



**PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR
L'ENVIRONNEMENT
PLAN D'ACTION POUR LA MEDITERRANEE**

15 avril 2022
Français
Original : Anglais

Réunion du groupe de correspondance de l'approche écosystémique sur la surveillance de la pollution

Vidéoconférence, 27 et 30 mai 2022

Point 3 de l'ordre du jour: Critères d'évaluation

Méthodologies des critères d'évaluation pour l'indicateur commun 13 de l'IMAP: conditions de référence et valeurs limites pour l'azote inorganique dissous (NID) et le phosphore total (PT) dans la sous-région de l'Adriatique

Pour des raisons environnementales et économiques, ce document est imprimé en nombre limité. Les délégués sont priés d'apporter leurs exemplaires aux réunions et de ne pas demander d'autres exemplaires.

Note du Secrétariat

Conformément à la décision IG.23/6 relative au Rapport 2017 sur la qualité de la Méditerranée (MED QSR) adoptée lors de la COP 20 (Tirana, Albanie, décembre 2017), les Parties contractantes et le Secrétariat ont été encouragés à tester les critères d'évaluation, y compris les conditions de référence et les valeurs limites des types d'eaux côtières présents en Méditerranée, comme approuvé par la décision IG.22/7 (Athènes, Grèce, février 2016). Il a également été demandé d'élaborer des critères harmonisés à l'échelle régionale pour déterminer les conditions de référence et les valeurs seuil/limites des éléments nutritifs clés dans la colonne d'eau, en tenant compte des normes disponibles pour les eaux côtières et en utilisant les données stockées dans d'autres bases de données auxquelles certains pays méditerranéens contribuent régulièrement.

À cet effet, la réunion du Groupe de correspondance de l'approche écosystémique sur la surveillance de la pollution (Podgorica, Monténégro, avril 2019) a examiné la disponibilité des données en vue d'établir les critères d'évaluation relatifs aux nutriments et a par conséquent recommandé au Secrétariat de prendre des mesures pour déterminer les conditions de référence non seulement pour la chlorophylle *a*, mais aussi pour les nutriments, la transparence et l'oxygène, et pour faire de ces conditions des exigences minimales.

Conformément au programme de travail 2020-2021 adopté par la COP 21 (Naples, Italie, décembre 2019), le programme MED POL a déployé de nouvelles actions visant à harmoniser et à normaliser les méthodes de surveillance et d'évaluation liées aux modules de l'IMAP sur la pollution et les déchets marins, y compris des travaux visant à proposer des conditions de référence et des valeurs limites pour les nutriments. Aussi la réunion du Groupe de correspondance de l'approche écosystémique sur la surveillance de la pollution (avril 2021) a-t-elle examiné le document UNEP/MED WG.492/11 contenant la proposition de processus de détermination des conditions de référence et des valeurs limites pour l'azote inorganique dissous (NID) et le phosphore total (PT) dans les sous-régions concernées. Compte tenu de la nature évolutive de ce document, la réunion a décidé de recommander son utilisation comme base pour progresser vers l'établissement des critères d'évaluation pour le NID et le PT, et a recommandé sa soumission à la réunion des Points focaux du MED POL pour examen, tout en poursuivant son élaboration, notamment par le biais du Groupe de travail en ligne sur l'eutrophisation. Afin de garantir l'établissement des nouveaux critères d'évaluation dans le cadre de la préparation des contributions pour le Rapport 2023 sur la qualité de la Méditerranée, les Parties contractantes ont été invitées à i) transmettre sans délai toutes leurs données en attente concernant les indicateurs communs 13 et 14 de l'IMAP au système d'information de l'IMAP ; ii) entreprendre l'analyse des données de surveillance disponibles et nouvelles ; et iii) élaborer et mettre à l'essai les approches méthodologiques proposées pour la détermination des valeurs limites, y compris les approches statistiques pertinentes, adaptées à des zones spécifiques des sous-régions méditerranéennes.

À la suite de la discussion qui a eu lieu lors de la reprise de la réunion des Points focaux du MED POL (9 juillet 2021), il a été recommandé de présenter le document UNEP/MED WG.492/11 à la huitième réunion du Groupe de coordination de l'EcAp (9 septembre 2021). La huitième réunion du Groupe de coordination de l'EcAp a pris note de ce document, en gardant à l'esprit que le Groupe de coordination sur la surveillance de la pollution (CORMON) a procédé à une évaluation, et qu'il a été décidé d'utiliser cette validation comme base pour élaborer et mettre à l'essai des méthodologies d'évaluation du bon état écologique en lien avec l'objectif écologique 5 dans le cadre de la préparation des contributions pour le Rapport 2023 sur la qualité de la Méditerranée. Par conséquent, le présent document reprend les commentaires formulés lors de la réunion du CORMON, de la réunion des Points focaux du MEDPOL et de la huitième réunion du Groupe de coordination de l'EcAp, tenues en 2021.

Conformément au programme de travail 2020-2021 adopté par la COP 21 (Naples, Italie, décembre 2019) et au programme de travail 2022-2023 adopté par la COP 22 (Antalya, Turquie, 7-10 décembre 2021), le présent document propose une application pratique de l'approche méthodologique applicable à la sous-

région de l'Adriatique pour la détermination des conditions de référence et des valeurs limites. Étant donné les limitations de l'azote/du phosphore observées en Méditerranée (c'est-à-dire les mesures limitées du phosphore inorganique dissous — PID), ainsi qu'au vu de la disponibilité limitée des données et des statistiques complexes qui y sont liées, le présent document ne propose que les conditions de référence et les valeurs limites bonnes/moyennes en tant que moyenne géométrique annuelle pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID dans les eaux côtières et marines de la sous-région de l'Adriatique. Par conséquent, le présent document est soumis à l'examen et à l'approbation de la réunion du Groupe de correspondance de l'approche écosystémique sur la surveillance de la pollution en vue d'utiliser les nouveaux critères d'évaluation proposés pour l'évaluation du bon état environnemental dans la sous-région de l'Adriatique en ce qui concerne les indicateurs communs 13 et 14 de l'IMAP dans le cadre de la préparation du Rapport 2023 sur la qualité de la Méditerranée.

Table of Contents

1	Introduction.....	1
1.1	Principe de base	1
2	Calcul des critères d'évaluation pour la chlorophylle a, le NID et le PT dans la sous-région de l'Adriatique	2
2.1	Disponibilité des données et approche statistique.....	2
2.2	Typologie des eaux	4
2.3	Conditions de référence	5
2.4	Relation pression-effet	7
3	Proposition de conditions de référence et de valeurs limites pour la chlorophylle a, le NID et le PT dans la sous-région de l'Adriatique.....	10
4	Résultats principaux	12

Annexes:

- Annexe I:** Données analysées aux fins du calcul des conditions de référence et des valeurs limites dans la sous-région de l'Adriatique
- Annexe II:** Scripts R et résultats pour le calcul des conditions de référence et des valeurs limites pour la chlorophylle a , le PT et le NID
- Annexe III:** Références

List des abréviations /abréviations

BEE	Bon état écologique
Chla	Chlorophylle <i>a</i>
CdP	Conférence des Parties
CORMON	Groupe de correspondance sur la surveillance
DCE	Directive-cadre sur l'eau
DCSMM	Directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin »
EQB	Élément de qualité biologique
FDil	Facteur de dilution
IMAP	Programme de surveillance et d'évaluation intégrées de la mer et des côtes méditerranéennes et critères d'évaluation connexes
MED GIG	Groupe d'intercalibration géographique — Méditerranée
MED POL	Programme d'évaluation et de maîtrise de la pollution en Méditerranée
NID	Azote inorganique dissous
OE	Objectif écologique
PAM	Plan d'action pour la Méditerranée
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PT	Phosphore total
TRIX	Indice trophique
UE	Union européenne

1 Introduction

1. L'eutrophisation est un processus d'enrichissement de l'eau par des éléments nutritifs, principalement des composés d'azote et/ou de phosphore, et entraînant une croissance accrue, la production primaire de biomasse et d'algues, des évolutions dans l'équilibre des nutriments provoquant des changements dans l'équilibre des organismes et une dégradation de la qualité de l'eau (IMAP, 2017)¹. Les eaux de mer sont classées selon leur niveau d'eutrophisation, en fonction de la charge en nutriments et de la croissance du phytoplancton. Les zones caractérisées par de faibles niveaux de nutriments/phytoplancton sont qualifiées d'oligotrophes, tandis que les eaux modérément enrichies en nutriments sont qualifiées de mésotrophes et que les eaux riches en nutriments et en biomasse algale sont qualifiées d'eutrophes.

1.1 Principe de base

2. De nombreuses recherches ont été menées pour élaborer des indicateurs biologiques et les interétalonner afin d'évaluer les effets de l'eutrophisation des eaux côtières (Borja et al., 2013²). Le phytoplancton est l'élément le plus approprié pour évaluer l'eutrophisation, car il réagit directement à toute évolution des concentrations de nutriments (Devlin et al., 2007³). Cependant, l'établissement d'un lien entre l'état écologique et les mesures de gestion a jusqu'à présent reçu moins d'attention, tout comme l'élaboration de critères significatifs et cohérents en ce qui concerne les éléments nutritifs afin de parvenir à assurer un bon état écologique (Hering et al., 2015⁴).

3. L'Union européenne a engrangé une expérience pertinente dans ce domaine. Une comparaison des limites relatives aux concentrations de nutriments fixées par la directive-cadre sur l'eau (DCE) et par la directive-cadre « Stratégie pour le milieu marin » (DCSMM) dans les eaux de transition, les eaux côtières et les eaux marines des États membres de l'UE (Dworak et al., 2016⁵) a révélé une énorme variabilité de ces limites, mais aussi d'autres aspects pertinents, tels que les paramètres et les mesures des nutriments utilisés, la période de l'année évaluée et les conditions de référence établies.

4. Cependant, dans la région méditerranéenne, il existe de nombreuses différences en ce qui concerne les paramètres des nutriments évalués, la période d'évaluation (période estivale, toute l'année — annuelle) et la statistique utilisée (moyenne, médiane ou 90^e percentile) dans l'évaluation des conditions des eaux salines.

5. Enfin, il importe de prêter attention au choix des mesures statistiques utilisées pour agréger les échantillons de nutriments prélevés au cours d'une période d'évaluation donnée afin de déterminer les concentrations du paramètre/de l'indicateur surveillé. Étant donné que les distributions statistiques de la chlorophylle *a* et des nutriments tendent à suivre une loi log-normale, le paramètre qui permet d'estimer au mieux la valeur autour de laquelle se produit le regroupement central est représenté par la moyenne géométrique, c'est-à-dire la moyenne arithmétique des données logarithmiques reconverties en nombres. La normalisation des répartitions de données au moyen de la transformation

¹ IMAP (2017), Programme intégré de surveillance et d'évaluation de la mer et des côtes méditerranéennes et critères d'évaluation connexes, PNUE/PAM, Athènes, Grèce, p 52.

² Borja, A., Elliott, M., Henriksen, P., et Marb, N. (2013). « Transitional and coastal waters ecological status assessment: advances and challenges resulting from implementing the European water framework directive ». *Hydrobiologia*, 704, p. 213 à 229.

³ Devlin, M., Best, M., Coates, D., Bresnan, E., O'Boyle, S., Park, R., et al. (2007). « Establishing boundary classes for the classification of UK marine waters using phytoplankton communities ». *Marine Pollution Bulletin*, 55, p. 91 à 103.

⁴ Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., et Feld, C. K. (2010). « The European water framework directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future ». *Science of the Total Environment*, 408, p. 4007 à 4019.

⁵ Dworak, T., Berglund, M., Haider, S., Leujak, W. et Claussen, U. (2016). « A comparison of European nutrient boundaries for transitional, coastal and marine waters ». Groupe de travail sur l'état écologique (ECOSTAT).

logarithmique stabilise la variance, avec un écart-type pratiquement constant dans le cas de la transformation logarithmique décimale (Giovanardi et Tromellini, 1992⁶). Ces propriétés statistiques indiquent qu'établir les critères d'évaluation en Méditerranée en prenant pour mesure la moyenne géométrique annuelle des données est une mesure statistique appropriée.

2 Calcul des critères d'évaluation pour la chlorophylle *a*, le NID et le PT dans la sous-région de l'Adriatique

6. La très riche expérience scientifique engrangée en ce qui concerne l'eutrophisation dans la mer Adriatique met en évidence les problèmes dérivés de la pression eutrophique liée au bassin versant du Pô, où vivent quelque 16 millions d'habitants. Parallèlement à cette expérience scientifique, il existe également un énorme ensemble de données qui a permis le développement de l'indice trophique (TRIX) (Vollenweider et al., 1998⁷), qui sert à évaluer l'eutrophisation, ainsi que d'une approche régionale pour l'élaboration de critères de classification fondés sur la chlorophylle *a* dans le cadre de l'IMAP (Giovanardi et al., 2018⁸). Ces données permettent de poursuivre le développement d'une approche harmonisée quant à la définition des conditions de référence et des valeurs limites pour le NID et le PT, à partir de la relation entre les pressions et les réactions. Les travaux réalisés dans le cadre du présent document ont été entrepris conformément à la procédure exposée et définie pour la sous-région de l'Adriatique dans les documents UNEP/MED WG.492/11⁹ et UNEP/MED WG.492/Inf.12¹⁰. Pour les eaux marines (au large), les critères d'évaluation relatifs à la chlorophylle *a* ont également été calculés, tandis que pour les eaux côtières, ces critères restent ceux adoptés dans la décision IG.22/7 de l'IMAP (COP 19, 2016¹¹) (voir le tableau 9 ci-dessous).

2.1 Disponibilité des données et approche statistique

7. Les Parties contractantes bordant la mer Adriatique (à savoir, la Croatie, l'Italie, le Monténégro et la Slovénie) ont transmis leurs données au système d'information pilote de l'IMAP pour la période 2015-2020 en vue de proposer les valeurs des critères d'évaluation sous-régionaux pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID. Il convient de noter que l'Albanie, la Bosnie-Herzégovine et la Grèce n'ont pas fourni de données ou ont fourni des données insuffisantes pour être utilisées. La couverture géographique et les stations pour lesquelles des données ont été fournies sont présentées dans le tableau 1 et à la figure 1.

⁶ Giovanardi, F., Tromellini, E., (1992). « An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system ». *Science of the Total Environment*, supplément, p. 201 à 210.

⁷ Vollenweider, R.A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A. (1998). « Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters ». *Environmetrics*, 9, p. 329 à 357.

⁸ Giovanardi, F., Francé, J., Mozetič, P., Precali, R. (2018). « Development of ecological classification criteria for the Biological Quality Element phytoplankton for Adriatic and Tyrrhenian coastal waters by means of chlorophyll *a* (2000/60/EC WFD) ». *Ecological Indicators*, 93, p. 316 à 332.

⁹ UNEP/MED WG.492/11 (2021), Point 6 de l'ordre du jour : Questions transversales — Règles d'intégration et d'agrégation pour les objectifs écologiques 5, 9 et 10 de l'IMAP et critères d'évaluation pour les contaminants et les nutriments, Méthodologie des critères d'évaluation pour l'indicateur commun 13 de l'IMAP : Application pilote dans la sous-région de l'Adriatique.

¹⁰ UNEP/MED WG.492/Inf.12 (2021), Point 6 de l'ordre du jour : Questions transversales — Règles d'intégration et d'agrégation pour les objectifs écologiques 5, 9 et 10 de l'IMAP et critères d'évaluation pour les contaminants et les nutriments, Analyse des méthodologies disponibles pour l'établissement des critères d'évaluation de l'indicateur commun 13 de l'IMAP.

¹¹ COP 19 (2016). Décision IG.22/7 — Programme de surveillance et d'évaluation intégrées de la mer et des côtes méditerranéennes et critères d'évaluation connexes (IMAP). COP 19, Athènes, Grèce. Programme des Nations Unies pour l'environnement/Plan d'action pour la Méditerranée, Athènes.

Tableau 1. Période de collecte des données, stations et nombre de données enregistrées pour l'ensemble de données utilisé aux fins du calcul des critères d'évaluation.

