hand the drainage basins of the Aegean and North-Levantine seas have experienced a decrease in temperature in contrast to the strongly increasing temperatures of the entire basin.

481. The application of an appropriate model to the entire drainage basin allowed a realistic valuation of the impact of climate forcing on the river freshwater fluxes to the sea (Ludwig *et al.*, 2009). The work suggested that climate change alone could have provoked a water discharge reduction of more than 20% over the entire Mediterranean. Strongest reductions appear for the Alboran (-64%), Southwestern (-31%), Southern-Levantine (-25%), Aegean (-24%) and Adriatic (-17%) seas. Such reduction in only 40 years are highly remarkable (Ludwig *et al.*, 2009). This underlines why the Mediterranean region was identified as one of the most prominent “hot-spots” in future climate change projections (Giorgi, 2006).

482. These reductions in river flow may have hydrological implications affecting the circulation in the basin. Skliris *et al.* (2007) demonstrated by modeling that reductions in the riverine freshwater inputs can cause greater deep water formation rates in the Mediterranean Sea. Our data show that during 1985–1994 the river discharges to the Aegean Sea were suddenly reduced by more than 30% compared to the previous years (1960–1984). This may have contributed to higher salinities in the surface waters, favoring the formation of deep waters and the onset of the Eastern Mediterranean Transient.

3. Nutrients

483. The Mediterranean Sea is oligotrophic and thus chlorophyll and nutrient concentrations are lower than in the other regional seas. The Eastern Mediterranean Sea is an extreme oligotrophic environment (Krom *et al.*, 2003; 2005) Table 4, whose ultra-oligotrophic status is reflected in the exceptional water clarity low concentrations of nutrients, extremely low values for all phytoplankton related variables, including chlorophyll a, primary production and cell abundance dominance of small-size phytoplankton and outstandingly low bacterial abundance and production (Psarra *et al.*, 2005 and references therein); this extreme “poverty” has also been verified by satellite imagery of sea-surface chlorophylls and derived primary production (Bosc *et al.*, 2004) (table 5, figures 10,11,12).

484. Primary productivity in the eastern Mediterranean (and particular in the Levantine basin) has been shown to be phosphorus limited (Krom *et al.*, 1991) or co-limited as recently verified (Krom *et al* 2005, Law *et al.*, 2005, Psarra *et al* 2005, Pitta *et al* 2005, Zohary *et al*, 2005). Satellite snapshots and maps of averages (seasonal and/or multi annual) are available that can be used to monitor algal blooms and primary production on a long term basis in order to detect modifications in the biogeochemical equilibrium and assist in monitoring the onset and impacts of eutrophication (Figures 10,11, 12). However no long time series exist of field data to acquire a trend of nutrient enrichment and eutrophication.

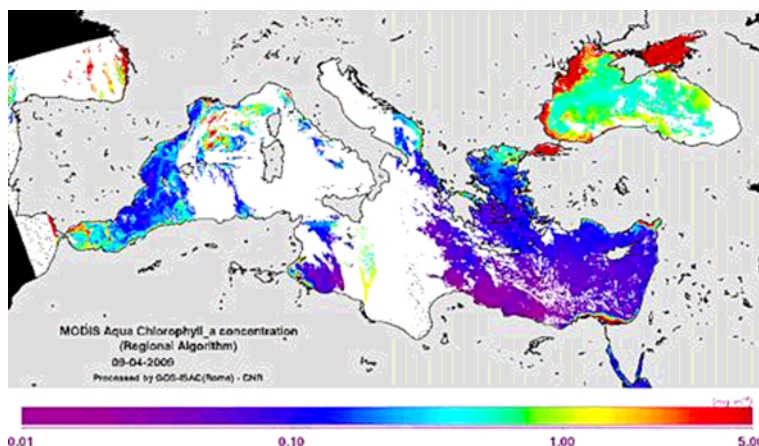


Figure 5.5: MODIS Aqua chlorophyll-a concentration (regional algorithm), 9/4/2009
Source: HCMR Poseidon System

485. The general spatial and temporal trends of algal blooms and primary production can be summarized by the main findings of Bosc *et al* (2004) when analyzing SeaWiFS data. All the subregions in this basin are characterized by low chl-a concentrations all around the year (e.g. 0.03 to 0.3 mg m⁻³ for spatial averages), the lowest concentrations being observed in the Levantine Basin (with the exception of waters at the boundary of the Nile plume). A marked seasonal cycle is observed in the various regions, with a decrease of the algal biomass by a factor up to 3–4 from winter to summer (e.g. for the Levantine Basin, from 0.12 to 0.03 mg m⁻³ on average, Bosc *et al* 2004), and large interannual variation (e.g. in 200-2001 the largest decrease is observed for the Aegean Sea (-14%), and the North Levantine Basin (-11%) as depicted in the satellite image analysis in figures 12 and 13. Seasonal and interannual variations are also present in primary production where surface biomass in most provinces decreases significantly from winter to summer and as a result, primary production exhibits a weakly marked maximum over summer.

486. In recent assessments of Chlorophyll and nutrients in transitional, coastal and marine waters along EU 27 countries (UNEP/MAP-EEA CSI 021 and CSI 023 respectively, 2009) in 2005 high oxidized nitrogen concentrations were observed at single stations in Cyprus and Greece in Eastern Mediterranean; Greece also exhibited high concentrations of orthophosphate (Figure 14). Only Greece has submitted long enough time series to perform a trend analysis which shows that oxidized nitrogen concentrations are increasing at 4% of the stations, decreasing at 1% of the stations, and no statistically significant trend can be detected at the remaining 95% of stations. No statistically significant trend could be detected for orthophosphate. As for chlorophyll (investigating eutrophication in European waters) high concentrations were observed at single stations in the Gulf of Orfani in Greece (Figure 15); however as not long enough time series exist to detect any statistically significant trend.

487. Chlorophyll variations in surface waters, in general revealed that the highest levels correspond to the areas close to river deltas or those off large urban agglomerations. The main spatial features, detected include the general gradient in algal biomass from north to south and from west to east of the Eastern Basin, the "ultra-oligotrophic cores" of the south Levantine Basin (corresponding to the Mersa-Matruh and Shikmona Gyres, the Nile plume, the north-south gradient in algal biomass in the Aegean Sea, attributed to the combined effects of river inputs, northerly winter and signal from the nutrient rich Black Sea waters. Hot spots can also be identified.

488. According to Ludwig et al (2009) although analysis results indicated that nitrogen pollution was not a major problem in Mediterranean rivers and was usually dominated by diffuse sources, in particular agriculture, which is characterized in southern Europe by less intensive cultivation practices (figure 16 depicts the evolution of N fertilizers and the load drained particularly in the Aegean Sea) and that no clear regional pattern could be neither observed for Phosphorus whose pollution is normally dominated by point sources, such as urban waste waters, the evolution of river fluxes of nutrients exhibits increasing nitrogen and phosphorus fluxes, enhanced via anthropogenic activities in the drainage basins.

489. However, the anthropogenic nutrients did not follow exactly the same trends. Efforts undertaken to mitigate point source pollutions in the 1980s and 1990s had an immediate impact on the phosphorus loads; after a dramatic increase in the 1960s and 1970s, phosphorus rapidly declined to early 1960s levels. The pattern is somehow different for nitrogen, mainly released via diffuse sources such as fertilizers. Nitrogen followed more or less a continuous increase over the study period, before starting to decrease only recently in the whole basin but not so in the eastern basin (Ludwig et al, 2009). With regard to the situation in 1960 (Table 6), Mediterranean and Black Sea rivers are nowadays characterized by a strong excess of nitrogen over phosphorus and silica. Interestingly gross primary production sustained by rivers (PPR) represents only less than 2% of the gross production (PP) in the Mediterranean; possible ecological impacts of the changing river inputs should therefore be visible only in productive coastal areas (Ludwig et al, 2009).

490. Finally, atmospheric deposition data tend to be regarded as not consistent to support reliable calculations for Eastern Mediterranean (UNEP/MAP 2007b). Some information exists for wet deposition fluxes of inorganic nutrients (PO_4^- , NO_3^- , NO_2 , NH_4^+) at sites along the Mediterranean coast of Israel, which were made as part of a long-term study (UNEP/MAP-MED POL Phase II and III monitoring activities, Herut *et al.*, 1999, Herut, 2005). Herut (2005) has reported on dry atmospheric deposition of N and P in SE Mediterranean focusing on the role of Sahara dust in enhancing primary production.

491. The basin sediments of the eastern Mediterranean Sea are muddy with high carbonate content due to the biogenic particles originated from the phytoplanktonic production of the system. Deep-water ventilation changes, on longer time scales, are witnessed in the sedimentary record of the eastern Mediterranean Sea, by the presence of sapropels. These dark organic-rich layers are found throughout the eastern Mediterranean Sea.

492. The precise mechanisms leading to this unusual past accumulation of organic matter in the Mediterranean Sea are still a matter of debate (Anagnostou pers. comm.). Their formation is related to a slow-down of deepwater ventilation attributed in most cases, to changes into much wetter climatic conditions. For the sapropel formation the stagnation/anoxia theory has been proposed, which suggests that, during times of excessive freshwater influx into the Mediterranean Sea, the water column became strongly stratified, preventing vertical mixing and oxygen supply to the bottom waters. This procedure contributed to the preservation of higher percentage of the total organic carbon (TOC) and to the sapropel formation with >2–5% total organic carbon. The sapropel formation seems to be also associated with increases in export productivity and increase in the flux of organic matter.

493. The Aegean Sea, which shows very complicated seafloor morphology, is chosen as a case study area, to present the main sedimentological characteristics with emphasis on coastal areas based on Karageorgis et al, 2005 and Sakellariou et al 2005.

494. In the northern Aegean, sand and silt are the major constituents of the sediments, with a minor amount of clay and, therefore, these sediments are classified as sands, muddy sands, muds and silts. Sand is the predominant sediment fraction in the continental shelf and upper slope of the north Aegean Sea. The sediments of the north Aegean Sea are generally characterized by low carbonate content (<20%). In the continental shelf (water depth <130 m) and upper slope area (water depth 130-300 m) carbonate content is generally <20%, however, some elevated values appear around the islands of the area. In coastal areas and semi-enclosed gulfs, sediments are generally muddy sands and muds. The carbonate content varies from values <40% in values up to 70%.

495. In the south Aegean, sediments collected from the southern part of the Kyklades Islands, the northern part of the Cretan Sea and a part of the central offshore sector north of Kriti Island are mainly composed of sand and silt, and minor clay content. They are classified mainly as sandy muds and

muddy sands. Sediments around the islands are characterised by high sand content (>80%), with the volcanoclastic component predominating around Milos and Santorini and the biogenic component in the rest of the area. Offshore sand decreases to smaller contents. The silt content is up to 70%, the higher values are observed mainly in the Cretan Sea. The clay content is also up to 60%. The carbonate content exhibits high values (60 to >80%) in the areas where the biogenic component predominates in the sand fraction.

B. Biological Characteristics

496. This subregion captures less than half of the known Mediterranean species diversity, with 43% of the listed species occurring in the eastern Mediterranean. However, it should be noted that this subregion is probably the least well-studied, particularly in offshore areas. The lower level of biodiversity, at least as far as species diversity is concerned, reflects a general trend of biodiversity reduction from the West to the East, given that the conditions of the Levantine Basin are not conducive for the thriving of the Atlantic contingent, being so biased by a founder effect. Previously, the floods of the Nile deeply affected the biology of this part of the Mediterranean Sea, however after the construction of the Aswan Dam, in the 1970s, the bearing of the Nile on the Mediterranean was severely reduced.

497. Several flagship species of great conservation interest are present in this part of the Mediterranean Sea.

498. The most important one is the Mediterranean monk seal (*Monachus monachus*), is still present in Greece, Cyprus and Turkey. This part of the Mediterranean is also very important for the great availability of nesting sites for marine turtles, especially *Caretta caretta*, and for the presence of many species of cetaceans.

499. Habitat diversity is generally high, and there is a marked difference between the island- and rocky seafloor habitats of the northern portion and the soft-bottom habitats present in the alluvial stretches of the southern portion. However, there are large gaps in knowledge about the distribution of habitats. A strong priority is to be given to bioconstructors, from vermetid reefs to *Lythophyllum* rims, to *Posidonia* meadows, to coralligenous formations in general. Some of these bioconstructions are almost extinct in the easternmost part of the basin (e.g. *Posidonia* meadows) whereas others are still thriving, albeit being threatened by anthropogenic activities.

500. Phytoplankton diversity is also high. The mean high temperatures prevailing in the eastern Mediterranean, especially the Levantine basin, impart to this region a tropical character in regard to the planktonic biota: several species of dinoflagellates, such as *Pyrocystis noctiluca*, *Ceratium carriense*, *C. trichoceros* and *C. massiliense*, which are the most common and widespread species in the Indian Ocean, and similarly, in regard to the diatoms, the *Chaetoceros-Rhizosolenia* complex, dominates the Levant Basin (Kimor, 1972). Notwithstanding the low biological productivity, the diatom and dinoflagellate flora is characterized by a wealth of species, generally characteristic of tropical and subtropical seas: according to Halim (1965) about 50 % of the thecate dinoflagellate species of the world are represented in the plankton of the southeastern Mediterranean. Another feature is the presence of an increasing number of species of Indo-Pacific origin which have entered over the years through the Suez Canal and established populations in the Levant Basin. Dowidar (1971) singled out *Ceratium egyptiacum*, among several such species of dinoflagellates, which in his view is a fairly recent alien originating from the Red Sea. This species is now recorded not only from the Suez Canal but also from the Nile Delta and from the Bardawil lagoon in northern Sinai (Kimor, 1975). Among the diatoms, the presence of *Chaetoceros coarctatus*, generally considered a circumtropical species, was recorded in the Bay of Haifa (Zismann *et al.*, 1975). In the pre-Aswan Dam period, the diatoms formed up to 99 % of the total algal biomass during late summer, when the Nile's nutrient-laden water reached the sea (Halim, 1960). These algal blooms were stimulated by the nutrients, mainly silicates and phosphates. These diatom blooms, consisting of several centric species, were carried by the prevailing anticlockwise coastal current to the Israeli coast. Post- Aswan Dam, these blooms are less apparent and predictable, largely due to the fairly constant salinity and low nutrient load. In general, it may be said that the dinoflagellates consist of tropical-subtropical species, together with eurythermal species. Tropical shade forms are amply represented in the dinoflagellate flora of the Levant Basin. These forms are generally stenothermal and stenohaline. Their distribution pattern is similar to that of several groups of microzooplankton which inhabit the upper water layers during the winter and sink to deeper layers during the summer. The eurybathy of *Ceratium carriense* var. *volans*, found in surface

waters and in the very deep strata of the euphotic zone in summer, is worth mentioning, Viable specimens of this species had been recorded throughout the water column down to depths of thousands of meters during the Pillsbury Expedition in the summer of 1965 (Kimor and Wood, 1975).

