



Création et restauration des mares en France. Définitions, fonctionnement et techniques d'intervention

Timothé Courteille, Anne Vivier

► To cite this version:

Timothé Courteille, Anne Vivier. Création et restauration des mares en France. Définitions, fonctionnement et techniques d'intervention. Office Français de la Biodiversité. 2025, 125p. hal-05329490

HAL Id: hal-05329490

<https://hal.science/hal-05329490v1>

Submitted on 24 Oct 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Création et restauration des mares en France

Définitions, fonctionnement et techniques
d'intervention

Rapport d'étude



Mare prairiale - Doubs (25).
© Sébastien Lamy / Office Français de la Biodiversité.

« En évoquant le mot « étang » chacun se représente une eau dormante, familière ou mystérieuse, azure ou émeraude, trouble ou cristalline, miroir ou « œil du paysage ». L'étang qui intéresse comme objet d'observation est aussi un sujet qui réfléchit ceux et celles qui se penchent sur lui. Tel un tableau, il représente une identité, celle de l'observateur, du peintre, de ceux qui l'étudient, l'admirent et l'interprètent. Et l'identité de chacun étant aussi le reflet d'une époque et d'un territoire, l'étang – élément singulier ou pluriel du paysage – porte donc une identité collective. C'est l'homme en société qui est le sujet versatile et les multiples représentations des étangs sont aussi le reflet de cette versatilité. Que les étangs fassent société en milieu urbain, rural, ou montagnard, ils participent à l'esprit des lieux et sont les produits des représentations de leurs titulaires. »¹

Béat Oertli et Pierre André Frossard. *Mares et étangs - Écologie, gestion, aménagement et valorisation*. 2013.

¹ Dans cette citation, les auteurs utilisent les mots « étang » et « mare » comme des synonymes.

Auteurs

Timothé Courteille, chargé d'étude sur la restauration écologique et la création de mares, Office Français de la Biodiversité. timothe.courteille@ofb.gouv.fr

Anne Vivier, chargée de mission recherche restauration des milieux, Office Français de la Biodiversité. anne.vivier@ofb.gouv.fr

Référence

Courteille, T, Vivier A. Création et restauration des mares en France. Définitions, fonctionnement et techniques d'intervention. Office Français de la Biodiversité. 2025. Paris, 105p + annexes.

Mots-clefs

Mare, Restauration écologique, Changements climatiques, Services écosystémiques, Biodiversité.

Remerciements

L'Office Français de la Biodiversité remercie ses partenaires la Société Nationale de Protection de la Nature, le Pôle-relais mares et vallées et alluviales et le réseau REVER pour la diffusion d'un appel à contributions qui a permis d'alimenter ce travail. Tous les partenaires ayant partagé leur documentation ou ayant contribué à la relecture du présent document sont également remerciés : Natagora, le Centre de Ressources Génie Écologique, le Muséum National d'Histoire Naturelle, PatriNat, la Ligue de Protection des Oiseaux de la région Auvergne Rhône-Alpes, les différents Conservatoires d'Espaces Naturels, l'Office National des Forêts, le Centre Permanent d'Initiative à l'Environnement du Sud Champagne.

Des remerciements sont particulièrement adressés à Frédéric Arnaboldi, Jean-Baptiste Decotte et Luca Fagan pour leur accueil sur le terrain, leur expertise et leurs retours d'expériences sur le sujet des mares ; ainsi qu'à Frédéric LABAT et Guillaume GAYET pour leurs relectures attentives, leur avis constructif et leurs conseils avisés pour l'élaboration de ce document.

Résumé

Les créations et restaurations de mares constituent des actions écologiques fréquentes et pratiquées depuis longtemps, dans une grande diversité de milieux (agricoles, forestiers, urbains, etc.) afin de répondre à des objectifs en termes de biodiversité, d'adaptation aux changements climatiques ou encore de support pédagogique de sensibilisation à la nature. Le règlement européen sur la restauration de la nature mentionne dans son annexe VII, pour les trois types de milieux précédemment cités, la restauration de mares comme une mesure à mettre en œuvre.

Dans le cadre du 4^e Plan National Milieux Humides (2022-2026), le Ministère de l'Écologie a mandaté la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN) pour élaborer une stratégie nationale d'actions en faveur des mares. La SNPN s'est associée en 2023 à l'association nationale des élus de bassin dans le cadre du portage du Pôle-relais mares et vallées alluviales, afin de relancer une dynamique à l'échelle nationale entre les acteurs de la préservation des mares. Les mares bénéficient de différentes structures d'échanges et de transfert portées au niveau territorial par certains Conservatoires d'Espaces naturels (CEN), Parc Naturels Régionaux (PNR), Centres permanents d'Initiative à l'Environnement (CPIE), associations de la Fédération France Nature Environnement, Fédérations de Chasse (FDC), et par des programmes de suivi et d'évaluation comme la démarche « Milieux Humides, évaluation, Observation » (MHéO) ou les Appels à Manifestation d'Intérêt (AMI) sur l'efficacité des mesures de gestion Natura 2000, portés par Patrinat.

Une grande diversité d'acteurs pilote des projets de création et/ou restauration de mares : associations, collectivités, entreprises, particuliers, etc. qui peuvent être financés en partie par des subventions et plus récemment par les différents appels à projets portés par l'OFB concernant la restauration écologique. Les projets proposés dans ce cadre ont montré des lacunes en termes de justification des actions, de définition des objectifs, de techniques utilisées, de réflexion rétrospective sur les travaux déjà menés depuis parfois des dizaines d'années sur les mêmes territoires, ainsi que sur leur réussite.

Dans un contexte où la mise en œuvre des mesures de restauration est amenée à se développer sous l'impulsion du règlement européen et de plans nationaux, comment assurer la réussite de ces démarches ? Quelles techniques sont efficaces et comment pérenniser les actions ? Quels sont les besoins en termes d'accompagnement scientifique, technique et de recherche ? Comment déployer ces stratégies pour améliorer leur efficacité en appui au futur plan national de restauration et dans un contexte de changements climatiques ?

L'objectif du présent travail est ainsi multiple : il a pour ambition de poser un cadre de réflexion et des propositions de méthodologie pour la restauration et/ou création de mares, que l'ensemble des parties prenantes – collectivités, bureaux d'études, gestionnaires etc. – peut s'approprier. Ce document ne constitue pas un guide à part entière, puisqu'il n'indique pas une méthode unique à mettre en place. Il propose au contraire, en s'appuyant sur la bibliographie existante, plusieurs façons de concevoir la restauration / création de mares, en fonction du contexte local et des objectifs établis.

Table des matières

Introduction.....	1
I. Définitions, écologie et importance sociétale des mares	4
a. Définitions scientifiques et juridiques	4
Définitions des mares	4
Typologies des mares	7
Aspects règlementaires et juridiques	9
Définition de la restauration écologique	12
b. Biodiversité, dynamiques et fonctions des mares	15
La flore	16
La faune	17
Les dynamiques naturelles d'évolution	19
Les fonctions des mares	20
Les intérêts des réseaux de mares	22
c. Importance sociétale des mares	24
Les différents usages liés aux mares	24
Les services écosystémiques rendus par les mares	25
II. Création de mares.....	29
a. Préconisations temporelles et techniques	29
Calendrier de réalisation	29
Matériel	29
Sécurité	30
b. Méthodes de création de mares	30
Emplacement de la mare	31
Conception et mise en œuvre de la mare	35
Imperméabilisation de la mare	36
Mise en eau	43
Finitions	43
c. Mesures de gestion à mettre en place en fonction d'un taxon visé	47
Les amphibiens	47
Les macro-invertébrés aquatiques	48
Les végétaux aquatiques	48
III. Restauration écologique des mares.....	50
a. Planification de la restauration écologique	50
Caractérisation de l'état écologique des mares	50

Étapes de la restauration écologique	50
Définition des objectifs et évaluation de leur atteinte	54
Protocoles de suivi	56
b. Techniques de restauration écologique des mares	61
Gestion de la végétation	61
Gestion des Espèces Exotiques Envahissantes Végétales	66
Gestion des Espèces Exotiques Envahissantes Animales	68
Gestion de la fermeture de la mare	69
Reprofilage des berges	72
Réimperméabilisation de la mare	72
Turbidité et qualité de l'eau	73
IV. Recommandations	76
a. Axe connaissances.....	76
Améliorer et diffuser la connaissance des projets et des pratiques	76
Établir des stratégies locales de création et de restauration	76
Améliorer l'évaluation des projets de création et de restauration	76
Améliorer les techniques de restauration / création de mares	78
Poursuivre la recherche sur le fonctionnement des mares.	79
b. Axe appui aux acteurs et mobilisation de la société	79
Développer un axe restauration au sein des stratégies régionales sur les mares.	79
Fédérer la société autour de projets de restauration/création de mares.	80
Conclusion	81
Références.....	82
Annexes.....	98

Liste des figures

Figure 1. Sous-ensembles d'une mare - Issu de Herteman, Norden, & Vandersarren, 2023.	6
Figure 2. Modèle conceptuel pour définir les pièces d'eau, basé sur trois différents critères (profondeur, surface et végétation émergente). Modifié de Richardson et al., 2022.	7
Figure 3. Distances minimales d'implantation des mares à respecter. Issu de Groupe Mares, 2022.	11
Figure 4. Déclarations à effectuer pour restaurer, agrandir ou créer une mare, en fonction de la superficie et de la profondeur de celle-ci. Modifié de Groupe Mares, 2022.	12
Figure 5. Classement des actions envisageables sur l'écosystème en prenant en compte son niveau de dégradation et les objectifs de l'action mise en œuvre. Issu de Lenfant et al, 2015.	13
Figure 6. Le continuum restaurateur permettant de caractériser le degré de restauration des écosystèmes. Issu de Réseau REVER (s. d.) d'après. Gann et al., 2019.	14
Figure 7. Les différents concepts de la restauration écologique. Issu de Vivier et al. (2025), d'après Association REVER, 2024.	15
Figure 8. Principales variables locales et régionales agissant (directement ou indirectement) sur la biodiversité. Modifié de Oertli et Frossard, 2013.	16
Figure 9. Les groupes végétaux se développant au sein des mares. Issu de Oertli et Frossard, 2013.	16
Figure 10. Réseau trophique simplifié de la mare. Issu de Montpellier Méditerranée Métropole, 2022.	17
Figure 11. Les quatre stades du processus d'atterrissement d'une mare. Modifié de Abe-Goulier et al., 2019.	19
Figure 12. Fonctions écologiques des mares et services écosystémiques qui en découlent.	21
Figure 13. Présentation de variables garantissant le bon état des fonctions écologiques de la mare.	22
Figure 14. Principe de fonctionnement des continuités écologiques. Exemple type du déplacement d'un amphibien. Issu de SNPN & CAUE-IDF, 2016.	22
Figure 15. Comparaison de la richesse spécifique maximale d'amphibiens entre : a) les mares comprises dans un réseau et les mares isolées, b) les mares d'un réseau créé et les mares d'un réseau ayant une mare existante avant la création de mares complémentaires. Issu de Decotte, 2024.	23
Figure 16. Cartographie des différentes structures régionales agissant en faveur des mares en France. Issu de SNPN, s.d.	26
Figure 17. Calendrier de réalisation des travaux de création de mares. Modifié de Decotte, 2024.	29
Figure 18. Les étapes de création d'une mare.	30
Figure 19. Préconisations techniques et de distances lors du terrassement d'une mare.	31
Figure 20. Schématisation de la création de berges dans le cas d'une mare en pente.	32
Figure 21. Illustration des rapports de pente. Issu de Decotte, 2024. ©Québec Vert.	35
Figure 22. Profil de la mare souhaité pour maximiser l'implantation de la biodiversité. Issu de Arnaboldi & Alban, 2009.	36
Figure 23. Coupe transversale dans une mare, montrant la succession de hauts fonds et de fosses. Issu de Motte et al., 2012.	36
Figure 24. Processus décisionnel pour l'imperméabilisation de la mare.	37
Figure 25. Illustration de la réalisation d'un boudin d'argile pour estimer la teneur en argile du sol. Issu de Gayet, et al., 2023.	37
Figure 26. Les différentes couches qui peuvent être utilisées lors de la création de mare à l'aide d'une bâche EPDM.	40
Figure 27. Schéma type des mares creusée en colimaçon. Issu de Decotte, 2024. ©PROGEO.	42
Figure 28. Utilisation de la terre excavée en fonction du type d'imperméabilisation. D'après Decotte, 2024.	42
Figure 29. Cycle de vie des odonates. Issu de OPIE-SFO, 2012.	43
Figure 30. Illustration de l'hibernaculum. Issu de ADT, s.d.	44
Figure 31. Principe de la pompe à museau. Modifié de GAL Pays des Tiges et Chavées, 2019.	46
Figure 32. Calendrier de réalisation des travaux de restauration écologique. Modifié de Decotte, 2024.	50
Figure 33. Les étapes d'un projet de restauration écologique. Modifié de Office Français de la Biodiversité, 2022.	51
Figure 34. Les acteurs concernés par un projet de restauration écologique. Issu de Office Français de la Biodiversité, 2022.	51
Figure 35. Arbre décisionnel simplifié permettant d'anticiper le degré d'intervention sur le milieu. Modifié de OPIE, 2016.	53
Figure 36. Les différents types de suivis en fonction de la temporalité du projet.	56
Figure 37. Guide simplifié d'aide à la décision pour la gestion des mares. Issu de Guittet et al., 2015.	61
Figure 38. Les modes de gestion à appliquer en fonction du type de végétation considérée. Issu de PRAM Normandie, 2019.	62
Figure 39. Restauration de l'hydrologie de la tourbière par curage de l'anneau périphérique. Issu de Arnaboldi & Alban, 2007.	65
Figure 40. Schéma représentant le système d'arrachage de plante à rhizome en masse touffue et dense. Issu de Herteman, Norden & Vandersarren, 2023.	67

Liste des tableaux

Tableau 1. Les différentes typologies des mares	7
Tableau 2. Source d'alimentation en eau dominante par système hydrogéomorphologique. Modifié d'après Gayet et al., 2023 et Brinson et al., 1995.	8
Tableau 3. Statut trophique de la mare en fonction de l'espèce de lentille d'eau qui s'y trouve. Issu de Grossi et al., 2010. .	17
Tableau 4. Seuils de nutriments pour caractériser les différents statuts trophiques. Issu de Oertli et Frossard, 2013.	20
Tableau 5. Conditions d'application des différents modes d'imperméabilisation du sol. 1 représente une bonne note ; 3 représente une mauvaise note. Issu de Métropole Rouen Normandie, 2020.	38
Tableau 6. Caractéristiques générales résumées en fonction du type d'étanchéification lors de la création de mares. D'après les informations de Decotte, 2024.	39
Tableau 7. Couches à utiliser pour créer une mare avec de l'EPDM, en fonction de la surface. D'après Decotte, 2024.	41
Tableau 8. Présentation de quelques objectifs pour la restauration des mares.	55
Tableau 9. Les principaux protocoles de suivi utilisés pour caractériser les mares.	57
Tableau 10. Conditions météorologique requises pour la réalisation du protocole STELI. Issu de Société Française d'Odonatologie & MNHN, s.d.	59
Tableau 11. Les différents paramètres permettant de caractériser une mare. Adapté de PRAM Normandie, 2017.	60
Tableau 12. Principaux modes de régulation des végétaux de la mare. Issu de Arnaboldi & Alban, 2017.	63
Tableau 13. Récapitulatif des modes de gestion des différents types d'EEE végétales. Modifié de Herteman, Norden et Vandersarren, 2023.	68
Tableau 14. Temps moyen de la mobilisation d'une pelle selon le volume à creuser. Issu de Arnaboldi & Alban, 2007.	71
Tableau 15. Principales problématiques de restauration écologique et fréquences d'action. Issu de Herteman, Norden & Vandersarren, 2023.	72

Liste des encadrés

Encadré 1. Le Triton crêté.	18
Encadré 2. Processus d'eutrophisation et d'humification dans les mares.	20
Encadré 3. Creuser une mare alimentée par une nappe phréatique.	32
Encadré 4. Mare en zone urbaine dense ou de carrière.	33
Encadré 5. Le cas des mares tourbeuses.	65

Liste des photographies

Photographie 1. Mare intégrée à une zone humide – Havelange (Belgique).	10
Photographie 2. Triton crêté (Triturus cristatus).	18
Photographie 3. Mare en cours d'atterrissement - forêt de Rambouillet (Île-de-france).	19
Photographie 4. Bombina variegata et mare favorable à son accueil. Saint-Paul-lès-Monestier (Isère).	20
Photographie 5. Le même site avant et après la création d'une mare - Andenne (Belgique).	31
Photographie 6. Futures mares en micro-réseau – Durbuy (Belgique).	34
Photographie 7. Test d'argile à la tarière – forêt de Rambouillet (Île de france).	38
Photographie 8. Mise en évidence de la couche d'argile - Ohey (Belgique).	38
Photographie 9. Hibernaculum mis en place aux abords d'une mare – Saint-Paul-lès-Monestier (Isère).	45
Photographie 10. Accès des vaches à la mare - Havelange (Belgique).	46
Photographie 11. Mare envahie par une végétation de type massette - Dunkerque (59).	63
Photographie 12. Empreinte de raton-laveur aux abords d'une mare nouvellement creusée – Havelange (Belgique).	69
Photographie 13. Mare prairiale avant et après une opération de curage.	70
Photographie 14. Mare forestière ombragée - forêt de Rambouillet (Île-de-france).	71

Introduction

La biodiversité connaît un déclin sans précédent, essentiellement dû au développement des activités anthropiques qui exploitent les ressources, fragmentent les territoires, détruisent des habitats naturels et dispersent des espèces exotiques envahissantes (EEE) qui induisent une pression supplémentaire sur des espèces déjà fragilisées (Reid, et al. 2005, Turpin et Argagnon 2020, Jaureguiberry, et al. 2022). Par exemple, 75% des milieux terrestres sont aujourd'hui fortement altérés et 85% de la surface terrestre serait impactée par les activités humaines (Kennedy, et al. 2019). En France, seulement 22% d'habitats d'intérêt communautaire sont dans un état de conservation favorable (UICN 2019).

Parmi l'ensemble des écosystèmes, les milieux humides sont particulièrement menacés alors qu'ils sont reconnus d'intérêt général de par leur richesse écologique intrinsèque (Mallard, et al. 2023). En France hexagonale, ce sont 50% des milieux humides qui ont disparu entre 1960 et 1990 (EFESE 2018, UICN 2019, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2021) et si la tendance a ralenti, elle ne s'est pas arrêtée. Ces milieux jouent pourtant des rôles clés en termes d'accueil de la biodiversité et de services de régulation du climat et d'adaptation aux changements climatiques : régulation des crues, recharge des eaux souterraines et de surface, stockage de carbone... (Pôle-Relais Zones Humides Tropicales s.d., EPCN, 2010, EFESE 2018, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2021). Les milieux humides sont de plus des écosystèmes diversifiés, qui servent d'interface entre les milieux terrestres et les milieux aquatiques et qui sont donc sujets à un grand nombre d'interactions biologiques (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2021).

Les mares, qu'elles soient naturelles ou artificielles, sont de petits milieux humides qui accueillent une forte biodiversité (Jeffries, et al. 2023). Jouant à la fois le rôle de « points de passage » et d'habitats, les mares sont utilisées par une grande diversité d'espèces qui s'y abreuvent, s'y reproduisent (Vanausdall et Dinsmore 2019) et s'y réfugient, notamment dans un contexte d'intensification des pratiques agricoles, d'artificialisation des sols (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires 2023) et de destruction des habitats (Beebee 1992, Palau Daval 2019). Il est estimé que les mares abritent plus de 20% des espèces aquatiques protégées en France, sur moins de 0,05% de la superficie nationale (SNPN 2022). De plus, le rôle des mares s'étend au-delà du milieu aquatique, puisqu'elles bénéficient à de nombreuses espèces de mammifères, d'oiseaux, d'insectes pollinisateurs, à certaines araignées terrestres (Oertli et Frossard 2013). Elles ont également une place non négligeable au sein de nos sociétés humaines : Oertli et Frossard (2013) décrivent la mare comme un « mi-lieu », un siège d'interactions socio-écologiques variées, intégré à une histoire naturelle et sociale, qui se trouve à un carrefour entre culture et nature. Chaque mare est unique, à la fois par sa composition naturelle, mais également par ses interactions avec les communautés humaines. Ainsi, cet écosystème permet une approche transversale du territoire : il est présent dans tous les milieux, utilisé par de nombreux usagers et est un lieu de rencontres entre la faune, la flore et les humains. Pourtant, depuis le XXe siècle, près de 90% des mares auraient disparu en France (SNPN & CAUE-IDF 2016). De plus, ces écosystèmes vulnérables du fait de leur faible taille (Jeffries, et al. 2023) sont encore mal documentés, parfois dépréciés et manquent de protections légales efficaces, à la fois dans les politiques internationales et dans la réglementation française (Hill, et al. 2017, Palau Daval 2019), ce qui dessert leur préservation (Calhoun, et al. 2017, Hunter, et al. 2017). Les mares font partie des écosystèmes les plus menacés par les changements globaux qui peuvent entraîner des modifications des processus géochimiques, le réchauffement et la raréfaction de l'eau, un risque d'assèchement plus précoce, plus long, plus rapide (Pronost 2019). Des mares aujourd'hui permanentes pourraient devenir temporaires dans les années à venir. Les concentrations en nutriments dans l'eau pourraient augmenter à cause du réchauffement estival qui stimule les processus microbiens. Les mares littorales sont quant à elles menacées par la montée des eaux (Pronost 2019). **Ainsi, le caractère exceptionnel de ces milieux considérés comme des points chauds de biodiversité, couplé à leur fort taux de dégradation, implique une urgence à agir. Les mares, à la fois fondamentales pour les sociétés humaines et pour les communautés animales et végétales qu'elles hébergent, doivent bénéficier d'une protection renforcée lorsqu'elles sont en bon état de conservation et être restaurées lorsqu'elles sont dégradées** (Mallard, et al. 2023).

En France, la restauration de ces milieux est une pratique courante, portée par une grande diversité d'acteurs (Mallard, et al. 2023) et qui connaît une dynamique croissante sous l'impulsion de diverses initiatives dont des incitations financières via des appels à projets (Marathon de la biodiversité porté par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, Mission nature portée par l'Office Français de la Biodiversité...). L'adoption en juillet 2024 du Règlement sur la Restauration de la Nature au Journal Officiel de l'Union Européenne réaffirme l'importance de restaurer les milieux naturels, en fixant des objectifs contraignants aux États membres : 30% de leurs habitats d'intérêt communautaires dégradés doivent faire l'objet de mesures de restauration d'ici 2030, 60% d'ici 2040 et 90% d'ici 2050 (Union Européenne 2024).

Les acteurs de la restauration des mares s'appuient sur un corpus scientifique et technique dense mais hétérogène, ainsi que sur des connaissances et pratiques locales souvent efficaces mais pas toujours valorisées et transférées à l'ensemble de la communauté d'acteurs. Ainsi, devant le regain d'intérêt que connaissent les mares, l'Office Français de la Biodiversité a voulu mener une étude sur les méthodologies de création et de restauration de ces écosystèmes en France. Ce travail a pour objectif de synthétiser les connaissances relatives aux mares, à leur création et leur restauration, afin d'appuyer l'action des gestionnaires des milieux naturels. Au travers d'une synthèse bibliographique, d'une collecte de retours d'expériences, de sorties terrain et d'entretiens avec des acteurs de la restauration des mares, il vise à répondre notamment aux questions suivantes :

- Quelles méthodes/techniques de création et/ou de restauration écologique de mares sont utilisées et efficaces par rapport aux objectifs de restauration de ces milieux ?
- Quelles sont les connaissances manquantes sur les mares et leur restauration et comment orienter les programmes de recherche et développement ?

L'Office Français de la Biodiversité a la chance de pouvoir s'appuyer sur le travail réalisé par la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN), qui a développé un programme de recherche-action « Oasis du climat et de la Biodiversité » permettant notamment d'identifier les acteurs œuvrant sur la question des mares, ainsi que les pratiques qu'ils utilisent et leurs besoins (Mallard, et al. 2023).

Le présent document est organisé en quatre parties. Dans une première partie, différentes définitions sont proposées, l'écologie des mares est décrite et ces écosystèmes sont abordés sous l'angle sociologique, permettant d'expliquer leur lien fort aux sociétés humaines, leur déclin et l'intérêt qu'elles suscitent à nouveau. Dans la deuxième partie, les préconisations et techniques pour créer des mares sont discutées. Les méthodologies pour la restauration écologique et la gestion de mares sont exposées dans un troisième temps et la quatrième partie traite des pistes de recherches et des recommandations formulées à l'issue de ce travail.

Ce document ne permet pas de traiter de la création ou la restauration spécifique à chaque type de mare. De nombreux guides existent toutefois sur divers types de mares (forestières, temporaires méditerranéennes, mares de carrières...). Certains de ces documents sont présentés en annexe 1.



Mare de prairie – Ciney (Belgique)
© Thierry Lehardy.

I. Définitions, écologie et importance sociétale des mares

Les mares sont des écosystèmes complexes, à la fois intéressants dans leur individualité et dans leur intégration à une matrice paysagère. Une multitude de perceptions se croisent autour de la mare : là où les naturalistes identifient des dynamiques écologiques, les agriculteurs voient des opportunités ou des obstacles et les sociologues étudient des acteurs, des pratiques et des relations. Culturellement, la mare est un objet hybride : certains la dépeignent comme un lieu d'où sortent les monstres et qu'il faudrait alors maîtriser, comme dans la mythologie grecque ; d'autres, au contraire, comme une nature idéalisée et rousseauiste (Oertli et Frossard 2013). Ainsi, cette partie propose dans un premier temps différentes définitions nécessaires à la compréhension de ce travail, puis aborde l'écologie et l'importance sociétale des mares.

a. Définitions scientifiques et juridiques

Proposer une définition des termes employés dans un travail scientifique est une première étape fondamentale pour sa compréhension. En effet, « le consensus sur la terminologie employée dans un domaine est une condition importante à la cohérence entre la recherche sur ce domaine et la mise en œuvre pratique de la discipline » (Atkinson et Bonser 2020). Cette réflexion s'applique ici sur les concepts discutés ou sur les écosystèmes ciblés, à savoir les mares. Ainsi, la partie développée ci-contre souhaite proposer différentes définitions, afin d'établir un cadre de compréhension.

Définitions des mares

La mare est un écosystème connu de tous mais dont il n'existe pas vraiment de définition faisant l'unanimité au sein de la communauté scientifique. Dans le langage anglosaxon, les termes « pond », « small shallow lakes » et « depressional wetlands » regroupent d'ailleurs à la fois les mares et les étangs, sans faire systématiquement de distinction entre ces deux écosystèmes. La mare est souvent décrite à travers des composantes de taille, de profondeur et d'usage. Plusieurs définitions sont données par les nombreux acteurs des mares :

La définition de la mare la plus souvent reprise en France par les acteurs de cette thématique est celle donnée par Sajaloli et Dutilleul (2001), dans le programme national de recherche sur les zones humides, qui considèrent la mare comme « une étendue d'eau à renouvellement généralement limité, de taille variable pouvant atteindre un maximum de 5 000 m². Sa faible profondeur, qui peut atteindre environ deux mètres, permet à toutes les couches d'eau d'être sous l'action du rayonnement solaire et aux plantes de s'enraciner sur tout le fond. De formation naturelle ou anthropique, elle se trouve dans des dépressions imperméables, en contextes rural, périurbain voire urbain. Alimentée par les eaux pluviales et parfois phréatiques, elle peut être associée à un système de fossés qui y pénètrent et en ressortent ; elle exerce alors un rôle tampon au ruissellement. Elle peut être sensible aux variations météorologiques et climatiques et ainsi être temporaire. La mare constitue un écosystème au fonctionnement complexe, ouvert sur les écosystèmes voisins, qui présente à la fois une forte variabilité biologique et hydrologique interannuelle. Elle possède un fort potentiel biologique et une forte productivité potentielle. ».

Le Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau (SANDRE) définit une mare comme une « étendue d'eau superficielle de petite taille et de faible profondeur, permanente ou saisonnière. Les mares [...] abritent une flore et une faune d'une grande variété et notamment des juvéniles de nombreuses espèces de poissons. Petite étendue d'eau dormante, permanente ou temporaire, généralement de formation naturelle, plus petite qu'un étang » (Sandre 2014). Cette définition promeut la présence de poissons, qui constituent des menaces pour la faune inféodée aux mares (Oertli et Frossard 2013) et qui **n'y ont pas leur place** puisque les mares sont déconnectées du réseau hydrographique. Ces espèces altèrent fortement les communautés de macro-invertébrés aquatiques (Labat, Thiébaud et Piscart 2024) et d'amphibiens, soit en prédatant directement ces taxons, soit en consommant toutes leurs ressources (France Nature Environnement 2021a). De plus, la présence de poissons peut accélérer le processus d'eutrophisation et entraîner la mise en suspension des sédiments, ce qui trouble l'eau et limite le développement d'espèces aquatiques végétales nécessaires à l'accomplissement du cycle de vie de nombreuses espèces animales.

La Politique Agricole Commune apporte une précision supplémentaire sur la définition d'une mare, puisqu'elle considère que « la végétation ripicole, au bord de l'eau, d'une largeur maximale de dix mètres, peut être incluse dans la surface de la mare » (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire 2023). Par ailleurs, une définition des mares a été donnée dans le cadre de la BCAE 8 "Maintien des particularités topographiques" pour le versement des aides de la politique agricole commune : il s'agit d'une "étendue d'eau dont la surface est inférieure ou égale à cinquante ares". Le texte précise que les réservoirs artificialisés par une matière plastique ou du béton ne sont pas des mares (Arr. 12 mai 2025, NOR : AGRT2303027A, art. 6, I mod. : JO, 13 mai).

Bernard (2023) présente la mare comme devant être profonde d'au moins 40 centimètres, ou être végétalisée si cette profondeur est inférieure. Dans le cadre méthodologique qu'elle a fixé, toute pièce d'eau dépourvue de poissons et qui présente un intérêt pour la faune et la flore associées aux mares peut être considérée comme une mare.

Dans le cadre de ce travail, une définition s'inspirant de celles présentées ci-dessus et incluant la composante terrestre des mares est proposée et utilisée : la mare est un ensemble formé par une bande de végétation ripicole d'une largeur de 10 mètres maximum (Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire 2023) et une pièce d'eau stagnante, permanente ou temporaire (Les Blongios s.d., Oertli et Frossard 2013), d'origine naturelle (retrait de glaciers, glissement de terrain, chablis...) ou anthropique (extraction de sols, activités militaires, réserve d'eau...) (Dupont et Sellier 2017, Centre de Ressources Milieux Humides 2023a, Centre de Ressources Milieux Humides 2023b), dont la surface varie de quelques m² à 5000 m² (PRAM Grand-Est s.d., Sajaloli et Dutilleul 2001, Mares Libellules 2020, Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Sa profondeur peut varier entre 40 centimètres et 2 mètres, ou être moindre si elle permet l'accueil de faune et de flore propres aux mares (Bernard 2019). Elle est déconnectée du réseau hydrographique et donc dépourvue de poissons. La mare peut être alimentée par les eaux pluviales et phréatiques, est parfois associée à des systèmes de fossés (Sajaloli et Dutilleul 2001, Oertli et Frossard 2013, SNPN & CAUE-IDF 2016, Dupont et Sellier 2017) et ne possède pas de système permettant de la vidanger entièrement. Elle se trouve en contexte rural, périurbain ou urbain et constitue un écosystème évolutif, qui ne se maintient pas naturellement à un stade précis (Arnaboldi et Alban 2007). Un chapelet de pièces d'eau connectées au moins 1 mois consécutif par an peut être considéré comme une seule mare (Bernard 2019). La diversité des mares est conditionnée par la variabilité de leur forme, leur taille, leur profondeur, leur âge et du milieu qui les entoure. Certains écosystèmes peuvent avoir un fonctionnement similaire aux mares, comme de petits étangs, de grands fossés ou des bras morts de cours d'eau. Enfin, même si les mares sont déconnectées du système hydrographique, le débordement de cours d'eau dans des dépressions du terrain peut créer des milieux favorables à certaines espèces inféodées aux mares. Les mares peuvent être des pièces d'eau individuelles ou être organisées en réseau. La définition d'un réseau de mares est donnée dans la partie II.a « Les intérêts des réseaux de mare ».

Comme le montre la Figure 1, la structure d'une mare est composée de trois sous-ensembles : la berge, constituée d'une largeur de 2 mètres autour du niveau normal d'eau (Bernard 2019), le plan et la colonne d'eau ; et le sol (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Le plan d'eau est l'interface entre l'eau et l'air et est constitué des 5 premiers centimètres sous la surface. Le sol constitue le support d'enracinement des végétaux, le lieu de refuge pour les animaux en cas d'assèchement de la mare et une interface d'échange si la mare est alimentée par une nappe phréatique. Le niveau normal d'eau est délimité par la séparation entre les hydrophytes et la végétation tout à fait terrestre et/ou par la présence de flore typique de l'interface eau/terre (Bernard 2019).

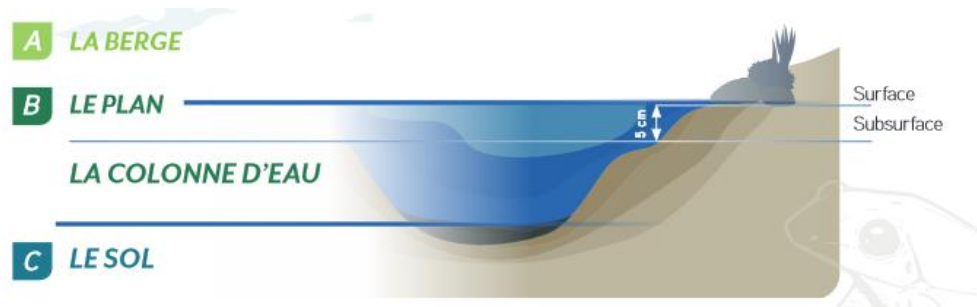


Figure 1. Sous-ensembles d'une mare - Issu de Herteman, Norden, & Vandersarren, 2023.

D'autres types de milieux humides doivent être distingués des mares :

Les **flaques**, petites étendues d'eau stagnante et très temporaire (Lambrechts, et al. 2005), se distinguent d'une mare par leurs variations spatio-temporelles et par l'absence de végétation aquatique. Les **ornières** sont des dépressions creusées par le passage d'engins mécaniques (Lambrechts, et al. 2005) et qui peuvent être transformées en mares linéaires si elles sont maintenues (Dupont et Sellier 2017). Ces deux milieux peuvent jouer un rôle dans le cycle de vie de certains amphibiens (Dupont et Sellier 2017).

Les **marais** et **marécages** sont des écosystèmes lenticques, à l'interface entre le milieu terrestre et aquatique, caractérisés par une mosaïque complexe d'habitats. Un marais ne présente pas de végétation ligneuse, contrairement aux marécages (Ramade 1993, Dupont et Sellier 2017).

Une **tourbière** est un écosystème d'eau stagnante, caractérisé par la présence de tourbe due au ralentissement du cycle du carbone, ce qui réduit considérablement la minéralisation des matières organiques mortes (Ramade 1993, Lambrechts, et al. 2005, Dupont et Sellier 2017).

Les **étangs** ont quant à eux une vocation plutôt piscicole et sont généralement pourvus d'un système de vidange permettant d'en retirer l'eau (Le Barz et Guimard 2001, Fouque et Schricke 2008). Ils sont alimentés directement ou indirectement par un cours d'eau (Arnaboldi et Alban 2007, SNPN & CAUE-IDF 2016).

Les **lacs** se distinguent par une profondeur qui ne permet pas aux rayonnements solaires d'atteindre le fond (CNPF 2010) et par des strates d'eaux froides et chaudes séparées par la thermocline (Arnaboldi et Alban 2007) en été.

Parmi les différents écosystèmes évoqués précédemment, la mare représente ainsi un stade intermédiaire entre les marais où il subsiste uniquement une zone littorale et les étangs dans lesquels la zone limnétique est plus étendue (Dupont et Sellier 2017).

La Figure 2 permet de synthétiser les différences de tailles, de profondeur et de végétation entre une mare, un lac, un étang et une zone humide (Richardson, et al. 2022).

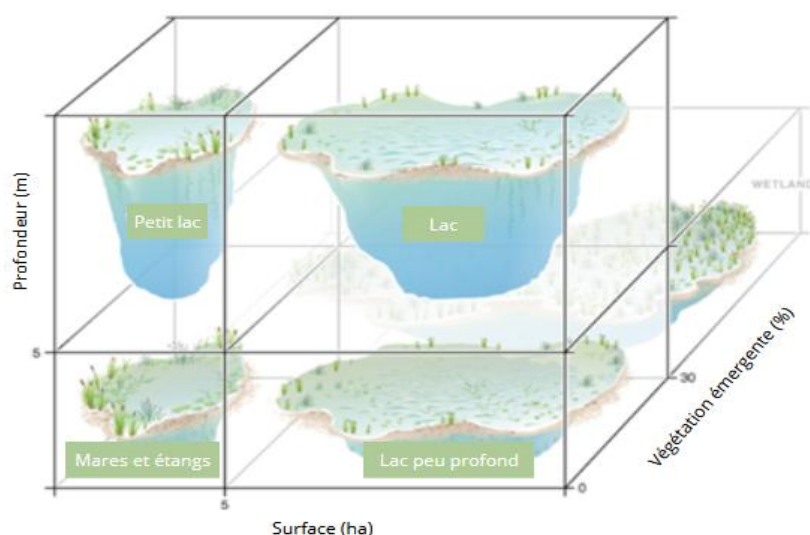


Figure 2. Modèle conceptuel pour définir les pièces d'eau, basé sur trois différents critères (profondeur, surface et végétation émergente). Modifié de Richardson et al., 2022.

Typologies des mares

Il n'existe pas une typologie unique des mares, mais plutôt différentes typologies qui différencient les mares selon l'usage qui est fait de ces dernières, le milieu environnant prenant place à proximité, la temporalité de la mise en eau ou leur naturalité. Le Tableau 1 permet de synthétiser ces différentes typologies.

Tableau 1. Les différentes typologies des mares

Paramètre pris en compte	Exemples
Usages	Mare agricole, mare de lutte contre les incendies, « lavogne », lavoir, « mardelle » ...
Milieu environnant	Mare de plaine, mare de carrière, mare forestière, mare de friche, mare de montagne, mare urbaine...
Temporalité de la mise en eau	Mare temporaire ou permanente
Naturalité	Mare naturelle, semi-naturelle ou artificielle

L'usage des mares permet d'appréhender ces milieux selon des interactions avec les sociétés humaines. En effet, ces écosystèmes peuvent parfois être utilisés dans l'agriculture pour l'abreuvement des bêtes, la constitution de réserves d'eau pour lutter contre les incendies, ou même avoir été délaissés par un changement d'usage, comme c'est le cas des lavoirs.

La typologie basée sur le milieu environnant permet de définir plusieurs mares selon une approche plutôt paysagère. Ainsi, des mares de plaine, de forêt, urbaines etc. sont distinguées les unes des autres. C'est généralement la typologie la plus employée, car elle est simple à comprendre et à utiliser.

Concernant la temporalité de la mise en eau, les mares temporaires sont définies par Oertli & Frossard (2013) comme s'asséchant totalement durant plusieurs mois chaque année. Elles peuvent avoir de très petites surfaces, comme les mares cupulaires sur substrat rocheux, ou très grandes, comme les mares temporaires de Camargue. Elles sont fréquentes sous les climats secs mais peuvent être retrouvées à toute altitude et latitude. La gestion de ces mares est particulière et plusieurs mesures à mettre en œuvre sont présentées en annexe 2 (Grillas, et al. 2004). Le caractère de temporalité de la mise en eau est conditionné par la température du milieu et les volumes de précipitations, qui influencent l'approvisionnement en eau de la mare (Sajaloli et Dutilleul 2001). Une

distinction doit cependant être établie pour différencier une mare temporaire d'une mare permanente présentant un dysfonctionnement hydrique, qui précipite son assèchement. Cette deuxième configuration peut constituer un piège à faune : l'écosystème est dans un premier temps attractif pour un grand nombre d'espèces animales, mais les conditions locales varient très vite, ce qui les empêche de se développer totalement et conduit alors à une mortalité élevée (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024). Une mare est considérée comme temporaire si elle s'assèche une fois par an, ou au moins une fois tous les deux à cinq ans (Pellet 2013). Les changements climatiques, en influençant la quantité de précipitations et les températures, risquent d'écourter la durée de l'hydropériode de ces systèmes (Sajaloli et Dutilleul 2001) et d'en menacer d'autant plus la biodiversité (Lamouille-Hébert *et al.*, 2024).

La mare peut être assimilée à un système hydrogéomorphologique continental, qui se décrit à travers trois aspects fondamentaux : la configuration géomorphologique (topographie, géologie, emplacement dans le paysage), la source principale d'alimentation en eau (précipitations, nappe phréatique, ruissellements etc.) et l'hydrodynamique (direction et importance des flux d'eau) (Brinson, et al. 1995, Gayet, et al. 2023). Le Tableau 2 présente les différents systèmes hydrogéomorphologiques qui existent. Ceux auxquels peuvent se rapporter les mares sont surlignés en jaune.

Tableau 2. Source d'alimentation en eau dominante par système hydrogéomorphologique. Modifié d'après Gayet et al., 2023 et Brinson et al., 1995.

Système hydrogéomorphologique		Source d'alimentation en eau dominante
Continental	Alluvial	Débordement de cours d'eau et connexion à la nappe alluviale
	Riverain des étendues d'eau	Débordement des étendues d'eau et connexion avec la nappe de l'étendue d'eau
	Dépression	Décharge de nappe et apports de subsurface
	Plateau	Précipitation
	Source et suintement	Décharge en surface de nappe par source et suintement
Littoral marin	Estuarien	Flux marins, connexion à la nappe et débordement de cours d'eau
	Péri-lagunaire	Débordement des étendues d'eau marines sur la côte (par ex. lagunes) et connexion avec la nappe de l'étendue d'eau
	Panne dunaire	Décharge de nappe et apports de subsurface
	Côtier	Flux marins

Les mares peuvent également être différenciées selon leur naturalité. Une mare est alors souvent définie comme naturelle ou comme artificielle. La majorité de ces écosystèmes ayant été creusée par l'Homme dans des conditions pédoclimatiques variées (SNPN 2022), il peut être pertinent de définir plusieurs degrés de naturalité des mares. Une mare est considérée comme **naturelle** si sa formation est conditionnée par des aléas météorologiques – glissements de terrain, dynamiques des cours d'eau (débordement du lit mineur), résurgence de la nappe, érosion par le vent et/ou l'eau etc. (Herteman, Norden et Vandersarren 2023) – et si son alimentation en eau est uniquement régulée par des paramètres environnementaux : précipitations, ruissellement, forme du bassin versant, présence de sources, perméabilité à la nappe phréatique. Une mare est considérée comme **semi-naturelle** si elle a été creusée par l'Homme mais que son substrat permet naturellement la mise en eau : le creusement est effectué dans une poche d'argile et/ou à l'affleurement d'une nappe phréatique. Enfin, une mare **artificielle** est à la fois creusée par l'Homme et bénéficie d'une étanchéité par apport de matériau. La mise en eau des mares semi-naturelles et artificielles peut être effectuée par l'Homme ou non.

Il est important de noter que toutes ces typologies sont transversales : il peut exister des mares artificielles agricoles temporaires de plaines par exemple. La difficulté réside en l'établissement d'une typologie unique qui permettrait de caractériser au mieux les différentes mares et ainsi d'agir de manière ciblée sur leur gestion, création et/ou restauration. Cependant, il est intéressant de disposer de typologies multiples, car celles-ci sont conçues pour répondre à des problématiques spécifiques et ont des objectifs différents (Oertli et Frossard 2013) : une typologie basée sur les usages sociaux d'une mare permet de faciliter l'acceptabilité des actions de

restauration et de création, ainsi que la communication autour de ces milieux. Une typologie basée sur les dimensions écologiques du milieu est utile aux écologues afin d'en comprendre le fonctionnement et donc de guider les choix de gestion. De nouvelles typologies peuvent être créées, propres aux contextes territoriaux locaux. C'est par exemple ce qui a été fait par Dupont & Sellier (2017), sur le territoire de la Réserve Naturelle Nationale du Pinail. La clé de détermination qu'ils ont créée est présentée en annexe 3.

Quelques types particuliers de mares

Les critères de taille et de profondeur doivent être considérés comme une indication plutôt que comme une règle stricte (Dupont et Sellier 2017). Ainsi, il existe des exceptions à ces critères, comme les **mares temporaires méditerranéennes** qui sont définies par le Manuel d'interprétation EUR 28 comme des « plans d'eau temporaires très peu profonds (quelques centimètres) existant seulement en hiver ou à la fin du printemps, avec une végétation méditerranéenne principalement composée d'espèces thérophytiques et géophytiques appartenant aux alliances Isoetion, Nanocyperion flavescentis, Preslion cervinae, Agrostion salmanticae, Heleochloion et Lythrion tribracteati » (Commission Européenne 2013). Elles ont des caractéristiques très variables : quelques cm² à plusieurs hectares de superficie et de quelques centimètres à plus d'un mètre de profondeur. Ces mares présentent de très forts enjeux de conservation (Turpin, Diadema, et al. 2022). La flore y évolue constamment, passant d'une végétation dominée par les espèces aquatiques et amphibiens à une végétation majoritairement terrestre, en fonction des phases en eau ou en assec de la mare (Pôle-relais lagunes méditerranéennes et tourbières s. d.). Trois ceintures de végétation s'y distinguent (Grillas, et al. 2004, Caria, et al. 2015) :

- Une ceinture aquatique en bas de pente, dont la taille évolue en fonction du niveau de submersion.
- Une ceinture terrestre qui est en haut de pente et qui entoure l'habitat.
- Une ceinture amphibie, qui fait la transition entre les deux précédentes.

Les mares temporaires méditerranéennes sont déclinées en quatre habitats d'intérêt communautaire, en fonction du type de substrat et de la variabilité des caractères hydrologiques (DREAL PACA 2012).