Pays	Période de collecte des données	Stations	Nombre de données enregistrées
Croatie	2016-2019	20	6 216
Italie	2015-2020	54	415 188
Monténégro	2015-2019	12	6 204
Slovénie	2015-2020	12	13 147

8. On trouvera une analyse plus détaillée de la disponibilité des données pour le calcul des critères d'évaluation dans la sous-région de l'Adriatique à l'Annexe I.

9. La collecte et la présentation des données peuvent être exécutées à l'aide de R, un langage à code source ouvert largement utilisé pour l'analyse statistique et la présentation graphique (R Development Core Team, 2022¹²). Les cartes sont élaborées à l'aide de QGIS 3.24, un outil SIG à code source ouvert.



Figure 1. Stations utilisées pour proposer les critères d'évaluation de la sous-région de l'Adriatique. Les données utilisées ont été collectées au cours de la période allant de 2015 à 2020.

10. Les données ont été agrégées, évaluées et corrigées le cas échéant, à l'aide du logiciel de gestion de base de données Paradox pour Windows 11. Les données préparées ont été transférées vers R, puis validées et transformées en utilisant les capacités de base de données de R. Une attention particulière a été accordée au traitement des données en deçà de la limite de détection, car elles peuvent représenter une part importante des données et fausser l'évaluation. Les données en deçà de

¹² R Development Core Team (2022). « R: A language and environment for statistical computing ». R Foundation for Statistical Computing, Vienne, Autriche. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>

la limite de détection ont fait l'objet d'un nouveau calcul à l'aide du package statistique *NADA* (Nondetects and Data Analysis for Environmental Data) de R. L'estimateur *ROS* a également été appliqué, ce qui signifie que toutes les valeurs en deçà de la limite de détection ont été traitées statistiquement et ne peuvent être utilisées que pour le calcul des valeurs moyennes.

11. La fonction *ROS* de R permet d'exécuter une régression de statistiques d'ordre. Il s'agit d'une méthode semi-paramétrique pour les données censurées qui suppose une répartition paramétrique sous-jacente pour les valeurs non censurées. Cette méthode repose sur un modèle de régression linéaire simple utilisant des valeurs détectées ordonnées et des quantiles de distribution (normale ou log-normale) afin d'estimer la concentration des valeurs censurées. Elle consiste en une procédure de tracé de probabilité et de régression qui attribue les données censurées en utilisant les paramètres estimés d'un modèle de régression linéaire des valeurs observées non censurées par rapport à leurs quantiles normaux (ou log-normaux).

12. L'hypothèse requise stipule que la variable de réaction constitue une fonction linéaire des quantiles normaux (log-normaux). Les valeurs attribuées ne sont utilisées que collectivement pour estimer les statistiques sommaires et elles ne sont pas considérées comme des estimations pour des échantillons spécifiques. Cette méthode est recommandée pour les grands ensembles de données ($n > 50$) comportant moins de 50 % de censure et des niveaux de censure multiples, ainsi que pour les petits ensembles de données ($n < 50$) comportant moins de 80 % de censure et des niveaux de censure multiples. Elle peut également être utilisée pour les ensembles de données ne présentant qu'un seul niveau de censure. Les ensembles de données reconstruits (où les valeurs en deçà de la limite de détection obtenues par *ROS* ont été substituées) ont été utilisés afin d'établir les critères d'évaluation de la concentration de chlorophylle *a*, de PT et de NID.

13. Seules les couches de surface, principales couches d'impact de l'eutrophisation, ont fait l'objet de cette étude. En effet, les eaux douces constituent le principal facteur de pression et contribuent largement à la stratification de la colonne d'eau ; elles confinent donc les nutriments nouvellement captés au niveau de la couche de surface essentiellement.

14. Les scripts R et les résultats pour le calcul des conditions de référence et des valeurs limites pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID figurent à l'Annexe II.

2.2 Typologie des eaux

15. La typologie des eaux est très importante pour le développement ultérieur des systèmes de classification d'une zone donnée. La première étape de la définition des conditions de référence et des valeurs limites pour une zone donnée, en l'occurrence la sous-région de l'Adriatique, consiste à identifier les types d'eaux présents dans la zone et à leur attribuer les données liées aux limites de densité ou de salinité, tel que prévu par la décision IG.22/7 (COP 19, 2016). La classification des principaux types d'eaux côtières se fonde uniquement sur un critère de salinité qui est parfaitement comparable à celui de la densité (tableau 2). L'utilisation du seul critère de la salinité a été proposée lors du processus d'interétalonnage de la DCE (Carletti et Heiskanen, 2009¹³).

Tableau 2. Types d'eau pour la sous-région de l'Adriatique

	Type I	Type IIA, IIA Adriatique	Type IIW
σ_t (densité)	<25	25<d<27	>27
S (salinité)	<34.5	34.5<S<37.5	>37.5

¹³ Carletti, A., Heiskanen, A. S. (2009). « Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3: Coastal and Transitional waters ». JRC-IES EUR 23838 EN/3, p. 244.

16. En ce qui concerne la sous-région de l'Adriatique, les types d'eaux pertinents sont le type I, le type IIA Adriatique et le type IIIW, comme le montre la figure 2. L'identification des types d'eaux nécessite l'utilisation de la moyenne de surface sur cinq ans (Carletti et Heiskanen, 2009). Cependant, dans le cadre des présents travaux entrepris pour la sous-région de l'Adriatique, toutes les moyennes géométriques par station ont été utilisées, car la disponibilité des données varie de 4 à 6 ans seulement, en fonction des données communiquées par les Parties contractantes (tableau 1), ainsi que du nombre plutôt inégal d'échantillonnages par année. Les types d'eaux ainsi identifiés ont été associés aux données aux fins du traitement ultérieur des données selon les types d'eaux.

2.3 Conditions de référence

17. Les conditions de référence sont une description des éléments de qualité biologique que comprend ou comprendrait un bon état écologique, c'est-à-dire sans aucune ou avec très peu de perturbations dues aux activités humaines. L'établissement de normes en ce qui concerne les conditions de référence est censé permettre d'évaluer la qualité écologique par rapport à ces normes (document d'orientation n° 5 de la CIS de la DCE, 2003¹⁴).

18. Comme le suggère la procédure établie et exposée dans les documents UNEP/MED WG.492/11 et UNEP/MED WG.492/Inf.12, le facteur de dilution (Fdil) a été utilisé afin de définir les conditions de référence à partir des concentrations de chlorophylle *a*. La ligne de séparation peut être interprétée comme le seuil entre les pressions naturelles et les pressions anthropiques. On suppose que les charges en nutriments, qu'elles soient naturelles ou générées par des activités humaines mineures, déterminent une réaction des systèmes côtiers qui est bien représentée par les concentrations de chlorophylle *a* situées sur la courbe (figure 3).

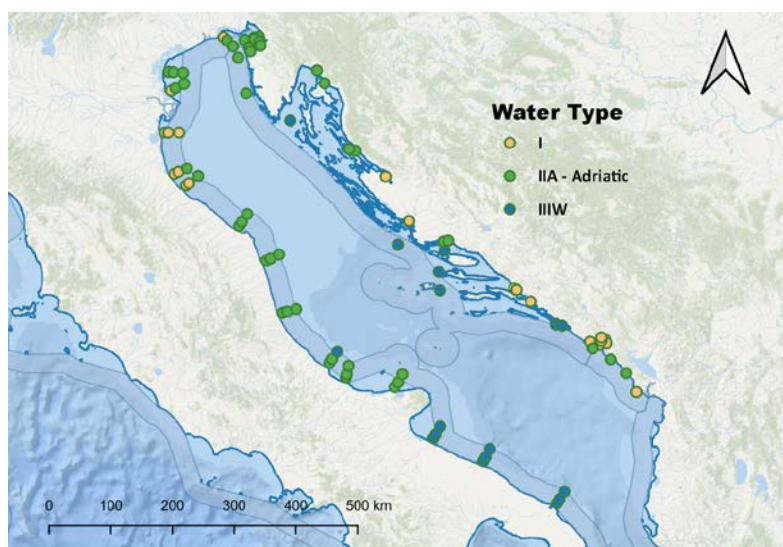


Figure 2. Répartition des types d'eaux au niveau des stations de surveillance qui ont été utilisées pour proposer des critères d'évaluation sous-régionaux pour la sous-région de l'Adriatique.

19. Il est impossible d'utiliser la même approche pour les nutriments, étant donné que le facteur de dilution représente une mesure intégrée des pressions exercées par le nutriment sur l'écosystème. Les conditions de référence pour les nutriments sont dérivées de la relation entre les pressions et les effets.

¹⁴ Stratégie commune de mise en œuvre de la DCE, document d'orientation n° 5 (2003). Transitional and Coastal Waters Typology, Reference Conditions and Classification Systems.

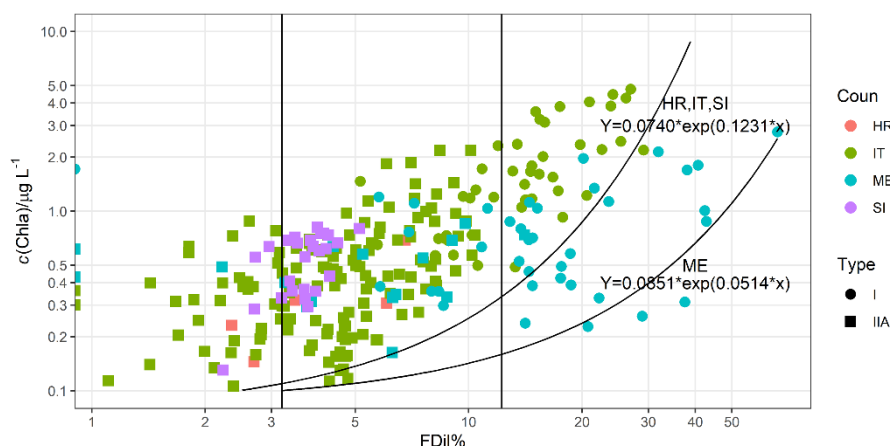


Figure 3. Nuage de points illustrant les moyennes géométriques (MG) annuelles des concentrations de chlorophylle *a* (Chla) en fonction du facteur de dilution (FDil) pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique. La courbe marque la limite inférieure des valeurs des conditions de référence pour la chlorophylle *a*. Les lignes verticales représentent les délimitations des types d'eaux utilisées comme facteur de dilution et calculées à partir des limites de salinité du tableau 2 (voir les explications apportées plus loin dans le texte).

20. Les facteurs de dilution sont calculés par rapport à la salinité à 10 m des stations les plus éloignées (censées représenter les eaux non influencées) pour trois zones de la sous-région de l'Adriatique (Adriatique nord — 38,60 ; Adriatique centre — 38,80 ; et Adriatique sud — 38,90). Pour calculer la délimitation des facteurs de dilution, une salinité de 38,77 a été utilisée. La valeur limite pour les eaux de type IIA Adriatique (tableau 2) est de $34,5 < S < 37,5$ et correspond à un facteur de dilution de $10,97 < \text{FDil} < 3,28$. Ces délimitations de types d'eaux basées sur le facteur de dilution représentent les eaux les moins influencées de cette catégorie et constituent une bonne estimation des conditions de référence des eaux de type I et de type IIA Adriatique.

21. Les meilleures relations fonctionnelles entre les conditions de référence pour la chlorophylle *a* et le facteur de dilution étaient toujours exponentielles. Les équations décrivant ces relations ont été utilisées pour dériver des conditions de référence pour la chlorophylle *a* spécifiques à chaque type d'eaux, correspondant à la valeur limite du facteur de dilution. Le tableau 3 résume les résultats de ces calculs.

Tableau 3. Tableau récapitulatif des conditions de référence (CR) pour l'élément de qualité biologique phytoplancton, basées sur la chlorophylle *a*

Pays	Type	Relations fonctionnelles	F_dil (%) Border	RC - Chl-a (µg/L) as G_Mean
HR, IT, SI	Type I	$y = 0.0740 e^{0.1231x}$	10.97	0.29
ME		$y = 0.0851 e^{0.0514x}$	10.97	0.15
HR, IT, ME, SI	Type IIA Adriatic.	$y = 0.0740 e^{0.1231x}$	3.28	0.11

22. D'après la figure 2.2, les eaux de type I observées au Monténégro se distinguent du reste de la mer Adriatique, et sont pratiquement confinées à la baie de Boka Kotorska. Les eaux de type IIA Adriatique sont comparables au reste de la mer Adriatique.

2.4 Relation pression-effet

23. Il est essentiel de déterminer la relation pression-effet pour établir les conditions de référence pour les nutriments. La sensibilité des indicateurs sélectionnés aux différents indicateurs de pression a été évaluée au moyen d'une analyse de régression multiple fondée sur des modèles linéaires. Au moyen de cette analyse de régression par étapes, les variations de la concentration de chlorophylle *a* ont été testées par rapport aux composantes de l'indice TRIX (PT, NID, pourcentage absolu de déviation de la saturation en oxygène (aD_O)) et au facteur de dilution comme indicateurs de pression.

24. La fonction *stepAIC* du package *MASS* réalisant une sélection descendante (backward) a été utilisée. La normalité et l'hétéroscédasticité peuvent ainsi être facilement contrôlées à partir de la fonction de tracé du package *MASS*. Des données transformées log10 ont également été utilisées.

25. Pour le type I, parmi toutes les combinaisons possibles, la technique de régression par étapes a abouti au modèle linéaire (ML) suivant :

$$lm(formula = Chla \sim DIN + aD_O, data = Type_I)$$

26. Le modèle linéaire ajusté explique 43 % de la variabilité totale des concentrations de chlorophylle *a* et c'est le NID qui pèse le plus dans la détermination de cette variabilité. Le tableau 4 présente un résumé des statistiques.

Tableau 4. Résultats de la régression par étapes appliquée aux données des eaux côtières de type I. Pour chaque coefficient de régression (estimation), la valeur du test de Student (dans l'hypothèse $\beta = 0$), la valeur *P* relative et le degré d'importance traduit par le nombre d'astérisques sont fournis.

	Estimate (β)	t value	Pr(> t)	Sign.
(Intercept)	-0.48660	-6.336	1.35e ⁻⁸	***
<i>DIN</i>	0.68686	7.676	3.72e ⁻¹¹	***
<i>aD_O</i>	0.13539	2.510	0.0141	*
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
<i>R</i> ² : 0.4306, <i>F</i> : 29.87 on 2 and 79 DF, <i>p</i> : 2.181e ⁻¹⁰				

27. Pour les eaux de type IIA Adriatique, la technique de régression par étapes a abouti au modèle linéaire suivant :

$$lm(Chla \sim TP + DIN + FDil, data = Type_IIA)$$

28. Le modèle linéaire applique trois régresseurs, le PT et le NID ayant un poids largement dominant par rapport au facteur de dilution (tableau 5). En outre, les valeurs *R* au carré indiquent que ce modèle n'explique que 23 % de la variabilité totale des concentrations de chlorophylle *a*.

Tableau 5. Résultats de la régression par étapes appliquée aux données des eaux de type IIA Adriatique. Pour chaque coefficient de régression (estimation), la valeur du test de Student (dans l'hypothèse $\beta = 0$), la valeur *P* relative et le degré d'importance traduit par le nombre d'astérisques sont fournis.

	Estimate (β)	t value	Pr(> t)	Sign.
(Intercept)	-0.74682	-14.667	< 2e-16	***
<i>TP</i>	-0.36696	-6.293	1.9e ⁻⁹	***
<i>DIN</i>	0.21336	3.875	0.000144	***
<i>FDil</i>	0.10993	2.579	0.010622	*
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Multiple <i>R</i> ² : 0.2249, <i>F</i> -statistic: 19.53 on 3 and 202 DF, <i>P</i> -value: 3.678e ⁻¹¹				

29. Les relations calculées ci-dessus ont montré que la sensibilité de la chlorophylle *a*, considérée comme la réaction des systèmes côtiers à la disponibilité des nutriments en termes de production de biomasse phytoplanctonique, n'est pas largement contrôlée par le phosphore total comme observé dans les données de la DCE pour la période 2007-2009, qui a été d'autre part précédemment utilisé pour définir les valeurs limites de l'élément de qualité biologique (EQB) « phytoplancton » de la DCE par Giovanardi et al. (2018) et ensuite transposé aux critères d'évaluation de l'IMAP pour la chlorophylle *a* (IMAP, 2017) dans la sous-région de l'Adriatique. Une grande partie des calculs, en particulier dans les eaux de type I, montre que la concentration de NID peut expliquer jusqu'à 40 % de la concentration de chlorophylle *a*, ce qui permet de considérer le NID comme principal indicateur de pression. Tous ces résultats doivent être testés plus avant, car ces relations n'ont été mises à l'essai qu'au niveau de toute l'Adriatique, les données disponibles pour la partie orientale de l'Adriatique ne permettant pas de tester ces considérations à des échelles plus détaillées.

