

L'Institut Agro Rennes-Angers

Site d'Angers Site de Rennes

Année universitaire : 2021 - 2022	Mémoire de fin d'études
Spécialité : Ingénieur Agronome	<input checked="" type="checkbox"/> d'ingénieur de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
Spécialisation (et option éventuelle) :	<input type="checkbox"/> de master de l'Institut Agro Rennes-Angers (Institut national d'enseignement supérieur pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement)
Sciences Halieutiques et Aquacole (Aquaculture)	<input type="checkbox"/> de l'Institut Agro Montpellier (étudiant arrivé en M2)
	<input type="checkbox"/> d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Étude de la croissance larvaire chez trois populations naturelles de bar (*Dicentrarchus labrax*) soumises à quatre régimes thermiques

Par : Damien CRESTEL

Soutenu à Rennes le 15/09/2022

Devant le jury composé de :

Président : Bastien SADOUL

Autres membres du jury (Nom, Qualité) :

Maître de stage : Marc VANDEPUTTE

Guillaume EVANNO, Chercheur

Enseignants référents : Bastien SADOUL,
Pablo BROSSET

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle de l'Institut Agro Rennes-Angers

Introduction

Avec le réchauffement climatique, la température de surface des océans devrait continuer d'augmenter dans toutes les régions, excepté l'Atlantique Nord (IPCC, 2021). Concernant la mer Méditerranée, la température de surface a déjà augmenté de 0,4 °C par décennie entre 1985 et 2006 (Nykjaer, 2009). Cette augmentation devrait se poursuivre pour atteindre 2,2 à 3,4 °C en 2080 (IPCC, 2021).

Les animaux ectothermes, en particulier dans les écosystèmes aquatiques, sont fortement affectés par la température de l'eau. C'est pourquoi, ceux-ci doivent développer des réponses adaptatives au stress thermique comme par exemple la truite arc-en-ciel, *Oncorhynchus mykiss gairdneri*, qui produit des protéines de chocs thermiques en réponse à ces changements de température (Narum et al., 2013). L'effet du changement climatique sur les populations de poisson peut être décrit à quatre niveaux : 1) physiologique, 2) comportemental, 3) populationnel et 4) écosystémique (Pörtner and Peck, 2010).

De plus, les poissons représentent une source vitale de nutriments pour la santé humaine (Balami et al., 2019). Ainsi, il est important de comprendre les effets du changement climatique sur la biologie des poissons. Cela permettrait de mieux prédire ses effets sur les productions halieutique et aquacole. Au niveau du bassin méditerranéen, des impacts socioéconomiques et halieutiques sont attendus, dûs à une baisse de la diversité halieutique, une baisse des emplois et une augmentation des inégalités (Hilmi et al., 2021).

Le bar européen, *Dicentrarchus labrax*, est une espèce majeure sur les plans économique et culturel, surtout en Europe (Vandeputte et al., 2019). Avec en 2020, 97,6 % de la production du bar européen attribuée à l'aquaculture, essentiellement méditerranéenne, il est important de comprendre les effets du changement climatique sur la production de cette espèce. Un intérêt du bar pour l'étude du changement climatique est l'existence de trois populations, atlantique (AT), ouest-méditerranéenne (OM) et est-méditerranéenne (EM) (Vandeputte et al., 2019). Ces différenciations se sont développées en lien avec des spécificités environnementales propre à chaque aire géographique, et en particulier des températures moyennes différentes (13.4 °C en Atlantique, 18.9 °C en Méditerranée-Ouest et 21.1 °C en Méditerranée-Est). Ainsi, exposer ces populations à des températures différentes devrait permettre d'étudier leur robustesse face au réchauffement climatique et d'étudier leurs différences de capacité d'adaptation. En effet, il a été montré qu'il y avait chez les poissons des variations intraspécifiques de tolérance au réchauffement de la température, et que de plus cette variation est dépendante des phases du cycle de vie des espèces (McKenzie et al., 2021). Les phases moins robustes aux variations de température semblent être les phases embryonnaires et la reproduction (Dahlke et al., 2020). La température pendant les premiers