D'autres mares particulières existent, comme les mares de carrière, les pannes dunaires ou encore les mardelles de Lorraine, qui sont caractérisées par leur environnement direct ou par des stratifications pédologiques précises. Les **mares de carrières** sont des mares pionnières créées grâce à l'excavation de la roche et approvisionnées par une nappe d'accompagnement ou par ruissellement (LIFE in Quarries 2019, Mercken, et al. 2018). Ces mares sont petites et se retrouvent au sein de milieux industriels peu ou non végétalisés. Elles se réchauffent vite et abritent des espèces particulièrement adaptées, comme le crapaud calamite (*Epidalea calamita*), le crapaud vert (*Bufo viridis*) ou encore le pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*). Elles sont aussi un support pour certains odonates comme l'agrion nain (*Ischnura pumilio*) et pour certaines algues typiques de ces milieux (LIFE in Quarries 2019). Les **pannes dunaires** sont des mares naturelles situées au niveau des dunes, dans les dépressions formées par le vent. Elles servent de point de refuge pour les espèces d'amphibiens et sont majoritairement alimentées par une nappe d'accompagnement. Ce sont très souvent des mares temporaires car les niveaux d'eau des nappes varient. Les **mardelles intra-forestières** de Lorraine n'ont pas d'origine clairement définie. Elles se caractérisent par une succession de différentes couches, appelées unités stratigraphiques (Etienne 2011) présentées en annexe 4.

Les mares sont donc des écosystèmes dont la définition complexe n'est pas figée et qui s'intègrent à des typologies variées. D'un point de vue réglementaire, les mares peuvent être caractérisées à travers différents textes de loi, comme détaillé dans la partie suivante.

Aspects réglementaires et juridiques

Les mares peuvent faire l'objet d'une protection réglementaire et sont soumises à des obligations lors de leur création ou de leur restauration. La présente partie a pour but de présenter les différents contextes juridiques dans lesquels s'inscrivent les mares.

Les dispositions réglementaires permettant la protection des mares

Une mare ne constitue pas une entité juridique clairement définie, puisque les textes de loi n'en donnent pas de définition précise : des « plans d'eau » sont évoqués, regroupant mares, étangs et lacs sans distinction. Cependant, d'autres outils réglementaires peuvent inclure dans leur périmètre les mares, offrant ainsi des leviers pour leur protection/préservation et encadrant leur création et restauration.

Au niveau européen, les mares sont prises en compte dans la Directive 92/43/CEE du Conseil de l'Europe concernant la conservation des habitats naturels ainsi que la faune et la flore, ou Directive Habitats Faune Flore (DHFF). Cette dernière a pour but de contribuer à la préservation de la biodiversité dans l'Union Européenne (UE) en désignant certains habitats et espèces d'intérêts communautaires et en veillant à leur préservation. Bernard (2019) a identifié des habitats d'intérêt communautaires qui peuvent être considérés comme des mares. Ils sont présentés en annexe 5.

Dans le code de l'environnement, plusieurs lois relatives à la protection de la biodiversité, de l'eau et des milieux aquatiques peuvent faire référence aux mares.

Au titre la loi sur l'eau, en application du R214-1 du code de l'environnement, les mares peuvent être considérées comme un plan d'eau ou une zone humide. Une mare permanente est considérée comme une zone humide dès lors qu'elle répond aux critères sols et/ou végétation de l'arrêté du 24 juin 2008 modifié. La partie constituée par le miroir d'eau de la mare et/ou la présence de végétation hydrophile est un plan d'eau et ne peut être éligible au titre de la compensation de zone humide. Les mares temporaires méditerranéennes constituent un habitat caractéristique de zone humide, mentionné dans l'arrêté (code corine 22.341 - petits gazons amphibies méditerranéens). La photographie 1 illustre une mare intégrée au sein d'une zone humide.



Photographie 1. Mare intégrée à une zone humide – Havelange (Belgique).
© Luca Fagan / Natagora.

Une mare peut aussi abriter des espèces protégées, c'est-à-dire des espèces qui font l'objet d'une protection réglementaire fixées par arrêtés ministériels. Pour la flore, les espèces sont précisées par l'arrêté ministériel du 20 janvier 1982. Quelques exemples de plantes protégées qui se retrouvent dans les mares sont le Jonc bulbeux (*Juncus bulbosus*), l'Éléocharide à cinq fleurs (*Eleocharis quinqueflora*), le Potamo à feuilles de graminées (*Potamogeton gramineus*), la Laïche à épis distants (*Carex distans*), le Rubanier émergé (*Sparganium emersum*)... Concernant la faune, l'ensemble des amphibiens et des reptiles sont protégés par l'arrêté ministériel du 8 janvier 2021, par exemple le Triton crêté (*Triturus cristatus*), le Triton marbré (*Triturus marmoratus*), le Crapaud accoucheur (*Alytes obstetricans*), le Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*), le Crapaud calamite, la Rainette verte (*Hyla arborea*), la Grenouille agile (*Rana dalmatina*) ou la Grenouille de Lessona (*Pelophylax lessonae*). Ces espèces ne peuvent pas être détruites et leur présence empêche la destruction, l'altération ou la dégradation de leurs habitats (article L.411-1 du Code de l'Environnement). Ainsi, si une mare abrite une ou plusieurs de ces

espèces, elle bénéficie de mesures de protection. Toute altération de ces espèces ou de leur habitat doit faire l'objet d'une dérogation spécifique de la part de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) (Société Herpétologique de France s.d.a). De même, l'introduction volontaire d'espèces protégées dans la mare est interdite. Les porteurs de projet de création / restauration de mares doivent s'assurer du statut des espèces présentes pour être en conformité avec la réglementation.

Les mares peuvent également être préservées par des outils de planification : leur préservation peut être un objectif des Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). D'après le Code de l'Urbanisme, elles peuvent figurer comme secteurs à protéger où à mettre en valeur dans un Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) ou un Plan Local d'Urbanisme (Intercommunal) (PLU(i)), et la collectivité peut décider d'une stratégie de valorisation des mares qui permet d'en renforcer la protection. En l'absence de PLU, elles peuvent être préservées au titre de la protection d'éléments naturels (art. L111-22 du Code de l'Urbanisme) par le conseil municipal. Elles peuvent également être inscrites sur le Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) selon les critères suivants (CAUE 27 2021) :

- Recensement d'une ou plusieurs mares au titre de l'inventaire des éléments architecturaux et paysagers présentant un intérêt patrimonial.
- Mise en place d'orientations d'aménagement (par exemple création de continuités écologiques permettant la mise en réseau de mares).
- La définition d'emplacements réservés autorisant l'acquisition foncière des abords de mares trop exiguës pour accueillir l'ensemble des fonctionnalités souhaitées par la commune.

Les dispositions réglementaires lors de la création de mares

Certaines dispositions sont à prendre lors de la création d'une mare. La Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques de 2006 interdit de créer une mare à moins de 35 m d'un cours d'eau ayant un lit mineur d'une largeur supérieure à 7,5 m et à moins de 10 m pour les largeurs inférieures.

Le règlement sanitaire départemental local doit également être respecté, quelles que soient la taille ou la profondeur de la mare à creuser. Celui-ci interdit de créer une mare à moins de 35 m d'un point d'eau utilisé et à moins de 50 m d'une habitation (Grossi, et al. 2010). La Figure 3 illustre les distances minimales d'implantation à respecter.

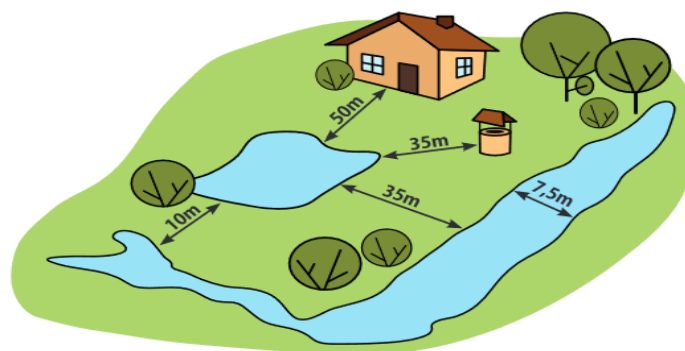


Figure 3. Distances minimales d'implantation des mares à respecter. Issu de Groupe Mares, 2022.

Différentes procédures existent pour créer une mare, en fonction de la surface et de la profondeur de celle-ci (Grossi, et al. 2010, Groupe Mares 2022). Quelle que soit la surface de la mare, une demande en mairie doit être effectuée afin de vérifier la compatibilité du projet avec les règlements d'urbanisme (PLU(i), règlement sanitaire départemental, etc.). Si la superficie de la mare dépasse 100 m², une déclaration ou une demande d'autorisation doit être effectuée auprès de la police de l'eau. La Figure 4 reprend les déclarations à effectuer pour créer, étendre ou restaurer une mare, en fonction des caractéristiques de superficie et de profondeur de celle-ci.

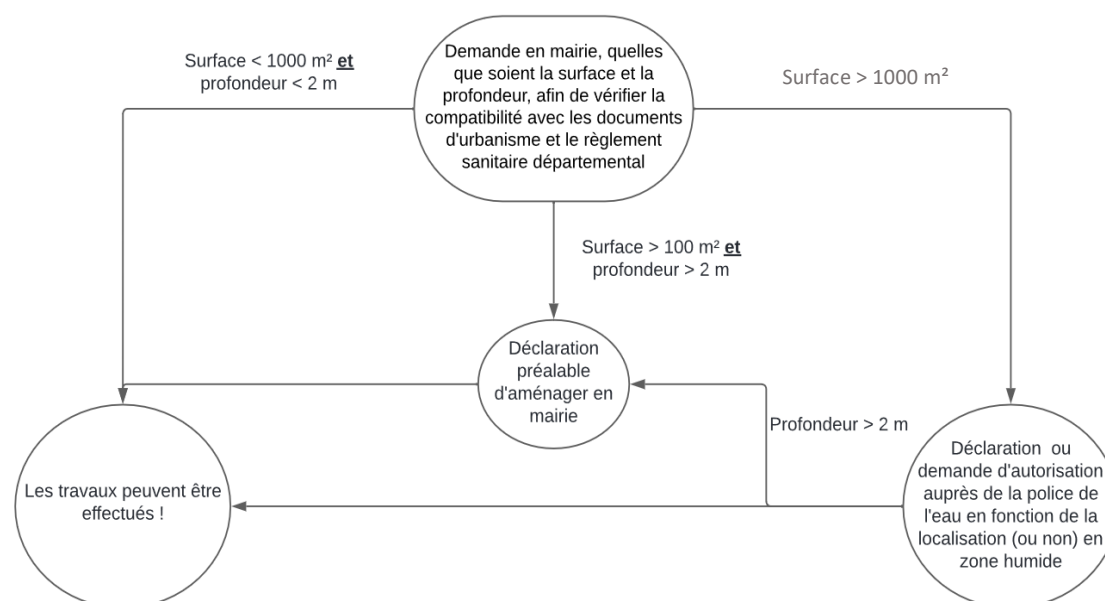


Figure 4. Déclarations à effectuer pour restaurer, agrandir ou créer une mare, en fonction de la superficie et de la profondeur de celle-ci. Modifié de Groupe Mares, 2022.

Définition de la restauration écologique

La restauration écologique est définie par la Society for Ecological Restoration (SER) comme un « procédé qui vise le rétablissement d'un écosystème qui a été dégradé, endommagé ou détruit (McDonald, Jonson et W. Dixon 2017, Society for Ecological Restoration s. d.) ». La restauration écologique cherche à ramener l'écosystème dégradé à l'état dans lequel il aurait été si la dégradation ne s'était pas produite, tout en tenant compte de changements anticipés (Gann, et al. 2019). C'est une approche qui engage un panel de parties prenantes – décideurs, gestionnaires d'espaces, populations locales, communautés scientifiques – dans la réparation des dégradations et dans « la reconstruction d'une relation plus saine entre les hommes et la nature » (Gann, et al. 2019). En s'inscrivant dans une démarche plus large de conservation et de gestion durable des écosystèmes, la restauration écologique représente une action nécessaire pour enclencher une amélioration nette positive de la fonctionnalité des écosystèmes dégradés (Gann, et al. 2019).

Au niveau européen, la restauration écologique est définie par le règlement (UE) n° 2024/1991 du Parlement Européen et du Conseil comme « le procédé consistant à contribuer, activement ou passivement, au rétablissement d'un écosystème afin d'améliorer sa structure et ses fonctions, dans le but de conserver ou de renforcer la biodiversité et la résilience des écosystèmes, en améliorant jusqu'à atteindre un bon état une zone d'un type d'habitat, en rétablissant la surface de référence favorable et en améliorant l'habitat d'une espèce jusqu'à atteindre une qualité suffisante et une quantité suffisante [...] » (Union Européenne 2024).

La restauration écologique constitue une intervention ponctuelle qui vise à réparer un écosystème en lui permettant de retrouver des fonctionnalités perdues, ce qui induit parfois de provoquer de grosses perturbations sur le milieu. Elle se distingue d'un panel d'interventions possibles (Gann, et al. 2019, Laforge, et al. 2024), qu'il est important de différencier pour éviter les confusions :

- La gestion écologique, aussi nommée « entretien », qui tend à maintenir un écosystème à un état de fonctionnement voulu, afin de répondre aux enjeux écologiques du site (Oertli et Frossard 2013). La gestion s'opère de manière beaucoup plus fréquente et induit une intervention généralement moins brutale que la restauration sur le milieu. Ces deux mécanismes ne sont cependant pas opposés : suite à des actions de restauration écologique, des mesures de gestion peuvent être mises en place pour assurer le maintien de l'écosystème à son stade de fonctionnement souhaité.

- La non-détérioration, qui implique que certains paramètres identifiés comme étant garants du bon état de l'écosystème ne se dégradent pas au cours du temps. La tendance d'évolution de ces paramètres doit donc être, au minimum, stable (Laforge, et al. 2024). Cette approche se distingue de la restauration, qui vise une tendance d'évolution positive de l'état de l'écosystème.
- La réhabilitation tend à rétablir certaines fonctions d'un écosystème dégradé (Le Floch et Aronson 1995, Gann, et al. 2019). Idéalement, la réhabilitation fixe donc les mêmes objectifs que la restauration écologique, mais avec une dimension moins holistique. En effet, la réhabilitation vise à récupérer certaines fonctions spécifiques de l'écosystème, tandis que la restauration a pour objectif la récupération d'un écosystème dans son ensemble (Laforge, et al. 2024). Cette différence peut être liée aux priorités des acteurs portant le projet : « Là où la restauration écologique est une réponse à une recherche d'intégrité écologique, la réhabilitation peut être motivée par des intérêts socio-économiques tels que retrouver la productivité d'un écosystème (Lenfant, et al. 2015, Atkinson et Bonser 2020) ». Il peut également être décidé de procéder à des actions de réhabilitation si les dégradations de l'écosystèmes sont telles que la restauration d'un écosystème intègre n'est pas possible (Gann et al. 2019).
- La remédiation, qui vise uniquement la suppression de la source de dégradation, mais n'a pas pour ambition d'avoir un retour de l'écosystème à un état spécifique. Cette méthode s'applique généralement sur des sols ou sites pollués (Gann, et al. 2019, Laforge, et al. 2024).
- La réaffectation vise l'établissement d'un nouvel écosystème choisi pour répondre à des intérêts anthropocentrés. Ce type d'action peut être mené si un écosystème est considéré comme trop dégradé pour concevoir son rétablissement, mais peut également qualifier la transformation volontaire d'un écosystème non dégradé, par exemple à travers de la mise en culture (Le Floch et Aronson 1995).

Lenfant et al. (2015) proposent un schéma, présenté en Figure 5, permettant de décrire l'articulation entre tous les concepts évoqués précédemment, en introduisant également la question du niveau de gestion des écosystèmes.

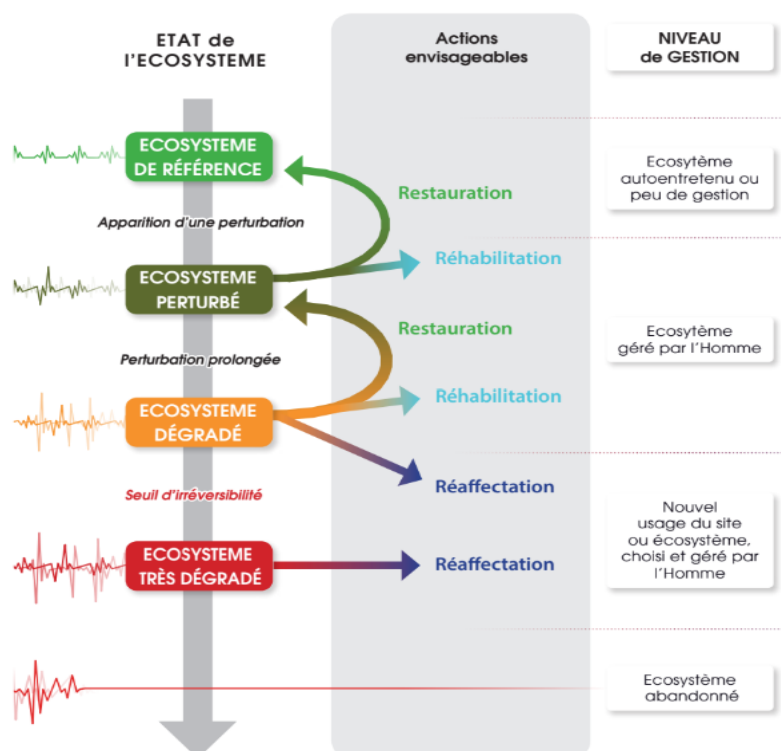


Figure 5. Classement des actions envisageables sur l'écosystème en prenant en compte son niveau de dégradation et les objectifs de l'action mise en œuvre. Issu de Lenfant et al, 2015.

Une fois ces distinctions établies, il est nécessaire de prendre en compte le fait que la restauration écologique se décline de plusieurs manières, en fonction du degré d'intervention mis en œuvre (Laforge, et al. 2024, Réseau REVER s. d.). Ces déclinaisons sont :

- La restauration naturelle, qui vise à laisser l'écosystème évoluer librement après avoir supprimé ou réduit les sources de dégradation. Cette technique est généralement mobilisée lorsque les dégâts sur l'écosystème sont faibles ou que le choix est fait de prendre le temps d'assister à une régénération spontanée.
- La restauration assistée, qui implique de supprimer ou réduire les sources de dégradations et d'agir sur les paramètres biotiques et abiotiques du milieu pour faciliter sa restauration. Cette approche s'effectue plutôt sur des écosystèmes moyennement dégradés.
- La restauration reconstructive, qui consiste à procéder à de la restauration assistée, mais en réintroduisant une forte proportion de cortège d'espèces indigènes, afin d'imiter les dynamiques naturelles en un laps de temps réduit. Les interventions sont beaucoup plus lourdes, le gestionnaire peut agir sur la topographie, le régime hydrique, l'exposition, l'organisation du sol etc.

Ces trois approches peuvent être combinées ou effectuées en mosaïques au sein d'un même site, selon les cas. La SER a établi un gradient de restauration des écosystèmes, présenté en Figure 6, qui illustre les différentes déclinaisons de l'action restaurative.

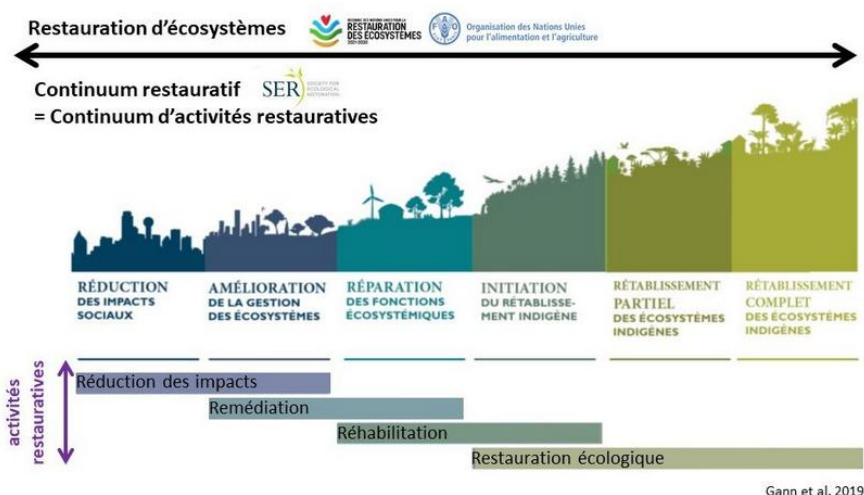


Figure 6. Le continuum restaurateur permettant de caractériser le degré de restauration des écosystèmes. Issu de Réseau REVER (s. d.) d'après. Gann et al., 2019.

Un concept important à définir est l'intégrité écologique, décrit par la SER comme « l'état ou la condition d'un écosystème qui montre des caractéristiques de biodiversité de la référence, telles que la composition spécifique et la structure communautaire, et qui est entièrement capable de maintenir le fonctionnement normal de l'écosystème » (Society for Ecological Restoration International, Science & Policy Working Group 2004). L'intégrité écologique représente la capacité d'un écosystème à accueillir une communauté d'organismes dont la composition spécifique, la diversité spécifique et l'organisation fonctionnelle sont comparables à celles des habitats naturels (Gann et al. 2019). Les processus écologiques comme les perturbations naturelles y sont importants puisqu'ils permettent à l'écosystème d'assurer les structures et les fonctions dont ont besoin les espèces qui y accomplissent leur cycle de vie (Wurtzebach et Schultz 2016). Un écosystème a une bonne intégrité écologique lorsque les caractéristiques écologiques dominantes (structure, fonction, processus écologiques...) sont résilientes face aux perturbations et s'accomplissent dans une plage de variations proche de l'état naturel (Parrish, Braun et Unnasch 2003). La Figure 7 synthétise les différents concepts de la restauration écologique.

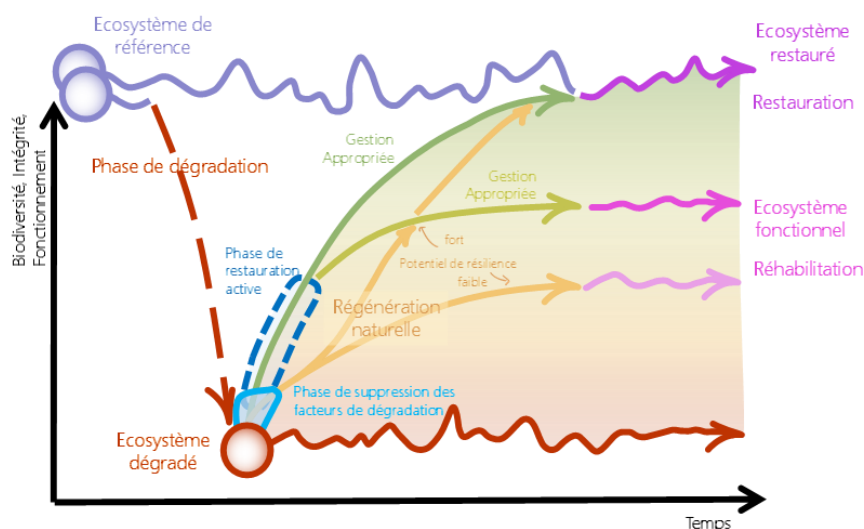


Figure 7. Les différents concepts de la restauration écologique. Issu de Vivier et al. (2025), d'après Association REVER, 2024.

D'après les définitions citées ci-dessus, la restauration écologique des mares consiste alors à améliorer la structure de ces écosystèmes en leur permettant de retrouver une meilleure intégrité écologique (et donc des interactions interspécifiques, intraspécifiques et entre les espèces et leur environnement) et en redonnant aux mares des fonctions écologiques perdues (qualité de l'eau, quantité d'eau stockée etc.).

Cependant, les mares sont aujourd'hui pour la plupart des écosystèmes créés par l'Homme. Vouloir restaurer l'intégrité écologique de ces milieux est de ce fait souvent complexe, puisque ceux-ci n'existeraient majoritairement pas sans l'action humaine. La restauration des mares doit donc se baser sur les fonctionnements écologiques des mares naturelles. Par ailleurs, c'est bien le taux d'intégrité écologique retrouvée à la suite de l'intervention qui conditionne la dénomination de « réhabilitation » ou « restauration ». De plus, les mêmes techniques sont utilisées dans la restauration ou la réhabilitation de mares. Ainsi, par souci de clarté, **les actions de restauration écologique évoquées dans ce document peuvent s'apparenter à des actions de réhabilitation telles que décrites dans le cadre de la SER, sans distinction précise de ces deux processus.**

La restauration écologique des mares s'inscrit bien dans le cadre fixé par le règlement européen et constitue de ce fait un levier pour sa mise en œuvre. Ces écosystèmes liés aux sociétés humaines permettent en outre de fournir bon nombre de services écosystémiques, comme détaillé dans la partie I.c.

b. Biodiversité, dynamiques et fonctions des mares

Les mares sont des écosystèmes qui abritent une biodiversité riche, composée de multiples animaux et végétaux. Puisque de nombreux écrits portent déjà sur la flore, la faune et les cycles de fonctionnement des mares, cette partie a pour ambition de faire un rapide tour d'horizon de ces paramètres plutôt que de les décrire de manière exhaustive.

Chaque mare accueille des communautés composées d'une partie généralement minime de l'ensemble des espèces présentes dans l'ensemble des mares de la région (Oertli et Frossard 2013). Ceci s'explique par plusieurs types de facteurs limitants. Premièrement, des paramètres physiques conditionnent les capacités d'accueil de la mare. Ceux-ci peuvent être locaux tels que la surface, la profondeur, l'ombrage et la morphométrie des rives, l'hydrologie, les variations hydriques, l'âge du milieu etc. (Oertli et Frossard 2013). Ils peuvent également être régionaux comme l'altitude, la latitude et la longitude qui déterminent la température, les précipitations... Deuxièmement, des paramètres d'altération (présence d'EEE, occupation et usages du sol, pollutions...) et de connectivité avec d'autres milieux aquatiques ou terrestres influencent les communautés retrouvées au sein d'une mare (Oertli et Frossard 2013). Ainsi, chaque mare est la résultante d'un ensemble de paramètres et constitue de ce fait un écosystème unique qui peut accueillir une biodiversité précise. La Figure 8 illustre l'ensemble des paramètres influençant sur la biodiversité d'une mare.

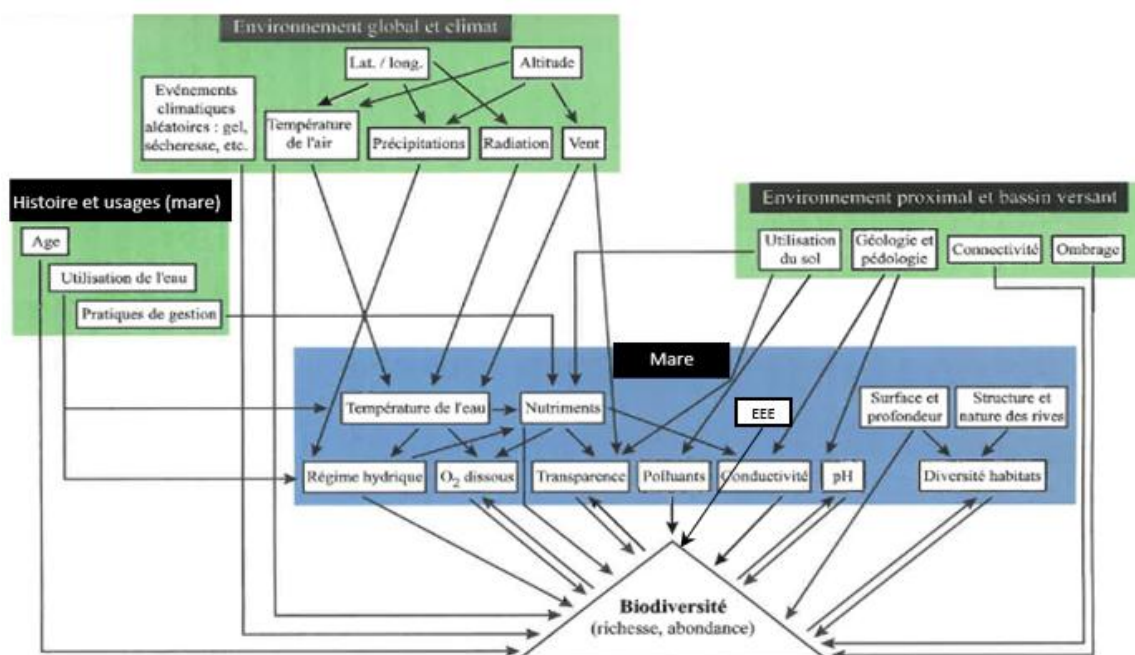


Figure 8. Principales variables locales et régionales agissant (directement ou indirectement) sur la biodiversité. Modifié de Oertli et Frossard, 2013.

La flore

Trois grands clades de végétaux sont présents dans les mares : les algues, les macrophytes et la végétation ligneuse (Oertli et Frossard 2013). Ces plantes jouent un rôle central dans le maintien du bon fonctionnement de l'écosystème. Les macrophytes par exemple permettent de maintenir une eau transparente en limitant la mise en suspension de matières organiques et le développement de phytoplanctons responsables de l'état turbide de la mare (Mulderij, Van Nes et Van Donk 2007). Ils constituent également un habitat très biogène pour de nombreuses espèces (Wetzel 2001, Hilt et al. 2017).

La hauteur d'eau conditionne le type de végétation. De l'extérieur vers l'intérieur, la mare abrite une végétation ligneuse, puis des plantes héliophytes et amphiphytes, des hydrophytes fixés (à feuilles flottantes ou immergées), des hydrophytes libres (à feuilles flottantes ou nageantes) et des algues (Oertli et Frossard 2013). La Figure 9 permet d'illustrer la diversité floristique des mares et sa répartition dans la colonne d'eau.

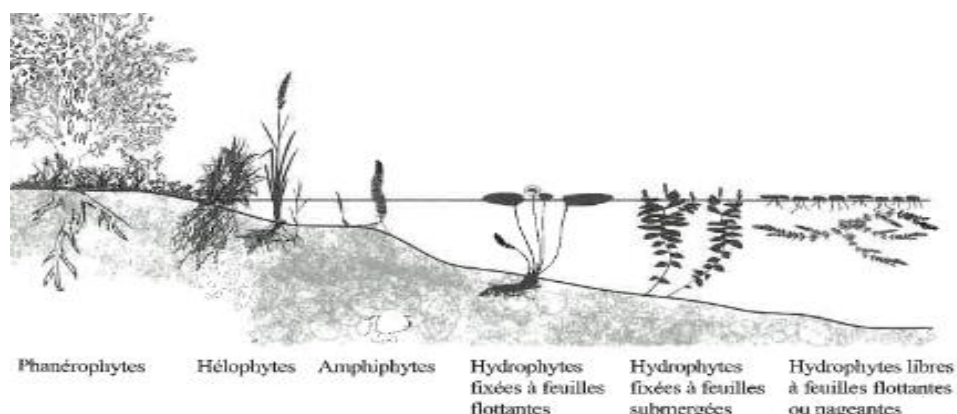


Figure 9. Les groupes végétaux se développant au sein des mares. Issu de Oertli et Frossard, 2013.

Les végétaux non fixés, peuvent être flottants comme les lentilles d'eau (famille des *Lemnoideae*) ou nageants comme les utriculaires (*Utricularia*). Certaines espèces de lentilles d'eau sont indicatrices du niveau trophique de la mare (Grossi, et al. 2010), comme résumé dans le Tableau 3.

Tableau 3. Statut trophique de la mare en fonction de l'espèce de lentille d'eau qui s'y trouve. Issu de Grossi et al., 2010.

Eaux mésotrophes	Eaux mésotrophes à eutrophes	Eaux eutrophes
<i>Lemna trisulca</i> <i>Spirodela polyrhiza</i>	<i>Lemna minor</i> <i>Lemna minuta</i> <i>Wolffia arrhiza</i>	<i>Lemna gibba</i>

Les algues peuvent être fixées au substrat, flottantes ou nageantes. Certaines algues sont caractéristiques d'eau pauvre en nutriments comme les characées (*Characea*) et d'autres témoignent au contraire d'une abondance nutritive dans le milieu, comme les algues filamenteuses.

Les hydrophytes fixées à feuilles submergées s'implantent dans des zones dont la profondeur d'eau varie fortement. On y retrouve des communautés d'élodées (*Elodea*) ou de myriophylles (*Myriophyllum*) par exemple (Oertli et Frossard 2013).

Les hydrophytes fixées à feuilles flottantes nécessitent une profondeur d'un mètre minimum pour s'implanter (Oertli et Frossard 2013). Ces communautés sont composées de nénuphars, de potamots (*Potamogeton*), de renoncules (*Ranunculus*), etc.

Les plantes amphibies sont situées en périphérie des mares en eau ou au cœur des mares asséchées. Leur appareil racinaire est situé dans l'eau mais leur appareil aérien est situé à l'air libre. Quelques exemples de ces plantes sont le Plantain d'eau (*Alisma plantago-aquatica*) ou le Rubanier dressé (*Sparganium erectum*) (Natagora 2021).

Les végétaux héliophytes développent leur appareil racinaire dans des sols gorgés d'eau et leurs feuilles au-dessus de l'eau. Ils sont divisés en trois groupes. Premièrement, la roselière aquatique (*Phragmition*), formée par les très grandes graminéoïdes comme les roseaux (*Phragmites australis*) et les massettes (*Typha latifolia*) qui nécessitent une hauteur d'eau de 50 centimètres à 1 mètre pour s'implanter. Viennent ensuite les zones à grandes laïches (*Magnocaricion*) formées par les *Carex spp.* de plus de 1 mètre de hauteur, qui se développent sur des sols gorgés d'eau pouvant être submergés temporairement. Enfin, le troisième groupe est composé de communautés prairiales qui poussent sur des sols régulièrement immergés mais s'asséchant tout de même. Ces communautés sont nommées *Molinion* sur des sols oligotrophes et *Calthion* sur des sols eutrophes (Oertli et Frossard 2013).

La faune

Les mares regroupent de nombreux groupes faunistiques. Un schéma simplifié de réseau trophique dans la mare est présenté en Figure 10.

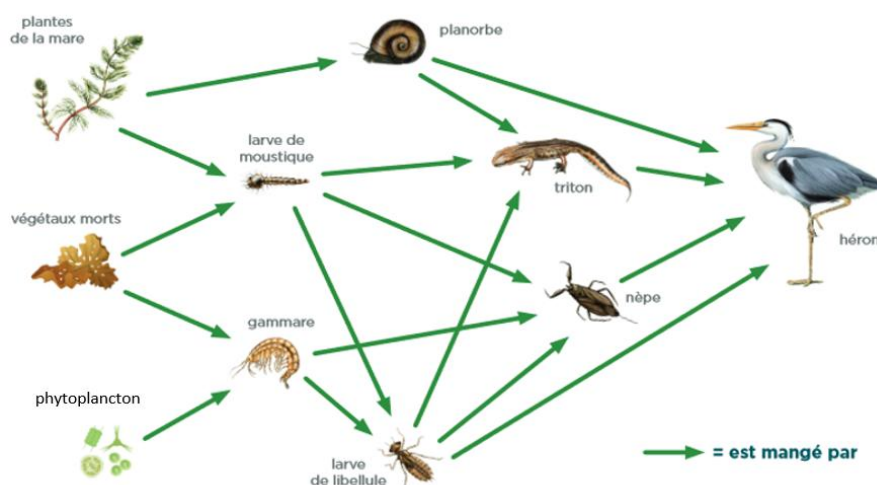


Figure 10. Réseau trophique simplifié de la mare. Issu de Montpellier Méditerranée Métropole, 2022.

La microfaune est composée d'organismes microscopiques qui sont impliqués dans le recyclage des composés organiques en consommant de la matière organique morte, des bactéries ou des champignons. Ils permettent de faire fonctionner la boucle microbienne en minéralisant la matière organique en décomposition dans le milieu aquatique : cela entretient de manière durable la chaîne alimentaire, en remettant sous forme d'énergie la matière organique existante. Ils assurent donc le maintien d'une certaine biodiversité dans les milieux aquatiques par leur rôle dans les processus de minéralisation et de transfert d'énergie (Oertli et Frossard 2013). Un exemple de ces microorganismes sont ceux de la classe Branchiopoda qui ont un fort enjeu patrimonial et se retrouvent exclusivement dans les mares temporaires méditerranéennes (Hector Rodriguez-Perez, com. pers. 2025).

Au niveau de la macrofaune, les insectes sont dominants (Oertli et Frossard 2013). Les diptères, coléoptères, odonates et hétéroptères sont les ordres d'insectes les plus diversifiés. Il y a aussi des taxons non-insectes – mollusques, arachnides, oligochètes, hirudinae – qui sont importants en termes de biomasse, de densité ou de nombre d'espèces (Oertli et Frossard 2013). Les macroinvertébrés aquatiques regroupent les insectes, crustacés, mollusques, vers et autres invertébrés visibles à l'œil nu (taille supérieure à 0,5 mm) et dont au moins une partie du cycle de vie se déroule dans l'eau (DREAL Grand-Est 2020). Ils jouent un rôle central dans les mares : ils peuvent notamment maintenir la transparence de l'eau en broutant les biofilms présents sur les macrophytes (Mormul, Ahlgren et Brönmark 2018) ou encore en jouant le rôle de super prédateur en l'absence de poissons (Magnusson et Williams 2009, Culler, Ohba et Crumrine 2014) et donc en contrôlant les communautés de zooplanctons (Labat, Thiébaud et Piscart 2024).

Les odonates sont représentés par les libellules et les demoiselles. Les mares sont particulièrement importantes pour ces taxons, puisque 80% des espèces d'odonates de France métropolitaine se retrouvent dans les milieux d'eau stagnante (Grossi, et al. 2010, OPIE 2016) et la surface d'une mare est un facteur important pour eux.

D'une manière générale une surface d'eau de plusieurs petits plans d'eau a une biodiversité plus importante qu'un grand étang, mais certaines espèces d'odonates sont spécifiques aux grandes mares (Oertli, Auderest Joye, et al. 2002, Grossi, et al. 2010). Ainsi, aménager des milieux favorables aux odonates passe par la préservation de pièces d'eau de tailles diversifiées (Minot, et al. 2021). Enfin, les odonates sont dépendants de l'ensoleillement qui conditionne plusieurs facteurs importants pour ces espèces, comme la température de l'eau ou le développement de la végétation (OPIE 2016). Ils ont besoin d'une mare ouverte, avec tout de même quelques points en hauteur disséminés non loin.

Les amphibiens font partie intégrante des mares. Ils ont besoin à la fois d'un habitat terrestre pour hiverner, chasser et se déplacer et d'un habitat aquatique pour se reproduire.

La connectivité entre plusieurs sites de ponte est particulièrement importante, ainsi il faut privilégier la présence de forêts, haies ou boisements aux abords de la mare. Ils se divisent en urodèles et en anoures. Les urodèles sont représentés à travers les groupes des tritons (palmé,

Le triton crêté

Le Triton crêté, présenté sur la photographie 2, se rencontre dans un paysage bocager et se reproduit dans des mares relativement grandes. Il a besoin de biotopes variés pour accomplir son cycle de vie. Ainsi la conservation de mosaïques de milieux diversifiés lui est favorable et permet de surcroît celle d'autres espèces (Mercken, et al. 2018) : végétaux, oiseaux, mammifères, amphibiens, reptiles, papillons, criquets, libellules... dont certaines sont présentées en annexe 6.

Même si le Triton crêté est une espèce dont la gestion permet le maintien d'autres taxons, il utile de rappeler que la conservation de la biodiversité doit se penser à large échelle et non pas se focaliser sur une espèce ou un groupe d'espèce restreint.



Photographie 2. Triton crêté (*Triturus cristatus*).

© Mathieu Charneau / Office Français de la Biodiversité

Encadré 1. Le Triton crêté.

ponctué, crêté, alpestre, etc.) et des salamandres (tachetée, noire, de corse, etc.). La salamandre la plus commune en France hexagonale est la Salamandre tachetée (*Salamandra salamandra*). D'autres espèces plus rares se retrouvent cependant ponctuellement sur le territoire : la Salamandre de Corse (*Salamandra corsica*), la Salamandre de Lanza (*Salamandra lanzai*) et la Salamandre noire (*Salamandra atra*). Les anoures, quant à eux, sont représentés par les grenouilles et les crapauds. Les mares abritent des espèces généralistes comme le Crapaud commun (*Bufo bufo*), l'Alyte accoucheur, la Rainette verte, la Grenouille rieuse (*Pelophylax ribidunus*) ou la Grenouille rousse (*Rana temporaria*) et des espèces spécialistes de petites mares pionnières comme le Crapaud calamite et le Sonneur à ventre jaune.

Les dynamiques naturelles d'évolution

Une mare est un écosystème dynamique qui ne reste pas stable dans le temps. Elle passe par plusieurs stades d'évolution conditionnés par le développement de la végétation (Oertli et Frossard 2013). Une mare nue est premièrement colonisée par les espèces pionnières, qui vont accaparer toutes les niches écologiques disponibles. Le milieu est alors progressivement modifié, car son pH et sa concentration en nutriments varient à cause de l'activité biologique. De la matière organique se dépose au fond de la mare et celle-ci voit son niveau d'eau diminuer au fil des années. Les végétaux finissent alors par la coloniser, ce qui entraîne sa fermeture. Les prochaines successions écologiques peuvent alors prendre place (Arnaboldi et Alban 2007, CNPF 2010). La Figure 11 illustre les différents stades d'évolution d'une mare.



Figure 11. Les quatre stades du processus d'atterrissement d'une mare. Modifié de Abe-Goulier et al., 2019.

Les mares sont ainsi amenées à disparaître au profit d'un écosystème au moins herbacé, sinon boisé. Deux mécanismes régissent la fermeture de ce milieu (Arnaboldi et Alban 2007) :

- Le comblement, provoqué par l'accumulation de la matière organique au fond de l'eau qui diminue peu à peu la hauteur de la lame d'eau.
- L'atterrissement, provoqué par les fluctuations du niveau d'eau, qui laisse certaines zones à sec et permet le développement de végétaux terrestres. La photographie 3 illustre une mare en cours d'atterrissement.



Photographie 3. Mare en cours d'atterrissement - forêt de Rambouillet (Île-de-France).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité.

Une mare aux stades B et C sera plus propice aux odonates et amphibiens (Decotte 2024) tandis que les mares aux stades A et D attireront des espèces spécialisées : espèces pionnières pour le stade A comme le Sonneur à ventre jaune et espèces de zones humides pour le stade D. La photographie 4 illustre cette espèce ainsi qu'une mare favorable à son accueil.



Photographie 4. *Bombina variegata* et mare favorable à son accueil. Saint-Paul-lès-Monestier (Isère).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité.

La vitesse de comblement d'une mare dépend de sa profondeur, de son environnement (contexte forestier dense ou non, milieu agricole, prairie de montagne...), de la distance à la lisière qui conditionne l'apport de feuilles mortes et le développement des macrophytes, du type d'alimentation de la mare, de son bassin versant et de la stabilité de son régime hydrique : plus celle-ci est asséchée longtemps et régulièrement, plus sa fermeture peut être accélérée à cause du processus d'atterrissement (Arnaboldi et Alban 2007).

Eutrophisation et humification dans les mares

La mare peut être caractérisée par sa concentration en nutriments dans l'eau qui conditionne l'eutrophisation du milieu. Dans l'ordre croissant de la concentration en nutriments, quatre stades ont été identifiés : oligotrophe, mésotrophe, eutrophe et hypereutrophe, tels que quantifiés par le Tableau 4. L'eutrophisation d'un milieu peut être naturelle ou due à des perturbations anthropiques.

Tableau 4. Seuils de nutriments pour caractériser les différents statuts trophiques. Issu de Oertli et Frossard, 2013.

	Statut trophique			
	oligotrophe	mesotrophe	eutrophe	hypertrophe
Phosphore total [mg/m ³]	< 10	10-35	35-100	>100
Chlorophylle a [mg/m ³]	< 2,5	2,5-8	25-75	>75
Transparence [m]	> 3	1,5-3	0,7-1,5	<0,7

La mare peut être décrite à travers sa dynamique d'humification, qui consiste en l'enrichissement en acides humiques et fulviques produits par la dégradation partielle des matières organiques peu biodégradables, telles que la cellulose ou la lignine (Dupont et Sellier 2017). Si la photosynthèse est assurée majoritairement par des macrophytes au sein du plan d'eau plutôt que par les autres végétaux ou algues, alors cette dynamique sera favorisée lorsque le milieu est acide. En fonction de la concentration en matières organiques peu biodégradables, trois types de caractérisations sont alors distinguées : oligohumique (concentration faible), mésohumique et polyhumique (concentration forte) (Dupont et Sellier 2017).

Encadré 2. Processus d'eutrophisation et d'humification dans les mares.

Les fonctions des mares

Les fonctions écologiques d'un écosystème sont des processus qui assurent le bon fonctionnement et le maintien des milieux. Ces fonctions sont à la base des services écosystémiques fournis aux populations humaines (WAL-ES s.d.). Dans le cadre de ce travail, le parti pris est de considérer les fonctions au sens de Rodriguez *et al.* (1996), c'est-à-dire les actions naturelles, résultant d'interactions entre la structure de l'écosystème et les processus physiques, chimiques et biologiques. La fonctionnalité d'un écosystème est définie ici comme la capacité d'un écosystème à assurer ses différentes fonctions.

L'identification des fonctions de la mare a été établie à partir des services écosystémiques qu'elle fournit, tels que détaillés dans la partie I.c et en se posant la question suivante : quelle caractéristique de la mare permet quel service ? Les fonctions de la mare ont également été déterminées grâce à la « roue de la restauration » établie par la SER, qui a été développée pour évaluer les bénéfices permis par des travaux de restauration

écologique (McDonald, Gann, et al. 2016). Cet outil peut être utilisé en amont de travaux sur un écosystème, pour en évaluer la pertinence et une fois que les travaux sont terminés pour en évaluer le succès. La comparaison de la roue avant et après les travaux permet d'évaluer les gains écologiques obtenus suite aux actions de restauration. La roue de la restauration est présentée en annexe 7. La Figure 12 résume les différents services écosystémiques fournis par les différentes fonctions des mares.