30. Les principales équations de régression, obtenues à partir des modèles de régression présentés ci-dessous dans la figure 4 et dans la figure 5, ont ensuite été utilisées pour déterminer les critères d'évaluation qui sont résumés dans le tableau 6. Il convient de souligner que la classification écologique de la DCE a été effectuée pour les données recueillies entre 2007 et 2009 et provenant des eaux côtières, c'est-à-dire dans les eaux intérieures ou à partir de la ligne côtière jusqu'à 1 mille marin. Les données collectées entre 2015 et 2020 proviennent des eaux libres de l'Italie, c'est-à-dire à partir des eaux côtières vers l'extérieur. Pour la Croatie et la Slovénie, les sites retenus sont très proches de ceux choisis pour la période 2007-2009. Les données du Monténégro sont collectées de manière appropriée pour la période 2015-2019 depuis des stations situées dans les eaux côtières.

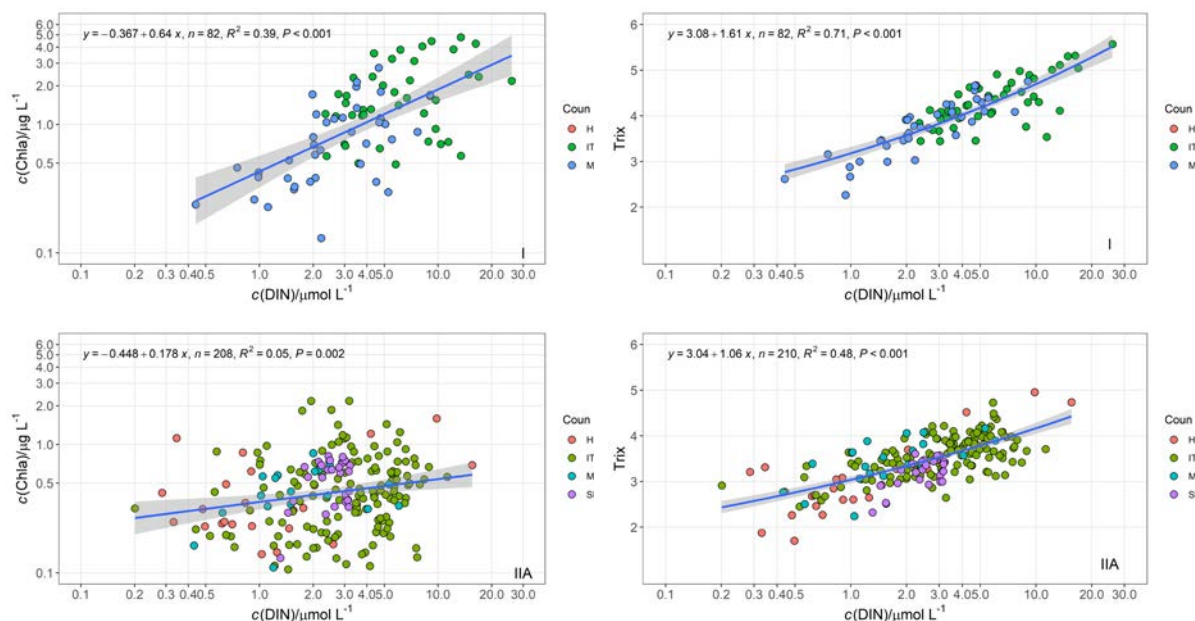


Figure 4. Nuage de points illustrant les moyennes géométriques (MG) annuelles des concentrations de chlorophylle *a* (Chla, à gauche) et de l'indice trophique (TRIX, à droite) en fonction de la concentration de NID pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique. Une ligne de régression d'après le modèle linéaire comportant des erreurs standard est tracée par-dessus les données. L'équation, le nombre de données, le R^2 et les valeurs P sont indiqués en haut à gauche.

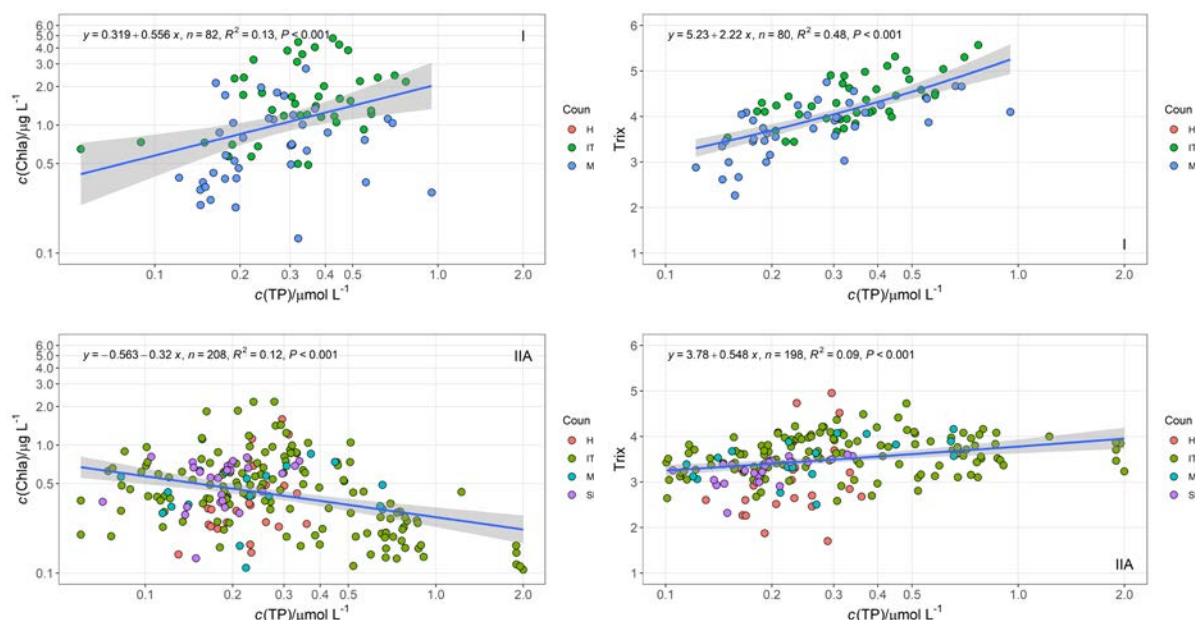


Figure 5. Nuage de points illustrant les moyennes géométriques (MG) annuelles des concentrations de chlorophylle *a* (Chla, à gauche) et de l'indice trophique (TRIX, à droite) en fonction de la concentration de PT pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique. Une ligne de régression d'après le modèle linéaire comportant des erreurs standard relatives aux moyennes est tracée par-dessus les données. L'équation, le nombre de données, le R^2 et les valeurs P sont indiqués en haut à gauche.

Tableau 6. Liste des relations fonctionnelles d'intérêt par type d'eaux. Pour chaque équation de régression, la taille de l'échantillon *N*, les valeurs *R* au carré et les valeurs *P* sont fournies.

Functional link	Period	Type I	Type IIA Adriatic
1. TP vs TRIX	2007-2009	[TP] = exp [(TRIX – 6.064)/1.349] N = 15	[TP] = exp [(TRIX – 6.148)/1.583] N = 52
	2015-2020	[TP] = 10 [^] [(TRIX - 5.23)/2.22] N = 80; R ² = 0.48; P <0.001	[TP] = 10 [^] [(TRIX - 3.78)/0.548] N = 198; R ² = 0.09; P <0.001
2. DIN vs TRIX	2007-2009	-	-
	2015-2020	[DIN] = 10 [^] [(TRIX –3.08)/1.61] N = 82; R ² = 0.71; P <0.001	[DIN] = 10 [^] [(TRIX – 3.04)/1.06] N = 210; R ² = 0.48; P <0.001
3. Chla vs TP	2007-2009	[Chla] = 10.591 [TP] 1.237 N = 15; R ² = 0.835; P = 4.45 10 ⁻⁶	[Chla] = 3.978 [TP] 1.347 N = 52; R ² = 0.896; P = 2.2 10 ⁻¹⁶
	2015-2020	[Chla] = 2.084 [TP] 0.556 N = 82; R ² = 0.13; P <0.001	[Chla] = 0.274 [TP] -0.32 N = 208; R ² = 0.12; P <0.001
4. Chla vs DIN	2007-2009	-	-
	2015-2020	[Chla] = 0.4295 [DIN] 0.64 N = 82; R ² = 0.39; P <0.001	[Chla] = 0.3565 [DIN] 0.178 N = 208; R ² = 0.05; P =0.002
À partir de Giovanardi et al., 2018		Données utilisées pour l'évaluation 2015-2020	

31. La nature de ces relations est presque toujours de type *log-log*, ce qui fournit le plus haut degré de corrélation. Les équations de la ligne 1 et de la ligne 2 ont été obtenues à partir de la relation inverse entre l'indice TRIX et ses composantes PT et NID. Pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique, ces équations ont été préparées séparément pour chaque type d'eaux, en utilisant les mêmes données que celles utilisées pour évaluer les relations fonctionnelles entre le PT et le NID, d'une part, et la chlorophylle *a*, d'autre part. Enfin, les équations de la ligne 3 et de la ligne 4 exploitent la relation entre le PT et le NID et la chlorophylle *a*, l'objectif étant de délimiter les classes de qualité écologique du critère de classification, tant pour les conditions de référence que pour les valeurs limites.

3 Proposition de conditions de référence et de valeurs limites pour la chlorophylle *a*, le NID et le PT dans la sous-région de l'Adriatique

32. Ayant défini les conditions de référence relatives aux nutriments pour les eaux côtières de type I et de type IIA Adriatique et ayant mis en évidence leurs relations pression-effet, on dispose de tous les outils nécessaires pour définir les critères de classification de l'élément de qualité biologique (EQB) « phytoplancton » dans les eaux côtières de l'Adriatique. Étant donné que l'indice trophique (Vollenweider et al., 1998) a été développé en premier lieu pour le nord de l'Adriatique et que son utilisation écologique est bien connue, il a servi d'échelle interne pour établir les valeurs limites de l'ensemble de la sous-région de l'Adriatique.

33. À partir de la relation fonctionnelle exposée dans le tableau 6 (et présentée dans les figures 3 et 4) et en se basant sur la pertinence statistique, seule la relation entre la chlorophylle *a* et le NID peut être utilisée pour délimiter les classes de qualité écologique et seulement pour les eaux de type I. On peut également observer que les valeurs de l'indice TRIX ne dépassent pas 5,5 pour les eaux de type I et 5 pour les eaux de type IIA Adriatique, ce qui indique qu'en général, les eaux sont en bon état écologique. Pour cette raison, seules les valeurs limites des classes de qualité écologique allant jusqu'aux valeurs limites bonnes/moyennes sont proposées, comme indiqué dans le tableau 7. Tous ces éléments indiquent que la majorité des processus néfastes, sur le plan de l'eutrophisation, se produisent dans les eaux côtières. Si l'on considère l'échelle géographique, les processus sous-jacents présentent probablement une variabilité encore plus importante.

34. La première étape a donc consisté à calculer les conditions de référence pour les eaux de l'Adriatique de type I à partir de la relation fonctionnelle entre la chlorophylle *a* et le NID (tableau 6, ligne 4), ce qui a donné, respectivement, 0,19 µmol/L pour la Croatie, l'Italie et la Slovénie et 0,16 µmol/L pour le Monténégro.

35. L'étape suivante dans l'établissement des valeurs limites a été la définition de la limite la plus importante, à savoir la limite « bon/moyen » (B/M), qui délimite la nécessité de prendre des mesures en cas de défaillance du bon état écologique. Tout d'abord, la limite a été fixée pour le NID, qui semble être le meilleur indicateur de pression pour le phytoplancton en ce qui concerne les eaux de type I, comme expliqué ci-dessus. La limite B/M pour le NID a été calculée à l'aide des équations de la ligne 2 du tableau 6 et fixée à la limite TRIX correspondante entre un bon état trophique et un état médiocre (TRIX = 5 ; Giovanardi et al., 2018), qui correspond à la transition entre les conditions mésotrophes et eutrophes dans l'écosystème côtier. Pour les eaux de type I, la valeur de l'indice TRIX dont est dérivée la limite B/M a été augmentée à 5,25 afin de prendre en compte les charges de nutriments provenant de sources naturelles transportées par le Pô dans la mer Adriatique, vraisemblablement en quantités non négligeables. À partir de la limite B/M pour l'indice TRIX, la limite B/M pour le NID a été fixée à 22,3 µmol/L pour les eaux de type I. Toutes les valeurs des limites pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique ont été calculées de la même manière (tableaux 7 et 8).

36. Dans les tableaux 7 et 8, les valeurs des critères d'évaluation, c'est-à-dire les conditions de références et les valeurs limites pour les eaux marines (offshore), ont été calculées à partir des données rapportées au cours de la période 2015-2020 et considérées comme étant de qualité suffisante dans le système d'information pilote de l'IMAP. Les valeurs des critères d'évaluation pour les eaux côtières proviennent de Giovanardi et al. (2018), et les valeurs B/M pour la chlorophylle *a* dans les eaux côtières sont celles approuvées dans la décision IG.22/7 de l'IMAP (COP 19, 2016). Étant donné que l'Italie n'a pas fourni de données pour les eaux côtières, les données croates pour la partie orientale de l'Adriatique ne permettent pas de calculer les critères d'évaluation pour la période 2015-2020 dans cette partie de l'Adriatique. Par conséquent, il est suggéré d'utiliser les valeurs obtenues pour définir les critères de classification de l'élément de qualité biologique (EQB) « phytoplancton » pour la DCE (tableaux 7 et 8), comme cela a été suggéré par le Groupe de travail en ligne sur l'eutrophisation (2015) et établi par la décision de l'IMAP (IG.22/7, COP 19, 2016). Pour les eaux de type I, les valeurs limites peuvent être calculées jusqu'au seuil moyen/médiocre en raison dans la mesure où les données n'atteignent jamais des valeurs supérieures à 5,5 pour l'indice TRIX. Cela indique qu'aucun processus d'eutrophisation avancée n'est en cours dans la sous-région de l'Adriatique.

37. Pour les eaux de type IIA Adriatique (tableau 8), les données montrent que les processus d'assimilation (TRIX jusqu'à 5, comme présenté dans les figures 3 et 4) ne se manifestent pas dans les eaux marines (offshore), indiquant le caractère oligotrophe de ces eaux. De ce fait, l'établissement des critères d'évaluation pour ce type d'eaux n'est pas satisfaisant.

Tableau 7. Conditions de référence et valeurs limites en tant que moyenne géométrique (MG) annuelle pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID dans les eaux côtières et marines (offshore) de type I de la mer Adriatique.

Boundaries	TRI X	Eaux côtières		Eaux marines (offshore)	
		c(Chla)/µg L-1	c(TP)/µmol L-1	c(Chla)/µg L-1	c(DIN)/µmol L-1
RC	-	1.4 ^b	0.19 ^a	0,15*; 0.29**	0.21*; 0.66**
H/G	4.25	2.0 ^a	0.26 ^a	1.25	5.3
G/M	5.25	5.0 ^b	0.55 ^a	3.1	22.3
M/P	6.25	12.6 ^a	1.15 ^a	7.8	93.1
P/B	7	25.0 ^a	2.00 ^a		
*for ME; **for HR, IT, SI					
^a À partir de Giovanardi et al., 2018 ; ^b délimitations de la Chla pour l'état B/M, tel qu'approuvé dans la décision IG.22/7					

Tableau 8. Conditions de référence et limites des critères d'évaluation en tant que moyenne géométrique (MG) annuelle pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID dans les eaux côtières et marines (offshore) de type IIA Adriatique.