501. The Pillsbury cruise to the eastern Mediterranean in 1965 resulted in remarkable data on the bathymetric distribution of some of the Microzooplankton species: as in the case of the Ceratiaceae and Dinophysiaceae, many of the winter epipelagic species of Acantharia and Spumellaria migrate to deeper levels during the summer months (Kimor and Wood, 1975). Among the Acantharia recorded at great depths was *Lychnaspis giltschi* (at 2000-3000 m) (Kimor, 1971). Some of the deep water Acantharia displayed potentially functional zooxanthellae, suggesting that as in the case of the free living *Ceratium carriense* var. *volans* and *Halosphaera viridis* (Kimor and Wood, 1975), the existence in the eastern Mediterranean of viable, though rare, populations of potential primary producers well below the photic zone. The tintinnid fauna of the Levant is remarkably similar to that of the Red Sea (Komarovskiy, 1959, 1962).

502. Several taxonomic groups of zooplankton had been studied both from regular collections along the coast of Israel and from collections carried out within the framework of projects supported by various agencies, notably the Smithsonian Institution in Washington D.C. The latter supported a 5-year (1967 to 1972) project entitled —Biota of the Eastern Mediterranean and the Red Sea—. It would far surpass the scope of this report to refer to all the results of these investigations. Therefore, only a few examples are given, resulting from the work of several local and foreign scientists that could best emphasize the peculiarities of the zooplankton assemblages of the Levant Basin.

503. One of the most striking characteristics of the zooplankton of the eastern Mediterranean is its chaetognath fauna. This was one of the first groups to be studied along the Mediterranean and Red Sea coasts of Israel (Furnestin, 1953, 1958). Only one of the five most abundant species in both seas, *Sagitta enflata*, is common to both. The principal neritic Levantine species, *Sagitta friderici*, is unknown from the Gulf of Elat. It was assumed that the Bitter lakes of the Suez Canal formed an insurmountable obstacle in the dispersal of these species, but as their salinity has decreased it may opportune to re-examine the biota. A similar picture of dissimilar taxa in the two adjacent marine environments, connected as they are by the Suez Canal, is provided by the appendicularian fauna: *Oikopleura longicauda* and *O. dioica* prevailing in the Levant and *O. rufescens*, *Megalocercus huxleyi* and *M. abyssorum* in the Red Sea (Fenaux, 1960). The thaliacean fauna of the Levant, though essentially Mediterranean in character, with the exception of *Salpa cylindrica*, an Erythrean alien (Godeaux, 1960). The Cladocera, consisting of few neritic, thermophilic and euryhaline species, provide additional examples of the region's biogeographical affinities: the prevailing species of the genus *Evadne*, *E. tergestina* and *E. spinifera*, are common in both inshore and offshore waters of the Levant Basin, and Podon polyphemoides used to thrive in the coastal waters of Israel at the time of the Nile floods (Komarovskiy, 1953). However, the species *Penilia avirostris*, so common in other parts of the Mediterranean, is conspicuous by its absence. This has been established for both the inshore and offshore waters of the Levant Basin (Pasteur et al., 1976) and confirmed by Lakkis (1981) from Lebanese coastal waters.

504. The neritic element in the copepod fauna include *Paracalanus parvus*, *Euterpina acutifrons*, *Acartia clausii* and *Centropages kroyeri*. Offshore, and occasionally recorded inshore as well, are *Temora stylifera*, *Clausocalanus furcatus*, *Acartia negligens* and *Centropages violaceus*, the latter species considered an indicator of Atlantic waters (Kimor, 1983). Some deep water species of the genera *Pleuromamma*, *Lucicutia* and *Euaelidus* have been recorded in the surface waters in winter (Kimor and Berdugo, 1967; Pasternak et al., 1976).

505. Of special interest for the changing biogeography of this region is the occurrence of copepod species of Indo-Pacific origin in the inshore waters of the Levant Basin, such as the calanoids *Acartia centrura*, *Calanopia media* and *C. elliptica* (Berdugo, 1966, 1968, 1974). The evidence currently at our disposal points to a pelagic flora and fauna with some affinities to the adjoining Red Sea. The causes are probably twofold: an invasion of species through the Suez Canal, enhanced by the decline of the former salt barrier and the disappearance of the freshwater barrier following the damming of the Nile; coupled with the hydrographic heterogeneity of the Mediterranean, with higher temperatures in the Levant.

506. About 300 macroalgal species have been recorded from the subregion within the Mediterranean coast of Israel – a number that falls far short of the more than 1,100 species known for the entire Mediterranean. This may be due to the small number of specialists and the meager number

of studies conducted throughout the 20th century, but may reflect also lower biodiversity due to the extreme oligotrophic conditions, paucity of shallow rocky habitats, and recently, to the rapid degradation of the littoral.

507. Meiofauna and other invertebrate in-fauna in the eastern stretched of the subregion are well-studied and diverse in species. Benthic fauna include hundreds of species in the Nematoda, Annelida, Arthropoda, Mollusca, Chaetognatha, Echinodermata, Tunicata, Cnidaria, Ctenaria and Porifera.

508. Fish species diversity is high, both in chondrichthys and osteichthys, with the major portion of bony fish species in the following families: Scombridae, Clupeidae, Carangidae, Sparidae, Labridae, Serranidae, Mullidae, and Mugilidae. In this region, there is a mixing of classically "Mediterranean" species with species from the Red Sea and Indo-Pacific. For instance, out of the 227 fish species recorded from Syrian marine waters (Ibrahim *et al.* 2010a; Ammar *et al.*, 2009; SAAD, 2005, Ibrahim *et al.*, 2002), 54 (23.7%) (see appendix 1-d) entered the area either from the Red Sea through Suez Canal (39 species, 17.1%) or from the western Mediterranean and the Atlantic through strait of Gibraltar (15 species, 6.6%). The Indo-Pacific originated invasive fish species are common in the Syrian marine ecosystem, especially in the recent years.

509. The subregion contains large numbers of both loggerhead (*Caretta caretta*) and green (*Chelonia mydas*) sea turtles. Up to the mid 20th century hundreds of loggerhead turtles nested along the Mediterranean coast of Israel. In the 1950's, some 200 nests with a density of about 15 nests per km were recorded on 15 km of typical beach in northern Israel (Sella 1982). However, the number declined rapidly thereafter. Along some 55 km of coastline, which include the area surveyed by Sella's, between 10 and 16 nests were annually found between 1984 and 1989. The decline is attributed to overfishing - nearly 2000 green turtles were hunted each year during the third decade of the 19th century (Hornell, 1935), and to beach sand extraction. To date, both *Chelonia mydas* and *C. caretta* nest in small numbers on the Mediterranean coast of Israel.

510. Pond farming along the northern and central coastal plain of Israel expanded during the 1970's, and attracted many species of water birds, especially during migration. Eleven marine and coastal threatened and endangered species (Annex II, SPA Protocol)(*Calonectris diomedea*, *Puffinus yelkouan*, *Hydrobates pelagicus*, *Pelecanus onocrotalus*, *Phoenicopus ruber*, *Pandion haliaetus*, *Falco elenora*, *Larus audouinii*, *Sterna bengalensis*, *S. sandwichensis*, *S. albifrons*) have been recorded along the Mediterranean coast of Israel, in addition to 73 native, migrant and visiting species (Shy, 2002). Marine birds nest on some islets off the Mediterranean coast of Israel, and about 2,000 *Phalacrocorax carbo* overwinter on islets off Rosh Hanikra.

511. The cetacean populations off the Israeli coast have hardly been studied systematically. Marchessaux (1980) recorded eight species of cetaceans from the existing literature, his own data, and from the national natural history collections at Tel Aviv University and the British Museum of Natural History. Current information is based on beached or entangled specimens and opportunistic sightings collected by IMMRAC since 1993 (Goffman *et al.* 2000, 2006). Of the 14 cetacean species listed from the Mediterranean, ten are known from the Levantine Basin: five may be considered residents, bottlenose dolphin (*Tursiops truncatus*) striped dolphin (*Stenella coeruleoalba*), Risso's dolphin (*Grampus griseus*), common dolphin (*Delphinus delphis*), and Cuvier's beaked whale (*Ziphius cavirostris*), and five visitors, rough-toothed dolphin (*Steno bredanensis*), false killer whale (*Pseudorca crassidense*), sperm whale (*Physeter macrocephalus*), minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) and fin whale (*Balaenoptera physalus*). *T. truncatus* is by far the most common, associated with commercial trawlers and accounting for nearly all reported net entanglements.

512. The rare beachings of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and fin whales (*Balaenoptera physalus*) may result from accidental straying or of drifting of floating carcasses. A carcass of the false killer whale (*Pseudorca crassidens*) was found on July 13 2004 and sighted twice in a group at sea. Two calves of minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) which drowned entangled in gill nets were reported in Akko in May 2000 and in Haifa on February 2004, and an adult was sighted near Haifa port in winter 2005. Frequent sightings at sea of *S. coeruleoalba*, *D. delphis* and *G. griseus* attest to an apparently year-round presence. The Mediterranean population of *D. delphis* has been designated 'endangered' on account of past and present negative size trends. Yet, off the Israeli coast, there has been a surge of sightings of large groups (20->70 animals) in recent years. Strandings and sightings of *S. bredanensis*, including an unusual sighting of a large pod foraging inside Haifa Harbor, all occurring during February-April, suggest a seasonal presence. An uncertain identification raised the possibility of an introduction of a Red Sea species (*Sousa chinensis*) through the Suez Canal (Kerem

et al., 2001). A cetacean survey over the Israeli continental shelf was conducted during September 2005 to estimate the population abundance of cetaceans residing along the Israeli shoreline (www.ecoocean.com/en/scientists/research). They included the first sightings of off-shore *T. truncatus* (18.5 – 55.5 km from shore, at depths of 170 to >1200 m) and an apparent reencounter with a group of 25 *G. griseus* sighted in June 2005, suggesting a long-term residence of the species in the area. The low overall sighting rate (0.088 animals per nm) is in line with the extreme oligotrophy of the Levant.

Pressures and impacts

1. Contaminants

Trace metals

513. Draft analysis of representative trace metals in the sediment and biota in the eastern part of Aegean – Levantine by UNEP/MAP-MED POL (2009a) despite lack of data in some of the countries (notably Syria and Lebanon in general and from Greece and Cyprus in the case of sediments) revealed patterns of anthropogenic source of these trace metals originating from point and diffuse land-based sources providing useful information on the identification of hotspots in the area although not fully comprehensive.

514. The analysis of representative trace metals in the sediment in the eastern part of Aegean – Levantine by UNEP/MAP-MED POL (2009a) revealed values in sediments that in general, are in the lower range than those reported in previous assessments (derived from UNEP/MAP-MED POL I and II).

515. In Greece monitoring of metals in sediment based on Greek UNEP/MAP-MED POL (HCMR) data, revealed a pollution gradient across the Greek coastal areas indicating different pollution fingerprints in different areas (SoHeLME, 2005). However the moderate coverage in temporal terms does not allow for the determination of apparent trends (Kaberi, pers. comm.). In Greece monitoring of metals in sediment based on Greek UNEP/MAP-MED POL (HCMR) data, revealed a pollution gradient across the Greek coastal areas indicating different pollution fingerprints in different areas (SoHeLME, 2005). However the moderate coverage in temporal terms does not allow for the determination of apparent trends (Kaberi, pers. comm.). The temporal and spatial coverage of trace metals in Greek Seas are presented in figures 5.5 and 5.6.