stades de développement (embryonnaire et larvaire) a par ailleurs un effet à long terme sur l'expression des micros-ARN chez la morue de l'Atlantique, *Gadus morhua*, où ils semblent avoir un rôle important dans l'adaptation des organismes au changement de température (Bizuayehu et al., 2015). C'est pourquoi nous souhaitons observer l'impact du changement climatique sur les populations larvaires du bar européen. Cela devrait permettre de vérifier l'hypothèse que chaque population est la mieux adaptée à son environnement, et/ou mettre en lumière la validité ou non de la théorie de la variation à contre-gradient chez le bar européen. Cette théorie se définit comme la capacité pour des populations issues d'environnements froids d'avoir des meilleurs taux de croissance quand il y a des températures plus chaudes, comme une adaptation à des périodes courtes de croissance dans les environnements froids (Conover and Schultz, 1995).

L'objectif principal de ce travail est donc d'étudier la croissance larvaire et le développement du bar européen provenant des trois populations naturelles AT, OM et EM dans quatre régimes thermiques différents, avec le but d'étudier la capacité d'adaptation des populations à des régimes thermiques spécifiques. Toutes les populations sont mélangées dans des environnements communs dans chaque régime thermique. Leur origine est identifiée, *a posteriori*, par assignation de parenté basée sur l'utilisation de marqueurs génomiques, les Single Nucleotide Polymorphism (SNP).

Matériels et Méthodes

Les bars européens utilisés dans cette étude ont été produits par fécondation artificielle le 7 février 2022 à la station Ifremer de recherche en aquaculture expérimentale de Palavas-Les-Flots (France). Trois populations de larves ont été produites, représentant les trois populations naturelles AT, OM et EM. La fécondation s'est effectuée selon un plan factoriel complet pour chaque population, avec 30 mâles par population et 6, 14, 13 femelles pour les populations AT, OM et EM, respectivement. De l'incubation à 19 jours post-éclosion (jpe), les larves de chaque population ont été élevées séparément avec deux bassins par population, à une même température de 13 °C. A 19 jpe, les larves de chaque population ont été mélangées dans 16 bassins contenant chacun 1 200 larves de chaque population. Ainsi, cette étude comportait 16 bassins avec 3 600 larves de populations mélangées dans des environnements communs. Les 16 bassins étaient organisés en quatre zones. Chaque zone représentait un des quatre régimes thermiques testés. Ces profils de température avaient pour but de mimer des régimes thermiques retrouvés en Atlantique (eAT), Méditerranée-Ouest (eOM), Méditerranée-Est (eEM) et un régime généralement appliqué en aquaculture (eAQUA - 16 °C jusque 70 jpe puis 23 °C jusque 120 jpe). Les courbes de température des régimes thermiques provenaient de la

base de données Copernicus (<https://www.copernicus.eu>) et étaient changées tous les lundis matin pour les quatre régimes afin de reproduire les températures naturelles (Figure 1). Un tri des poissons ne possédant pas de vessie natatoire a été réalisé à un niveau équivalent de développement pour les quatre régimes thermiques à 74, 79, 100 et 107 jpe, pour eEM, eAQUA, eOM et eAT, respectivement. A un poids moyen de 1,5 gramme, les poissons ont été transférés dans des bassins de pré-grossissement avec les mêmes régimes thermiques que précédemment. Pendant les 19 premiers jpe, 8 prélèvements ont été réalisés avec 50 larves mesurées pour chacun des 6 bassins. De 20 à 170 jpe, 7 prélèvements de 20 poissons par bassin ont été effectués à niveau de développement équivalent entre les régimes thermiques. Un prélèvement d'ADN a été effectué pour chaque larve prélevée à partir de 20 jpe afin de retrouver son origine sur la base du génotypage de 96 marqueurs SNP. Suite à ce dernier, le logiciel APIS a été utilisé afin de réaliser l'assignation de parenté par exclusion avec 2 mésappariements tolérés (Griot et al., 2020). La longueur des larves a été mesurée avec le logiciel ImageJ (version 1.53a, <https://imagej.nih.gov/>) et analysée avec le logiciel R.