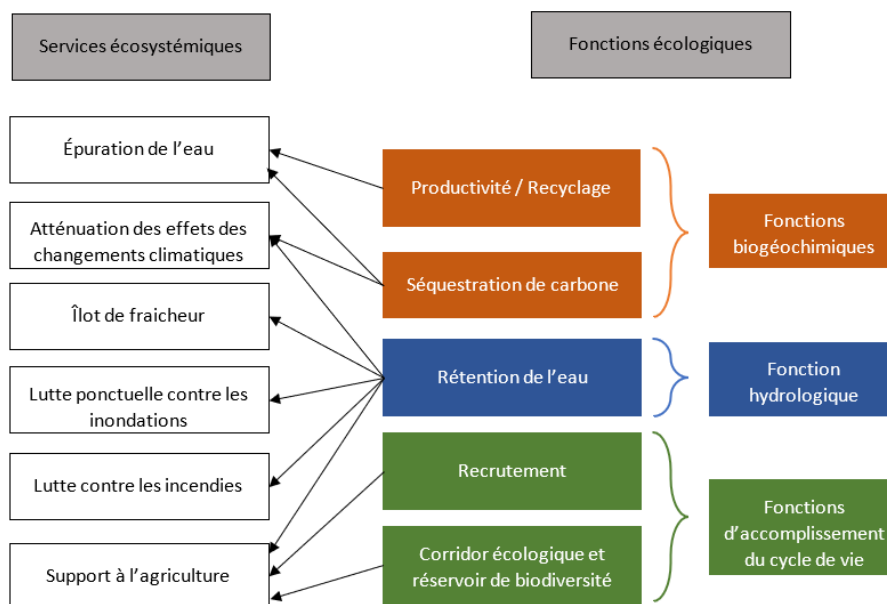


Figure 12. Fonctions écologiques des mares et services écosystémiques qui en découlent.

Trois fonctions principales ont été identifiées au sein des mares. Les fonctions biogéochimiques représentent les flux de matière qui transitent au sein de l'écosystème. La productivité est définie comme le taux de production de biomasse (Fridley 2003) dans le milieu, tandis que le recyclage représente le taux de décomposition des matières organiques en matières minérales (Aquaportail s.d.). La séquestration du carbone a lieu dans les vases. Ces paramètres sont assurés par le bon fonctionnement des cycles microbiens du sol.

Les mares assurent également une fonction de rétention de l'eau. Celle-ci est assurée par la quantité de flux d'eau qui pénètrent et ressortent de la mare. Les flux d'eau qui y pénètrent sont conditionnés par les précipitations, la présence d'une nappe phréatique affleurante etc. tandis que la quantité d'eau sortante est dépendante de la perméabilité du substrat et des variations de température qui conditionnent l'évaporation de l'eau.

La fonction de recrutement des espèces décrit la capacité de l'écosystème à accueillir de nouveaux individus. Le recrutement s'effectue à travers les processus de naissance, d'atteinte d'une certaine maturité ou d'immigration au sein de l'écosystème. Cette fonction est conditionnée par la présence de connexions écologiques fonctionnelles (haies, bosquets, prairies fleuries...) ainsi que par la diversité des niches écologiques en son sein.

Enfin, la mare présente une fonction de corridor biologique et de réservoir de biodiversité, ce qui représente sa capacité à servir d'habitat ou de point de passage à différentes espèces.

La Figure 13 expose les variables sur lesquelles il est possible d'agir afin d'influencer les paramètres qui conditionnent les fonctions écologiques.

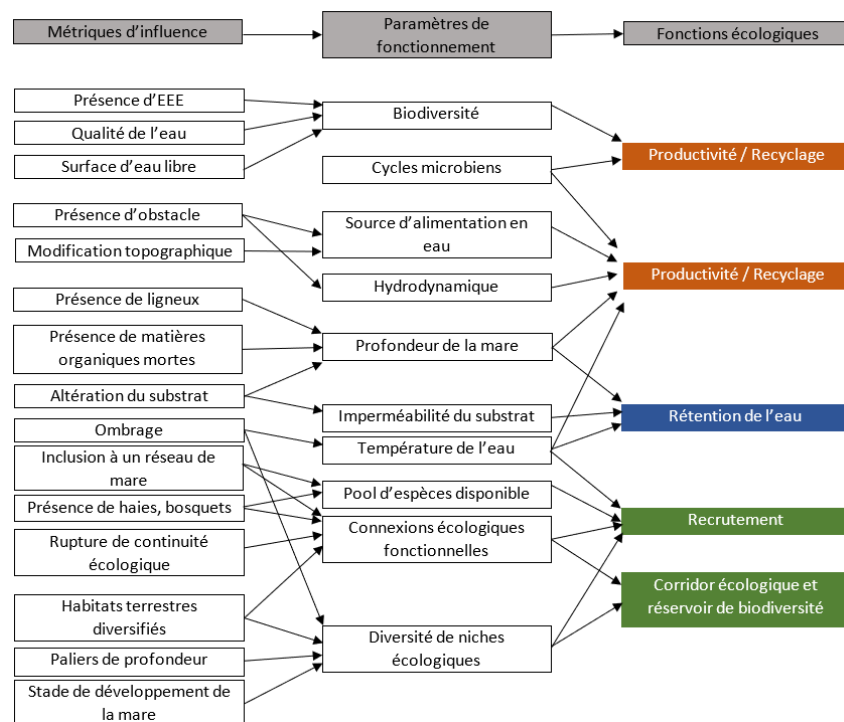


Figure 13. Présentation de variables garantissant le bon état des fonctions écologiques de la mare.

La réalité écologique est plus complexe que les relations présentées sur la Figure 13. Les différents paramètres de fonctionnement peuvent s'influencer entre eux : par exemple le maintien de communautés de macrophytes au sein du plan d'eau permet que l'eau reste claire et la transparence de l'eau conditionne le développement des macrophytes (et donc la biodiversité présente). Par souci de clarté, il a été choisi de ne pas représenter ces boucles d'interactions.

Les intérêts des réseaux de mares

Les réseaux de mares sont définis comme un ensemble de mares connectées entre elles, soit grâce à des éléments qui les relient (haies, fossés...), soit parce que la distance qui les sépare est de l'ordre de la centaine de mètres et ne comporte pas d'obstacles au déplacement des espèces (route, grande culture ouverte, etc...) (SNPN & CAUE-IDF 2016). La Figure 14 illustre la différence entre des mares connectées entre elles et des mares isolées.

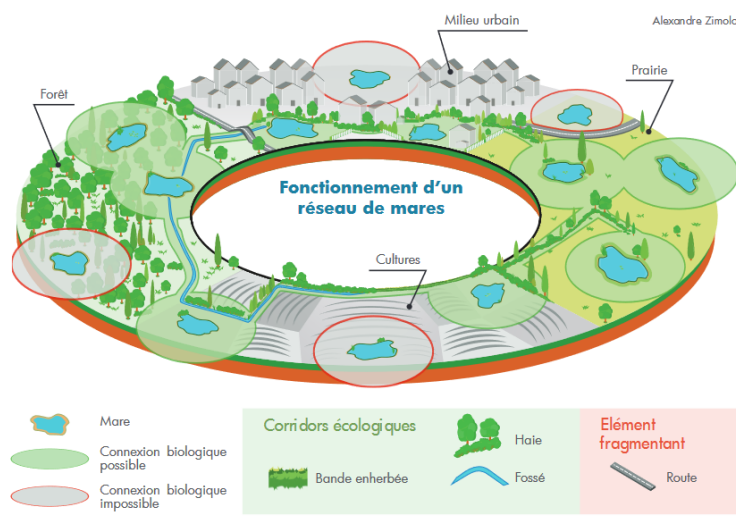


Figure 14. Principe de fonctionnement des continuités écologiques. Exemple type du déplacement d'un amphibien. Issu de SNPN & CAUE-IDF, 2016.

Associée à d'autres éléments paysagers (fossés, bosquets, prairies, massifs forestiers), la mare est l'un des maillons essentiels des trames écologiques (CAUE 27 2021). Travailler en réseau de mares, et notamment en réseaux denses, permet d'améliorer la dispersion des individus (Oertli et Frossard 2013, Gauffre, et al. 2021, Borthagaray, et al. 2023), favorise la formation de métapopulations et la survie des espèces. Les réseaux de mares améliorent également la richesse spécifique comme l'illustre la Figure 15.

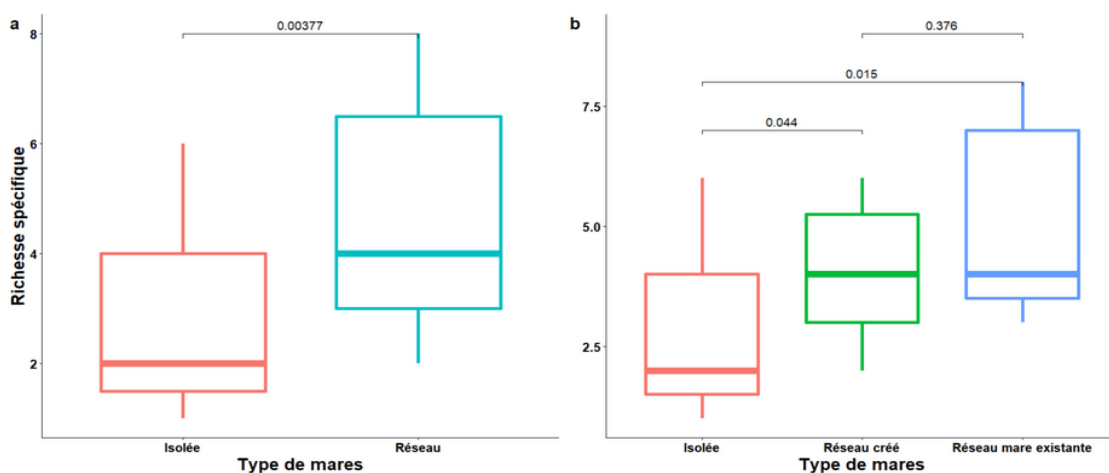


Figure 15. Comparaison de la richesse spécifique maximale d'amphibiens entre : a) les mares comprises dans un réseau et les mares isolées, b) les mares d'un réseau créé et les mares d'un réseau ayant une mare existante avant la création de mares complémentaires. Issu de Decotte, 2024.

Les mares (et donc les réseaux de mares) constituent des connexions biologiques sous forme de pas japonais (Jeliaskov, et al. 2014). La colonisation des mares est conditionnée par les caractéristiques et l'emplacement des pièces d'eau ainsi que par les capacités de dispersion des espèces (Moor, Bergamini, et al. 2024). Des modélisations sur les liens entre les dynamiques de comportements de la faune et la structure spatiale des paysages (Drake, Lambin et Sutherland 2022) indiquent que la distance entre un site inoccupé et un site occupé influence la dispersion des individus de manière conséquente. Par exemple en Suisse, les données de densité locale de mares de surface d'eau totale ont permis d'anticiper les probabilités d'occupation de la plupart des espèces d'amphibiens. Disposer d'une grande quantité de mares temporaires a notamment permis d'augmenter la présence du Sonneur à ventre jaune (Moor, Bergamini, et al. 2024). De plus, des simulations géographiques ont montré que les populations qui ne se dispersent pas sont inévitablement conduites à l'extinction (Cayuela, et al. 2020, Hugo, et al. 2021) : les réseaux de mares permettent alors de préserver des communautés parfois

fragiles et leur déploiement dans le paysage initie la restauration de populations déclinantes (Moor, Bergamini, et al. 2022). Ainsi, **il est primordial de considérer la mare vis-à-vis de sa matrice paysagère** dans une optique de préservation de la biodiversité. Par exemple, si un des objectifs de la création de mare est d'accueillir une biodiversité particulière, il faut s'assurer que les espèces cibles sont présentes dans un périmètre proche : 1 km maximum de distance pour les tritons (Faverot, et al. 2001) si les connectivités terrestres sont fonctionnelles (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024) et 2 km maximum de distance pour les grenouilles, crapauds et rainettes (Faverot, et al. 2001, Pellet 2013). Un tableau récapitulatif du type de mare permettant de favoriser différentes espèces d'amphibiens est présenté en annexe 8.

De plus, la diversité spécifique et la richesse génétique locales augmentent sensiblement avec la densité de mares (Gauffre, et al. 2021) et l'augmentation des densités de population diminue les risques d'extinctions locales (Schmidt et Pellet 2005). En effet, densifier les réseaux de mares permet de disposer de pièces d'eau d'âge et de structure variées. Or, chaque stade de la mare peut être caractérisé par une certaine biodiversité : chaque assemblage d'espèces comprend à la fois des espèces sténoèces, spécifiques à un stade, et euryèces, qui peuvent se rencontrer à différents stades. De plus, McCaffery *et al.* (2014) ont mis en évidence que la surface d'eau libre influence positivement la reproduction des espèces faunistiques et ce même si la surface d'eau est répartie en plusieurs mares. Ainsi, la création de micro-réseaux de mares est préférable à celle de grandes mares isolées (Faverot, et al. 2001). Le succès de reproduction y est d'ailleurs plus probable, car les pressions dues à une densité trop élevée d'individus à l'état larvaire dans une pièce d'eau unique sont écartées (McCaffery, et al. 2014).

Enfin, il a été démontré que la connectivité des écosystèmes diminuait les impacts d'une hausse des températures, car les espèces ont alors la possibilité de migrer vers des zones avec des températures plus clémentes (Thompson et Shurin 2012). La connectivité, en plus de protéger les espèces, protège également les écosystèmes : une espèce qui fuit un écosystème peut plus facilement être remplacée par une autre, qui peut assurer les mêmes fonctions (Pronost 2019).

Outre les gains pour la biodiversité, les réseaux de mares présentent d'autres avantages. Au niveau financier, ils permettent de limiter les coûts d'intervention en travaillant sur plusieurs mares dans une période de temps définie et en rationalisant la mobilisation d'engins de chantier. La justification des choix d'intervention est également facilitée : le travail de mares en réseaux invite à réaliser des choix de gestion favorisant une biodiversité plus large (Oertli et Frossard 2013, Pronost 2019) : le questionnement de privilégier certaines espèces aux détriments d'autres devient alors moins prioritaire, puisque le spectre d'espèces bénéficiant des travaux peut être beaucoup plus large. En termes de gestion, il est intéressant de laisser certaines mares d'un réseau évoluer spontanément. Une telle mesure permet de maintenir certains habitats très spécifiques et riches, comme des boisements humides qui constituent des milieux à forts enjeux patrimoniaux (Arnaboldi et Alban 2007). La répartition dans l'âge des mares doit être équilibrée : si les mares jeunes ont une meilleure capacité épuratoire que les mares anciennes, ces dernières accumulent plus de nutriments, ce qui modifie localement le milieu et donc les habitats qu'il abrite (Pronost 2021). Par exemple les aulnaies à *Carex* et les vieilles saulaies ne doivent pas faire l'objet de curage ou de déboisement systématique : les vieux saules hébergent une faune saproxylique et une bryoflore parfois remarquable (Arnaboldi et Alban 2007, Oertli et Frossard 2013).

A l'échelle d'un réseau, l'entretien peut être abandonné au profit d'une restauration régulière ou occasionnelle : par exemple, il est possible de restaurer une mare du réseau par an puis d'établir une rotation d'intervention sur ces mares tous les dix ans si nécessaire (Oertli et Frossard 2013), ceci afin de conserver des stades diversifiés. Si les mares du réseau nécessitent une restauration, celle-ci devra prioritairement s'effectuer de l'amont vers l'aval, afin de ne pas renvoyer une grosse quantité de sédiments et nutriments dans une mare qui viendrait tout juste d'être restaurée.

Ainsi, la dynamique naturelle d'une mare est de disparaître au profit d'une végétation herbacée voire ligneuse selon des laps de temps plus ou moins long en fonction des caractéristiques propre à chaque mare. Au cours de son évolution, la mare voit de ce fait ses fonctions, et donc les services écosystémiques qu'elle prodigue, se modifier : certains s'altèrent et d'autres peuvent apparaître.

Connaître l'état de dégradation des fonctions de la mare est nécessaire pour évaluer l'état de conservation de cette dernière et donc pour décider d'entreprendre des actions de restauration écologique. Puisqu'il est reconnu

que les mares présentant une bonne intégrité écologique fournissent de meilleurs fonctions et services (Hilt, et al. 2017, Grizzetti et al. 2019), il est primordial de bien anticiper le projet en amont, de s'assurer de l'efficacité des actions entreprises de garantir celles-ci s'accompagnent de la diminution des pressions qui altèrent ces écosystèmes ; le tout permettant d'entreprendre un projet de restauration global et efficace. Ces paramètres sont présentés dans la partie III.a.

c. Importance sociétale des mares

Cette partie traite de la manière dont les liens entre sociétés et mares ont changé lors des derniers siècles, à travers l'évolution de l'utilisation des mares, ainsi que du regard qui est aujourd'hui porté sur ces écosystèmes.

Les différents usages liés aux mares

Les mares représentent un point de rencontre entre les sciences naturalistes et sociologiques et revêtent une importance écologique, paysagère, historique et identitaire (Canivé, Luglia et Sajaloli 2022). Elles se retrouvent dans tous les environnements, sur tous les continents et constituent un carrefour entre nature et culture.

Il est estimé que 95% des mares de France hexagonale ont une origine anthropique (SNPN 2022). Au cours des derniers siècles, les mares jouaient essentiellement un rôle au sein des milieux ruraux pour l'artisanat, l'agriculture ou encore l'abreuvement des bêtes. Des lavoirs y étaient installés, l'eau était utilisée pour la cuisine. Certaines mares étaient également formées par l'excavation d'argile du sol pour la construction, qui formait des trous se remplissant d'eau grâce aux pluies. De par la modernisation des modes de vie, la majorité de ces usages ne se sont cependant pas maintenus. Le remembrement agricole par exemple, a conduit à assécher ou combler certaines mares qui constituaient des obstacles à la mécanisation de l'agriculture (Géoconfluences 2024). L'arrivée de l'eau courante a également diminué les usages domestiques liés aux mares (Delvigne 2011), qui sont peu à peu tombées en désuétude. Ainsi, l'intérêt porté aux mares a constamment diminué, tandis que la méconnaissance de ces milieux s'est intensifiée (Mares, où êtes-vous ? 2024).

À cette diminution d'intérêt peut être corrélée une représentation sociétale négative des milieux humides, qui s'est sans doute construite autour de récits décrivant les eaux dormantes comme abritant des monstres, des démons (Oertli et Frossard 2013) ou comme des lieux porteurs de maladies et nécessitant un assainissement (Goeldner-Gianella 2017). Aujourd'hui encore, les mares sont souvent considérées comme un milieu favorisant nécessairement le développement des moustiques et donc de maladies (Mares, où êtes-vous ? 2024). Les mares, alors dépréciées, subissent parfois des dégradations comme le comblement volontaire ou le déversement de déchets. Ainsi, l'ensemble de ces facteurs de représentation et de modification des modes de vie a mené à la disparition progressive des mares sur le territoire français.

Les services écosystémiques rendus par les mares

Si les écosystèmes possèdent une valeur intrinsèque, la durabilité des sociétés humaines est intimement liée à leur bonne santé, par exemple à travers l'apport de services écosystémiques – fourniture d'aliments, d'eau, d'air pur, de médicaments, d'abris... (McDonald, Gann, et al. 2016). Aujourd'hui, un fort intérêt se renouvelle autour des mares, à la fois pour les multiples services qu'elles peuvent fournir mais également pour l'identité territoriale qu'elles portent (SNPN & CAUE-IDF 2016). De par cet attachement territorial, les mares sont parfois perçues comme des lieux pleins de vie et rassurants (Perrin et Robin 2023). Les activités qu'elles accueillent sont variées (éducation, observation de la vie sauvage, travail à l'air libre...) et contribuent à en faire des lieux de bien-être. De plus, la présence d'eau et les services culturels prodigués par un écosystème sont des composantes environnementales qui sont largement considérées par les populations, ce qui amène des bénéfices en termes d'acceptation sociale autour de projets relatifs à de tels milieux (Finlayson, Bellio et Lowry 2005, Oertli et Parris 2019). Ainsi, il est important de comprendre les rôles que jouent les mares, afin de les préserver en accord avec les populations humaines, contribuant ainsi à améliorer leur qualité de vie et créant un sentiment d'appartenance (Perrin et Robin 2023, Bartrons, et al. 2024).

Pour ce faire, des initiatives se développent sur le territoire pour promouvoir les mares et leur préservation : de nombreux programmes d'actions se créent, des associations variées s'emparent de la question, les citoyens sont mobilisés et sensibilisés à leur sujet. Dans leur programme de recherche-action, Mallard et al. (2023) ont identifié de nombreuses structures s'occupant de programmes relatifs à la gestion des mares en France, dont la majorité sont des associations de loi 1901. La Figure 16 présente les différents programmes régionaux français en faveur des mares, qui permettent de fédérer des actions plus locales et de centraliser les données, les projets et les retours d'expériences.



Figure 16. Cartographie des différentes structures régionales agissant en faveur des mares en France.
Issu de SNPN, s.d.

Les mares suscitent également un intérêt de par les rôles qu'elles peuvent jouer dans la lutte contre les changements climatiques (Canivé, Luglia et Sajaloli 2022). Dans un tel contexte, elles sont considérées comme une Solution Fondée sur la Nature (SFN), définies par l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) comme « les actions visant à protéger, gérer de manière durable et restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les défis de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité » (UICN 2021).

Les mares répondent à cette définition dans le sens où elles constituent des milieux riches en biodiversité, qui permettent de répondre à certains défis **lorsqu'elles sont dans un bon état de conservation** (Hilt, et al. 2017, Labat et Usseglio-Polatera 2023). Par exemple, il est estimé que les mares et étangs de la planète captent plus de CO₂ que les océans (Downing, et al. 2008, Céréghino, et al. 2014) et constituent de véritables puits de carbone, puisqu'on estime qu'une mare de 500 m² en bon état de fonctionnement pourrait capter jusqu'à 1000 kg de CO₂ par an (Céréghino, et al. 2014, Gilbert, et al. 2017, Gilbert, et al. 2021, Mallard, et al. 2023). En Grande-Bretagne par exemple, il est estimé que l'ensemble des mares et étangs, qui représente 0,0012% de la surface du territoire, capture seulement moitié moins de carbone organique que les forêts de feuillus, qui en représentent 6% (Taylor, et al. 2019). Le corollaire est que l'assèchement de la mare provoque la minéralisation du carbone organique par des bactéries aérobies : le transfert du CO₂ peut alors être inversé en quelques jours. Il est important de prendre en compte cette donnée dans un contexte de raréfaction de la ressource en eau et d'augmentation des températures et des périodes d'assech.

Les mares capturent également les nutriments qu'elles stockent dans les sédiments (Downing, et al. 2008), jouant ainsi un rôle épurateur de l'eau (Oertli et Frossard 2013, Pronost 2019) : elles réduisent par exemple jusqu'à 50% de la concentration de phosphore dans les eaux superficielles (EPCN 2010). Parallèlement, les mares jouent un rôle dans la lutte contre les îlots de chaleur et constituent des réserves d'eau sur le territoire (EPCN 2010).

Lorsqu'elles sont associées à d'autres éléments du paysage (haies, fascines, fossés enherbés...) et intégrées au sein d'un programme complet de lutte contre les inondations, des mares tampons possédant un niveau d'eau variable peuvent être mises en place pour appuyer ce programme en réduisant partiellement les flux d'eau et leur déversement rapide dans les rivières (EPCN, 2010, Kędziora, et al. 2011, Hefting, van den Heuvel et Verhoeven 2013, Short, et al. 2019). Les caractéristiques techniques de ces mares doivent être adaptées au contexte local (pente, volumes d'eau, axes de ruissellement...). L'Association de recherche sur le Ruissellement, l'Érosion et l'Aménagement du Sol (AREAS) a édité des fiches pour répondre aux problématiques de ruissellement, qui sont en cours de réédition.

Les mares peuvent également être utilisées dans la lutte contre les incendies (Vancayezeele, et al. 2011) et permettent d'améliorer sporadiquement la ressource en eau : elles sont par exemple déjà utilisées au Népal pour pallier le manque d'eau disponible pour la population (Bastakoti, Prathapar et Okwany 2016). Elles jouent un rôle de régulation du microclimat en permettant le rafraîchissement de l'air et l'augmentation du taux d'humidité local (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Enfin, elles peuvent servir de support à l'agriculture en enrichissant le milieu en espèces et en équilibrant les écosystèmes. En effet, elles permettent l'émergence d'insectes volants riches en nutriments qui jouent plusieurs rôles : ils servent de nourriture à d'autres taxons (oiseaux, chiroptères, etc.) et attirent donc ces espèces, permettant à la fois un transfert d'énergie vers le milieu terrestre (Fehlinger, et al. 2022) et un contrôle des nuisibles par ces auxiliaires de cultures en contexte agricole. Ils peuvent aussi assurer certaines fonctions de pollinisation ou de régulation d'espèces nuisibles aux cultures (Graitson, Morelle et Feremans 2009, Fehlinger, et al. 2022).

D'un point de vue de la biodiversité, les mares tiennent plusieurs rôles d'accueil et de dispersion (SNPN & CAUE-IDF 2016, Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Elles sont des réservoirs de biodiversité car elles abritent de nombreuses espèces animales et végétales, constituent un site de reproduction pour la petite faune aquatique comme les invertébrés aquatiques et les amphibiens, sont un refuge pour la faune (notamment en période de sécheresse ou de canicule) et un habitat privilégié pour les oiseaux qui y nidifient ou s'en servent de halte. Elles servent également de corridors écologiques. Les mares sont interconnectées quand elles sont présentes au sein d'un massif forestier ou sous forme de réseaux de mares et constituent une transition avec d'autres milieux, comme deux zones humides. Elles sont l'interface entre un écosystème aquatique et un écosystème terrestre.

Ainsi, les mares sont des écosystèmes importants au niveau économique, social et environnemental (Oertli et Frossard 2013) qui jouent des rôles multiples et complémentaires. De ce fait, leur préservation est primordiale (Herteman, Norden et Vandersarren 2023) et le fait de décrire les actions de restauration et de création de mares en tant que SFN permet d'argumenter efficacement en faveur de ces milieux (SNPN & CAUE-IDF 2016, SNPN 2022, Bartrons, et al. 2024). Il est certain que les services qu'elles fournissent et les menaces qui pèsent sur elles conditionnent l'urgence à intervenir pour protéger, restaurer ou recréer ces milieux qui ont nettement régressé.

Du fait de la forte disparition des mares dans le paysage national, de nombreux projets portent sur la création ou la restauration de mares. Ces deux thématiques sont discutées dans les parties II et III.



Mare forestière ancienne sur nappe phréatique – Forêt de Sénart (Île de France)

© Timothé Courteille

II. Création de mares

Après avoir proposé une définition de la mare et démontré son intérêt pour les sociétés humaines dans la partie I, cette seconde partie a pour but de présenter les préconisations et techniques relatives à la création de mares.

a. Préconisations temporelles et techniques

Cette première sous-partie a pour but de préciser quelques recommandations sur les dates d'intervention, le matériel et la sécurité.

Calendrier de réalisation

Prionewski (2022) préconise de réaliser le creusement du sol pendant les saisons de pluie, en début ou en fin d'année, notamment lors du creusement manuel d'une mare. Attention cependant, une mare creusée par temps trop humide peut voir ses berges s'éroder plus facilement. De même l'utilisation de machines lourdes (pelle mécanique, camion de transport de matériaux, tracteur...) nécessite un sol ressuyé à sec, ou gelé. *A contrario*, creuser une mare par temps sec dans de l'argile peut entraîner la dessiccation de ce dernier et limiter l'imperméabilisation. Des micromammifères peuvent également y creuser des trous. Il convient donc idéalement de trouver une fenêtre météo ni trop humide, ni trop sèche, lors de la création de mares semi-naturelles (Luca Fagan, com. pers. 2024).

La LPO AuRA a établi un calendrier de réalisation des travaux de création et de restauration des mares, présenté sur la Figure 17. Ce calendrier est adapté à la région Auvergne Rhône-Alpes, mais il fournit des indications globales sur les périodes d'intervention et reste utilisable en France hexagonale. Il est important de noter que ces périodes sont amenées à être modifiées dans un contexte de changements climatiques. Les périodes « possibles sous conditions » nécessitent une étude au cas par cas du site envisagé pour implanter une mare, qui assure que les travaux engendrent uniquement du dérangement de biodiversité commune et pas de mortalité ou d'abandon de reproduction. Les mares artificielles peuvent éventuellement être installées dans des écosystèmes déjà dégradés et les mares naturelles peuvent être creusées sur un terrain argileux hors zone humide ou à l'étiage de la nappe phréatique si l'alimentation en eau est assurée par une nappe d'accompagnement (J-B Decotte, com. pers. 2025).

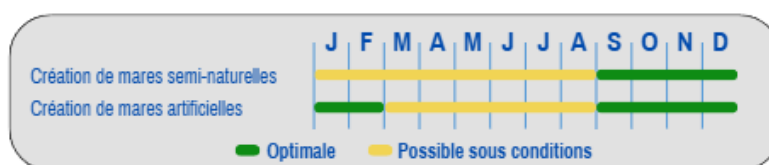


Figure 17. Calendrier de réalisation des travaux de création de mares. Modifié de Decotte, 2024.

Matériel

Le choix de travailler à la main ou à l'aide d'outils mécaniques est conditionné par la taille de la mare envisagée. Globalement, un creusement à la main est envisageable jusqu'à 20m² de surface. Pour des mares comprises entre 20m² et 120m², l'utilisation d'une pelle mécanique de 3,5t à 6t est recommandée. Pour des mares jusqu'à 5000m², l'utilisation d'une pelle mécanique de 8t à 18t est préconisée (Decotte 2024). Sur des sols peu portants, une pelle marais est à privilégier. Si la distance entre la position de la pelle et l'endroit à creuser est grande, l'utilisation d'une pelle girafe est adaptée. D'une manière générale, le travail à la pelle mécanique se fait à l'aide d'un godet inclinable qui limite les déplacements de la pelleteuse et améliore la précision de cette dernière (Jean-Baptiste Decotte, com. pers.). Pour curer une mare, l'utilisation d'un godet plat (et inclinable) permet de profiler les berges et de tasser le fond de la mare (Laffite, Mougey et Lemaire 2003, Laffite, Mougey, et al. 2009). Si des matières doivent être retirées de l'eau, l'utilisation d'un godet squelette facilite le travail en permettant l'écoulement de l'eau.

En cas d'utilisation d'engins mécaniques, la demande d'un certificat de nettoyage complet peut être faite auprès de l'entreprise propriétaire de la pelleteuse (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024), ce qui limite fortement le risque de transmission d'EEE végétales (UNEP 2019). Également, une brosse doit être apportée sur le chantier

afin de nettoyer le matériel à l'eau douce, sur site, pour limiter l'exportation éventuelle d'EEE. La matière entre les rainures des chaussures doit notamment être retirée.

Un creusement à la main se fera à l'aide d'outils classiques (pelle, bêche, pioche) et une bêche de 3m sur 1,5m ou une mini-pelleteuse seront utilisées pour déplacer la terre (Proniewski 2022). Dans le cas de gestion de la végétation à l'intérieur des mares, utiliser une barque permet d'y déposer les débris au fur et à mesure et d'éviter les aller-retours.

D'un point de vue logistique, Herteman, Norden & Vandersarren (2023) préconisent de préparer le matériel de base, avant la réalisation du projet, en fonction du nombre de participants. Les outils à préparer sont les fourches à bêcher, les râteaux, les fourches à bec, les épuisettes, les machettes (en contexte tropical), une corde et une petite embarcation si besoin. Il faut également prévoir de quoi exporter la matière végétale retirée et donc anticiper l'achat de contenants, le transport et la méthode de traitement la plus adaptée aux espèces considérées.

Si une opération de faucardage est nécessaire, il est possible de faucher depuis la berge avec une pelle munie d'un godet faucardeur ou à pied avec une débroussailluse munie d'un croissant – qui évite les apports d'huile dans l'eau – si la profondeur de la mare le permet (FDCNPC 2009).

Sécurité

La sécurité est une dimension qu'il ne faut pas négliger. Le travail en binôme ou en équipe est fortement recommandé. Il faut veiller à poser les outils non utilisés pointe vers le sol et dans une zone dédiée, faire des pauses régulièrement, s'hydrater et s'alimenter. La leptospirose, maladie bactérienne transmise à travers l'urine de rongeurs qui se maintient assez bien dans les eaux douces et les sols boueux (Institut Pasteur 2020), est également un paramètre à prendre en compte lors du travail dans les mares et contre lequel il faut rester vigilant (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Quelques mesures sont alors conseillées afin de ne pas contracter la leptospirose (Herteman, Norden et Vandersarren 2023) :

- Éviter de programmer le projet en période de pluies (surtout sous un climat tropical) car le ruissellement favorise la propagation de la maladie. Un point sanitaire avant le démarrage du chantier est également recommandé, surtout si des bénévoles sont présents.
- Pendant le chantier : s'équiper correctement avec des équipements qui limitent les coupures (waders, bottes, cuissardes...), protéger les plaies avec des pansements étanches, éviter le contact avec l'eau en cas de blessures non protégées, se laver les mains régulièrement au gel hydroalcoolique afin d'éviter le rejet de savon dans l'eau des mares.
- Après le chantier : laver la peau avec des savons aux propriétés désinfectantes, désinfecter les plaies, surveiller l'état de santé entre 4 et 20 jours (période d'incubation) et consulter un médecin en cas de fièvre. La vaccination est également possible pour se protéger de la leptospirose.

b. Méthodes de création de mares

Cette sous-partie a pour but d'exposer différentes techniques et réflexions concernant la création de mares. La Figure 18 résume les différentes étapes de la création de mares et la Figure 19 illustre les préconisations techniques et de distances qu'il convient d'appliquer pour implanter une mare.



Figure 18. Les étapes de création d'une mare.

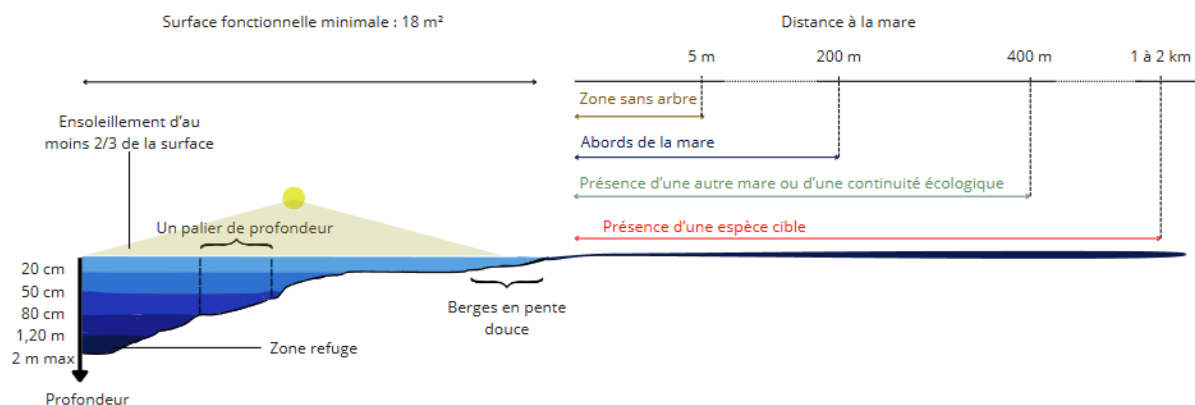


Figure 19. Préconisations techniques et de distances lors du terrassement d'une mare.

Emplacement de la mare

La première étape lors d'un chantier de création de mare est de choisir l'emplacement de la future mare. Ce choix doit prendre en compte le contexte local du site (pentes, ensoleillement, naturalité...) et le contexte paysager. Dans la mesure du possible, il faut que des études pédologiques, hydrauliques, de luminosité, de biodiversité et paysagère soient réalisées (Mallard, et al. 2023) avant la création de mare. La photographie 5 illustre le choix de creuser une mare sur un emplacement qui présente une végétation propre aux milieux humides, à proximité d'une haie et d'autres mares (non visibles sur la photographie).



Photographie 5. Le même site avant et après la création d'une mare - Andenne (Belgique).
© Luca Fagan / Natagora.

Dans une optique de pérennité, l'écosystème concerné ne doit pas être déconnecté de sa réalité écologique locale : il faut que la matrice paysagère dans laquelle il s'intègre soit prise en compte lors de la réalisation des travaux. Il faut idéalement que le bassin versant alimentant la mare soit exploité de manière extensive, sans utilisation d'engrais ou produits phytosanitaires. Les endroits à privilégier sont le point bas d'un terrain plat ou les zones de résurgence. Des outils de modélisation comme GrassGIS ou GrapHab, ainsi que l'indice d'humidité topographique, peuvent fournir de précieuses informations pour guider le choix d'implantation d'une mare (Tiago Brissaud, com. pers. 2024). Ils renseignent sur la topographie, sur les points d'accumulation d'eau et permettent de simuler les connectivités écologiques qui prendraient place suite à la création d'une mare (Foltête, et al. 2021). Ces outils permettent également d'avoir une idée des impacts des activités du bassin versant sur la qualité des eaux de ruissellement. Le contexte social local doit également être intégré au projet (Araya, et al.

2024). En effet, un manque de concertation des parties prenantes concernées peut générer des tensions, des craintes, une forme de pression sociale et entraîner des dégradations, ce qui risque de mener le projet à l'échec (Ouedraogo, Montginoul et Barbier 2024).

Lorsqu'un site est envisagé pour creuser une mare, des comparaisons avec des anciennes cartes ou photographies peuvent être faites pour voir si certains endroits retiennent mieux l'eau que d'autres (Cellule d'Assistance Technique aux Zones Humides 32 2010). Si les moyens le permettent, une étude archéologique peut être menée afin d'identifier les systèmes agro-pastoraux anciens (Musseaux 2022). La consultation de riverains est intéressante, ceux-ci pouvant éventuellement fournir des renseignements sur l'évolution de la zone envisagée au long de l'année, ou sur la présence d'autres zones retenant de l'eau (Luca Fagan, com. perso. 2024). Cette démarche peut limiter les coûts et permettre la création d'ouvrages durables puisque creuser sur un terrain argileux permet de s'affranchir des étapes d'imperméabilisation du sol (Pellet 2013). **La nature du sol doit être un paramètre de poids dans la décision de l'emplacement d'une mare.** Les espèces présentes sur le site doivent également être recensées, afin d'assurer que les travaux ne nuiront pas à des espèces protégées ou ne favoriseront pas la dispersion d'EEE.

Creuser une mare sur nappe

Trois approches sont applicables pour creuser une mare alimentée par une résurgence de nappe phréatique (Pellet, Collaud et Brunel 2023) :

- Creuser la mare lorsque la nappe est au plus bas et s'arrêter au moment où le niveau de l'eau est atteint.
- Excaver une petite fosse et observer les niveaux de fluctuations de la nappe phréatique durant une année complète.
- Identifier les niveaux de fluctuation de la nappe par une analyse pédologique d'une carotte de sol. La fourchette de battement est souvent ponctuée de « tâches de rouille ».

Encadré 3. Creuser une mare alimentée par une nappe phréatique.

Attention à ne pas creuser une mare dans une zone où celle-ci serait très isolée, en se retrouvant encerclée par des routes par exemple. Selon les espèces d'amphibiens, la distance à la mare pour la ponte peut aller jusqu'à 2 kilomètres et certains biotopes favorisent certaines espèces : par exemple, les forêts sont très accueillantes pour les amphibiens, contrairement aux zones agricoles (Oertli et Frossard 2013). Un boisement situé à 400 mètres maximum de la mare permettra de faciliter les migrations d'amphibiens puisque 44% des espèces d'amphibiens ne se déplacent pas plus loin que cette distance (Smith et Green 2005, Moor, Bergamini, et al. 2022). Ainsi, la mare doit être pensée au regard des interactions qu'elle peut avoir avec son environnement, jusqu'à 2 kilomètres à la ronde. Si la mare est creusée en zone inondable, elle peut également être soumise à des apports massifs de nutriments, de sédiments et potentiellement d'espèces de poissons ou d'EEE comme les écrevisses américaines. Cependant, creuser des dépressions dans des zones inondables peut permettre la mise en place de mares temporaires, intéressantes pour certaines espèces faunistiques et floristiques.

Si une mare est creusée sur un site en pente, une berge doit être créée, à la même hauteur que la plus haute berge de la mare, à l'aide d'un niveau laser (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024), en tassant une partie de la terre excavée. Pour assurer son assise, cette nouvelle berge doit avoir une largeur correspondant à 3 à 4 fois sa hauteur (Luca Fagan, com. pers. 2024), comme l'illustre la Figure 20. Une griffe de débordement doit être aménagée afin d'évacuer le surplus d'eau qui pourrait déstructurer la berge (Luca Fagan com. pers. 2024).

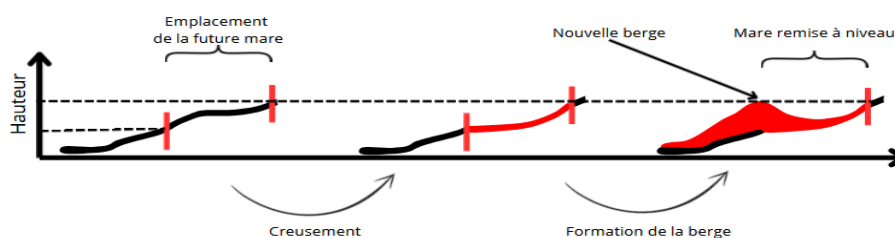


Figure 20. Schématisation de la création de berges dans le cas d'une mare en pente.

Sur le site, il est possible d'utiliser une rubalise, des piquets ou un tuyau d'arrosage pour marquer les contours de la future mare, ce qui permet de visualiser plusieurs configurations et de s'adapter au contexte local du terrain (Proniewski 2022). Une fois qu'un lieu d'implantation a été choisi, il est également possible de tester si l'eau s'y accumule, en creusant un trou de 1m x 1m x 1m, avec un côté en pente douce pour éviter la noyade d'animaux (Motte, et al. 2012). La retenue de l'eau dans ce trou permettra de savoir si le terrain est suffisamment argileux pour entreprendre des travaux de création de mare. Si le sol est sableux, une étude d'étanchéification est nécessaire. Dans ce cas, la pertinence de la localisation de la mare devra également être discutée.

Mare en zone urbaine dense ou en carrière

Une mare peut tout à fait être creusée en zone urbaine densément peuplée en tenant compte du Règlement Sanitaire Départemental. Elle n'accueillera probablement pas une biodiversité aussi riche qu'une mare située en milieu naturel et connectée à un réseau fonctionnel mais pourra accueillir certaines espèces pionnières. Une mare en milieu urbain peut aussi jouer le rôle de support pour l'éducation à l'environnement, afin de sensibiliser les populations à l'importance de ces écosystèmes.

La création de mare peut aussi se faire de manière opportuniste dans le cadre d'autres projets d'aménagement ou d'exploitation, comme les carrières (LIFE in Quarries 2019) : de petites dépressions peuvent être creusées dans des zones d'accumulation d'eau, de forme et de taille variables, favorisant le réchauffement de l'eau, ce qui est idéal pour le développement des têtards. En carrière, l'extraction met à jour des écoulements d'eau qui constituent un endroit au bas duquel il est possible de créer des mares. En fond de fosse, l'émergence de la nappe phréatique offre des possibilités d'aménagement qui peuvent être adaptées au cas par cas. La présence de roches plus grossières peut servir d'abri aux amphibiens et une gestion dynamique qui assure une disponibilité permanente de l'habitat peut alors être mise en place. Une ligne de défense peut être installée pendant le printemps et l'été, afin de protéger les zones refuges des engins. Quand le front d'exploitation sera déplacé, de nouvelles mares seront creusées sur les zones laissées à l'abandon (LIFE in Quarries 2019).

Encadré 4. Mare en zone urbaine dense ou de carrière.

Idéalement, une mare doit être orientée selon l'axe Est/Sud-Est afin d'être ensoleillée au moins 4 à 6h par jour, sur deux tiers de sa surface, afin que les plantes puissent réaliser correctement la photosynthèse et donc oxygéner l'eau (Pellet 2013, Mallard, et al. 2023, Decotte 2024). La distance aux arbres doit être de 5 mètres minimum, afin de limiter l'ombrage.

Le choix de l'emplacement d'une mare peut être déterminé par le principal service qu'elle fournit : les mares à fort potentiel récréatif peuvent par exemple être incluses aux circuits locaux de promenades, afin que les habitants se l'approprient, apprennent à la connaître et à en voir l'évolution. Cela leur permet de comprendre la démarche d'aménagement mise en place et de les inciter à adopter des pratiques plus respectueuses de l'environnement pour préserver ce patrimoine commun (CAUE 27 2021).

Mettre en place un réseau fonctionnel de mares diversifiées :

Un réseau fonctionnel de mares implique que les espèces puissent se déplacer entre les mares du réseau. D'une manière générale, les notions de connectivité se réfléchissent une distance de 400 m à 2 km par rapport à la mare considérée. Une telle distance permet de recenser les milieux aquatiques susceptibles de faire partie du réseau de zones humides ou de mares.

La bonne dispersion des organismes parmi ces habitats permet la survie des populations (Hanski 1999) et les taux de dispersion dépendent également de la matrice terrestre reliant les mares entre elles (Joly, et al. 2001, Chin et Taylor 2009). Ainsi, plus une mare est isolée et moins les échanges génétiques seront favorisés, fragilisant les communautés présentes (Oertli et Frossard 2013). La mise en place d'un réseau de mares fonctionnel doit alors

comporter des corridors permettant le passage des espèces cibles d'une mare à l'autre, qui peuvent prendre la forme de boisements, haies, ou encore de trous d'eau (Laffite, Mougey et Lemaire 2003, Laffite, Mougey, et al. 2009, Oertli et Frossard 2013). Les mesures de connectivité mises en place dépendront des espèces cibles, car certains éléments sont défavorables pour certains taxons, mais favorable à d'autres : par exemple, une route entrave plus le déplacement des crapauds que des libellules (Oertli et Frossard 2013). Un point de vigilance doit être soulevé : il faut faire attention à la présence d'EEE qui pourraient profiter des corridors pour se disperser plus efficacement. La connectivité peut être estimée par des outils cartographiques, comme ceux développés dans le cadre du projet TRAMARE qui permet la modélisation des réseaux de mares et des potentiels obstacles aux déplacements des espèces en Ile-de-France (Godet et Clauzel 2020).

Un réseau de mares fonctionnel est composé par au moins deux mares séparées au plus de 400 m sans obstacle (Grossi, et al. 2010, Ligue de Protection des Oiseaux s.d.). Une densité de 2 à 4 mares par km² permet de favoriser la formation de métapopulations (Harrisson 1991), en fonction de l'espèce considérée. Par exemple, la densité de mares favorables au triton crêté est entre 4 et 8 mares par km² (Grossi, et al. 2010) si celles-ci sont connectées entre elles par des broussailles, boisements, haies etc. La photographie 6 illustre la création d'un réseau de mares.



