



Changement climatique et milieu marin en Corse

Report Card 2018

A2-Température de la mer

A3-Courants et vents

A4-Élévation du niveau de la mer

La colonne d'eau côtière et ses perturbations

Sylvie GOBERT – Professeur à l'Université de Liège (ULiège) (Belgique)
 Jean-Claude ROMANO- DR CNRS-Université de Corse
 Pierre LEJEUNE – Directeur de STARESO

Résumé exécutif

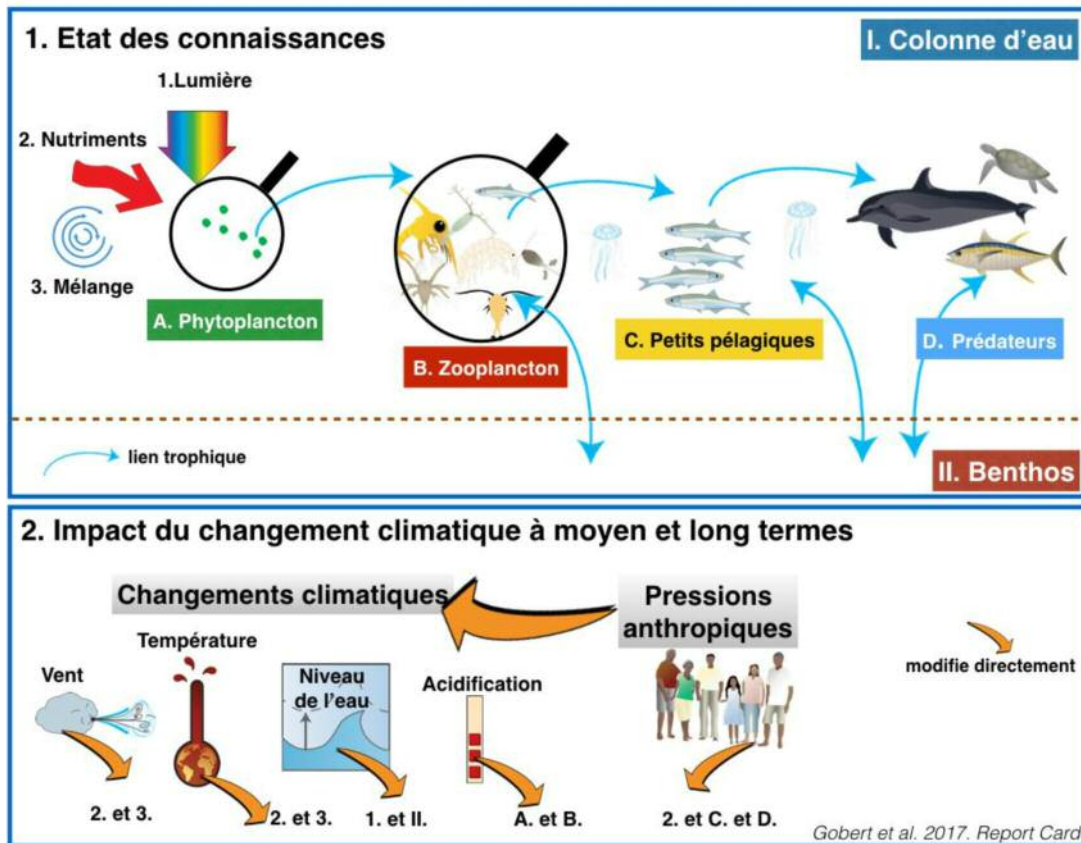


Figure 1. **La colonne d'eau côtière et ses perturbations** 1. **Etat des connaissances** : Dans le compartiment de la colonne d'eau (I), les paramètres de la colonne d'eau (1. Lumière, 2 nutriments, 3. profondeur de la couche de mélange) limitent le bloom phytoplanctonique, la succession trophique (flèches bleues) (A. phytoplancton, B. Zooplancton, C. Petits pélagiques, D. Prédateurs) et les relations trophiques (flèches bleues) avec le benthos. 2. **Impact du changement climatique à moyen et long termes** : Mesurés en Corse, la variation de l'intensité et de la fréquence des vents comme l'augmentation de la température influencent la stratification de la colonne d'eau et la disponibilité en nutriments. Le niveau d'eau qui monte diminue la quantité de lumière au niveau du benthos mais aussi modifie les conditions hydrodynamiques dans la zone de battements. L'acidification est susceptible de modifier les populations planctoniques. En Corse, l'activité anthropique reste limitée dans l'espace et le temps, les impacts (apports de nutriments, pêches, ...) sont présents mais plus faibles que dans d'autres régions de La Méditerranée.