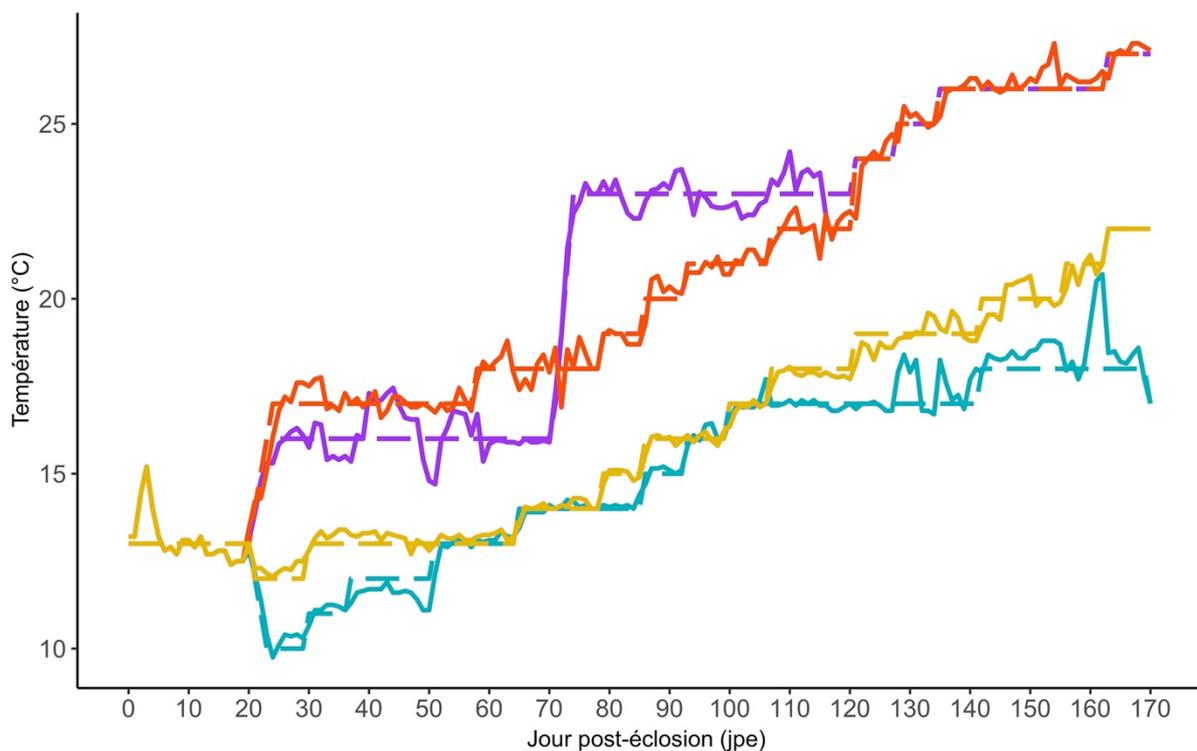


Figure 1 – Profils de température des quatre régimes thermiques (eAT = régime thermique atlantique (bleu), eOM = régime thermique ouest-méditerranéen (jaune), eEM = régime thermique est-méditerranéen (rouge) et eAQUA = régime thermique appliqué en aquaculture (violet)). Les lignes continues représentent la température réelle mesurée deux fois par jour dans chaque régime. Les lignes pointillées représentent la température désirée.

Résultats

L'analyse de la taille des œufs a montré un effet de la population ($F_{(2,297)} = 139.9$; $P < 2.2e-16$). Toutes les populations étaient significativement différentes entre elles ($P < 0.01$). La population AT avait les plus gros diamètres d'œufs (1.214 ± 0.004 mm), suivie de OM (1.143 ± 0.006 mm) et EM (1.122 ± 0.006 mm).