*Photographie 6. Futures mares en micro-réseau – Durbuy (Belgique).
©Luca Fagan / Natagora.*

Lors de la création de nouvelle mare au sein d'un réseau, l'effet positif de la densité de population sature à partir de 4 mares **identiques** par km², ce qui signifie qu'ajouter une mare pour améliorer l'état d'une espèce cible n'aurait pas vraiment d'effet. Cependant, puisque la densité de population est dépendante de l'espèce considérée et que les espèces ont différentes préférences de types de mares, il est très envisageable d'avoir un nombre plus élevé de mares au km² et que celles-ci soient bien diversifiées, afin de multiplier les bénéfices pour de multiples espèces (Moor, Bergamini, et al. 2022). Les paramètres permettant de diversifier les mares sont le régime hydrique, la taille, l'âge de la mare, le taux d'eutrophisation, l'ensoleillement, le mode d'alimentation en eau, etc. (Oertli et Frossard 2013). La conservation d'une variété de différentes mares, permanentes ou temporaires, de différentes tailles et avec des milieux environnants variés, au niveau des sites de reproduction et à travers les paysages, aura plus d'impact en faveur de la biodiversité : l'hétérogénéité paysagère favorise la diversité spécifique (Oertli et Frossard 2013, Moor, Bergamini, et al. 2022).

Cependant, la connectivité est une donnée complexe, pour laquelle de nombreux paramètres rentrent en compte. Elle doit être pondérée par le statut d'occupation des sites : installer une mare autour de laquelle il n'y a aucune communauté d'amphibiens ne sera pas utile dans une optique de préservation urgente de la biodiversité. C'est tout de même une approche intéressante à long terme, mais qui est soumise à un facteur « hasard » très important (Moor, Bergamini, et al. 2024). Dans le cas des mares, il convient alors de considérer les pools d'espèces cibles présentes dans un rayon proche. Attention cependant, implanter des mares au plus proche de corridors n'est pas nécessairement une bonne idée. Par exemple une mare très proche d'une rivière

présentera une richesse taxonomique plus élevée qu'une mare isolée, mais moins forte qu'une mare située à une distance intermédiaire de la rivière (Labat, Thiébaud et Piscart 2024). Ceci s'explique par le fait que l'augmentation trop forte des interactions entre certaines espèces provenant de la rivière, et la mare, peut dégrader la végétation de la mare, y apporter des poissons, invertébrés ou EEE et y homogénéiser la biodiversité (Adhurya, Das et Ray 2020, Labat, Thiébaud et Piscart 2024).

Ainsi, la création de réseaux de mares est une stratégie de préservation qui doit s'intégrer dans un contexte biogéographique local, en vue de maintenir une diversité régionale et des connectivités d'habitats. Cette stratégie, si elle ne constitue pas une solution parfaite, peut faire partie d'une ambition plus large visant à diversifier les écosystèmes et améliorer leur résilience dans des conditions de changements climatiques (Thompson et Shurin 2012).

Conception et mise en œuvre de la mare

Une phase de conceptualisation doit être réalisée afin d'anticiper les paramètres physiques de la mare : surface, forme, profondeur, volume, profil, étanchéité. Des plans et des cartographies peuvent être réalisés pour illustrer le type de mare souhaité. La surface minimale d'une mare fonctionnelle est de 3 m par 6 m, soit 18 m² (Mallard, et al. 2023). La forme de la mare doit être la plus sinueuse possible (Proniewski 2022), afin que le périmètre de cette dernière augmente et qu'il y ait ainsi plus de surface d'interface entre l'eau et la terre.

Des pentes douces de 10° à 30° maximum doivent être réalisées sur au moins deux tiers des berges, afin de permettre l'installation de la ceinture de végétation (Oertli et Frossard 2013, PRAM Normandie 2019, CAUE 27 2021, FDCNPC 2009). La Figure 21 illustre les valeurs de pentes.

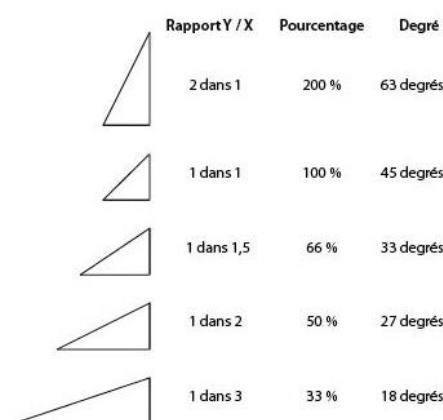


Figure 21. Illustration des rapports de pente. Issu de Decotte, 2024. ©Québec Vert.

Si la zone du projet est restreinte, il vaut mieux privilégier une mare asymétrique avec une pente douce et une pente raide, plutôt que deux pentes moyennes. La pente douce est alors installée au nord de la mare, afin de faire face au sud, ce qui permet de réchauffer les eaux et accueillir les larves et autres animaux (Motte, et al. 2012). Favoriser une grande zone de marnage est très bénéfique (Motte, et al. 2012) puisque celle-ci accueille des eaux peu profondes et donc plus chaudes. Également, l'installation de plusieurs paliers de profondeur dans la mare permet de créer un gradient de température et d'humidité qui conditionne la diversité faunistique et floristique.

De même, avoir une zone plus profonde au sein de la mare est bénéfique pour la faune en cas d'assèchement brutal. Il est recommandé que ces zones soient plus profondes de 0.5m à 1m que le niveau d'étiage, c'est-à-dire le niveau bas de l'eau (Arnaboldi et Alban 2007). Les pentes de cette cuvette doivent également être douces, afin que la faune puisse en ressortir. Il est bénéfique que le fond de la mare présente des aspérités, des bosses et des creux. Expliquer aux entrepreneurs que le travail à effectuer ne présente pas de contraintes très fortes en termes de finitions permet de faciliter le dialogue et la réalisation du travail (Luca Fagan, com. pers. 2024). Une telle réflexion est cependant plus appropriée au creusement d'une mare dans un sol riche en argile, qui ne nécessite

pas de contraintes propres à l'imperméabilisation du substrat. La Figure 22 présente le profil idéal d'une mare pour obtenir une diversité élevée.

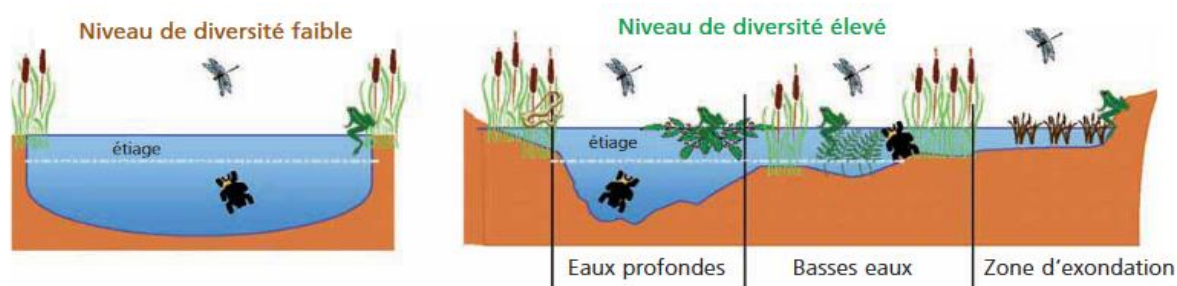


Figure 22. Profil de la mare souhaité pour maximiser l'implantation de la biodiversité. Issu de Arnaboldi & Alban, 2009.

Si la taille de la mare le permet, un îlot central peut être conservé pour protéger les oiseaux des prédateurs – ce qui augmente également la surface de pentes douces et le nombre de paliers de température et d'humidité. Pour limiter l'envasement du fond par les feuilles mortes, comme en contexte forestier, une structure hétérogène du fond de la mare peut être envisagée, comme présenté en Figure 23. Une telle structure permet également d'augmenter la quantité et la diversité des zones d'eau peu profondes (Motte, et al. 2012).

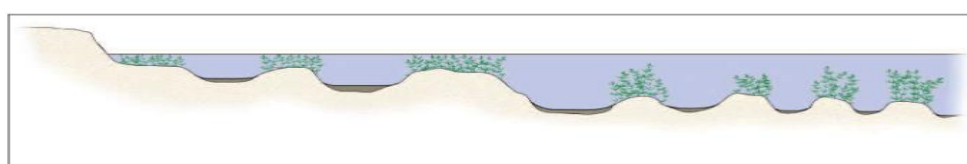


Figure 23. Coupe transversale dans une mare, montrant la succession de hauts fonds et de fosses. Issu de Motte et al., 2012.

Afin que la mare conserve du mieux possible l'eau, il est parfois nécessaire de procéder à une étape d'imperméabilisation du sol si le terrain est drainant. Différentes techniques d'imperméabilisation sont discutées dans la partie suivante.

Imperméabilisation de la mare

Si le terrain ne retient pas naturellement l'eau et que l'approvisionnement de l'eau se fait par ruissellement, il est nécessaire d'imperméabiliser le sol de la future mare. Diverses techniques d'imperméabilisation existent, dont l'efficacité, la facilité de mise en œuvre ou le coût varient. En fonction du contexte du terrain, l'objectif est de choisir la technique la plus adaptée et la plus durable (Mallard, et al. 2023). La Figure 24 illustre le processus décisionnel pour imperméabiliser, ou non, la mare.

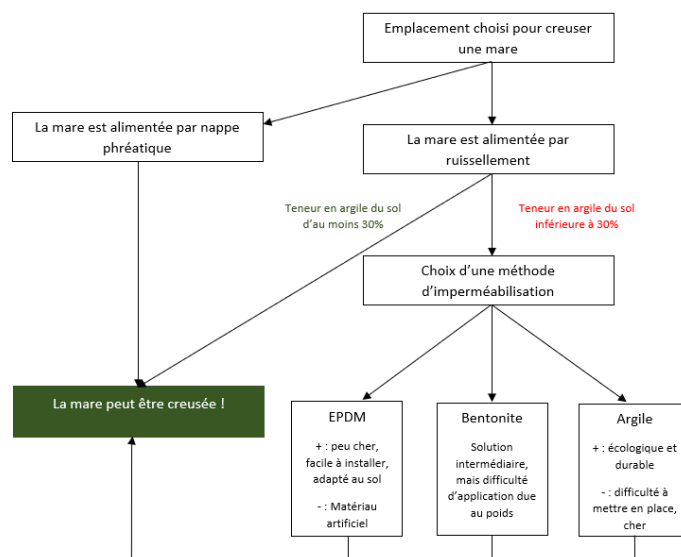


Figure 24. Processus décisionnel pour l'imperméabilisation de la mare.

Le contexte idéal est que le sol soit naturellement argileux (Oertli et Frossard 2013) et qu'il suffise d'y creuser. Pour savoir si le sol contient suffisamment d'argile pour se passer d'une étape d'imperméabilisation, quelques techniques simples existent comme la « technique du boudin » (Métropole Rouen Normandie 2022). Il s'agit de prendre un gros morceau de terre et d'en faire une boule qui sera abondamment mouillée. Transformer la boule en boudin, puis le boudin en anneau. Si ce dernier se maintient, c'est que le sol possède au moins 30% d'argile et peut retenir l'eau (Métropole Rouen Normandie 2022). La Figure 25 illustre ce procédé.

OBSERVATIONS	CLASSES DE TEXTURE
 Le prélèvement est désagréé et peut seulement être accumulé sous la forme d'un tas de sable pyramidal.	Sableuse
 Le prélèvement peut être mis sous la forme d'une boule qui se désagrége facilement.	Sablo-limoneuse
 Le prélèvement peut être roulé sous la forme d'un court cylindre.	Limono-sableuse
 Le prélèvement peut être roulé sous la forme d'un cylindre d'une longueur d'environ 14 cm qui casse lorsqu'il est tordu.	Limoneuse
 Le prélèvement peut être roulé sous la forme d'un cylindre d'une longueur approximative de 14 cm qui ne casse pas lorsqu'il est tordu.	Limono-argileuse
 Le prélèvement peut être mis sous la forme d'un cercle mais avec des craquelures.	Argilo-limoneuse
 Le prélèvement peut être mis sous la forme d'un cercle sans craquelures.	Argileuse

Figure 25. Illustration de la réalisation d'un boudin d'argile pour estimer la teneur en argile du sol. Issu de Gayet, et al., 2023.

Un autre moyen d'estimer facilement la quantité d'argile dans le sol est de faire décanter une portion de sol dans un bocal en verre. Cette technique permet d'estimer la proportion de limons, sables et argiles dans un horizon du sol. Couplée à un triangle de texture, il est alors possible de déterminer si la quantité d'argiles est suffisante pour retenir l'eau. Enfin, la nature du sol peut être évaluée par des techniques de prospection à l'aide d'une tarière ou d'une mini-pelle (Gayet, et al. 2023, Decotte 2024) comme illustré par les photographies 7 et 8, ou, si les moyens le permettent, par une prospection radar du sol (Etienne 2011).



Photographie 7. Test d'argile à la tarière – Forêt de Rambouillet (Île de France).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité.

Il est possible d'imperméabiliser le sol à l'aide d'argile excavée en poudre, de rouleaux de bentonite, ou d'une bâche Ethylène Propylène Diène Monomère (EPDM). Des bacs préformés ou des bassins bétonnés peuvent également être utilisés mais cette dernière technique est cependant déconseillée, car les matériaux sont sensibles au gel et aux mouvements de terrain. (Mallard, et al. 2023). D'autres techniques d'imperméabilisation à l'aide de chaux ou d'une membrane pondcraft polyex existent (Decotte 2024) mais ne seront pas détaillées dans ce document.



Photographie 8. Mise en évidence de la couche d'argile - Ohey (Belgique).
©Luca Fagan / Natagora.

Ainsi, les techniques d'imperméabilisation les plus courantes, à savoir l'utilisation d'argile, de rouleaux de bentonite ou de bâche EPDM, sont discutées ci-dessous. Une synthèse des points positifs et négatifs propres à ces techniques est présentée dans le Tableau 5. Les différents paramètres à prendre en compte pour créer une mare en fonction du type d'étanchéification sont également présentés dans le Tableau 6, d'après les données fournies par la LPO AuRA (Decotte 2024). L'utilisation d'argile en poudre n'y est cependant pas détaillée, car cette technique n'est pas suffisamment maîtrisée par les porteurs de projets pour garantir une réussite à chaque application.

Tableau 5. Conditions d'application des différents modes d'imperméabilisation du sol. 1 représente une bonne note ; 3 représente une mauvaise note. Issu de Métropole Rouen Normandie, 2020.

	Coût	Mise en place	Écologique	Adaptation au sol	Durabilité
EPDM	1	1	3	1	3
Bentonite	2	2	2	2	2
Argile	3	3	1	3	1

Tableau 6. Caractéristiques générales résumées en fonction du type d'étanchéification lors de la création de mares.
D'après les informations de Decotte, 2024.

Type d'étanchéité	Topographie du terrain	Forme de terrassement	Étanchéité du sous-sol	Dimensionnement	Application de la couche étanche	Alimentation en eau	Végétalisation
Creusement dans poche d'argile	Position dans les points bas ou les talwegs. Pente de 30% max.	Forme libre. Deux tiers des pentes sont douces. Aménager des pentes entre les différents paliers de profondeur (30, 60, 90, 120 cm jusqu'à 2 m).	Au moins 30% d'argile dans les premiers 50 cm et argile pur à partir d'1 m de profondeur idéalement. Test au bocal, boudin, tarière ou mini-pelle.	Surface minimale de 20 m² pour une mare généraliste.	/	En l'absence de source : possible de créer des sillons dans le sol pour acheminer l'eau ou de récolter les eaux de toiture si non traitées chimiquement. En présence de source : veiller à ce qu'elle ne se jette pas directement dans la mare si elle amène de la matière minérale et organique.	Absence d'EEE: laisser la banque de graines s'exprimer. Présence d'EEE: plantations de végétaux du label Végétal Local® ou issues de parcelles voisines.
Creusement dans nappe			Nécessaire de déterminer la hauteur d'eau à l'étiage. Test à la tarière ou à la mini-pelle.	Surface minimale de 80 m².	/	Alimentation directe par la nappe phréatique.	
Étanchéification à la bentonite	Position dans les points bas ou les talwegs. Pente de 20% max.	Forme libre mais simple (haricot, ovale, rond...). Deux tiers des pentes sont douces. Aménager des pentes entre les différents paliers de profondeur (30, 60, 90, 120 cm jusqu'à 2 m).	Légèrement argileux. Test du boudin jusqu'à formation de la boule ou de l'anneau, sans maintien parfait de ce dernier.	Surface minimale de 110 m², pose facilitée à partir de 150 m².	Une fois le terrassement terminé, dérouler la natte de bentonite et appliquer les bandes au fur et à mesure. Superposer les bandes sur une épaisseur de 30 à 40 cm et joindre les superpositions avec de la bentonite libre. Ajouter au moins 30 cm de terre végétale.	Alimentation quasi-permanente très importante pour la tenue de la mare (captage de source ou écoulement de bord de cours d'eau).	Éviter les plantes à rhizome important pour ne pas fragiliser la couche de bentonite. Possibilité de mettre une couche de cailloux en bordure et sur les premiers centimètres de la colonne d'eau pour limiter le développement des racines des hygrophiles et héliophytes.
Étanchéification à l'EPDM	Position dans les points bas, avec une faible pente.	Forme libre mais simple Profondeur maximale dépendante de la superficie: 1,2 m pour 20 à 60 m² ; 1,5 m pour 60 à 120 m² ; 2 m pour les mares plus grandes. Pente douce entre les paliers de profondeur.	/	Surface minimale de 20 m² pour une mare généraliste.	4 membranes pour les mares de taille inférieure à 150 m² et 2 membranes pour les mares plus grandes. Se référer au paragraphe sur l'EPDM pour les préconisations d'application.	Éventuellement alimentation par une source ou par la récupération des eaux de ruissellement.	Végétalisation indispensable, par des plantes issues de Végétal Local® ou issues d'autres mares du territoire.

Imperméabilisation à l'argile : C'est la technique la plus écologique et durable, qui permet une implantation naturelle des végétaux. Cependant, sa mise en œuvre reste assez délicate et nécessite des moyens conséquents (Mallard, et al. 2023) et le mode d'application décrit ici ne garantit pas une réussite systématique. Théoriquement, une couche de 20 cm d'argile tassée suffit à permettre l'imperméabilisation mais une couche de 30 à 80 cm d'épaisseur est cependant conseillée (Voeltzel et Février 2011). Ceci permet de mieux prévenir la dessiccation de l'argile qui entraîne son craquellement et lui fait perdre ses propriétés imperméabilisantes. Une fois l'argile déposée au sol, elle est malaxée avec une machine type ROTAVATOR puis compactée au cylindre. La pose doit s'effectuer en trois fois, en dehors des jours de pluie et en l'absence d'eau stagnante. L'argile en poudre doit également être réhydratée dès sa pose. Mermod *et al.* (2010) compactent l'argile sur trois couches successives, chacune compactée dans un sens différent de la précédente, permettant aux feuillets d'argile de bien s'intercaler les uns par rapport aux autres. Une fois mise en place, 20 cm de terre végétale sont ajoutés par-dessus (Proniewski 2022). L'argile importée doit être la plus locale possible : des partenariats peuvent être envisagés avec des entreprises d'exploitation de carrières.

Utilisation de rouleaux de bentonite : La bentonite est un type d'argile qui présente un fort taux de gonflement (Ressources Victoria 2023). Ce matériau reste assez naturel et efficace. La pose est rapide, mais les rouleaux sont plus coûteux que l'EPDM et surtout beaucoup plus lourds. L'utilisation de ce matériel nécessite un engin motorisé afin de le déplacer (Mallard, et al. 2023). Il faut au moins 5 kg de bentonite au m² et il est impossible de mettre cette technique en œuvre en période de fortes pluies ou en présence d'eaux stagnantes (Métropole Rouen Normandie 2022). La pose doit s'effectuer sur un terrain tassé et dépourvu de cailloux. Les lés doivent être déroulés du fond de la mare vers les berges et ne pas être tendus (des plis doivent se former) afin que la bâche ne se déchire pas lors de la mise en eau (Métropole Rouen Normandie 2022). Les lés doivent également être lestés avec une pierre plate, à chaque palier, afin de rester en place. Si plusieurs lés doivent être utilisés, la jointure sera faite par chevauchement d'au moins 30 cm entre les couches et saupoudrée de bentonite en poudre entre les lés. La fixation du géotextile sur les berges sera effectuée en l'enfouissant dans une tranchée et en le recouvrant de terre végétale, afin d'éviter son glissement vers le fond de la mare (Métropole Rouen Normandie 2022). 20 cm de terre végétale doivent également être disposés au-dessus des lés de bentonite.

La bâche EPDM : C'est le choix le plus économique et le plus simple à mettre en œuvre afin d'imperméabiliser tout type de sol. Le matériau est un polymère de caoutchouc et n'est donc pas naturel, mais est inerte et semble stable chimiquement. Pour poser la bâche, il faut commencer par retirer les éléments tranchants (cailloux...) (Métropole Rouen Normandie 2022), placer un grillage anti-rongeurs pour éviter que des mulots ou autres micromammifères ne trouent la bâche par le dessous (Pellet 2013, Pellet, Collaud et Brunel 2023) et ajouter une couche de 10cm de sable, puis un géotextile d'au moins 600 g/m². Cela permet de protéger l'EPDM (Pellet 2013) dont l'épaisseur doit être au minimum de 1,5 mm et qui est installée au-dessus du géotextile (Pellet, 2013). De la toile de jute d'une densité de 1000 g/m² et des lés de maille coco de 700g/m² sont ensuite ajoutés (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024) pour protéger l'EPDM. Le tout est recouvert de 20 cm de terre végétale permettant l'implantation des végétaux (Proniewski 2022). Ces textiles ne doivent pas dépasser l'extérieur de la couche d'étanchéité par risque de diminution du niveau d'eau par capillarité (Pellet, 2013). La Figure 26 résume les différentes couches qui peuvent être utilisées lors de la création de mare à l'EPDM.

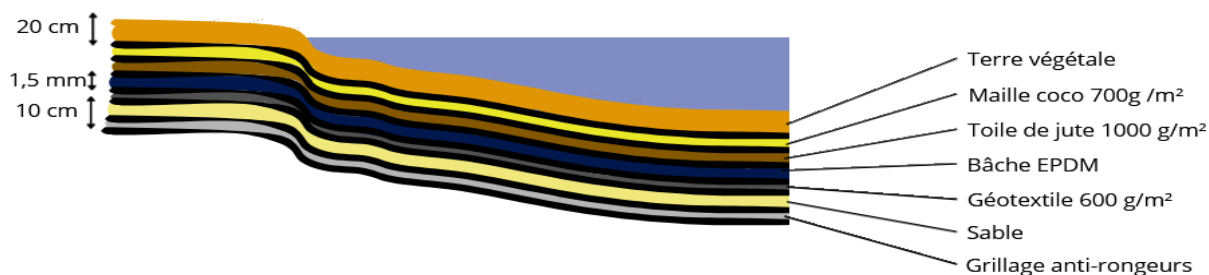


Figure 26. Les différentes couches qui peuvent être utilisées lors de la création de mare à l'aide d'une bâche EPDM.

Certaines couches sont optionnelles comme le grillage anti-rongeurs et le sable. La LPO AuRA préconise l'utilisation de différentes couches en fonction de la taille de la mare (Decotte 2024), comme résumé dans le Tableau 7.

Tableau 7. Couches à utiliser pour créer une mare avec de l'EPDM, en fonction de la surface. D'après Decotte, 2024.

Superficie	Grillage anti-rongeur	Sable	Géotextile	EPDM	Toile de jute	Maille coco	Terre végétale
3 à 15m ²	NON	NON	OUI : > 350 g/m ²	OUI : 1 ou 1,2mm	NON	OUI : > 700 g/m ²	NON
15 à 150m ²	NON	NON	OUI : > 350 g/m ²	OUI : 1 ou 1,2mm	OUI	OUI : > 700 g/m ²	NON
> 150m ²	NON	NON	OUI : > 350 g/m ²	OUI : 1 ou 1,2mm	NON	NON	OUI 10 à 20 cm

S'il n'y a pas de sable disponible, il est possible de surcreuser la mare de 20 cm, de tamiser la terre afin de la redéposer sans pierre et de la tasser : cela permet de créer un « matelas » pour la bâche (Métropole Rouen Normandie 2022). Si plusieurs lés d'EPDM doivent être mis en place, ils seront superposés sur une largeur d'au moins 20 cm et soudés par une thermocolle ou un adhésif double-face spécialement conçu, doublé d'une colle liquide pour pose de bâche EPDM (Métropole Rouen Normandie 2022). Ces colles doivent être garanties sans risque pour le milieu aquatique.

La bâche doit être posée du fond vers les berges et ne doit pas être tendue afin de ne pas se déchirer avec la force de l'eau (Métropole Rouen Normandie 2022). Il est nécessaire de laisser des plis lors de la pose. La bâche doit être lestée avec des pierres plates à l'endroit le plus profond ainsi qu'à chaque palier. Une fois la bâche installée, les pierres peuvent être retirées. Attention à bien la faire dépasser et à la recouvrir de terre, afin qu'elle ne se retrouve pas exposée au soleil, ce qui pourrait en causer une usure prématurée et donc entraîner des risques de fuites (Proniewski 2022). Les bords de la bâche et des géotextiles peuvent être enfouis dans une tranchée en bordure de mare pour être maintenus en place (Mallard, et al. 2023). Le tout peut être lesté, par exemple avec une couche de lestage minérale de 10 cm minimum, composée de grave 16-32 mm (ou 32-64 mm selon la pente). L'intérêt d'augmenter la granulométrie de la couche de lestage en fonction de la pente permet d'éviter que cette couche ne glisse au fond du bassin.

Le calcul de la longueur et de la largeur de bâche nécessaires pour imperméabiliser une mare est le suivant :

$$\begin{aligned} L_{b\grave{a}che} &= L_{mare} + (2 \times h_{mare}) + 0,5 \\ l_{b\grave{a}che} &= l_{mare} + (2 \times h_{mare}) + 0,5 \end{aligned}$$

Équation 1. Calcul de la longueur et de la largeur de bâche requises en fonction des dimensions de la mare. L = longueur, l = largeur, h = profondeur + 0.5.

La mare peut être creusée en colimaçon, comme l'illustre la Figure 27. La surface de la mare doit être suffisante pour permettre que les pentes restent douces. Pour ce faire, la pelleuse peut être positionnée au centre de la future mare et creuser les différents paliers de profondeur : 0 – 20 cm ; 50 cm ; 80 cm ; 1 à 1,20m (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024).

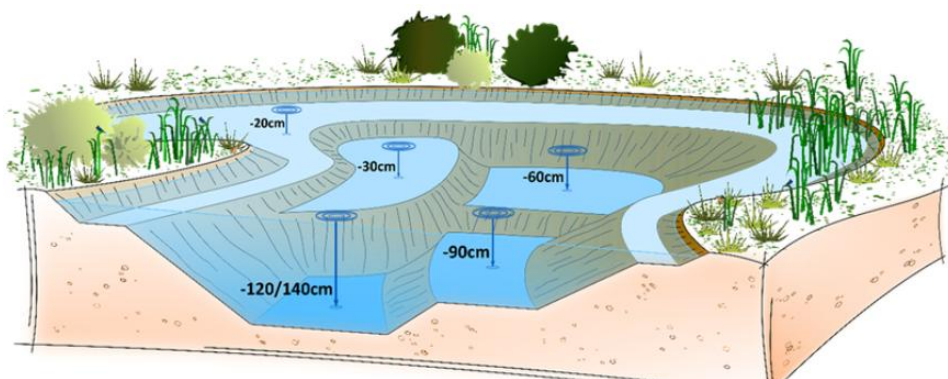


Figure 27. Schéma type des mares creusées en colimaçon. Issu de Decotte, 2024. ©PROGEO.

Une nuance est à apporter sur l'utilisation de la bâche EPDM. Bien que pratique et peu onéreuse, cette méthode ne devrait pas être celle choisie par défaut. Premièrement, la durée de vie de ce système est limitée à 15 à 20 ans maximum (Mallard, et al. 2023). De plus, le fait d'artificialiser le sol dans un milieu naturel est questionnable. Des objectifs bien précis, comme l'éducation à l'environnement, la création d'une mare « vitrine » qui permettrait d'insuffler une dynamique pour la préservation de ces écosystèmes, ou encore le soutien urgent à une population en danger peuvent cependant justifier la création d'une mare à l'aide d'une bâche EPDM. Certaines associations, comme Les Blongios ou EDEN, utilisent l'EPDM dans le cadre de création de mare en milieu urbain ; ils en proscrirent cependant l'usage en milieu naturel (Denis Lagache, com. pers. 2024). Ainsi, tant que des études sur la stabilité du matériau dans les mares ou les étangs ne seront pas effectuées, une réserve sera maintenue sur l'utilisation de ce matériau.

Comme évoqué plus haut, la couche d'imperméabilisation doit être surmontée d'une couche de substrat, permettant le développement d'espèces végétales (Pellet 2013). De la terre végétale maigre ou du limon sur 5 cm d'épaisseur permet une végétalisation rapide qui convient à la grenouille agile et aux tritons. Ce substrat accélère la dynamique végétale et demande un entretien fréquent.

Des graviers roulés sur 5 à 10 cm d'épaisseur peuvent être mis en place. Ils sont favorables au crapaud calamite, au triton crêté ou à la rainette verte. Les graviers doivent être lavés pour limiter l'apport de nutriments. Ce substrat permet une végétalisation lente de la mare, qui nécessite peu d'entretien.

Une fois la mare creusée, et en fonction du type d'imperméabilisation choisie et du contexte local, la terre excavée peut être réutilisée ou doit être exportée. La Figure 28 illustre la manière dont il faut utiliser la terre en fonction du contexte, selon les préconisations données par la LPO AuRA (Decotte 2024).

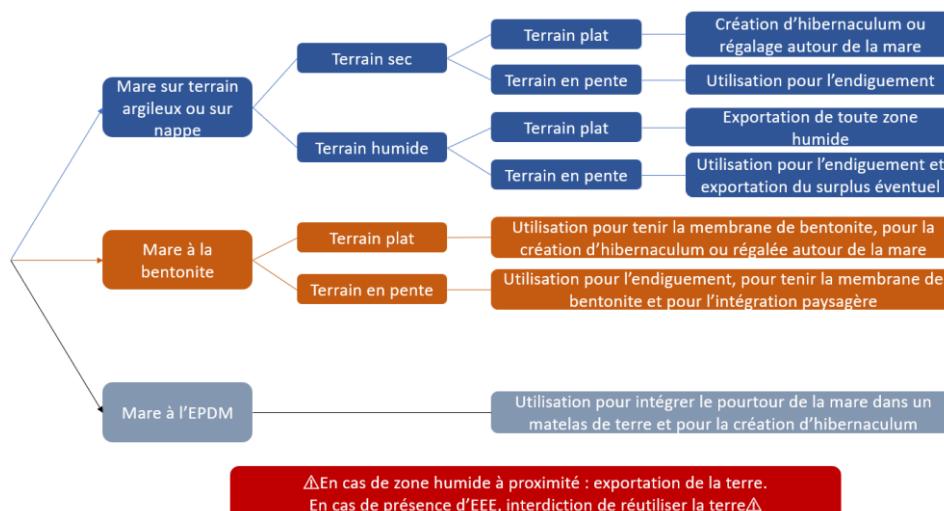


Figure 28. Utilisation de la terre excavée en fonction du type d'imperméabilisation. D'après Decotte, 2024.

Mise en eau

Le mode d'alimentation en eau de la mare va conditionner son niveau d'eau et ainsi la biodiversité qui s'y développera. Si les travaux ont nécessité la mise en place d'une couche d'argile, le remplissage de la mare peut s'effectuer avec de l'eau de pluie grâce un système de collecte d'eau. Une telle opération permet de limiter le craquellement de l'argile. Si l'eau est légèrement acide, elle tendra vite vers la neutralité grâce aux algues planctoniques qui se développeront en son sein (Proniewski 2022).

L'alimentation en eau peut aussi s'effectuer par un système de fossés, qui permet de faciliter le remplissage de la mare. Cela permet également un brassage et une légère oxygénation de l'eau. Attention cependant, s'il y a des cultures ou des routes à proximité du fossé, celui-ci jouera un rôle de tampon, il ne sera pas donc pas curé en amont de la mare pour éviter que des sédiments et nutriments n'en contaminent l'eau (Arnaboldi et Alban 2007). Une alimentation par des eaux provenant de fossés risque également d'accélérer le processus d'eutrophisation, ce qui peut entraîner une perte de diversité biologique et une simplification des communautés (Wang, et al. 2021).

Si la mare est alimentée par une source qui transporte des matières organiques et minérales, il faut veiller à ce que cette dernière ne se jette pas directement dans la mare, au risque d'en accélérer le comblement (Decotte 2024). Si la mare est creusée à l'affleurement de la nappe phréatique. Un apport d'eau par la nappe phréatique assure aux mares un renouvellement de l'eau et un léger courant, qui ralentit l'eutrophisation et l'atterrissement du milieu (Oertli et Frossard 2013). Enfin, la mare, généralement située en point bas, se remplira grâce au ruissellement et aux eaux météoriques. Son niveau d'eau sera donc dépendant des régimes de précipitations et de la température qui conditionnent l'évaporation de l'eau.

Finitions

Créer, restaurer et gérer des réseaux de mares devrait avoir pour but de soutenir et promouvoir la richesse et la diversité des espèces et fonctions écosystémiques terrestres et aquatiques (Cuenca-Cambronero, et al. 2023, Oertli, Decrey, et al. 2023). Il est alors nécessaire de s'intéresser aux alentours de la mare (Bartrons, et al. 2024) : l'environnement aquatique et terrestre doivent tous deux être prise en compte, car ceux-ci sont interdépendants. L'exemple des amphibiens et des odonates, qui utilisent à la fois les milieux aquatiques et terrestres, reflète bien cette nécessité. La Figure 29 illustre les milieux utilisés par les odonates pour accomplir leur cycle de vie.

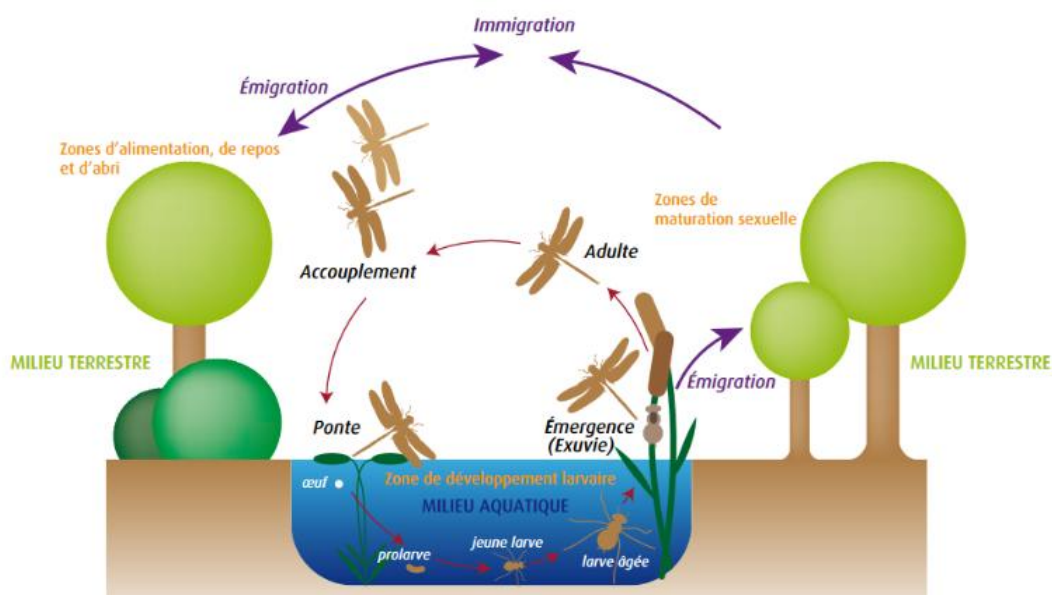


Figure 29. Cycle de vie des odonates. Issu de OPIE-SFO, 2012.

Les abords de la mare représentent une zone commençant au bord du plus haut niveau d'eau et s'étendant jusqu'à 30 à 200 mètres de distance (Joly, et al. 2008, Pellet 2013, Aubé 2020). Bernard (2019) considère que les abords de la mare correspondent à une zone tampon autour de la zone normale en eau, dont la largeur doit être égale à au moins deux fois le plus grand diamètre de la surface normale en eau : si le diamètre de la mare est de 50 mètres, les abords considérés seront larges de cent mètres.

Autour de la mare, différents types d'abris peuvent être mis en place : des abris temporaires diurnes (morceaux de bois, blocs), des refuges où les adultes et immatures peuvent se cacher en dehors des périodes de chasse (souches, végétation dense, blocs, ourlets de haies, bosquets...) et des refuges hivernaux où ils s'enfouissent pour passer l'hiver (sols meubles...) (Grossi, et al. 2010). Ainsi, il est plus que bienvenu de disposer aux alentours de la mare de multiples niches écologiques, ce qui favorise une colonisation plus rapide de cette dernière (Lesbarrères, et al. 2010, Proniewski 2022). Les tas exposés au soleil accueilleront plutôt des reptiles, tandis que ceux à l'ombre seront plutôt propices aux amphibiens (Motte, et al. 2012). La réhabilitation de milieux connexes comme des prairies fleuries, le maintien d'éléments paysagers anciens (souches, bois mort, vieilles haies larges...) et l'entretien de la mare pour favoriser un milieu lumineux et chaud sont autant de mesures à mettre en place pour accueillir les espèces inféodées à ces milieux.

Des hibernaculums à destination des petits vertébrés peuvent être mise en place, à partir des résidus de coupe, des pierres, de l'herbe ou encore des feuilles (Decotte 2024). Ils doivent être construits selon l'alternance de matériaux de volume important et faible, afin de créer une hétérogénéité de cavités, propices à l'accueil d'une faune diversifiée. Ces hibernaculums sont presque indispensables aux amphibiens émergents d'une mare déconnectée d'un milieu terrestre dense (haie, boisement) (Decotte 2024). Le fond de l'hibernaculum peut également être décaissé afin que ce gîte présente une partie stable thermiquement. La Figure 30 illustre le principe de l'hibernaculum et la photographie 9 en montre un exemple.

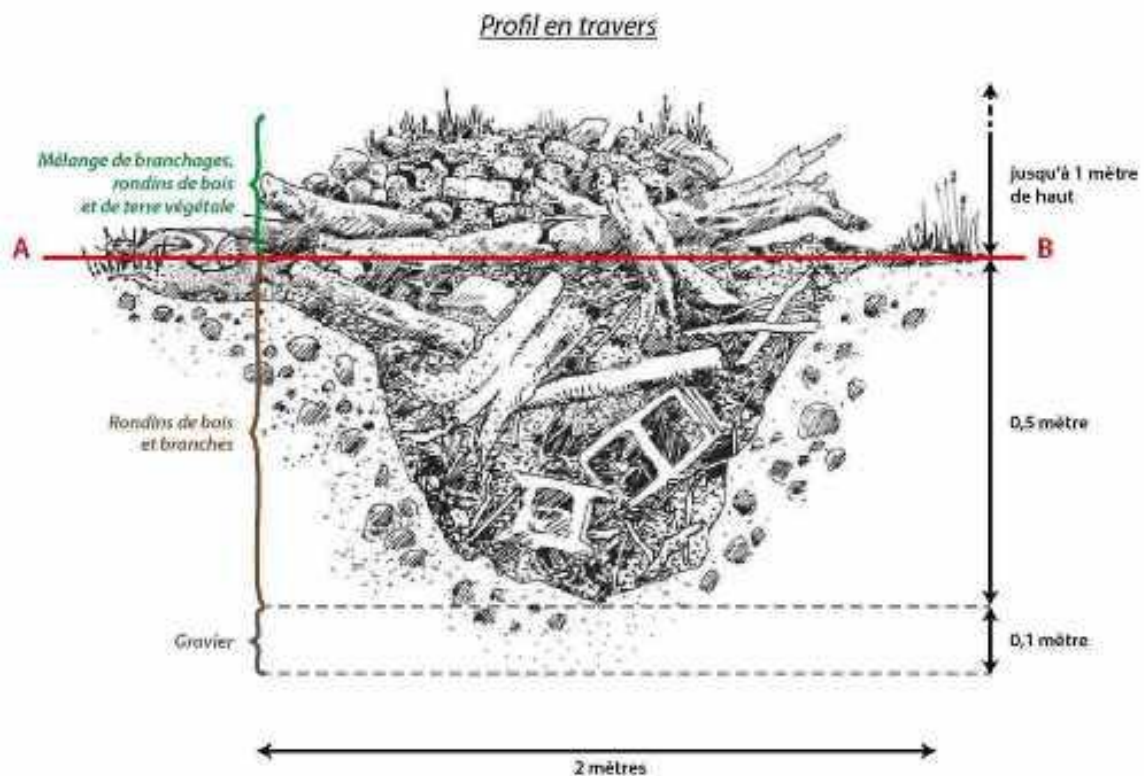


Figure 30. Illustration de l'hibernaculum. Issu de ADT, s.d.



*Photographie 9. Hibernaculum mis en place aux abords d'une mare – Saint-Paul-lès-Monestier (Isère).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité.*

Des haies sèches peuvent être créées avec les résidus de coupes de ligneux aux abords de la mare, jouant le rôle de coupe-vent et permettant d'accueillir des vertébrés un peu plus gros (Decotte 2024). Des spirales aromatiques sont également intéressantes pour servir de support aux pollinisateurs. Tous ces aménagements connexes semblent de plus bien adaptés au contexte urbain, qu'ils servent de support d'éducation, de protection contre les dégradations (les haies sèches peuvent permettre de délimiter un emplacement) ou de lieux de refuge nécessaires à une biodiversité sous pression.

Une gestion adaptée sera également mise en place. Par exemple, il est possible de faucher les abords de la mare en fin de saison et d'exporter la matière végétale pour limiter l'enrichissement du milieu. Les plantes ligneuses s'installant à proximité de la mare pourront également faire l'objet de gestions adaptées aux objectifs écologiques : elles peuvent être systématiquement retirées dans un rayon de 5 mètres autour de la mare si un milieu bien ensoleillé est désiré ; ou arrachées partiellement si des zones d'ombrages doivent être maintenues. Les arbres adaptés peuvent être taillés en trogne. Il est possible de créer des aménagements avec un site de base comme une grande mare ou un étang, entouré d'un archipel de petites mares (Faverot, et al. 2001). Les actions de gestion peuvent aussi concerner le maintien de petits milieux temporaires (réseaux de biefs, de fossés...) qui sont des milieux difficiles à suivre et maintenir, mais dont le caractère aléatoire peut être intéressant et servir les objectifs écologiques.

Afin d'assurer un aspect de sécurité et de non-dérangement de la mare, une clôture perméable (pour permettre la circulation des petits animaux) peut en protéger les abords du piétinement humain et/ou animal. Si la mare a vocation d'abreuvoir pour des vaches, des clôtures partielles ou des pompes à museaux peuvent être installées. L'installation de clôtures partielles permet de limiter le piétinement et l'érosion des berges, favorisant l'augmentation de la végétation aquatique et ripicole, ce qui a des chances d'améliorer la biodiversité locale (Westgate, et al. 2022). La pompe à museau permet d'abolir le piétinement et d'éviter les déjections animales dans l'eau. Il est recommandé d'installer les clôtures à une distance de 2 mètres du niveau d'eau et de prévoir une pompe pour 10 bêtes. La pompe est disposée hors de la mare et doit être fixée pour ne pas être déplacée par le bétail. Il convient également de bien attacher la crépine (point d'absorption de l'eau, qui permet sa filtration) à une pierre plate placée au point le plus profond de la mare. La pompe à museau doit être désactivée durant l'hiver pour ne pas être abîmée par le gel (Laffite, Mougey et Lemaire 2003, Laffite, Mougey, et al. 2009). La Figure 31 illustre le principe de la pompe à museau. La photographie 10 représente un mode d'accès à l'eau de la mare pour les vaches.

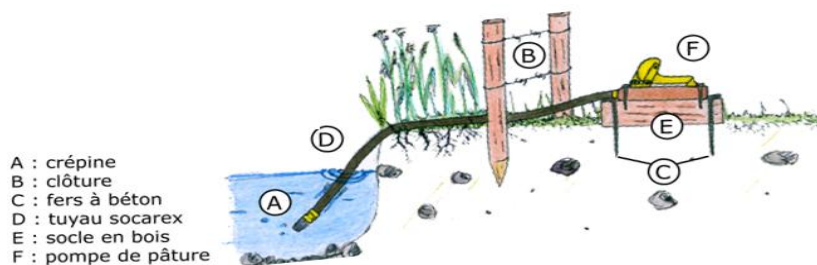


Figure 31. Principe de la pompe à museau. Modifié de GAL Pays des Tiges et Chavées, 2019.



Photographie 10. Accès des vaches à la mare - Havelange (Belgique).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité.

Concernant la colonisation par des espèces animales, celle-ci est conditionnée par le développement des végétaux (donc par la banque de graines du sol) et par les pools d'espèces présents à proximité (et leurs capacités de dispersion). L'importation d'espèces végétales doit être limitée, au risque d'entraîner la prolifération d'EEE tels que des gastéropodes ou des insectes (Motte, et al. 2012). Des semences locales, adaptées au milieu et favorables à la biodiversité ainsi qu'aux objectifs fixés peuvent tout de même être utilisées (Mallard, et al. 2023). La décision de végétaliser ou non la mare nouvellement creusée est conditionnée par le type de mare et le contexte local. Si la mare est creusée dans de l'argile ou alimentée par nappe, alors il est conseillé de laisser s'exprimer la banque de graines locale. En cas d'étanchéification à l'EPDM ou à la bentonite, il est cependant conseillé d'implanter des végétaux possédant le label Végétal Local®. De plus, en cas de présence d'EEE avérée à proximité du site, la végétalisation est fortement conseillée afin d'occuper les niches écologiques disponibles et donc de limiter le développement des EEE (F. Labat, com. pers. 2024). Une liste d'espèces héliophytes et hydrophytes adaptées à la végétalisation d'une mare est présentée en annexe 9. Cette liste est propre à la région Auvergne -Rhône-Alpes mais certaines plantes peuvent être utilisées ailleurs en France.

La vitesse de la colonisation des mares par les végétaux est conditionnée par le type de substrat sur lequel celle-ci s'inscrit. Un substrat limono-argileux peut être recolonisé en quelques mois à partir d'avril, un substrat de vases organiques épaisses en un mois après la mise à nue et un substrat sableux est moins propice au développement de la végétation (Arnaboldi et Alban 2007).