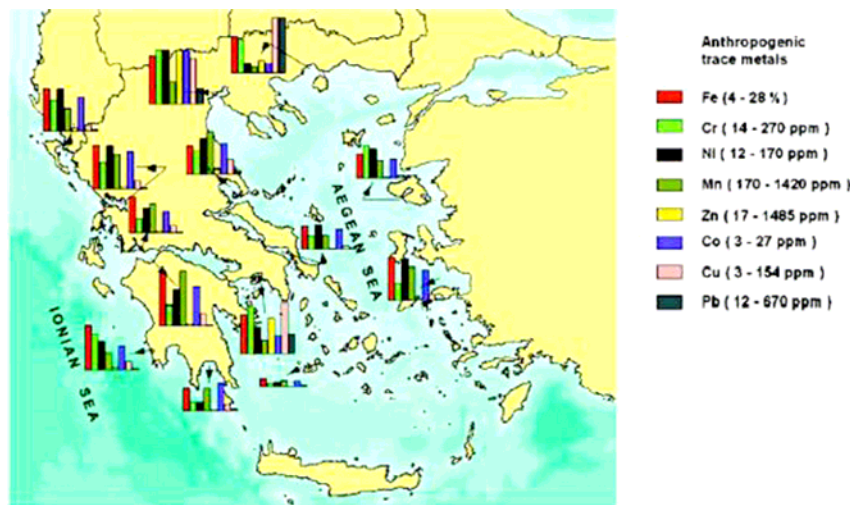


Figure 5.5: Heavy metals distribution as estimated from measurements of the anthropogenic component (mean values over the year). Source: Reprinted from SoHeLME, 2005

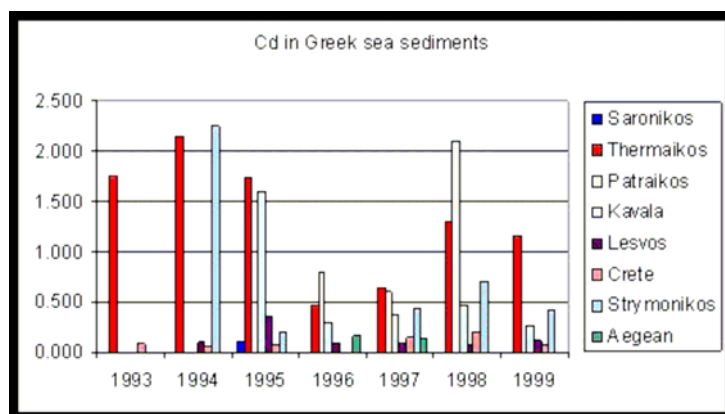


Figure 5.6: Trends of Heavy metals (Cd µg/g) in sea sediments across the Greek seas. (HCMR data base – UNEP/MAP-MED POL data, courtesy of Kaberi, E.)

Trace metals - biota

516. Trace metal analysis in biota is more comprehensive as it encompasses almost all countries in the area (except Lebanon and Syria) exhibited low values in general for the area in the case of *Mytilus galloprovincialis*. Analysis in *Mullus barbatus* appeared uniform metal bioaccumulation through the area but certain stations from Greece and Turkey exhibited the higher levels of Cd and Cu. In general the accumulation was found higher in mussels than in fish with reported values, excluding the hotspots, of the same order of magnitude than those obtained during the UNEP/MAP-MED POL I and II (MED POL, 2009a).

517. Organochlorines [PCBs (polychlorinated biphenyls), DDTs (dichloro-diphenyltrichloroethane), HCHs (hexachlorohexanes, of which γ -HCH Lindane is the most infamous representative) and HCB (hexachloro-benzene)] are highly toxic persistent and bioaccumulative compounds. The levels of selected persistent organic pollutants, namely polychlorinated biphenyls (PCBs), dichlorodiphenyltrichloroethane and its degradation products (DDTs) and hexachlorobenzene (HCB), in Mediterranean sediments (1971 to 2005) along with their main drivers and pressures has been by assessed by Gomez-Gutierrez et al (2007); gaps were also identified. This study only included Greece and Egypt from the Aegean-Levantine countries identifying a major gap in sediment analysis in the area. Large cities have been identified as critical sources of hazardous substances pollution, since most of the “hot spots” are located in their neighboring sediments (Alexandria and Port Said in Egypt and Athens and Thessaloniki in Greece). Also, high concentrations of hazardous substances are found in sediments located in river mouths and estuaries of major Mediterranean rivers (Nile) and lagoons (Lake Manzala, Egypt).

518. Maximum values for PCBs and DDTs throughout the Mediterranean were found in the Nile river mouth, ranging from 53 to 1500 ng g⁻¹ for PCBs (Aroclor) and from 29 to 826 ng g⁻¹ for DDTs (El-Dib and Badawy, 1985; Abd-Allah et al., 1992). In the Aegean Sea, high concentrations of the target compounds were found in the Saronikos Gulf, close to Piraeus and in the Thermaikos Gulf, near to Thessalonica (Greece). The highest values available for the area of Piraeus correspond to the 1970s probably reflecting the state of contamination when these products were still in production and usage in the region (Dexter and Pavlou, 1973). However, a recent study showed also high concentrations for both PCBs and DDTs (Hatzianestis and Botsou, 2005). Furthermore, based on the DDT/DDE ratio, authors indicate that recent disposal of DDT is probably occurring in the area. In addition to this, concentrations recently reported in the commercial harbour of Piraeus also showed elevated levels (up to 76 ng g⁻¹ of DDTs and 927 ng g⁻¹ of Aroclor) (Galanopoulou et al., 2005).

519. In the Southeastern part of the Mediterranean basin, sediments off the city of Alexandria showed high levels of pollution. The coast of Alexandria and especially the semi-enclosed bays (Abu-Quir and El-Max bays) are subject to the discharge of untreated agricultural and industrial wastes from major urban centers as well as to the diffuse agricultural runoff. In fact, two main disposal outfalls discharge industrial, agricultural and domestic wastes directly into the Mediterranean Sea through these two bays (Abd-Allah and Abbas, 1994). Based on recent data analysis, PCBs, DDTs and HCB are compounds of concern in the area (Barakat, 2004).



Figure 5.7. Identified 'hot spots' for the concentrations of PCBs, DDTs and HCB 4 in the Mediterranean sediments Source: Reprinted from Gomez-Gutierrez et al (2007)

Chlorinated pesticides in biota

520. Chlorinated pesticides have been extensively analyzed in Mediterranean biota since the inception of UNEP/MAP-MED POL (UNEP/MAP, 1990). However, it has been only since the last decade that they have been continually monitored, and data gathered in the UNEP/MAP-MED POL Database and in the case of Aegean-Levantine spatial analysis is limited to Cyprus (fish) and Turkey (mussels and fish) as shown in tables 13 and 14. In the latest assessment concentrations of aldrin, dieldrin, endrin, lindane and hexachlorobenzene in *Mytilus galloprovincialis* across the Mediterranean were in the low ng g⁻¹ range with the exception of some stations from Turkey where concentrations of DDTs were one order of magnitude higher (UNEP/MAP-MED POL 2009a).

PCBs in biota

521. Data on *Mullus barbatus* and *Mytilus galloprovincialis* in the latest UNEP/MAP-MED POL analysis is limited to Cyprus and Turkey (table 14 and 15). The values can be considered in the low range, taking into account the higher accumulation capacity of fish with respect to mussels (UNEP/MAP-MED POL, 2009a).

522. Organochlorine concentrations accumulated in biota destined for human consumption, (based on monitoring programmes -- mainly Greek UNEP/MAP-MED POL) exist, allowing determination of the levels of pollutants in filter feeding organisms (mussels) and commercial fish species (red mullets and bogue)) are regarded low and below the standard human health limits (SoHeIME, 2005). The spatial analysis of the organochlorine bioaccumulation in biota across the Greek coastal environment is presented in Figure 5.8.

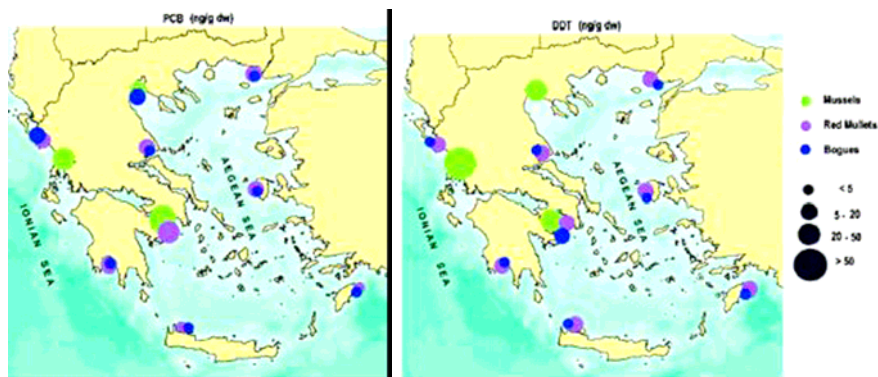


Figure 5.8. PCBs (left) and DDTs (right) concentrations in mussels and fishes (ng/g ww) in Greek seas.(Reprinted from SoHeIME)

523. The analysis provided evidence of a contamination gradient when mussels were used as an indicator. Two areas were identified as sources of heavy metals into biota: a PCB pollution area (Saronikos Gulf - industrial and urban effluents) and a DDT contaminated area (Amvrakikos Gulf – agricultural effluents). On the other hand spatial analysis of bioaccumulation in fish revealed a homogeneous pattern indicating no point sources of pollution (SoHeIME, 2005).

524. Temporal trends are also available (mainly as a result of the Greek UNEP/MAP-MED POL programme) providing useful trends. These trends in mussels indicate no reduction of pollutant levels despite the ban indicating continuous inputs into the coastal environment; similarly temporal trend in fish revealed no pattern of reduction (SoHeIME, 2005)

Hazardous substances in higher biota

a) Trace metals

525. Very little is known about heavy metal concentrations in tissues of cetaceans inhabiting the Eastern Mediterranean. A stranding of Risso's dolphin (*Grampus griseus*) on the Mediterranean coast of Israel revealed high concentrations of trace metals (Hg, Cd, Zn, Fe and Se) while Cu and Mn concentrations were naturally low (figure 39). No connection was found between the high concentrations of trace metals in the internal organs and the cause of death and it was assumed that the high concentrations were a result of the high trophic level of this species, its diet and its advanced age. Anthropogenic influence could not be assessed due to the sparse database of trace metals for this species, in particular knowledge of the natural levels (Shoham-Fridera et al 2002).

526. Examination of heavy metal content in 61 bottlenose dolphins and 8 striped dolphins stranded in Israel from 1993 - 2001, (the first large series ever reported with the scope of metals and tissues tested) allowed only qualitative comparisons with findings from other part in Mediterranean observations. It seemed that that mercury levels tend to be similar while cadmium levels (at least in muscle and liver) are lower in the western Mediterranean locations in the case of bottle nose dolphins while striped dolphin resemble the Tyrrhenian–Ligurian population in their mercury levels but could be distinct in having higher cadmium and zinc concentrations in muscle and skin (Roditi-Elasar et al 2003).

527. Concentrations of heavy metals (Hg, Cd and Pb) were determined in internal organs and nest contents of green turtles *Chelonia mydas* and loggerhead turtles *Caretta caretta* from northern Cyprus. Concentrations of mercury in liver tissue were higher in loggerhead turtles (median 2.41 µg g⁻¹ dry weight) than in green turtles (0.55 µg g⁻¹ dry weight). Data suggested cadmium concentrations to be highest in kidney tissue of loggerhead turtles (median 30.50 µg g⁻¹ dry weight) but in liver tissue of green turtles (median 5.89 µg g⁻¹ dry weight). Concentrations of lead in internal tissues were often below analytical detection limits in both species, but when measurable, tended to be higher in loggerhead turtle. These findings suggested that metal levels in both green and loggerhead turtles are not likely to be high enough to affect the health of these endangered species (the only exception to this might be relatively high lead concentrations in loggerhead turtle hatchlings, and perhaps also green turtle hatchling (Godley et al 1999).

528. These data from Cyprus are comparable with those encountered in specimens in other parts of the Mediterranean Sea e.g. Adriatic (Storelli et al 2009) and Murcia Spain (Jerez, 2010) confirming the homogeneity of the area comprising the southeastern basin of the Mediterranean Sea from an ecological point of view.

529. Concentrations of heavy metals have been measured in tissues of common bottlenose dolphins collected along the Israeli Mediterranean coast during 2004–2006. These concentrations were similar to those found in specimens collected during previous years in the region, suggesting stability over time in the HM levels of the basin's food-web ((Shoham-Fridera et al 2009).

Chlorinated hydrocarbons

530. Cetaceans and seals, top predators in the marine environment, have a reduced capacity to metabolize hydrophobic persistent chemicals compared to birds and land mammals. They accumulate high levels of these compounds up the food web and are most exposed to their toxic effects and therefore, they were suggested as potential bioindicators for organochlorine contamination of the marine environment. ΣDDT and PCBs concentrations in tissues of common bottlenose dolphins,

collected along the Israeli Mediterranean coast during 2004–2006, were highest in the blubber, with a wide concentration range.

531. Blubber PCBs values were an order of magnitude lower than in tissues of this and other delphinid species in the Western Mediterranean. A relatively high DDE/ Σ DDT percentage (85–96%) was discovered, which fit the general trend of increase in the last 20 years in the Mediterranean Sea, indicating the progressive degradation of the remnant DDT and the absence of new inputs. These findings were in accordance to the ones reported from Greece for *Stenella coeruleoalba* from Georgakopoulou-Gregoriadou *et al.* (1995).

532. Concentrations of individual chlorobiphenyls (CBs) and organochlorine pesticides (OCPs) in marine turtle tissues collected from the Mediterranean (Cyprus, Greece) and European Atlantic waters (Scotland) between 1994 and 1996 are described. Σ CB concentrations were highest in adipose tissue and ranged from 775 to 893, 39 to 261 and 47 to 178 mg/kg wet wt in loggerhead (*Caretta caretta*), green (*Chelonia mydas*) and leatherback (*Dermochelys coriacea*) turtles, respectively.

533. The measured concentrations of contaminants in marine turtles from Mediterranean were similar to those determined in the same species elsewhere in the Atlantic, and were considerably lower than the concentrations shown to cause deleterious effects in freshwater turtles (Mckenzie *et al.*, 1999). Blubber from Mediterranean monk seals (*Monachus monachus*) from the Western Sahara coast (Atlantic), sampled during 1996–1999, and from the Greek coast, sampled during 1995–1999, was analyzed for organochlorine pollutants (OCs).

534. Significant differences in concentrations and pollutant patterns were found between populations. Thus, Mediterranean individuals presented significantly higher levels of HCB (hexachlorobenzene), tPCB, and DDTs concentrations and DDE/tDDT and tDDT/tPCB ratios than their counterparts from the Atlantic. Moreover, the relative proportion of different congeners in relation to the total PCB load (congener/tPCB) was also different between the two areas indicating a predominance of industrial inputs over those associated with agriculture in Atlantic as opposed to Mediterranean seal population, where a proportionally higher contribution of pollutants of agricultural origin was suggested (Borrell *et al.* 2007).

