



Instructions détaillées du *Guide des AMP* : Bénéfices

Version 1 (septembre 2021)

Instructions détaillées du *Guide des AMP* : Bénéfices

Citation recommandée :

Grorud-Colvert, K., Sullivan-Stack, J., Roberts, C., Constant, V., Costa, B. H. e, Pike, E. P., Kingston, N., Laffoley, D., Sala, E., Claudet, J., Friedlander, A. M., Gill, D. A., Lester, S. E., Day, J. C., Gonçalves, E. J., Ahmadi, G. N., Rand, M., Villagomez, A., Ban, N. C., ... Lubchenco, J. (2021). The MPA Guide: A framework to achieve global goals for the ocean. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.abf0861>. Expanded Guidance: Outcomes Version 1 (September, 2021).

Voir aussi le tableau S1 des documents complémentaires de l'article de Grorud-Colvert *et al.*, 2021, « The MPA Guide: A Framework to Achieve Global Goals for the Ocean », *Science*.

Détail des Bénéfices écologiques des AMP en fonction du Niveau de protection.

Les Bénéfices supposent que les Conditions favorables (CONDITIONS) sont réunies conformément aux meilleures pratiques, que les principales menaces peuvent être atténuées par l'AMP, et que le système a eu suffisamment de temps pour s'améliorer et se stabiliser. Bien que certains bénéfices écologiques surviennent rapidement après la mise en place des mesures de protection (par exemple, 1), la majeure partie des bénéfices mettent du temps à apparaître. Les niveaux de confiance dans les bénéfices reflètent des jugements d'experts qui s'appuient sur les recherches disponibles (voir Références). Pour chacun des bénéfices répertoriés ici, les références à l'appui de nos résultats ne sont pas exhaustives, mais sont représentatives des données probantes sur le sujet.