La colonne d'eau côtière est le support de processus physico-chimiques et biologiques, elle est le siège de la production phytoplanctonique qui à l'origine de la plupart des chaînes alimentaires pélagiques et qui alimente une partie des milieux benthiques. La production planctonique est sous le contrôle de la lumière, la température et les nutriments dont la disponibilité est largement liée à l'état de la colonne d'eau (mélanges, échanges avec le milieu continental,...). En Corse, les mesures dans la colonne d'eau mettent en évidence une augmentation de la température et du niveau de la mer en lien avec les évolutions du climat. Les modifications de la température entraînent une modification de la structure de la colonne et de la disponibilité en nutriments. La montée du niveau de l'eau a un impact sur le benthos. La modification de l'intensité, de la direction des vents en hiver

et en été entraînent également une modification de la structure de la colonne et de la disponibilité en nutriments. A terme, l'acidification est susceptible de modifier les populations planctoniques. En Corse, les activités anthropiques locales restent limitées dans l'espace et le temps, les impacts de ces activités sont présents mais plus faibles que dans d'autres régions méditerranéennes.

La définition de l'extension de la « zone côtière » dépend du régime juridique adopté. Selon la définition de l'Europe (DCE) : la masse d'eau côtière est une partie distincte et significative des eaux de surface situées entre la ligne de base servant pour la mesure de la largeur des eaux territoriales et une distance d'un mille marin. En océanographie, cette zone est l'interface entre le continent et les océans abritant des écosystèmes spécifiques et où se réalisent d'importants transferts de matière, d'énergie. A proximité des côtes, ces zones sont peu profondes (0 à 200m) et sont influencées par les apports terrigènes (naturels ou anthropiques), on considère que sa limite est le plateau continental.

A – Etat des connaissances sur la colonne d'eau côtière

1 – Le rôle de la colonne d'eau

La colonne d'eau côtière est le support de nombreux processus physico-chimiques et biologiques. Elle est le siège d'une partie de la production phytoplanctonique qui est à l'origine de la plupart des chaînes alimentaires pélagiques, elles mêmes viennent, par échanges, abonder les ressources offertes aux organismes se développant sur les milieux benthiques.

Cette production phytoplanctonique, est sous le contrôle de facteurs limitant physiques et chimiques comme la lumière, la température et les nutriments (azote, phosphore, silice, fer, ...) dont la disponibilité est largement liée à l'état de la colonne d'eau (mélanges de masses d'eaux, échanges avec le milieu continental, pluies, vents, turbidité, thermocline, etc ...).

Par ailleurs, la plupart des organismes benthiques faisant la richesse des milieux côtiers présente une phase planctonique larvaire, plus ou moins longue, et dont le bon déroulement est soumis à la présence des ressources adéquates, au bon moment, dans la colonne d'eau. L'efficacité du renouvellement des populations benthiques, par recrutement, est donc largement dépendante de la survie larvaire planctonique et donc de l'état de la colonne d'eau.

Les écosystèmes abrités dans la colonne d'eau côtière sont riches et vulnérables par nature, ils sont soumis aux pressions provoquées par les changements globaux (montées des eaux, tempêtes accrues, modification des précipitations, des courants, de la température de l'eau, de l'acidification, ...) mais aussi aux pressions liées à l'activité humaine continentale (pollution, exploitation des ressources, aménagements littoraux,...). La colonne d'eau est le siège d'échanges avec l'atmosphère et d'interactions avec les surfaces continentales au niveau des petits fonds et du trait de côte. L'agitation, les courants, la température, ... sont autant de paramètres physiques qui vont influencer la dynamique atmosphérique donc la météorologie côtière et le climat. Le niveau des eaux et l'agitation vont, par ailleurs, mécaniquement, influencer la géomorphologie des côtes.