535. Large cities have been identified as critical sources of hazardous substances pollution, since most of the “hot spots” are located in their neighboring sediments (Alexandria and Port Said in Egypt and Athens and Thessaloniki in Greece). Also, high concentrations of hazardous substances were found in sediments located in river mouths and estuaries of major Mediterranean rivers (Nile) and lagoons (lake Manzala, Egypt). Pollution from heavy metals appears to be somewhat decreasing, as their content in sea water remains low and even the situation seems to be improving.

536. Similarly concentrations of chemicals (DDT, PCBs) are also decreasing, but in some cases concentrations still remain relatively elevated. Hazardous substances trend revealed decreases more evident in the case of DDTs probably due to a more efficient regulation of this chemical. PAHs are studied to a limited extend both spatially and temporally; and the same can be concluded for anthropogenic radionuclide concentrations. However, these limited studies on the latter revealed a ^{137}Cs concentrations decreasing from the surface to bottom in Greek waters and from east to west as well as through time reaching levels similar to those of the pre-Chernobyl period highlighting the effect of Black Sea water in the radioactivity of the area.

537. Investigation of a small number of studies of the bioaccumulation of hazardous substances on the high trophic level (cetaceans, and turtles) suggested that levels were similar to those in other parts of the Mediterranean and not high enough to have likely affected the health of these endangered species. In contrast seals presented significantly higher levels of organochlorines than their counterparts from the Atlantic indicating a predominance of pollutants of agricultural origin in eastern Mediterranean. Although most big cities in the eastern Mediterranean operate wastewater treatment plants for a part of their population, there is still an important part of the population of this area, which is not connected to a wastewater treatment facility (UNEP/MAP-BP/RAC 2009).

2. Dumping

538. Relatively little is known about the disturbance caused by the disposal of industrial solid wastes or dredging dumping on marine benthic communities. Studies in Greek waters demonstrated effects of tailings comparable to those of organic pollution. Dumping of coarse metalliferous wastes, at

about 75m depth had mostly indirect effects on the benthic fauna, through changing the particle size composition of the sediment and increasing the instability of the environment (Nicolaidou et al 1989). Continuous monitoring of the area and long assessment over a period of over 10 years verified this classical model of variation of community parameters along a gradient of increasing stress as for organic pollution; the observed spatial and temporal variations of the macrozoobenthic communities under the pressure of solid waste discharge were mostly attributed to the physical effects of the discharge such as turbidity and the mechanical effects of sedimented and resuspended tailings. Direct effects on the community structure, as comparison with reference site showed, include decline in species diversity and species richness (Simboura et al, 2007).

539. Pollution in eastern Mediterranean (Aegean and Levantine) has been manifested mainly through the impacts of hazardous substances and eutrophication. Marine pollution from cities, the industry and tourist resorts, is large but localized. The presence of macro-waste on beaches and in the high seas has a considerable impact (UNEP/MAP-BP/RAC 2009), but has not been quantified.

3. Nutrient enrichment and eutrophication

540. As described before, the main spatial features of chlorophyll-a and nutrient analysis, include the general gradient in algal biomass from north to south and from west to east of the Eastern Basin, the “ultra-oligotrophic cores” of the south Levantine Basin (corresponding to the Mersa-Matruh and Shikmona Gyres, the Nile plume, the north-south gradient in algal biomass in the Aegean Sea, attributed to the combined effects of river inputs, northerly winter and signal from the nutrient rich Black Sea waters.

541. Hot spots of nutrients and organic matter releases has been identified by UNEP/MAP at the NW Aegean (Thermaikos Gulf - rivers and the sewage from the city of Thessaloniki), at rivers' mouths in the North Aegean, at the coastal area of Izmir in NE Aegean (Izmir bay), at Lebanon and Israel coast in the SE Mediterranean and in the coastal zone in front of Alexandria area and in the Nile delta system (UNEP/MAP-BP/RAC, 2009) (Figure 32).

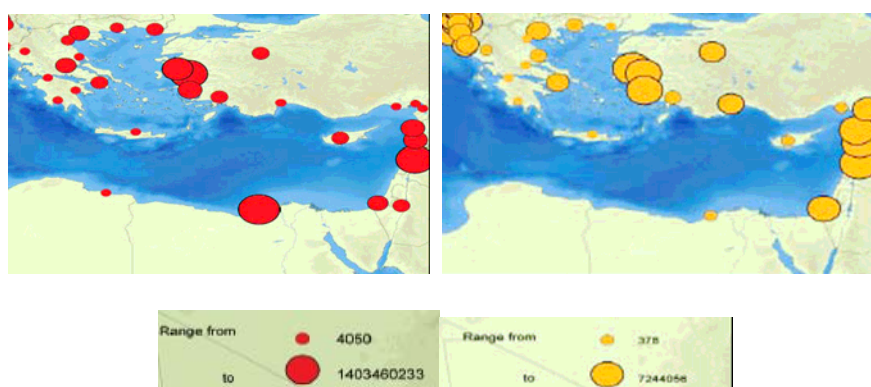


Figure 5.9. Industrial Total Nitrogen (left) and BOD (right) releases from point sources. Source: UNEP/MAP-MED POL NBB, reprinted from UNEP/MAP-BP/RAC, 2009

542. The Aegean-Levanine Seas experience a decreasing trend in riverine fluxes. A decreasing trend has been established for the Aegean (AEG) and the Southern Levantine (SLE) whereas no trend could be detected for the North Levantine Sea (NLS). Trend and model analyses on hydroclimatic parameters revealed also a precipitation decrease with reductions in the Aegean Sea (-13%), and the South-Levantine Sea (-10%) following the general Mediterranean precipitation trend and increases of the dry spell length. On the other hand the drainage basins of the Aegean and North-Levantine seas have experienced a decrease in temperature in contrast to the strongly increasing temperatures of the entire basin.

543. The Eastern Mediterranean Sea is an extreme oligotrophic environment with Phosphorus limited primary productivity. All the sub-regions in this basin are characterized by low chl-a concentrations all around the year, the lowest concentrations being observed in the Levantine Basin (with the exception of waters at the boundary of the Nile plume). No temporal trends could be detected. A marked seasonal cycle is observed in the various regions, with a decrease of the algal biomass from

winter to summer along with large inter-annual variations. Seasonal and interannual variations are also present in primary production. Spatial chlorophyll variations in surface waters, in general revealed that the highest levels correspond to the areas close to river deltas or those off large urban agglomerations. The main spatial features, detected include a general gradient in algal biomass from north to south and from west to east of the Eastern Basin, the “ultra-oligotrophic cores” of the south Levantine Basin (corresponding to the Mersa-Matruh and Shikmona Gyres, the Nile plume, the north-south gradient in algal biomass in the Aegean Sea, attributed to the combined effects of river inputs, northerly winter and signal from the nutrient rich Black Sea waters.

544. River fluxes have resulted in increasing trends of nutrient fluxes in to the marine environment enhanced via anthropogenic activities in the drainage basins (despite the decrease of riverine flow) of nutrients into the sea for both N and P. However there is a marked difference: nitrogen has been on a steady increase, whereas Phosphorus has recently started a decreasing trend.

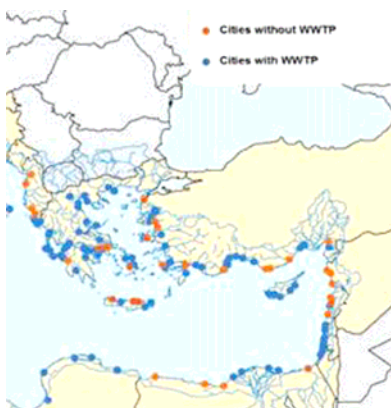


Figure 5.10: Localisation of waste water treatment plants on the coast of Aegean –Levantine (Source: UNEP/MAP-BP/RAC, 2009)

545. Stamou and Kamizoulis (2009), using UNEP/MAP-WHO, 1999 and UNEP/MAP, 2000 and 2004 data, estimated the BOD₅, TN and TP loads for the present conditions discharged to the 18 typical Surface Coastal Currents (SCCs) of the Mediterranean. The Levantine, Asia Minor, and Aegean appear to be enriched in BOD₅, Total N and total P in the sub-region, though less than the Adriatic subregion (see Figure 5.11).

SCC	Area-Sea	BOD ₅ maximum	BOD ₅ average	TN maximum	TN average	TP maximum	TP average
1N	1-Alboran	6	4	7	5	3	2
1S	1-Alboran	10	4	9	2	4	1
2	2-Balearic	99	37	157	86	24	14
3	3-Algerian	43	17	24	10	10	4
4	4-Tyrrhenian	51	14	38	15	11	5
5W	5-Adriatic	630	106	235	93	26	11
5E	5-Adriatic	53	22	31	21	37	22
6W	6-Ionian	19	6	14	4	6	2
6E	6-Ionian	12	4	12	7	2	1
7N	7-Libyan	6	4	3	2	1	1
7W	7-Libyan	17	6	27	17	11	7
7S	7-Libyan	15	3	22	8	9	3
8	8-Levantine	142	25	75	35	30	14
9	9-Asia Minor	183	50	67	34	12	8
9C	9-Asia Minor	2	1	1	0	0	0
10W	10-Aegean	65	15	108	49	42	14
10E	10-Aegean	38	8	37	15	12	5
10S	10-Aegean	5	3	7	4	3	2

Figure 5.11 Calculated average and maximum concentration values (mg/l) in the 18 Surface Coastal Currents (SCCs) for the existing conditions (Reprinted from Stamou and Kamizoulis, 2009)

546. Cyprus is the only country where all wastewater produced is treated and is reused, thus there is no disposal of sewage into the sea for cities >10000 inhabitants (permanent population 330,300). For the 106,958 inhabitants (populating twenty-four coastal cities with population between 2,000 and 10,000), eight cities are served by a main sewage treatment plant or individual treatment systems (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004 and 2008).

547. Of the 5,161,000 inhabitants (in cities > 10000 inhabitants) in 2003, 50% were served by wastewater treatment plant. However, Alexandria seems to produce large quantities of primary treated wastewater (74% of the population is served by wastewater treatment plant) and the remaining cities are subjected to secondary treatment). There was no direct discharge of treated sewage into the sea. Regarding the untreated sewage there was no adequate information on either quantities or way of discharge (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004). In the 12 coastal cities (population between 2,000 and 10,000) with a resident population of 65,458 inhabitants, only two operated wastewater treatment plants. Treated wastewater discharge was led into the sea by canals. Regarding the untreated sewage is disposed in the soil, possibly in desert (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2008).

548. According to the 2003 information, 7.2 million people inhabited 63 areas each with population greater than 10,000 that are located close to the coastline. More than 60% of the population is located to the greatest Athens area (capital of Greece) and Thessaloniki. Only 10% of the wastewater produced is untreated and the treated wastewater in most cases this is disposed after secondary treatment through submarine outfalls or in some cases through rivers or streams to the sea (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004). According to UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2008, 764,580 people resided in hundred and seventy eight areas with population between 2,000 and 10,000 inhabitants that are located close to the coastline and approximately 31% of the total number of the cities were served by a WWTP, 42% did not have treatment facilities while a significant percentage of 23% will be served by a treatment system (plants under construction/projected). Treated wastewater, 61,322 m³/ day, was discharged mainly to the aquatic environment (through a submarine outfall - 36% of the cases - or directly into the sea - 55% of the cases). Untreated sewage was reported not to be directly discharged to the marine environment since in all cases raw sewage from households is collected to septic tanks.

549. In Israel, all 3,640,000 inhabitants in the nine cities with population more than 10000 were served by respective wastewater treatment plants, (seven operate secondary treatment and two operate primary treatment (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004). All the 8 coastal cities (population between 2000-10000) with a resident population of 44,982 inhabitants were served by respective wastewater treatment plants, which in all of the cases provided secondary treatment, while only one coastal city out of eight was served at about 50% by a plant and uses septic tanks for the rest 50% (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2008). In both categories there was no discharge of untreated wastewater while treated wastewater was mainly reused.

550. Available information for Lebanon refers to only cities (locations) which gather a population over 10,000 residents. Wastewater facilities served 32% of the population of 2,256,000 persons in large coastal cities (only one of the seven cities, Beirut, was served by a primary wastewater treatment plant), while sewage system network serves the remaining 68%. The total wastewater produced was in the order of 300,000 m³/d 70% of which was untreated and discharged raw in the marine environment (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004). In the 2008 report data involved thirteen coastal localities with a total population of 5,675,000 inhabitants, in three of which the population was served by a treatment plant. The degree of wastewater treatment was primary for 15% of the total number of cases and secondary for the rest 85% (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2008).

551. All the population in the seven Syrian coastal cities larger than 1000 inhabitants (607,635 people) was served by network and probably by individual autonomous wastewater services such as septic tanks or other similar devices. The total amount of untreated wastewater discharged mainly to the sea through small submarine outfalls, was to the order of 60,000 m³/d (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2004). Fifty-three smaller coastal cities with a total resident population of 205,776 inhabitants exist and none was served by WWTPs. The total amount of untreated wastewater discharge reached the 30,656 m³/ day totally into the marine environment (UNEP/MAP-MED POL/WHO, 2008).

552. In Turkey, a total of 41 large coastal cities were reported and 62% of the population was having wastewater treatment facilities (19 wastewater treatment plants serve about 3 million inhabitants). The reported quantity of treated wastewater (about 721,000 m³/day) was directly

discharged to the marine environment since in all cases raw sewage from households is collected to septic tanks.

553. Regarding nutrient and organic matter enrichment, subregional hot spots can be identified. Eutrophication from nutritional substances has been increasing for 20 years; however it is limited to local areas. In Greece, the NW Aegean with Thermaikos Gulf (rivers and the sewage from the city of Thessaloniki), as well as rivers' mouths in the North Aegean, and Saronikos bay off the city of Athens, consist the most seriously eutrophied areas. In Turkey the Sea of Marmara and Bosphorus Straits are presenting serious eutrophication phenomena, and some coastal areas in NE Aegean (Izmir bay).