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
Conservation de la biodiversité					
De nombreux attributs des organismes individuels, de leurs populations et de leurs communautés contribuent à la persistance et à la résilience globales des espèces et des écosystèmes, ainsi que de leurs bénéfices pour les personnes. Les cases à la droite de chaque bénéfice décrivent dans quelle mesure les différents Niveaux de protection sont susceptibles de protéger ou de restaurer cet attribut.					
<p>Abondance : maintenue aux niveaux antérieurs à l'exploitation ou en voie de retrouver ces niveaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> En général, la protection entraîne l'augmentation de l'abondance des organismes dans l'AMP. Ce qui augmente, de combien et à quel moment dépend du niveau de protection et de l'importance de l'exploitation ou de l'impact passé. Les espèces auparavant exploitées augmentent généralement plus vite que d'autres espèces. Les proies de ces espèces auparavant exploitées verront probablement leur abondance diminuer lorsque ces prédateurs se rétabliront, signe de la restauration de l'écosystème. 	L'abondance est maintenue dans les sites non impactés ou elle se rapproche des niveaux de sites non exploités / non impactés, y compris pour de nombreuses espèces très vulnérables au risque d'épuisement.	L'abondance augmente, y compris pour certaines espèces très vulnérables au risque d'épuisement. Cependant, par rapport à une protection intégrale, cette augmentation est plus faible pour les espèces qui continuent d'être ciblées.	Les espèces faisant l'objet de mesures de protection spécifiques peuvent voir leur abondance augmenter. Des espèces vulnérables peuvent être présentes à de faibles niveaux de population.	Changement minimal ou poursuite du déclin des espèces impactées ou surexploitées.	Confiance élevée Côté et al. 2001 (1); Lester and Halpern 2008 (2); Claudet et al. 2008 (3); Lester et al. 2009 (4); Giakoumi et al. 2017 (5); Zupan et al. 2018 (6)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Pyramide des âges de la population : maintenue au niveau de la structure des âges naturelle ou progresse vers celle-ci.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une fois protégées, les espèces autrefois exploitées ou impactées (par ex., comme prises accessoires) vivent plus longtemps, en particulier les prédateurs. • Cela fait évoluer la structure de la population avec des individus plus grands et plus âgés qui participent généralement plus à la reproduction, ont plus d'expérience (par ex., pour trouver des partenaires ou des zones de frai favorables), peuvent donner une progéniture de meilleure qualité et peuvent protéger leur population dans le cas où des conditions environnementales défavorables à la reconstitution s'étaleraient sur plusieurs années. 	Petit à petit, des individus plus âgés réapparaissent dans la population, le temps nécessaire à ce retour dépendant du taux de croissance de l'espèce.	Petit à petit, des individus plus âgés réapparaissent dans la population s'ils ne sont pas exploités.	Les espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques vivent plus longtemps, à la différence des espèces exploitées ou impactées.	Différence minimale pour la structure de la population entre une AMP et un site non protégé.	Confiance élevée Roberts et al. 2001 (7); Claudet et al. 2006 (8); Ruttenberg et al. 2011 (9); García Rubies et al. 2013 (10); Abesamis et al. 2014 (11); Malcolm et al. 2015 (12); Harasti et al. 2018 (13)
<p>Biomasse : maintenue aux niveaux antérieurs à l'exploitation ou en voie de retrouver ces niveaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures de protection entraînent généralement une augmentation de l'abondance et des tailles corporelles moyennes, ce qui provoque de fortes augmentations de la biomasse des espèces auparavant exploitées ou impactées. 	La biomasse est maintenue à des niveaux non exploités / non impactés ou se rapproche de ces niveaux.	La biomasse est maintenue à des niveaux non exploités / non impactés ou augmente. Pour les espèces exploitées ou impactées, la biomasse connaît des niveaux plus faibles.	Les espèces faisant l'objet de mesures de protection spécifiques voient leur biomasse augmenter. Les espèces exploitées ou impactées restent à des niveaux épuisés ou continuent à décliner.	Différence minimale pour la biomasse entre une AMP et un site non protégé. Différence minimale pour la biomasse entre une AMP et un site non protégé.	Confiance élevée Lester and Halpern 2008 (2); Lester et al. 2009 (4); Sala et al. 2012 (14); Guidetti et al. 2014 (15); Giakoumi et al. 2017 (5); Giakoumi 2018 (16); Zupan et al. 2018 (6); Agnetta et al. 2019 (17)
<p>Richesse des espèces (nb d'espèces) : augmente à mesure que les populations se rétablissent.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures de protection entraînent une augmentation du nombre d'espèces à mesure que les populations se rétablissent, que les espèces rares deviennent plus courantes et que les espèces vulnérables auparavant absentes recolonisent le milieu. 	La richesse est maintenue dans les zones auparavant non exploitées ou se rapproche de niveaux non impactés.	La richesse est maintenue (dans les zones auparavant non exploitées) ou retrouve des niveaux plus élevés.	On observe peu de différences dans la richesse globale, bien que les espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques soient plus fréquentes.	Différence minimale pour la richesse entre une AMP et un site non protégé.	Confiance élevée Lester and Halpern 2008 (2); Russ and Alcala 2011 (18); Nash and Graham 2016 (19)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Succès reproductif et reconstitution des stocks : s'améliore à mesure que la population se rétablit.</p> <ul style="list-style-type: none"> Étant donné que les grands individus engendrent généralement une progéniture bien plus nombreuse que les petits individus de l'espèce, et que les animaux vivent plus longtemps lorsqu'ils ne sont pas exploités, un nombre nettement supérieur de juvéniles est produit dans les aires protégées. Les grands individus peuvent également avoir une meilleure reproduction et donner une progéniture de meilleure qualité avec davantage de chances de survie. 	Le succès reproductif de la plupart des populations auparavant épuisées peut être multiplié. Dans certains cas, il est même multiplié par dizaines et jusqu'à plus de cent fois.	L'amélioration du succès reproductif est manifeste chez la plupart des espèces auparavant épuisées.	On observe une augmentation du succès reproductif des espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques.	Différence minimale pour la reproduction entre une AMP et un site non protégé.	Confiance élevée Nemeth 2005 (20); Kaiser et al. 2007 (21); Crec'hriou et al. 2010 (22); Taylor and McIlwain 2010 (23); Díaz et al. 2011 (24); Hixon et al. 2014 (25); Barneche et al. 2018 (26); Marshall et al. 2019 (27)
<p>Connectivité de la population : autoreconstitution accrue et meilleure exportation de la progéniture à mesure que la population se rétablit.</p> <ul style="list-style-type: none"> Dans les aires protégées, la production plus importante d'œufs ou autres propagules peut conduire à une reconstitution plus rapide de la population au sein de l'AMP, mais aussi à une exportation plus importante des progénitures, et donc à une meilleure reconstitution en dehors de l'AMP, parfois sur de longues distances. 	L'exportation d'œufs, de larves ou de propagules est améliorée pour la plupart des espèces.	L'exportation d'œufs, de larves ou de propagules est améliorée pour un grand nombre d'espèces.	L'exportation d'œufs, de larves ou de propagules est améliorée uniquement pour quelques espèces.	Différence minimale pour l'exportation d'œufs, de larves ou de propagules entre une AMP et un site non protégé.	Confiance modérée Pelc et al. 2010(28); Christie et al. 2010 (29); Di Franco et al. 2012 (30); Roberts and Hawkins 2012 (31); Andrello et al. 2017 (32); Roberts et al. 2017 (33); Manel et al. 2019 (34); Assis et al. 2021 (35)
<p>Protection des espèces rares et menacées : protection accrue permettant aux populations de se rétablir.</p> <ul style="list-style-type: none"> Certaines espèces sont plus vulnérables que d'autres à l'exploitation et aux dommages, parfois même lorsque l'utilisation humaine est faible. 	Les AMP abritent et renforcent les populations de nombreuses espèces rares et menacées, en particulier des espèces sessiles, sédentaires ou peu mobiles.	Les AMP abritent et renforcent les populations de nombreuses espèces rares et menacées, en particulier des espèces sessiles, sédentaires ou peu mobiles, mais à des niveaux inférieurs à ce qu'une protection intégrale pourrait leur offrir.	Des espèces rares et menacées bénéficiant de mesures de protection spécifiques sont présentes, en particulier des espèces sessiles, sédentaires ou peu mobiles, mais à des niveaux inférieurs à ce que pourrait leur offrir une protection intégrale ou haute.	Différence minimale par rapport à un site non protégé.	Confiance modérée Mouillot et al. 2008 (36); Pichgru et al. 2010 (37); Gormley et al. 2012 (38); Goetze et al. 2015 (39); McLaren et al. 2015 (40); Dwyer et al. 2020 (41)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Diversité génétique : améliorée à mesure que les populations se rétablissent et que l'hétérogénéité des habitats augmente.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La taille importante des populations et l'hétérogénéité environnementale accrue favorisent la diversité génétique, bien que l'effet puisse être limité aux espèces dont les populations ont connu des goulets d'étranglement. (L'hétérogénéité environnementale fait référence à la diversité des habitats qui augmente à mesure que les habitats vulnérables et sensibles se rétablissent.) • La diversité génétique peut également être améliorée par l'environnement sélectif différent qu'offrent les AMP par rapport à des aires non protégées. 	La diversité génétique est maintenue ou améliorée pour la plupart des espèces.	La diversité génétique est maintenue ou améliorée pour un grand nombre d'espèces.	La diversité génétique est maintenue ou améliorée pour certaines espèces.	Différence minimale pour la diversité génétique entre une AMP et un site non protégé.	Confiance modérée Miethe et al. 2009 (42); Fidler et al. 2018 (43); Jones et al. 2018 (44); Sørtdalen et al. 2018 (45)
<p>Habitats : se reconstituent sur des années ou des décennies.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les habitats se reconstituent sur des périodes allant de quelques années à des décennies, à mesure que les espèces formatrices d'habitats (algues, herbiers, coraux, huîtres, etc.) bénéficient des mesures de protection et propagent les effets écologiques de ces mesures dans l'ensemble des écosystèmes. 	La reconstitution complète de tous les habitats est possible, mais le temps nécessaire à celle-ci dépend des types d'habitats présents ou capables de se rétablir. Une plus grande complexité tridimensionnelle apparaît.	De nombreux habitats se reconstituent intégralement ou partiellement, mais le temps nécessaire dépend des types d'habitats présents. Une plus grande complexité tridimensionnelle apparaît.	Certains habitats se reconstituent partiellement.	Différence minimale par rapport aux sites non protégés en ce qui concerne la condition des habitats ou les types d'habitats présents.	Confiance élevée Guidetti 2007 (46); Babcock et al. 2010 (47); Costello 2014 (48); Williamson et al. 2014 (49); Turnbull et al. 2018 (50)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Fonctionnement de l'écosystème : les interactions et processus naturels se rétablissent.</p> <ul style="list-style-type: none"> • À mesure que les espèces ciblées se reconstituent, elles rétablissent leurs interactions avec d'autres espèces de la communauté. • Cela modifie ensuite d'autres interactions susceptibles de se propager dans toute la communauté. • Les modifications au niveau de l'écosystème sont souvent les plus spectaculaires lorsque les espèces ciblées étaient des prédateurs de haut niveau ou des superprédateurs, des espèces formatrices d'habitats ou des espèces clés de voûte. 	Reconstitution intégrale des niveaux naturels de la structure et de la complexité trophiques pour la plupart des espèces et habitats; reconstitution partielle lorsque les espèces clés sont très mobiles ou grandes migratrices.	Reconstitution partielle vers des niveaux rétablis de structure et de complexité trophiques.	Les effets des mesures de protection sur le réseau trophique sont relativement limités et incomplets.	Différence minimale par rapport à un site non protégé.	Confiance modérée Guidetti 2006 (51); Claudet et al. 2010 (52); Babcock et al. 2010 (47); McClanahan and Graham 2015 (53); Russ et al. 2015 (54); Acuña-Marrero et al. 2017 (55); Selden et al. 2017 (56)
<p>Résilience écologique (capacité de rétablissement après perturbation) : maintenue aux niveaux antérieurs à l'exploitation ou en voie de les retrouver.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La restauration des interactions écologiques naturelles, la plus grande taille des populations et l'augmentation de la diversité génétique associée renforceront probablement la résilience de la communauté au sein de l'AMP. 	La résilience augmente considérablement.	La résilience augmente.	L'augmentation de la résilience est peu apparente.	L'augmentation de la résilience est minimale ou non apparente.	Confiance faible McLeod et al. 2008 (57); Ling et al. 2009 (58); Micheli et al. 2012 (59); Barnett and Bassett, 2015 (60); Mellin et al 2016 (61); Wilson et al. 2020 (62)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
Effets sur les espèces exploitées					
Le niveau de protection de chaque AMP ou zone d'AMP peut avoir des impacts importants sur les espèces exploitées. Les cases à la droite de chaque bénéfice décrivent dans quelle mesure les différents Niveaux de protection sont susceptibles de protéger ou de reconstituer ces populations, ainsi que leurs bénéfices pour les personnes.					
<p>Effet de débordement : mouvement net de la faune mobile ciblée et de certaines algues vers des lieux de pêche adjacents.</p> <ul style="list-style-type: none"> Le débordement se produit généralement jusqu'à un maximum de quelques kilomètres, à mesure que les densités de population augmentent et que la zone devient de plus en plus peuplée. Le débordement est souvent observé dans un premier temps sous la forme d'une hausse des taux de capture des pêcheries situées juste à l'extérieur des limites de l'AMP (ou de ses zones fermées à la pêche). Le niveau de débordement varie selon les espèces et dépend fortement de leur mobilité, des conditions de l'habitat et de l'importance de la pêche en dehors de la zone protégée. 	Le débordement augmente fortement à mesure que les populations se rétablissent considérablement à l'intérieur des AMP. Les poissons plus grands à l'intérieur de l'AMP produisent proportionnellement plus de larves, ce qui peut provoquer un débordement.	Le débordement augmente à mesure que les populations se rétablissent à l'intérieur des AMP. Les taux de débordement et le nombre d'espèces touchées par celui-ci sont plus faibles que dans le cadre d'une protection intégrale.	Le débordement peut augmenter pour des espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques.	Débordement minimal dans les zones adjacentes.	Confiance élevée Abesamis and Russ 2005 (63); Halpern et al. 2009 (64); Russ and Alcala 2011 (18); Roberts and Hawkins 2012 (31); Di Lorenzo et al. 2016 (65); Di Lorenzo et al. 2020 (66)
<p>Export larvaire : maintenu aux niveaux antérieurs à l'exploitation ou en voie de retrouver ces niveaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> L'augmentation de l'abondance et de la taille corporelle, ainsi que la réduction des perturbations favorisent le succès reproductif, ce qui conduit généralement à l'exportation d'œufs et de larves depuis l'AMP vers les zones environnantes. 	Des taux très élevés d'exportation d'œufs et de larves sont observés, et ils augmentent au fil du temps. Les poissons plus grands à l'intérieur de l'AMP produisent proportionnellement plus de larves, ce qui peut renforcer l'éventuel export larvaire.	Des taux élevés d'exportation d'œufs et de larves sont observés, et ils augmentent au fil du temps, mais à des niveaux inférieurs à ce que permettrait une protection intégrale.	L'exportation d'œufs et de larves est plus importante pour les espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques, et elle augmente au fil du temps.	Changement minimal au niveau de l'exportation d'œufs et de larves après la mise en place des mesures de protection.	Confiance élevée Manríquez and Castilla, 2001 (67); Planes et al. 2009 (68); Christie et al. 2010 (29); Crec'hriou et al. 2010 (22); Pelc et al. 2010 (28); Harrison et al. 2012 (69); Di Franco et al. 2015 (70)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Assurance contre un échec de la gestion ou un effondrement de stocks : protège une portion de la population contre l'exploitation.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'augmentation de l'abondance et de la taille corporelle, l'élargissement de la pyramide des âges et une meilleure reproduction réduisent le risque que la surpêche pratiquée à l'extérieur de l'AMP entraîne un effondrement des stocks, et favorisent une reconstitution consécutive à des problèmes de gestion dans les lieux de pêche. 	La valeur assurantielle peut être très élevée et augmente en fonction du temps écoulé depuis la mise en place des mesures de protection et en fonction de la zone protégée.	La valeur assurantielle peut être élevée et augmente en fonction du temps écoulé depuis la mise en place des mesures de protection et en fonction de la zone protégée.	Une certaine valeur assurantielle pour les espèces bénéficiant de mesures de protection spécifiques, mais l'effet risque d'être faible.	Valeur assurantielle minimale ou non apparente.	Confiance modérée Lauck et al. 1998 (71); Roberts et al. 2005 (72); Russ and Alcala 2011 (18); Krueck et al. 2017 (73)
<p>Protection des étapes vulnérables du cycle de vie : renforcée dans les nourriceries, les frayères, etc., y compris pour les espèces grandes migratrices.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les mesures de protection favorisent la survie et la croissance, et réduisent les impacts de la surpêche. 	Les bénéfices peuvent être très élevés si des zones clés de vulnérabilité (par ex., des frayères) sont intégralement protégées dans les AMP.	Les bénéfices peuvent être élevés si des zones clés de vulnérabilité sont hautement protégées dans les AMP.	Certains bénéfices évidents pour les zones clés de vulnérabilité bénéficiant de mesures de protection spécifiques.	Bénéfices minimaux.	Confiance élevée Beets and Friedlander 1999 (74); Planes et al. 2000 (68); Rogers Bennett and Pearse 2001 (75); Sala et al. 2001 (76); Mumby et al. 2004 (78); Garla et al. 2006 (77); Nemeth 2005 (20); Armsworth et al. 2010 (78); Grüss et al. 2014 (79); Erisman et al. 2017 (80); Farmer et al. 2017 (81); Sadovy de Mitcheson et al. 2020 (82)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
Qualité de l'eau					
Le niveau de protection de chaque AMP ou zone d'AMP peut avoir des impacts importants sur la qualité de l'eau. Les cases à la droite de chaque bénéfice décrivent dans quelle mesure les différents Niveaux de protection sont susceptibles de protéger ou de restaurer la qualité de l'eau, ainsi que ses bénéfices pour les personnes.					
<p>Eutrophisation : risque réduit ou plus faible de zones mortes, de proliférations d'algues, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Des réseaux trophiques pélagiques et benthiques en meilleur état peuvent améliorer les taux de broutage, le cycle des nutriments ou le détritivorisme, réduisant ainsi les effets négatifs de l'enrichissement en nutriments. • Des réseaux trophiques pélagiques en meilleur état peuvent réduire la probabilité que des espèces d'algues nuisibles prolifèrent, bien que même dans les AMP hautement ou intégralement protégées, cet effet puisse être contrebalancé en cas de pollution excessive par les nutriments. 	Possible	Possible	Peu probable	Peu probable	Confiance faible Olds et al. 2014 (83); Alongi et al. 2015 (84); McKinnon et al. 2017 (85); Bergström et al. 2019 (86); Strain et al. 2019 (87)