Le développement de la vessie natatoire a commencé à 13 jpe où les différences étaient significatives entre les populations ($X^2 = 29.007$, $df = 2$, $P < 0.001$). La population AT possédait le plus de larves ayant des vessies natatoires suivie par EM et OM avec respectivement, 50.0 ± 0.8 %, 30.0 ± 1.2 % et 13.0 ± 0.6 %. A 19 jpe, la population OM avait toujours un retard significatif de développement par rapport aux populations AT et EM.

A l'éclosion, la longueur totale moyenne des poissons était de 3.82 ± 0.16 mm, 3.77 ± 0.14 mm et 3.63 ± 0.14 mm pour les populations AT, OM et EM respectivement. Cette différence de taille n'était, cependant, pas significative entre les populations ($P > 0.05$). Des différences significatives de taille sont apparues à partir de 4 jpe jusqu'à 11 jpe, où les larves AT étaient plus grande que les OM, elles-mêmes plus grandes que les larves EM. Pendant les 19 premiers jpe, deux phases de croissance ont été observées, l'une de 0 à 11 jpe et l'autre de 12 à 19 jpe où les différences de populations sont non significatives. Ces deux phases correspondent à la transition d'une alimentation endogène vers une alimentation exogène basée sur des proies vivantes, qui a commencé à 10 jpe.

A partir de 20 jpe, correspondant à 250 degrés jours base 0 °C (DJ0), les populations ont été élevées mélangées jusqu'à un poids de 1,5 gramme. Deux phases de croissance sont observées. La première débute à 250 DJ0 et se termine à 1050 DJ0. La seconde débute à 1050 DJ0 et se termine au moment du transfert vers le pré-grossissement, à 1.5 g de poids moyens. La première phase est caractérisée par un faible taux de croissance en longueur par rapport à la deuxième. De plus, durant cette première phase, il n'y a pas d'interaction entre la régression de la longueur sur DJ0 et les régimes thermiques ($F_{(3,28)} = 1.7172$; $P = 0.186$). Cependant, il y a un effet du régime thermique avec seulement une différence significative entre les régimes eOM et eEM ($P = 0.046$). Le passage entre ces deux phases correspond à un changement d'alimentation, d'une alimentation sur proies vivantes à une alimentation sur aliment sec. A partir de 1050 DJ0, l'interaction entre la régression de la longueur sur DJ0 et les régimes thermiques était significative, montrant une hétérogénéité des pentes ($F_{(3,72)} = 39.224$; $P = 3.898e-15$). C'est dans le régime eAQUA que les larves grandissaient le plus vite, relativement à DJ0, suivies de eEM, eOM et eAT. Tous les régimes avaient entre eux des différences significatives de pente, excepté entre eOM et eAT ($P = 0.98629$, Figure 2).