Boundaries	TRIX	Eaux côtières		Eaux marines (offshore)	
		<i>c</i> (Chla)/µg L ⁻¹	<i>c</i> (TP)/µmol L ⁻¹	<i>c</i> (Chla)/µg L ⁻¹	<i>c</i> (DIN)/µmol L ⁻¹
RC	-	0.33 ^b	0.16 ^a	0.11	
H/G	4.25	0.64 ^a	0.26 ^a		
G/M	5.25	1.5 ^b	0.48 ^a		
M/P	6.25	3.5 ^a	0.91 ^a		
P/B	7	8.2 ^a	1.71 ^a		

^aÀ partir de Giovanardi et al., 2018 ; ^bdélimitations de la Chla pour l'état B/M, tel qu'approuvé dans la décision IG.22/7

Eaux de l'Adriatique de type IIIW

38. En suivant la même approche que celle utilisée pour les eaux de type I et de type IIA Adriatique, les moyennes géométriques globales des concentrations de nutriments ont été mises en relation avec la concentration de chlorophylle *a* pour les eaux de type IIIW. Aucune corrélation (figure 5) n'a été trouvée pour le TP ($R^2 < 0,01$; $P = 0,732$) comme pour le NID ($R^2 = 0,05$; $P = 0,093$). De plus, les valeurs globales de la moyenne géométrique des concentrations de chlorophylle *a* varient entre environ 0,1 et environ 0,4 µg/L. Étant donné que le schéma de classification écologique se compose de 5 classes de qualité écologique, la limite de discrimination entre deux valeurs annuelles contiguës concernant la moyenne géométrique des concentrations de chlorophylle *a* ne serait pas adaptée à une classification correcte et sûre (Giovanardi et al., 2018). Pour cette raison, une seule valeur seuil est donc proposée pour les eaux de l'Adriatique de type IIIW, à savoir les valeurs « très bon/bon » de 0,64 µmol/L pour la chlorophylle *a* et de 0,26 µmol/L pour le PT attribuées pour les eaux de type IIA Adriatique.

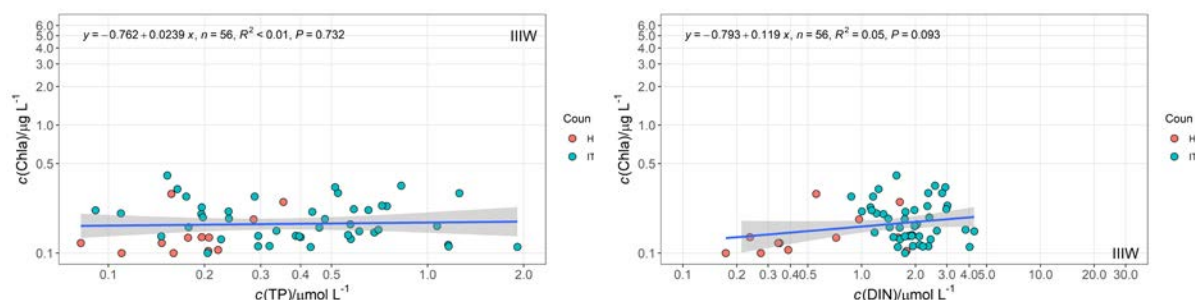


Figure 5. Nuage de points illustrant les moyennes géométriques (MG) annuelles des concentrations de chlorophylle *a* (Chla) contre les concentrations de PT (à gauche) et celles de NID (à droite) dans les eaux de l'Adriatique de type IIIW. Une ligne de régression d'après le modèle linéaire comportant des erreurs standard est tracée par-dessus les données. L'équation, le nombre de données, le R^2 et les valeurs P sont indiqués en haut à gauche.

4 Résultats principaux

39. Les conditions de référence et les valeurs limites bonnes/moyennes des critères d'évaluation en tant que moyenne géométrique annuelle pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID dans les eaux côtières et marines (offshore) de la sous-région de l'Adriatique sont présentées dans le tableau 9. Les résultats figurant dans le présent document sont soumis à l'examen et à l'approbation de la présente réunion.

Tableau 9. Conditions de référence et valeurs limites bonnes/moyennes en tant que moyenne géométrique (MG) annuelle pour la chlorophylle *a*, le PT et le NID dans les eaux côtières et marines (offshore) de la sous-région de l'Adriatique.

Water type	Boundaries	Eaux côtières		Eaux marines (offshore)	
		c(Chla)/µg L ⁻¹	c(TP)/µmol L ⁻¹	c(Chla)/µg L ⁻¹	c(DIN)/µmol L ⁻¹
WT I (in the Adriatic Sea Sub-region)	RC	1.4 ^b	0.19 ^a	0.15*; 0.29**	0.21*; 0.66**
	G/M	5.0 ^b	0.55 ^a	3.1	22.3
WT IIA Adriatic	RC	0.33 ^b	0.16 ^a	0.11	-
	G/M	1.5 ^b	0.48 ^a	-	-
*pour le Monténégro ; **pour la Croatie, l'Italie et la Slovénie					
^a À partir de Giovanardi et al, 2018 ; ^b délimitations de la Chla pour l'état B/M, tel qu'approuvé dans la décision IG.22/7					

40. En vue d'améliorer les critères d'évaluation, c'est-à-dire les conditions de référence et les valeurs limites pour le NID, le PT et la chlorophylle *a*, les Parties contractantes doivent au minimum fournir les ensembles de données suivants : trois années continues de surveillance, avec une fréquence minimale mensuelle pour les eaux de type I et de type IIA et bimensuelle à saisonnière pour les eaux de type III. Il convient également de noter que d'autres paramètres d'appui (c'est-à-dire la température, la salinité et l'oxygène dissous) doivent être disponibles pour définir la typologie des eaux.

41. Pour les eaux marines (offshore) de type I, les valeurs de l'indice TRIX n'ont jamais dépassé 5,5, ce qui indique qu'aucun processus d'eutrophisation avancée n'est en cours dans la sous-région de l'Adriatique. Pour les eaux de type IIA Adriatique, les données montrent que les processus d'assimilation (TRIX jusqu'à 5) ne se manifestent pas dans les eaux marines (offshore), indiquant le caractère oligotrophe de ces eaux.

42. Les conditions de référence et les valeurs limites bonnes/moyennes proposées ne concernent que la sous-région de l'Adriatique. Les Parties contractantes doivent impérativement transmettre sans délai toutes leurs données de surveillance en attente au système d'information de l'IMAP pour les trois autres sous-régions méditerranéennes, à savoir la sous-région de la Méditerranée occidentale (WMS), la sous-région de la Méditerranée centrale (CEN) et la sous-région de la mer Égée-bassin Levantin (AEL). Il s'agit d'une condition préalable à la prise de décision sur l'application des outils et des méthodes qui seront jugés optimaux pour le calcul des conditions de référence et des valeurs limites dans ces sous-régions. Il convient également de prêter attention à l'utilisation éventuelle des approches méthodologiques recommandées dans le document UNEP/MED WG. 493/11. Cette tâche complexe doit être entreprise sous la direction des Parties contractantes, y compris par le biais du Groupe de travail en ligne (OWG) sur l'eutrophisation (EO5), comme recommandé par la réunion du CORMON sur la surveillance de la pollution (avril 2021).

Annexe I

Données analysées aux fins du calcul des conditions de référence et des valeurs limites dans la sous-région de l'Adriatique

The elaboration of data available for calculation of the assessment criteria for DIN and TP in the Adriatic Sea Sub-region includes the following sources:

- 1) New data from IMAP Pilot Info System that include national monitoring data reported during its testing phase, and in particular after launching a formal call for data reporting in November 2021;
- 2) All monitoring data from the MED POL Database (i.e. data reported before 2012 that were uploaded into the MED POL Database along with data reported in the period from 2013 to 2019 to MED POL outside the MED POL Database in the format of old metadata templates); these data were migrated to the IMAP Pilot Info System.
- 3) Data reported to the EMODNET database by Croatia, Italy and Slovenia were undertaken and controlled. However, the format of these datasets did not allow for their use in the calculation of the assessment criteria.

A summary of data reported both to the IMAP Pilot Info System and the MED POL Database is presented in Table 1.

Tableau 1. Datasets from the IMAP Pilot Info System and the MED POL Database available for calculation of the assessment criteria for DIN and TP.

Country	Data reported to the MEDPOL Database **	Data reported to IMAP Pilot Info system*	
		Validated	Not validated
Albania	2005-2006	***	
Bosnia and Hercegovina	2006-2008	2013-2020	
Croatia	2009, 2011-2014	-	2016-2019
Italy	-	-	2015-2020
Montenegro	2008-2012; 2014-2015; 2016-2017	-	2018-2019
Slovenia	1999-2013, 2015-2016	2017-2020	

*Both validated and not validated data have been used to increase data points for calculation of the assessment criteria for DIN and TP, given temporary not validated status may be assigned to data due to certain technical issues in IMAP Pilot Info System

** Given the insufficient quantity of data reported in the period from 2018 to 2022, all data reported up to 2017 to the MED POL database were taken into account

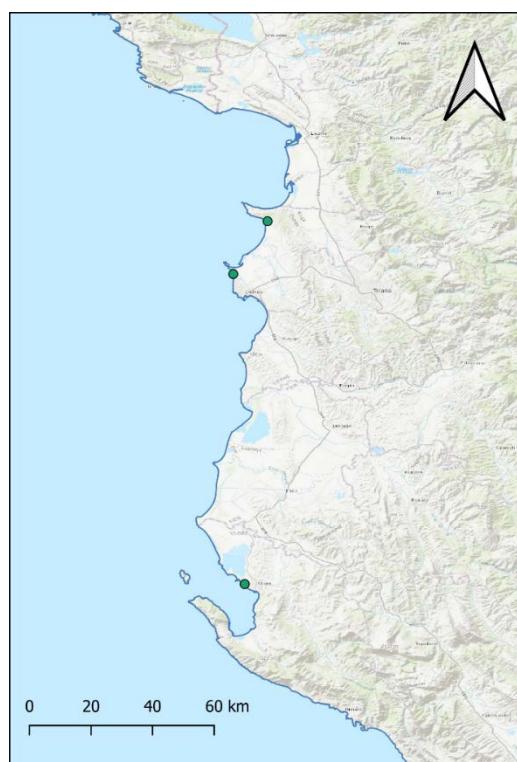
***Before the finalization of the present work, there was no improvement in insufficient quality of data generated at a few monitoring stations in Albania in 2019 within the GEF Adriatic Project.

It can be concluded that data available for calculation of the assessment criteria (i.e., reference conditions (RCs) and boundary values for both DIN and TP are sufficient for Italy and Slovenia. Data for Bosnia and Hercegovina, Croatian and Montenegro need to be additionally validated. Greece does not report data in the ADR. Namely, for calculation of the RCs and boundary values as a minimum the following datasets need to be provided: three continuous years of monitoring with a minimum monthly frequency for Water types I and II and bimonthly to seasonal for Type III. It should also be noted that other supporting parameters (i.e., temperature, salinity and dissolved oxygen) need to be available for defining the water typology.

Albania

The table below provides the datasets for the period from 2005 to 2006 reported by Albania to the MEDPOL Database. No further datasets were received from Albania.¹⁵

Count of Concentration	Year ▼		
Parameter ▼	2005	2006	Total
Ammonium	3	3	6
Dissolved oxygen	3	3	6
Nitrate	3	3	6
Nitrate + Nitrite	3	3	6
Nitrite	3	3	6
Orthophosphate	3	3	6
Temperature (water)	3	3	6
Total phosphorus	3	3	6
Total	24	24	48

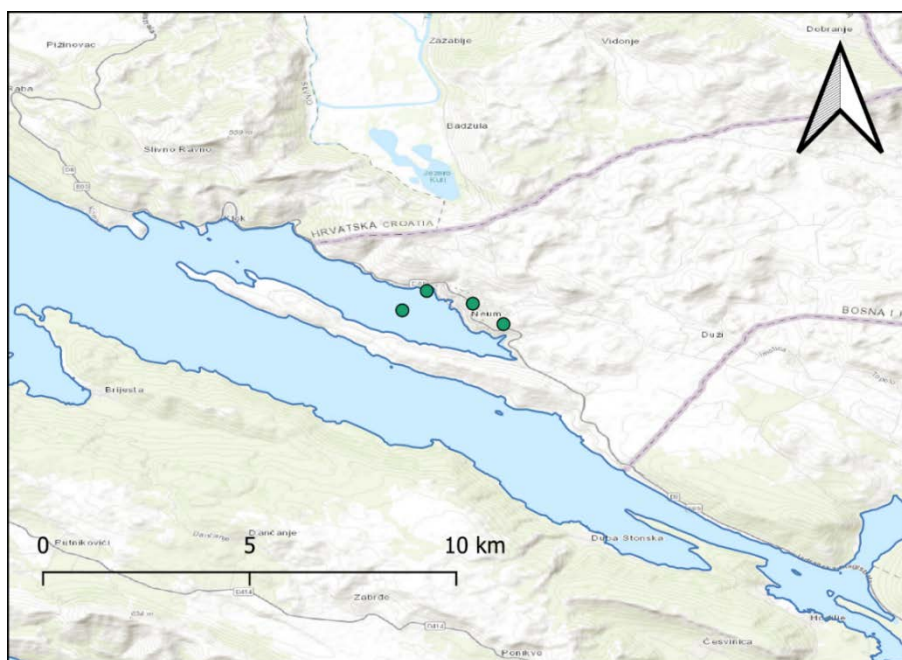


¹⁵ Before the finalization of the present work, there was no improvement in insufficient quality of data generated at a few monitoring stations in Albania in 2019 within the GEF Adriatic Project.

Bosnia and Herzegovina

The table below provides the datasets for the period from 2013 to 2020 reported by Bosnia and Herzegovina to the IMAP Pilot Info System.

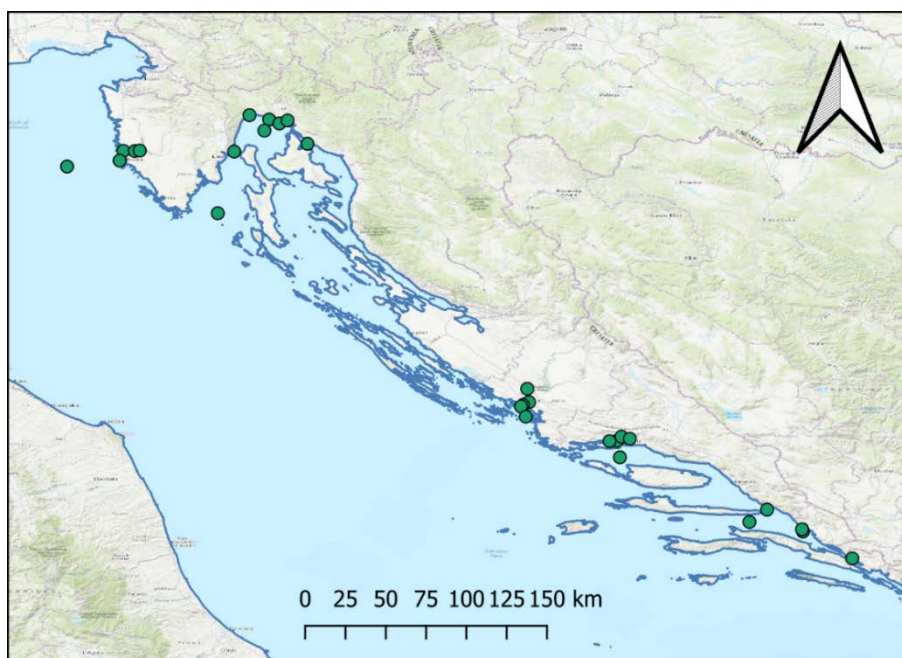
Count of Concentration Years												
Parameter	2006	2007	2008	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Ammonium				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Chlorophyll a				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Conductivity				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Dissolved oxygen				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Nitrate	24	28	20	4	4	4	12	4	4	12	5	121
Orthophosphate				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Oxygen saturation				4	4	4	12	4	4	12	5	49
pH				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Temperature (water)	24	28	20	4	4	4	12	4	4	12	5	121
Total nitrogen				4	4	4	12	4	4	12		44
Total phosphorus				4	4	4	12	4	4	12	5	49
Total	48	56	40	44	44	44	132	44	44	132	50	678



Croatia

Data of Croatia for 2009 are included in the MED POL Database as shown in the table below. Additionally, four more years of data corresponding to monitoring years 2011, 2012, 2013 and 2014 were submitted to MED POL. Data for the period from 2016 to 2019 were reported to the IMAP Pilot Info System.