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Pathogènes et polluants : concentrations réduites.</p> <ul style="list-style-type: none"> De fortes densités d'organismes filtreurs peuvent réduire les niveaux de nutriments et de pathogènes dans la colonne d'eau et les habitats végétalisés peuvent réduire les agents pathogènes bactériens. Atténuation des maladies pour des espèces comme les coraux grâce à la réduction des blessures physiques dans les zones où les activités humaines sont réduites. Peut améliorer la résilience écologique en préservant le fonctionnement de l'écosystème. Les engins de pêche mobiles peuvent remettre en suspension les sédiments et les polluants hérités (DDT, PCB, métaux lourds, etc.) à un rythme plus fréquent que les perturbations naturelles, provoquant leur réintroduction dans les réseaux trophiques démersaux et pélagiques. La protection contre les engins mobiles accroît la longévité et l'efficacité du stockage. 	<p>Réduction probable des niveaux de pathogènes par rapport aux sites non protégés. Les effets peuvent aussi s'étendre aux zones adjacentes.</p> <p>Preuve de la réduction des maladies coralliennes dans les aires intégralement protégées en raison de la diminution des dommages aux coraux et d'une plus petite quantité de lignes de pêche abandonnées.</p> <p>Amélioration des taux d'absorption et de séquestration des substances chimiques héritées par les invertébrés des fonds marins, avec un allongement des temps de résidence dans les sédiments.</p>	<p>Réduction probable des niveaux de pathogènes par rapport aux sites non protégés. Les effets peuvent aussi s'étendre aux zones adjacentes.</p> <p>Il est montré que la minimisation des impacts liés aux autres types de pressions (par ex., la pêche) augmente la résilience des coraux face aux maladies.</p> <p>Amélioration des taux d'absorption et de séquestration des substances chimiques héritées par les invertébrés des fonds marins, avec un allongement des temps de résidence dans les sédiments.</p>	<p>Possibilité de niveaux de pathogènes réduits, en particulier là où des habitats végétalisés sont présents.</p> <p>Les impacts de la pêche (par ex., des lignes de pêche abandonnées) peuvent exacerber les cas de maladies coralliennes.</p> <p>La protection contre les engins de pêche mobile permet d'améliorer les taux d'absorption et de séquestration des substances chimiques héritées par les invertébrés des fonds marins, avec un allongement des temps de résidence dans les sédiments.</p>	<p>Différence minimale par rapport à un site non protégé.</p>	<p>Confiance modérée</p> <p>Cotou et al. 2005 (88); Durrieu de Madron et al. 2005 (89); Lamb et al. 2017 (90); Pollack et al. (2014) (91)</p>
<p>Sédiments en suspension : niveaux réduits.</p> <ul style="list-style-type: none"> Le rétablissement de populations denses d'invertébrés filtreurs améliore les taux de filtration de l'eau et réduit les sédiments en suspension. De plus, l'amélioration de la clarté de l'eau peut conduire à l'augmentation de la végétation aquatique enracinée (comme les herbiers marins) qui offre un habitat important pour les nourriceries. 	<p>Des populations denses d'organismes filtreurs se rétablissent sur le fond marin, améliorant la clarté de l'eau et l'abondance de la végétation aquatique enracinée, en particulier dans les masses d'eau semi-fermées.</p>	<p>Des populations denses d'organismes filtreurs se rétablissent sur le fond marin, améliorant la clarté de l'eau et l'abondance de la végétation aquatique enracinée, en particulier dans les masses d'eau semi-fermées.</p>	<p>Si elles sont protégées contre les engins de pêche mobiles, des populations denses d'organismes filtreurs peuvent se rétablir sur le fond marin, améliorant la clarté de l'eau et permettant la persistance de la végétation aquatique enracinée, en particulier dans les masses d'eau semi-fermées.</p>	<p>Différence minimale par rapport à un site non protégé.</p>	<p>Confiance faible</p> <p>State of Queensland, 2018 (92); Powell et al. 2019 (93)</p>