554. In the SE Mediterranean a few cases of eutrophication are recorded in Lebanon port areas, Israel, coasts. Finally in Egypt, ports in Alexandria area and in the Nile delta system are frequently encountering eutrophication phenomena.

4. Fishing impacts

555. Most information on the activity of the fishing fleets in the Mediterranean comes from the working group STECF and the GFCM Demersal Working Group, of the Subcommittee on Stock Assessment, and ICCAT for large pelagics, which relates the activity of the fleets from member countries. Therefore, there is a lack of reported information of fishing activity of EU non-member countries (e.g. North Africa) in STECF, although GFCM cooperation projects (Medfisis, COPEMED II, ADRIAMED and EASTMED) are attempting to rectify this.

556. Demersal fisheries operating in eastern Mediterranean high seas can be summarized as: bottom trawling, bottom long line, and gillnet. Deep-sea fisheries currently operate on continental shelves and some slopes, down to depths of less than 800m. Bottom trawling is a highly damaging practice that was banned in 2005 to Mediterranean bottoms deeper than 1000m, aiming to protect the vulnerable deep sea fauna. Several abyssal plains, that harbor poorly known and vulnerable deep sea fauna, are located throughout the Mediterranean, with the deepest grounds found in the Central basin (e.g. Calypso depth in the Ionian Sea, SW of Greece).

557. Other geological features which may be vulnerable to fishing, as they are hotspots of diversity and are habitat of vulnerable fauna like cold corals, include features like the massive Eratosthenes seamount in the East basin (south of Cyprus) and the cold seeps, brine pools and hydrothermal vents located in the East Mediterranean basin (south of Crete and Turkey, and near Egypt).

558. The following sites are considered critical areas in the subregion, especially with regards to fishing impacts in Mediterranean open seas, including demersal and pelagic ecosystems:

- Thracian sea. Demersal ecosystem at Strymonikos gulf and Samotraki plateau as important spawning grounds for hake where bottom fishing activities, mainly trawling should be restricted.
- Eratosthenes Seamount. Important SH vulnerable to bottom fishing activities. Already adopted as FRA (Fishery Restricted Area) by GFCM.
- Nile Hydrocarbon cold seeps. SH being a unique environment in the Eastern Mediterranean basin that needs to be protected from damaging bottom fishing activities. Already adopted as FRA (Fishery Restricted Area) by GFCM.

5. Biological Disturbance

559. Biological transformations have also taken place in the eastern Mediterranean subregion. Invasive species, largely originating from the Red Sea and Arabian Seas, have caused large transformations in the biotic communities of the subregion.

560. All national reports describe a dramatically changed situation in the composition of the local biota, when known, in respect to some decade ago. The changes are invariably linked to the prevalence of alien species that are more or less rapidly replacing native ones. The spread goes in both directions, starting from the Suez Canal and proceeding both northwards (Israel, Lebanon, Syria, Turkey, Greece) and westwards (in this case Egypt, but the phenomenon is going on also in Tunisia and Algeria, whereas little is known about Libya). Some of these species are a nuisance and even a

danger for humans (see the problem of jellyfish below), but others are a resource for local populations that are very happy to harvest them, and some are even cultured after their establishment. A parallel phenomenon, denounced at least by some reports, is the regression of the native species.

561. The arrival of species from the Red Sea has been considered in different fashions by the scientific community and even by different countries. Some authors consider the arrival of “aliens” as a terrible event, whereas some other authors salute the new contingent as an enrichment of Mediterranean biodiversity. The Egyptian report, for instance, speaks to the beneficial effects of the arrival of Non Indigenous Species (NIS), with the proposal of compiling a list of the 100 most beneficial aliens, to oppose to the available list of the 100 worst aliens (Streftaris and Zenetos, 2006). NIS, furthermore, arrived and still arrive to the Mediterranean also by other means, and not only through the Suez Canal (CIESM, 2002). Most authors (e.g. Galil 2000) consider the spread and settlement of alien species as a menace to the integrity of biodiversity and, in many reports, alien species are seen as one of the worst threats to the environment, if not the worst.

562. Tropicalization, i.e. the establishment of tropical species that were previously absent from the basin, is evident in the subregion. Some species start their colonization in the easternmost part of the Mediterranean, i.e. the warmest one and, also, the one in direct contact with the Suez Canal, the main conveyor of tropical species to the Mediterranean Sea. Meridionalization and tropicalization occur because the climate is warming and this response is an adaptation of the Mediterranean biota, both with its internal resources (Meridionalization) and with the acquisition of other contingents (Tropicalization). On the other hand, the cold water species are regressing (Boero and Bonsdorff, 2007; CIESM 2008b) so leaving an ecological vacuum that is being filled by the new tropical contingent. In a way, it is to be expected that, if climate becomes warmer, species of warm water affinity tend to become dominant, whereas those of cold water affinity tend to regress.

563. Other transformations are taking place as well. Previous observations made on platform habitats of the Mediterranean coast of Israel, for instance, have demonstrated that changes in the receiving habitat (e.g. the reduction of the external rim of the vermetid *D. petraeum* platforms) may have increased the fitness of *B. pharaonis*, causing a dramatic reduction in the indigenous mussel *Mytilaster minimus* (Rilov *et al.*, 2004). Moreover, the displacement of this native mussel by the larger Eritrean alien appears to have changed predation patterns so that the native whelk *Stramonita haemastoma* preferentially preys on *Brachidontes* (Rilov *et al.*, 2002). Since then *B. pharaonis* has dramatically changed the community structures on many platforms along the Israeli Mediterranean coast. Considering its current rate of spread and growth, it may soon reach massive populations and likely also have a significant impact on Italian vermetid platforms (Badalmenti *et al.*, 2008).

6. Physical Disturbance, Coastal Development, and Litter

564. Human intervention in this subregion, coupled with sea level rise, is greatly altering coastal habitats. The traditional reaction to sea level rise is to build coastal defences, often to protect settlements that have been placed very near to the coast line. Coastal development, often leads to cases where coastal lagoons are radically altered or even destroyed for the management of mosquito presence, once linked with malaria. The development of tourism is heavily affecting the coastline, with increasing settlements right on the shore, and road constructions running parallel to the sea. Furthermore, sandy habitats are often intensively exploited to mine the sand, for the construction of buildings. This combines with other impacts: for instance, the construction of dams which results in fewer sediments reaching the sea.

565. Coastal development also lowers water quality. During the period 1996-2005, there has been a near stagnation at a high level in the percentage of bathing waters conforming to national standards (from 92.3% to 92.8%), with fluctuations during the period. A slight improvement is seen between 2004 and 2005. It should be noted that data only refers to waters that are officially monitored and there may be a number of bathing areas which are used for recreation that are not monitored.(UNEP/MAP-BP/RAC, 2009). The report concluded that although there is no real trend evident during the sampling period it can be seen that, 50% of the countries submitting data for 2005 achieved over 90% compliance with national standards for bathing water quality, and that Cyprus, Greece, and Turkey all achieved 100% compliance with their national standards by 2005. All Eastern Mediterranean countries have legislation and microbiological quality criteria and standards for bathing waters. EU countries are bound by the relevant EU Directives, while the Mediterranean non-EU countries by their common Guidelines.

566. The country reports provide some more details about specific situations, but, overall, the general picture denotes high human pressures on the coast and the marine environment, ensuing environmental degradation that is perceived in a qualitative way, and that should be quantified in a more stringent way.

567. Marine litter remains a key aspect of transboundary issues in the subregion, which has densely populated and highly industrialized areas, along with intense coastal and shipping activities. A recent bibliographical study conducted by UNEP/MAP-MED POL on the phenomenon in the Mediterranean concluded that, between 2002 and 2006, the situation had hardly changed.

568. The studies of marine debris in the Mediterranean so far have focused on beaches, floating debris and the seabed of the continental shelf or the deep sea. In most of the studies that investigated marine debris on the seabed, debris was collected by trawls (Katsanevakis and Katsarou 2004). Similarly in the eastern Mediterranean studies have been performed by means of trawling and only one has focused on the distribution of underwater marine debris in coastal areas (shallow (<25 m) by diving.

569. Most studies of benthic litter describe its composition and origin (i.e. plastic, metal, fishing gear), calculate its concentrations for each type, estimate its density on the seabed, and identify their sources (broadly categorized into land and marine origin (vessel and fishing based). Table 22 presents the main findings of the studies conducted in the eastern Mediterranean with emphasis in Greek waters.

570. The conclusion drawn by UNEP/MAP (2005) on the incomparability of the studies becomes evident however general remarks can be drawn Katsanevakis and Katsarou (2004) concluded that in shallow coastal Greek areas marine debris density is much greater than debris concentration estimated by other studies in the Mediterranean continental shelves or on the deep seafloor, with the exception of some accumulation zones in the open sea (described in detail in Galgani *et al.*, 2000). Furthermore greater abundance of marine debris was found in bays than in open areas. Results from Koutsodendris *et al* 2008 support the argument and suggested that a large volume of the litter that enters the marine system is concentrated to shallow coastal areas and only a small percentage reaches deeper waters.

571. Comparing the findings from the deeper parts, Stefatos *et al* (1999) concluded that the debris concentration on the seafloor of the western Greek gulfs is comparable with the debris concentration found on the seafloor in the eastern Mediterranean (as described by Galil *et al* 1995); the comparison of the Greek gulfs to the sites in western Mediterranean by Koutsodendris *et al* (2008) revealed that three of them show moderate litter pollution (<150 Item/km²), which is comparable to most sites around the world, whereas Patras Gulf shows significant litter pollution (150-500 Item/km²), which is comparable to the Adriatic Sea, East Corsica, Bay of Biscay, and Gulf of Lions (as described by Galgani *et al.*, 2000) Sea attributed to the proximity of study sites with metropolitan areas.

572. Plastics dominated the composition of seafloor debris in all case with the exception of the eastern Mediterranean transect (table 24). The percentage of plastic items from the Greek sites is close to the 60± 80% of plastic components reported to constitute the litter on beaches of 13 Mediterranean beaches (in Spain, Italy, Turkey, Cyprus and Israel) (Gabrielides *et al.*, 1991) with almost all worldwide other studies. Both Koutsodendris *et al* (2008) and Stefatos *et al* (1999) remarked that land-based debris provided the majority of the total litter items followed by vessel-based and fishery-based sources (69%, 26% and 5% respectively in the four gulfs investigated by Koutsodendris *et al* (2008) despite the fact that some of the site were fishing areas. These findings are in accordance with the Gabrielides *et al.* (1991) report of low percentage (2.8%) of fishing gear on the Mediterranean beaches. UNEP/MAP-BP/RAC (2009) has quantified the origin of marine litter in the Mediterranean attributing it to coastal urban centers (generated by direct disposal of domestic waste, tourism infrastructure waste, flows from landfills and rivers).

VI. Traits et problèmes communs, priorités

A. Traits et problèmes communs aux conditions écosystémiques, menaces et forces motrices

573. La Méditerranée demeure un système riche et précieux, mais toujours menacé. Des menaces toujours plus prégnantes causées par les activités humaines : en premier lieu le développement et l'urbanisation du littoral causant une perte d'habitats écologiquement essentiels; la pollution, en particulier les substances dangereuses telles que les métaux lourds, les hydrocarbures halogénés et de pétrole, les agents antialgues et les radionucléides; l'excès de fertilisation dû au ruissellement et aux apports fluviaux d'azote et de phosphore, avec pour corollaire les phénomènes d'eutrophisation et les effets de l'hypoxie; la surpêche et la perturbations des habitats liées à la pêche ; les perturbations biologiques provoquées par les espèces invasives, les efflorescences algales nocives et les nouvelles formes d'agents pathogènes microbiens; et l'immersion des déblais de dragage et autres déchets, ainsi que les rejets de détrit, tous ces phénomènes continuent à prélever leur tribut sur la vie marine de la région. Certains des habitats les plus divers et les plus essentiels au plan écologique (et certains aussi des plus précieux quant aux services écosystémiques rendus) sont les plus atteints par ces effets : par exemple, les herbiers marins subissent une dégradation et une disparition incessantes dans toutes les sous-régions, et l'état des lagunes côtières continue à décliner.

574. La plus grand problème commun peut-être à l'ensemble de la région et à la fois un défi auquel elle est confrontée, est le manque d'informations sur les effets tant cumulatifs que synergiques. Comme une approche écosystémique est par nature intégrative, il est impératif de privilégier davantage l'étude des effets cumulatifs et combinatoires. Des informations absolument nécessaires concernent, par exemple, les interactions des effets de la pollution et du changement climatique ou les interactions des modifications liées à la pêche dans le réseau trophique quant à la diversité et à la prestation de services écosystémiques. L'on sait mal également dans quelle mesure les activités menées à terre: dérivation d'eaux douces, bétonisation et étalement des villes, destruction d'habitats – ont des impacts mesurables sur l'écologie marine et, si c'est le cas, comment y faire face au moyen d'un certain cadre d'approche écosystémique.

575. L'essai ayant consisté à normaliser l'évaluation dans chacune des quatre sous-régions a permis d'aboutir à un certain nombre d'autres conclusions importantes:

- menaces communes, tendances similaires dans toutes les sous-régions
- priorités différentes concernant les menaces/pressions essentielles dans chaque sous-région
- Habitats/systèmes de haute valeur quant aux services écologiques et écosystémiques rendus
- Apparition de nouveaux développements dans la qualité et les problèmes d'environnement depuis le rapport PAM/PNUE – AEE de 2006
- Identification des incompatibilités et insuffisances des données
- Compléter et améliorer les informations qui existent déjà en Méditerranée sur la qualité environnementale et l'écologie de la région
- Mettre l'accent sur la nécessité de cartographier les informations et d'utiliser l'outil du SIG

576. Chacune de ces questions est résumée séparément ci-dessous; les sections qui suivent sont consacrées aux implications de ces conclusions pour mener à bien les étapes restantes du processus d'approche écosystémique et saisir les occasions de conduire la région méditerranéenne vers cette approche.