Count of Concentration Year											
Parameters		2009	2011	2012	2013	2014	2016	2017	2018	2019	Grand Total
Ammonium		674	1466	369	832	364	72	144	94	216	4231
Chlorophyll a		673	1472	364	794	364	71	142	92	212	4184
Dissolved oxygen		680	1524	372	842	364	72	144	94	216	4308
Nitrate		666	1485	368	842	364	72	144	94	216	4251
Nitrite		650	1499	371	832	364	72	144	94	216	4242
Orthophosphate		680	1469	336	799	325	72	144	94	216	4135
Orthosilicate		680	1500	372	842	364	72	144	94	216	4284
Oxygen saturation							72	144	93	216	525
Salinity		680	1460	373	842	364	63	132	83	203	4200
Temperature (water)		680	1584	373	842	364	63	132	83	203	4324
Total nitrogen							67	139	94	216	516
Total phosphorus		674	1440	372	842	310	72	144	94	216	4164
TRIX			642	175	378	151					1346
Grand Total		6737	15541	3845	8687	3698	840	1697	1103	2562	44710



Italy

Italy reported data for the period from 2015 to 2020 to the IMAP Pilot Info System.

Count of Concentration Year							
Parameter	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Grand Total
Ammonium	330	803	783	809	729		3454
Chlorophyll a	7089	17171	15612	16669	15995	430	72966
Conductivity				16670	16020	430	33120
Dissolved oxygen	7090	17171	15631	16670	16020	430	73012
Nitrate	330	803	783	809	729		3454
Nitrite	330	803	783	809	729		3454
Orthophosphate	330	803	783	807	729		3452
Orthosilicate	330	803	783	807	728		3451
Oxygen saturation				16670	16020	430	33120
pH				16670	16020	430	33120
Salinity	7090	17180	15632	16670	16020	430	73022
Secchi disk depth	168	424	390	407	402	6	1797
Temperature (water)	7090	17180	15631	16670	16020	430	73021
Total nitrogen	324	803	777	809	729		3442
Total phosphorus	324	803	777	809	729		3442
Grand Total	30825	74747	68365	122755	117619	3016	417327



Montenegro

Data of Montenegro related to chemical pollution were included in the MED POL Database for the period until 2012, while data for the period from 2014 to 2018 were reported to MED POL. These data were migrated to the IMAP Pilot Info System. Data for 2019 were reported to the IMAP Pilot Info System.

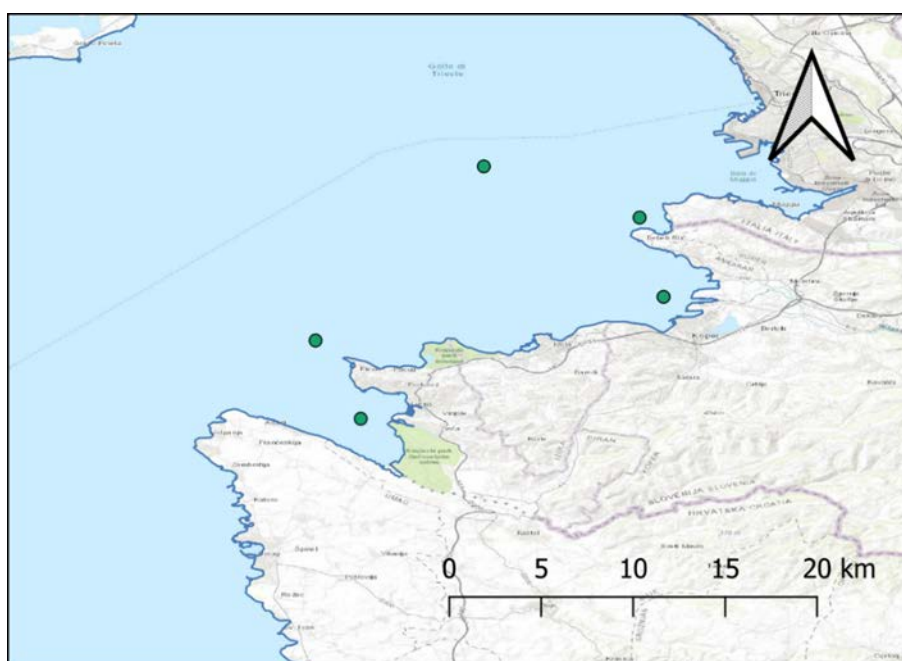
Count of Concentration Year									
Parameters	2012	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Grand Total	
Ammonium	30	51	183	80	82	103	116	645	
Chlorophyll a	30	51	183	80	82	103	116	645	
Dissolved oxygen	30	51	183	80	82	103	116	645	
Nitrate	30	51	183	80	82	103	116	645	
Nitrite	30	51	183	80	82	103	116	645	
Orthosilicate	30	51	183	80	82	103	116	645	
Oxygen saturation					46	103	116	265	
Phos	30	47	170	80	82	103	116	628	
Salinity	30	51	183	80	82	103	116	645	
Temperature (water)	30	51	183	80	82	103	116	645	
Thps	30	51	183	80	82	103	116	645	
Grand Total	300	506	1817	800	866	1133	1276	6698	



Slovenia

Data of Slovenia were included in the MED POL Database for the period until 2012, while the data for the period from 2013 to 2020 were reported to MED POL. These data were migrated to the IMAP Pilot Info System. The Slovenian dataset is the most complete one.

Count of Concentration Years	Years																			
Parameters	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017	2018	2019	Total
Ammonium	57	48	277	233	204	107	112	7	105	108	216	93	102	202	40	99	160	184	160	2514
Chlorophyll a														101	96	99	216	222	240	974
Dissolved oxygen	57	74	276	230	204	107	124	7	105	108	216	102	102	204	128	99	288	296	240	2967
Nitrate	57	48	277	234	204	107	124	7	102	108	216	101	102	201	40	99	160	184		2371
Nitrate																			160	160
Nitrate + Nitrite						107	124													231
Nitrate + Nitrite																			160	160
Nitrite	57	48	277	234	204	107	124	7	92	108	216	99	102	202	40	99	160	184	160	2520
Orthophosphate	57	48	277	234	204	107	124	7	103	108	192	100	85	202	40	99	160	184	160	2491
Orthosilicate	17	48	265	234	204	107	124	9	106	123	214	102	102	200	40	99	160	184		2338
Oxygen saturation						89	114							102	128	99	288	296	240	1356
pH	57	48																296	240	641
Salinity	17	48						7	104	102	212	102	102	204	128	99	288	296	240	1949
Secchi disk depth																		74	60	134
Temperature (water)	74	122	277	234	204	107	124	7	105	108	216	102	102	204	128	99	288	296	240	3037
Total nitrogen	57	48	276	234	204	107	124	7	105	108	216	102	102	200	40	99	160	184	160	2533
Total phosphorus	57	48	277	234	204	107	124	7	105	108	216	102	102	202	40	99	160	184	160	2536
TRIX	45	168	204			89								100	40	99	160	182	160	1247
Total	609	796	2683	2101	1836	1248	1342	72	1032	1089	2130	1005	1003	2324	928	1287	2648	3246	2780	30159



Annexe II

Scripts R et résultats pour le calcul des conditions de référence et des valeurs limites pour la chlorophylle a , le PT et le NID

Annex II presents the Outputs of the various statistical analysis used for calculation of the reference conditions and boundary values. The code for the complete data preparation and statistical analysis is provided as follows:

- A) Output of the stepwise Multiple regression.
- B) The graphs summarizing the relationship between Chla and TP, and DIN as TRIX and TP, and DIN with the applied model; and
- C) The code off R scripts used:
- D)
 - **Med Pol_C.R** – script for data import and data preparation with the calculation of ROS estimate for BDL tagged values;
 - **Stats_2.R** - script for calculations of the Water typology and descriptive statistics (N, mean, *G_Means* etc.);
 - **Step_3.R** – script for the stepwise Multiple regression;
 - **Plot_10.R** – script for the graphs summarizing the relationship between Chla and TP, and DIN as TRIX and TP, and DIN with the applied model.

A. Stepwise Multiple regression outputs

[1] "StepAIC, Type=I"

Start: AIC=-212.11

LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LFDil	1	0.00624	5.4699	-214.01
- LTphs	1	0.03738	5.5010	-213.55
<none>			5.4636	-212.10
- LaDpO	1	0.44047	5.9041	-207.75
- LTini	1	2.81718	8.2808	-180.01

Step: AIC=-214.01

LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTphs	1	0.03550	5.5054	-215.48
<none>			5.4699	-214.01
- LaDpO	1	0.43429	5.9042	-209.75
- LTini	1	2.84459	8.3145	-181.68

Step: AIC=-215.48

LCphl ~ LTini + LaDpO

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
<none>			5.5054	-215.48
- LaDpO	1	0.4389	5.9443	-211.19
- LTini	1	4.1057	9.6111	-171.79
null device			1	

Call:

lm(formula = LCphl ~ LTini + LaDpO, data = Type_I)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.70918	-0.17419	-0.01518	0.18599	0.47705

Coefficients:

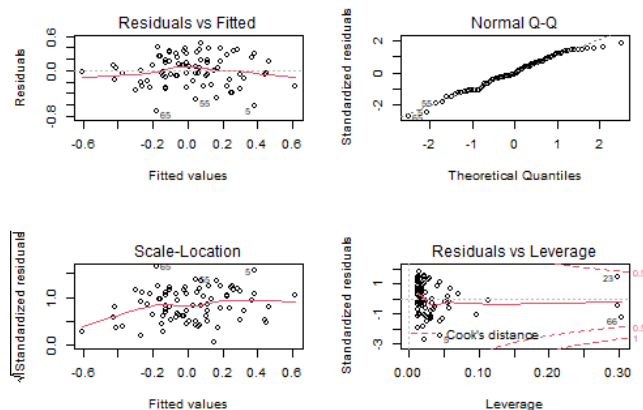
	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.48660	0.07680	-6.336	1.35e-08 ***
LTini	0.68686	0.08949	7.676	3.72e-11 ***
LaDpO	0.13539	0.05395	2.510	0.0141 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.264 on 79 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.4306, Adjusted R-squared: 0.4162

F-statistic: 29.87 on 2 and 79 DF, p-value: 2.181e-10



[1] "StepAIC, Type=IIA"

Start: AIC=-563.06

LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LaDpO	1	0.12072	12.877	-563.12
<none>		12.757	-563.06	

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LFDil	1	0.48594	13.242	-557.36

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTini	1	0.92595	13.682	-550.62

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTphs	1	2.43488	15.191	-529.07

Step: AIC=-563.12

LCphl ~ LTphs + LTini + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
<none>		12.877	-563.12	
- LFDil	1	0.42398	13.301	-558.44

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTini	1	0.95717	13.834	-550.35

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTphs	1	2.52434	15.402	-528.24

null device 1

Call:

lm(formula = LCphl ~ LTphs + LTini + LFDil, data = Type_IIA)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.62484	-0.17469	-0.02758	0.17551	0.69168

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.74682	0.05092	-14.667	< 2e-16 ***
LTphs	-0.36696	0.05832	-6.293	1.9e-09 ***
LTini	0.21336	0.05506	3.875	0.000144 ***
LFDil	0.10993	0.04263	2.579	0.010622 *

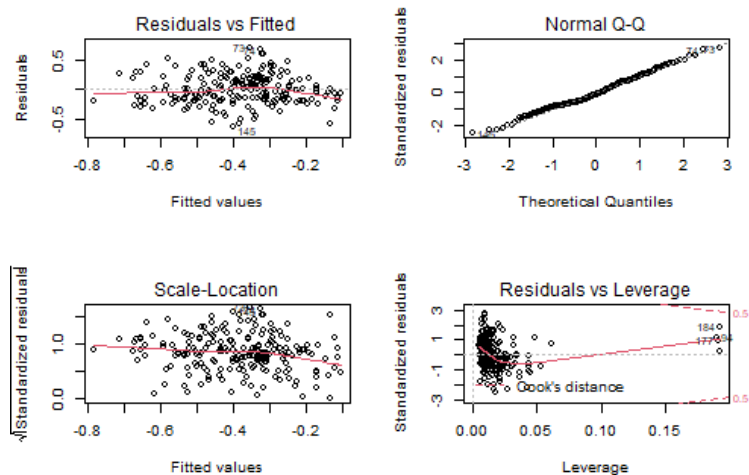
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.2525 on 202 degrees of freedom

(4 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.2249, Adjusted R-squared: 0.2134

F-statistic: 19.53 on 3 and 202 DF, p-value: 3.678e-11



[1] "StepAIC, Type=IIIW"

Start: AIC=-244.39

LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTini	1	0.00318	1.6168	-246.26
- LTphs	1	0.01614	1.6298	-245.71
<none>		1.6136	-244.39	
- LaDpO	1	0.04988	1.6635	-244.32
- LFDil	1	0.78675	2.4004	-219.38

Step: AIC=-246.26

LCphl ~ LTphs + LaDpO + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LTphs	1	0.03840	1.6552	-246.66
- LaDpO	1	0.04705	1.6639	-246.31
<none>		1.6168	-246.26	
- LFDil	1	0.90515	2.5219	-218.02

Step: AIC=-246.66

LCphl ~ LaDpO + LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
- LaDpO	1	0.04170	1.6969	-246.97
<none>		1.6552	-246.66	
- LFDil	1	0.96576	2.6210	-217.41

Step: AIC=-246.97

LCphl ~ LFDil

	Df	Sum of Sq	RSS	AIC
<none>		1.6969	-246.97	
- LFDil	1	0.92443	2.6213	-219.40

null device

1

Call:

lm(formula = LCphl ~ LFDil, data = Type_IIIW)

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.33483	-0.10883	-0.00683	0.09008	0.46550

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-0.87041	0.01977	-44.023	< 2e-16 ***
LFDil	0.23913	0.03988	5.996	9.4e-08 ***

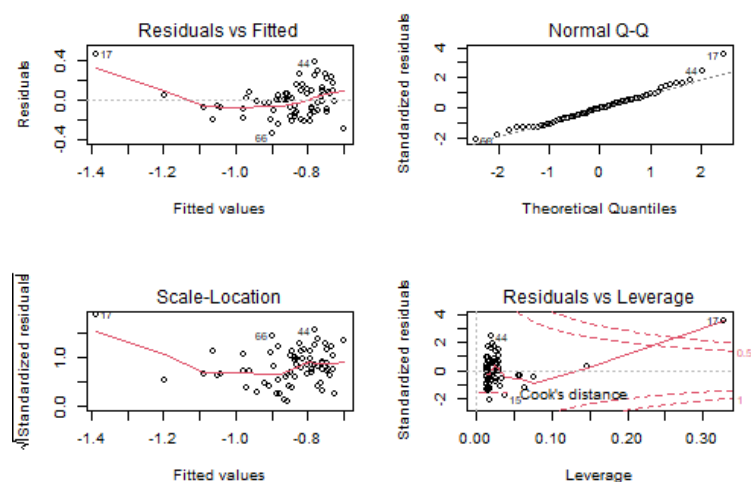
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1603 on 66 degrees of freedom

