



Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY 4.0). La citation comme l'utilisation de tout ou partie du contenu de cet article doit obligatoirement mentionner les auteurs, l'année de publication, le titre, le nom de la revue, le volume, les pages et le DOI.

Des petites différences pour de grands bénéfices : réponses sites-spécifiques des communautés d'amphibiens à la submersion marine sur la côte Atlantique française

Léa LORRAIN-SOLIGON¹, Frédéric ROBIN^{2,3,4}, Pierre ROUSSEAU³, Marko JANKOVIC⁴, François BRISCHOUX¹

¹ Centre d'études biologiques de Chizé, CEBC UMR 7372 CNRS – La Rochelle Université, 79360 Villiers en Bois, France.

² LPO France, Fonderies Royales, 17300 Rochefort, France.

³ Réserve naturelle de Moëze-Oléron, LPO France, Plaisance, 17780 Saint-Froult, France.

⁴ Réserve naturelle du marais d'Yves, LPO France, Ferme de la belle espérance, 17340 Yves, France.

Correspondance : lea.lorrain-soligon@cebc.cnrs.fr

Le littoral Atlantique français, qui a connu plusieurs événements climatiques extrêmes successifs, est fortement impacté par des phénomènes de submersion et de salinisation qui viennent bouleverser l'écosystème côtier et les espèces qui y vivent. En Charente-Maritime, après le passage de la tempête Xynthia, des chercheurs ont étudié sur plusieurs sites les effets de la submersion et de l'augmentation de la salinité sur les communautés d'amphibiens côtiers afin de mettre en évidence les caractéristiques topographiques des sites pouvant limiter l'impact des submersions marines sur la faune côtière.

Contexte

Les milieux côtiers, à l'interface entre le milieu océanique et le milieu terrestre, sont affectés par une large variété de changements globaux (Hobohm *et al.*, 2021). En particulier, les milieux côtiers sont fortement impactés par l'élévation du niveau de la mer, et par l'augmentation en fréquence et en intensité des événements climatiques extrêmes, tels que les tempêtes marines et les submersions qui y sont associées. Ces deux phénomènes vont induire une forte augmentation de la salinité, aussi appelée salinisation (Herbert *et al.*, 2015). Ces événements sont et seront de plus en plus fréquents dans le futur (IPCC, 2007), et nécessitent d'en étudier leurs impacts.

L'élévation du niveau de la mer et les tempêtes marines vont pourtant induire des réponses à des échelles temporelles différentes (Delaune *et al.*, 2021). En effet, les changements liés à l'élévation du niveau de la mer sont progressifs. En réponse, les espèces pourraient avoir le temps de s'adapter à ces changements. En revanche, la nature soudaine et imprévisible des submersions marines peut induire des changements qui surpassent les réponses adaptatives des espèces (Wang *et al.*, 2016).

Face à une augmentation brutale de la salinité, et donc à une augmentation brutale des contraintes osmotiques, les individus devront faire face à des demandes énergétiques plus élevées, qui vont fortement limiter leurs fonctions vitales (Herbert *et al.*, 2015). Ainsi la maintenance, la croissance ou encore la reproduction pourraient être impactées, ce qui peut conduire, à terme, à la mortalité des individus (Herbert *et al.*, 2015).

Face à ces contraintes, certaines espèces sont plus sensibles que d'autres, et c'est le cas des amphibiens, malgré certaines espèces tolérantes à la salinité (telles que la grenouille mangeuse de crabes, *Fejervarya cancrivora*, en Asie du Sud ; Hopkins et Brodie, 2015). Cette sensibilité accrue s'explique par des larves dépendantes du milieu dulçaquicole, une peau hautement perméable, et de faibles capacités de dispersion (Shoemaker *et al.*, 1992 ; Wells, 2007), qui ne leur permettent pas d'échapper aux conditions négatives de leur milieu et de se reporter vers des habitats plus favorables. Il est donc nécessaire de protéger les populations d'amphibiens côtières face aux submersions marines, qui pourraient leur être dévastatrices.

Une piste de gestion repose sur les caractéristiques topographiques, qui pourraient atténuer les effets des submersions marines. En effet, les zones humides côtières de faible altitude et qui ne présentent pas de relief sont particulièrement exposées (Chouari, 2020 ; Huang *et al.*, 2017 ; Suanez *et al.*, 2007). L'identification de telles caractéristiques topographiques peut s'avérer utile afin de proposer des solutions pour aider à la persévérance des écosystèmes côtiers.