Menaces communes, tendances similaires

577. Les pressions et impacts qui sont communs à l'ensemble des quatre sous-régions comprennent:

- disparitions d'habitats et effets indirects (par ex. charges polluantes) causées par l'**urbanisation**;
- **surpêche**, et en particulier les effets que celle-ci exerce sur la structure des communautés, les processus écologiques et la fourniture de services écosystémiques;
- **la pêche destructive**, y compris le chalutage des fonds et des méthodes de pêche menant à d'importantes prises accessoires;
- **la contamination** de sédiments et de biotes causée par la pollution, en premier lieu du fait de l'urbanisation et de l'industrie, mais aussi des agents antisalissures et des apports atmosphériques de composés dangereux;
- **le surenrichissement en éléments nutritifs**, aboutissant parfois mais pas toujours à l'eutrophisation et l'hypoxie, et plus généralement à des déséquilibres écologiques (qualité réduite de l'eau et développement des algues, mucilages, etc.);
- perturbations et **pollution occasionnées** par le trafic maritime, l'exploration offshore et la récupération d'énergie (pollution opérationnelle et accidentelle en cas de catastrophe maritime);
- **propagation d'espèces invasives** et d'agents pathogènes microbiens, dans de nombreux cas favorisée par les changements climatiques;
- perte ou **dégradation des zones de transition ou estuariennes**, qui servent de nourriceries absolument essentielles pour la pêche commerciale et favorisent aussi des assemblages d'espèces exceptionnels.

578. Les dommages liés au dessalement et à la mariculture sont une question émergente qui appellera une surveillance continue. Le manque d'informations sur certaines pressions et/ou leurs impacts écologiques, et une gestion à courte vue et sectorielle, qui ont été la norme pendant de nombreuses années, sont des forces à l'œuvre derrière une grande partie des dégradations.

Priorités différentes dans les questions/pressions majeures

579. Une approche commune de l'évaluation a aussi permis de mettre en évidence comment des menaces ou pressions différentes présentent des degrés divers d'importance dans chaque région. Ces différences tiennent à des caractéristiques inhérentes à chaque sous-région, notamment des caractéristiques physiques qui influent sur la vulnérabilité, ainsi que des degrés variables de pression dans différentes sous-régions. Ainsi la séquence pression-état-réponse varie totalement.

580. Un examen détaillé des grandes problématiques de chaque sous-région est fait dans les chapitres de l'évaluation, mais peut être résumé comme suit. Pour la sous-région Méditerranée occidentale : urbanisation, laquelle s'accompagne de la perte d'habitats et accroissement de la pollution; les perturbations et la pollution liées à la navigation et aux ports (dont les impacts directs sur les espèces ainsi que les nuisances sonores et la pollution chimique); et perturbations des habitats liées à la pêche et à la surpêche apparaissent désormais comme les premières menaces à l'encontre des écosystèmes marins. De même, dans la sous-région Mer Ionienne-Méditerranée centrale, les conflits dus à la surpêche et à la pêche, et les activités maritimes (trafic marchand, etc.) font peser les plus grandes menaces.

581. Dans la sous-région Adriatique, les concentrations élevées d'éléments nutritifs (d'origine tant naturelle qu'anthropique) ont entraîné des phénomènes brutaux d'eutrophisation et d'efflorescences algales nocives. Les polluants présents dans les sédiments et les biotes suscitent aussi des préoccupations dans certaines zones circonscrites. En Méditerranée orientale, l'urbanisation, avec les modifications dont elle s'accompagne dans les régimes hydrologiques et avec la perte d'habitats, ainsi que la pollution (notamment les eaux usées ménagères non traitées) posent problème dans des parties de la sous-région, alors que la surpêche est une menace majeure dans l'ensemble de la zone.

582. Il convient toutefois de noter que cet examen par trop simpliste des menaces clés occulte certaines variations *au sein* des sous-régions. Par exemple, les réaménagements côtiers liés à la surpêche et au tourisme paraissent être les principales menaces atteignant la partie nord de la sous-région Méditerranée orientale, alors que dans les parties sud et est la pollution causée par l'urbanisation et les déversements des fleuves continuent à exercer les pressions principales.

583. Ces différences soulèvent la question de savoir si la division de l'évaluation en quatre sous-régions facilite le processus ainsi mené en faveur de l'approche écosystémique.

Habitats de haute valeur

584. L'évaluation a permis de recenser ou de confirmer le recensement antérieur d'habitats clés ou cruciaux appuyant les écosystèmes méditerranéens. Ces habitats comprennent les herbiers marins (à savoir, sans s'y limiter, les herbiers à posidonies), les communautés coralligènes; les lagunes côtières et les communautés des fonds meubles du littoral; les montagnes sous-marines et les caractéristiques benthiques uniques; les systèmes frontaux et d'autres traits du milieu pélagique (colonne d'eau).

585. L'exercice d'estimation de la valeur économique du PAM/PNUE-CAR/PB a permis de recueillir des données importantes afin d'étayer le processus d'approche écosystémique, en étudiant dans quelle mesure cinq habitats marins et côtiers contribuent à rendre des services écosystémiques économiquement précieux. Une cartographie de ces zones à valeur élevée de la région est réalisable et elle est recommandée.

Nouveaux développements et questions émergentes

586. Depuis le rapport PAMPNUE-AEE de 2006 "Problèmes prioritaires en Méditerranée", certaines modifications manifestes de la situation sont intervenues. L'on discerne des améliorations de la qualité de l'eau en de nombreux sites, grâce aux efforts stratégiques visant à réduire les charges polluantes. Les quantités de substances dangereuses telles que le DDT et les métaux lourds sont en diminution dans la plupart des régions.

587. Mais il apparaît de nouvelles questions qui méritent attention. Le dessalement et ses effets, notamment du fait des rejets de saumure, devraient faire l'objet d'études plus poussées. Le recours croissant à l'espace littoral et marin pour l'aquaculture, et notamment, l'ampleur prise par les opérations d'élevage de thon rouge, entraînent une pollution accrue, des phénomènes d'eutrophisation, l'introduction d'espèces invasives et d'agents pathogènes, et l'aggravation des conflits en raison d'un accès réduit et d'un espace moins disponibles pour d'autres utilisations.

588. Il conviendrait de surveiller si les utilisations croissantes et multiples de l'espace marin font que toutes les menaces qui sont à l'œuvre de manière synergique occasionnent des impacts toujours plus graves que si elles agissaient séparément. Par exemple, il faudrait savoir comment les effets combinés du surenrichissement en éléments nutritifs, de la surpêche de certains groupes fonctionnels comme les poissons brouteurs et du changement climatique, peuvent agir de concert pour provoquer des déséquilibres dans les écosystèmes littoraux, et une perte de services écosystémiques.

Lacunes dans les données et les connaissances

589. Par dessus tout, la richesse de la biodiversité marine de la mer Méditerranée reste relativement peu connue en dépit des efforts de plus en plus considérables déployés par la communauté scientifique internationale pour l'appréhender. La connaissance de la biodiversité marine et côtière n'est pas homogène dans l'ensemble de la Méditerranée et elle présente de nombreuses lacunes. Même les informations concernant les espèces et habitats du Protocole pertinent du PAMPNUE qui sont d'intérêt pour la conservation en Méditerranée sont parfois restreintes. Des priorités régionales pour remédier à ces lacunes de données sont proposées à l'annexe I.

590. Cette liste exhaustive de l'annexe I des informations requises sur la biodiversité pourrait autoriser à penser qu'une approche écosystémique de la gestion n'est pas possible à ce stade du processus. Or, ce n'est pas le cas: une gestion améliorée est possible en s'orientant au moyen des informations disponibles, et la gestion peut être conçue pour qu'elle permette de tirer les informations nécessaires et d'améliorer la compréhension (c'est l'essence même de la gestion adaptative). En outre, une recherche ciblée en phases qui vise à combler les lacunes de connaissances les plus pressantes pourrait rapidement étoffer le corpus de connaissances sur l'écologie méditerranéenne.

Inventaire des informations

591. Dans l'ensemble, la surveillance de la pollution se pratique sur une base systématique dans toute la région et elle continuera à recueillir de bonnes informations sur la qualité environnementale. Mais il est d'autres impacts qui ne font pas l'objet d'une surveillance systématique, ou qui ne peuvent être évalués d'une manière cohérente au plan régional. Par exemple, le système actuel de

surveillance des pêches en Méditerranée dans le cadre de la CGPM utilise de nombreux domaines de rapportage, lesquels ne correspondent ni aux sous-régions du processus de l'approche écosystémique ni aux frontières nationales.

592. Il existe aussi une différence entre données et informations (et connaissances) qui mérite d'être mentionnée. La surveillance, dorénavant, pourrait accroître l'ampleur de la collecte et de la gestion des données et servir ainsi utilement à évaluer l'état de la Méditerranée dans le futur et guider la gestion pour qu'elle soit la plus efficace possible.

593. Il existe déjà des bases de métadonnées essentielles, qui ont été compilées par le PAM/PNUE et d'autres institutions. Le PAM/PNUE entreprend présentement un inventaire des bases de métadonnées et il instaurera un système de liens rapides avec les bases de données publiques en vue d'étayer expressément le processus de l'approche écosystémique et les activités de gestion en général.

La nécessité de la cartographie

594. Un inventaire, à l'échelle de la Méditerranée, des habitats critiques tels que les herbiers, les rivages rocheux intacts, les systèmes frontaux persistants, les estuaires, les assemblages de coraux en eau profonde, et (en premier lieu dans les zones hors juridiction nationale) les montagnes sous-marines, pourrait fournir des renseignements fondamentaux sur les zones ayant une forte prestation de services écosystémiques. Ces renseignements existent déjà mais ils devraient maintenant être cartographiés. Les informations détaillées communiquées par les rapports nationaux sur la distribution des herbiers marins, des communautés coralligènes et d'autres habitats marins et côtiers critiques pourraient être cartographiées et ajoutées à d'autres cartes (comme la distribution des lagunes côtières présentée à la section 1 - Figure 1. 4) pour étayer l'analyse SIG. Les zones exposées à des maintes menaces ("points chauds" sous pressions multiples) peuvent aussi être cartographiées.

595. Les zones soumises à de multiples pressions ("points chauds sous pressions multiples") peuvent être aussi cartographiées

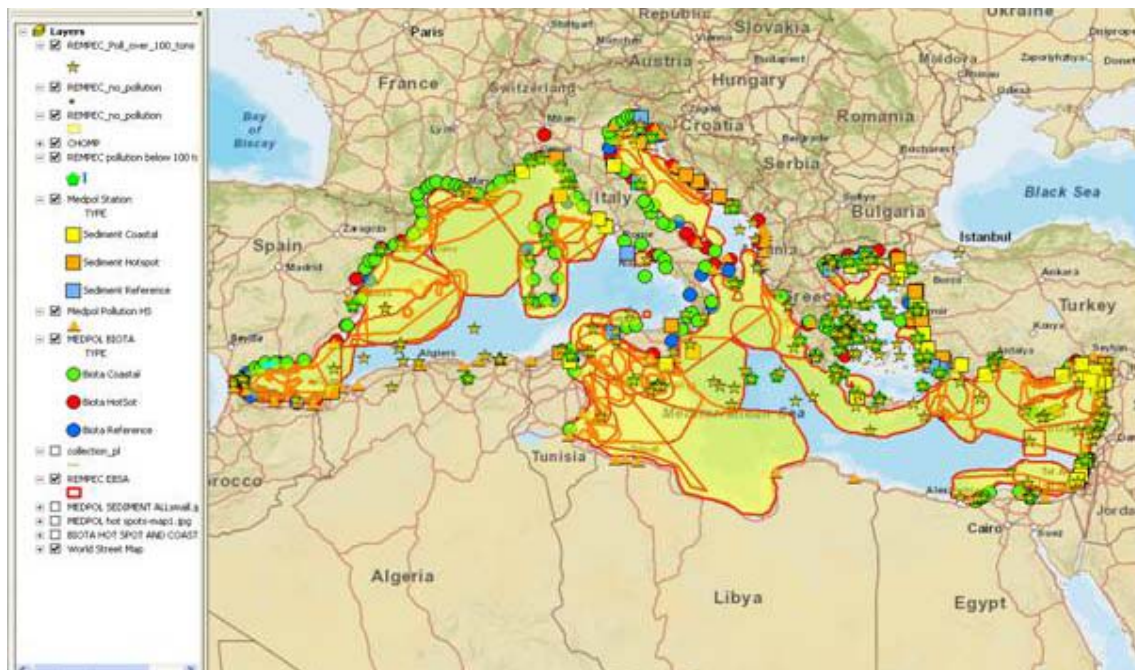


Figure 6.1 Instantané de certaines des informations actuellement cartographiées par le PAM/PNUE.

596. Par cette illustration, on ne se propose pas de définir des zones mais de montrer que les priorités géographiques peuvent être mises en évidence en utilisant la cartographie des avis d'experts et des informations tirées des analyses de bases de données.

B. Implications des conditions du processus de planification de l'approche écosystémique

597. Certains des rapports d'évaluation préliminaires provenant des quatre sous-régions de la Méditerranée appellent de nouvelles recherches importantes ou prolongements de recherches dans de nouvelles zones géographiques. Cependant, la feuille de route a fixé une date limite, et retarder la fixation des objectifs opérationnels et des mesures de gestion nécessaires pour les atteindre ne serait pas rendre un bon service aux écosystèmes marins et côtiers. Le PAM/PNUE et d'autres institutions régionales devront faire fond sur les informations pertinentes, géoréférencées, émanant des recherches et de la surveillance continue existantes entreprises au titre des instruments juridiques et des programmes de surveillance du PAM/PNUE. Mais ce qui est plus important, un consensus devra se dégager sur les domaines, composantes ou services écosystémiques qui constitueront des priorités – que ce soit en raison de leur valeur inhérente, de leur vulnérabilité, ou du degré de menace auquel ils font face.