2 – Etat des connaissances le long du littoral de la Corse

L'exploration et la prise de conscience de l'importance du milieu marin sont récentes et peu de paramètres physico-chimiques de la colonne d'eau ont été mesurés, *in situ*, en continu, sur de très longues périodes de temps.

a. Mesures en continu :

La température : Le réchauffement climatique sous forçage anthropique est largement documenté (travaux du G.I.E.C.). Pour les océans il en est tout autrement, les vues en thermographie satellite (NOAA, www.Wetterzentrale.de, Copernicus, etc.) ou les données de température fournies par les navires d'opportunité, mesurent les eaux de surface (0-5m) mais les plus précises ne datent que des années 80. Pour les zones plus profondes, et en particulier pour La Méditerranée, les données sont très rares.

Pour la Méditerranée nord-occidentale, à notre connaissance, les jeux de données exploitables sont (1) pour les eaux de surface, celles de Marseille (France), débutant en 1895, de STARESO (ULiège) depuis 1974 et de Villefranche depuis 1974 et (2) pour des données en profondeur: celles de l'Estartit (Espagne) et les réseaux T-MEDNet.org initié en 1999, et MedChange, qui incluent la Corse.

Ces séries exploitables confirment toutes la même tendance et l'apparition d'un réchauffement actuel net des eaux de surface (Binard *et al.*, 2008, Fontaine, 2017, Romano & Lugrezi, 2007, Romano et al, 2010), en relation avec la météorologie (meteo-france.fr, infoclimat.fr).

Le niveau mer : Il a été suivi en Corse dans de nombreux ports aux alentours des années 1850 (<http://refmar.shom.fr/fr/mesures-maregraphiques/french-historic-tide-gauges-data-in-non-digital-form#Ajaccio>) mais ces enregistrements n'ont duré qu'un ou deux ans. Pour la période récente, le seul marégraphe opérationnel depuis quelques décennies est localisé à Ajaccio (1980-2016) mais ces données sont fragmentaires, la période statistiquement utilisable ne portant que sur 2000-2016 (refmar.shom.fr). Il est suivi en Baie de Calvi (STARESO) depuis 2005. La compilation des données du *Global Sea-Level Observatory System* portant sur 18 instruments dans des sites entourant la Corse montre une augmentation moyenne de 2,35 mm/an et pour Ajaccio à 1,45 mm/an (Romano, 2018, *in prep.*).

Une estimation de l'**agitation** (sur échelle beaufort) réalisées autour la Corse (base à minima journalière) par les observations des sémaphores est bancarisée par Météo France.

b. Campagnes ponctuelles :

De nombreuses campagnes ponctuelles ont eu lieu concernant la mesure de différents paramètres physico-chimiques:

Mesures de courantologie et modélisation en divers points de la Corse par STARESO/ULiège (recherches, installation d'émissaires en mer) (Noro, 1995 ; Skliris *et al.*, 2001 ; Taymans, 2017,...).

Les courants des bouches de Bonifacio.

De 2004 à 2006 ont été réalisées 7 missions CYRCE, d'études des courants dans les bouches de Bonifacio, par le navire Tethys II de l'INSU (Institut National des Sciences de l'Univers) et son profileur ADCP de coque. La zone couverte part de l'île des Moines à l'ouest jusqu'à Porto-Vecchio, par des trajets en créneaux et concerne toutes les saisons (Gerigny et al, 2011 a & b).

Les courants dans la réserve de Scandola.

En parallèle aux études de températures des eaux de la réserve, et aux suivis de peuplement benthiques depuis de nombreuses années (voir rapports scientifiques du PNRC), une étude des courants a été menée en baie d'Elbo, pour tenter de comprendre les causes de la remontée de la limite inférieure de l'herbier de posidonies. L'utilisation couplée d'un courantomètre ANDERAA et d'un turbidimètre et la consultation des archives météo ont mis en évidence une remise en suspension du sédiment à -25m par une augmentation de l'agitation et donc de la turbidité pouvant diminuer la lumière incidente et donc être préjudiciable à la photosynthèse (Romano *et al.*, 2005, 2006). Cette modification a pu être imputée à un léger changement du régime des vents de la région, peut-être imputable au changement climatique.