En vue d'identifier ces caractéristiques, Lorrain-Soligon *et al.* (2021) ont réalisé une étude visant à examiner les conséquences de la tempête Xynthia, et de la submersion marine qui en a résulté. Les auteurs ont étudié les variations de salinité et l'effet sur les communautés d'amphibiens côtiers, en relation avec les caractéristiques topographiques des sites, afin de comprendre comment celles-ci peuvent limiter l'effet de la submersion.

Figure 1 – Localisation des deux zones d'études sur les périmètres terrestres des deux réserves naturelles : la Réserve naturelle nationale de Moëze-Oléron (MO) et la Réserve naturelle nationale du marais d'Yves (MY) en Charente-Maritime.

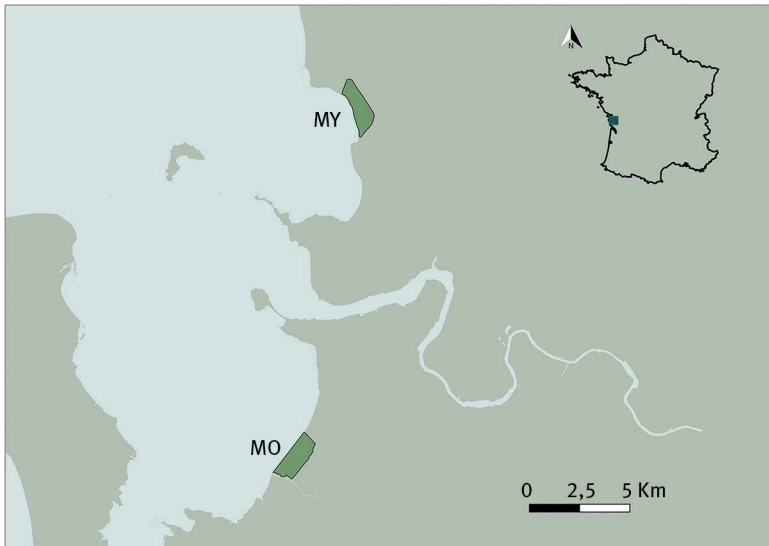
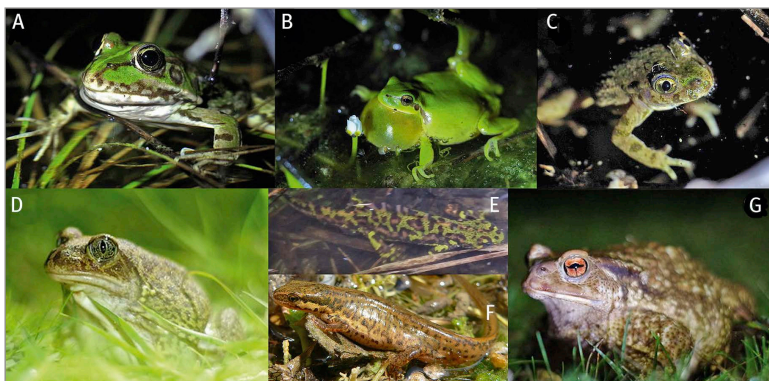


Figure 2 – Espèces communes retrouvées sur les deux réserves : la grenouille verte (A), la rainette méridionale (B), le péléodyte ponctué (C), le pélobate cultripède (D) et le triton marbré (E). Espèce supplémentaire retrouvée sur la réserve de Moëze-Oléron uniquement : le triton palmé (F). Espèce supplémentaire retrouvée sur la réserve du marais d'Yves uniquement : le crapaud épineux (G). Crédit photo : Marko Jankovic (A, B, C, D, E, G) et Philippe Delaporte (F).



Caractéristiques des sites et méthodologie

Cette étude a été réalisée sur deux réserves naturelles en Charente-Maritime : la Réserve naturelle nationale de Moëze-Oléron (MO) et la Réserve naturelle nationale du marais d'Yves (MY) (figure 1). Les deux réserves ont été frappées par Xynthia le 27 février 2010. Ces deux sites sont des zones humides côtières relativement basses présentant une première dune de sable située proche de la mer. Toutefois, ces deux sites présentent des topographies légèrement différentes, MO ayant une dune supplémentaire située à environ 500 m de la côte (deux dunes), derrière laquelle se situent les mares de la zone d'étude, ce qui n'est pas le cas à MY (une seule dune).

Les deux sites abritent six espèces d'amphibiens. Sur la réserve de MO, il s'agit de la grenouille verte (*Pelophylax* sp.), de la rainette méridionale (*Hyla meridionalis*), du péléodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*), du pélobate cultripède (*Pelobates cultripedes*), et des tritons palmés (*Lissotriton helveticus*) et marbrés (*Triturus marmoratus*). Sur la réserve de MY, cinq espèces communes avec la réserve de MO sont retrouvées : la grenouille verte, la rainette méridionale, le péléodyte ponctué, le pélobate cultripède et le triton marbré. Par ailleurs, une espèce supplémentaire est retrouvée à MY : le crapaud épineux (*Bufo spinosus*) (figure 2).