Accroître la faisabilité de l'approche écosystémique en fixant les priorités

598. Pour aller de l'avant sur une voie de l'approche écosystémique, une compréhension élémentaire des écosystèmes cibles doit être favorisée, en centrant sur leurs fonctions clés, leur résilience et leur fourniture de services (valeurs capitalisées par l'homme). Il ne faut pas entendre par là que tout doit être connu avec certitude. À vrai dire, intégrer formellement l'incertitude et le risque dans une évaluation renforce son utilité globale. Compte tenu des ressources et du temps limités pour "réussir" – une défi particulier dans une zone marine aussi vaste, diverse et complexe que la Méditerranée – les prochaines étapes du processus de l'approche écosystémique doivent être axées sur les priorités. Ces priorités peuvent se faire jour en focalisant sur des menaces connues, les services écosystémiques les plus précieux, ou des zones spéciales (habitats recensés au titre de la directive Habitats/Réseau Natura 2000, sites d'ASPIM, aires d'importance écologique ou biologique.

599. D'autres priorités géographiques axées sur les menaces existent dans la région. Le Bilan diagnostique transfrontière (BDT) entrepris en 2005 énumère les priorités géographiques des 12 pays méditerranéens participant à l'évaluation des menaces transfrontières, et celles-ci pourraient servir de socle utile pour pousser plus avant le classement par priorité dans le cadre du processus de l'approche écosystémique. Les sites critiques du changement climatique recensés dans les eaux italiennes offrent un autre exemple au niveau national.

600. Les analyses de métadonnées ciblées sont également utiles. Le PAMPNUE a récemment été le premier à identifier les zones d'intérêt pour la conservation dans les milieux pélagiques (dont certains au delà des juridictions nationales). En ayant recours aux données disponibles et aux avis d'experts, les zones prioritaires pour la conservation ont été mises en relief. Ces zones pourraient aussi servir de "filtre" possible pour déterminer les priorités de l'approche écosystémique.

601. Un autre exemple nous est donné par un exercice récemment entrepris sous l'appellation CHOMP (Habitats critiques de prédateurs méditerranéens). L'accent était mis sur les prédateurs marins supérieurs et les espèces charismatiques (cétacés, phoque moine, tortues marines, requins et grands poissons pélagiques), en raison de leurs qualités d'espèces-parapluies ou d'espèces-phares, et comme indicateurs écologiques. Cette cartographie des habitats critiques suit un processus amorcé au Congrès de la conservation mondiale de l'UICN tenu à Barcelone (Hoyt et Notarbartolo di Sciara, 2008), où une première tentative a été faite de couvrir les différents habitats d'espèces afin de déceler les sites d'importance faunistique particulière. CHOMP a permis de mieux préciser les détails, de réunir les spécialistes de divers groupes zoologiques en vue de faciliter des propositions conjointes multi-espèces pour une protection axée sur les sites, plutôt que des propositions sur les AMP d'un seul taxon qui présentent des scénarios peu réalistes pour la région en matière de la conservation de la biodiversité. L'effort de cartographie combinait l'"approche delphique", fondée les connaissances d'experts, et des méthodes analytiques.

602. La figure 6.2 indique certaines de ces données sur les méga-vetérés avec les zones de fort chevauchement.

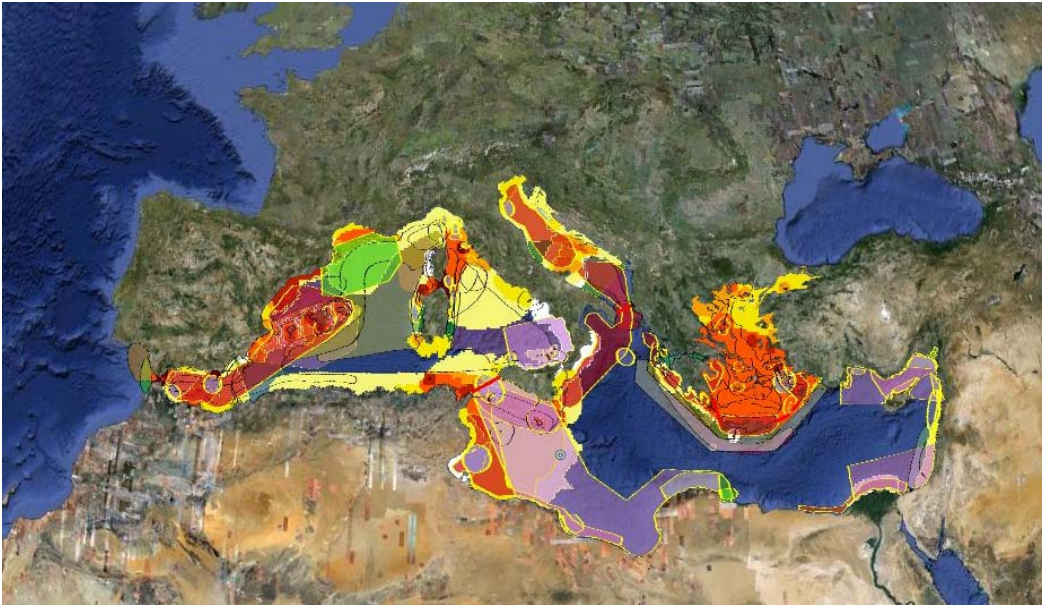


Figure 6.2 Principales zones d'importance écologique pour sélectionner les megavertebres, telles que communiquées par l'exercice CHOMP

603. De plus, toute une série d'outils à même d'établir des évaluations régionales au moyen de télédétection par satellite et aéronef ont été mis au point et les cartes qui en résultent sont utiles pour apprécier des environnements isolés et expansifs que l'on a du mal à contrôler au moyen des techniques de terrain traditionnelles. Les cartes offrent aussi des données de base pour des modèles prévisionnels de la santé des habitats, la désignation de zones protégées, et une investigation des fonctions écosystémiques, de la connectivité génétique et larvaire.

Outils pour mener à bien les prochaines étapes de l'approche écosystémique

604. Comme il a été évoqué plus haut, les informations indispensables en premier lieu à une approche écosystémique comprennent des cartes précises à grande échelle des habitats d'une région donnée. Ces cartes se prêtent bien à l'intégration au sein du Système d'information géographique (SIG), qu'il soit conventionnel ou fondé sur le web. Au moyen du SIG, ces données spatiales facilitent une analyse simple et rapide des écosystèmes marins à travers l'espace et le temps, ce qui comporterait des données extraites de vues satellite de chronologie différente, ou la comparaison avec des cartes d'archives créées à partir de photos aériennes. Des données complémentaires, telles que les projets gestionnels et scientifiques nationaux, les données sur la pêche, et d'autres zones marines et d'impact et d'utilisation, peuvent aisément se fondre dans un tel cadre géospatial. La carte facilite un aperçu rapide des ressources de la région dans leur véritable contexte spatial. Ces connaissances peuvent s'avérer inestimables pour définir les objectifs, les limites physiques, et les procédures en cours de gestion des ressources. Bien qu'une partie capitale du processus de conservation - une cartographie précise - ne doive pas être considérée comme un but ultime et en soi, ces cartes préparent le terrain à des études scientifiques des processus locaux et paysagers. À leur tour, ces études peuvent être intégrées dans une gestion fondée sur les connaissances.

605. Un bon exemple a trait au suivi de l'eutrophisation. La télédétection par avions et par satellite offre l'occasion de déceler des modifications à grande échelle des propriétés biologiques de la Méditerranée (par ex., exploiter les données couleur), de déceler les modifications des zones côtières, de déceler et suivre la pollution accidentelle (PAM/PNUE/AEE, 1999). Le relevé à long terme des données couleur océaniques fournies par la mission SeaWiFS est un acquis important pour des activités de surveillance et de recherche menées sur la production primaire et pour étudier les principales caractéristiques de la variabilité temporelle associée aux propriétés optiques à travers la mer Méditerranée (Vandepotte *et al.* 2010).

606. Les outils d'appui à la décision en matière de gestion et de conservation marines sont désormais une composante fondamentale et communément utilisée de l'approche écosystémique. Ces outils permettent souvent de prendre des décisions utiles de gestion et d'allocation réaliste de ressources dans les environnements pauvres en données, en recourant à toute une série de mesures ou descripteurs de substitution aisément disponibles. En outre, il existe un intérêt grandissant à l'égard de l'évaluation des risques pour la fixation des priorités de conservation et de gestion, dû en grande part à l'aggravation des impacts pour l'homme et aux impacts nouveaux de l'évolution du climat sur de nombreux écosystèmes marins. Les coûts et l'écologie doivent être pris en compte dans la solution et ces compromis complexes peuvent plus facilement s'effectuer avec l'assistance d'outils d'appui à la décision bien formulés.

Justification d'un système de surveillance continue optimale en Méditerranée

607. Pour progresser avec succès vers une approche écosystémique, une surveillance périodique devrait être structurée de manière à obtenir les informations nécessaires pour:

- Déterminer les tendances de l'état écologique ;
- Aider à prévoir les changements dans la prestation et les valeurs des services écosystémiques ;
- Élaborer des scénarios qui décrivent divers résultats de la gestion ;
- Permettre aux décideurs d'évaluer les compromis ;
- Souligner les questions clés de gestion ;
- Aider à déterminer la forme de la gestion, y compris le choix des outils de gestion et l'échelle de celle-ci (mesures pour toute la Méditerranée, politique au niveau du pays, gestion des aires marines protégées, gestion des zones de pêche, mesure d'atténuation à un site donnée, etc.)

Une fois que les objectifs écologiques et la base de référence ont été instaurés, il conviendra de mettre en place des mécanismes qui permettent facilement d'établir les tendances.

608. Les relations de cause à effet devraient être envisagées pour déterminer quelles activités humaines conduisent à des résultats environnementaux documentés. Par exemple, si la production de chlorophylle 'a' est augmentée dans une zone, il sera nécessaire de déterminer si cette augmentation résulte d'une charge accrue d'éléments nutritifs d'origine terrestre, ou de modifications hydrologiques/océanographiques en mer. Connaître les facteurs à l'œuvre derrière les impacts est nécessaire pour trouver une réponse adéquate à la pression et améliorer l'état écologique. Dans bien des projets sous-régionaux, une indication de ce facteur à l'œuvre est donnée, mais il importerait de déterminer la certitude avec laquelle on peut énoncer de telles relations de cause à effet, et avoir des citations dans les recherches ou ensembles de données afin d'étayer les énoncés.

609. La disponibilité de données sur les tendances est une autre caractéristique de la surveillance de l'environnement que les évaluations sous-régionales ont mise en évidence. Les tendances peuvent être discernées pour certaines catégories de polluants (azote et phosphore, de même que métaux en traces et pesticides aux sites où des programmes de surveillance continue sont exécutés depuis assez longtemps). Des informations sur les tendances peuvent aussi être tirées des données sur la pêche commerciale, bien que la pêche illégale, non réglementée et non déclarée reste un problème dans les eaux nationales, et encore davantage dans les zones situées au delà des juridictions nationales. Le fait que des systèmes ne soient pas encore instaurés pour surveiller les impacts des activités humaines sur les zones hors juridiction nationale, qui représentent la plus grande partie de la biosphère de la Méditerranée, soulève la question des mécanismes que le PAMPNUE peut mettre en place pour mieux comprendre les menaces à l'encontre des systèmes du large, ainsi que les opportunités de leur conservation.

610. Le PAMPNUE devrait à tout le moins continuer ses efforts (ou en déployer de nouveaux en l'absence d'une telle surveillance) pour suivre et cartographier les épisodes de proliférations algales nocives (HAB), suivre les espèces non indigènes, en particulier les espèces invasives connues, estimer la mortalité des espèces menacées, déterminer l'emplacement et la portée des "points chauds" polluants toxiques, et surveiller la qualité de l'eau dans les zones de baignade et dans les zones commerciales où ont lieu des activités de pêche et d'aquaculture. Dans la mesure du possible, des systèmes d'alerte précoce devraient être mis en place pour permettre aux

chercheurs/gestionnaires de déterminer les tendances temporelles et spatiales et, quand les seuils sont connus, indiquer si ces menaces conduisent les écosystèmes à s'approcher du point de non-retour.

611. Un défi qui sera d'une extrême importance dans l'application de l'approche écosystémique consistera à réaliser une surveillance simplifiée sans ajouter obligatoirement un nouveau fardeau pour les pays, tout en permettant d'obtenir des informations valables sur les interactions entre les menaces. Une stratégie de surveillance optimisée devrait étayer la compréhension de ces effets synergiques.

612. Dans ce souci de simplification, un processus parallèle mais connexe mené dans le Bassin méditerranéen mérite d'être mentionné. Les pays européens, au titre de la directive-cadre "Stratégie pour le milieu marin" (DCSMM) se sont engagés à évaluer le bon état écologique, à fixer les valeurs cibles et les indicateurs correspondants, et à concevoir des programmes de surveillance continue coordonnés pour les évaluations futures. Leurs travaux d'évaluation des 11 descripteurs (ce sont en fait les objectifs écologiques) en recourant à des indicateurs normalisés pourraient être facilités grâce à une bonne formulation des prochaines étapes du processus de l'approche écosystémique, en particulier si des projets pilotes menés à petite échelle et faisables démontrent comment les objectifs peuvent être évalués dans le contexte méditerranéen.