Concernant l'usage de la mare par les populations humaines, la pose de mobilier urbain à proximité de la mare (tables de pique-nique, jeux pour enfants...) doit être limitée afin d'éviter une fréquentation trop forte, potentiellement dommageable pour la faune et la flore de la mare. Des bancs, tables etc. peuvent être implantés en retrait de la mare, permettant tout de même de l'admirer sans lui nuire. De même, la pose de barrière doit se limiter aux zones à risque, pour éviter que cela ne nuise à la qualité paysagère. Les risques liés à la chute d'une personne ou d'un animal doivent être résolus par des traitements de berges adaptées (pente douce, plantations

rivulaires qui permettent de limiter l'accès à l'eau libre etc.). Des fossés, des haies basses taillées etc. peuvent permettre de limiter l'accès à la parcelle, notamment de la part des véhicules (CAUE 27 2021).

Une mare, une fois creusée, va suivre la dynamique inhérente à cet écosystème de transition si les conditions météorologiques permettent son remplissage et donc son bon fonctionnement. Elle va se végétaliser de plus en plus et se combler petit à petit. De plus, elle peut être soumise à bon nombre de pressions et perdre ainsi une partie de ses fonctions. Il convient alors d'intervenir pour espérer retrouver des fonctionnements écologiques intéressants. De nouveaux types de travaux peuvent prendre part sur les mares, dans un but de restauration écologique de ces écosystèmes, tel que détaillé dans la partie III.

c. Mesures de gestion à mettre en place en fonction d'un taxon visé

Les mares accueillent une biodiversité riche, qui répond à des conditions spécifiques pour se développer. La dynamique des populations, les potentiels de reproduction, les capacités de dispersion et de colonisation des espèces cibles ne sont pas des paramètres sur lequel le gestionnaire peut agir. Celui-ci peut cependant faire en sorte d'influencer quatre paramètres importants, qui conditionneront la survie des espèces s'implantant dans la mare : l'eau, la profondeur, la lumière et le substrat (Arnaboldi et Alban 2007). Un point de vigilance doit être soulevé : le fait de favoriser la préservation d'une espèce ou d'un groupe d'espèce est une approche commune pour laquelle il convient de faire attention à ne pas nuire d'autres espèces non ciblées par les mesures de gestion (Labat, com. pers. 2025). La présente partie a pour but de recenser les différentes mesures de gestion à appliquer pour préserver un taxon précis.

Les amphibiens

A large échelle, la conservation des amphibiens peut passer par le maintien d'écosystèmes fluviaux primaires dont le débordement permet la création de nouveaux chapelets de mares temporaires, sur des surfaces importantes.

Comme expliqué dans la partie I.b, la conservation du Triton crêté permet celle d'une mosaïque d'habitats complexes et donc de pléthore d'espèces. Le Triton crêté est une espèce inféodée aux paysages ouverts et plats, possédant un réseau bocager dense (Grossi, et al. 2010). Il se trouve dans des zones où sont mêlés des prairies permanentes et des bosquets. Il se reproduit dans des milieux aquatiques variés mais préfère les mares moyennes, d'une superficie comprise entre 50 à 200-500 m², profondes d'environ 1 m, permanentes ou non et ensoleillées (Natagora 2015). Il préfère les mares bien végétalisées. Les mares couvertes entre deux tiers d'hydrophytes et entre un quart et la moitié d'hélophytes, avec notamment quelques berges dégagées propices aux parades nuptiales, lui sont parfaitement adaptées. Il a une préférence pour une eau à pH neutre mais supporte des variations de pH allant de 4,4 à 9,5 (Grossi, et al. 2010). La gestion des mares à Triton crêté passe ainsi par la mise en lumière sur au moins deux tiers de la surface qui favorise la présence de végétation et par le maintien de milieux connexes qui permettent à l'espèce d'accomplir l'ensemble de son cycle de vie : présence de haies, tas de pierres, bosquets, densité de 4 à 8 mares par km², etc.

Si le triton crêté affectionne les mares végétalisées, certains amphibiens colonisent cependant les mares pionnières. Les mares sur substrat sableux ou graveleux comme les carrières sont des sites de prédilection pour l'Alyte accoucheur, le Crapaud calamite, le Pélobate cultripède (*Pelobates cultripipes*), voire le Pélodyte ponctué. Pour favoriser ces espèces, il convient de maintenir un talus sableux végétalisé à 20-30%, adjacent aux frayères et exposé au sud ou à l'ouest, qui servira de lieu de chasse, de quartiers diurnes et de site d'hivernage. Un bas-fond faiblement végétalisé permettant de récolter les eaux de ruissellement sera également maintenu (Faverot, et al. 2001), ainsi que des connectivités avec les sites de ponte et d'hivernage.

Ces sites peuvent également accueillir ponctuellement le Sonneur à ventre Jaune, mais pas de façon prioritaire. Celui affectionne les zones alluviales, les zones de glissement superficiel, les zones marécageuses, les prairies inondables, les bas-marais, les sites d'extraction ou de construction, les petites gouilles, les ornières des chemins... Son habitat terrestre est constitué de forêts richement structurées et de milieux ouverts comprenant de nombreuses cachettes (murets, paille, bois mort, etc.). L'hivernage se passe dans des caches à l'abri du gel,

dans ou à proximité des forêts (Mermod, et al. 2010). Il se reproduit dans des mares pionnières pauvres en végétation, qui se réchauffent rapidement. Les plans d'eau pourvus de prédateurs pour les œufs (larves d'insectes, tritons, poissons) lui sont très peu attractifs et les mares anciennes peuvent être intéressantes si elles s'assèchent une partie de l'année (Mermod, et al. 2010). Les femelles répartissent les pontes dans différents plans d'eau susceptibles de s'assécher (Hugo, et al. 2021). Le maintien de cette espèce dépend ainsi de la présence de nombreux petits plans d'eau temporaires (Mermod, et al. 2010, Pellet 2013). Mermod et al. (2010) ont synthétisé, dans leur notice pratique pour la conservation du Sonneur à ventre jaune, une vue d'ensemble des mesures à mettre en place pour la conservation de ce batracien. Celle-ci est reprise dans l'annexe 10.

Les macro-invertébrés aquatiques

La composition des communautés d'invertébrés est dépendante d'un très grand nombre de facteurs environnementaux comme l'altitude, le climat, la complexité de l'habitat, la couverture de végétation littorale, la profondeur, etc. (Labat, Thiébaud et Piscart 2024).

Les cortèges d'odonates présents dans les mares permanentes de plaines sont assez banals, composés par le Leste vert (*Chalcolestes viridis*), la Nymphe au corps de feu (*Pyrrhosoma nymphula*), l'Agrion élégant (*Ischnura elegans*), l'Agrion jouvencelle (*Coenagrion puella*), l'Æschne bleue (*Aeshna cyanea*), l'Anax empereur (*Anax imperator*), la Libellule déprimée (*Libellula depressa*), l'Orthétrum réticulé (*Orthetrum cancellatum*), le Sympétrum sanguin (*Sympetrum sanguineum*) et le Sympétrum strié (*Sympetrum striolatum*) (Grossi, et al. 2010). Les plans d'eau dont la surface est inférieure à 1000 m² ne sont pas les milieux de prédilection d'espèces patrimoniales d'odonates (Grossi, et al. 2010). Ainsi, la préservation des odonates dans une mare consiste à maintenir un niveau d'eau et une capacité d'ensoleillement propices aux cycles larvaires, à conserver une végétation d'hélophytes dans la mare et aux alentours de celle-ci, ainsi que des micro-habitats variés et à garantir l'absence de poissons.

D'une manière générale, la conservation des macro-invertébrés aquatiques doit suivre un précepte simple : celui de diversifier au maximum les différents habitats que présente la mare et ses abords et d'exclure les poissons du milieu. Des niveaux d'eau de profondeurs différentes, des irrégularités dans les berges et sur le fond de la mare, ainsi que des cortèges végétaux différenciés serviront à la préservation de ces espèces.

Les végétaux aquatiques

Pour préserver les espèces végétales caractéristiques des mares, il convient de rajeunir le milieu et d'intervenir sur la turbidité et sur la quantité de vase présente au fond de l'eau. Les characées par exemple sont des algues qui se développent à des paliers de profondeurs diverses, lorsque la hauteur de vase n'excède pas 20 centimètres et que la turbidité est faible (Auger, et al. 2022). Les espèces de characées présentes sont dépendantes du régime hydrique, de la salinité, du pH et sont associées à des eaux oligotrophes à mésotrophes (Mouronval, et al. 2015).

Le bon développement des végétaux dépend essentiellement de l'accès à la lumière, lui-même conditionné par la turbidité et les taux de nutriments qui induisent l'eutrophisation. Les berges en pentes douces, les paliers de profondeur et tous les autres paramètres de diversification des niches écologiques au sein des mares évoqués plus haut permettent l'implantation d'une flore variée. Encore une fois, il convient également d'éviter les poissons et les écrevisses dans le milieu pour permettre un bon développement de la flore.



Reprise de la végétation 1 an après l'arrachage de typhas - Havelange (Belgique)
© Timothé Courteille

III. Restauration écologique des mares

Cette partie a pour but de discuter des préconisations et techniques liées à la restauration écologique des mares.

a. Planification de la restauration écologique

Comme définie dans la partie I.a, la restauration écologique est un processus permettant à un écosystème dégradé de retrouver ses fonctionnalités perdues suite à une perturbation. De la même manière que pour la création de mares (cf II), la restauration doit se faire dans des périodes d'intervention précises permettant de limiter l'impact sur la biodiversité, tel que précisé par la Figure 32.

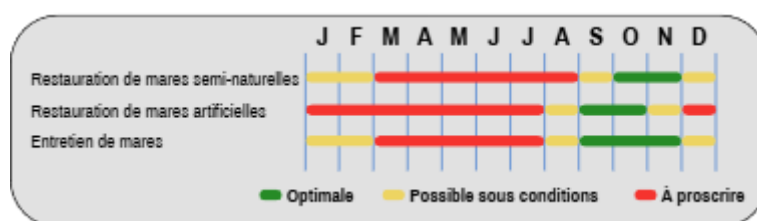


Figure 32. Calendrier de réalisation des travaux de restauration écologique. Modifié de Decotte, 2024.

Caractérisation de l'état écologique des mares

Une mare en bon état est caractérisée par le maintien de ses fonctions écosystémiques : la capacité à stocker de l'eau, que celle-ci soit claire, de bonne qualité, suffisamment oxygénée et sans pollution, que la mare soit dépourvue d'EEE et accueille une biodiversité adaptée au contexte local. Ses cycles de nutriments sont équilibrés, ses différents compartiments et habitats (zones de reproduction, de refuge, de repos et de nourrissage pour la faune) sont préservés et elle assure une connectivité écologique préservée avec les autres écosystèmes alentours (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). La dégradation de ces paramètres conditionne les besoins en restauration des mares.

Une mare en mauvais état peut globalement se résumer à une mare non fonctionnelle, dont l'eau est turbide, ce qui ne permet pas la pénétration de la lumière et entraîne la mort des végétaux qui oxygénaient l'eau et jouaient le rôle d'habitat pour de nombreuses espèces faunistiques (Hilt, et al. 2017). Le passage d'un état clair à un état turbide peut être conditionné par un apport massif de nutriments, par des événements ponctuels (orages, crues...) ou par la présence de certaines espèces (poissons, écrevisses...). Un point de vigilance doit être soulevé : une mare comblée ou qui retient moins l'eau ne signifie pas qu'elle est nécessairement en mauvais état, puisqu'elle peut abriter des espèces qui ne se retrouvent pas nécessairement dans les mares ou tendre vers des fonctionnements écologiques différents, plus proches de ceux des zones humides ou des mares temporaires.

Ainsi, la caractérisation de l'état de la mare consiste à rendre compte de sa fonctionnalité. La qualification de « bon » ou « mauvais » état est effectuée sur base de suivis de la faune, de la flore et de l'environnement tel que détaillé dans la sous partie « protocoles de suivi ». Par exemple, certaines plantes aquatiques non enracinées sont bioindicatrices d'une bonne qualité de l'eau ou d'une trop forte concentration en nutriments et les plantes aquatiques enracinées sont souvent caractéristiques d'un bon état de la mare. Des algues de type characées peuvent être indicatrices d'une eau non polluée, tandis que d'autres types d'algues comme les cyanobactéries témoignent d'une eau riche en nutriments (PRAM Normandie 2019). Une prolifération excessive d'algues filamenteuses peut témoigner d'une eau trop riche en azote (Mallard, et al. 2023).

Étapes de la restauration écologique

Plusieurs grandes étapes avant, pendant et après les travaux sont nécessaires à l'aboutissement du processus de restauration écologique. La Figure 33 présente ces étapes.

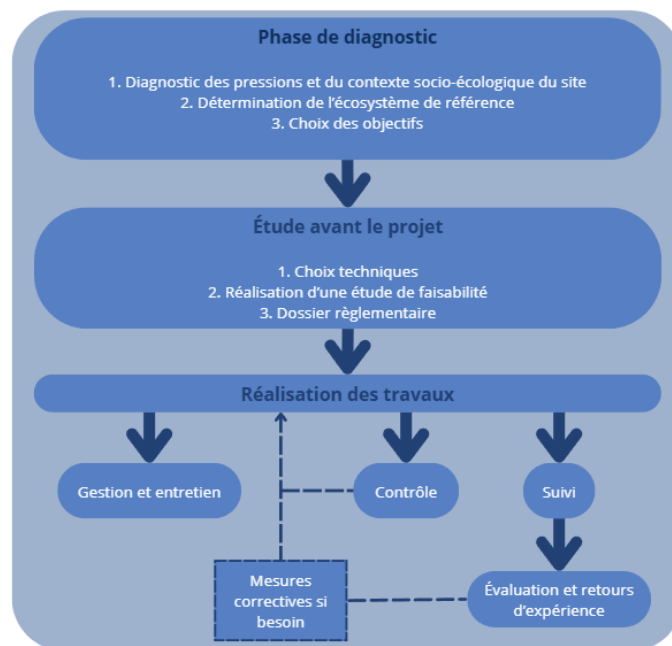


Figure 33. Les étapes d'un projet de restauration écologique. Modifié de Office Français de la Biodiversité, 2022.

Phase de diagnostic : Cette première phase consiste en l'étude du milieu avant toute intervention de restauration, par la réalisation d'un état initial de l'écosystème afin de **caractériser son contexte socio-écologique et la source de dégradation qui empêche son bon fonctionnement** (Michelot et Simon 2015, Herteman, Norden et Vandersarren 2023). L'état initial permet ainsi d'identifier l'altération des fonctions écologiques de l'écosystème et les acteurs qui doivent être rassemblés autour du projet de restauration. Les parties prenantes concernées par un projet de restauration sont présentées en Figure 34.

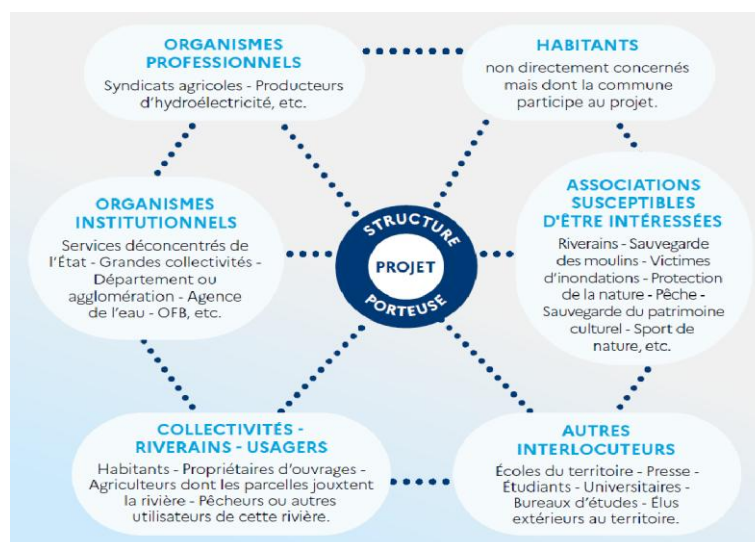


Figure 34. Les acteurs concernés par un projet de restauration écologique. Issu de Office Français de la Biodiversité, 2022.

Diagnostic des pressions et du contexte du site : Plusieurs éléments doivent être pris en compte pour réaliser le diagnostic : la mare est-elle isolée ou s'inscrit-elle dans un réseau de mares ? Quelle est sa place dans le bassin versant, quelle est son alimentation en eau, à quelles pressions fait-elle face (Oertli et Frossard 2013, Mallard, et al. 2023) ? Le fait d'étudier la mare dans son contexte paysager permet en outre de la replacer par rapport à d'autres zones et milieux humides, au statut foncier, de préciser sa localisation géographique, de constater les statuts administratifs ou de protection, les usages historiques, de caractériser le projet par rapport aux

connexions écologiques (Luca Fagan, com. pers. 2024) et de consolider la trame verte et bleue de manière réfléchie (SNPN & CAUE-IDF 2016). Des statistiques de précipitations et une étude cartographique puis sur le terrain permettent d'évaluer ces éléments (Oertli et Frossard 2013). Il est recommandé d'effectuer un inventaire naturaliste un à deux ans avant le début des travaux, d'étudier le sol, l'environnement proche, de recueillir les témoignages des propriétaires et autres locaux, etc. Différentes bases de données portées par les Programmes Régionaux d'Actions en faveur des Mares (PRAMs) permettent aux citoyens de situer des mares sur une carte en ligne. Des photographies et des descriptions peuvent être ajoutées, selon les informations présentées en annexe 11. **Le choix d'intervention doit ainsi être guidé par les pressions constatées et les objectifs identifiés.**

Afin d'illustrer la phase de diagnostic par un exemple, il est possible d'imaginer une mare de village alimentée par le ruissellement. Elle abrite des characées et sa surface est exempte de végétation. Une année cependant, des végétaux se développent massivement en surface, ce qui empêche la pénétration de la lumière dans l'eau. Ainsi, la mare qui remplit initialement une fonction d'habitat pour les characées voit cette fonction dégradée à cause de la prolifération de végétaux à la surface. Les sources de dégradation peuvent être multiples (changement de pratiques en amont qui entraîne un excès de nutriments dans l'eau, présence d'espèces envahissantes, modification des infrastructures paysagères sur le bassin versant, changement des pratiques de gestion autour de la mare...) et doivent être investiguées. Les parties prenantes à impliquer pourraient être la collectivité locale, les usagers réguliers de la mare et les acteurs potentiellement à l'origine des dégradations.

Choix de l'écosystème de référence. Suite à la caractérisation de l'état initial, l'écosystème de référence peut alors être déterminé. Cette référence représente l'écosystème tel qu'il pourrait s'exprimer sans dégradation (Gann, et al. 2019, Huc, et al. 2023, Laforge, et al. 2024). Il a pour but de décrire aussi précisément que nécessaire le meilleur état atteignable et qu'il est souhaitable de viser (Chenot 2018, Gann, et al. 2019), de planifier le projet de restauration et d'en évaluer l'avancement et le succès (Le Floc'h et Aronson 1995, Chenot 2018, Laforge, et al. 2024). L'écosystème de référence n'est pas nécessairement basé sur un état antérieur de l'écosystème dégradé. Quand il manque des informations relatives au site avant la dégradation, c'est la compilation de plusieurs sites de référence ou la comparaison avec un écosystème proche et dans un contexte semblable qui donnera la meilleure notion possible de cette référence.

Dans le cadre de l'exemple précédent, l'écosystème de référence correspond à un état antérieur, lorsque les pressions étaient suffisamment faibles pour permettre le développement des characées.

Détermination des objectifs écologiques. Après le choix de l'écosystème de référence, les objectifs écologiques doivent être fixés. Cette composante est plus développée dans la sous-partie nommée « Définition des objectifs et évaluation de leur atteinte ».

Concrètement, par rapport à la mare utilisée en exemple, les objectifs de restauration sont : retrouver une couverture de characées au fond de la mare de x%, en y années. Les objectifs intermédiaires fixés peuvent être le contrôle de la teneur en nutriments de l'eau, la quantité de lumière qui y pénètre, le taux de végétaux flottants en surface...

Étude avant-projet : Une fois l'état initial établi et les objectifs de restauration fixés, le projet concret doit être envisagé. La question des types et du degré d'interventions nécessaires à l'atteinte des objectifs peut alors être soulevée, la gestion se focalisant prioritairement sur les interventions les moins traumatisantes pour le milieu si celles-ci permettent d'atteindre les objectifs fixés (OPIE 2016). Un arbre décisionnel simplifié permettant d'envisager le degré d'intervention est présenté en Figure 35. Enfin, toutes les réflexions préalables doivent être passées au crible des aspects logistiques et pratiques (moyens financiers et humains, calendrier...) pour déterminer si le projet est faisable (Michelot et Simon 2015, Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Si ce n'est pas le cas, le processus doit être revu : la durée nécessaire à la restauration peut être allongée, l'écosystème de référence peut être simplifié... Cette réflexion permet d'identifier le niveau d'ambition maximale du projet.

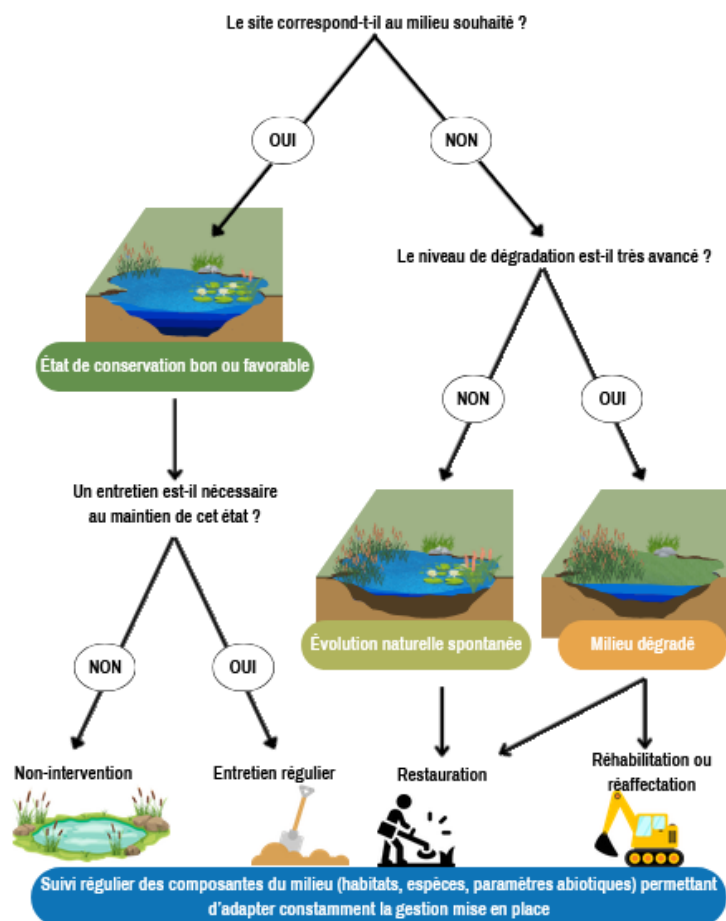


Figure 35. Arbre décisionnel simplifié permettant d'anticiper le degré d'intervention sur le milieu. Modifié de OPIE, 2016.

Parallèlement au choix des aspects techniques et logistiques, différents scénarios de restauration peuvent être définis. Comparer plusieurs hypothèses joue un rôle important dans un cadre de concertation puisqu'une telle approche favorise les échanges entre les acteurs (Michelot et Simon 2015). Quelques critères d'aide à la construction de scénarios sont présentés en annexe 12. Les différents scénarios peuvent être comparés quant à leur impact vis-à-vis du changement de fonctionnalité et de leur réversibilité, leurs conséquences sur les usages du milieu, les questions financières, de faisabilité ou encore de pérennité. Le scénario le plus réaliste vis-à-vis des attentes des acteurs et des moyens disponibles sera retenu (Michelot et Simon 2015). Les modalités de suivis et d'évaluations de la réussite de la restauration sont discutées à cette étape.

Concernant la mare prise en exemple, les mesures suivantes peuvent être définies à cette étape : le travail s'effectuera à la main. Les végétaux flottants seront retirés, x mètres linéaires de haie seront plantés en travers de pente pour filtrer l'eau et les pourtours de la mare seront laissés en libre évolution pendant 2 ans. Une fois la mare restaurée, un entretien fréquent annuel ou bisannuel permettra le contrôle des ligneux aux abords de celle-ci, la bonne santé de la haie ainsi que le retrait d'éventuelles proliférations de végétaux aquatiques.

Ainsi, la phase pré-opérationnelle est primordiale pour orienter les travaux. Elle permet de définir les objectifs écologiques, les choix techniques et les mesures de suivi.

Procédures règlementaires : Les procédures règlementaires relatives à la restauration de la mare doivent être effectuées. Elles permettent de procéder aux travaux en accord avec la législation locale et nationale en vigueur. Les aspects règlementaires relatifs aux mares sont détaillés dans la partie I.a.

Réalisation des travaux : Une fois les précédentes étapes accomplies, le projet peut avoir lieu. Si des prestataires sont requis pour procéder aux travaux, leur accompagnement sur le terrain est primordial pour leur expliquer les attentes du projet et s'assurer qu'elles soient comprises (Luca Fagan, com. pers. 2024). Comme mentionné plus haut, un suivi post travaux doit être mis en place selon des objectifs intermédiaires prédéfinis. Des mesures correctives peuvent être apportées si besoin, afin de répondre aux objectifs fixés.

Il peut arriver que la restauration soit considérée comme un échec. Cette notion est à nuancer. L'échec doit être considéré au regard de l'atteinte ou non des objectifs qui avaient été fixés. Cependant, comment savoir si la restauration est un échec quand le délai de « réponse » de la biodiversité – qui dépend de paramètres non contrôlables par le gestionnaire, tels que les dynamiques de population, les conditions climatiques etc. – est variable ? (Frédéric Arnaboldi, com. pers. 2024). L'évaluation des objectifs écologiques seuls ne suffit pas à déterminer le succès ou l'échec de la restauration : une limite temporelle doit également être fixée, qui dépendra de l'écosystème considéré, de son environnement et de son historique.

De même, la non-atteinte des objectifs de restauration ne signifie pas que l'opération est un échec pour la biodiversité : les travaux engagés peuvent répondre à d'autres enjeux écologiques qui n'avaient pas été envisagés. Par exemple, si la mare restaurée a une tenue de l'eau temporaire alors que les objectifs visaient à obtenir une mare permanente, celle-ci jouera tout de même d'autres rôles : accueil d'espèces différentes, diffusion de l'eau dans le sol, etc. (CAUE 27 2021). La ré-étanchéification peut bien-sûr être opérée en fonction des objectifs, par exemple si la pièce d'eau a une vocation de retenue d'eau, récréative, d'éducation ou ornementale. Dans cette optique, la réflexion en réseau de mares est intéressante : **des objectifs de restauration peuvent être définis à la fois pour chaque pièce d'eau individuelle et pour le réseau de mares dans son ensemble**. L'échec de restauration de quelques mares n'est pas forcément dommageable et peut éventuellement être positif, à l'échelle du réseau.

Enfin, l'atteinte (ou non) des objectifs de restauration permet de réaliser des retours d'expérience (REX) qui constituent une base de données propice aux gestionnaires. Les REX renseignent sur les techniques employées en fonction du type d'écosystème restauré. Ils permettent la transmission de connaissances et apportent une analyse critique des travaux effectués, améliorant de ce fait leur réalisation et les méthodes utilisées. Certains organismes régionaux bancarisent les REX de leur territoire, comme le PRAM Normandie. Au niveau national, les centres de ressources Milieux Humides et Génie Écologique mettent également des REX à disposition.

Ainsi, la restauration écologique doit se réfléchir selon plusieurs axes : une phase pré-opérationnelle qui permet de guider la réalisation des travaux, une phase opérationnelle pour la concrétisation du projet et une phase post-opérationnelle qui permet l'analyse de l'efficacité des mesures entreprises. Enfin, il convient de rappeler que l'aspect humain ne doit pas être oublié : toutes les parties prenantes en lien avec le projet doivent y être impliquées, afin qu'elles le comprennent, l'acceptent et se l'approprient.

Définition des objectifs et évaluation de leur atteinte

Cette partie a pour but de présenter quelques-uns des objectifs inhérents à la restauration de mares, ainsi que les fonctions écosystémiques (Cf partie I.b) qui s'y rapportent, comme présenté dans le Tableau 8.

Tableau 8. Présentation de quelques objectifs pour la restauration des mares.

Objectifs	Exemples de fonctions associées
Accueillir des amphibiens	Recrutement
Accueillir des characées	
Accueillir des macro-invertébrés aquatiques	
Restaurer une mare à plantes pionnières	Corridor écologique et réservoir de biodiversité
Relier deux populations cibles	
Augmenter l'apport d'eau dans la mare	Rétention de l'eau
Améliorer la qualité de l'eau	
Améliorer la tenue en eau de la mare	Séquestration du carbone
Rétablir un taux de productivité / recyclage ciblé	Productivité / recyclage

Les objectifs permettent de s'assurer, plus tard, via un suivi et contrôle, de l'efficacité des travaux entrepris (Gann, et al. 2019).). Ils doivent être concrets, si possible chiffrés et définis temporellement. Les objectifs doivent se réfléchir à plusieurs échelles : au niveau opérationnel pour réaliser les travaux prévus, à moyen terme pour contrôler la trajectoire entreprise par l'écosystème et à long terme, vis-à-vis de l'objectif final de restauration (Michelot et Simon 2015). Par exemple concernant l'accueil des amphibiens, de simples mesures comme l'évolution des densités de populations permettent d'évaluer les succès de déplacement des espèces (Moor, Bergamini, et al. 2024) : l'objectif final peut être « au moins 8 espèces d'amphibiens sont présentes dans la mare d'ici 4 ans » et les objectifs intermédiaires peuvent être « une espèce est présente la première année », « 3 espèces sont présentes la deuxième année », etc. **Les objectifs peuvent être définis à l'échelle de la mare ou à l'échelle du réseau**, ce qui permet de conserver une mosaïque de milieux hétérogènes et donc de diversifier les espèces et les habitats.

L'atteinte des objectifs est évaluée par des suivis post-travaux. Différents types de suivis doivent donc être mis en place afin d'évaluer les gains écologiques des sites restaurés. Les suivis doivent être adaptés aux types de mares et aux objectifs fixés **et être définis en amont des travaux, au même moment que les objectifs**. Par exemple concernant le suivi des mares temporaires méditerranéennes, différents paramètres sont évalués (Savary, et al. 2023) : la morphologie de la mare, la qualité de l'eau, le fonctionnement hydrologique et les communautés végétales. Une version résumée des méthodes d'évaluation de Savary *et al* (2023) est présentée en annexe 13. Les différents suivis mis en place par les acteurs qui travaillent sur les mares sont présentés dans la partie « Protocoles de suivis ».

La mise en place de protocoles de suivi est nécessaire pour s'assurer de l'atteinte des objectifs fixés. Cependant, le laps de temps pour que l'écosystème restauré retrouve un état pré-dégradation suffisant est très long (Zelder et Callaway 2002) et l'écosystème peut se dégrader de nouveau sur le temps long si les efforts de mitigation de la pression ne sont pas à la hauteur (Gann, *et al.* 2019). Ainsi, les prévisions à long terme concernant la trajectoire de restauration ne peuvent pas se baser sur les résultats à court terme : il est donc nécessaire d'évaluer l'atteinte des objectifs régulièrement et d'intervenir si besoin. De plus, la référence vers laquelle doit tendre l'écosystème restauré n'est pas une image figée de l'écosystème mais s'inscrit dans une gamme de variations parmi lesquelles ce dernier évolue. La nécessité de considérer ces variabilités spatio-temporelles dans les processus d'évaluation de la restauration écologique fait aujourd'hui consensus (Fontès, et al. 2024). Un outil, créé par Fontès et *al.* (2024), permet de comparer et d'évaluer la composition et les abondances au sein d'un panel de communautés

de référence. L'indice tient compte de la variabilité des communautés de référence et est complémentaire à une interprétation écologique détaillée, ainsi qu'à l'utilisation d'autres indices. C'est un outil synthétique, facile d'utilisation et d'interprétation, qui est pertinent pour évaluer la restauration de multiples sites pour un écosystème ou une communauté dans une région donnée. Il peut être utile dans le cadre d'application de politiques publiques internationales qui doivent utiliser des procédures d'évaluation standardisées afin de comparer les différents sites. L'outil diagnostic BECOME (Labat et Usseglio-Polatera 2023), qui permet d'évaluer l'intégrité écologique d'une mare à travers l'étude des macrophytes et des macroinvertébrés, peut également être utilisé pour évaluer si les différentes pressions exercées sur la mare ont diminué et donc si les objectifs de restauration sont en voie d'être atteints.

Protocoles de suivi

L'accomplissement de travaux de restauration écologique demande la réalisation de différents types de suivis, tels que présentés sur la Figure 36. Cette partie traite des suivis mis en place pour caractériser les mares et leur biodiversité. Ils peuvent être utilisés lors des étapes de diagnostic et d'évaluation des actions de restauration.

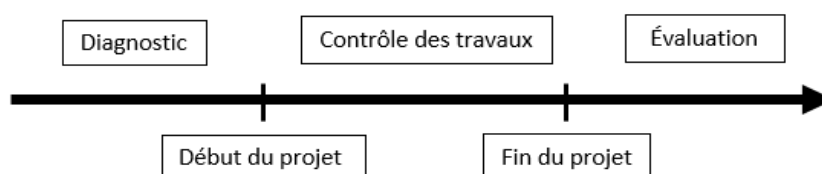


Figure 36. Les différents types de suivis en fonction de la temporalité du projet.

Des suivis photographiques peuvent facilement être mis en place pour garder une trace visible des mares et pour pouvoir comparer leur évolution au fil du temps. Pour ce faire, plusieurs points de vue doivent être choisis et marqués. Des suivis à l'aide de drones peuvent être envisagés afin d'avoir une vision plus précise de la mare et de sa colonisation par les espèces végétales, si les conditions le permettent : couvert forestier faible, absence d'espèces sensibles au dérangement par les drones, réglementation permettant le survol...

Plusieurs protocoles de suivis ainsi que leurs objectifs sont résumés dans le Tableau 9. Une case rouge signifie que le protocole ne répond pas à l'objectif et une case verte signifie qu'il y contribue au moins partiellement.

Tableau 9. Les principaux protocoles de suivi utilisés pour caractériser les mares.

Protocole ou indicateur	Suivi de la flore	Suivi de la faune et capacité d'accueil	Évaluation de la connectivité paysagère	Caractérisation de l'intégrité écologique de la mare	Prise en compte des pressions	Caractérisation de l'état de référence
IBEM	Végétation aquatique	Gastéropodes aquatiques, Coléoptères aquatiques, Odonates, Amphibiens				
MhéO		Odonates, Amphibiens			Quantification de l'artificialisation et des pratiques agricoles	
ICOCAM		Coléoptères aquatiques				
Cadre méthodologique PatriNat		Amphibiens, Coléoptères aquatiques, Odonates		Hydrologie		
Pop'Amphibien communauté		Amphibiens				
IECMA		Amphibiens				
STELI		Odonates				
Protocole S3i		Invertébrés aquatiques				
Indice TIM2S	Macrophytes			État trophique		
Indice BECOME	Macrophytes	Invertébrés aquatiques				

Suivi de la flore : L'étude de la flore a pour but de caractériser la végétation présente sur le site et de suivre son évolution. Elle peut également donner des informations sur l'état trophique de la mare. Plusieurs protocoles ont été produits pour ce faire comme l'Indice de Biodiversité des Étangs et Mares (IBEM) valable en Suisse (Indermühle et al., 2008), la démarche MhéO pour chaque bassin hydrographique français (Collectif RhoMéo 2014), le cadre méthodologique de PatriNat adapté de la méthodologie développée par le Conservatoire Botanique National Sud-Atlantique (Le Fouler et Blanchard 2011 ; Bernard 2019 ; Bernard, Percevault, et al. 2023) et adapté aux sites Natura 2000, ou encore les indices TIM2S et BECOME qui permettent l'étude des macrophytes (Labat & Thiébaud 2022 ; Labat & Usseglio-Polatera 2023).

L'IBEM est un indice qui permet l'évaluation de la richesse taxonomique de certains groupes pour les mares de Suisse. Pour ce faire, il s'appuie notamment sur le recensement des différents genres de végétaux aquatiques présents sur le site, à l'aide de quadrats (Indermühle, Angélibert et Oertli 2008).

La démarche MhéO a pour but, sur un site naturel, de décrire l'évolution des milieux humides et éventuellement la corréler aux mesures de restauration mises en œuvre. Pour ce faire, des relevés de flore sont effectués afin de déterminer les espèces présentes sur le site.

Le cadre méthodologique de PatriNat a pour but d'évaluer la pertinence des actions de gestion d'un point de vue écologique. Il préconise de réaliser l'échantillonnage sur plusieurs transects d'une longueur de 4 m, dont le nombre dépend de la taille de la mare et le long desquels sont placés des quadrats. Pour chaque quadrat, plusieurs relevés sont effectués, notamment la liste des espèces vasculaires enracinées ou flottantes et le

recouvrement en pourcentage pour chaque espèce. Deux passages sont réalisés, le premier entre les mois de mai et de juin et le deuxième entre mi-juillet et septembre (Bernard, Percevault, et al. 2023).

L'indicateur TIM2S permet d'évaluer le stade trophique et l'intégrité trophique de la mare, grâce à l'étude des communautés de macrophytes présentes (Labat et Thiebaut 2022). L'intégrité trophique représente l'écart entre le degré trophique réel et attendu. L'indicateur est calculé grâce au protocole S3m qui a pour but de fournir une image représentative des communautés de macrophytes présentes dans des étendues d'eau de 1 m² à 50 ha. TIM2S est lui-même repris dans le calcul de l'indice BECOME. Ce dernier repose sur le relevé des macrophytes et des macro-invertébrés aquatiques et permet de caractériser l'impact des pressions, les fonctions et la biodiversité d'une mare, par rapport à un optimum attendu (Labat et Usseglio-Polatera 2023).

Suivi de la faune : Les protocoles de suivi de la faune concernent différents taxons répartis entre les invertébrés aquatiques et les amphibiens. Ces principales méthodes de suivi sont l'IBEM, la démarche MhéO, l'Indicateur composite Coléoptères Aquatiques des Mares (IcoCAM) (Groupe d'Étude des Invertébrés Armoricaïns 2018), le cadre méthodologique de PatriNat, le protocole Pop'Amphibien communauté (Programme POP 2022), l'Indicateur Écologique de Conservation des Mares à Amphibiens (IECMA) (Maillet, Le Cabec et Bonnet-Rageade 2017), le Suivi Temporal des Libellules (STELI) (Société Française d'Odonatologie & MNHN s. d.), le protocole S3i et l'indice BECOME.

Pour évaluer la biodiversité d'une mare, L'IBEM est calculé en déterminant les communautés de coléoptères, de gastéropodes aquatiques et d'odonates avec une précision allant jusqu'au genre. Les coléoptères et gastéropodes sont capturés à l'aide d'une épuisette et les odonates sont observés avec des jumelles et éventuellement capturés grâce à un filet à papillons. Les amphibiens sont aussi déterminés, avec une précision allant jusqu'à l'espèce et leur prospection s'effectue de manière visuelle ou auditive.

D'un point de vue faunistique, la démarche MhéO permet d'identifier les espèces d'odonates et d'amphibiens présentes sur le site afin de recenser les cortèges d'espèces.

L'IcoCAM est un protocole dont le but est d'estimer le potentiel biologique d'une mare en fonction de la diversité des cortèges de coléoptères aquatiques qui y sont retrouvés. Il permet d'établir quatre indices : de rareté relative des espèces retrouvées au sein de la mare, de spécialisation des communautés, de richesse spécifique et de richesse fonctionnelle (Groupe d'Étude des Invertébrés Armoricaïns 2018).

Le cadre méthodologique de PatriNat propose d'effectuer des suivis d'amphibiens, de coléoptères aquatiques et d'odonates afin d'évaluer l'évolution de la présence des différentes communautés avant et après les travaux.

Le protocole Pop'Amphibien communauté et l'IECMA permettent tous deux de suivre l'occurrence des communautés d'amphibiens afin de savoir quels sites sont colonisés par quelles espèces, ainsi que de suivre des espèces cibles au sein de sites potentiellement colonisés (Société Herpétologique de France s.d.b, Programme POP 2022).

Concernant le protocole Pop'Amphibien, trois passages par mare sont réalisés sur une période comprise entre début février et début juillet. Trois étapes sont réalisées après le coucher du soleil. Premièrement, un point d'écoute de 10 minutes à proximité de la mare : les individus observés et entendus sont alors notés. Deuxièmement, le site est prospecté autour de la mare pendant 15 minutes. Enfin, un protocole épuisette est appliqué si nécessaire. Pour des suivis spécifiques, il existe d'autres protocoles propres à chaque espèce (Pop'Amphibien triton, grenouille brune, etc.).

L'IECMA permet d'attribuer une note selon 20 critères et considère la capacité d'accueil de la mare en tant que telle ainsi que sa connectivité paysagère et les espèces rencontrées en son sein (Maillet, Le Cabec et Bonnet-Rageade 2017). Les récapitulatifs des critères de l'outil, ainsi que les seuils de notation sont présentés en annexe 14. Il peut cependant parfois être nécessaire d'adapter les modes de notation en fonction des espèces suivies : cet indicateur favorise par exemple les mares bien végétalisées qui sont propices à de nombreuses espèces d'amphibiens, mais qui ne sont pas favorables au développement du Crapaud calamite ou du Sonneur à Ventre Jaune par exemple (Jean-Baptiste Decotte, com. pers. 2024).

Le protocole STELI élaboré par l'OPIE permet le suivi des odonates (Société Française d'Odonatologie & MNHN s. d.). Il a pour objectif d'évaluer l'évolution annuelle des populations d'odonates, en estimant leur probabilité de présence (Société Française d'Odonatologie & MNHN s. d.). Il se réalise selon des conditions météorologiques précises, reprises dans le Tableau 10. L'OPIE recommande d'effectuer neuf inventaires répartis sur trois périodes (3 inventaires par période) afin de contracter le cortège odontologique complet de chaque site : avant le 15 juin, entre le 16 juin et le 31 juillet, entre le 1^{er} août et la fin de la saison. Les dates de prospection seront identiques d'une année à l'autre et les heures de passage sont entre 10h et 16h. La précision d'identification maximale est attendue dans le cadre de l'exécution du protocole. Cependant, l'observation n'étant pas toujours aisée, trois niveaux de précision sont acceptés : grande catégorie basée sur la couleur et la taille, catégorie plus précise listant plusieurs espèces potentielles, détermination de l'espèce.

Tableau 10. Conditions météorologique requises pour la réalisation du protocole STELI. Issu de Société Française d'Odonatologie & MNHN, s.d.

		Température			
		< 17°C	17°C - 25°C	> 25°C	>30°C
Nébulosité	> 75%	non	oui	oui	oui
	< 75%	oui	oui	oui	oui
Pluie		non	non	non	non
Force du vent	> 5 Beaufort	non	non	non	non
Heure		10h-16h	10h-16h	10h-17h	9h - 18h

Le protocole S3i a été créé pour obtenir un échantillon des communautés d'invertébrés aquatiques dans des mares dont la surface varie de 1 m² à 20 ha. Il peut être effectué conjointement ou à la fin du relevé des macrophytes et consiste à effectuer des prélèvements dans les différents habitats et sous-habitats présents dans la pièce d'eau. L'indice BECOME se calcule en partie grâce au protocole S3i.

D'autres taxons plus généralistes peuvent être recensés pour caractériser la richesse biologique qu'accueille la mare, comme les mammifères et les oiseaux, mais ils ne permettent pas de décrire l'état de l'écosystème.

Évaluation de la connectivité paysagère : L'IECMA nécessite directement de renseigner les potentielles connectivités biologiques (et ruptures de ces connectivités) qui peuvent prendre place autour de la mare : haie, boisement, route. L'environnement immédiat de la mare est également renseigné (mare de prairie, d'altitude, etc.).

Caractérisation de l'intégrité écologique de la mare : Le cadre méthodologique de PatriNat permet de rendre compte des paramètres relatifs à l'hydrologie et à l'atterrissement de la mare, qui conditionnent en partie le bon fonctionnement de cette dernière.

L'IECMA quant-à-lui donne une idée de la capacité d'accueil de la mare pour certains amphibiens. Comme mentionné plus haut, il ne favorise cependant que les mares bien végétalisées, ce qui ne convient pas à toutes les espèces d'amphibiens.

L'indice TIM2S, en étudiant les macrophytes présents dans la mare, permet de rendre compte de son degré trophique. Il est repris par l'indice BECOME.

Prise en compte des pressions et caractérisation de l'état de référence : Parmi les différentes méthodes de suivis comparées, peu prennent en compte les pressions qui altèrent l'écosystème.

La démarche Mhéo prend en compte l'impact des surfaces urbanisées et agricoles impactantes sur la zone humide considérée, en fonction de leur superficie, sous forme d'analyses cartographiques.

L'indice BECOME prend aussi en compte les pressions du milieu puisqu'il se base sur des écosystèmes de référence dont l'intégrité écologique est peu altérée (Aquabio 2023). Il est associé à un outil qui permet d'identifier quelles sont les pressions à l'origine des altérations.

Peu d'indicateurs se basent sur les paramètres abiotiques pour évaluer les mares. Cependant, plusieurs données de ce type peuvent être utiles comme la localisation géographique des pièces d'eau afin d'ancrer la connaissance de localisation des mares et de les visualiser au sein de la matrice paysagère dans laquelle elles se trouvent.

Le suivi des paramètres physico-chimiques est hasardeux, puisque ces derniers varient fortement dans des laps de temps très courts. Interpréter la chimie sur les mares est très compliqué si les relevés ne sont pas très nombreux dans l'espace et le temps, et il n'existe pas de réelles valeurs seuil fiables (F. Labat com. pers. 2024).

Le type d'alimentation en eau doit être caractérisé, soit par observation sur le terrain, soit par des outils de modélisation tels que GrassGIS pour déterminer les courbes de niveau ou par l'indice d'humidité topographique qui illustre l'écoulement d'eau en fonction de la topographie (Opération lidar s.d.). Ce dernier a notamment été calculé sur toute la France par Panhelleux *et al.* (2023). La nature des sols du bassin doit également être prise en compte puisqu'elle influence certains paramètres abiotiques comme la conductivité et le pH de l'eau en fonction des éléments dissous. Les milieux par lesquels transite l'eau jouent également un rôle dans la qualité de cette dernière puisqu'une eau qui ruisselle à travers des champs de culture se chargera éventuellement en pesticides et provoquera des apports de nitrates, ammoniacaux et phosphates (Oertli et Frossard 2013).