Les courants en Baie de Calvi

La circulation en Baie de Calvi est complexe et influencée non seulement par le courant Liguro-Provençal qui coule au large de la baie et aussi par les vents. Les deux secteurs dominants des vents sont les vents du secteur Sud-Ouest (le Libeccio) et ceux, du secteur Nord-Est qui soufflent essentiellement en hiver. Une double gyre, anticyclonique dans la partie Ouest de la baie et cyclonique dans la partie Est de celle-ci est souvent mise en évidence mais cette configuration n'est pas permanente : une seule gyre anticyclonique est également observée. Des remontées d'eaux profondes entrent dans la baie en condition de vent du secteur Nord-Est. Le temps de résidence des eaux dans la Baie de Calvi est d'une dizaine de jours en été et d'approximativement cinq jours en hiver. Cette différence est due à la plus grande fréquence des vents de secteur Nord-Est (Norro, 1995). Un programme « 3DCalvi », est lancé depuis 2 ans, pour comprendre la courantologie de la baie à différentes échelles spatiales et temporelles.

Autres paramètres Des données associées au transect Calvi-Nice depuis en 1969 (Coste et al, 1972) et des mesures de salinité/température sur des profils verticaux réalisés depuis 1985 sur des campagnes ponctuelles, généralement au printemps, dans la baie de Calvi par STARESO/ULiège sont disponibles. Très récemment, des campagnes salinité/température sur profils verticaux devant Bastia ont été réalisées dans le cadre du développement de la plateforme Stella Mare de l'Université de Corse.

Des mesures des nutriments réalisés en baie de Calvi par STARESO/ULiège depuis 1985 à l'occasion de diverses campagnes et projets. Une campagne de mesure de l'acidité de la masse d'eau et effets associés

(MEDSEA 2012) (Gazeau *et al.*, 2016).

c Modélisation et banque données en ligne

Modélisation des courants, vagues et température : <https://marc.ifremer.fr/presentation/introduction>.

Récemment des capteurs de température ont été installés dans le cadre du réseau CALOR : <http://medtrix.fr/index.php/andromede/map/?repository=rep1&project=Calor>.

Depuis 2012, La STARESO, soutenue par l'Agence de l'Eau RMC et la CTC, a mis en place en baie de Calvi et sur le proche large, le programme STARECAPMED, « STATION of Reference and RESEARCH on Change of local and global Anthropogenic Pressures on Mediterranean Ecosystems Drifts ». Ce programme comporte un axe de travail dédié à des mesures à haute fréquence de la physico-chimie de la colonne d'eau sur le long terme et sur différents points (site exposé à des pressions anthropiques locales et sites de référence loin de ces pressions). Les mesures, portent sur la température, la salinité, turbidité et les nutriments de surface et le long de profils verticaux, l'oxygène ainsi que le niveau mer et la courantologie.

En outre STARECAPMED entretient et abonde la base de donnée RACE de l'ULiège en recherchant et en bancarisant les données physico-chimiques nouvelles et les données relevées par le passé en Baie de Calvi lors des campagnes ponctuelles citées plus haut.

Enfin, le programme interface avec ces mesures de la colonne d'eau, les mesures de deux stations météorologiques automatiques de l'ULiège installées localement, mesurant à haute fréquence vents (vitesse direction), température, humidité, hygrométrie, pluviosité, insolation ((Binard *et al.*, 2008).

B – Impact du changement climatique sur la colonne d'eau à moyen et long terme

1 – Les causes climatiques de perturbation de la physico-chimie de la colonne d'eau

a. Les causes locales

Les masses d'eaux côtières corses sont naturellement oligotrophes en raison des faibles apports du milieu terrestre (pas de grands fleuves, pluviosité réduite du climat méditerranéen, territoire insulaire éloigné des masses continentales, ...) et de l'absence d'un large plateau continental qui pourrait limiter l'exportation des nutriments vers les masses d'eaux profondes. Les rejets anthropiques en milieu côtier, notamment de matières azotées et phosphorées sont de nature à modifier cette oligotrophie à laquelle les espèces natives sont adaptées.