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
Résilience / Adaptation / Atténuation climatique					
Le Niveau de protection de chaque AMP ou zone d'AMP peut jouer un rôle important dans la résilience, l'adaptation et l'atténuation climatiques. Les connaissances de principe quant à la façon dont les systèmes marins séquestrent et stockent le carbone sont très faibles; cependant, il est nécessaire de mener de plus amples recherches sur la façon dont les AMP contribuent plus spécifiquement au budget carbone. Les cases à la droite de chaque bénéfice décrivent dans quelle mesure les différents Niveaux de protection sont susceptibles d'avoir un impact sur le changement climatique et de bénéficier ainsi aux personnes.					
<p>Carbone : séquestration et stockage renforcés et préservés.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une production primaire accrue par des habitats végétalisés, comme les mangroves, les marais salants et les herbiers marins protégés dans les AMP, entraîne une hausse de la capture du carbone (par ex., carbone bleu). • Les stocks de carbone enfouis dans les sédiments des AMP sont protégés contre les perturbations causées par les engins de pêche mobiles et par d'autres sources. • L'absence de chalutage et de dragage des habitats des fonds marins favorise l'absorption du carbone par des communautés plus riches en plantes et organismes filtreurs, et améliore le stockage dans les sédiments. • Une grande abondance d'espèces mésopélagiques dans les habitats pélagiques favorise le transport du carbone de la surface vers les eaux profondes. • La grande abondance d'animaux qui se nourrissent dans les profondeurs et excrètent des nutriments à la surface améliore la productivité de surface, dont une partie finit par être stockée dans les sédiments des eaux profondes. 	Élevée, si l'AMP protège les habitats côtiers à carbone bleu, comme les mangroves, les marais salants et les herbiers marins, d'autres communautés marines qui séquestrent le carbone, et/ou les sédiments contre les engins de pêche mobiles ou d'autres sources de perturbation.	Élevée, si l'AMP protège les habitats côtiers à carbone bleu, comme les mangroves, les marais salants et les herbiers marins, d'autres communautés marines qui séquestrent le carbone, et/ou les sédiments contre les engins de pêche mobiles ou d'autres sources de perturbation.	Modérée, mais uniquement si l'AMP offre une certaine protection aux habitats côtiers végétalisés, et/ou aux sédiments contre les engins de pêche mobiles et d'autres sources de perturbation.	Différence minimale par rapport à un site non protégé.	<p>Confiance modérée</p> <p>Confiance élevée dans les connaissances de principe quant à la séquestration et au stockage du carbone dans les systèmes marins.</p> <p>Pendleton et al. 2012 (94); Atwood et al. 2015 (95); Mineur et al. 2015 (96); Zarate Barrera and Maldonado 2015 (97); Krause Jensen and Duarte 2016 (98); Howard et al. 2017 (99); Roberts et al. 2017 (33); Duarte et al. 2020 (100); Mariani et al. 2020 (101); Saba et al. 2021 (102); Sala et al. 2021 (103)</p>

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Acidification : atténuation des effets locaux.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les aires végétalisées peuvent réduire l'acidification locale. Cela peut être bénéfique pour les mollusques et crustacés locaux, ou pour d'autres espèces d'importance économique ou culturelle. • L'excrétion de carbonates à la surface par des poissons qui migrent verticalement peut protéger contre l'acidité de surface. • L'aquaculture d'algues peut réduire l'acidification. 	<p>L'étendue et la qualité des habitats végétalisés augmentent, en particulier si ceux-ci sont soutenus par une restauration active ou un réalignement côtier qui atténuent l'acidification locale.</p> <p>La protection d'espèces migrant verticalement facilite la protection de la surface.</p>	<p>L'étendue et la qualité des habitats végétalisés augmentent, en particulier si ceux-ci sont soutenus par une restauration active ou un réalignement côtier qui atténuent l'acidification locale.</p> <p>La protection d'espèces migrant verticalement peut faciliter la protection de la surface.</p>	<p>Selon les mesures de protection spécifiques mises en place, l'étendue et la qualité des habitats végétalisés peuvent augmenter, en particulier si ceux-ci sont soutenus par une restauration active qui atténue l'acidification locale.</p> <p>La protection d'espèces migrant verticalement peut faciliter la protection de la surface.</p>	<p>Différence minimale par rapport à un site non protégé. Toutefois, les AMP soutenant l'aquaculture d'algues peuvent produire des bénéfices améliorant l'acidification locale.</p>	<p>Confiance faible</p> <p>Unsworth et al. 2012 (104); Roberts et al. 2017 (33); Duarte et al. 2017 (105); mais voir Koweek et al., 2018 (106)</p>
<p>Productivité : capacité à contrebalancer les déclinés liés au changement climatique.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meilleur potentiel d'adaptation et de maintien de la productivité du fait d'une plus grande diversité génétique. • Le changement climatique réduit la productivité marine. Avec les AMP, la productivité primaire peut être maintenue grâce à une plus grande abondance d'organismes marins qui jouent des rôles clés dans la pompe des nutriments (qui transporte les nutriments depuis les profondeurs jusqu'à la zone épipelagique), favorisant ainsi la production primaire. • Un élargissement des habitats végétalisés côtiers améliore la productivité et le transfert de nutriments aux écosystèmes adjacents. • Les déclinés de la productivité secondaire peuvent être contrés par l'accroissement des populations d'espèces auparavant exploitées. 	<p>Productivité maintenue ou accrue.</p>	<p>Productivité maintenue ou accrue.</p>	<p>Productivité maintenue ou accrue si des mesures de protection spécifiques ciblent les éléments clés des écosystèmes qui favorisent la productivité.</p>	<p>Différence minimale par rapport à un site non protégé.</p>	<p>Confiance faible</p> <p>Grémillet and Boulinier 2009 (107); Reed et al. 2016 (108); Kelly et al. 2017 (109); mais voir Rogers Bennett and Catton 2019 (110)</p>