D'autres renseignements peuvent être relevés, comme le statut de propriété du site, l'habitat environnant, la luminosité au-dessus de la mare (Oertli et Frossard 2013), ou encore différentes caractéristiques morphologiques ou hydrologiques relatives à l'écosystème (PRAM Normandie 2017). Toutes ces données sont synthétisées dans le Tableau 11 et la fiche de caractérisation utilisée par le PRAM Normandie est présentée en annexe 15.

Tableau 11. Les différents paramètres permettant de caractériser une mare. Adapté de PRAM Normandie, 2017.

Paramètre	Indicateur
Statut de propriété du site	Public, privé, mixte, inconnu
Habitat environnant	Prairie, forêt, bord de route, culture, marais, environnement urbain, friche, carrière, autre
Dimensions	Longueur, largeur, périmètre, profondeur
Pourcentage de pentes douces	0, 0-25, 25-50, 50-75, 75-100, 100%
Caractérisation du fond de la mare	Naturel, argile compacté, béton ou minéral, bâche, autre
Stade (cf Figure 11)	A, AB, B, BC, C, CD, D, inconnu
Durée de la mise en eau	Permanente, temporaire, inconnue
Ouvrage de vidange	Oui, non, inconnu
Trop-plein	Oui, non, inconnu
Turbidité	Limpide, trouble, inconnu
Alimentation en eau	Pluie, ruissellement (de voirie, naturel de pluie sur culture), source, nappe souterraine, gouttière du bâtiment, buse, canalisation, drainage, aucune, autre, inconnu
Liaison au réseau hydrologique	Fossé, noues, drainage, pompage, cours d'eau, axe de ruissellement, aucune, autre, inconnu
Usage anthropique	Baignade, abreuvoir aménagé, abreuvoir non aménagé, collecte d'eau, pêche, chasse, réserve incendie, ornemental, réserve de biodiversité, patrimoine culturel ou paysager, pédagogique, abandonnée, lagunage, infiltration d'eau, loisir, fête, squat, aucun, autre, inconnu.
Entretien des berges	Oui, non, inconnu
Altération de la mare	Déchets, algues filamenteuses, pollution chimique ou organique, piétinement humain des berges, piétinement animal des berges, comblement en cours, envahissement végétal, poissons, aucune, autre

D'autres protocoles peuvent être utilisés pour caractériser les mares et répondre à des enjeux précis, à l'image de celui développé pour le projet CIMaE (France Nature Environnement 2021b) visant à étudier les mares d'altitude. Au vu de la diversité de protocoles de suivi qui existent sur la thématique des mares, une comparaison plus fine de ces derniers semble apparaître comme une nécessité. Au moment de la rédaction de ce document, la Ligue de Protection des Oiseaux de la région Auvergne-Rhône-Alpes (LPO AuRA) travaille sur un projet nommé MareXplore, visant à tester différents protocoles de suivi (IECMA, ICOCAM, IBEM, BECOME et RHOMEO Odonates) afin d'identifier les complémentarités et les redondances de ces protocoles et d'en comparer les coûts logistiques et techniques.

b. Techniques de restauration écologique des mares

La restauration écologique des mares peut être réalisée à travers un certain nombre d'actions diversifiées, en fonction de la perturbation qui prend place et de sa progression vis-à-vis du milieu. Certaines des techniques utilisées en restauration peuvent s'apparenter à des actes de gestion ou de réhabilitation sans qu'il soit fait de distinction entre ces différents concepts dans ce travail.

La première démarche est d'identifier la source de dégradation, pour pouvoir agir sur cette dernière. Les actions doivent être réalisées en fonction des caractéristiques propres aux sites (accessibilité du terrain, envergure des travaux...), des ressources disponibles (financières, humaines, temporelles) et des moyens à mettre en œuvre (travail à la main, utilisation d'engins motorisés...). Cette partie a pour but de présenter les différentes actions qu'il est possible de mener pour restaurer les mares. La Figure 37 synthétise les actions à mener afin de restaurer des mares (Guittet, et al. 2015).

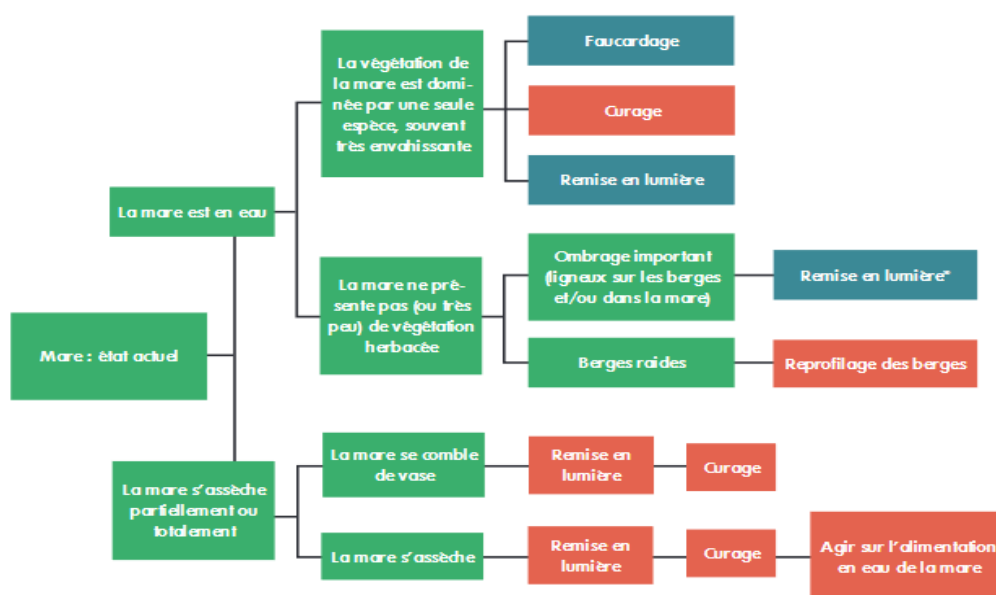
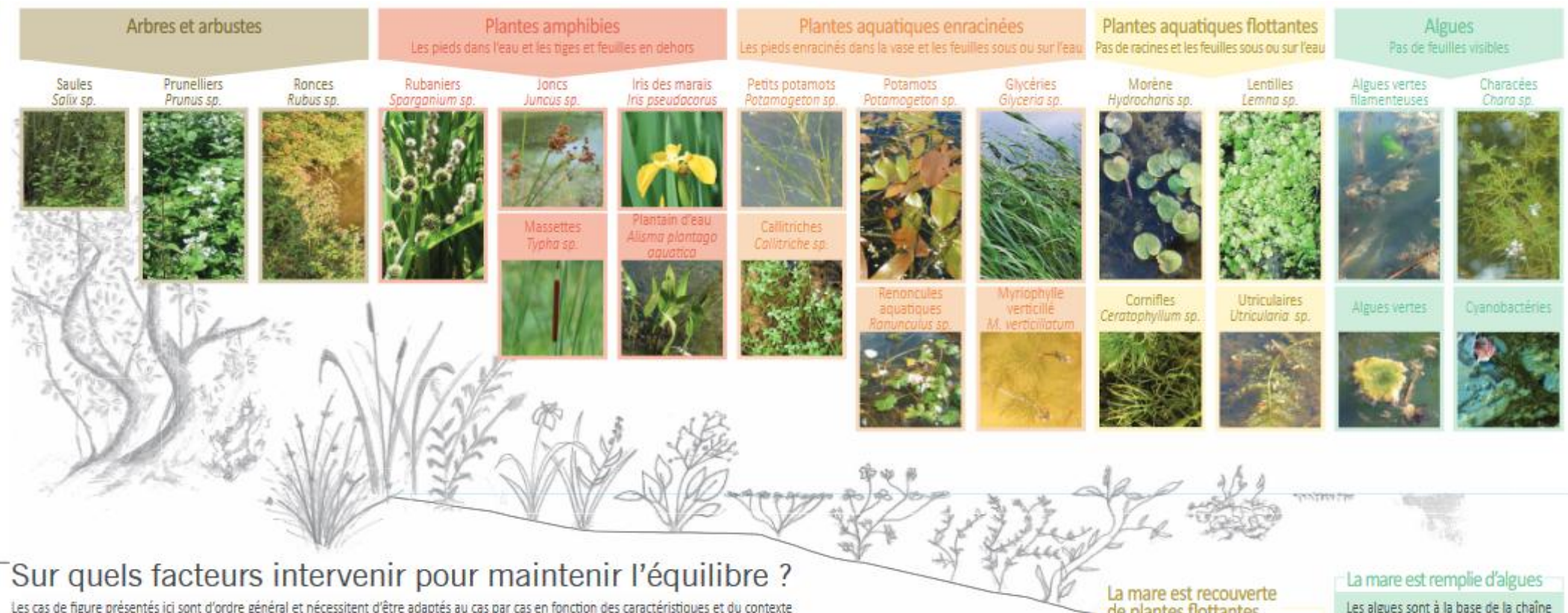


Figure 37. Guide simplifié d'aide à la décision pour la gestion des mares. Issu de Guittet et al., 2015.

Gestion de la végétation

Pour assurer une capacité d'accueil optimale, la mare doit posséder une zone en eau libre d'au moins un tiers de la surface totale (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Ainsi, s'il y a une prolifération végétale trop importante dans la mare, il convient d'en retirer une partie. Le PRAM Normandie (2019) a édité une plaquette récapitulative détaillant les mesures de gestion à appliquer sur la végétation, en fonction de sa position dans la mare. Cette plaquette est reprise en Figure 38. D'une manière générale, l'ensemble des interventions de restauration s'effectuera entre les mois de Septembre et Novembre. Les actions de gestion de la végétation qui ne nécessitent pas de curer la mare ou d'utiliser des engins de chantier peuvent parfois être réalisées lors des périodes d'accroissement des végétaux, afin de limiter leur repousse.



Sur quels facteurs intervenir pour maintenir l'équilibre ?

Les cas de figure présentés ici sont d'ordre général et nécessitent d'être adaptés au cas par cas en fonction des caractéristiques et du contexte de la mare. La présence d'espèces protégées et /ou menacées devra notamment être prise en compte dans les choix de gestion.

La mare est envahie de saules

Même si les arbres et arbustes ont un intérêt certain pour la faune, ils témoignent d'une **mare en fin de vie** lorsqu'ils colonisent la totalité des berges et la zone en eau. L'ombrage permanent empêche le développement de la végétation aquatique, indispensable pour de nombreux animaux. Une quantité de feuilles trop importante dans la mare **accélère la formation de vase** et nécessite des curages plus réguliers.



Faut-il intervenir ?

Il convient d'agir, idéalement de septembre à décembre, si les arbres et arbustes sont présents tout autour et dans la mare. Des travaux d'abattage, de recépage, d'arrachage des souches, ainsi que de curage permettent de remettre en lumière la mare. Il est néanmoins conseillé de conserver quelques arbres pour la faune.

La mare est colonisée par des roseaux

Les plantes amphibies sont normalement cantonnées sur les **zones peu profondes** de la mare. Elles sont indispensables pour les libellules et certains amphibiens qui pondent leurs oeufs dessus. Contrôler la dynamique de cette végétation permet d'éviter l'envahissement de la mare et son comblement progressif. Si elle colonise l'ensemble de la mare, cela indique que le niveau d'eau est faible, même au centre.



Faut-il intervenir ?

Généralement, deux cas peuvent se présenter :

- Le niveau de vase est très important : un curage avec extraction des roseaux et de leurs rhizomes est à prévoir.
- La mare est peu envasée, le faible niveau d'eau est dû à un manque de précipitations : aucune intervention n'est nécessaire, les roseaux disparaîtront avec la montée du niveau d'eau. L'arrachage manuel ou le fauchage de ces végétaux reste possible, mais cela reste une opération fastidieuse et à réaliser régulièrement.

La mare est remplie de plantes aquatiques enracinées

Les plantes qui sont enracinées dans le fond de la mare sont très souvent indicatrices d'un **bon état écologique** du milieu. Le **fond en pente douce** est favorable à leur développement. Ce sont des zones de reproduction, d'alimentation et de refuge pour les amphibiens, les larves de libellules et de nombreux autres invertébrés.



Faut-il intervenir ?

La présence de plantes aquatiques dans la mare n'est pas problématique. Toutefois s'il s'agit d'une espèce exotique envahissante, l'arrachage selon un protocole particulier est nécessaire pour limiter sa propagation à d'autres milieux aquatiques.

La mare est recouverte de plantes flottantes

Les plantes aquatiques non enracinées sont présentes en quantité dans certaines mares. Elles peuvent être rares ou indicatrices d'une **bonne qualité d'eau**, d'autres sont plutôt liées à une eau **trop riche en nutriments**. Pour savoir quelles espèces sont présentes, il est nécessaire de réaliser un examen minutieux ou de faire appel à un botaniste.



Faut-il intervenir ?

Ces plantes peuvent empêcher le développement d'autres espèces aquatiques, en faisant obstacle au rayonnement solaire. Il est alors possible d'en enlever à l'aide d'un filet : c'est l'écrémage. Cette opération nécessite néanmoins d'être renouvelée régulièrement.

La mare est remplie d'algues

Les algues sont à la base de la chaîne alimentaire des milieux aquatiques. Ce sont souvent elles qui colorent l'eau de la mare. Il existe de **nombreuses espèces d'algues**. Certaines, notamment les characées, ne sont présentes que si l'eau n'est pas polluée. D'autres sont indicatrices d'une eau riche en nutriments, ce qui peut conduire à leur prolifération et entraîner la disparition des plantes aquatiques et de certains animaux.



Faut-il intervenir ?

Si les algues (hors characées) sont visibles dans la totalité de la masse d'eau, le problème peut venir d'une pollution qui s'écoule dans la mare, provenant des terrains alentours (intrants agricoles, eaux domestiques, voirie...). Une analyse chimique de l'eau est utile pour identifier le type et l'origine de la pollution.

Figure 38. Les modes de gestion à appliquer en fonction du type de végétation considérée. Issu de PRAM Normandie, 2019.

Les déchets végétaux doivent être déposés en bord de mare pour permettre à la faune qui s’y retrouverait piégée de regagner la mare (Guittet, et al. 2015, Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Différentes techniques peuvent être mises en œuvre en fonction du type de végétation à retirer, reprises par le Tableau 12. **Attention, il convient de ne pas retirer l’ensemble des végétaux d’un coup, mais d’en laisser systématiquement au moins un tiers pour maintenir des habitats favorables aux espèces de la mare ainsi que les boucles de rétroaction assurant la clarté de l’eau.**

Tableau 12. Principaux modes de régulation des végétaux de la mare. Issu de Arnaboldi & Alban, 2017.

Principaux macrophytes	Principales modalités d'intervention					
	faucardage	arrachage manuel	curage	décapage	abattage	recépage
<i>Typha latifolia</i>	mai à juillet	mai à juillet	septembre	-	-	-
<i>Phragmites australis</i>	fin avril à mi-juin	-	septembre	-	-	-
<i>Glyceria fluitans</i>	-	-	septembre à novembre	-	-	-
Joncs, Carex, Molinie	-	-	septembre à novembre	à l'étiage (août/septembre)	-	-
Saules et ligneux	-	-	septembre à novembre	-	toute l'année, dont gel prolongé et montée de sève	toute l'année, dont gel prolongé et montée de sève

Les végétaux flottants (lentilles d’eau, algues filamenteuses...) peuvent être retirés à l’aide d’une épuisette. Ces végétaux doivent être lavés dans un récipient suffisamment grand avant d’être exportés, puisqu’ils constituent un réseau dense dans lequel des larves et de petits animaux peuvent se retrouver piégés (Grossi, et al. 2010).

Les massettes (hélophytes) peuvent relativement vite envahir la mare comme illustré par la photographie 11.



Photographie 11. Mare envahie par une végétation de type massette - Dunkerque (59).
©Céline Lecomte / Office Français de la Biodiversité.

Si elles sont implantées dans la couche de terre ancienne de la mare, il sera difficile de retirer leur appareil racinaire. Si elles sont implantées dans la vase, ce dernier sera facile à retirer. L’intervention sur les massettes par faucardage en automne / hiver favorisera la repousse, tandis que le faucardage de printemps / été épuisera le rhizome qui est tributaire de l’apport d’oxygène par les parties chlorophylliennes. **Cependant, intervenir en**

dehors des périodes illustrées par la Figure 32 est fortement déconseillé car les impacts sur la biodiversité sont trop importants. Si l'intervention n'est pas possible à un autre moment, celle-ci doit être la plus douce possible et partielle. Les jeunes pousses peuvent être arrachées à la main : cette méthode est facile à mettre en œuvre, plus douce et demande peu d'efforts physiques, mais est un processus plus lent. Attention, le curage d'une typhaie ancrée sur le fond de la mare est **fortement déconseillé** en dehors des périodes recommandées. Tout curage s'effectue sur **deux tiers maximum** de la mare afin d'en laisser une partie accessible à la faune qui pourra y trouver refuge le temps des travaux (Arnaboldi et Alban 2007). Si cela est possible, la zone curée peut être surcreusée, sans en percer le fond, afin de ralentir le redéploiement des massettes. Une bâche noire peut également être mise en place en hiver, par-dessus les tiges d'hélophyte mortes, afin d'en tuer les rhizomes. Cette technique fonctionne si la zone n'est pas accessible aux ongulés qui pourraient percer la bâche, ou que celle-ci ne dérive pas avec les variations du niveau d'eau et si la mare ne subit pas de contraintes fortes vis-à-vis du public. La bâche doit également être perméable afin de libérer les bulles de méthane créées par la fermentation. La durée de traitement doit couvrir l'ensemble de la période de végétation. Attention à bien ôter la bâche avant qu'elle ne se dégrade en lambeaux qui pourraient tomber dans la mare (Arnaboldi et Alban 2007).

Un développement trop important des phragmites (hélophytes) peut également poser problème car ces végétaux tolèrent des substrats au pH allant de 3 à 7,5, s'adaptent très bien à de fortes variations du niveau d'eau et supportent des assèchements prolongés. De plus, leurs rhizomes peuvent vivre jusqu'à 20 ans à une profondeur qui peut aller jusqu'à 5m et ils peuvent coloniser jusqu'à 6 m de plan d'eau par an (Arnaboldi et Alban 2007). Les phragmites peuvent former des radeaux flottants par accumulation de matières organiques mortes dans lesquelles se développent leurs rhizomes. Il faut avant toute intervention évaluer si la phragmitaie ne contient pas des espèces patrimoniales ou en danger. Les deux techniques les plus efficaces pour lutter contre leur envahissement sont :

- Le faucardage : la coupe peut se faire au-dessus ou en-dessous du fil de l'eau. Le faucardage et l'exportation des tiges d'hélophytes permettent d'évacuer hors de l'eau les substances polluantes stockées par les végétaux épurateurs, de limiter l'apport de matière organique dans l'eau et de rajeunir le peuplement végétal (Mallard, et al. 2023). De plus, un tapis de cailloux peut être déposé par endroit pour prévenir la prolifération des hélophytes (Guittet, et al. 2015).
- L'extraction à la pelle mécanique : cette technique permet de travailler rapidement, mais n'est pas nécessairement adaptée car la profondeur des rhizomes peut aller jusqu'à 5 m. C'est cependant une technique utile si la phragmitaie constitue un radeau flottant.

La glycérie (hélophyte) peut former des tapis qui assèchent la mare en surface, ce qui permet l'implantation d'espèces ligneuses. Le meilleur moyen de contrer ce problème est de curer. Une lame d'eau de 70 à 80cm minimum permet de limiter son développement (Arnaboldi et Alban 2007). Les joncs, carex et molinies peuvent combler les zones de basses eaux, voire l'ensemble de la mare si celle-ci est très plane. Leur extension peut être limitée par des surcreusements ou des décapages, c'est-à-dire l'action de racler les végétaux à leur base, jusqu'au substrat. Attention, certains grands carex sont protégés et ne doivent pas être détruits.

Les pousses d'arbres doivent être arrachées et des coupes d'arbres situés à moins de 5 mètres peuvent être réalisées, pour ralentir le comblement de la mare par accumulation de feuilles mortes (CAUE 27 2021, Mallard, et al. 2023). Les saules peuvent particulièrement poser problèmes car ils ont la capacité de rester plusieurs années sous forme de semis et de tiges basses, sans donner l'impression de s'étendre jusqu'à ce que leur croissance s'accélère subitement (Arnaboldi et Alban 2007). L'abattage des saules se fait en hiver.

En conditions de gel, la coupe au ras de la glace altère fortement la souche et réduit les rejets. La coupe au ras de l'eau peut également s'effectuer au printemps. Intervenir en période de basses eaux facilite les travaux et permet aussi de ralentir la repousse des saules car les souches vont rapidement se retrouver immergées (Arnaboldi et Alban 2007). Certaines souches peuvent être arrachées à la pelle mécanique, mais une telle opération peut assez facilement altérer la couche d'argile. Dans le cas où une mare doit être éclaircie, l'action doit être focalisée en priorité sur les arbres et arbustes situés directement dans la mare. Sur les berges, il faut privilégier une coupe rase sur les pentes douces mais ne pas trop toucher aux arbres et arbustes des pentes abruptes car ils permettent d'en limiter l'érosion. Le rythme d'intervention sur les ligneux est d'environ tous les 5 à 10 ans pour une mare forestière et tous les 10 à 20 ans pour une mare prairiale (Laffite, Mougey et Lemaire

2003, Laffite, Mougey, et al. 2009). Cependant, le rythme d'intervention est dépendant de la dynamique végétale, le suivi est donc primordial pour assurer un entretien adapté (Arnaboldi et Alban 2007).

Si un fauchage de la végétation présente aux abords de la mare s'impose, celui-ci sera fait de manière tardive, éventuellement en fauchant la moitié de la surface chaque année et en exportant la litière qui pourra être disposée au niveau d'une lisière buissonnante ensoleillée, où elle constituera une zone refuge pour certains animaux (Arnaboldi et Alban 2007, Motte, et al. 2012). Si les abords de la mare sont dépourvus d'espèces

Les mares tourbeuses boisées

Des mares tourbeuses peuvent se former en contexte forestier. Elles sont caractérisées par la présence d'un boisement tourbeux à sphaignes entouré par un anneau d'eau. Il est possible d'intervenir sur la zone périphérique afin de redynamiser la tourbière et son fonctionnement hydrologique. Il est recommandé d'intervenir de manière très ponctuelle, sur des tronçons localisés ne représentant au maximum qu'un quart ou un tiers de la surface de l'anneau : ceci permet de conserver des eaux oligotrophes en évitant d'y disperser trop de nutriments. Il faut cependant agir sur tout l'anneau pour isoler la tourbière de certaines plantes, comme les ronces. Il est envisageable de créer des « gouilles », c'est-à-dire des aspérités qui peuvent stocker de l'eau et qui constituent une multitude de microhabitats. La Figure 39 illustre un exemple de gestion d'une mare tourbeuse boisée (Arnaboldi et Alban 2007).

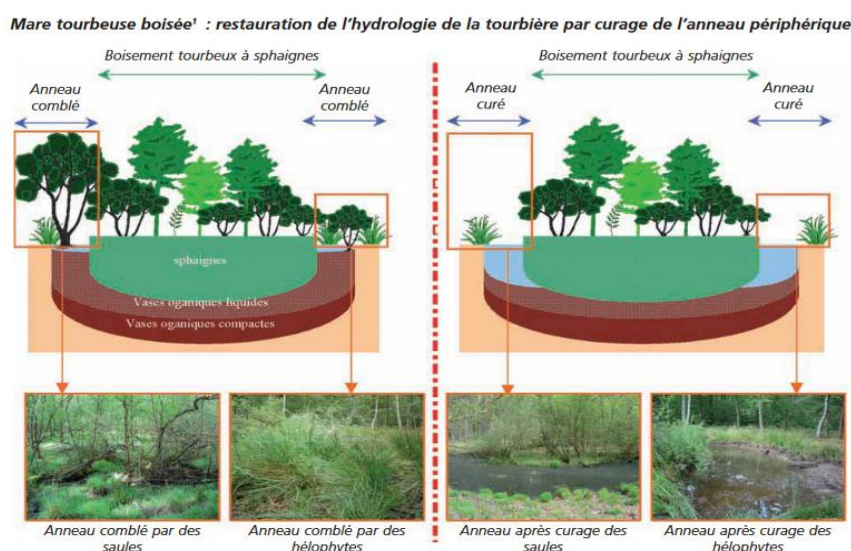


Figure 39. Restauration de l'hydrologie de la tourbière par curage de l'anneau périphérique. Issu de Arnaboldi & Alban, 2007.

Encadré 5. Le cas des mares tourbeuses.

herbacées, il est recommandé de diminuer l'ombrage pour permettre leur croissance.

Une augmentation du taux de nutriments dans l'eau, principalement le phosphore et l'azote, peut induire l'eutrophisation du milieu si celui-ci est naturellement oligotrophe ou mésotrophe. L'eutrophisation est un processus qui peut être naturel et s'établir sur des pas de temps long ou être due à un apport anthropique de nutriments qui déséquilibre le milieu (CNRS et INRAE 2017). L'apport de nutriments permet l'augmentation de la biomasse végétale (plantes aquatiques, algues et cyanobactéries) qui va progressivement augmenter la turbidité et diminuer l'apport de lumière dans la colonne d'eau, devenant un facteur limitant pour la photosynthèse et la croissance des végétaux submergés. L'augmentation de la biomasse végétale s'accompagne également d'une augmentation de la matière organique. Les bactéries responsables de sa décomposition consomment donc plus d'oxygène dissous, provoquant l'hypoxie ou l'anoxie du milieu ce qui occasionne un déficit en oxygène pour les organismes aquatiques. En résulte alors une diminution et une banalisation la biodiversité globale au sein de la pièce d'eau.

Un des enjeux consiste à limiter les transferts de nutriments (azote et phosphore) au sein du paysage agricole. Cela peut se faire via des changements des pratiques en amont de la mare comme l'installation d'infrastructures agroécologiques diversifiées (bandes enherbées, zones tampons humides ou sèches, haies, fascines...) (Pinay *et al.* 2018), une couverture des sols pour limiter le ruissellement de surface, ou encore une réduction des flux entrants : par exemple une moindre utilisation de phosphore minéral importé aux fins de fertilisation.

La gestion de la végétation est primordiale pour que les mares ne se comblent pas de manière accélérée et pour laisser la place au développement d'autres espèces faunistiques. Cependant, l'intervention sur la végétation doit se faire avec prudence, et si le retrait de cette dernière constitue une solution à court terme, des actions plus pérennes doivent être sérieusement considérées, comme la réduction des flux de nutriments dans les mares. De plus, le retrait de certaines plantes comme les macrophytes peut avoir des impacts négatifs à court terme sur les communautés de zooplanctons et d'invertébrés aquatiques (Misteli, *et al.* 2023) ou déclencher des blooms (F. Labat, *com. pers.* 2025). Il est ainsi primordial de trouver le bon équilibre de gestion de la végétation.

Gestion des Espèces Exotiques Envahissantes Végétales

Les EEE représentent une pression non négligeable sur la biodiversité locale (Roy *et al.* 2023). Les actions d'envergure couplées à un entretien courant sont la clé pour venir à bout des EEE végétales (Herteman, Norden et Vandersarren 2023), qui peuvent se retrouver à tous les niveaux de la mare. Le Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes (CdREEE) propose tout un panel de documents pour la gestion des EEE (Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes s.d.), adaptés à chaque espèce. D'une manière générale, la gestion des EEE végétales est un travail de longue haleine, qui nécessite des suivis sur plusieurs années et l'établissement d'objectifs en amont des travaux : veut-on éradiquer l'EEE de la zone concernée ? La confiner ? Au regard du diagnostic écologique, faut-il nécessairement intervenir ? En fonction de ces objectifs, différentes techniques peuvent être mises en place.

Sur les berges, les opérations peuvent être sélectives (découpe à l'aide de sécateurs, machettes...) ou non (opérations de curage, de comblement). Une partie du travail est du gros-œuvre : déraciner les arbustes, tronçonner ou sectionner les troncs, dévitaliser des souches (Bortoli & Guérin 2022). Les herbacées envahissantes peuvent être retirées avec une débroussailluse (Herteman, Norden et Vandersarren 2023) en prenant garde de ne pas créer des fragments et boutures qui permettent aux EEE de se régénérer, comme la Renouée du Japon (*Fallopia japonica*). Un géotextile biodégradable mais résistant peut être déposé au sol pour limiter la repousse, mais celui-ci affectera négativement la biodiversité locale et ne doit pas être utilisé systématiquement. Pour limiter la recolonisation des EEE, des espèces indigènes peuvent être plantées pour occuper la place du sol. La marque Végétal Local© peut être utilisée. Les déchets verts doivent être au mieux valorisés ou éliminés s'il est trop complexe de les réutiliser. Ils peuvent alors être transportés en déchetterie, ou être incinérés (UICN Comité français et Suez Recyclage et Valorisation France 2022).

Les EEE enracinées comme le souchet à involucre (*Cyperus involucratus*) sont vigoureusement ancrées dans le substrat et l'objectif est de les déraciner pour limiter leur repousse. Attention, ces EEE peuvent représenter de nouveaux habitats pour l'avifaune, ce qui implique d'agir avec précaution lors de leur gestion. S'il y a présence de fleurs, graines ou fruits volatiles et sensibles aux secousses, aucune manipulation ne sera effectuée. S'ils sont non volatiles et peu sensibles aux secousses, ils peuvent être coupés avec un sécateur et les têtes des individus en fleur peuvent être ensachées. Leurs systèmes racinaires présentent deux cas de figure (Herteman, Norden et Vandersarren 2023) :

- Si les racines sont fines et peu denses (type typha), ils peuvent être arrachés à la main ou à l'aide d'une bêche. Les individus peuvent être coupés lorsque le feuillage est trop haut, avec une scie d'élague.
- S'ils sont touffus et denses : utiliser une barre à mine et la faire traverser de part et d'autre des racines. Entourer les deux extrémités de la barre à mine à l'aide d'une corde, elle-même rattachée à un système de traction, tout en la faisant passer derrière l'îlot de végétation ciblé. Attacher la tête de la corde, à l'aide d'un mousqueton, à la partie rattachée au système de traction puis tirer sur le tout pour arracher les rhizomes. La Figure 40 schématise ce processus.

Il faut penser à secouer les racines sous l'eau pour faire retomber le substrat et la faune aquatique en veillant à ne pas créer de fragment végétal. Les matières végétales peuvent être exportées vers un centre de traitement adapté (Herteman, Norden et Vandersarren 2023).

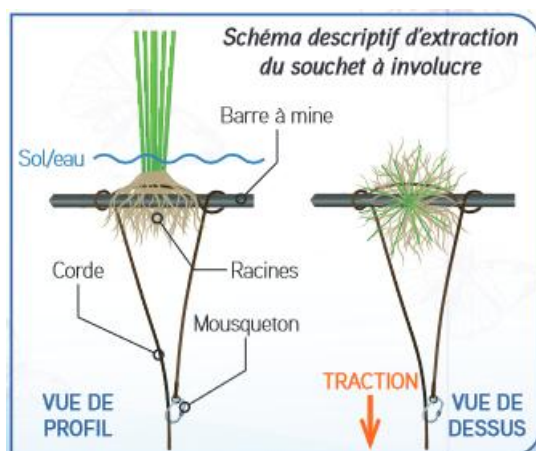


Figure 40. Schéma représentant le système d'arrachage de plante à rhizome en masse touffue et dense. Issu de Herteman, Norden & Vandersarren, 2023.

Les EEE immergées, comme l'hydrille verticillée (*Hydrilla verticillata*) pour l'Outre-mer, sont dotées d'organes spécialisés dans la multiplication végétative, dont certains peuvent rester longtemps inactifs dans le sédiment (Herteman, Norden et Vandersarren 2023, Singh, et al. 2023). Certaines de ces espèces sont particulièrement fragiles, peuvent se fragmenter et donc se disperser facilement : il est important d'éviter le piétinement du milieu afin de limiter la fragmentation. Ces espèces peuvent servir de support à la faune aquatique. Il faut extraire les individus de façon minutieuse (faucardage, arrachage, moissonnage...). Les tas prélevés doivent être rincés dans des seaux à fond blanc, les animaux sont ensuite prélevés à l'aide d'une épuisette et relâchés dans le milieu. Lorsqu'il n'y a plus d'individu en leur sein, il faut ensacher les végétaux et filtrer l'eau de rinçage contenue dans les seaux à l'aide d'une épuisette à mailles fines ou d'un tissu (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Il faut ensuite transporter les matières végétales dans un centre de traitement adapté.

Les EEE flottantes comme la jacinthe d'eau (*Pontedaria crassipes*) se disséminent grâce à la dispersion de fragments d'individus (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Le défi pour ces espèces est d'en extraire chaque fragment ou individu naissant (Singh, et al. 2023). Elles peuvent être récoltées à l'aide de fourches à bêche, de fourches courbées, de râtaux, d'épuisettes, de cordes ou de filets de pêche. Une embarcation légère peut être utilisée pour circuler dans le milieu. Tout obstacle entravant le rapatriement des EEE doit être éliminé puis les plantes en bord de mare doivent être exportées. Il est alors possible de ramener celles qui forment des tapis flottants à l'aide de corde (pour les grandes espèces) ou de filets (pour les petites espèces). Les fragments flottants doivent bien être ramassés. Les végétaux doivent si possible être secoués dans l'eau pour libérer la faune aquatique, en faisant attention de ne pas les fragmenter. Les EEE doivent être transportés vers des centres de traitement adaptés. Le Tableau 13 synthétise les modes de gestion exprimés ci-dessus.

Tableau 13. Récapitulatif des modes de gestion des différents types d'EEE végétales. Modifié de Herteman, Norden et Vandersarren, 2023.

Type d'EEE végétale	Mode de gestion	Traitement des matières végétales	Suivi prévu
EEE sur les berges	Coupe, débroussaillage, dessouchage, re-végétalisation. Pose éventuelle de bâche.	Transport en déchetterie, dans un contenant fermé. Incinération possible	Entretien régulier et fréquent, impliquant une coupe régulière des végétaux.
EEE enracinées	Arrachage, à la main ou à l'aide d'un système de traction	Transport vers un centre de traitement adapté. Enfouissement et compostage possible si les EEE sont exemptes de polluants.	Suivi et entretien une fois par semaine sont recommandés tant que des individus sont encore visibles. Le suivi peut évoluer progressivement vers un passage trimestriel.
EEE immergées	Extraction à l'aide d'outils et tri de la faune aquatique		
EEE flottantes	Extraction à l'aide de corde ou de filet et tri de la faune aquatique		Suivi et entretien une fois par semaine sont recommandés tant que des individus sont encore visibles. Le suivi peut évoluer progressivement vers un passage tous les deux mois.

Des projets de recherches sont également en cours pour mieux gérer les EEE végétales, comme le projet « Bon z'ail » qui vise à explorer le potentiel de l'ail pour dévitaliser les végétaux ligneux envahissants. Des techniques de collecte de végétaux visant à réduire la création de fragments de la Renouée du Japon sont également en cours d'expérimentation (Arnaud Albert, com. pers. 2025).

Gestion des Espèces Exotiques Envahissantes Animales

Les EEE animales peuvent être problématiques dans les mares : la Grenouille taureau (*Lithobates catesbeianus*), le Xénope lisse (*Xenopus laevis*), les différentes écrevisses et tortues américaines, le rat musqué (*Ondatra zibethicus*), le ragondin (*Myocastor coypus*), le raton-laveur (*Procyon lotor*), etc. Elles peuvent altérer la faune locale de plusieurs manières : par prédation ou compétition par exemple. Certaines EEE sont aussi capables de s'hybrider avec des espèces autochtones, comme c'est le cas entre le triton crêté italien (*Triturus carnifer*) et le grand triton crêté, ce qui peut amener à la disparition de l'espèce autochtone (Falaschi, et al. 2020, Office Français de la Biodiversité 2022). Elles peuvent également être porteuses de maladies affectant la faune locale ou modifier fortement les habitats colonisés. Par exemple les écrevisses américaines augmentent la turbidité des pièces d'eau dans lesquelles elles sont présentes. De plus, elles sont capables de coloniser des milieux non perturbés contrairement à de nombreuses EEE végétales : la lutte contre les EEE animales est de ce fait importante dès l'implantation de nouveaux foyers. La photographie 12 illustre la présence du raton laveur aux abords d'une mare nouvellement creusée et donc la rapidité de colonisation des milieux dont peut faire preuve cette espèce. Ainsi, si les mesures à prendre sont propres à chaque espèce, elles doivent faire l'œuvre un plan global impliquant toutes les parties prenantes concernées et s'inscrivant dans un projet de préservation de la biodiversité à large échelle (Descamps et De Vocht 2023).



Photographie 12. Empreinte de raton-laveur aux abords d'une mare nouvellement creusée – Havelange (Belgique).
©Luca Fagan / Natagora.

Certains retours d'expériences proposent des méthodes non sélectives pour gérer les invertébrés aquatiques envahissants. Par exemple vidanger un plan d'eau a été efficace pour éradiquer une population d'Anodonte chinoise (*Sinanodonta woodiana*) en Meurthe-et-Moselle (Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes, s.d). Les écrevisses américaines peuvent quant à elles être contrôlées par des moyens physiques tels que l'électrocution ou l'utilisation de biocides. Ces techniques non sélectives doivent cependant être considérées avec une grande prudence compte tenu de leur impact sur le milieu dans son ensemble et ne devraient être utilisées qu'en dernier recours, en l'absence d'autre technique et en cas d'absolue nécessité. Des solutions plus novatrices émergent cependant : Manfrin et al. (2019) préconisent d'étudier l'utilisation de pièges à phéromone pour piéger spécifiquement certaines espèces cibles, comme l'Écrevisse de Californie (*Pacifastacus leniusculus*). La stérilisation des mâles par exposition à des rayonnements couplée à un piégeage massif semble être une mesure permettant de lutter efficacement contre les écrevisses envahissantes américaines dans les mares (Manfrin, et al. 2019) .

La gestion des amphibiens envahissants passe majoritairement par de la capture des individus adultes grâce à des sennes ou de filets. Un assèchement de la mare peut être envisagé pour éliminer les têtards, mais cette mesure est destructrice pour les autres espèces aquatiques présentes (Martz 2014).

Concernant les mammifères exotiques envahissants (raton laveur, rat musqué, ragondin...) les méthodes recommandées de gestion des populations reposent sur du piégeage puis de l'euthanasie par des agents accrédités.

Il n'existe pas de méthode miraculeuse pour éradiquer un foyer d'EEE. Cependant, la prévention et la rapidité d'action sont des facteurs clés pour limiter l'implantation et la dispersion de nouvelles populations. Premièrement, il faut prévenir toute introduction ou dissémination d'EEE. Si une population est détectée, il faut agir au plus vite pour tenter de l'éradiquer. Si celle-ci est trop étendue pour en éliminer tous les individus, il convient de la confiner afin de limiter son expansion. **De même, il faut éviter de créer des réseaux de mares dans des secteurs présentant des foyers d'EEE.** Plus l'intervention est précoce et plus elle a de chances d'être efficace. De plus, les coûts économiques et les impacts sur les écosystèmes s'en retrouvent fortement diminués (Pagano, et al. 2024). Enfin, il est nécessaire de rappeler l'importance de mettre en place un suivi suite à des travaux d'extermination d'EEE pour évaluer l'atteinte des objectifs fixés et pour agir au plus tôt en cas de recolonisation. Des informations propres à la gestion des EEE peuvent être retrouvées sur le site du CdREEE.

Gestion de la fermeture de la mare

Afin de lutter contre l'assèchement de la mare par atterrissement ou comblement, il est possible de procéder à des actions de curage entre fin septembre et fin novembre, pour améliorer la profondeur de la mare et restaurer le milieu aquatique. Cette action permet à la mare de retrouver un stade « jeune » et un niveau d'eau suffisant pour le maintien des communautés animales et végétales aquatiques. Si la couche de vase dépasse 40 cm, la mare peut être curée tiers par tiers, sur 3 ans (Motte, et al. 2012, Guittet, et al. 2015), à la main, avec une pelle

ou un outil de type baguennette (Mallard, et al. 2023). Il faut veiller à ne pas percer la couche d'argile pendant cette opération. La photographie 13 illustre le curage d'une mare atterrie.



*Photographie 13. Mare prairiale avant et après une opération de curage.
© Philippe Massit / Office Français de la Biodiversité.*

Dans certains cas exceptionnels, il est également possible d'assécher la mare tous les 3 à 5 ans afin d'en retirer la vase, qui se minéralisera au contact de l'air et perdra son volume. Elle sera alors plus facile à extraire, mais une telle action peut avoir pour effet de faire germer des graines de végétaux (Typha, EEE...) qui peuvent alors proliférer (Guittet, et al. 2015) et impacter les espèces présentes. Il convient alors de surveiller la reprise de la végétation. De plus, l'assèchement de la mare peut avoir un très fort impact négatif pour les communautés animales. Des mares de substitution peuvent être créées à proximité pour que la faune y trouve refuge lors de la période d'assèchement.

De la même manière que pour la végétation, les vases extraites sont déposées quelques jours aux abords des mares afin d'en libérer les animaux piégés (Arnaboldi et Alban 2007, Oertli et Frossard 2013). Comme elles sont très riches en matières organiques, elles seront ensuite déposées loin des rives ou des écoulements d'eau, afin d'éviter un risque de lessivage et d'eutrophisation (Arnaboldi et Alban 2007, Guittet, et al. 2015), à plus de 35 mètres des zones humides et à plus de 50 mètres des habitations (Herteman, Norden et Vandersarren 2023). Cependant, si l'objectif est la restauration d'un écosystème à plantes pionnières, il est possible d'étaler les vases

en aval de la mare, à une distance de 10 à 15 mètres, afin de limiter le retour des nutriments à l'eau par ruissellement. Si le projet ne se trouve pas en zone inondable, afin de sécuriser le dépôt des vases et d'éviter leur retour à la mare, un merlon sera également créé avec des débris végétaux, ce qui permet de « tenir » les vases (Arnaboldi et Alban 2007, Motte, et al. 2012). Sur un sol très humide, la pelle mécanique peut être positionnée sur un caillebotis fait de branches, ce qui limite le tassement de la berge et empêche la pelle de s'enfoncer dans les vases molles (Arnaboldi et Alban 2007). Il est important d'assister le pelleur pour travailler de concert avec lui et le guider dans les travaux. Dans les massifs pauvres en plans d'eau, des mares de substitutions peuvent être créées lorsque le curage des mares plus anciennes s'avère nécessaire, ce qui permet de disposer d'une zone refuge pour la faune (Arnaboldi et Alban 2007). Le Tableau 14 présente la durée de curage et donc de location de pelle à prévoir en fonction de la surface de la mare ou du volume prélevé.

Tableau 14. Temps moyen de la mobilisation d'une pelle selon le volume à creuser. Modifié de de Arnaboldi & Alban, 2007.

	Variable mesurée	Durée de l'intervention
Surface de la mare (m ²)	$S < 150$	1 heure
	$150 < S < 300$	4 heures
	$300 < S < 500$	8 heures
	$500 < S < 850$	12 heures
	$850 < S < 1000$	16 heures
Volumes curés (m ³)	$V < 50$	3 heures
	$50 < V < 100$	5 heures
	$100 < V < 200$	8 heures

La réouverture de la mare s'accompagne également du retrait de la végétation ligneuse dont l'ombre empêcherait le réchauffement de l'eau et qui enrichit la mare en matières organiques. La photographie 14 illustre une mare trop ombragée pour laquelle il conviendrait de couper des ligneux et de retirer l'excédent de vase et le Tableau 15 récapitule les fréquences d'intervention pour la gestion de la végétation et de l'envasement au sein des mares.



Photographie 14. Mare forestière ombragée - Forêt de Rambouillet (Île-de-France).
©Timothé Courteille / Office Français de la Biodiversité

Tableau 15. Principales problématiques de restauration écologique et fréquences d'action. Issu de Herteman, Norden & Vandersarren, 2023.

Problématiques de restauration	Actions	Fréquences	Description
Pas de problématique particulière/ Gestion de la végétation indigène	Suivi du site	Trimestriel	La mare est en bon état et ne présente pas de perturbations particulières. L'entretien concerne essentiellement la régulation de la végétation aquatique ainsi que le ramassage de débris (branches, feuilles) ou déchets divers.
	Entretien du plan d'eau et des berges	Semestriel	
Envahissement par des EEE végétales	Suivi et entretien (Plan d'eau et/ou berges)	Hebdomadaire (Après opération)	• La mare est fraîchement restaurée, et des fragments des EEE ont potentiellement été créés lors de l'opération. • Les fragments sont clairement visibles et de nouveaux individus sont observés au fil des semaines Le passage à l'épuisette ou l'arrachage manuel est encore nécessaire. Même quand la quantité d'individus prélevés diminue au fil des semaines, il est important de continuer les efforts sur cette fréquence afin de ne laisser aucune opportunité aux EEE de croître à nouveau.
		Mensuel	Plus aucun individu, ni fragment n'est observé dans la mare. Garder encore cette fréquence d'observation pendant 3 mois.
	Suivi du site	Trimestriel	Après une période d'observation mensuelle sur 3 mois, la fréquence de suivi peut être espacée.
	Entretien du plan d'eau et des berges	Semestriel	La mare ne présente plus de problématique particulière.
Assèchement et comblement	Suivi et entretien	Mensuel (Après opération)	Suite aux opérations, l'observation doit se faire en période de pluie, afin d'observer le comportement de la mare vis-à-vis de la rétention de l'eau.
	Suivi du site	Trimestriel	La mare évolue bien, conserve son eau et l'eau ne présente pas une forte turbidité.
	Entretien du plan d'eau et des berges	Semestriel	

Reprofilage des berges

Le reprofilage consiste à aplanir des pentes qui seraient trop abruptes au niveau des berges. Pour ce faire, les boues et les terres issues des travaux peuvent être utilisées. Trois techniques existent pour réduire la pente des berges abruptes :

- Il est possible de basculer les berges abruptes, ce qui a l'avantage de conserver les graines du sol et d'améliorer la résistance des berges (Mallard, et al. 2023). Pour ce faire, il faut privilégier le travail en déblai, plutôt qu'en remblai, par écrêtage des « nez de marche » présents en berge et par suppression des cordons de curage s'ils existent (CAUE 27 2021). Le tout doit permettre de maintenir une capacité hydraulique finale supérieure ou égale à celle avant travaux.
- Si la place disponible est suffisante, des plages peuvent être créées avec une pente inférieure à 5% sur au moins un côté de la mare.
- Sinon, des banquettes peuvent être mises en place. Il s'agit de terrasses étroites d'un à deux mètres, qui sont aménagées dans une berge très abrupte. Cette technique favorise l'installation d'hélophytes et constitue une bonne substitution à la plage (Arnaboldi et Alban 2007).