Le programme STARECAPMED, qui suit en baie de Calvi l'ensemble des pressions anthropiques typiques du littoral corse, tend à montrer que les impacts restent faibles et très localisés autour des points de rejet. Cette situation est notamment due à la faible densité de population, à la courte saison touristique, à l'absence d'industrialisation et d'agriculture intensive.

b. Les causes climatiques

La dynamique temporelle normale des masses d'eaux côtières corses est naturellement rythmée par l'alternance de la saison d'hiver, ventée et froide et de la saison d'été, moins agitée et chaude. En hiver, l'agitation et le refroidissement des eaux de surface mélange et homogénéise la colonne d'eau, elle permet la remontée en surface d'eaux plus profondes et plus riches en nutriments. Au début du printemps, ces nutriments sont disponibles dans la zone où pénètre la lumière et les blooms phyto-planctoniques se produisent. En fin de printemps et en été, les masses d'eaux de surface se réchauffent et la colonne d'eau se stratifie isolant les eaux de surface chaudes ($\approx 24^{\circ}\text{C}$) des eaux plus profondes froides ($\approx 14^{\circ}\text{C}$). Tous les nutriments des eaux de surface ont largement été consommés et la colonne d'eau ne supporte plus qu'une très faible production phytoplanc-tonique.

Sur la côte ouest, les grands golfes s'ouvrent sur des canyons sous-marins qui échancrent profondément l'étroit plateau continental jusqu'à rejoindre des fonds abyssaux supérieurs à 1000m. Les vents de Nord-Est, naturellement fréquents en hivers mais rares en été, généreraient un transport des eaux de surfaces vers le large compensé par des remontées d'eau profondes et riches le long de ces canyons jusqu'au fond des golfes (Norro, 1995; Taymans, 2017).

2 – Le devenir de la colonne d'eau sous l'influence du changement climatique

Toute évolution climatique modifiant le régime des vents et les températures atmosphériques sont susceptibles

de profondément modifier la dynamique des masses d'eaux côtières.

a. La montée du niveau de l'eau

La montée des eaux de l'océan mondiale a des implications pour la biodiversité marine. Pour la période (1993-2017) et en données satellitaires, elle est de l'ordre de 3,3 mm/an (CNES-LEGOS) (Nerem *et al.* 2010). En Corse, la montée est corroborée par les observations de Verlaque (2010) dans la réserve de Scandola sur le long suivi des trottoirs de *Lithophyllum byssoides*, espèce marine colonisant la zone de ressac et très sensible aux variations de niveau de l'eau. Les observations sur les infrastructures de STARESO mettent en évidence une hausse du niveau de l'eau, l'eau couvre actuellement pratiquement en permanence le quai d'embarquement de la station construite en 1967.

b. Le mélange hivernal des masses d'eaux côtières

La diminution de l'intensité des vents hivernaux et en particulier des vents de Nord-Est pourrait considérablement affecter la remontée des eaux profondes, riches en nutriments qui permettent les blooms de production phytoplanctoniques du printemps très important pour la reproduction des espèces natives. Une élévation des températures de surface en hiver avec le maintien, même très partiel, d'une stratification aurait une influence négative (arrêt d'apport de nutriments) allant dans le même sens.

Le programme STARECAPMED en baie de Calvi fait ressortir une augmentation moyenne des eaux de surface de 0,5°C depuis 1981 (par comparaison 0,66°C en 100 ans à Marseille : Romano and Lugrezi, 2007) mais de 2°C sur la période 2012-2016. L'analyse des séries montre que c'est surtout les températures hivernales qui augmentent. L'analyse du régime des vents sur une longue période en baie de Calvi est en cours mais les premiers résultats font ressortir des anomalies marquées par une baisse du régime de vents hivernaux, en particulier sur le secteur Nord-Est.

c. La stratification estivale des masses d'eaux côtières

Une augmentation de l'intensité des vents en été, notamment de Nord-Est, pourrait déstructurer, au moins partiellement et ponctuellement, la stratification thermique des masses d'eaux côtières. Cette situation pourrait modifier le caractère strictement oligotrophe des eaux de surface estivales et permettre l'installation d'espèces planctoniques ou de larves non natives qui n'auraient pas survécu sans ces changements.