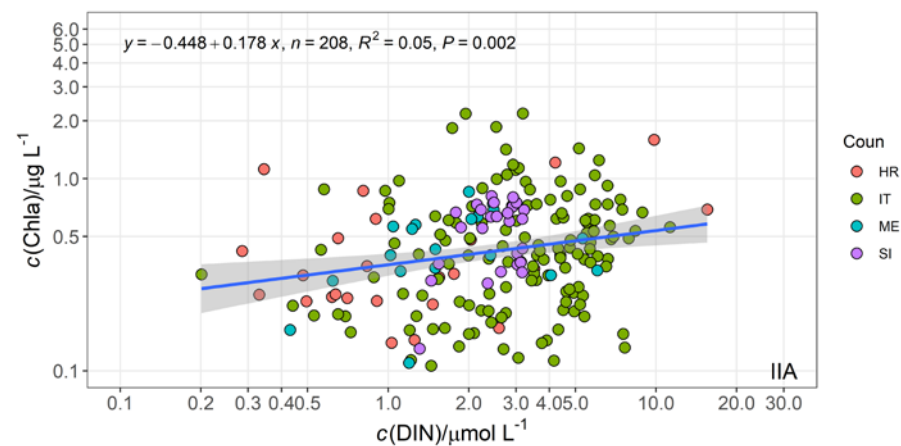
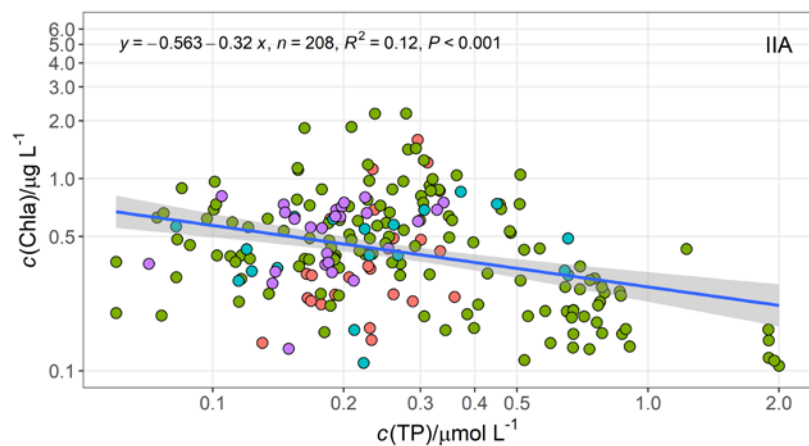
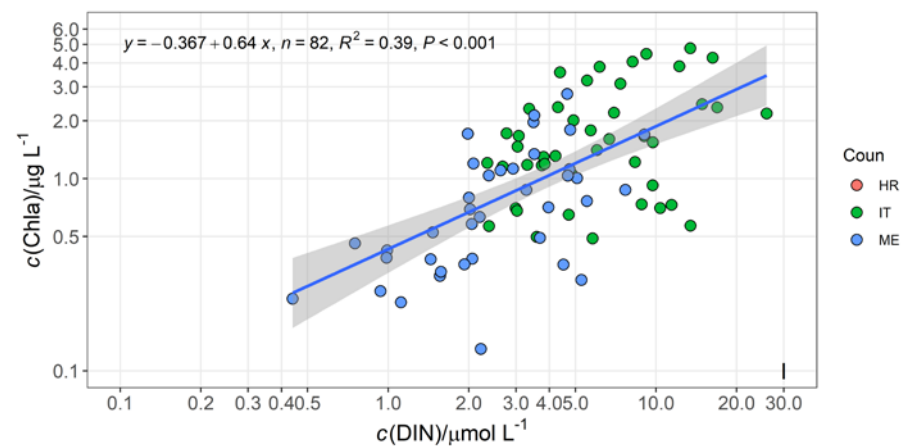
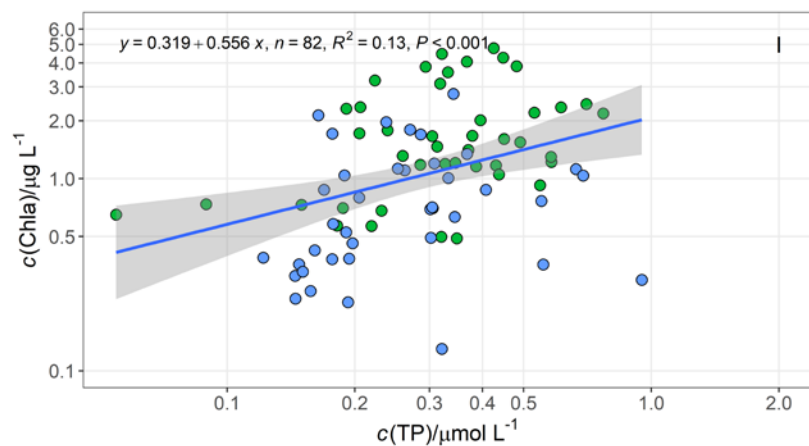
(5 observations deleted due to missingness)

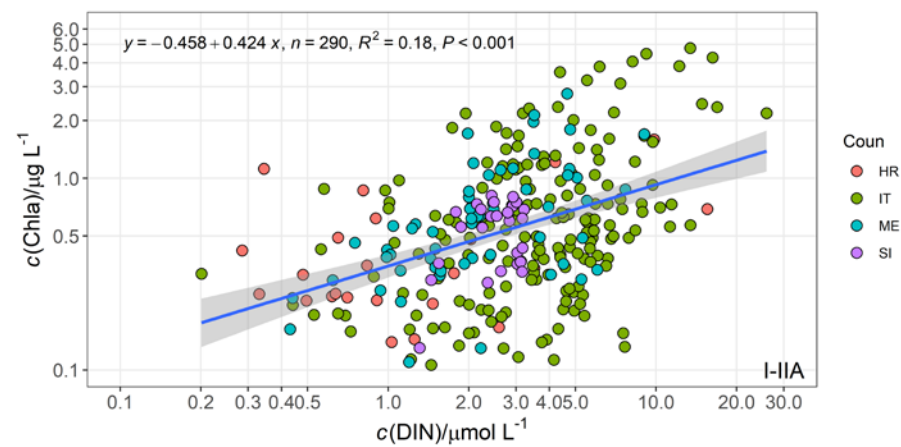
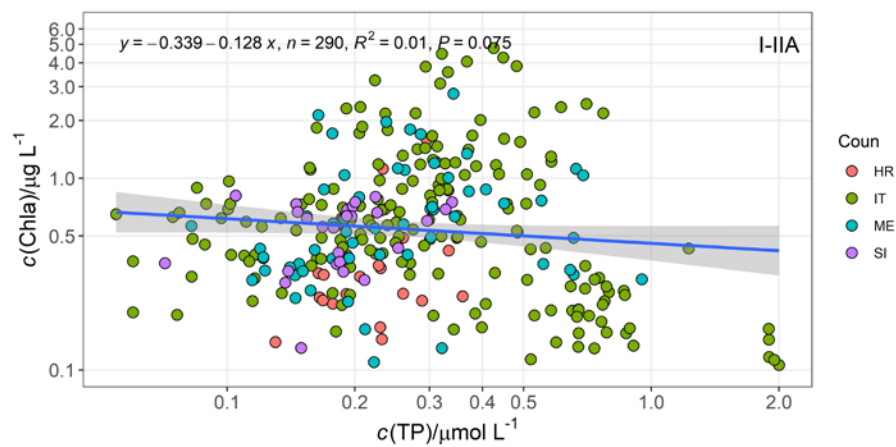
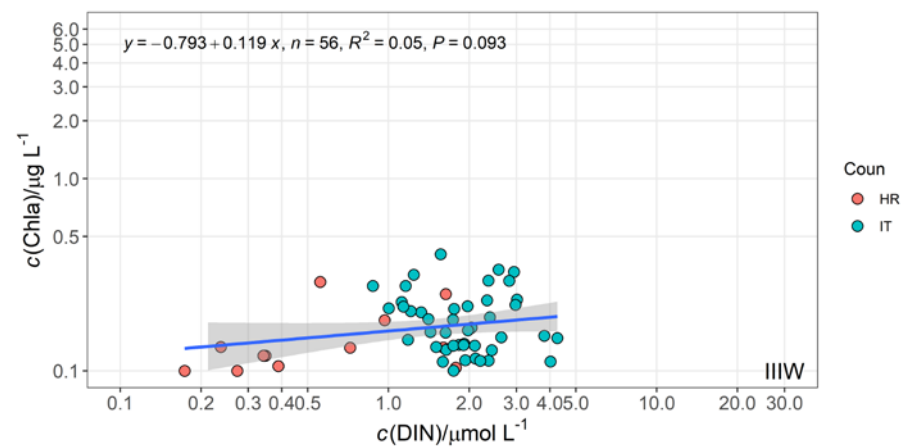
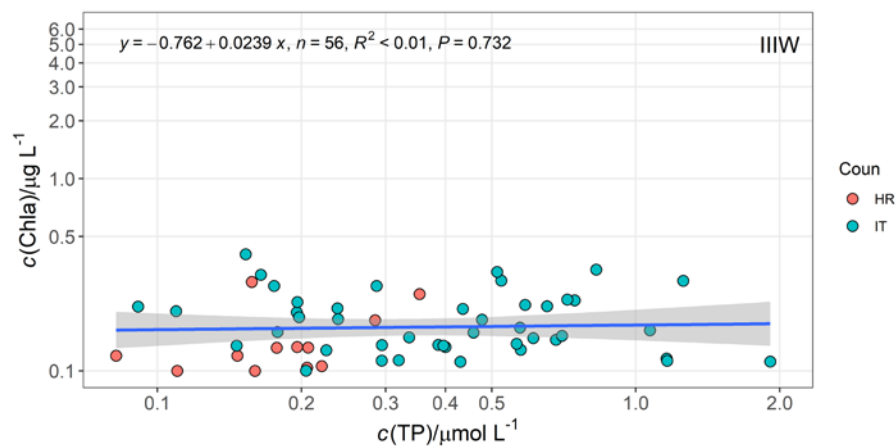
Multiple R-squared: 0.3527, Adjusted R-squared: 0.3428

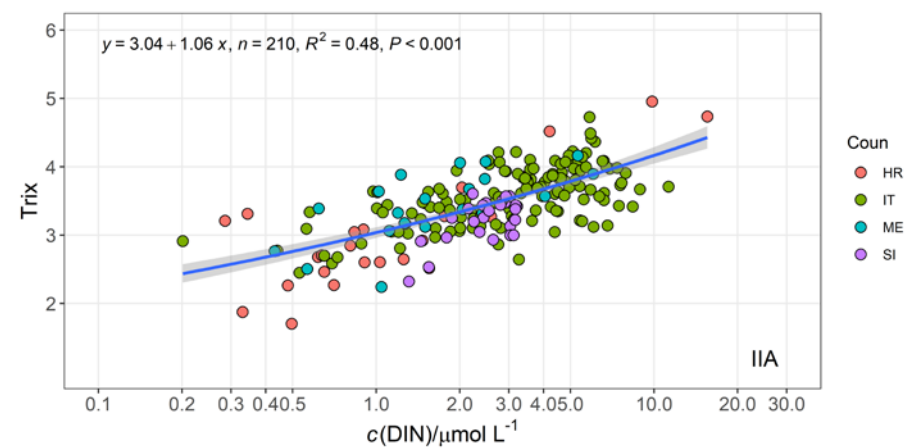
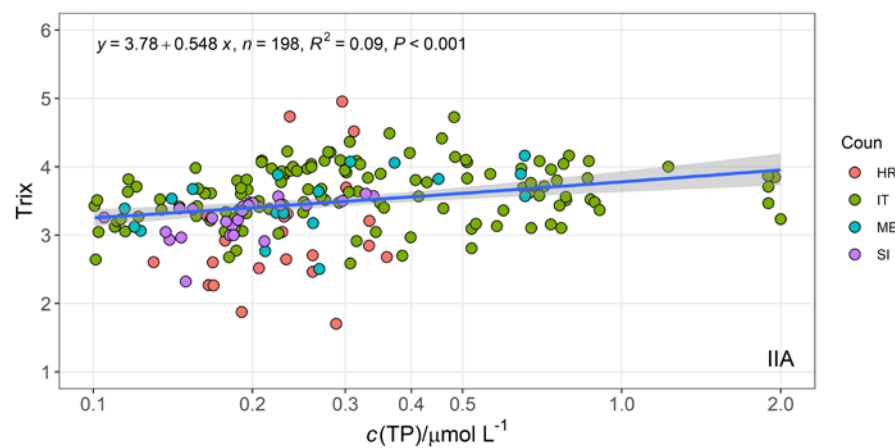
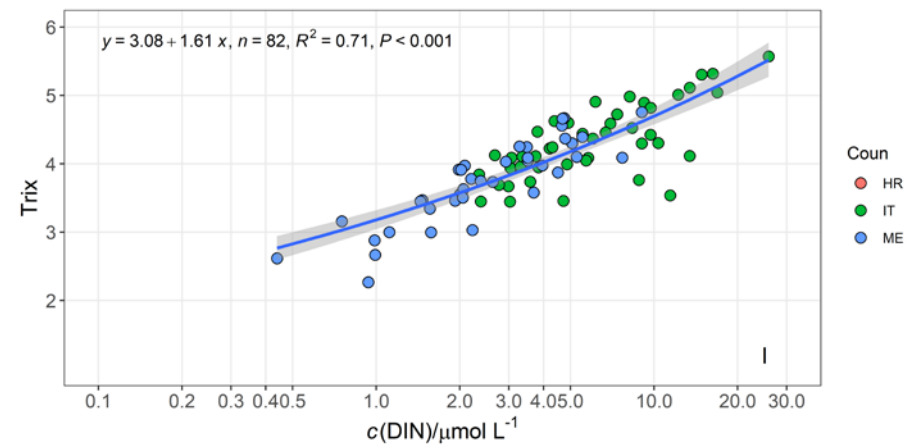
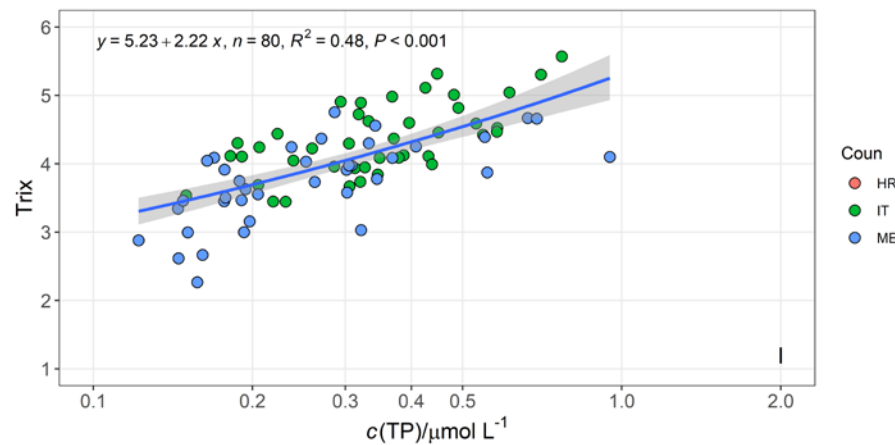
F-statistic: 35.96 on 1 and 66 DF, p-value: 9.402e-08