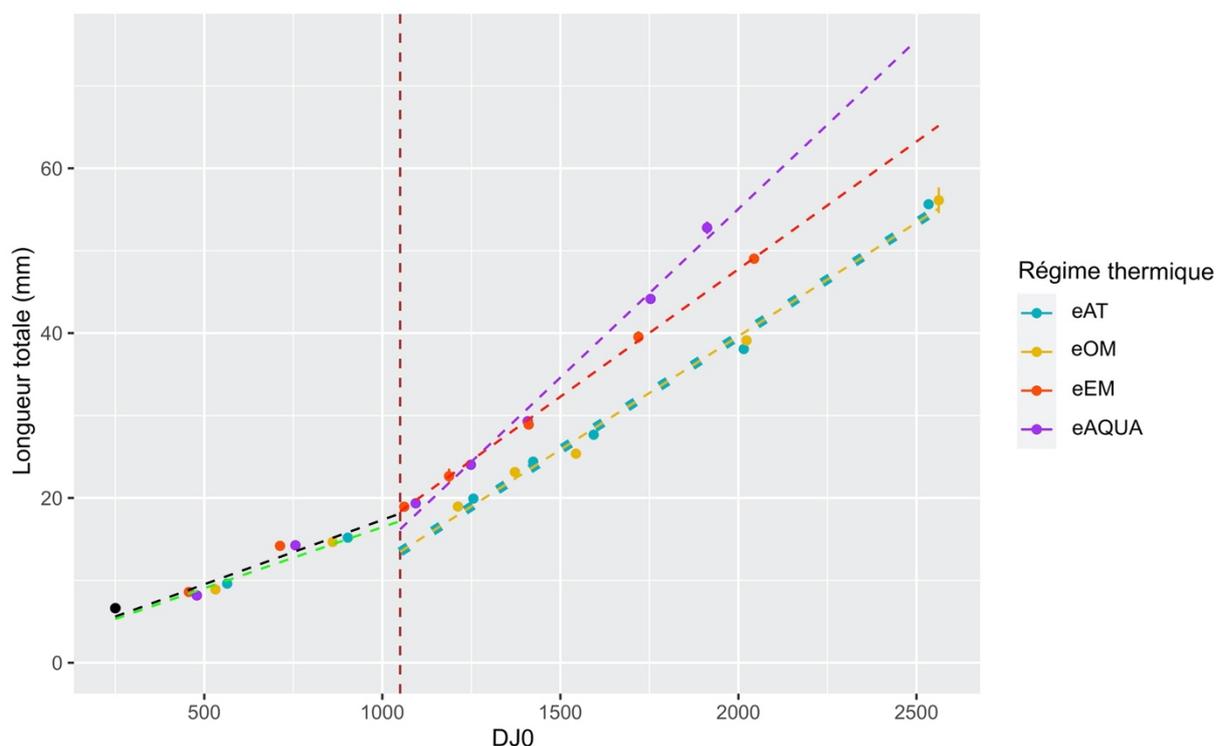


Figure 2 – Evolution de la longueur totale du bar européen en fonction des degrés jours base 0 °C (DJ0) dans les quatre régimes thermiques (eAT = Atlantique, eOM = Ouest-Méditerranée, eEM = Est-Méditerranée et eAQUA = Aquaculture). Le point noir représente la longueur totale moyenne des larves à 19 jours post-éclosion (jpe). Les barres d'erreurs représentent l'erreur standard de la moyenne. La ligne pointillée verticale représente 1050 DJ0. La ligne noire pointillée représente le modèle de régression commun à eAT, eEM et eAQUA avant 1050 DJ0 ($R^2 = 0.9018$), la ligne pointillée verte représente le modèle de régression pour eOM avant 1050 DJ0 ($R^2 = 0.9172$). Les lignes de couleur pointillées après 1050 DJ0 sont les régressions simples spécifiques à chaque régime thermique ($R^2 = 0.9852$).

Seulement quatre prélèvements par régime thermique ont été génotypés par faute de temps dans cette étude. Cela correspond à deux prélèvements réalisés avant 1050 DJ0, et deux, après 1050 DJ0. Ainsi, nous avons pu étudier l'effet de la population sur la croissance en longueur des larves. Aucune interaction entre le régime thermique et les populations n'était significative ($P > 0.28$ pour les quatre prélèvements). Un effet population a été montré uniquement pour le quatrième prélèvement de chaque régime, où AT était plus grande que EM et OM plus grande que EM. Les taux de croissance des populations AT et OM étaient aussi supérieurs significativement à ceux de EM après 1050 DJ0 ($F_{(2,42)} = 10.494$; $P = 0.0002$).

L'étude de la forme du poisson par le coefficient de condition de Fulton K ($K = \frac{\text{Poids}}{\text{Longueur totale}^3}$) sur le quatrième prélèvement a montré un effet significatif de la population

($F_{(2,6)} = 75.416$; $P = 5.599e-05$) où AT avait un K plus élevé que EM qui avait elle-même un K plus élevé que OM. Avec le temps, la population AT est donc devenue plus ronde que la population EM, elle-même plus ronde que la population OM.