BÉNÉFICE	NIVEAU DE PROTECTION				DEGRÉ DE CONFIANCE/ RÉFÉRENCES À L'APPUI
	Intégrale	Haute	Légère	Minimale	
<p>Protection côtière : maintien ou amélioration de la capacité à contrebalancer les perturbations.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La protection d'habitats biogéniques, comme les mangroves, les herbiers marins, les marais salants, les récifs coralliens ou les bancs d'huîtres, peut à son tour protéger les côtes, même lorsque le niveau de la mer monte. Cela a des bénéfices pour la santé humaine, la sûreté et la sécurité, et l'économie. 	Les défenses côtières naturelles sont maintenues ou renforcées, en particulier si elles sont complétées par une restauration active ou un réalignement côtier.	Les défenses côtières naturelles sont maintenues ou renforcées, en particulier si elles sont complétées par une restauration active ou un réalignement côtier.	Les défenses côtières naturelles sont maintenues ou renforcées si elles bénéficient de mesures de protection spécifiques, en particulier si elles sont complétées par une restauration active ou un réalignement côtier.	Différence minimale par rapport à un site non protégé.	<p>Confiance élevée</p> <p>Luo et al. 2015 (111); Miteva et al. 2015 (112); Narayan et al. 2016 (113); Roberts et al. 2017 (33); Harris et al. 2018 (114); Powell et al. 2019 (93); Duarte et al. 2020 (100)</p>

References

1. M. Côté, I. Mosqueira, J. D. Reynolds, Effects of marine reserve characteristics on the protection of fish populations: a meta-analysis. *J. Fish Biol.* **59**, 178–189 (2001).
2. S. Lester, B. Halpern, Biological responses in marine no-take reserves versus partially protected areas. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **367**, 49–56 (2008).
3. J. Claudet, C. W. Osenberg, L. BenedettiCecchi, P. Domenici, J.-A. GarcíaCharton, Á. PérezRuzafa, F. Badalamenti, J. BayleSempere, A. Brito, F. Bulleri, J.-M. Culioli, M. Dimech, J. M. Falcón, I. Guala, M. Milazzo, J. SánchezMeca, P. J. Somerfield, B. Stobart, F. Vandeperre, C. Valle, S. Planes, Marine reserves: size and age do matter. *Ecol. Lett.* **11**, 481–489 (2008).
4. S. E. Lester, B. S. Halpern, K. Grorud-Colvert, J. Lubchenco, B. I. Ruttenberg, S. D. Gaines, S. Airame, R. R. Warner, Biological effects within no-take marine reserves: a global synthesis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **384**, 33–46 (2009).
5. S. Giakoumi, C. Scianna, J. Plass-Johnson, F. Micheli, K. Grorud-Colvert, P. Thiriet, J. Claudet, G. Di Carlo, A. Di Franco, S. D. Gaines, J. A. García-Charton, J. Lubchenco, J. Reimer, E. Sala, P. Guidetti, Ecological effects of full and partial protection in the crowded Mediterranean Sea: a regional meta-analysis. *Sci. Rep.* **7**, 8940 (2017).
6. M. Zupan, E. Fragkopoulou, J. Claudet, K. Erzini, B. H. e Costa, E. J. Gonçalves, Marine partially protected areas: drivers of ecological effectiveness. *Front. Ecol. Environ.* **16**, 381–387 (2018).
7. C. M. Roberts, J. A. Bohnsack, F. Gell, J. P. Hawkins, R. Goodridge, Effects of marine reserves on adjacent fisheries. *Science*. **294**, 1920–1923 (2001).
8. J. Claudet, D. Pelletier, J.-Y. Jouvenel, F. Bachet, R. Galzin, Assessing the effects of marine protected area (MPA) on a reef fish assemblage in a northwestern Mediterranean marine reserve: Identifying community-based indicators. *Biol. Conserv.* **130**, 349–369 (2006).
9. B. I. Ruttenberg, S. L. Hamilton, S. M. Walsh, M. K. Donovan, A. Friedlander, E. DeMartini, E. Sala, S. A. Sandin, Predator-Induced Demographic Shifts in Coral Reef Fish Assemblages. *PLOS ONE*. **6**, e21062 (2011).
10. A. García-Rubies, B. Hereu, M. Zabala, Long-term recovery patterns and limited spillover of large predatory fish in a Mediterranean MPA. *PLOS ONE*. **8**, e73922 (2013).
11. R. A. Abesamis, A. L. Green, G. R. Russ, C. R. L. Jadloc, The intrinsic vulnerability to fishing of coral reef fishes and their differential recovery in fishery closures. *Rev. Fish Biol. Fish.* **24**, 1033–1063 (2014).
12. H. A. Malcolm, A. L. Schultz, P. Sachs, N. Johnstone, A. Jordan, Decadal changes in the abundance and length of snapper (*Chrysophrys auratus*) in subtropical marine sanctuaries. *PLOS ONE*. **10**, e0127616 (2015).
13. D. Harasti, J. Williams, E. Mitchell, S. Lindfield, A. Jordan, Increase in relative abundance and size of snapper *Chrysophrys auratus* within partially-protected and no-take areas in a temperate marine protected area. *Front. Mar. Sci.* **5** (2018), doi:10.3389/fmars.2018.00208.
14. E. Sala, E. Ballesteros, P. Dendrinis, A. D. Franco, F. Ferretti, D. Foley, S. Frascchetti, A. Friedlander, J. Garrabou, H. Güçlüsoy, P. Guidetti, B. S. Halpern, B. Hereu, A. A. Karamanlidis, Z. Kizilkaya, E. Macpherson, L. Mangialajo, S. Mariani, F. Micheli, A. Pais, K. Riser, A. A. Rosenberg, M. Sales, K. A. Selkoe, R. Starr, F. Tomas, M. Zabala, The structure of Mediterranean rocky reef ecosystems across environmental and human gradients, and conservation implications. *PLOS ONE*. **7**, e32742 (2012).
15. P. Guidetti, P. Baiata, E. Ballesteros, A. Di Franco, B. Hereu, E. Macpherson, F. Micheli, A. Pais, P. Panzalis, A. A. Rosenberg, M. Zabala, E. Sala, Large-scale assessment of Mediterranean marine protected areas effects on fish assemblages. *PLOS ONE*. **9**, e91841 (2014).
16. E. Sala, S. Giakoumi, No-take marine reserves are the most effective protected areas in the ocean. *ICES J. Mar. Sci.* **75**, 1166–1168 (2018).
17. D. Agnetta, F. Badalamenti, F. Colloca, G. D'Anna, M. Di Lorenzo, F. Fiorentino, G. Garofalo, M. Gristina, L. Labanchi, B. Patti, C. Pipitone, C. Solidoro, S. Libralato, Benthic-pelagic coupling mediates interactions in Mediterranean mixed fisheries: An ecosystem modeling approach. *PLoS ONE*. **14** (2019), doi: 10.1371/journal.pone.0210659.
18. G. R. Russ, A. C. Alcala, Enhanced biodiversity beyond marine reserve boundaries: The cup spillith over. *Ecol. Appl.* **21**, 241–250 (2011).