Xynthia a eu lieu en 2010. Pour chaque site, un suivi a été effectué par la Ligue pour la protection des oiseaux (LPO) durant quatre années : un an avant la tempête (2009), l'année après Xynthia (2011), quatre ans après Xynthia (2014) et à nouveau sept ans après Xynthia (2017), ce qui offre l'opportunité unique de caractériser les effets de la submersion. Pour chaque année, trois sessions ont eu lieu, en mars, avril et mai, au cours desquelles la salinité des mares de reproduction a été relevée, ainsi que la présence des différentes espèces d'amphibiens. Une espèce d'amphibiens a été considérée présente sur une mare pour une année donnée s'il a été détecté la présence d'adultes, d'œufs, ou de larves au cours d'au moins une des trois sessions de suivi. La richesse spécifique a alors été caractérisée comme étant le nombre d'espèces présentes par mare. L'étude s'intéresse aux variations de salinité et de richesse spécifique au cours des différentes années.

Résultats et discussion

Sur la réserve de Moëze-Oléron (MO), présentant deux dunes, la salinité observée est demeurée constante sur l'ensemble de la période d'étude. À l'inverse, sur la réserve du marais d'Yves (MY), la salinité relevée a largement augmenté après Xynthia (atteignant 11 g.l⁻¹ en moyenne). Si la salinité observée commence à diminuer quatre ans après la tempête, on observe que, même sept ans après celle-ci, elle demeure bien supérieure à la salinité pré-submersion. Ces changements ont entraîné des répercussions fortes sur la diversité en amphibiens.

La richesse spécifique en amphibiens est demeurée constante à MO, mais elle a très largement diminué sur MY de manière concomitante à l'augmentation de la salinité. Elle a cependant progressivement ré-augmenté après la tempête, pour revenir, plus de quatre ans après, aux valeurs pré-submersion, mais avec un assemblage

d'espèce différent (sur les sites d'étude à MY, disparition du pélobate cultripède, et apparition du crapaud épineux). Les deux sites voisins expriment donc des réponses différentes à la submersion marine, qui s'expliquent par de légères différences topographiques. À MO, les deux dunes présentent un effet protecteur, qui s'illustre par le fait que les niveaux de salinité mesurés demeurent identiques sur toute la durée de l'étude, ce qui suggère qu'il n'y a pas eu de submersion ni d'infiltration sur les mares. La richesse en amphibiens demeure ainsi constante. En revanche, à MY (le site le moins protégé, avec une seule dune), la salinité mesurée a radicalement augmenté suite à la tempête, avec une influence durable dans le temps, qui s'observe non seulement sur les niveaux de salinité relevés, mais également sur la richesse en amphibiens, qui a fortement été impactée par l'augmentation des niveaux de sel.

Trois hypothèses non exclusives peuvent expliquer la diminution du nombre d'amphibiens après la tempête sur MY. Les fortes salinités relevées ont pu affecter les amphibiens premièrement par la mortalité directe des adultes (Albecker et McCoy, 2017), mais aussi en empêchant la reproduction et la ponte (qui est fortement contrainte pour les amphibiens dans les environnements trop salés ; Haramura, 2008). Enfin, si la reproduction a eu lieu, la salinité élevée peut avoir empêché le développement des œufs et des larves (Chinathamy *et al.*, 2006), ou avoir provoqué leur mortalité (ces stades étant reconnus comme beaucoup plus sensibles que les stades adultes, (Albecker et McCoy, 2017). Cependant, malgré la forte influence de la tempête Xynthia sur les

amphibiens de MY, la richesse spécifique d'amphibiens est revenue aux conditions d'avant la tempête sept ans après la submersion.

Partant du constat que les individus et populations peuvent se rétablir face à une augmentation de la salinité, les résultats apportés par Lorrain-Soligon *et al.* (2021) permettent d'apporter des pistes pour la gestion des espaces côtiers vulnérables. En effet, la résilience face à l'augmentation de la salinité pourrait se faire par la création de barrières supplémentaires, en l'occurrence des dunes de sable (Debaine et Robin, 2012 ; Juigner et Robin, 2018), qui pourraient non seulement servir de barrières à la submersion, mais aussi de zones refuges, sur lesquelles pourrait être favorisée la présence de mares d'eau douce ou légèrement saumâtres. Ces mares pourraient permettre aux individus de se réfugier quand la salinité augmente, puis de recoloniser les zones adjacentes lorsque la salinité rediminue.