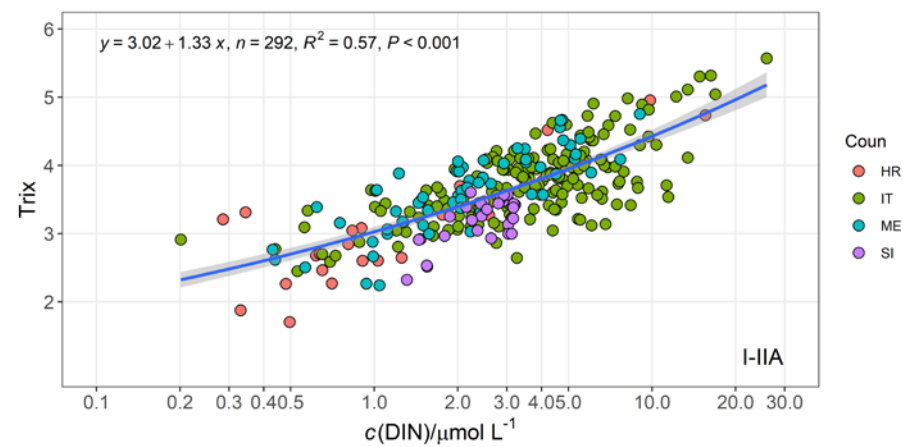
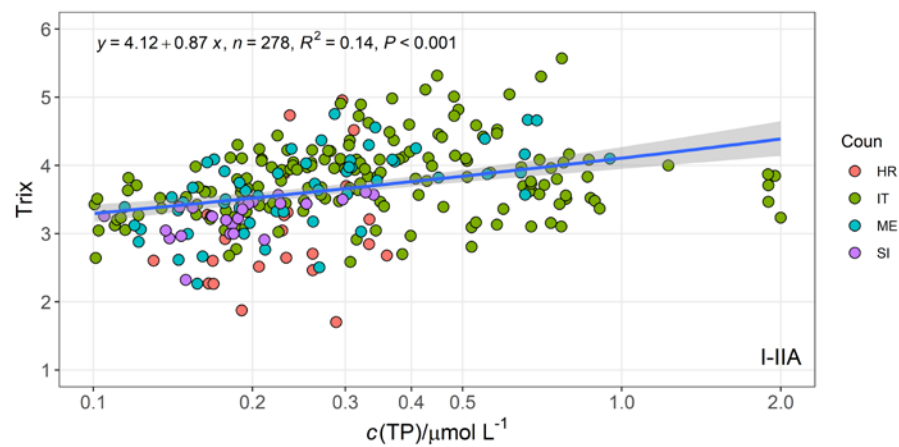
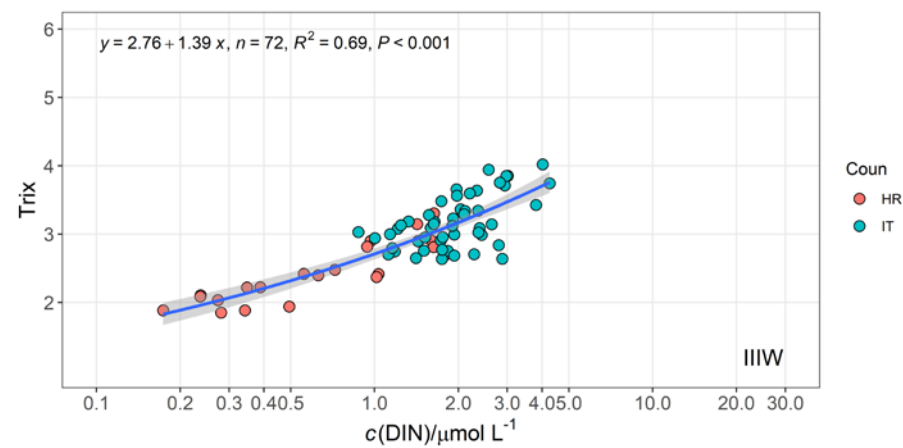
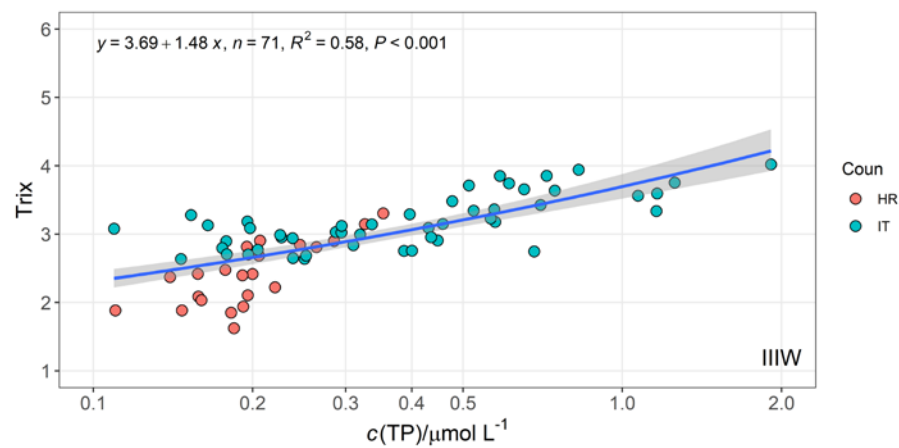


B) The graphs summarizing the relationship between Chla and TP, and DIN as TRIX and TP, and DIN with the applied model









Med_POL_C.R

```
#####
#Load libraries
#####
library(readxl)
library(openxlsx)
library(plyr)
library(dplyr)
library(NADA)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(wql)
library(shape)
library(marelac)

#####
#Import
#####
E1_ALL_H_F18 <- read_excel("Data/E1_ALL_H_F18.xlsx",
                           col_types = c("text", "text", "numeric",
                                           "numeric", "numeric", "text", "numeric",
                                           "numeric", "numeric", "text", "numeric",
                                           "numeric", "text", "numeric", "text",
                                           "numeric", "text", "numeric", "numeric",
                                           "numeric", "text", "numeric", "numeric",
                                           "text", "numeric", "text", "numeric",
                                           "numeric", "text", "numeric", "text",
                                           "numeric", "numeric", "text", "numeric",
                                           "text", "numeric", "numeric", "text",
                                           "numeric", "text", "numeric", "numeric",
                                           "text", "numeric", "text", "numeric",
                                           "numeric", "text", "numeric", "numeric",
                                           "text", "numeric", "numeric", "text",
                                           "numeric", "numeric", "text", "text",
                                           "numeric", "numeric", "text", "text",
                                           "text", "text", "text"))

#View(E1_ALL_H_F18)

#####
#Attach file
#####
f<-E1_ALL_H_F18
attach(f)

#####
#Calculate 1
#####

f$ID <- seq.int(nrow(f))
f <- within(f, Osat_R <- round(((Doxy*0.031988)/oxySol(Temp, Psal)*100), 1))
f <- within(f, Osat_R <- if_else(Osat_N=="TP", Osat, Osat_R ,Osat_R))
f <- within(f, F_Dil <- ((Psal_W-Psal)/Psal_W)*100)
```

```
#####
#CphlCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Cphl2 = if_else(Cphl_F=="D", Cphl_D, Cphl ,Cphl))
f <- mutate(f, CphlCen = if_else(Cphl_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Cphl_N=="A",
             select=c(ID,Cphl_N, Cphl, Cphl2, CphlCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Cphl2),]
R = as.numeric(df$Cphl2)
RCen = as.logical(df$CphlCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, CphlRos <- as.numeric(fr$modelled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "CphlRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfCphl <- df

#####
#PhosCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Phos2 = if_else(Phos_F=="D", Phos_D, Phos ,Phos))
f <- mutate(f, PhosCen = if_else(Phos_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Phos_N=="A",
             select=c(ID,Phos_N, Phos, Phos2, PhosCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Phos2),]
R = as.numeric(df$Phos2)
RCen = as.logical(df$PhosCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, PhosRos <- as.numeric(fr$modelled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "PhosRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfPhos <- df

#####
#TphsCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Tphs2 = if_else(Tphs_F=="D", Tphs_D, Tphs ,Tphs))
f <- mutate(f, TphsCen = if_else(Tphs_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Tphs_N=="A",
             select=c(ID,Tphs_N, Tphs, Tphs2, TphsCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Tphs2),]
R = as.numeric(df$Tphs2)
RCen = as.logical(df$TphsCen)
fr <- ros(R, RCen)
```

```

df <- within(df, TphsRos <- as.numeric(fr$modelled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "TphsRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfTphs <- df

#####
#AmonCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Amon2 = if_else(Amon_F=="D", Amon_D, Amon ,Amon))
f <- mutate(f, AmonCen = if_else(Amon_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Amon_N=="A",
             select=c(ID,Amon_N, Amon, Amon2, AmonCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Amon2),]
R = as.numeric(df$Amon2)
RCen = as.logical(df$AmonCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, AmonRos <- as.numeric(fr$modelled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "AmonRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfAmon <- df

#####
#NtriCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Ntri2 = if_else(Ntri_F=="D", Ntri_D, Ntri ,Ntri))
f <- mutate(f, NtriCen = if_else(Ntri_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Ntri_N=="A",
             select=c(ID,Ntri_N, Ntri, Ntri2, NtriCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Ntri2),]
R = as.numeric(df$Ntri2)
RCen = as.logical(df$NtriCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, NtriRos <- as.numeric(fr$modelled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "NtriRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfNtri <- df

#####
#NtraCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Ntra2 = if_else(Ntra_F=="D", Ntra_D, Ntra ,Ntra))
f <- mutate(f, NtraCen = if_else(Ntra_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Ntra_N=="A",
             select=c(ID,Ntra_N, Ntra, Ntra2, NtraCen, Stat, Deph, Year))

```

```

df <- df[order(df$Ntra2),]
R = as.numeric(df$Ntra2)
RCen = as.logical(df$NtraCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, NtraRos <- as.numeric(fr$modeled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "NtraRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfNtra <- df

#####
#SlcaCen - Ros
#####

f <- mutate(f, Slca2 = if_else(Slca_F=="D", Slca_D, Slca ,Slca))
f <- mutate(f, SlcaCen = if_else(Slca_F=="D", TRUE, FALSE,FALSE))

df <- subset(f, Slca_N=="A",
             select=c(ID,Slca_N, Slca, Slca2, SlcaCen, Stat, Deph, Year))

df <- df[order(df$Slca2),]
R = as.numeric(df$Slca2)
RCen = as.logical(df$SlcaCen)
fr <- ros(R, RCen)

df <- within(df, SlcaRos <- as.numeric(fr$modeled))
df <- df[order(df$ID),]
f<-merge(f, df[, c("ID", "SlcaRos")], by="ID", all.x=TRUE )
dfSlca <- df

#####
# Recalculate Tini, Trix, Efix, Napi
#####

attach(f)
f <- mutate(f, Tini = NtraRos+NtriRos+AmonRos)
f <- mutate(f, Trix = (log10(CphlRos*abs(100-(Osat_R)))*(Tini*14)*(Tphs*30.97))+1.5)/1.2)
f <- mutate(f, Efix = log10((CphlRos*abs(100-(Osat_R)))/((Tini*14)*(Tphs*30.97))))
f <- mutate(f, aDpO = abs(100-(Osat_R)))
f <- mutate(f, Napi = Tini/PhosRos)

# headerStyles
hs_RP <- createStyle(fgFill = "#4F81BD", halign = "CENTER",
                    textDecoration = "Bold",border = "Bottom", fontColour = "white")

l<- list("Data" = f, "Phos" = dfPhos, "Tphs" = dfTphs, "Ntra" = dfNtra, "Ntri" = dfNtri, "Amon" = dfAmon, "Slca"
        = dfSlca, "Cphl" = dfCphl)
write.xlsx(l, "Data/E1_ALL_H.xlsx", firstRow = TRUE, colWidths = "auto", headerStyle = hs_RP )

```

Stat_3.R

```

#####
# Statistics
#####

```

```
library(plyr)
library(dplyr)
library(tidyr)
library(openxlsx)
library(plotrix)

#####
# Type & Stats
#####

attach(f)

q90 <- function(x) {quantile(x,probs=0.9)}

dfS <- subset(f,
  select=c(Coun, Stat_N, Year, Flag_A, Psal, CphlRos, F_Dil, aDpO, TphsRos, Tini, Trix))

St_un <- subset(f,
  select=c(Stat_N))

St_un <- unique(Stat_N)

#####
# Type - 5 year
#####

taa <- dfS %>%
  group_by(Coun,Stat_N) %>%
  summarize(N_Psal = n(),
    GM_Psal=exp(mean(log(Psal), na.rm = TRUE)),
    Mean_Psal = mean(Psal, na.rm = TRUE),
    Med_Psal = median(Psal))

taa <- mutate(taa, Type = if_else(Mean_Psal >34 & Mean_Psal<37.5,"IIA",""))
taa <- mutate(taa, Type = if_else(Mean_Psal >20 & Mean_Psal<34,"I",Type))
taa <- mutate(taa, Type = if_else(Mean_Psal >37.5,"IIIW",Type))

#####
# Psal - Stat, year
#####

ta <- dfS %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_Psal = n(),
    GM_Psal=exp(mean(log(Psal), na.rm = TRUE)),
    Mean_Psal = mean(Psal, na.rm = TRUE),
    Med_Psal = median(Psal, na.rm = TRUE),
    p90_Psal = quantile(Psal, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_Psal = sd(Psal,na.rm = TRUE),
    STE_Psal = std.error(Psal,na.rm = TRUE))

#####
# Cphl - Stat, year
#####
```



```

tb <- dfs %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_Cphl = n(),
    GM_Cphl=exp(mean(log(CphlRos), na.rm = TRUE)),
    Mean_Cphl = mean(CphlRos, na.rm = TRUE),
    Med_Cphl = median(CphlRos, na.rm = TRUE),
    p90_Cphl = quantile(CphlRos, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_Cphl = sd(CphlRos,na.rm = TRUE),
    STE_Cphl = std.error(CphlRos,na.rm = TRUE))

#####
# F_Dil - Stat, year
#####

tc <- dfs %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_FDil = n(),
    GM_FDil=exp(mean(log(F_Dil), na.rm = TRUE)),
    Mean_FDil = mean(F_Dil, na.rm = TRUE),
    Med_FDil = median(F_Dil, na.rm = TRUE),
    p90_FDil = quantile(F_Dil, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_FDil = sd(F_Dil,na.rm = TRUE),
    STE_FDil = std.error(F_Dil,na.rm = TRUE))

#####
# aDpO - Stat, year
#####

td <- dfs %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_aDpO = n(),
    GM_aDpO = exp(mean(log(aDpO), na.rm = TRUE)),
    Mean_aDpO = mean(aDpO, na.rm = TRUE),
    Med_aDpO = median(aDpO, na.rm = TRUE),
    p90_aDpO = quantile(aDpO, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_aDpO = sd(aDpO,na.rm = TRUE),
    STE_aDpO = std.error(aDpO,na.rm = TRUE))

#####
# Tphs - Stat, year
#####

te <- dfs %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_Tphs = n(),
    GM_Tphs=exp(mean(log(TphsRos), na.rm = TRUE)),
    Mean_Tphs = mean(TphsRos, na.rm = TRUE),
    Med_Tphs = median(TphsRos, na.rm = TRUE),
    p90_Tphs = quantile(TphsRos, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_Tphs = sd(TphsRos,na.rm = TRUE),
    STE_Tphs = std.error(TphsRos,na.rm = TRUE))

#####
# Tini - Stat, year

```

#####

```
tf <- dfS %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_Tini = n(),
    GM_Tini=exp(mean(log(Tini), na.rm = TRUE)),
    Mean_Tini = mean(Tini, na.rm = TRUE),
    Med_Tini = median(Tini, na.rm = TRUE),
    p90_Tini = quantile(Tini, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_Tini = sd(Tini,na.rm = TRUE),
    STE_Tini = std.error(Tini,na.rm = TRUE))
```

#####

Trix - Stat, year

#####

```
tg <- dfS %>%
  group_by(Coun,Stat_N,Year) %>%
  summarize(N_Trix = n(),
    GM_Trix=exp(mean(log(Trix), na.rm = TRUE)),
    Mean_Trix = mean(Trix, na.rm = TRUE),
    Med_Trix = median(Trix, na.rm = TRUE),
    p90_Trix = quantile(Trix, probs=0.90, na.rm = TRUE),
    SD_Trix = sd(Trix,na.rm = TRUE),
    STE_Trix = std.error(Trix,na.rm = TRUE))
```

#####

Merge tb&ta

#####

```
t <- left_join(ta, tb, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, tc, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, td, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, te, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, tf, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, tg, by = c('Coun', 'Stat_N', 'Year'))
t <- left_join(t, select(taa, c(Coun,Stat_N,Type)), by = c('Coun','Stat_N'))
```

headerStyles

```
hs_RP <- createStyle(fgFill = "#4F81BD", halign = "CENTER",
  textDecoration = "Bold",border = "Bottom", fontColour = "white")
```

```
l<- list("Stats" = t, "Type" = taa, "Psal" = ta, "Cphl" = tb, "F_Dil" = tc, "aDpO" = td, "Tphs" = te, "Tini" = tf)
write.xlsx(l, "Data/Stats_1.xlsx", firstRow = TRUE, colWidths = "auto", headerStyle = hs_RP )
```