19. K. L. Nash, N. A. J. Graham, Ecological indicators for coral reef fisheries management. *Fish Fisheries*. **17**, 1029–1054 (2016).
20. R. S. Nemeth, Population characteristics of a recovering US Virgin Islands red hind spawning aggregation following protection. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **286**, 81–97 (2005).
21. M. J. Kaiser, R. E. Blyth-Skyrme, P. J. Hart, G. Edwards-Jones, D. Palmer, Evidence for greater reproductive output per unit area in areas protected from fishing. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* **64**, 1284–1289 (2007).
22. R. Crec'hriou, F. Alemany, E. Roussel, A. Chassanite, J. Y. Marinaro, J. Mader, E. Rochel, S. Planes, Fisheries replenishment of early life taxa: potential export of fish eggs and larvae from a temperate marine protected area. *Fish. Oceanogr.* **19**, 135–150 (2010).
23. B. M. Taylor, J. L. McIlwain, Beyond abundance and biomass: effects of marine protected areas on the demography of a highly exploited reef fish. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **411**, 243–258 (2010).
24. D. Díaz, S. Mallof, A. M. Parma, R. Goñi, Decadal trend in lobster reproductive output from a temperate marine protected area. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **433**, 149–157 (2011).
25. M. A. Hixon, D. W. Johnson, S. M. Sogard, BOFFFFs: on the importance of conserving old-growth age structure in fishery populations. *ICES J. Mar. Sci.* **71**, 2171–2185 (2014).
26. D. R. Barneche, D. R. Robertson, C. R. White, D. J. Marshall, Fish reproductive-energy output increases disproportionately with body size. *Science*. **360**, 642–645 (2018).
27. D. J. Marshall, S. Gaines, R. Warner, D. R. Barneche, M. Bode, Underestimating the benefits of marine protected areas for the replenishment of fished populations. *Front. Ecol. Environ.* **17**, 407–413 (2019).
28. R. A. Pelc, R. R. Warner, S. D. Gaines, C. B. Paris, Detecting larval export from marine reserves. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **107**, 18266–18271 (2010).
29. M. R. Christie, B. N. Tissot, M. A. Albins, J. P. Beets, Y. Jia, D. M. Ortiz, S. E. Thompson, M. A. Hixon, Larval connectivity in an effective network of marine protected areas. *PLOS ONE*. **5**, e15715 (2010).
30. D. Franco, B. M. Gillanders, G. D. Benedetto, A. Pennetta, G. A. D. Leo, P. Guidetti, Dispersal Patterns of Coastal Fish: Implications for Designing Networks of Marine Protected Areas. *PLOS ONE*. **7**, e31681 (2012).
31. C. M. Roberts, J. P. Hawkins, "Establishment of fish stock recovery areas" (European Parliament, 2012), p. 70.
32. M. Andrello, F. Guilhaumon, C. Albouy, V. Parravicini, J. Scholtens, P. Verley, M. Barange, U. R. Sumaila, S. Manel, D. Mouillot, Global mismatch between fishing dependency and larval supply from marine reserves. *Nat. Commun.* **8**, 1–9 (2017).
33. C. M. Roberts, B. C. O'Leary, D. J. McCauley, P. M. Cury, C. M. Duarte, J. Lubchenco, D. Pauly, A. Sáenz-Arroyo, U. R. Sumaila, R. W. Wilson, B. Worm, J. C. Castilla, Marine reserves can mitigate and promote adaptation to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 201701262 (2017).
34. S. Manel, N. Loiseau, M. Andrello, K. Fietz, R. Goñi, A. Forcada, P. Lenfant, S. Kininmonth, C. Marcos, V. Marques, S. Mallof, A. Pérez-Ruzafa, C. Breusing, O. Puebla, D. Mouillot, Long-distance benefits of marine reserves: Myth or reality? *Trends Ecol. Evol.* **34**, 342–354 (2019).
35. J. Assis, E. Fragkopoulou, E. A. Serrão, B. Horta e Costa, M. Gandra, D. Abecasis, Weak biodiversity connectivity in the European network of no-take marine protected areas. *Sci. Total Environ.* **773**, 145664 (2021).
36. D. Mouillot, J. M. Culioli, D. Pelletier, J. A. Tomasini, Do we protect biological originality in protected areas? A new index and an application to the Bonifacio Strait Natural Reserve. *Biol. Conserv.* **141**, 1569–1580 (2008).
37. L. Pichegru, D. Grémillet, R. J. M. Crawford, P. G. Ryan, Marine no-take zone rapidly benefits endangered penguin. *Biol. Lett.* **6**, 498–501 (2010).
38. A. M. Gormley, E. Sooten, S. Dawson, R. J. Barker, W. Rayment, S. du Fresne, S. Bräger, First evidence that marine protected areas can work for marine mammals. *J. Appl. Ecol.* **49**, 474–480 (2012).
39. J. S. Goetze, S. D. Jupiter, T. J. Langlois, S. K. Wilson, E. S. Harvey, T. Bond, W. Naisilisili, Diver operated video most accurately detects the impacts of fishing within periodically harvested closures. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **462**, 74–82 (2015).

40. B. W. McLaren, T. J. Langlois, E. S. Harvey, H. Shortland-Jones, R. Stevens, A small no take marine sanctuary provides consistent protection for small-bodied by-catch species, but not for large-bodied, high-risk species. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* **471**, 153–163 (2015).
41. R. G. Dwyer, N. C. Krueck, V. Udyawer, M. R. Heupel, D. Chapman, H. L. Pratt, R. Garla, C. A. Simpfendorfer, Individual and population benefits of marine reserves for reef sharks. *Curr. Biol.* **30**, 480–489.e5 (2020).
42. T. Miethe, C. Dytham, U. Dieckmann, J. W. Pitchford, Marine reserves and the evolutionary effects of fishing on size at maturation. *ICES J. Mar. Sci.* **67**, 412–425 (2010).
43. R. Y. Fidler, J. Carroll, K. W. Rynerson, D. F. Matthews, R. G. Turingan, Coral reef fishes exhibit beneficial phenotypes inside marine protected areas. *PLOS ONE*. **13**, e0193426 (2018).
44. K. R. Jones, C. J. Klein, B. S. Halpern, O. Venter, H. Grantham, C. D. Kuempel, N. Shumway, A. M. Friedlander, H. P. Possingham, J. E. M. Watson, The location and protection status of Earth's diminishing marine wilderness. *Curr. Biol.* **28**, 2506–2512.e3 (2018).
45. T. K. Sjørdalen, K. T. Halvorsen, H. B. Harrison, C. D. Ellis, L. A. Vøllestad, H. Knutsen, E. Moland, E. M. Olsen, Harvesting changes mating behaviour in European lobster. *Evol. Appl.* **11**, 963–977 (2018).
46. P. Guidetti, Potential of marine reserves to cause community-wide changes beyond their boundaries. *Conserv. Biol.* **21**, 540–545 (2007).
47. R. C. Babcock, A. C. Alcala, K. D. Lafferty, T. McClanahan, G. R. Russ, N. T. Shears, N. S. Barrett, G. J. Edgar, Conservation or restoration: decadal trends in marine reserves. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* **107**, 18256–18261 (2010).
48. M. J. Costello, Long live Marine Reserves: A review of experiences and benefits. *Biol. Conserv.* **176**, 289–296 (2014).
49. D. H. Williamson, D. M. Ceccarelli, R. D. Evans, G. P. Jones, G. R. Russ, Habitat dynamics, marine reserve status, and the decline and recovery of coral reef fish communities. *Ecol. Evol.* **4**, 337–354 (2014).
50. J. W. Turnbull, Y. Shah Esmaili, G. F. Clark, W. F. Figueira, E. L. Johnston, R. Ferrari, Key drivers of effectiveness in small marine protected areas. *Biodivers. Conserv.* **27**, 2217–2242 (2018).
51. P. Guidetti, Marine reserves reestablish lost predatory interactions and cause community changes in rocky reefs. *Ecol. Appl.* **16**, 963–976 (2006).
52. J. Claudet, C. W. Osenberg, P. Domenici, F. Badalamenti, M. Milazzo, J. M. Falcón, I. Bertocci, L. Benedetti-Cecchi, J.-A. García-Charton, R. Goñi, J. A. Borg, A. Forcada, G. A. de Lucia, Á. Pérez-Ruzafa, P. Afonso, A. Brito, I. Guala, L. L. Diréach, P. Sanchez Jerez, P. J. Somerfield, S. Planes, Marine reserves: Fish life history and ecological traits matter. *Ecol. Appl.* **20**, 830–839 (2010).
53. T. R. McClanahan, N. a. J. Graham, Marine reserve recovery rates towards a baseline are slower for reef fish community life histories than biomass. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **282**, 20151938 (2015).
54. G. R. Russ, K. I. Miller, J. R. Rizzari, A. C. Alcala, Long-term no-take marine reserve and benthic habitat effects on coral reef fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **529**, 233–248 (2015).
55. D. Acuña-Marrero, A. N. H. Smith, N. Hammerschlag, A. Hearn, M. J. Anderson, H. Calich, M. D. M. Pawley, C. Fischer, P. Salinas-de-León, Residency and movement patterns of an apex predatory shark (*Galeocerdo cuvier*) at the Galapagos Marine Reserve. *PLOS ONE*. **12**, e0183669 (2017).
56. R. L. Selden, S. D. Gaines, S. L. Hamilton, R. R. Warner, Protection of large predators in a marine reserve alters size-dependent prey mortality. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **284**, 20161936 (2017).
57. E. McLeod, R. Salm, A. Green, J. Almany, Designing marine protected area networks to address the impacts of climate change. *Front. Ecol. Environ.* **7**, 362–370 (2009).
58. S. D. Ling, C. R. Johnson, S. D. Frusher, K. R. Ridgway, Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **106**, 22341–22345 (2009).
59. F. Micheli, A. Saenz-Arroyo, A. Greenley, L. Vazquez, J. A. E. Montes, M. Rossetto, G. A. D. Leo, Evidence that marine reserves enhance resilience to climatic impacts. *PLOS ONE*. **7**, e40832 (2012).
60. L. A. K. Barnett, M. L. Baskett, Marine reserves can enhance ecological resilience. *Ecol. Lett.* **18**, 1301–1310 (2015).