Conclusions

Cette étude souligne que la présence d'amphibiens dans les zones humides côtières après une submersion résulte d'une interaction entre des traits spécifiques à l'espèce (tolérance à une salinité élevée, écologie) et des caractéristiques spécifiques au site (topographie et caractéristique des mares ; Lorrain-Soligon *et al.*, 2021). Cette étude met ainsi en évidence le fait qu'une gestion paysagère relativement modeste peut être essentielle pour permettre aux amphibiens, mais aussi potentiellement à d'autres espèces, de se rétablir avec succès après une submersion marine.

RÉFÉRENCES

- Albecker M. A., McCoy M. W., 2017. Adaptive responses to salinity stress across multiple life stages in anuran amphibians. *Frontiers in Zoology*, n° 14, p. 1-16, <https://doi.org/10.1186/s12983-017-0222-0>.
- Chinathamy K., Reina R. D., Bailey P. C. E., Lees B. K., 2006. Effects of salinity on the survival, growth and development of tadpoles of the brown tree frog, *Litoria ewingii*. *Australian Journal of Zoology*, n° 54, p. 97-105, <https://doi.org/10.1071/ZO06006>.
- Chouari W., 2020. A methodological approach for mapping Tunisia's lower coast's risk of submersion: The case of the coastal sabkhas of Sidi Khlifa and Halq El Minjel (Central-East Tunisia). *Journal of African Earth Sciences*, n° 162, p. 103726, <https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2019.103726>.
- Debaine F., Robin M., 2012. A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards. *Ocean & Coastal Management*, n° 63, p. 43-54, <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.012>.
- Delaune K. D., Nesich D., Goos J. M., Relyea R. A., 2021. Impacts of salinization on aquatic communities: Abrupt vs. gradual exposures. *Environmental Pollution*, n° 285, p. 117636, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117636>.
- Haramura T., 2008. Experimental Test of Spawning Site Selection by *Buergeria Japonica* (Anura: Rhacophoridae) in Response to Salinity Level. *Copeia*, p. 64-67, <http://www.jstor.org/stable/25140745>.
- Herbert E. R., Boon P., Burgin A. J., Neubauer S. C., Franklin R. B., Ardon M., Hopfensperger K. N., Lamers L. P. M., Gell P., 2015. A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere*, n° 6, p. 1-43, <https://doi.org/10.1890/ES14-00534.1>.
- Hobohm C., Schaminée J., Van Rooijen N., 2021. Coastal habitats, shallow seas and inland saline steppes: Ecology, distribution, threats and challenges. In: Hobohm, C. (Éd.), *Perspectives for Biodiversity and Ecosystems* (p. 279-310). Springer International Publishing.
- Hopkins G. R., Brodie E. D., 2015. Occurrence of Amphibians in Saline Habitats: A Review and Evolutionary Perspective. *Herpetological Monographs*, n° 29, p. 1-27, <https://doi.org/10.1655/HERPMONOGRAPHS-D-14-00006>.
- Huang Y., Zhang T., Wu W., Zhou Y., Tian B., 2017. Rapid risk assessment of wetland degradation and loss in low-lying coastal zone of Shanghai, China. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, n° 23, p. 82-97, <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1223536>.
- IPCC, 2007. Intergovernmental panel on climate change. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller [eds.], *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge Univ. Press.), <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1/>.

RÉFÉRENCES (SUITE)

Juigner M., Robin M., 2018. Caractérisation de la morphologie des massifs dunaires de la région Pays de la Loire (France) face au risque de submersion marine. *Vertigo*, la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 18, n° 2, <https://id.erudit.org/iderudit/1059919ar>.

Lorrain-Soligon L., Robin F., Rousseau P., Jankovic M., Brischoux F., 2021. Slight variations in coastal topography mitigate the consequence of storm-induced marine submersion on amphibian communities. *Science of The Total Environment*, n° 770, p. 145382, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145382>.

Shoemaker V. H., Hillman S. S., Hillyard S. D., Jackson D. C., Mc Clanahan L. L., Withers P., Wygoda M., 1992. Exchange of water, ions and respiratory gases in terrestrial amphibians. In *Environmental physiology of the amphibians* (p. 125-150). The University of Chicago Press.

Suanez S., Fichaut B., Sparfel L., 2007. Méthode d'évaluation du risque de submersion des côtes basses appliquée à la plage du Vougot, Guissény (Bretagne). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n° 13, p. 319-334, <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.4582>.

Wang X., Wang W., Tong C., 2016. A review on impact of typhoons and hurricanes on coastal wetland ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, n° 36, p. 23-29, <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.12.006>.

Wells K. D., 2007. *The Ecology and Behavior of Amphibians* (University of Chicago Press). 1400 p.