Discussion

Ce travail a permis de mettre en lumière la présence de trois dynamiques de croissance larvaire chez le bar européen à partir de l'éclosion jusqu'à un poids de 1,5 gramme. Ces dynamiques sont fortement influencées par le type d'alimentation des poissons. En effet, la première phase est basée sur une alimentation endogène, la seconde est représentée par une alimentation sur proies vivantes. La dernière phase correspond au passage à un aliment sec. Durant les 19 premiers jpe, des différences de croissance sont notamment observées durant la première phase de croissance où la population AT a une plus grande longueur que OM, suivie par EM. Cette avance de développement pourrait s'expliquer par la taille des œufs qui est différente entre les populations. En effet, il a été montré que la taille des œufs avait un impact sur la taille des larves après l'éclosion chez la morue de l'Atlantique (Zhao et al., 2001) et la truite commune, *Salmo trutta* (Vandeputte et al., 2002). Cependant, cette hypothèse est à nuancer puisqu'aucune différence de longueur entre les populations n'a été observée à 0 jpe. Ainsi, une autre hypothèse est que la population AT est mieux adaptée à une température de 13 °C, contrairement à OM et EM. Il a, en effet, été montré précédemment que la cellularité musculaire des populations atlantiques et méditerranéennes était différente en fonction de la température, plus élevée à 15 °C chez AT par rapport à EM, chez qui elle est par contre plus élevée que chez AT à 17 °C (Ayala et al., 2001). Ainsi, à 13 °C, le différentiel de température étant plus grand, on peut imaginer une réponse de cellularité musculaire encore plus importante entre les populations atlantiques et méditerranéennes.

Après l'étape de sevrage avec de l'aliment sec, on remarque que des différences de croissance en longueur apparaissent entre les populations. Ainsi, il se pourrait donc que la population AT soit plus adaptée à un élevage larvaire à 13 °C et que cela ait un effet à long terme sur la croissance de cette population. Cela a déjà été montré chez la morue de l'Atlantique (Bizuayehu et al., 2015). Une autre hypothèse possible est la théorie de la variation à contre-gradient où la population AT aurait un meilleur taux de croissance, profitant des températures plus chaudes comme une adaptation à une saison de croissance normalement courte dans les eaux froides (Conover and Present, 1990). Les caractéristiques de l'histoire de vie des populations pourraient aussi expliquer ces différences de développement au cours des premiers stades de vie. En effet, les populations des régimes froids auraient un meilleur taux de croissance durant le développement larvaire afin d'atteindre plus vite une taille moins impactée par la compétition interspécifique comme montrée chez l'omble chevalier, *Salvelinus*

alpinus (Larsson et al., 2005). Enfin, la compétition intraspécifique présente dans les élevages en environnement commun pourrait expliquer ces différences de développement, même si cette compétition ne fait qu'amplifier des différences existantes, et ne crée pas en elle-même de différences (Vandeputte et al., 2009). Une explication au fait que ces différences n'apparaissent qu'à partir du sevrage pourrait être que l'aliment sec ne soit pas disponible dans toute la colonne d'eau comme les proies vivantes, et que donc une compétition pour l'accès à l'aliment pourrait être présente.

Conclusion

Cette étude est la première comparaison de l'élevage larvaire de trois populations naturelles de bar élevées en commun dans quatre régimes thermiques différents et identifiées, *a posteriori*, par assignation de parenté.

Trois dynamiques de croissances ont été montrées et sont liées aux différents régimes alimentaires.

Un effet de la population sur le développement et la croissance larvaire durant les premiers jours post-éclosion (avant 11 jpe) montre un développement plus rapide de la population AT. L'élevage dans des environnements communs montre des taux de croissance différents entre les populations après le sevrage. La population AT possède le meilleur taux de croissance après 1050 DJ0. Les différences entre les populations semblent augmenter avec le temps après le sevrage. Le suivi des prochains stades de croissance va permettre de confirmer ou d'infirmer les hypothèses de variation à contre-gradient, de compétition intraspécifique ou de taux de croissance différent en fonction de l'histoire de vie des populations.