613. Il convient aussi de remarquer qu'un programme de surveillance systématique et optimisé ne devrait pas seulement veiller à la qualité environnementale ou à l'état écologique mais aussi à l'efficacité de la gestion. En d'autres termes, il faudrait aussi obtenir des renseignements sur le type de gestion existant, sur l'application effective ou non de la réglementation, et sur le niveau auquel il y a respect de la réglementation ou, pour le dire autrement, s'il y a des activités illicites ou non déclarées en cours en dépit de l'existence de cette réglementation/gestion. En effet, la surveillance continue devrait au mieux fournir les données nécessaires à l'avenir pour réaliser l'évaluation environnementale (vérifier si les objectifs écologiques sont remplis) et l'évaluation de l'efficacité de la gestion (vérifier si les objectifs de la gestion sont remplis). Il conviendra de songer à optimiser la compatibilité des données provenant du flux issu de la surveillance de l'environnement avec les données et informations provenant du flux concernant l'évaluation de la gestion. Ces deux flux d'informations devraient alimenter le processus de l'approche écosystémique.

614. L'adoption d'une approche écosystémique en Méditerranée, compte tenu de la très vaste échelle de cette dernière, de la diversité des enjeux de gestion, d'une capacité de gestion loin d'être uniforme et des ressources limitées, sera compliquée et prendra du temps. La présente évaluation et celles qui suivront conduiront à une meilleure compréhension de l'état environnemental et de l'état écologique, et elles présenteront des options de poursuite de la surveillance et de l'évaluation qui fourniront alors les informations nécessaires pour déterminer les tendances, fixer les objectifs écologiques et opérationnels, et les prioriser en sorte que des dispositions réalistes et par paliers modestes puissent être prises en vue d'une approche écosystémique.

Key Tasks to Support the Next Steps

1. Complete inventory of metadatabases and create database management system that allows easy access and updating
2. Map information, and begin GIS analyses to help determine priorities.
3. Launch a rational process for determining priorities, in order to focus down the setting of objectives (Steps 4 and 5 in ecosystem approach) to a realistic and tangible subset.
4. Develop one or more pilots to test the feasibility of setting ecological objectives and related operational objectives, and to test the choices of targets and indicators.

Literature Cited

NEED TO ADD ALL REFERENCES FROM TECH COMP REPORTS

Badalamenti F., *et al.*, 2008. National overview (except the Adriatic coast) on vulnerability and impacts of climate change on marine and coastal biodiversity. Contract RAC/SPA, N° 13/RAC/SPA_2008. 36 pp.

ANNEX I

- Lack of clear national strategy to systematically inventory marine and coastal biodiversity in many countries. Marine and coastal biodiversity -linked aspects do not have priority in political decisions, as is the case for social aspects - The national inventories of marine and coastal species and habitats are not homogeneous. For most countries they are incomplete; the effort made is more focused on the north-western Mediterranean

- Many Mediterranean sectors and/or ecosystems remain little studied, even within country limits. Prospecting is usually done in areas that are easily accessed. The inventories drawn up in some countries (bibliography, site prospecting, updating etc.) are usually made in sectors concerned by programmes or action plans. Knowledge of the presence, distribution, abundance, and conservation status of Mediterranean coastal and marine species is uneven for taxa and regions

- Deep sea and high seas reference habitats have commonly been little explored

- Lack of national taxonomic skills for many groups of marine flora and fauna, leading to sometimes questionable identification of species. Experts in taxonomy of most groups are strongly concentrated in a few countries, mostly lying in the northern part of the Mediterranean

- Little sharing of recent knowledge within scientific circles in the various countries of the northern and southern Mediterranean

- Absence of programmes for monitoring non-native species in many countries, particularly the countries of the southern Mediterranean

- Patchy mapping of marine and coastal species and biocenosis, particularly those of conservation interest for the Mediterranean. Research done on marine and coastal biodiversity is compartmentalized, restricted to very narrow aspects, and lacks interdisciplinarity

- Absence of coordinated and cross-border scientific research, probably related to financial and administrative constraints.

There are also gaps in understanding of the impacts of human activity on marine and coastal biodiversity. This can be observed at several levels: scientific knowledge; legal tools availability; enforcement of existing laws; public awareness; concrete actions and operative plan implementation.

These gaps, issue by issue, can be summarized as follows (more details are given in the supporting document provided by RAC SPA):

- Invasive species : (i) a lack of a mechanism for collecting, compiling and circulating information on invasive non-indigenous species still exists, (ii) a lack of knowledge still exists, in particular about impact on structures and functioning of the ecosystems and (iii) a lack of long term monitoring programs on invasive species must be emphasized too...

- Impact of fishery on target and non-target species : (i) An important lack regarding the limitation of the ecosystem approach application in fishery management, (ii) discards composition and quantification needs particular attention, (iii) Recreational fishery gaps regard both control of composition, abundance and size of catch and scientific data about landings, (iv) Gaps about the knowledge of possible interactions between eutrophication and fish cultivation practices in coastal lagoons and other marine sites, (v) Lack of enforcement of control and surveillance of fishery regulations (vi) Lack in monitoring, control and surveillance is particularly evident for high seas...

- Microbial pathogens: The main gaps to bridge in order to enhance knowledge of microbial pathogens have to be distinguished among classical and new ones as follows: (a) "Classical" pathogens : (i) low level of monitoring plans is generally found, (ii) a lack of basic knowledge of classical pathogens in sediments and beaches, (iii) an important gap is constituted by the lack of law enforcement to prevent or reduce the pathogens concentration in the sea water, (iv) a lack of knowledge on the consequences and impacts of pathogens on ecosystems and habitats...; (b) "New" pathogens: (i) lack of basic knowledge on new pathogens, (ii) the lack of legislation enforcement in controlling the vectors of introduction into the Mediterranean of non indigenous species and invasive marine species

(i.e. mariculture) constitutes a significant issue, (iii) a lack of public awareness on health and safety issues for hazard species, gaps on knowledge regard consequences and impacts on ecosystems and habitats, (iv) a lack of effective scientific monitoring for Harmful Algal Blooms (HABs), especially for Southern Mediterranean waters...

- Climate change: the magnitude of Mediterranean marine biodiversity in response to climate change remain largely unknown due to (i) the lack of consistent long-term monitoring of Mediterranean marine biota and ecosystem processes; and (ii) the scarce information available on climate change impacts on marine organism physiology, population demography, reproduction, species distribution and ecosystem function, (iii) lack of monitoring, targeted research, institutional scientific capacities,

technical expertise, national policies and priorities, critical area identification and studies and funding opportunities at national level, (iv) lack of studies on the socio-economical consequences of the impact of climate change on marine and coastal biodiversity, (v) lack of knowledge on the consequence of climate change on biodiversity due to the changes in the chemistry and biogeochemical cycling of carbon and carbonate (ocean acidification)...

- Deep sea: (i) The main gaps about deep sea deals with the very limited knowledge of this environment, particularly poor are data and scientific researches below 1000 m depth, (ii) especially for several areas of Eastern Mediterranean and in Southern waters, nothing is known about deep-sea biology, (iii) gaps exist also about the effects of anthropogenic pressures on deep sea species and habitats, where few data are available for fishery and no data are available about the effects and consequences on deep biodiversity of waste accumulation, (iv) an important gap, not specific for the Mediterranean sea, but in any case relevant also to the Mediterranean region, regards the lack of emergency technology and plans to deal with petrol spillage in deep water.

Annex

LIST OF MARINE AND COASTAL SITES CONSIDERED TO BE ESPECIALLY AT RISK (OR ENDANGERED) IN THE SHORT-TERM BY THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE IN ITALY (ADRIATIC EXCLUDED).

Liguria

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of Lithophyllum lichenoides within the Marine Protected Areas of:

1. Isola di Gallinara
2. Isola Bergeggi
3. Portofino
4. Cinque Terre

Tuscany

Areas at risk from rises in sea level:

5. Verisilia Riviera

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of Lithophyllum lichenoides within the Marine Protected Areas of:

6. Arcipelago Toscano
7. Secche della Meloria

Latium

Areas at risk from rises in sea level:

8. Fondi and Pontina plains

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of Lithophyllum lichenoides within the Marine Protected Areas of:

9. Secche di Tor Paterno
10. Isole Pontine di Ponza, Palmarola and Zannone
11. Isole di Ventotene e Santo Stefano

Campania

Areas at risk from rises in sea level:

12. delta of Volturno in the Gulf of Gaeta
13. delta of Sele in the Gulf of Salerno

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of Lithophyllum lichenoides within the Marine Protected Areas of:

14. Regno di Nettuno (Isole di Ischia, Vivara and Procida)
15. Isola di Capri
16. Punta Campanella
17. Santa Maria di Castellabate
18. Costa degli Infreschi

Sardinia

Areas at risk from rises in sea level:

19. Pilo lagoon
20. Tortoli lagoon
21. Gulf of Orosei (beach and lagoon)
22. Murtas Beach
23. Porto Pino and Palmas (Sardinia)
24. Gulf of Cagliari
25. Gulf of Oristano

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of Lithophyllum lichenoides within the Marine Protected Areas of:

26. Asinara
27. Capo Testa - Punta Falcone
28. Arcipelago della Maddalena
29. Tavolara - Punta Coda Cavallo
30. Golfo di Orosei - Capo Monte Sannu
31. Capo Carbonara
32. Penisola del Sinis - Isola di Mal di Ventre

33. Capo Caccia – Isola Piana

Sicily

Areas at risk from rises in sea level:

34. Stagnone di Marsala
35. Trapani and Paceco saltmarshes
36. Noto and the Vendicari lagoon
37. Pantani Cuba and Longarini

Vermetid platform within the Marine Protected Areas of:

38. Egadi and
39. Capo Gallo - Isola delle Femmine

Coralligenous assemblages and/or "encourbellement" of *Lithophyllum lichenoides* within the Marine Protected Areas of :

40. Isole Egadi
41. Capo Gallo e Isola delle Femmine
42. Isola di Ustica
43. Isole Eolie
44. Isole Ciclopi
45. Plemmirio
46. Isole Pelagie
47. Isola di Pantelleria

Posidonia recife barriere

48. Capo Feto SCI (Site of Community Interest)

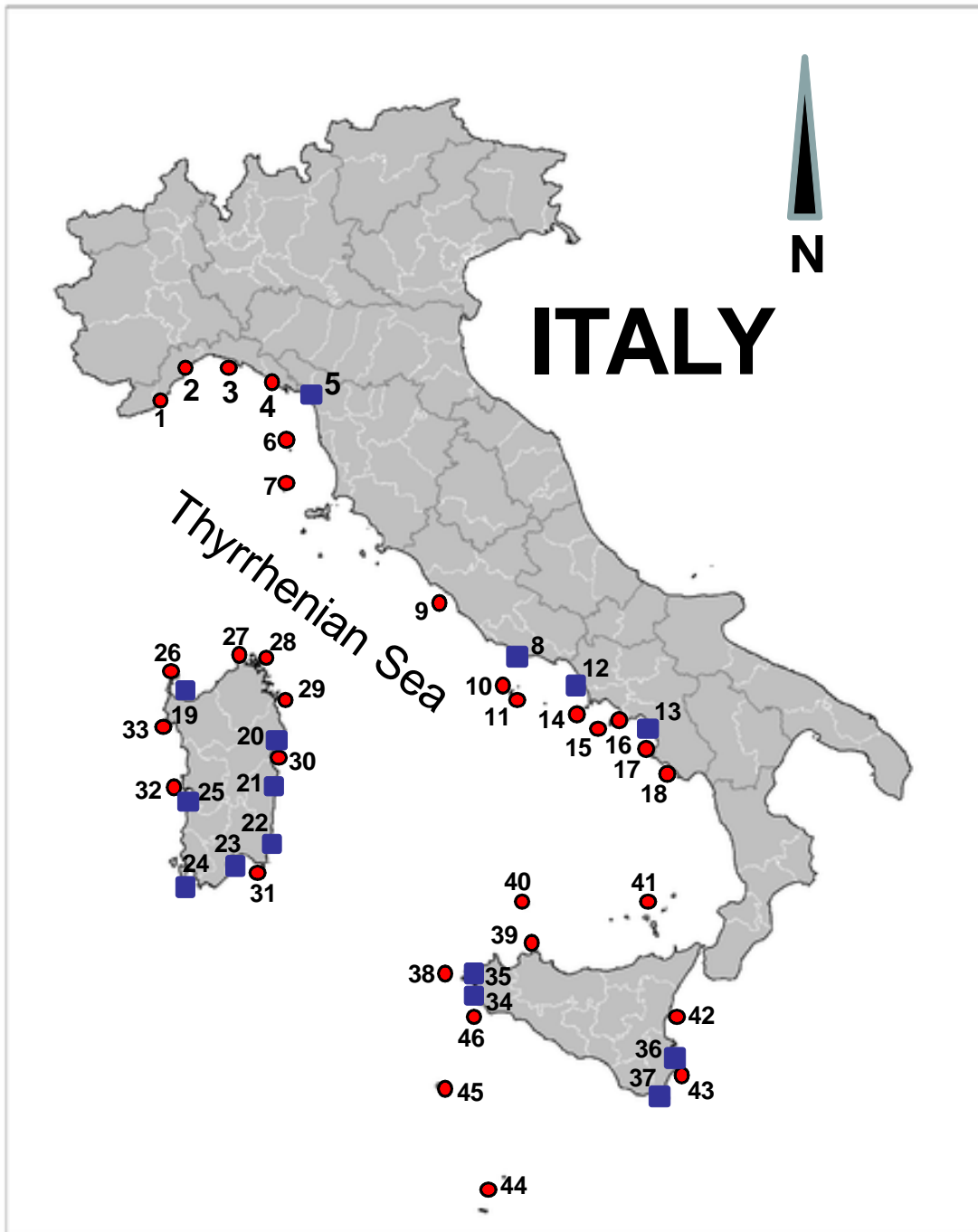


Figure 1. List of marine and coastal sites considered to be especially at risk (or endangered) in the short term by the effects of climate change in Italy (Adriatic excluded). Squares refer to Areas at risk from rises in sea level and circles refer to areas at risk of impact on biodiversity. More details are in Annex 1.