C. Bibliographie

- Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse (2012) Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse Bilan des connaissances. 65pp.
- Binard, M., Alvera Azcarate, A., Beckers, J.-M., Borges, A., Goffart, A., Lejeune, P., Lepoint, G., Norro, A., Pelaprat, C., & Gobert, S. (2008). *RACE Data Base : Rapid Assessment of the Coastal Environment*. <http://hdl.handle.net/2268/181058>.
- Coste, B., J. Gostan et H.J. Minas: Influence des conditions hivernales sur les productions phyto- et zooplanktoniques en Méditerranée Nord-Occidentale. I. Structures hydrologiques et distribution des sels nutritifs. *Mar. Biol.* 16, 320–348 (1972) .
- Dauby P (1984). Le macrozooplancton gelatineux, une source considérable d'enrichissement en matière organique des substrats benthiques infralittoraux. Communication au XXIXe congrès- Assemblée plénière, Lucerne, 11-19 Octobre Comité du plancton.
- Dauby P (1985). Dynamique et productivité de l'écosystème planctonique du golfe de Calvi (Corse). Th. Univ. Liège 288pp.
- Fontaine, Q (2017). Réponse des écosystèmes méditerranéens au changement climatique globale et aux pressions anthropiques locales La baie de Calvi : site atelier du projet STARECAPMED. Mémoire Master Université de Bretagne Occidentale-STARESO, 70pp.
- Goffart, A., Hecq, J.H., Legendre, L., 2002. Changes in the development of the winter- spring phytoplankton bloom in the Bay of Calvi (NW Mediterranean) over the last two decades: a response to changing climate? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 236, 45-60 .
- Gazeau, F., Sallon, A., Maugendre, L., Louis, J., Dellisanti, W., Gaubert, M., Lejeune, P., Gobert, S., Borges, A., Harlay, J., Champenois, W., Alliouane, S., Taillandier, Louis, F., Obolensky, G., Grisoni, J., & Gieù, C. (2016). First mesocosm experiments to study the impacts of ocean acidification on plankton communities in the NW Mediterranean Sea (MedSeA project). *Estuarine Coastal & Shelf Science*, 1-19. <http://hdl.handle.net/2268/197834>.
- Nerem, R. S., D. Chambers, C. Choe, and G. T. Mitchum. (2010): "Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions." *Marine Geodesy* 33, no.

1 supp 1 435.

- Norro A (1995). Etude pluridisciplinaire d'un milieu côtier. Approche expérimentale et modélisation de la Baie de Calvi (Corse) Th. Univ. Liège: 258pp.
- Skirris N, Goffart A, Hecq JH and S Djenidi (2001). Shelf-slope exchanges associated with a steep submarine canyon of Calvi (Corsica, NW Mediterranean Sea): A modelling approach. *J Geol Res- Oceans* 106: 19883-19901.
- Richir, J., Abadie, A., Binard, M., Biondo, R., Boissery, P., Borges, A., Cimiterra, N., Collignon, A., Champenois, W., Donnay, A., Fréjefond, C., Gobert, S., Goffart, A., Hecq, J.-H., Lepoint, G., Pelaprat, C., Pere, A., Sirjacobs, D., Thomé, J.-P., Volpon, A., & Lejeune, P. (2015). STARECAPMED (STATION of Reference and REsearch on Change of local and global Anthropogenic Pressures on Mediterranean Ecosystems Drifts) - Année 2014. Rapport de recherches. Calvi, France: STARESO SAS. 102pp <http://hdl.handle.net/2268/187710>.
- Romano, J. C. and Lugrezi MC. (2017) Série du marégraphe de Marseille: mesures de températures de surface de la mer de 1885 à 1967. *C. R. Geoscience* 339 : 57–64.
- Romano, J.C. La montée des eaux marines en Méditerranée nord-occidentale. *In prep*, Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr/.
- Taymans, C. (2017) Influence of a submarine canyon on hydrodynamic circulation: A two-way nested approach in the Bay of Calvi (Corsica, France). TFE Master Océanographie. Univ. Liège 69pp.
- Verlaque, M., Field-methods to analyse the condition of Mediterranean *Lithophyllum byssoides* (Lamarck) Foslie rims, Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr., 24 : 185-196 (2010).