Réimperméabilisation de la mare

Il peut arriver que la mare perde son caractère imperméable et ne retienne plus aussi efficacement l'eau. Ces pertes d'eau peuvent être dues à un trou creusé par des micromammifères dans le substrat imperméable ou par une dessiccation prolongée de l'argile qui entraîne sa rétractation et crée des fissures dans le sol. Plusieurs cas de figures se présentent alors.

Dans le cas où la fuite est due à des fissures dans l'argile, de la bentonite en poudre peut être dispersée afin de colmater ces failles une fois réhydratée (Ariège Nature 2018). Si le problème vient d'un trou dans une bâche EPDM, celle-ci peut être réparée en collant un morceau de bâche par-dessus le trou existant, en veillant à ce que les deux bâches se superposent d'au-moins 20 centimètres de chaque côté du trou et en les collant à l'aide d'un scotch double-face doublé d'une colle liquide non toxique pour le milieu aquatique (Métropole Rouen Normandie 2022). Cette opération nécessite de rendre la bâche accessible à l'endroit où elle est abîmée et donc de retirer une partie du substrat en place. Une mare trouée par un terrier de micromammifère peut retrouver son caractère imperméable par comblement du trou à l'aide d'argile mouillée. Il s'agit alors simplement de remplir le trou d'argile et d'essayer de le colmater sur les bords.

Un produit colmatant peut éventuellement être utilisé, permettant de boucher les points de fuite de l'eau. Par exemple, le produit DAMIT semble capable de colmater les fuites en se versant directement dans l'eau (The Pond Specialist s.d.). **Un point de vigilance est tout de même à soulever sur l'impact potentiel d'un tel produit sur l'environnement.**

Il est nécessaire de soulever le fait qu'une mare qui perd une partie de son caractère imperméable présente aussi un intérêt écologique. En effet, les niveaux plus faibles se réchaufferont plus vite et pourront être bénéfiques pour certaines espèces animales ou végétales. Si la mare percée ne répond pas aux mêmes objectifs que la mare initiale, ceux-ci peuvent être révisés. Sinon, une réintervention est alors nécessaire. Enfin, si une mare nouvellement créée ne retient pas tout de suite l'eau à son plein potentiel, il peut être intéressant d'attendre au moins une année avant d'y intervenir : des matières organiques pourront colmater les éventuelles fuites. Ainsi, une mare qui n'est pas immédiatement imperméable peut le devenir grâce à l'accumulation de matières organiques (Luca Fagan, com. pers. 2024). Attention, certaines pratiques sont à proscrire, comme l'introduction de poissons pour produire de la matière organique et ainsi imperméabiliser le substrat.

Turbidité et qualité de l'eau

La turbidité représente l'opacité de l'eau, due à la présence de matières en suspension (MeS). Celle-ci conditionne le développement d'espèces végétales, car une eau turbide laisse peu circuler la lumière dans le milieu aqueux.

La turbidité peut être due à un ruissellement depuis des terres agricoles, qui apporte sédiments, nutriments et potentiellement des pesticides. Elle peut être causée par la présence d'animaux, tels que les poissons (Abell 2018) ou les écrevisses, qui augmentent la quantité de matières organiques et minérales en suspension (Abell, et al. 2020). Enfin, les MeS peuvent être dues à un sur-piétinement de la berge (chiens, sangliers, bétail...), il convient alors de mettre en place des barrières qui limitent ce phénomène.

Si les MeS proviennent de l'écoulement de l'eau, un bassin de sédimentation peut être mis en place en amont du sens d'écoulement afin de piéger les sédiments (CAUE 27 2021). La distance entre la mare et le bassin doit être de 30 à 50 m afin que les sédiments ne soient pas remis en suspension. Il doit être profond de 60 à 80 cm et une surface de 50 à 60 m² est souvent suffisante. Ce bassin devra tout de même être curé tous les 5 à 10 ans en fonction des dépôts. Il présente l'avantage de réduire les interventions au niveau de la mare en elle-même (Arnaboldi et Alban 2007). Cette technique est surtout applicable à des mares qui sont mises en eau grâce à un système de fossés, qui induit un transport élevé de sédiments, organiques ou minéraux, surtout en contexte forestier (Frederic Arnaboldi, com. pers. 2024). Idéalement, une bande végétalisée entre le bassin de sédimentation et la mare est également très bénéfique pour la qualité de l'eau et pour augmenter la mosaïque d'habitats. D'autres solutions d'épuration de l'eau peuvent être mises en place, comme la création de haie bocagère en travers d'une pente (Mallard, et al. 2023), d'une zone tampon enherbée ou de roselière (Oertli et Frossard 2013, Pellet 2013, Westgate, et al. 2022) : une bande enherbée de 6 mètres de large permet une diminution du ruissellement de 60%, une diminution des matières en suspension de plus de 85% et une diminution de taux de nitrate de 45% dans les eaux de ruissellement (Grossi, et al. 2010). Si les ressources ne permettent pas l'instauration d'une bande enherbée tout autour de la mare, celle-ci peut au moins être mise en place par rapport au sens d'écoulement des eaux.

La coloration de l'eau peut également alerter sur les processus biologiques et la teneur en nutriments du milieu. Une eau colorée en brun est probablement due à la présence de substances humiques, présentes naturellement à cause de la dégradation de la matière organique du sol. Il ne s'agit donc pas d'une anomalie notable (Guittet, et al. 2015). Une eau de couleur verte est probablement due à la prolifération d'algues unicellulaires ou filamenteuses et donc à une eau très enrichie en nutriments. Les nutriments présents dans l'eau peuvent résulter d'une diffusion passive depuis les sédiments de la mare, un curage de ceux-ci peut s'avérer nécessaire (Abell, et al. 2020). L'eau peut également être éclaircie grâce au maintien de conditions favorables aux bivalves qui la filtrent et consomment les phytoplanctons (Burns, Schallenberg et Verburg 2013). Si des espèces favorisant la turbidité de l'eau (poissons, écrevisses exotiques...) sont présentes dans la mare, il convient de les en retirer, si possible, pour espérer retrouver une eau claire.

Ainsi, la turbidité et la qualité de l'eau de la mare sont dépendantes de la qualité des eaux de ruissellement et des dynamiques biologiques qui prennent place dans l'écosystème. L'amont, ainsi que l'usage de la mare (abreuvoir pour troupeau, usage par de la faune sauvage...) doivent alors être investigués afin de trouver les causes éventuelles de dégradation et d'agir en conséquence.

Comme à l'issue d'une création de mare, diverses mesures spécifiques à des taxons peuvent être mises en place. Elles sont présentées dans la partie II.c.



*Mare urbaine – Parc Guiland (Ile-de-France).
© Anne Vivier / Office Français de la Biodiversité*

IV. Recommandations

Les mares bénéficient d'une attention croissante à la fois par la communauté scientifique mais également par la société civile, qui les reconsidèrent sous un œil nouveau. Cependant, leurs modes de fonctionnement, les techniques permettant de les prospector, créer, restaurer, les services écosystémiques précis qu'elles prodiguent, les facteurs socio-économiques auxquels elles sont reliées, etc. souffrent encore de lacunes de connaissances (Gayet, et al. 2016, Hill, et al. 2021, Mallard, et al. 2023). Cette partie vise à proposer des recommandations pour améliorer les connaissances sur les mares et sur les projets de restauration / création développés à l'échelle nationale, pour mieux accompagner les acteurs qui travaillent sur les mares et pour mobiliser la société vis-à-vis de la préservation de ces pièces d'eau. Au moment de la rédaction de ce rapport, la SNPN a élaboré un Plan d'Action sur les Mares (PAM) (SNPN 2025) qui vise à développer un ensemble d'actions en faveur de ces écosystèmes et qui formule également d'importantes recommandations pour leur préservation et leur restauration.

a. Axe connaissances

Améliorer et diffuser la connaissance des projets et des pratiques

La connaissance des projets relatifs à la création et/ou la restauration de mares en France manque de centralisation. Or, de nombreuses structures travaillent sur cette thématique tel que le montre la Figure 16 (Mallard, et al. 2023). Cette diversité d'acteurs est à la fois bénéfique pour démultiplier les actions en faveur des mares mais induit des défis en termes de concertation et de mutualisation des projets, connaissances et expertises. Ainsi, il est conseillé de recenser les projets de restauration ou de création de mares ou de réseaux de mares sur la plateforme BDRest (<https://bdrest.fr/>), ce afin d'enrichir la banque de données nationale des projets de restauration et de favoriser le partage de connaissances techniques et de retours d'expériences.

Établir des stratégies locales de création et de restauration

Il est nécessaire d'établir des stratégies locales de création et de restauration de mares et des réseaux de mares. Pour ce faire, il convient d'apporter un appui aux gestionnaires. Un des préalables essentiels consiste à connaître l'état des lieux de l'existant. Ainsi, il faut encourager les démarches de recensement des mares et la caractérisation de leur état écologique. Certains programmes locaux comme les Programmes d'Actions Régionaux en Faveur des Mares (PRAM) permettent de localiser et décrire les mares à l'échelle régionale et cette initiative doit être poursuivie pour couvrir l'ensemble du territoire. Ces données permettent de créer des outils de modélisation pour identifier des secteurs à enjeux et planifier les projets de restauration et de création de réseaux de mares, à l'image de ce qui a été développé lors du projet TRAMARE (Godet et Clauzel 2020) en Île-de-France grâce au logiciel Graphab. Il faut encourager le développement de tels outils qui permettent de répondre à différentes questions, par exemple : comment bien fixer les objectifs de restauration et dimensionner correctement son projet ? Comment planifier spatialement et temporellement son projet ? Comment suivre le succès des opérations de restauration ? Comment bien prendre en compte le contexte local afin que le projet y soit adapté ? Quelles sont les échelles d'intervention qui semblent pertinentes ? Ainsi, le développement d'outils de modélisation semble nécessaire pour optimiser et guider les choix de mares à restaurer et à suivre, ainsi que les choix d'intervention.

Améliorer l'évaluation des projets de création et de restauration

Comme évoqué précédemment, il existe de nombreux protocoles de suivis et d'évaluation qui permettent d'apporter un regard critique sur l'efficacité des actions de restauration engagées. Cependant, cette phase post-travaux n'est pas toujours bien anticipée dans le cadre de certains projets et fait rarement l'objet de financements. Ainsi, il est fortement recommandé de mettre en place des dispositifs complets de suivis et d'évaluation des opérations de restauration/création de mares, notamment pour une sélection de projets ambitieux (par exemple, restauration de réseaux de mares, espèces à forts enjeux...). En effet, la SNPN estime

qu'il existe plus d'un million de mares en France (Mallard *et al.* 2023) ; même si une portion réduite de ces mares est restaurée et malgré la diversité d'acteurs travaillant sur cette thématique, il semble très compliqué d'organiser des suivis complets à long terme de l'ensemble des pièces d'eau : il faut donc prioriser les projets pour lesquels organiser des suivis.

Il faut par ailleurs encourager l'utilisation des protocoles et outils de suivi et d'évaluation standardisés, présentés dans la partie III.a. Il est également fortement recommandé de bancariser les données de suivi dans des bases de données institutionnelles (INPN par exemple) afin d'en assurer la pérennité et l'accessibilité.

De plus, les approches traditionnelles d'évaluation de la restauration se basent sur des indicateurs simples comme la richesse spécifique ou sur des fonctions isolées comme l'accumulation de carbone dans le sol, qui ne permettent pas systématiquement d'appréhender la complexité des écosystèmes (Fontès, *et al.* 2024). Si les écosystèmes sont restaurés en ne prenant en compte que ces variables, ils ne retrouvent qu'une partie de leur biodiversité, fonctions et services écosystémiques perdus, même après des décennies (Moreno-Mateos, *et al.* 2020). Une piste de recherche serait de créer des indicateurs basés sur de nouvelles variables :

- Moreno-Mateos *et al.* (2020) préconisent de s'intéresser aux structures de réseaux d'interactions qui sont plus sensibles aux perturbations que les paramètres simples habituels. Par exemple le réseau formé par les collemboles fongivores, champignons mycorhiziens, plantes, insectes herbivores et leurs parasites pourrait être étudié : en effet, il illustre un large spectre d'interactions biologiques qui inclut différents règnes, types de réseaux et types d'interactions (Moreno-Mateos, *et al.* 2020). Une autre piste serait l'étude des interactions mycorhiziennes, qui influencent la survie la productivité et la diversité de 86% des plantes terrestres (Van der Heijden, *et al.* 2015).
- De même, il semble possible d'étudier les diatomées afin de caractériser l'état d'une mare et donc d'évaluer les succès de restauration : par exemple, le genre *Eunotia* est caractéristique des eaux pures et le genre *Navicula* est typique des eaux polluées (Jourdas 2013). La recherche permettrait éventuellement de trouver d'autres genres inféodés à des paramètres spécifiques.
- L'écoacoustique semble également être une piste intéressante pour évaluer le succès de restauration des mares : Greenhalgh, *et al.* 2021 ont comparé le paysage sonore de différentes mares et ont réussi à identifier des sons spécifiques à certaines espèces de dytiques. De plus, l'écoacoustique a l'avantage d'être une méthode non invasive, qui ne perturbe pas le milieu. Cette piste ouvre la porte à l'utilisation d'une banque sonore permettant de fixer des objectifs de restauration et de procéder à des suivis post-travaux.

Enfin, afin de renforcer l'évaluation de la restauration, ces indices doivent être mis en parallèle à des taux d'intégrité écologique telle que définie dans la partie I.a, puisque l'utilisation d'indices mesurant l'intégrité écologique d'un milieu semble efficace pour évaluer le succès des actions de restauration (Karr, Larson et Chu 2021).

Également, la durée des suivis des opérations de restauration est généralement trop courte. Ils ne permettent de saisir que partiellement la trajectoire de restauration alors que la récupération des fonctions écosystémiques complètes prend des dizaines d'années, voire des siècles (Moreno-Mateos, *et al.* 2020). Le financement d'études sur le long terme est nécessaire pour mieux comprendre les dynamiques des écosystèmes (identification de tendances, de fluctuations) qui n'apparaissent pas lors d'études à court terme (Littlefair, *et al.* 2024). Les opérations de restauration et leur suivi doivent donc être planifiées sur le temps long.

Les aspects économiques peuvent également faire l'objet d'études, par exemple concernant les coûts de la restauration ou les coûts de la non restauration. Ces études pourraient tenter de répondre aux questions suivantes : quelle est la balance investissement / bénéfice de la restauration écologique pour les sociétés humaines ? Comment dimensionner son projet de restauration pour en limiter les coûts tout en maximisant les bénéfices pour la biodiversité ? Des études sur les facteurs de réussite et d'échec de la restauration écologique doivent parallèlement être mises en place en combinant des aspects techniques (méthodes de restauration utilisées), sociologiques (freins et opportunités à l'acceptabilité sociale des projets), économiques (freins et leviers d'action) et écologiques. Ces études permettraient de limiter les échecs d'opérations de restauration et donc le coût de ces opérations.

Améliorer les techniques de restauration / création de mares

L'intérêt autour des mares s'est fortement renouvelé ces dernières années, ce qui a mené à la réalisation de nombreux programmes de création et de restauration sur le territoire. Dans la continuité de ces actions, le PAM, porté par la SNPN, a notamment pour ambition de restaurer et/ou créer 30 000 nouvelles mares sur le territoire, entre 2025 et 2030 (SNPN, 2025). Dans ce cadre, il convient de rappeler que le choix de l'emplacement de la mare est déterminant pour l'atteinte des objectifs des projets de création (mares temporaires ou permanentes, distance aux espèces cibles, etc.). Il faut privilégier les emplacements où le terrain retient naturellement l'eau et où la collecte d'eau se fera plutôt facilement (dans un point bas, à proximité d'une source ou d'un cours d'eau, sur nappe alluviale, etc.). Dans l'optique de créer des mares et des réseaux de mares durables, il est nécessaire de privilégier des terrains où ces écosystèmes pourraient naturellement se former plutôt que d'artificialiser un milieu dont le sol est perméable.

Toutefois, certains enjeux locaux (foyers d'espèce cible, enjeux éducatifs, de connectivité, etc.) peuvent justifier l'emploi de techniques d'imperméabilisation du sol. S'il est nécessaire d'imperméabiliser, plusieurs techniques sont disponibles et présentent toutes des avantages et des inconvénients. Ainsi, l'application d'une couche d'argile présente *a priori* peu de risques pour l'écosystème et peut permettre de contribuer au cycle de vie de certaines espèces fouisseuses (Pélobate brun (*Pelobates fuscus*), Pélobate cultripède, Alyte accoucheur), elle est toutefois difficile à maîtriser et est sensible aux risques de dessiccation. A défaut, la bâche EPDM est fréquemment utilisée lors de la création de mares. Cependant, ce matériau a une durée de vie limitée et aucune étude n'a pu être trouvée qui démontrait son innocuité vis-à-vis du milieu naturel, ce qui rend son utilisation questionnable. Ainsi, deux approches peuvent être envisagées.

Premièrement, la recherche de nouveaux matériaux permettant l'étanchéification du sol. Certaines expérimentations sont menées en ce sens sur de nouvelles molécules comme le polyacrylate de sodium. Mélangé à du ciment, il a permis d'en augmenter la capacité de rétention d'eau et de lutter contre son craquellement (Nalawade, Shendge et Sharma 2024) puisqu'il libère de l'eau en cas d'assèchement. Ce polymère a également été testé à plusieurs concentrations pour retenir l'eau dans les sols sableux (Zhuang, Longguo et Liu 2013) : l'étude a mis en évidence qu'il permet de diminuer la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol et même de l'arrêter totalement lorsque sa concentration atteint 1%.

Deuxièmement, il est primordial de mieux maîtriser les modes d'application d'argile sur le sol ou de remettre au goût du jour des techniques anciennes de création de mares. Par exemple, il est fait mention de « fosses à rosées » dans le document de Graitson, Morelle et Feremans (2009). Ces mares sont disposées à l'écart de toute source et non alimentées par le ruissellement. Le sol creusé est rapidement tapissé d'une couche de paille sèche, elle-même recouverte d'argile. La paille isole l'argile de la chaleur, ce qui permet à l'eau présente dans l'air de condenser la nuit au contact de l'argile et donc de remplir la mare. La fraîcheur du sol diminue également la quantité d'eau qui s'évapore pendant la journée (Graitson, Morelle et Feremans 2009). Cette technique mériterait des expérimentations pour savoir si elle est applicable, dans quelles conditions, quelles densités de paille et d'argile doivent être utilisées, etc. De la même manière, il serait intéressant de retrouver la technique du « béton romain », qui pourrait servir d'imperméabilisant. Certaines structures datant de l'Antiquité et construites avec ce matériau existent toujours aujourd'hui, témoignant de sa résistance dans le temps (Brissaud 2024).

Dans l'optique d'un accroissement du nombre créations de mares en France à venir sous l'influence du PAM, il est donc impératif d'étudier rigoureusement les impacts des matériaux artificiels (EPDM, polyacrylate, béton romain...) dans l'environnement et de mieux maîtriser les techniques naturelles d'imperméabilisation.

Concernant la restauration des mares, les méthodes actuelles se résument globalement à des actions curatives (retrait de vase, de végétaux...). Il faut ainsi agir de manière plus directe sur les pressions qui dégradent les mares et dont l'arrêt est nécessaire pour que les milieux se restaurent et se maintiennent. Ceci est d'autant plus important que d'autres pressions menacent l'existence des mares, comme les changements climatiques, en modifiant les températures et les régimes de précipitations (Trenberth 2011, Oertli et Frossard 2013), en augmentant l'évaporation de l'eau (Pronost 2019) et en permettant un développement plus abondant de communautés eutrophes par rapport aux communautés oligotrophes : le tout menant à une diminution de la diversité spécifique (Mooik, et al. 2005).

Les questions relatives à la gestion, création et restauration des mares doivent également se pencher sur les impacts de la présence d'animaux qui modifient profondément le paysage. Par exemple, le castor crée des mosaïques complexes de milieux humides, pouvant parfois s'apparenter à des mares, en construisant des barrages (He, et al. 2024). Une telle action peut potentiellement favoriser la dispersion de certaines espèces et fournir des habitats supplémentaires propices aux espèces d'amphibiens et d'invertébrés. La présence de castors peut aussi connecter à un réseau hydrographique des mares qui étaient initialement isolées. Il semble ainsi nécessaire de se demander quelles espèces sont susceptibles d'impacter durablement les mares, et de quelle manière. Quels seraient les impacts de ces perturbations et comment identifier et prendre en compte ces espèces au moment de la planification ?

Poursuivre la recherche sur le fonctionnement des mares.

La compréhension des dynamiques intrinsèques aux mares (individuelles et en réseau) permet de guider les actions de gestion, création et restauration en mettant en lumière de nouveaux objectifs à atteindre. Par exemple, puisque les mares relarguent du carbone lorsque l'eau s'en évapore (Pronost 2019), comprendre les dynamiques d'assèchement des mares normalement permanentes pourrait permettre de limiter ce relargage. Des recherches doivent donc être menées en ce sens en incluant l'impact des réseaux de mares sur l'évaporation de l'eau : les réseaux permettent-ils d'augmenter la quantité totale d'eau évaporée et de rafraîchir l'air ambiant ? Cette évaporation est-elle suffisante pour avoir une incidence sur les ressources en aval ? Si oui, à partir de quelle densité de mare par unité de surface et dans quel(s) contexte(s) paysager(s) sont-ils effectifs ? L'évaporation peut-elle être limitée lorsqu'un couvert végétal est présent au-dessus de la mare ? Quelles seraient alors les conséquences sur la biodiversité inféodée aux mares qui dépend de la luminosité et de la température de l'eau ? De même concernant l'eutrophisation, il a été mis en évidence que la reforestation d'un terrain plat ou presque pourrait permettre d'augmenter la quantité de phosphore dans le sol et diminuer les risques de perte de phosphore (Li, et al. 2023) : ces résultats semblent corroborer l'étude de Pronost (2021) qui montre que les vieilles mares boisées accumulent plus de nutriments que les jeunes mares.

De ce fait, il semble intéressant de mener des études sur les fonctions prodiguées par les réseaux de mares d'âges variés, notamment vis-à-vis des dynamiques d'évaporation, du stockage de nutriments dans le sol et du relargage dans les eaux courantes, afin de caractériser leur rôle dans la résilience des paysages aux changements climatiques et donc de guider les choix d'intervention en conséquence. De plus, la succession écologique de mares moins sujettes à l'assèchement et moins eutrophes se fait selon un rythme plus lent, ce qui rend les opérations de restauration et d'entretien moins fréquentes, limitant l'usage d'engins de chantiers et donc les coûts associés.

b. Axe appui aux acteurs et mobilisation de la société

Développer un axe restauration au sein des stratégies régionales sur les mares.

De nombreux acteurs travaillent sur la thématique des mares et œuvrent pour leur restauration mais il existe de nombreuses lacunes de diffusion des informations au niveau national. Ainsi, le développement ou la consolidation d'un réseau d'acteurs national sur la restauration des mares aurait tout son intérêt, par exemple à travers le Pôle-relais Mares et Vallées Alluviales (<https://bassinversant.org/przhmva/>). Cette démarche doit s'inscrire dans une volonté de cocréation avec tous ces partenaires. Des personnes relais pourraient centraliser les informations propres à leur territoire et les faire remonter au niveau national à un organisme dédié afin de disposer d'une vue d'ensemble des initiatives prenant place en France, comme préconisé par Mallard, *et al.* (2023). Les acteurs pourraient bénéficier de formations spécialisées, visant à renforcer leurs compétences. Ce réseau serait une opportunité de disposer d'un maillage conséquent de personnel et d'outils sur la thématique des mares, organisé en groupes de travail et d'échange, permettant la mise en place de projets réalistes et pérennes, d'échanges de documentations, d'entraide. Des plans de restauration, création ou gestion de mares propres aux enjeux territoriaux locaux pourraient de ce fait être établis. Des programmes de suivi et d'évaluation sur le long terme pourraient également être coconstruits avec ces acteurs.

Fédérer la société autour de projets de restauration/création de mares.

Parallèlement à la formation d'un réseau d'acteurs national et afin de toucher un public le plus large possible, des campagnes d'information et l'utilisation de divers médias peuvent être envisagées. De même, la préservation, restauration et création de mares et des réseaux de mares peuvent faire partie intégrante des programmes éducatifs. Exporter la connaissance hors du cercle scientifique permettrait d'améliorer la protection des mares, en informant sur les menaces et bénéfices inféodés à ces milieux. Par exemple, des visuels simples à l'attention du grand public peuvent être développés à l'image de ce qui avait été fait dans les campagnes « Mare's attaque » ou « Un dragon ! Dans mon jardin ? ».

De plus, la restauration de mares peut être un outil pour permettre aux communautés locales de s'approprier ces écosystèmes (Bastakoti, Prathapar et Okwany 2016). Ainsi, l'organisation de chantiers participatifs pour restaurer ou créer des mares peut constituer un outil très efficace pour leur préservation : en s'investissant concrètement pour la préservation et restauration d'un milieu, les populations seront sans doute plus aptes à protéger ce dernier et à sensibiliser d'autres citoyens.

Conclusion

Les mares sont des écosystèmes menacés, riches en biodiversité, participant à construire une identité territoriale et dont la forte régression au cours du siècle dernier menace un grand nombre d'espèces sensibles et protégées. La restauration de ces écosystèmes, ou la création de nouvelles mares, permettant de densifier les réseaux existants et ainsi de soutenir des populations fragilisées, apparaît de ce fait comme une nécessité.

Si la restauration écologique est confrontée à certains obstacles en Europe, comme des financements insuffisants, des conflits d'intérêts ou des faibles priorités politiques vis-à-vis de cette discipline (Cortina-Segarra, et al. 2021), l'adoption récente du Règlement sur la Restauration de la Nature et la rédaction de plans nationaux vont accroître les dynamiques de restauration sur tous les milieux.

La forte diversité des types de mares rend complexe l'établissement d'un cadre commun qui permettrait de guider la réalisation des travaux. Ainsi, il n'existe pas de méthode ou de technique standardisée pour la restauration des mares (Mallard, et al. 2023). Toute personne souhaitant créer ou restaurer une mare doit bien définir les objectifs qu'elle souhaite atteindre, prendre en compte l'environnement autour de la mare et mettre en place un suivi permettant de s'assurer que la création (ou la restauration) soit un succès.

Dans tous les cas, le facteur humain doit être considéré lors de tels travaux. En effet, que ce soit pour creuser la mare, pour l'entretenir ou pour la restaurer, la communication et l'accompagnement des différents acteurs est nécessaire. Le déploiement d'une dynamique concertée à l'échelle nationale, permettrait de déployer des réseaux denses de mares, favorables à la faune et la flore menacées de ces milieux.

Cependant, il faut garder à l'esprit que choisir de créer un écosystème se fait nécessairement au détriment d'autres types de milieux et donc d'autres espèces. Ainsi, il convient de toujours se poser la question de l'urgence à agir et de la balance bénéfices / pertes engendrés par les travaux. La même réflexion peut d'ailleurs se poser dans le cadre de la restauration de mares, qui vont fortement modifier des écosystèmes ayant mis en place des interactions vieilles de plusieurs dizaines, voire centaines d'années. Le choix des actions sera alors uniquement justifié par les objectifs écologiques, sociaux, écosystémiques visés.

Enfin, si la restauration écologique représente un levier permettant de lutter contre la perte de biodiversité, celle-ci ne doit pas servir d'argument pour continuer à dégrader la nature : des écosystèmes nouvellement restaurés ne sont probablement pas le siège d'interactions biologiques aussi complexes et résilientes qu'au sein d'un milieu maintenu depuis plusieurs centaines, voire milliers d'années. Ainsi, s'il est important de développer les techniques de restauration écologique, il est plus qu'urgent d'enrayer la dégradation du vivant. Dans cette optique, la communication autour de la biodiversité, de ses bénéfices et de sa préservation joue un rôle fondamental. Communiquer autour du rôle du vivant et lui redonner la place centrale qu'il occupe pour l'Humain est nécessaire pour tendre vers une approche de coviabilité socio-écologique, qui limite la distinction entre les notions de « nature » et de « culture », afin « d'adopter l'idée de continuité entre les humains et les autres entités vivantes » (IRD 2021).

Références

- Abe-Goulier, J-C, Maury-Deleu, V., Brien, V., Bernet, E., Chaïb, J. Coubé J-M., Domingues C., Marchalot A. (2019). *Mares de Normandie*. Falaises, 143 p.
- Abell, J. (2018). *Shallow lakes restoration review: A literature review* (Rapport technique). Waikato Regional Council. <https://webstatic.niwa.co.nz/library/WRCTR18-13.pdf>
- Abell, J. M., Özkundakci, D., Hamilton, D. P., & Reeves, P. (2020). Restoring shallow lakes impaired by eutrophication: Approaches, outcomes, and challenges. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, DOI : <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1854564>
- Adhurya, S., Suvendu, D., & Santanu, R. (2020). Guantrophication by Waterbirds in Freshwater Lakes: A Review on Ecosystem Perspective. Dans *Mathematical Analysis and Applications in Modeling*. Springer Nature Singapore Pte Ltd, DOI : [10.1007/978-981-15-0422-8_22](https://doi.org/10.1007/978-981-15-0422-8_22)
- Aquabio. (2023, 8 septembre). *Indice BECOME : le premier outil français de Bioindication des ECosystèmes Mares et Etangs*. <https://www.aquabio-conseil.com/blog/le-coin-des-experts-10/post/indice-become-le-premier-outil-francais-de-bioindication-des-ecosystemes-mares-et-etangs-280>
- Aquaportail. (s.d.). *Recyclage écologique*. Consulté le 23 septembre 2024, sur <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/14329/recyclage-ecologique>
- Araya, M. J., Araya-Moreno, J., Coulibaly, Y. M., & Savadogo, T. B. (2024). Between 'the Technical' and 'the Social'? The case of farm ponds for supplemental irrigation in Burkina Faso and Mali. *International Journal of Rural Management*, 20(3), 1-16. DOI : [10.1177/09730052231221332](https://doi.org/10.1177/09730052231221332)
- Ariège Nature. (2018). *Les mares d'Ariège : les entretenir et les restaurer* (Fiche technique CATZH09 n°2). Ariège Nature. https://ariegenature.fr/wp-content/uploads/2018/11/Diversit%C3%A9-et-interets-des-mares_CATZH09.pdf
- Arnaboldi, F., & Alban, N. (2007). *La gestion des mares forestières de plaine* (Guide technique). Agence de l'eau Seine Normandie. https://bassinversant.org/wp-content/uploads/2023/07/onf_gestion_mare_forest_plaine_2006-1.pdf
- Association Rever. (2024, septembre). *La Restauration écologique ?* (Poster). 14èmes Assises nationales de la biodiversité, La Rochelle.
- Atkinson, J., & Bonser, S. P. (2020). "Active" and "passive" ecological restoration strategies in meta-analysis. *Restoration Ecology* 28(5). DOI : [10.1111/rec.13229](https://doi.org/10.1111/rec.13229)
- Aubé, L. (2020). *Élaboration d'un outil de priorisation des milieux humides incluant les services écosystémiques sur le territoire de la MRC* (mémoire). Université de Sherbrooke. <https://usherbrooke.scholaris.ca/items/161d2bd2-4aa1-4c63-975d-27291755f0a2>
- Auger, L., Pain, T., Prey, T. (2022). *Une gestion en faveur des characées*. SyMEL, Conservatoire Botanique National de Brest. <https://www.symel.fr/wp-content/uploads/2022/07/Plaque-100x210-3-volets-CHARACEES-SyMEL.pdf>
- Bartrons, M., Trochine, C., Blicharska, M., Beat, O., Lago, M., & Brucet, S. (2024). Unlocking the potential of ponds and pondscapes as nature-based solutions for climate resilience and beyond : Hundred evidences. *Journal of Environmental Management*, 359. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120992>
- Bastakoti, R., Sanmugam, C., Prathapar, A., & Okwany, R. O. (2016). Community pond rehabilitation to deal with climate variability : A case study in Nepal Terai. *Water Resources and Rural Development*, 7, 20-35. DOI : [10.1016/j.wrr.2016.01.001](https://doi.org/10.1016/j.wrr.2016.01.001)
- Beebee, T. J. C. (1992). Amphibian decline ? *Nature*, 125(3) : 271-285. DOI : [10.1016/j.biocon.2005.04.009](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.009)

- Bernard, C. (2019). *Évaluation de l'efficacité des mesures de création et entretien de mares. Cadre méthodologique*. UMR PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), Paris, 46p + annexes. <https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Appels%20C3%A0%20projets/AMI-effNatura2000/Cadre%20m%C3%A9thodologique%20Mares%20AMI%20efficacit%C3%A9%20N2000.pdf>
- Bernard, C., Percevault, L., Witté, I., Prima, M.-C., & Rouveyrol, P. (2023). *Évaluation de l'efficacité de mesures de création et d'entretien de mares en sites Natura 2000*. Analyses préliminaires. Patrinat (OFB-MNHN-CNRS-IRD), Paris, 48p + annexes. <https://hal.science/hal-04324941v1>
- Les Blongios. (s.d.). *Fiches techniques chantier nature*. Les Blongios, Lille. <https://www.lesblongios.fr/sites/default/files/pdf/fiches-techniques-chantier-nature-blongios-1.pdf>
- Borthagaray, A. I., Cunillera-Montcusí, D., Bou, J., Biggs, J., & Arim, M. (2023). Pondscape or waterscape? The effect on the diversity of dispersal along different freshwater ecosystems. *Hydrobiologia*, 850(15), 3211-3223. DOI : [10.1007/s10750-022-05123-0](https://doi.org/10.1007/s10750-022-05123-0)
- Bortoli, C., & Guérin, M. (2022). *Abattage, dessouchage, dévitalisation : des clés pour substituer et diversifier ces pratiques au bénéfice de la conservation et de la valorisation des arbres - Version 2* (Guide technique). Plante & Cité, 70p. (ISBN: 978-2-38339-008-4). https://www.cerema.fr/system/files/documents/2023/11/guide_devit_v2_plante_cite.pdf
- Brinson, M. M., Rheinhardt, R. D., Hauer, R. F., Lee, L. C., Nutter, W. L., Smith, R. D., & Whigham, (1995). *A Guidebook for Application of Hydrogeomorphic Assessments to Riverine Wetlands* (Rapport technique). East Carolina University. <https://wetlands.el.erdc.dren.mil/pdfs/wrpde11.pdf>
- Brissaud, T. (2024). *La création de mares temporaires méditerranéennes : défis techniques et aide à la décision* (Rapport de fin d'étude). CEN Occitanie.
- Burns, C. W., Schallenberg, M., & Verburg, P. (2013). Potential use of classical biomanipulation to improve water quality in New Zealand lakes : a re-evaluation. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 48(1). DOI : <https://doi.org/10.1080/00288330.2013.838589>
- Calhoun, A. J. K., Mushet, D. M., Bell, K. P., Boix, D., Fitzsimons, J. A., & Isselin-Nondedeu, F. (2017). Temporary wetlands: challenges and solutions to conserving a 'disappearing' ecosystem. *Biological Conservation*, 211(2), 3-11. DOI : [10.1016/j.biocon.2016.11.024](https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.11.024)
- Canivé, J., Luglia, R., & Sajaloli, B. (2022). *Les mares, un patrimoine naturel construit, un patrimoine naturel négligé. Intégrer les dimensions géohistoriques et territoriale dans la gestion contemporaine des petits lieux d'eau* (p. 4-5). SNPN, Laon.
- Caria, M. C., Capra, G. F., Buondonno, A., Seddaiu, G., Vacca, S., & Bagella, S. (2015). Small-scale patterns of plant functional types and soil features within Mediterranean temporary ponds. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with All Aspects of Plant Biology*, 149(2), 1-11. DOI : [10.1080/11263504.2013.821097](https://doi.org/10.1080/11263504.2013.821097)
- Cellule d'Assistance Technique aux Zones Humides 32. (2010). *Les mares de l'Astarac. La création de mares une opportunité, des choix à opérer* (Fiche technique n°10). https://www.adasea32.fr/sites/default/files/files/CAT-ASTARAC_Fiche_technique_n%C2%B01-CAT_mares_2010.pdf
- CAUE 27. (2021). *Guide de bonnes pratiques. L'aménagement intégré des mares pour associer paysage, hydraulique et écologie* (Guide). <https://caue27.fr/wp-content/uploads/2021/10/guide-mares-2021-web.pdf>
- Cayuela, H., Besnard, A., Cote, J., Laporte, M., Bonnaire, E., Pichenot, J., Schtickzelle, N., Bellec, A., Joly, P., & Léna, J.-P. (2020). Anthropogenic disturbance drives dispersal syndromes, demography, and gene flow in amphibian populations. *Ecological Monographs*, 90(2). DOI : [10.1002/ecm.1406](https://doi.org/10.1002/ecm.1406)

- Cayuela, H., Bonnaire, E., Pichenot, J., & Besnard, A. (2021). Gestion forestière et dynamique des populations de Sonneurs à ventre jaune (*Bombina variegata*) : synthèse bibliographique et mesures de conservation. *X*, 178-216. DOI : [10.48716/bullshf.178-3](https://doi.org/10.48716/bullshf.178-3)
- Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes. (s.d.). *Retours d'expériences de gestion faune*. Consulté le 27 septembre 2024, sur <https://especes-exotiques-envahissantes.fr/retours-dexperiences-de-gestion-faune/>
- Centre de Ressources Milieux Humides. (2023a, 24 mai). *Les mares anthropiques*. <https://www.zones-humides.org/les-mares-anthropiques>
- Centre de Ressources Milieux Humides. (2023b, 24 mai). *Les mares naturelles*. <https://www.zones-humides.org/les-mares-naturelles>
- Céréghino, R., Boix, D., Cauchie, H.-M., Martens, K., & Oertli, B. (2014). The ecological role of ponds in a changing world. *Hydrobiologia*, 723(1), 1-6. DOI : [10.1007/s10750-013-1719-y](https://doi.org/10.1007/s10750-013-1719-y)
- Chenot, J. (2018). *Réhabilitation écologique d'écosystèmes dégradés par l'exploitation des carrières : faire avec, refaire ou laisser faire la nature ?* [Thèse de doctorat en Sciences de la vie, Université d'Avignon]. <https://theses.hal.science/tel-02070639>
- Chin, K. S., & Taylor, P. D. (2009). Interactive effects of distance and matrix on the movements of a peatland dragonfly. *Ecography*, 32(5), 715-722. DOI : [10.1111/j.1600-0587.2009.05744.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0587.2009.05744.x)
- CNPF. (2010). *Mares Forestières*. CNPF Bretagne-Pays de la Loire. Saint-Herblain. <https://bretagne-paysdelaloire.cnpf.fr/sites/bretagne-paysdelaloire/files/2023-02/Mares-forestieres.pdf>
- CNRS et INRAE. (2017). *Eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*. https://www.cnrs.fr/sites/default/files/download-file/Eutrophisation_resume_FR.pdf
- Code de l'environnement, art. L210-1, 211-1 et 211-1-1. (2024).
- Collectif RhoMéO. (2014). *La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée*. Conservatoire d'Espaces Naturels de Savoie. 253p + annexes.
- Commission Européenne. (2013). *Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28*. DG-ENV.
- Cortina-Segarra, J., García-Sánchez, I., Grace, M., Andrés, P., Baker, S., Bullock, C., Decler, K., Dicks Lynn, F., Frouz, J., Klimkowska, A., Kyriazopoulos, A. P., & Moreno-Mateos, D. (2021). Barriers to ecological restoration in Europe: expert perspectives. *Restoration Ecology* 29(4). DOI : [10.1111/rec.13346](https://doi.org/10.1111/rec.13346)
- Cuenca-Cambronero, M., Blicharska, M., Perrin, J.-A., Davidson, T. A., Oertli, B., Lago, M., Beklioglu, M., Meerhoff, M., Arim, M., Teixeira, J., De Meester, L., Biggs, J., Robin, J., Martin, B., Greaves, H. M., Sayer, C. D., Lemmens, P., Boix, D., Mehner, T., Bartrons, M., & Brucet, S. (2023). Challenges and opportunities in the use of ponds and pondscapes as Nature-based Solutions. *Hydrobiologia*, 850, 3257-3271. DOI : [10.1007/s10750-023-05149-y](https://doi.org/10.1007/s10750-023-05149-y)
- Culler, L. E., Ohba, S., & Crumrine, P. (2014). Predator-prey interactions of Dytiscids. Dans *Ecology, Systematics, and the natural history of predaceous diving beetles (Coleoptera: Dytiscidae)* p363-386. Springer Netherlands. DOI : [10.1007/978-94-017-9109-0_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-9109-0_8)
- Decotte, J.-B. (2024). *Notice de création d'une mare, préserver la biodiversité des milieux humides* (Guide technique). LPO AuRA, Grenoble, 60p. https://biblio.lpo-aura.org/wp-content/uploads/2024/12/Notice-creation-mares-BQ-web_compressed.pdf
- Delvigne, A. (2011). *Les mares d'Ariège : diversité et intérêts* (Fiche technique). CEN Ariège, Alzen. https://ariegenature.fr/wp-content/uploads/2018/11/Diversit%C3%A9-et-interets-des-mares_CATZH09.pdf

- Descamps, S., & De Vocht, A. (2023). State-of-the-art approach on the management of invasive faunistic aquatic alien species : The American bullfrog in Belgium. *Environmental Challenges*, 11. DOI : [10.1016/j.envc.2023.100690](https://doi.org/10.1016/j.envc.2023.100690)
- Dochy, O. (2018). *Triton crêté. Plan d'action transfrontalier - projet TEC!* (Plan d'action). Projet Interreg. <https://www.calameo.com/read/005344027c5ec7313a072>
- Downing, J. A., Cole, J. I., Middelburg, J., Striegl, R. G., Duarte, C. M., Kortelainen, P., Prairie, Y. T., & Laube, K. A. (2008). Sediment organic carbon burial in agriculturally eutrophic impoundments over the last century. *Global Biogeochemical Cycles*, 22 (1). DOI : [10.1029/2006GB002854](https://doi.org/10.1029/2006GB002854)
- Drake, J., Lambin, X., & Sutherland, C. (2022). Spatiotemporal connectivity dynamics in spatially structured populations. *Journal of Animal Ecology*, 91 (10), 2050-2060. DOI : [10.1111/1365-2656.13783](https://doi.org/10.1111/1365-2656.13783)
- DREAL Grand-Est. (2020, 17 juin). *Les macro-invertébrés*. <https://www.grand-est.developpement-durable.gouv.fr/les-macro-invertebres-a17231.html>
- DREAL PACA. (2012). *Enjeux de conservation en région PACA*. https://www.paca.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/1_H3170_cle28d39b.pdf
- Dupont, V., & Sellier, Y. (2017). *Cartographie des mares de la Réserve naturelle du Pinail* (Rapport technique). GEREPI. 56p. <https://www.reserve-pinail.org/wp-content/uploads/2018/11/Rapport-cartographie-des-mares-2017-RNN-Pinail-VF.pdf>
- EFESE. (2018). *Les milieux humides et aquatiques continentaux*. <https://side.developpement-durable.gouv.fr/Default/doc/SYRACUSE/400297/efese-les-milieux-humides-et-aquatiques-continentaux?lg=fr-FR>
- Voeltzel, D., Février Y. (2011). *Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives - Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières*. 232p. ENCEM et CNC – UNPG, SFIC et UPC. www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/gestion_et_amenagement_ecologique_des_carriere_de_roches_massives_guide_pratique.pdf
- EPCN. (2010). *Manifeste pour les mares et les étangs*. European Pond Conservation Network. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/pond_manifest_fr.pdf
- Etienne, D. (2011). *Les mardelles intra-forestières de Lorraine : origines, archives paléo-environnementales, évolutions dynamiques et gestion conservatoire* [Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1]. https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01746238v1/file/SCD_T_2011_0094_ETIENNE.pdf
- Falaschi, M., Melotto, A., Manenti, R., & Ficetole, G. F. (2020). Invasive species and amphibian conservation. *Herpetologica*, 72(2), 246-277. DOI : [10.1655/0018-0831-76.2.216](https://doi.org/10.1655/0018-0831-76.2.216)
- Faverot, P., Castanier, B., Gigout, L., Joly, P., & Miaud, C. (2001). *L'aménagement de sites de reproduction pour les batraciens* (Guide technique).
- FDCNPC. (2009). *Gestion des mares de hutte*. Faune sauvage n°281. Fédération de Chasse Nord - Pas de Calais. https://www.chasse59.fr/wp-content/uploads/guide_de_gestion_des_mares_de_hutte.pdf
- Fehlinger, L., Misteli, B., Morant, D., Juvigny-Khenafou, N., Cunillera-Montcusí, D., Chaguaceda, F., Stamenković, O., Fahy, J., Kolář, V., Halabowski, D., Nash, L., Jakobsson, E., Nava, V., Tirozzi, P., Urrutia Cordero, P., Mocq, J., Camacho Santamans, A., Zamora, J. M., Marle, P., Chonova, T., Bonacina Luca, Mathieu-Resuge, M., Suarez, E., Osakpolor, S., Timoner, P., Evtimova, V., Nita, D., Carreira, B., Kálmán, T., Martelo, J., Gerber, R., Dinu, V., Henriques, J., Selmečzy, G., & Rimcheska, B. (2022). The ecological role of permanent ponds in Europe : a review of dietary linkages to terrestrial ecosystems via emerging insects. *Inland Waters*, 13(1). DOI : <https://doi.org/10.1080/20442041.2022.2111180>