61. C. Mellin, M. A. MacNeil, A. J. Cheal, M. J. Emslie, M. J. Caley, Marine protected areas increase resilience among coral reef communities. *Ecol. Lett.* **19**, 629–637 (2016).
62. K. L. Wilson, D. P. Tittensor, B. Worm, K. L. Heike, Incorporating climate change adaptation into marine protected area planning. *Glob. Change Biol.*, 3251–3267 (2020).
63. R. A. Abesamis, G. R. Russ, Density-dependent spillover from a marine reserve: long term evidence. *Ecol. Appl.* **15**, 1798–1812 (2005).
64. B. S. Halpern, S. E. Lester, J. B. Kellner, Spillover from marine reserves and the replenishment of fished stocks. *Environ. Conserv.* **36**, 268–276 (2009).
65. M. Di Lorenzo, J. Claudet, P. Guidetti, Spillover from marine protected areas to adjacent fisheries has an ecological and a fishery component. *J. Nat. Conserv.* **32**, 62–66 (2016).
66. M. D. Lorenzo, P. Guidetti, A. D. Franco, A. Calò, J. Claudet, Assessing spillover from marine protected areas and its drivers: A meta-analytical approach. *Fish Fish.* **21**, 906–915 (2020).
67. P. H. Manríquez, J. C. Castilla, Significance of marine protected areas in central Chile as seeding grounds for the gastropod *Concholepas concholepas*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **215**, 201–211 (2001).
68. S. Planes, G. Jones, S. Thorrold, Larval dispersal connects fish populations in a network of marine protected areas. *Proc. Natl. Acad. Sci.* (2009), doi:10.1073/pnas.0808007106.
69. H. B. Harrison, D. H. Williamson, R. D. Evans, G. R. Almany, S. R. Thorrold, G. R. Russ, K. A. Feldheim, L. van Herwerden, S. Planes, M. Srinivasan, M. L. Berumen, G. P. Jones, Larval export from marine reserves and the recruitment benefit for fish and fisheries. *Curr. Biol.* **22**, 1023–1028 (2012).
70. A. Di Franco, A. Calò, A. Pennetta, G. De Benedetto, S. Planes, P. Guidetti, Dispersal of larval and juvenile seabream: Implications for Mediterranean marine protected areas. *Biol. Conserv.* **192**, 361–368 (2015).
71. T. Lauck, C. W. Clark, M. Mangel, G. R. Munro, Implementing the precautionary principle in fisheries management through marine reserves. *Ecol. Appl.* **8**, S72–S78 (1998).
72. C. M. Roberts, J. P. Hawkins, F. R. Gell, The role of marine reserves in achieving sustainable fisheries. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* **360**, 123–132 (2005).
73. N. C. Krueck, G. N. Ahmadi, H. P. Possingham, C. Riginos, E. A. Treml, P. J. Mumby, Marine reserve targets to sustain and rebuild unregulated fisheries. *PLOS Biol.* **15**, e2000537 (2017).
74. J. Beets, A. Friedlander, Evaluation of a conservation strategy: a spawning aggregation closure for red hind, *Epinephelus guttatus*, in the U.S. Virgin Islands. *Environ. Biol. Fishes.* **55**, 91–98 (1999).
75. L. RogersBennett, J. S. Pearse, Indirect benefits of marine protected areas for juvenile abalone. *Conserv. Biol.* **15**, 642–647 (2001).
76. E. Sala, E. Ballesteros, R. M. Starr, Rapid decline of Nassau Grouper spawning aggregations in Belize: Fishery management and conservation needs. *Fisheries.* **26**, 23–30 (2001).
77. R. C. Garla, D. D. Chapman, B. M. Wetherbee, M. Shivji, Movement patterns of young Caribbean reef sharks, *Carcharhinus perezi*, at Fernando de Noronha Archipelago, Brazil: the potential of marine protected areas for conservation of a nursery ground. *Mar. Biol.* **149**, 189–199 (2006).
78. P. R. Armsworth, B. A. Block, J. Eagle, J. E. Roughgarden, The economic efficiency of a time–area closure to protect spawning bluefin tuna. *J. Appl. Ecol.* **47**, 36–46 (2010).
79. A. Grüss, D. M. Kaplan, J. Robinson, Evaluation of the effectiveness of marine reserves for transient spawning aggregations in data-limited situations. *ICES J. Mar. Sci.* **71**, 435–449 (2014).
80. B. Erisman, W. Heyman, S. Kobara, T. Ezer, S. Pittman, O. AburtoOropeza, R. S. Nemeth, Fish spawning aggregations: where well-placed management actions can yield big benefits for fisheries and conservation. *Fish Fish.* **18**, 128–144 (2017).
81. N. A. Farmer, W. D. Heyman, M. Karnauskas, S. Kobara, T. I. Smart, J. C. Ballenger, M. J. M. Reichert, D. M. Wyanski, M. S. Tishler, K. C. Lindeman, S. K. Lowerre-Barbieri, T. S. Switzer, J. J. Solomon, K. McCain, M. Marhefka, G. R. Sedberry, Timing and locations of reef fish spawning off the southeastern United States. *PLOS ONE.* **12**, e0172968 (2017).