Bibliographie

- Ayala MD, López-Albors O, Gil F, García-Alcázar A, Abellán E, Alarcón JA, Álvarez MC, Ramírez-Zarzosa G, Moreno F** (2001) Temperature effects on muscle growth in two populations (Atlantic and Mediterranean) of sea bass, *Dicentrarchus labrax* L. *Aquaculture* **202**: 359–370
- Balami S, Sharma A, Karn R** (2019) Significance Of Nutritional Value Of Fish For Human Health. *Malays J Halal Res* **2**: 32–34
- Bizuayehu TT, Johansen SD, Puvanendran V, Toften H, Babiak I** (2015) Temperature during early development has long-term effects on microRNA expression in Atlantic cod. *BMC Genomics* **16**: 305
- Conover DO, Present TMC** (1990) Countergradient variation in growth rate: compensation for length of the growing season among Atlantic silversides from different latitudes. *Oecologia* **83**: 316–324
- Conover DO, Schultz ET** (1995) Phenotypic similarity and the evolutionary significance of countergradient variation. *Trends Ecol Evol* **10**: 248–252
- Dahlke FT, Wohlrab S, Butzin M, Pörtner H-O** (2020) Thermal bottlenecks in the life cycle define climate vulnerability of fish. *Science* **369**: 65–70
- Griot R, Allal F, Brard-Fudulea S, Morvezen R, Haffray P, Phocas F, Vandeputte M** (2020) APIS: An auto-adaptive parentage inference software that tolerates missing parents. *Mol Ecol Resour* **20**: 579–590
- Hilmi N, Farahmand S, Lam VWY, Cinar M, Safa A, Gilloteaux J** (2021) The Impacts of Environmental and Socio-Economic Risks on the Fisheries in the Mediterranean Region. *Sustainability* **13**: 10670
- IPCC** (2021) *Climate Change 2021 - The physical science basis*. 3949
- Larsson S, Forseth T, Berglund I, Jensen AJ, Näslund I, Elliott JM, Jonsson B** (2005) Thermal adaptation of Arctic charr: experimental studies of growth in eleven charr populations from Sweden, Norway and Britain: Thermal adaptation of Arctic charr. *Freshw Biol* **50**: 353–368
- McKenzie DJ, Zhang Y, Eliason EJ, Schulte PM, Claireaux G, Blasco FR, Nati JJH, Farrell AP** (2021) Intraspecific variation in tolerance of warming in fishes. *J Fish Biol* **98**: 1536–1555
- Narum SR, Campbell NR, Meyer KA, Miller MR, Hardy RW** (2013) Thermal adaptation and acclimation of ectotherms from differing aquatic climates. *Mol Ecol* **22**: 3090–3097
- Nykjaer L** (2009) Mediterranean Sea surface warming 1985–2006. *Clim Res* **39**: 11–17
- Pörtner HO, Peck MA** (2010) Climate change effects on fishes and fisheries: towards a cause-and-effect understanding. *J Fish Biol* **77**: 1745–1779
- Vandeputte M, Dupont-Nivet M, Haffray P, Chavanne H, Cenadelli S, Parati K, Vidal M-O, Vergnet A, Chatain B** (2009) Response to domestication and selection for growth in

the European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) in separate and mixed tanks. *Aquaculture* **286**: 20–27

Vandeputte M, Gagnaire P -A., Allal F (2019) The European sea bass: a key marine fish model in the wild and in aquaculture. *Anim Genet* **50**: 195–206

Vandeputte M, Quillet E, Chevassus B (2002) Early development and survival in brown trout (*Salmo trutta fario* L.): indirect effects of selection for growth rate and estimation of genetic parameters. *Aquaculture* **204**: 435–445

Zhao Y, Chen Y, Brown JA (2001) Impacts of egg and larval size on survival and growth of Atlantic cod under different feeding conditions. *J Fish Biol* **59**: 569–581