Step_1.R

```

# Load libraries ----
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(MASS)

#Attach file ----
attach(t)

sink("Outputs/StepAIC_Log10.txt")

# StepAIC, Type=I ----
print("StepAIC, Type=I")
x <- subset(t, Type=="I" & GM_Cphl>0,
            select=c(GM_Cphl,GM_Tphs,GM_Tini,GM_aDpO,GM_FDil))

x <- within(x, LCphl <- log10(GM_Cphl))
x <- within(x, LTphs <- log10(GM_Tphs))
x <- within(x, LTini <- log10(GM_Tini))
x <- within(x, LaDpO <- if_else(GM_aDpO == 0,log10(0.01), log10(GM_aDpO)))
x <- within(x, LFDil <- if_else(GM_FDil == 0,log10(0.01), log10(GM_FDil)))

Type_I<-x
m = lm(LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil, data=Type_I)

a<-stepAIC(m)

png("Outputs/StepAIC_I.png",width = 500, height = 350)
par(mfrow=c(2,2))
plot(a)
dev.off()
#Plot your assumption graphs
summary(a)

# StepAIC, Type=IIA ----
print("StepAIC, Type=IIA")
x <- subset(t, Type=="IIA" & GM_Cphl>0,
            select=c(GM_Cphl,GM_Tphs,GM_Tini,GM_aDpO,GM_FDil))

x <- within(x, LCphl <- log10(GM_Cphl))
x <- within(x, LTphs <- log10(GM_Tphs))
x <- within(x, LTini <- log10(GM_Tini))
x <- within(x, LaDpO <- if_else(GM_aDpO == 0,log10(0.01), log10(GM_aDpO)))
x <- within(x, LFDil <- if_else(GM_FDil == 0,log10(0.01), log10(GM_FDil)))

Type_IIA<-x
m = lm(LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil, data=Type_IIA)

a<-stepAIC(m)

png("Outputs/StepAIC_IIA.png",width = 500, height = 350)
par(mfrow=c(2,2))
plot(a)

```

```

dev.off()
#Plot your assumption graphs
summary(a)

# StepAIC, Type=IIIW ----
print("StepAIC, Type=IIIW")
x <- subset(t, Type=="IIIW" & GM_Cphl>0,
            select=c(GM_Cphl,GM_Tphs,GM_Tini,GM_aDpO,GM_FDil))

x <- within(x, LCphl <- log10(GM_Cphl))
x <- within(x, LTphs <- log10(GM_Tphs))
x <- within(x, LTini <- log10(GM_Tini))
x <- within(x, LaDpO <- if_else(GM_aDpO == 0,log10(0.01), log10(GM_aDpO)))
x <- within(x, LFDil <- if_else(GM_FDil == 0,log10(0.01), log10(GM_FDil)))

Type_IIIW<-x
m = lm(LCphl ~ LTphs + LTini + LaDpO + LFDil, data=Type_IIIW)

a<-stepAIC(m)

png("Outputs/StepAIC_IIIW.png",width = 500, height = 350)
par(mfrow=c(2,2))
plot(a)
dev.off()
#Plot your assumption graphs
summary(a)

sink()

```

```
# Load libraries ----
library(readxl)
library(openxlsx)
library(plyr)
library(dplyr)
library(ggplot2)
library(RColorBrewer)
library(wq1)
library(shape)
library(tidyverse)
library(tidymodels)
library(ggpmisc)
library(gginnards)
library(broom)
library(quantreg)

#Attach file ----
attach(t)

#S01 Tphs,Trix-IIA,glm ----
x <- subset(t, Type=="IIA",
            select=c(GM_Tphs, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(1,2,3,4,5,6)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs, limits = c(0.1,2))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
                formula=y~x,
                method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=1.2, label="IIA", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*/", \"*\")))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S02_Thps_Trix_IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)
```

```

#S02 Tphs,Trix-IIIW,glm ----
x <- subset(t, Type=="IIIW",
            select=c(GM_Tphs, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(1,2,3,4,5,6)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^-1))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs, limits = c(0.1,2))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
                formula=y~x,
                method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=1.2, label="IIIW", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S03_Thps_Trix_IIIW.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

#S03 Tphs,Trix-I,glm ----
x <- subset(t, Type=="I",
            select=c(GM_Tphs, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(1,2,3,4,5,6)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^-1))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs, limits = c(0.1,2))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
                formula=y~x,
                method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")

```

```

p64<-annotate(geom="text", x=2, y=1.2, label="I", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
      after_stat(n.label),
      after_stat(rr.label),
      after_stat(p.value.label),
      sep = "*\\", "\\*"))))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S01_Thps_Trix_I.png", sep="")
ggsave(file_name,
  width = 8,
  height = 4,
  dpi = 600)

#S04 Tphs,Trix-I,IIA,glm ----
x <- subset(t, Type=="I" | Type=="IIA",
  select=c(GM_Tphs, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(1,2,3,4,5,6)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs, limits = c(0.1,2))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
  formula=y~x,
  method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
  axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=1.2, label="I-IIA", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
      after_stat(n.label),
      after_stat(rr.label),
      after_stat(p.value.label),
      sep = "*\\", "\\*"))))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S04_Thps_Trix_I-IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
  width = 8,
  height = 4,
  dpi = 600)

#S11 Tini,Trix-IIA,glm ----
x <- subset(t, Type=="IIA",
  select=c(GM_Tini, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(2,3,4,5,6)

```

```

b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits=c(0.1,30))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
  formula=y~x,
  method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
  axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=25, y=1.2, label="IIA", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
  after_stat(n.label),
  after_stat(rr.label),
  after_stat(p.value.label),
  sep = "*/", "*/")))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S12_Tini_Trix_IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
  width = 8,
  height = 4,
  dpi = 600)

#S12 Tini,Trix-I,glm ----
x <- subset(t, Type=="I",
  select=c(GM_Tini, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(2,3,4,5,6)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits=c(0.1,30))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
  formula=y~x,
  method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
  axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=25, y=1.2, label="I", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
  after_stat(n.label),
  after_stat(rr.label),

```



```
after_stat(p.value.label),
sep = "*\\", "\\*"))))
```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```
file_name<-paste("Figures/S11_Tini_Trix_I.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)
```

```
#S13 Tini,Trix-I,IIA,glm ----
x <- subset(t, Type=="I" | Type=="IIA",
            select=c(GM_Tini, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(2,3,4,5,6)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))
```

```
p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits=c(0.1,30))
p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
                formula=y~x,
                method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=25, y=1.2, label="I-IIA", color="black", size = 5 )
```

```
p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))
```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```
file_name<-paste("Figures/S14_Tini_Trix_I-IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)
```

```
#S14 Tini,Trix-IIIW,glm ----
x <- subset(t, Type=="IIIW",
            select=c(GM_Tini, GM_Trix,Coun, Type))
b_Trix<-c(2,3,4,5,6)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))
```

```
p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Trix))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits=c(0.1,30))
```

```

p3<-scale_y_continuous(breaks=b_Trix, limits = c(1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="glm",
  formula=y~x,
  method.args=list(family=gaussian(link="log")))
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
  axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = "Trix")
p64<-annotate(geom="text", x=25, y=1.2, label="IIIW", color="black", size = 5 )

```

```

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
  after_stat(n.label),
  after_stat(rr.label),
  after_stat(p.value.label),
  sep = "*\\", "\\*")))

```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```

file_name<-paste("Figures/S13_Tini_Trix_IIIW.png", sep="")
ggsave(file_name,
  width = 8,
  height = 4,
  dpi = 600)

```

```

#S21 Cphl,Tphs-IIA,lm ----
x <- subset(t, Type=="IIA",
  select=c(GM_Tphs, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

```

```

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs)
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
  axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=5, label="IIA", color="black", size = 5 )

```

```

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
  after_stat(n.label),
  after_stat(rr.label),
  after_stat(p.value.label),
  sep = "*\\", "\\*")))

```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```

file_name<-paste("Figures/S22_Thps_Chla_IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

#S22 Cphl,Tphs-I,lm ----
x <- subset(t, Type=="I",
            select=c(GM_Tphs, GM_Cphl,Coun, Type, Year))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs)
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=5, label="I", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S21_Thps_Chla_I.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

#S23 Cphl,Tphs-IIIW,lm ----
x <- subset(t, Type=="IIIW",
            select=c(GM_Tphs, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs)
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()

```

```
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
           axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=5, label="IIIW", color="black", size = 5 )
```

```
p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))
```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```
file_name<-paste("Figures/S23_Thps_Chla_IIIW.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)
```

```
#S24 Cphl,Tphs-I_IIA,lm ----
x <- subset(t, Type=="I" |Type=="IIA",
           select=c(GM_Tphs, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))
```

```
p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs)
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
           axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=5, label="I-IIA", color="black", size = 5 )
```

```
p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))
```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```
file_name<-paste("Figures/S24_Thps_Chla_I-IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)
```

```
#S25 Cphl,Tphs-I_IIA-IIIW,lm ----
```

```

x <- subset(t, Type=="I" |Type=="IIA" |Type=="IIIW",
            select=c(GM_Tphs, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tphs<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(TP)/", mu, "mol L-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tphs, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tphs)
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=2, y=5, label="All", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\n", "\n*")))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S24_Thps_Chla_All", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

#S31 Cphl,Tini-IIA,lm ----
x <- subset(t, Type=="IIA",
            select=c(GM_Tini, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L-1"))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits= c(0.1,30))
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=30, y=0.1, label="IIA", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),

```

```

after_stat(n.label),
after_stat(rr.label),
after_stat(p.value.label),
sep = "*\\", "\\*"))

```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```

file_name<-paste("Figures/S32_Tini_Chla_IIA.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

```

```

#S32 Cphl,Tini-I,lm ----
x <- subset(t, Type=="I",
            select=c(GM_Tini, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

```

```

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits= c(0.1,30))
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=30, y=0.1, label="I", color="black", size = 5 )

```

```

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
after_stat(n.label),
after_stat(rr.label),
after_stat(p.value.label),
sep = "*\\", "\\*"))

```

```
p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7
```

```

file_name<-paste("Figures/S31_Tini_Chla_I.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

```

```

#S33 Cphl,Tini-IIIW,lm ----
x <- subset(t, Type=="IIIW",
            select=c(GM_Tini, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

```

```

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits= c(0.1,30))
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=30, y=0.1, label="IIIW", color="black", size = 5 )

```

```

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))

```

```

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

```

```

file_name<-paste("Figures/S33_Tini_Chla_IIIW.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

```

```

#S34 Cphl,Tini-I-IIA,lm ----
x <- subset(t, Type=="I" | Type=="IIA",
            select=c(GM_Tini, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)/", mu, "mol L"^"-1"))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)/", mu, "g L"^"-1"))

```

```

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits= c(0.1,30))
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=30, y=0.1, label="I-IIA", color="black", size = 5 )

```

```

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = "*\\", "\\*"))))

```

```

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

```

```

file_name<-paste("Figures/S34_Tini_Chla_I-IIA.png", sep="")

```

```

ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

#S35 Cphl,Tini-I-IIA-IIIW,lm ----
x <- subset(t, Type=="I" | Type=="IIA" | Type=="IIIW" ,
            select=c(GM_Tini, GM_Cphl,Coun, Type))
b_Cphl<-c(0.1,0.5,1,2,3,4,5,6,10)
b_Tini<-c(0.01,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,1,2,3,4,5,10,20,30)
x_lab=expression(paste(italic("c"), "(DIN)"/, mu, "mol L"^-1))
y_lab=expression(paste(italic("c"), "(Chla)"/, mu, "g L"^-1))

p1<-ggplot(x, aes(x=GM_Tini, y=GM_Cphl))
p2<-scale_x_log10(breaks=b_Tini, limits= c(0.1,30))
p3<-scale_y_log10(breaks=b_Cphl, limits= c(0.1,6))
p4<-geom_point(aes(fill=Coun), shape=21, size=3)
p5<-geom_smooth(method="lm")
p6<-theme_bw()
p61<-theme(panel.grid.minor = element_blank())
p62<-theme(axis.text=element_text(size=12),
            axis.title=element_text(size=14))
p63<-labs(x = x_lab, y = y_lab)
p64<-annotate(geom="text", x=30, y=0.1, label="All", color="black", size = 5 )

p7<-stat_poly_eq(parse=T, aes(label = paste(after_stat(eq.label),
                                             after_stat(n.label),
                                             after_stat(rr.label),
                                             after_stat(p.value.label),
                                             sep = " *\ ", "\n"))))

p1+p2+p3+p4+p5+p6+p61+p62+p63+p64+p7

file_name<-paste("Figures/S34_Tini_Chla_All.png", sep="")
ggsave(file_name,
        width = 8,
        height = 4,
        dpi = 600)

```


Annexe III
Références

- Borja, A., Elliott, M., Henriksen, P., and Marb, N. (2013). Transitional and coastal waters ecological status assessment: advances and challenges resulting from implementing the European water framework directive. *Hydrobiologia* 704, 213–229. doi: 10.1007/s10750-012-1276-9
- Carletti, A., Heiskanen, A. S. (2009). Water Framework Directive intercalibration technical report. Part 3: Coastal and Transitional waters. JRC-IES EUR 23838 EN/3, pp 244.
- COP 19. (2016). Decision IG.22/7 - Integrated Monitoring and Assessment Programme (IMAP) of the Mediterranean Sea and Coast and Related Assessment Criteria. COP19, Athens, Greece. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, Athens.
- Devlin, M., Best, M., Coates, D., Bresnan, E., O’Boyle, S., Park, R., et al. (2007). Establishing boundary classes for the classification of UK marine waters using phytoplankton communities. *Marine Pollution Bulletin*, 55, 91–103. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.09.018
- Dworak, T., Berglund, M., Haider, S., Leujak, W. and Claussen, U. (2016). A comparison of European nutrient boundaries for transitional, coastal and marine waters. Working Group on ecological Status ECOSTAT.
- Giovanardi, F., Francé, J., Mozetič, P., Precali, R. (2018). Development of ecological classification criteria for the Biological Quality Element phytoplankton for Adriatic and Tyrrhenian coastal waters by means of chlorophyll a (2000/60/EC WFD). *Ecological Indicators*, 93. 316-332. doi: 10.1016/j.ecolind.2018.05.015.
- Giovanardi, F., Tromellini, E., (1992). An empirical dispersion model for total phosphorus in a coastal area: the Po River-Adriatic system. *Science of the Total Environment*, Supplement 201–210. doi:10.1016/B978-0444-9990-3.50022-5.
- Hering, D., Borja, A., Carstensen, J., Carvalho, L., Elliott, M., and Feld, C. K. (2010). The European water framework directive at the age of 10: a critical review of the achievements with recommendations for the future. *Science of the Total Environment*, 408, 4007–4019.
- IMAP (2017) Integrated Monitoring and Assessment Programme of the Mediterranean Sea and Coast and Related Assessment Criteria, UN Environment/MAP Athens, Greece, pp 52. R Development Core Team (2022).
- R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://www.R-project.org>
- UNEP/MED WG.492/11 (2021) Agenda item 6: Cross-Cutting Issues -The Integration and Aggregation Rules for IMAP Ecological Objectives 5, 9 and 10 and Assessment Criteria for Contaminants and Nutrients., Assessment Criteria Methodology for IMAP Common Indicator 13: Pilot Application in Adriatic Sub-region, pp 21.
- UNEP/MED WG.492/Inf.12 (2021) Agenda item 6: Cross-Cutting Issues -The Integration and Aggregation Rules for IMAP Ecological Objectives 5, 9 and 10 and Assessment Criteria for Contaminants and Nutrients, Analysis of the Methodologies Available for Establishment of the Assessment Criteria for IMAP Common Indicator 13, pp 50.
- Vollenweider, R.A., F. Giovanardi, G. Montanari, A. Rinaldi, (1998). Characterization of the Trophic Conditions of Marine Coastal Waters. *Environmetrics*, 9, 329-357. COP
- WFD CIS Guidance Document No. 5 (2003) Transitional and Coastal Waters Typology, Reference Conditions and Classification Systems.