82. Y. Sadovy de Mitcheson, P. L. Colin, S. J. Lindfield, A. Bukurrou, A decade of monitoring an Indo-Pacific grouper spawning aggregation: Benefits of protection and importance of survey design. *Front. Mar. Sci.* **7** (2020), doi:10.3389/fmars.2020.571878.
83. A. D. Olds, K. A. Pitt, P. S. Maxwell, R. C. Babcock, D. Rissik, R. M. Connolly, Marine reserves help coastal ecosystems cope with extreme weather. *Glob. Change Biol.* **20**, 3050–3058 (2014).
84. D. M. Alongi, N. L. Patten, D. McKinnon, N. Köstner, D. G. Bourne, R. Brinkman, Phytoplankton, bacterioplankton and virioplankton structure and function across the southern Great Barrier Reef shelf. *J. Mar. Syst.* **142**, 25–39 (2015).
85. A. D. McKinnon, S. Duggan, M. Logan, C. Lønborg, Plankton Respiration, Production, and Trophic State in Tropical Coastal and Shelf Waters Adjacent to Northern Australia. *Front. Mar. Sci.* **4** (2017), doi:10.3389/fmars.2017.00346.
86. L. Bergström, M. Karlsson, U. Bergström, L. Pihl, P. Kraufvelin, Relative impacts of fishing and eutrophication on coastal fish assessed by comparing a no-take area with an environmental gradient. *Ambio.* **48**, 565–579 (2019).
87. E. M. A. Strain, G. J. Edgar, D. Ceccarelli, R. D. StuartSmith, G. R. Hosack, R. J. Thomson, A global assessment of the direct and indirect benefits of marine protected areas for coral reef conservation. *Divers. Distrib.* **25**, 9–20 (2019).
88. E. Cotou, A. Gremare, F. Charles, I. Hatzianestis, E. Sklivagou, Potential toxicity of resuspended particulate matter and sediments: Environmental samples from the Bay of Banyuls-sur-Mer and Thermaikos Gulf. *Cont. Shelf Res.* **25**, 2521–2532 (2005).
89. X. Durrieu de Madron, B. Ferré, G. Le Corre, C. Grenz, P. Conan, M. Pujo-Pay, R. Buscail, O. Bodiou, Trawling-induced resuspension and dispersal of muddy sediments and dissolved elements in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Cont. Shelf Res.* **25**, 2387–2409 (2005).
90. J. B. Lamb, J. A. J. M. van de Water, D. G. Bourne, C. Altier, M. Y. Hein, E. A. Fiorenza, N. Abu, J. Jompa, C. D. Harvell, Seagrass ecosystems reduce exposure to bacterial pathogens of humans, fishes, and invertebrates. *Science.* **355**, 731–733 (2017).
91. F. J. Pollock, J. B. Lamb, S. N. Field, S. F. Heron, B. Schaffelke, G. Shedrawi, D. G. Bourne, B. L. Willis, Sediment and turbidity associated with offshore dredging increase coral disease prevalence on nearby reefs. *PLOS ONE.* **9** (2014), doi: 10.1371/journal.pone.0102498.
92. State of Queensland, "Reef 2050 Water Quality Improvement Plan 2017-2022" (State of Queensland, 2018), p. 56.
93. E. J. Powell, M. C. Tyrrell, A. Milliken, J. M. Tirpak, M. D. Staudinger, A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *J. Coast. Conserv.* **23**, 1–18 (2019).
94. L. Pendleton, D. C. Donato, B. C. Murray, S. Crooks, W. A. Jenkins, S. Sifleet, C. Craft, J. W. Fourqurean, J. B. Kauffman, N. Marbà, P. Megonigal, E. Pidgeon, D. Herr, D. Gordon, A. Baldera, Estimating global "blue carbon" emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. *PLOS ONE.* **7**, e43542 (2012).
95. T. B. Atwood, R. M. Connolly, E. G. Ritchie, C. E. Lovelock, M. R. Heithaus, G. C. Hays, J. W. Fourqurean, P. I. Macreadie, Predators help protect carbon stocks in blue carbon ecosystems. *Nat. Clim. Change.* **5**, 1038–1045 (2015).
96. F. Mineur, F. Arenas, J. Assis, A. J. Davies, A. H. Engelen, F. Fernandes, E. Malta, T. Thibaut, T. Van Nguyen, F. Vaz-Pinto, S. Vranken, E. A. Serrão, O. De Clerck, European seaweeds under pressure: Consequences for communities and ecosystem functioning. *J. Sea Res.* **98**, 91–108 (2015).
97. T. G. Zarate-Barrera, J. H. Maldonado, Valuing Blue Carbon: Carbon Sequestration Benefits Provided by the Marine Protected Areas in Colombia. *PLOS ONE.* **10**, e0126627 (2015).
98. D. Krause-Jensen, C. M. Duarte, Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. *Nat. Geosci.* **9**, 737–742 (2016).
99. J. Howard, E. McLeod, S. Thomas, E. Eastwood, M. Fox, L. Wenzel, E. Pidgeon, The potential to integrate blue carbon into MPA design and management. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* **27**, 100–115 (2017).

100. C. M. Duarte, S. Agusti, E. Barbier, G. L. Britten, J. C. Castilla, J.-P. Gattuso, R. W. Fulweiler, T. P. Hughes, N. Knowlton, C. E. Lovelock, H. K. Lotze, M. Predragovic, E. Poloczanska, C. Roberts, B. Worm, Rebuilding marine life. *Nature*. **580**, 39–51 (2020).
101. G. Mariani, W. W. L. Cheung, A. Lyet, E. Sala, J. Mayorga, L. Velez, S. D. Gaines, T. Dejean, M. Troussellier, D. Mouillot, Let more big fish sink: Fisheries prevent blue carbon sequestration—half in unprofitable areas. *Sci. Adv.* **6**, eabb4848 (2020).
102. G. K. Saba, A. B. Burd, J. P. Dunne, S. HernándezLeón, A. H. Martin, K. A. Rose, J. Salisbury, D. K. Steinberg, C. N. Trueman, R. W. Wilson, S. E. Wilson, Toward a better understanding of fish-based contribution to ocean carbon flux. *Limnol. Oceanogr.* **n/a**, doi:10.1002/lno.11709.
103. E. Sala, J. Mayorga, D. Bradley, R. B. Cabral, T. B. Atwood, A. Auber, W. Cheung, C. Costello, F. Ferretti, A. M. Friedlander, S. D. Gaines, C. Garilao, W. Goodell, B. S. Halpern, A. Hinson, K. Kaschner, K. Kesner-Reyes, F. Leprieur, J. McGowan, L. E. Morgan, D. Mouillot, J. Palacios-Abrantes, H. P. Possingham, K. D. Rechberger, B. Worm, J. Lubchenco, Protecting the global ocean for biodiversity, food and climate. *Nature*, 1–6 (2021).
104. R. K. F. Unsworth, C. J. Collier, G. M. Henderson, L. J. McKenzie, Tropical seagrass meadows modify seawater carbon chemistry: implications for coral reefs impacted by ocean acidification. *Environ. Res. Lett.* **7**, 024026 (2012).
105. C. M. Duarte, J. Wu, X. Xiao, A. Bruhn, D. Krause-Jensen, Can seaweed farming play a role in climate change mitigation and adaptation? *Front. Mar. Sci.* **4** (2017), doi:10.3389/fmars.2017.00100.
106. D. A. Koweeck, R. C. Zimmerman, K. M. Hewett, B. Gaylord, S. N. Giddings, K. J. Nickols, J. L. Ruesink, J. J. Stachowicz, Y. Takeshita, K. Caldeira, Expected limits on the ocean acidification buffering potential of a temperate seagrass meadow. *Ecol. Appl.* **28**, 1694–1714 (2018).
107. D. Grémillet, T. Boulinier, Spatial ecology and conservation of seabirds facing global climate change: a review. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **391**, 121–137 (2009).
108. D. Reed, L. Washburn, A. Rassweiler, R. Miller, T. Bell, S. Harrer, Extreme warming challenges sentinel status of kelp forests as indicators of climate change. *Nat. Commun.* **7** (2016), doi:10.1038/ncomms13757.
109. E. L. A. Kelly, Y. Eynaud, I. D. Williams, R. T. Sparks, M. L. Dailer, S. A. Sandin, J. E. Smith, A budget of algal production and consumption by herbivorous fish in an herbivore fisheries management area, Maui, Hawaii. *Ecosphere*. **8**, e01899 (2017).
110. L. Rogers-Bennett, C. A. Catton, Marine heat wave and multiple stressors tip bull kelp forest to sea urchin barrens. *Sci. Rep.* **9**, 15050 (2019).
111. S. Luo, F. Cai, H. Liu, G. Lei, H. Qi, X. Su, Adaptive measures adopted for risk reduction of coastal erosion in the People's Republic of China. *Ocean Coast. Manag.* **103**, 134–145 (2015).
112. D. A. Miteva, B. C. Murray, S. K. Pattanayak, Do protected areas reduce blue carbon emissions? A quasi-experimental evaluation of mangroves in Indonesia. *Ecol. Econ.* **119**, 127–135 (2015).
113. S. Narayan, M. W. Beck, B. G. Reguero, I. J. Losada, B. van Wesenbeeck, N. Pontee, J. N. Sanchirico, J. C. Ingram, G.-M. Lange, K. A. Burks-Copes, The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PLOS ONE*. **11**, e0154735 (2016).
114. D. L. Harris, A. Rovere, E. Casella, H. Power, R. Canavesio, A. Collin, A. Pomeroy, J. M. Webster, V. Parravicini, Coral reef structural complexity provides important coastal protection from waves under rising sea levels. *Sci. Adv.* **4**, eaao4350 (2018).