- Finlayson, M. C., Bellio, M. G., & Lowry, J. B. (2005). A conceptual basis for the wise use of wetlands in northern Australia - linking information needs, integrated analyses, drivers of change and human well-being. *Marine & Freshwater Research*, 56(3), 269-277. DOI : [10.1071/MF04077](https://doi.org/10.1071/MF04077)
- France Nature Environnement Auvergne-Rhône-Alpes. (2021a). *Tout savoir sur les mares. Questions - réponses*. https://www.mares-libellules.fr/uploads/resource/livret-questions-reponses-mis-en-page_6225cb30ec2b0.pdf
- France Nature Environnement Haute-Savoie. (2021b). *CIMaE : Écologie et gestion des zones humides d'altitude dans un contexte de changement climatique* (protocole standardisé). <https://www.fne-aura.org/uploads/2022/02/guide-protocole-naturalistes.pdf>
- Foltête, J.-C., Vuidel, G., Savary, P., Clauzel, C., Sahraoui, Y., Girardet, X., & Bourgeois, M. (2021). Graphab: an application for modelling and managing ecological habitat networks. *Software Impacts*, 8. DOI : [10.1016/j.simpa.2021.100065](https://doi.org/10.1016/j.simpa.2021.100065)
- Fontès, H., Marquis, C., Torre, F., Grillas, P., Dutoit, T., & Mesléard, F. (2024). The Distance to Reference Communities Index (DRCI): a new tool to assess communities' restoration success. *Restoration Ecology* 32(7). DOI : <https://doi.org/10.1111/rec.14194>
- Fouque, C., & Schricke, V. (2008). *Gestion des mares de chasse et biodiversité*. Faune sauvage 281. https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/RevueFS/FauneSauvage281_2008_Art1.pdf
- Fridley, J. D. (2003). The influence of species diversity on ecosystem productivity : how, where, and why ? *Oikos*, 93(3), 514-526. DOI : [10.1034/j.1600-0706.2001.930318.x](https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2001.930318.x)
- GAL Pays des Tiges et Chavées. (2019). *La pompe à museau* (Fiche technique). <https://www.tiges-chavees.be/wp-content/uploads/2019/08/berges-ft.pdf>
- Gann, D. G., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, R. C., Jonson, J., Hallet, G. J., Eisenberg, C., Guariguata, R. M., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., & Shaw, N. (2019). *Principes et normes internationaux pour la pratique de la restauration écologique*. *Restoration Ecology* 27(S1). Society for Ecological Restoration. DOI : [10.1111/rec.13035](https://doi.org/10.1111/rec.13035)
- Gauffre, B., Boissinot, A., Quiquempois, V., Leblois, R., Grillet, P., Morin, S., Picard, D., Ribout, C., & Lourdaux, O. (2021). Agricultural intensification alters marbled newt genetic diversity and gene flow through density and dispersal reduction. *Molecular Ecology*, 31(1), 119-133. DOI : [10.1111/mec.16236](https://doi.org/10.1111/mec.16236)
- Gayet, G., Vivier, A., Caessteker, P., Touroult, J., & Barnaud, G. (2016). *Synthèse des acquis et des besoins opérationnels – Zones humides, recherches et développements (2001-2011) – Fascicule 4 : Compendium des synthèses, de l'offre scientifique à la demande de terrain*. Onema, MNHN. https://www.researchgate.net/publication/312595996_Synthese_des_acquis_et_des_besoins_operationnels_-_Zones_humides_recherches_et_developpements_2001_-_2011_-_Fascicule_1_methodes_Onema_MNHN
- Gayet, G., Baptist, F., Biaunier, J., Caessteker, P., Clément, J.-C., Fossey, M., Gaucherand, S., Isselin-Nondedeu, F., Lemot, A., Mesléard, F., Padilla, B., & Pelegrin, O. (2023). *Guide de la méthode nationale d'évaluation des fonctions des zones humides*. Office Français de la Biodiversité. <https://www.zones-humides.org/sites/default/files/pdf/Guide%20Zone%20Humide-V2-2023-p1-154-BAT-web.pdf>
- Géoconfluences. (2024). *Remembrement*. <https://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/remembrement>
- Gilbert, P. J., Cooke, D. A., Deary, M., Taylor, S., & Jeffries, M. J. (2017). Quantifying rapid spatial and temporal variations of CO2 fluxes from small, lowland freshwater ponds. *Hydrobiologia*, 793(1), 83-93. DOI : [10.1007/s10750-016-2855-y](https://doi.org/10.1007/s10750-016-2855-y)

- Gilbert, P. J., Taylor, S., Cook, D. A., Dreay, M. E., & Jeffries, M. J. (2021). Quantifying organic carbon storage in temperate pond sediments. *Journal of Environmental Management* 280. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111698>
- Godet, C., & Clauzel, C. (2020). Comparison of landscape graph modelling methods for analysing pond network connectivity. *Landscape Ecology*, 36, 735-748. DOI : [10.1007/s10980-020-01164-9](https://doi.org/10.1007/s10980-020-01164-9)
- Goeldner-Gianella, L. (2017). Les représentations sociales des zones humides : quel lien avec l'action ? Analyse historique et cas de la dépollérisation. *Sciences Eaux & Territoires*, 24(3), 10-15. DOI : <https://doi.org/10.14758/SET-REVUE.2017.24.03>
- Graitson, E., Morelle, K., & Feremans, N. (2009). *La vie des mares de nos campagnes*, 169p. Collection Agrinature n°4. SPW / EDI WALL, Namur. <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/34836/1/agrinature%20mares.pdf>
- Greenhalgh, J. A., Stone, H. J. R., Fisher, T., & Sayer, C. D. (2021). Ecoacoustics as a novel tool for assessing pond restoration success : Results of a pilot study. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*, 31(12), 2017-2028. DOI : [10.1002/aqc.3605](https://doi.org/10.1002/aqc.3605)
- Grillas, P., Gauthier, P., Yavercovski, N., & Perennou, C. (2004). *Les mares temporaires méditerranéennes. Volume 1 : Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion*. Station Biologique de la Tour du Valat, Arles. https://www.europeanponds.org/wp-content/uploads/2014/11/mares_temporaires_med.pdf
- Grossi, J.-L., Grand, D., Manneville, O., & Miaud, C. (2010). *Les mares prairiales à triton crêté*. Conservatoire d'Espaces Naturels Rhône-Alpes, Vourles. <https://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2010/06/CTmares.pdf>
- Groupe d'Étude des Invertébrés Armoricaïns. (2018). *Protocole IcoCAM Indicateur composite Coléoptères Aquatiques des Mares* (Les fiches techniques du GRETA). GRETA. <https://centrederecherche-loirenature.com/wp-content/uploads/le-protocole-de-suivi-des-coleopteres-aquatiques-icocam.pdf>
- Groupe Mares. (2022). *Les mares et la réglementation pour faire simple*. Groupes mares, Lillers. https://groupemares.org/wp-content/uploads/2022/12/Les-mares_la_reglementation-1_compressed.pdf
- Guittet, V., Laporte, M., Seguin, S., & Zimolo, A. (2015). *Prendre en compte la préservation des mares dans la gestion forestière - Guide pratique*. SNPN/CNPF. 24p. Paris. ifc.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/guidemares_1.pdf
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation Ecology*. Oxford University Press. DOI : <https://doi.org/10.1093/oso/9780198540663.001.0001>
- Harrison, S. (1991). Local extinction in a metapopulation context : an empirical evaluation. *Biological Journal of the Linnean Society*, 42(1-2), 73-88. DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1095-8312.1991.tb00552.x>
- Hefting, M. M., van den Heuvel, R. N., & Verhoeven, J. T. A. (2013). Wetlands in agricultural landscapes for nitrogen attenuation and biodiversity enhancement : Opportunities and limitations. *Ecological Engineering, Bringing Together Science and Policy to Protect and Enhance Wetland Ecosystem Services in Agriculture*, 56, 5-13. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.05.001>
- Herteman, M., Norden, M., & Vandersarren, G. (2023). *Guide Technique de Restauration et d'Entretien des Mares des Antilles*. UICN Comité français / Pôle-Relais Zones Humides et Tropicales. Saint-Claude, Guadeloupe. <https://www.uicn-fr-ressources.fr/rema/guide-technique-rema-2023.pdf>
- Hill, M. J., Hassall, C., Oertli, B., Fahrig, L., Robson, B. J., Biggs, J., Samways, M. J., Usio, N., Takamura, N., Krishnaswamy, J., & Wood, P. J. (2017). New policy directions for global pond conservation. *Conservation Letters* 11(5). DOI : [10.1111/conl.12447](https://doi.org/10.1111/conl.12447)
- Hill, M. J., Greaves, H. M., Sayer, C. D., Hassall, C., Milin, M., Milner, V. S., Marazzi, L., Hall, R., Harper, L. R., Thornhill, I., Walton, R., Biggs, J., Edwald, N., Law, A., Willby, N., White, J. C., Briers, R. A., Mathers, K. L.,

- Jeffries, M. J., & Wood, P. J. (2021). Pond ecology and conservation : research priorities and knowledge gaps. *Ecosphere* 12(12). DOI : <https://doi.org/10.1002/ecs2.3853>
- Hilt, S., Brothers, S., Jeppesen, E., Veraart, A. J., & Kosten, S. (2017). Translating Regime Shifts in Shallow Lakes into Changes in Ecosystem Functions and Services. *BioScience*, 67(10), 928-936. DOI : <https://doi.org/10.1093/biosci/bix106>
- Huc, S., Delafoulhouze, M., Mulatero, C., Terpereau, G., & Vahé, L. (2023). *Guide d'aide à la définition des étapes de restauration écologique des écosystèmes herbacés* (Guide technique). https://www.researchgate.net/publication/376487812_Guide_d'aide_a_la_definition_des_etapes_de_restaurer_des_ecosystemes_herbacees_avec_des_vegetaux_sauvages_et_locaux
- Hunter, M. L., Acuña, V., Bauer, D. M., Bell, K. P., Calhoun, A. J. K., Felipe-Lucia, R., Fitzsimmons, J. A., González, E., Kinnison, M., Lindenmayer, D., Lundquist, C. J., Medellín, R. A., Nelson, E. J., & Psochold, P. (2017). Conserving small natural features with large ecological roles: a synthetic overview. *Biological Conservation*, 211, 88-95. DOI : <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.020>
- Indermühle, N., Angélibert, S., & Oertli, B. (2008). *IBEM : Indice de Biodiversité des Étangs et Mares. Manuel d'utilisation*. Écoles d'Ingénieurs HES de Lullier, Genève. https://www.researchgate.net/publication/323471637_IBEM_Indice_de_Biodiversite_des_Etangs_et_Mares_Manuel_d'utilisation_Ecole_d'Ingenieurs_HES_de_Lullier_Geneve_33_p
- Institut Pasteur. (2020, octobre). *Leptospirose*. <https://www.pasteur.fr/fr/centre-medical/fiches-maladies/leptospirose#:~:text=La%20leptospirose%20est%20une%20maladie,5%20%C3%A0%2020%25%20des%20cas.>
- IRD. (2021, 4 mai). *Une nouvelle voie pour relier l'homme à la biosphère, la coviabilité socio-écologique*. <https://www.ird.fr/une-nouvelle-voie-pour-relier-l'homme-la-biosphere-la-coviabilite-socio-ecologique>
- Jaureguiberry, P., Titeux, N., Wiemers, M., Bowler, D. E., Coscieme, L., Golden, A. S., Guerra, C. A., Jacob, U., Takahashi, Y., Settele, J., Días, S., Molnár, Z., & Purvis, A. (2022). The direct drivers of recent global anthropogenic biodiversity loss. *ScienceAdvances* 8(45). DOI : [10.1126/sciadv.abm9982](https://doi.org/10.1126/sciadv.abm9982)
- Jeffries, M. J., Gilbert, P. J., Taylor, S., Cooke, D. A., & Deary, M. E. (2023). Organic carbon in British lowland ponds: estimating sediment stocks, possible practical benefits and significant unknowns. *Hydrobiologia*, 850(15), 1-15. DOI : [10.1007/s10750-022-04972-z](https://doi.org/10.1007/s10750-022-04972-z)
- Jeliazkov, A., Chiron, F., Garnier, J., Besnard, A., Silvestre, M., & Jiguet, F. (2014). Level-dependence of the relationships between amphibian biodiversity and environment in pond systems within an intensive agricultural landscape. *Hydrobiologia*, 723(1), 7-23. DOI : [10.1007/s10750-013-1503-z](https://doi.org/10.1007/s10750-013-1503-z)
- Joly, M., Primeau, S., Sager, S., & Bazoge, A. (2008). *Guide d'élaboration d'un plan de conservation des milieux humides*, 68 p. Première édition, Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du patrimoine écologique et des parcs, ISBN 978-2-550-53636-9. https://belsp.uqtr.ca/id/eprint/1179/1/Joly%20et%20al_2008_Guide_plan_conservation_milieux-humides_A.pdf
- Joly, P., Miaud, C., Lehmann, A., & Grolet, O. (2001). Habitat Matrix Effects on Pond Occupancy in Newts. *Conservation Biology*, 15(1), 239-248. DOI : [10.1111/j.1523-1739.2001.99200.x](https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2001.99200.x)
- Jourdas, A. (2013). *Comprendre la mare à travers sa biodiversité*. Loiret Nature Environnement. https://www.loiret-nature-environnement.org/images/ValMares/Brochure_Comprendre_la_mare_a_travers_sa_biodiversite.pdf
- Kędziora, A., Negussie, Y. Z., Asres, M. T., & Zalewski, M. (2011). Shaping of an agricultural landscape to increase water and nutrient retention. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 11 (3-4), 205-222. DOI : [10.2478/v10104-011-0048-x](https://doi.org/10.2478/v10104-011-0048-x)

- Kennedy, C. M., Oakleaf, J., Theobald, D., & Baruch-Mordo, S. (2019). Managing the middle : A shifting conservation priorities based on the global human modification gradient. *Global Change Biology*, 25(3), 811-826. DOI : [10.1111/gcb.14549](https://doi.org/10.1111/gcb.14549)
- Karr, J. R., Larson, E. R., & Chu, E. W. (2021). *Ecological integrity is both real and valuable*. Conservation Science and Practice, 4(2). <https://doi.org/10.1111/csp2.583>
- Labat, F. (2023). *Échantillonnage et traitement au laboratoire de macroinvertébrés et de macrophytes en petit plan d'eau peu profond (mares et étangs)*. Aquabio. https://www.researchgate.net/publication/350466500_ECHANTILLONNAGE_ET_TRAITEMENT_AU_LABORATOIRE_DE_MACROINVERTEBRES_ET_DE_MACROPHYTES_EN_PETIT_PLAN_D'EAU_PEU_PROFOND_SAMPLING_AND_LABORATORY_METHODS_FOR_INVERTEBRATES_AND_MACROPHYTES_OF_SMALL_SHALLOW_LA
- Labat, F., & Usseglio-Polatera, P. (2023). A new bioassessment multimetric index (BECOME) and diagnostic tool (BECOMEd) for small standing waters. *Ecological Indicators*, 154. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110831>
- Labat, F., & Thiébaud, G. (2022). A new trophic index (TIM2S) to evaluate trophic alteration of small shallow lakes: a predictive reference-based approach. *Hydrobiologia*, 850(2), 519-536. DOI : [10.1007/s10750-022-05098-y](https://doi.org/10.1007/s10750-022-05098-y)
- Labat, F., Thiébaud, G., & Piscart, C. (2024). Principal determinants of aquatic macroinvertebrate communities in small shallow lakes and ponds. *Biodiversity and Conservation*, 33(11), 3253-3274. DOI : [10.1007/s10531-024-02911-z](https://doi.org/10.1007/s10531-024-02911-z)
- Laffite, V., Mougey, T., & Lemaire, L. (2003). *Guide technique de la mare en Caps et Marais d'Opale*. Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
- Laffite, V., Mougey, T., Lemaire, L., Robilliard, J., & Levisse, P. (2009). *Guide technique de la mare*. Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
- Laforge, D., Carré, A., Laigle, I., de Bettignies, T., & La Rivière, M. (2024). *La restauration écologique en mer : analyse sémantique, concepts associés et stratégies d'intervention*. Patrinat (OFB-MNHN-CNRS-IRD). https://mnhn.hal.science/mnhn-04486091v1/file/Laforge_et_al_2024_RestaurationEcologique_AnalyseConceptsDefinitions.pdf
- Lambrechts, C., Karoubi, L., Durand, B., Maire, P., Houssemaine-Florent, H., Ouvrard, C., Coq, M.-L., Delacroix, F., de La Cotardière, P., Margotin, M., Charrier, A., Giraud, M., & Grisat, C. (2005). *Le petit Larousse illustré*. Larousse.
- Lamouille-Hébert, M., Arthaud, F., Besnard, A., Logez, M., & Datry, T. (2024). Increased drying threatens alpine pond biodiversity more than temperature in a changing climate. *Aquatic Sciences*, 87. DOI : [10.21203/rs.3.rs-4703447/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4703447/v1)
- Le Barz, C., & Guimard, C. (2001). *Mares de l'Allier, un patrimoine à découvrir*. Conservatoire des sites de l'Allier. https://cen-allier.org/wp-content/uploads/Livret_mare.pdf
- Le Floc'h, E., & Aronson, J. (1995). Écologie de la restauration. Définition de quelques concepts de base. *Natures Sciences Sociétés*, 3, 29-35. DOI : [10.1051/nss/199503s029](https://doi.org/10.1051/nss/199503s029)
- Le Fouler, A., Blanchard F. (2011). *Méthodologie d'évaluation et de suivi de l'état de conservation des lagunes du plateau landais et première lecture d'un échantillon de 86 lagunes. Volume 1 : méthodologie et premiers résultats*. CBNSA, DREAL Aquitaine. 38p + annexes. https://www.cbnsa.fr/habitats-aquitaine/fichiers/pdf/cbnsa2011_eval_ec_lagunes_vol1.pdf
- Le karch. (2013). *Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés*. Bâle. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/guide_pronatura.pdf

- Lenfant, P., Gudefin, A., Fonbonne, S., Lecaillon, G., Aronson, J., Blin, E., Lourie, S. M., Boissery, P., Loeuillard, J.-L., Palmaro, A., Herrouin, G., & Person, J. (2015). *Restauration écologique des nurseries des petits fonds côtiers de Méditerranée. Orientations et principes*. https://www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/guide_restoration_ecologique_petits_fonds_cotier_mediterranee_driver.pdf
- Lesbarrères, D., Fowler, M. S., Pagano, A., & Lodé, T. (2010). Recovery of anuran community diversity following habitat replacement. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 148-156. DOI : [10.1111/j.1365-2664.2009.01748.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2009.01748.x)
- Li, G., Dong, S., Wang, H., Guan, Y., Deja, P. T., & Nie, W. (2023). Effect of ecological restoration on topsoil phosphorus following afforestation on abandoned ponds in northern Chaohu Lake, China. *Nature Conservation*, 53(53), 1-16. DOI : [10.3897/natureconservation.53.97873](https://doi.org/10.3897/natureconservation.53.97873)
- LIFE in Quarries. (2019). *Les mares pionnières*. <https://www.lifeinquarries.eu/2019/11/19/les-mares-pionnieres/>
- Littlefair, M., Scheele, B. C., Westgate, M., & Lindemayer, D. (2024). The ecological and biodiversity conservation values of farm dams : a systematic review. *PLoS ONE*, 19(5), 18. DOI : <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303504>
- Ligue de Protection des Oiseaux. (s.d.). *A vos mares, prêt, partez !* <https://www.a-vos-mares.org/mares-en-micro-reseau-et-gain-ecologique/>
- Magnusson, A. K., & Williams, D. D. (2009). Top-down control by insect predators in an intermittent pond - a field experiment. *International Journal of Limnology*, 45(3), 131-143. DOI : [10.1051/limn/2009017](https://doi.org/10.1051/limn/2009017)
- Maillet, G., Le Cabec, T., & Bonnet-Rageade, C. (2017). *Protocole IECMA - Indicateur d'Etat de Conservation des Mares à Amphibiens*. Réserve Naturelle Nationale et Périmètre de Protection Tourbière du Grand Lemps, Conservatoire d'espaces naturels de l'Isère, Saint Egrève. https://www.cen-isere.org/wp-content/uploads/2019/05/GL_SE32_IECMA_MailletLeCabecBonnet2017_bq.pdf
- Mallard, F., Geoffroy, F., Arduino, L., Dupuy, V., Bernard, A., Nielen, M., Lemoine, N., & Jeanmaire, E. (2023). *Programme recherche-action – Les oasis du climat et de la biodiversité – Anticiper et intégrer le changement climatique dans la protection, la restauration et la création de réseaux de mares et petites zones humides*. Société Nationale de Protection de la Nature, Paris. <https://hal.science/hal-04459166>
- Manfrin, C., Souty-Grosset, C., Anastácio, P. M., Reynolds, J., & Giuliani, P. G. (2019). Detection and control of invasive freshwater crayfish : from traditional to innovative methods. *Diversity* 11(1), 159-172. DOI : [10.3390/d11010005](https://doi.org/10.3390/d11010005)
- Mares Libellules. (2020). *Mares et réseaux de mares*. France Nature Environnement Ain, Bourg-en-Bresse. https://www.mares-libellules.fr/uploads/resource/mares-et-reseaux-de-mares-comment-les-protger-vfinale-tronquee-bd_60ffb3cc02692.pdf
- Mares, où êtes-vous ? (2024, 5 juin). *La mare, un moyen naturel et efficace de réguler le moustique*. <https://www.mares-libellules.fr/news/11/La-mare-un-moyen-naturel-et-efficace-de-r%C3%A9guler-le-moustique.view.html>
- Martz, J. (2014). *Management of invasive bullfrogs*. Environmental Studies Undergraduate Theses. 134. University of Nebraska – Lincoln. <https://digitalcommons.unl.edu/envstudtheses/134>
- McCaffery, R. M., Eby, L. A., Maxelle, B. A., & Corn, P. S. (2014). Breeding site heterogeneity reduces variability in frog recruitment and population dynamics. *Biological Conservation*, 170, 169-176. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.013>
- McDonald, T., Gann, G. D., Jonson, J., & Dixon, K. W. (2016). *Standards internationaux pour la restauration écologique - incluant les principes et les concepts clés*. Society for Ecological Restoration, Washington,

- D.C. https://littorex.brgm.fr/sites/websites/littorex.brgm.fr/files/documents/2023-11/SER_Standards_french_v1.pdf
- McDonald, T., Jonson, J., & Dixon, K. W. (2017). *Standards Reference Group SERA National Standards for the Practice of Ecological Restoration in Australia. Second Edition. Society for Ecological Restoration Australasia.* <https://www.seraustralasia.com/standards/National%20Restoration%20Standards%202nd%20Edition.pdf>
- Mercken, K., Boisson, S., Lebeau, J., & Mahy, G. (2018). *Carrières et zones agricoles. Une synergie pour la biodiversité.* FEDIEX, Mont-Saint-Guibert. <https://www.fediex.be/upload/carrieres-et-zones-agricoles-fediex-wgbj6k.pdf>
- Mermoud, M., Zumbach, S., Borgula, A., Krummenacher, E., Lüscher, B., Pellet, J., & Schmidt, B. (2010). *Notice pratique pour la conservation du sonneur à ventre jaune Bombina variegata.* Karch - Centre de coordination pour la protection des amphibiens et des reptiles de Suisse, Neuchâtel. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/notice_pratique_sonneur_a_ventre_jaune.pdf
- Métropole Rouen Normandie. (2022). *Création d'une mare dans son jardin (Guide pratique).* <https://www.metropole-rouen-normandie.fr/sites/default/files/publication/2022/brochure-conseils-mare.pdf>
- Michelot, J.-L., & Simon, L. (2015). *Boîte à outils zones humides. Retours d'expérience des plans de gestion de zones humides sur les bassins Rhône Méditerranée et Corse.* Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Lyon. <http://download.pole-lagunes.org/LettreLagunes/2016/avril/BOITE%20A%20OUTILS%20-%20Complet.pdf>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D. (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being : Synthesis.* Island Press.
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2021). *Wetlands. Extract from France's 2021 Environmental Performance Review.* <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/5645/download?inline>
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. (2023). *Zéro Artificialisation Nette. Fascicule 1 : Définir et observer la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers et l'artificialisation des sols.* https://artificialisation.developpement-durable.gouv.fr/sites/artificialisation/files/inline-files/ZAN_Fascicule1.pdf
- Ministère de l'Agriculture et de la Souveraineté alimentaire. (2023). *Plan Stratégique National de la PAC 2023-2027 (Plan Stratégique National).* <https://agriculture.gouv.fr/pac-2023-2027-le-plan-strategique-national>
- Minot, M., Aubert, M., & Husté, A. (2021). Pond creation and restoration : patterns of odonate colonization and community dynamics. *Biodiversity and Conservation* 30(14), 1-21. DOI : [10.1007/s10531-021-02312-6](https://doi.org/10.1007/s10531-021-02312-6)
- Misteli, B., Pannard, A., Aasland, E., Harpenslager, S. F., Motitsoe, S., Thiemer, K., Llopis, S., Coetzee, J., Hilt, S., Köhler, J., Schneider, S. C., Piscart, C., & Thiébaud, G. (2023). Short-term effects of macrophyte removal on aquatic biodiversity in rivers and lakes. *Journal of Environmental Management*, 325. DOI : [10.1016/j.jenvman.2022.116442](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116442)
- Montpellier Méditerranée Métropole. (2022, 22 avril). *Réseau trophique à la mare.* <https://nature-en-jeux.montpellier3m.fr/jeux-a-telecharger/qui-mange-qui-a-la-mare>
- Mooik, W. M., Hülsmann, S., De Senerpont Domis, L., Nolet, B. A., Bodelier, P. L. E., Boers, P. C. M., Pires, M. D., Gons, H. J., Ibelings, B. W., Noordhuis, R., Portielje, R., Wolfstein, K., & Lammens, E. (2005). The impact

- of climate change on lakes in the Netherlands : A Review. *Aquatic Ecology*, 39(4), 381-400. DOI : [10.1007/s10452-005-9008-0](https://doi.org/10.1007/s10452-005-9008-0)
- Moor, H., Bergamini, A., Vorburger, C., Holderegger, R., Bühler, C., Egger, S., Schmidt, B. R. (2022). Bending the curve: Simple but massive conservation action leads to landscape-scale recovery of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 119(42). DOI : [10.1073/pnas.2123070119](https://doi.org/10.1073/pnas.2123070119)
- Moor, H., Bergamini, A., Vorburger, C., Holderegger, R., Bühler, C., Bircher, N., & Schmidt, B. R. (2024). Building pondscapes for amphibian metapopulations. *Conservation Biology* 38(6). DOI : [10.1111/cobi.14281](https://doi.org/10.1111/cobi.14281)
- Moreno-Mateos, D., Alberdi, A., Morriën, E., van der Putten, W., Rodriguez-Uña, A., & Montoya, D. (2020). The long-term restoration of ecosystem complexity. *Nature Ecology and Evolution*, 4(5). DOI : [10.1038/s41559-020-1154-1](https://doi.org/10.1038/s41559-020-1154-1)
- Mormul, R., Ahlgren, J., & Brönmark, C. (2018). Snails have stronger indirect positive effects on submerged macrophyte growth than zooplankton. *Hydrobiologia*, 807(244), 165-173. DOI : [10.1007/s10750-017-3391-0](https://doi.org/10.1007/s10750-017-3391-0)
- Motte, G., Laudelout, A., Delescaille, L.-M., & Fichet, V. (2012). *Avis sur la création de mares en milieu forestier*. [https://www.researchgate.net/publication/376134216 Avis sur la creation de mares en milieu forestier V 11](https://www.researchgate.net/publication/376134216_Avis_sur_la_creation_de_mares_en_milieu_forestier_V_11)
- Mouronval, J.-B., Baudouin, S., Borel, N., Soulié-Märsche, I., Kleszczewski, M., & Grillas, P. (2015). *Guide des characées de France méditerranéenne*, 214 p. Office National de la Chasse et de la Faune Sauvage.
- Mulderij, G., Van Nes, E. H., & Van Donk, E. (2007). Macrophyte-phytoplankton interactions: The relative importance of allelopathy versus other factors. *Ecological Modelling*, 204(1-2), 311-324. DOI : [10.1016/j.ecolmodel.2006.12.020](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.12.020)
- Musseau, A. (2022). L'archéologie environnementale au service de la patrimonialisation des mares : le cas de la forêt de Brotonne. Dans *Les mares, un patrimoine naturel construit, un patrimoine culturel négligé. Intégrer les dimensions géohistorique et territoriale dans la gestion contemporaine des petits lieux d'eau* (p. 8). Zones Humides Infos. https://www.snppn.com/wp-content/uploads/2023/01/ZONES_HUMIDES_INFOS_N103_BD.pdf
- Nalawade, S. P., Shendge, A. B., & Sharma, K. M. (2024). Water proofing of the structure by using sodium polyacrylate. *International Journal of Progressive Research in Engineering Management Sciences*, 4(5), 85-91. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper//issue_3_march_2024/50999/final/fin_irjmets1711131643.pdf
- Natagora. (2021, novembre). *Les plantes de la mare* (Fiche Jardin Naturel). https://reseauunature.natagora.be/fileadmin/Projet_Reseau_Nature/Fiches_JNat/JNat_Plantes_mare.pdf
- Natagora. (2015). *Life Prairies Bocagères. Les mares agricoles à triton crêté. Leur rôle, leur place dans l'agriculture, comment les protéger* (Guide). Natagora, Namur. https://www.lifeprairiesbocageres.eu/fileadmin/Life/Prairies_bocageres/LPB-mare.pdf
- Oertli, B., Auderest Joye, D., Castella, E., Juge, R., Cambin, D., & Lachavanne, J.-B. (2002). Does size matter ? The relationship between pond area and biodiversity. *Biological Conservation*, 104(1), 59-70. DOI : [10.1016/S0006-3207\(01\)00154-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00154-9)
- Oertli, B., Decrey, M., Demierre, E., Fahy, J. C., Gallinelli, P., Vasco, F., & Ilg, C. (2023). Ornamental ponds as nature-based solutions to implement in cities. *Science of the Total Environment*, 888(12). DOI : [10.1016/j.scitotenv.2023.164300](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164300)

- Oertli, B., & Parris, K. M. (2019). Review : Toward management of urban ponds for freshwater biodiversity. *Ecosphere* 10(7). DOI : [10.1002/ecs2.2810](https://doi.org/10.1002/ecs2.2810)
- Oertli, B., & Frossard, P.-A. (2013). *Mares et étangs - Écologie, gestion, aménagement et valorisation*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Office Français de la Biodiversité. (2022). *Les espèces exotiques envahissantes : enjeux et impacts*. <https://www.ofb.gouv.fr/sites/default/files/Fichiers/Plaquettes%20et%20rapports%20institut/eee-enjeux-impacts.pdf>
- Opération lidar. (s.d.). *Indice d'humidité topographique issu du lidar*. <https://operationlidar.ca/indice-dhumidite-topographique-issu-du-lidar/>
- OPIE. (2016). *Aborder la gestion conservatoire en faveur des Odonates* (Guide technique,) 96 p. Office pour les Insectes et leur Environnement & Société française d'Odonatologie. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Hauts de France. <https://libellules.pnaopie.fr/wp-content/uploads/2023/01/Aborder-la-gestion-conservatoire-en-faveur-des-Odonates-Guide-technique-reduit.pdf>
- OPIE-SFO. (2012). *Agir pour les Odonates. L'essentiel du Plan national d'actions 2011-2015*. DREAL Nord-Pas-de-Calais.
- Ouedraogo, R., Montginoul, M., & Barbier, B. (2024). Farmers' behavior and innovations' adoption processes in rural Sagel: Case of supplemental irrigation from farm ponds in Burkina Faso. Dans D. Ramsey (Éd.), *The Journal of Rural and Community Development* (Rural Development Institute, Brandon University), 19(2), 80-104. <https://journals.brandonu.ca/jrcd/article/view/2328>
- Pagano, A., Armange, C., Rappocchio, M., Colchen, T., Combet, G., Chouteau, P., Picard, D., Moreau, E., Bartoli, M., & Pays, O. (2024). Invasion dynamics of the alien amphibian xenopus laevis in France : perspectives for management. *Aquatic Conservation : Marine and Freshwater Ecosystems*. DOI : [10.1002/aqc.70000](https://doi.org/10.1002/aqc.70000)
- Palau Daval, N. (2019). *Diagnostic des mares et points d'eau de propriété publique en Indre-et-Loire. Etat des lieux, moyens existants et perspectives d'actions pour agir en faveur des mares* (Rapport d'étude). Conseil départemental d'Indre-et-Loire. <https://www.calameo.com/read/00041409324dbcf066432>
- Panhelleux, L., Rapinel, S., Lemercier, B., Gayet, G., & Hubert-Moy, L. (2023, août). A 5 m dataset of digital terrain model derivatives across mainland France. *Data in Brief*, 49. DOI : [10.1016/j.dib.2023.109369](https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109369)
- Parrish, J. D., Braun, D. P., & Unnasch, R. S. (2003). Are we conserving what we say we are ? Measuring ecological integrity within protected areas. *BioScience*, 53(9), 851-860.
- Pellet, J. (2013). *Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés*. ProNatura.
- Pellet, J., Collaud, V., & Brunel, M. (2023). *Aménagement d'étangs agroécologiques*. Parc Jura Vaudois. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/eae_notice-pratique_v5.pdf
- Perrin, J.-A., & Robin, J. (2023). *Analysis of social aspects, ecosystem services and perception of cultural values of ponds*. Ponderful.
- Pinay, G., Gascuel, C., Ménesguen, A., Souchon, Y., Le Moal, M., Levain, A., Étrillard, C., Moatar, F., Pannard, A., & Souchu, P. (2018). *L'eutrophisation. Manifestations, causes, conséquences et prédictibilité*, 148 p. Synthèse de l'Expertise scientifique collective CNRS - Ifremer - INRA - Irstea (France)Éditions Quae. <https://www.inrae.fr/sites/default/files/pdf/expertise-eutrophisation-synthese-148-p-2.pdf>
- Pôle-Relais Zones Humides Tropicales. (s.d.) *Services Écosystémiques*. <https://www.pole-tropical.org/zones-humides-doutre-mer/services-ecosystemiques/> (accès le 08 09, 2024).
- PRAM Grand-Est. (s.d.) *Qu'est-ce qu'une mare ?* <https://www.pram-grandest.fr/les-mares/qu-est-ce-qu-une-mare>

- PRAM Normandie. (2017). *Fiche de caractérisation de la mare*. https://pramnormandie.com/doc/Fiche_caracterisation_mare_2016.pdf (accès le Décembre 02, 2024)
- PRAM Normandie. (2018). *Restaurer une mare : quelles démarches avant travaux ?* Conservatoire d'Espaces Naturels de Normandie, https://www.pramnormandie.com/wp-content/uploads/2021/06/7-Demarches_avant_travaux_mare.pdf
- PRAM Normandie. (2019). *Végétations des mares : comment maintenir l'équilibre ?* (Guide technique). CEN Normandie. https://www.pramnormandie.com/wp-content/uploads/2022/12/Lettre-dinfo_PRAM_N%C2%B03_2020.pdf
- Programme POP. (2022). *Protocole POPAmphibien Communauté*. Société Herpétologique de France. Société Herpétologique de France. https://lashf.org/wp-content/uploads/2022/10/POP_Protocole_POPAmphibien_Communaute_2022.pdf
- Proniewski, F. (2022). *Créer une mare. Un point d'eau, une baignade naturelle*. Edition Résiliences ulmer.
- Pronost, M. (2021). Étude sur la capacité épuratoire des mares et sur le bénéfice d'un réseau de mares pour la qualité de l'eau.
- Pronost, M. (2019). *Le rôle des mares pour une meilleure résilience des territoires face aux changements climatiques*. CEN Normandie. https://pramnormandie.com/doc/PRAM_rapport_capa_epuratoire_2019.pdf
- Ramade, F. (1993). *Dictionnaire encyclopédique de l'écologie et des sciences de l'environnement*. Ediscience international.
- Réseau REVER. (s.d.). *Définitions*. Consulté à l'adresse <https://reseau-rever.fr/definition/>
- Resources Victoria. (2023, 12 janvier). *Bentonite*. <https://resources.vic.gov.au/geology-exploration/minerals/industrial-minerals/bentonite> (Consulté le 26 septembre 2024).
- Richardson, D., Holgersson, M. A., Farragher, M. J., Hoffman, K. K., King, K. B. S., Alfonso, M. B., Andersen, M. R., Spence Cheruvelil, C., Coleman, K. A., Farruggia, M. J., & Fernandez, R. L. (2022). A functional definition to distinguish ponds from lakes and wetlands. *Scientific Reports*, 12(1). DOI : [10.1038/s41598-022-14569-0](https://doi.org/10.1038/s41598-022-14569-0)
- Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., & Renard Truong, T. (2023). *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. IPBES secretariat, Bonn, Germany. DOI : <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430682>
- SAJALOLI, B., DUTILLEUL, C., 2001, Les mares, des potentialités environnementales à revaloriser, Rapport final, PNRZH « Les mares, des potentialités environnementales à revaloriser », Centre de Biogéographie-Écologie de l'École Normale Supérieure Lettres Sciences Humaines, UMR 8505 CNRS - ENS LSH, 142 p.
- Sandre. (2014, 2 octobre). *Nature d'un objet hydrographique*. <http://id.eaufrance.fr/nsa/831> (Consulté le 12 septembre 2024).
- Savary, C., Turpin, L., Diadema, K., Grillas, P., & Argagnon, O. (2023). *Suivi des effets du changement global sur l'habitat d'intérêt communautaire 3170* mares temporaires méditerranéennes*. (Rapport d'étude) Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles. DOI : [10.13140/RG.2.2.27105.07527](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27105.07527)
- Schmidt, B. R., & Pellet, J. (2005). Relative importance of population processes and habitat characteristics in determining site occupancy of two anurans. *Journal of Wildlife Management*, 69, 884-893. DOI : [10.2193/0022-541X\(2005\)069\[0884:RIOPPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069[0884:RIOPPA]2.0.CO;2)
- Society for Ecological Restoration International, Science & Policy Working Group. (2004). *L'ABCDIAIRE SUR L'ÉCOLOGIE DE LA RESTAURATION DE LA SER INTERNATIONALE*. Society for Ecological Restoration International.

- https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/SER_Primer/ser-primer-french-2004.pdf
- Society for Ecological Restoration. (s.d.). *What is Ecological Restoration*. <https://ser-rrc.org/what-is-ecological-restoration/>
- Short, C., Clarke, L., Carnelli, F., Uttley, C., & Smith, B. (2019). Capturing the multiple benefits associated with nature-based solutions : Lessons from a natural flood management project in the Cotswolds, UK. *Land Degradation & Development*, 30(3), 241-252. DOI : [10.1002/ldr.3205](https://doi.org/10.1002/ldr.3205)
- Singh, C., Blottière, D., Sarat, E., Dutartre, A., Soubeyran, Y., & Poulet, N. (2023). *Les espèces exotiques envahissantes. Connaissances pratiques et expériences de gestion*. Office Français de la Biodiversité. <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-comprendre-agir/especes-exotiques-envahissantes-vol-4-experiences-gestion-ter>
- Smith, A. M., & Green, D. M. (2005). Dispersal and the metapopulation paradigm in amphibian ecology and conservation: are all amphibian populations metapopulations ? *Ecography*, 28(1), 110-128. DOI : [10.1111/j.0906-7590.2005.04042.x](https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2005.04042.x)
- SNPN & CAUE-IDF. (2016). *A vos mares ! Prendre en compte les mares dans les projets d'aménagement communaux. Guide à l'usage des collectivités territoriales*. Société Nationale de Protection de la Nature. https://www.snpn.mares-idf.fr/doc/SNPN&CAUE-IDF_A%20vos%20mares_VF.pdf
- SNPN. (2022). Les mares, un patrimoine naturel construit, un patrimoine naturel négligé. Intégrer les dimensions géohistoriques et territoriales dans la gestion contemporaine des petits lieux d'eau. *Zones Humides Infos*. https://www.snpn.com/wp-content/uploads/2022/04/Colloque-sur-les-mares_SNPN-GHZH-ADREE_Appel-%C3%A0-communications-2.pdf
- SNPN. (2025). *Plan d'Action Mares*. Société Nationale de Protection de la Nature. Paris, France. <https://www.snpn.com/le-plan-d-actions-mares-pam-est-lance-un-cap-national-pour-les-mares-a-lhorizon-2030/>
- Société Française d'Odonatologie & MNHN. (s.d.). *Le suivi temporel des Libellules STELI*.
- Société Herpétologique de France. (s.d.a). *Manipulation & Réglementation*. <https://lashf.org/manipulation-reglementation/> (Consulté le 8 septembre 2024).
- Société Herpétologique de France. (s.d.b). *Les protocoles POPAmphibien : des outils pour la surveillance nationale des populations d'amphibiens*. <https://lashf.org/popamphibien-2/> (Consulté le 13 septembre 2024).
- Taylor, S., Gilbert, P. J., Cooke, D. A., Deary, M. E., & Jeffries, M. J. (2019). High carbon burial rates by small ponds in the landscape. *Frontiers of Ecology and Environment*, 17(1), 25-31. DOI : [10.1002/fee.1988](https://doi.org/10.1002/fee.1988)
- The Pond Specialist. (s.d.). *Damit lake and pons sealer*. <https://www.thepondspecialist.co.uk/shop/lake-management/damit-lake-pond-dam-sealer/>
- Thompson, P. L., & Shurin, J. B. (2012). Regional zooplankton biodiversity provides limited buffering of pond ecosystems against climate change. *Journal of Animal Ecology*, 81(1), 251-259. DOI : [10.1111/j.1365-2656.2011.01908.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2011.01908.x)
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1), 123-138. DOI : [10.3354/cr00953](https://doi.org/10.3354/cr00953)
- Turpin, L., & Argagnon, O. (2020). *Hiérarchisation des enjeux de conservation des milieux naturels en zone méditerranéenne française*. (Rapport d'étude). Conservatoire Botanique Méditerranéen de Porquerolles. https://www.researchgate.net/profile/Olivier-Argagnon/publication/346035669_Hierarchisation_des_enjeux_de_conservation_des_milieux_naturels_en_zone_mediterraneenne_francaise/links/5fb7a5d3458515b79755f6ae/Hierarchisation-des-enjeux-de-conservation-des-milieux-naturels-en-zone-mediterraneenne-francaise.pdf

- Turpin, L., Diadema, K., Lalanne, A., Le Berre, M., Papuga, G., & Argagnon, O. (2022). Prioritization of natural habitats : a methodological framework applied to the French Mediterranean. *Journal for Nature Conservation*, 67(3). DOI : [10.1016/j.jnc.2022.126185](https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126185)
- UICN. (2021). *8 questions à se poser pour mettre en œuvre les solutions fondées sur la nature*. <https://uicn.fr/wp-content/uploads/2021/07/questions-sfneau-web.pdf>
- UICN. (2019). *La liste rouge des écosystèmes en France*. Union Internationale de Conservation de la Nature.
- UICN Comité français, Suez Recyclage et Valorisation France. (2022). *Accompagner le traitement des déchets de plantes exotiques envahissantes issus d'interventions de gestion. Guide technique*. 136 p. Centre de ressources Espèces exotiques envahissantes. UICN Comité français & Office français de la biodiversité. <https://especes-exotiques-envahissantes.fr/wp-content/uploads/2023/06/accompagner-traitement-dechets-eee.pdf>
- UNEP. (2019). N.C.4-R0 : Travaux de génie écologique, Règles professionnelles. <https://www.lesentreprisesdupaysage.fr/bonnes-pratiques-du-secteur-les-regles-professionnelles/les-regles-parues/n-c-4-r0-travaux-de-genie-ecologique/>
- Union Européenne. (2024). Règlement 2024/1991 du parlement européen et du conseil du 24 juin 2024 relatif à la restauration de la nature. *Journal Officiel de l'Union Européenne*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1991/oj?locale=fr>
- Vivier, A., Gallet, S., Buisson, E., Carré, A., Germain, L., Jaunâtre, R., Zaninotto, V., Mutillod, C., Lucas, M., Chiffard Carricaburu, J., Staub, P.-F., & Millet, J., Curtet, L. (2025). *Éléments de cadrage sur la restauration écologique*. Office Français de la Biodiversité.
- Van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M. A., & Sanders, I. R. (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present and the future. *New Phytologist*, 205(4), 1406-1423. DOI : <https://doi.org/10.1111/nph.13288>
- Vanausdall, R. A., & Dinsmore, S. J. (2019). Habitat associations of Migratory Waterbirds using restored shallow lakes in Iowa. *Waterbirds*, 42(2). DOI : [10.1675/063.042.0201](https://doi.org/10.1675/063.042.0201)
- Vancayezeele, J., Garreaux, C.-H., Levisse, P., Flamme-Obry, G., & Britou, D. (2011). *Guide technique de l'utilisation de mares pour la défense contre les incendies et l'amélioration de la biodiversité*. Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
- WAL-ES. (s.d.). *Les services écosystémiques en Wallonie*. <https://services-ecosystemiques.wallonie.be/fr/fonctions-ecologiques.html?IDC=5897> (Consulté le 20 septembre 2024).
- Wang, H., García Molinos, J., Heino, J., Zhang, H., Zhang, P., & Xu, J. (2021). Eutrophication causes invertebrate biodiversity loss and decreases cross-taxon congruence across anthropogenically-disturbed lakes. *Environment International* 153(1). DOI : [10.1016/j.envint.2021.106494](https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106494)
- Westgate, M. J., Crane, C., Smith, D., O'Malley, C., Siegrist, A., Florance, D., Lang, E., Crane, M., Hingee, K., Scheele, B. C., & Lindenmayer, D. B. (2022). Improved management of farm dams increases vegetation cover, water quality, and macroinvertebrate biodiversity. *Ecology and Evolution*, 12(3). DOI : [10.1002/ece3.8636](https://doi.org/10.1002/ece3.8636)
- Wetzel, R. G. (2001). *Limnology : lake and river ecosystems*. Academic Press. San Diego.
- Wurtzebach, Z., & Schultz, C. A. (2016). Measuring Ecological Integrity: History, Practical applications and Research Opportunities. *BioScience* 66(6). DOI : [10.1093/biosci/biw037](https://doi.org/10.1093/biosci/biw037)
- Zelder, J. B., & Callaway, J. C. (2002). Tracking Wetland Restoration: Do Mitigation Sites Follow Desired Trajectories ? *Restoration Ecology*, 7(1), 69-73. DOI : <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.1999.07108.x>

Zhuang, W., Longguo, L., & Liu, C. (2013). Effects of sodium polyacrylate on water retention and infiltration capacity of a sandy soil. *SpringerPlus*. DOI : [10.1186/2193-1801-2-S1-S11](https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-S1-S11)

Annexes

Annexe 1 : Travaux spécifiques à certains types de mares.

Thématique	Titre	Année	Référence
Gestion générale des mares	Mares de Normandie	2019	Abe-Goulier, J-C , Maury-Deleu, V., Brien, V., Bernet, E., Chaïb, J. Coubé J-M., Domingues C., Marchalot A. (2019). <i>Mares de Normandie</i> . Falaises, 143 p.
	Guide de bonnes pratiques. L'aménagement intégré des mares pour associer paysage, hydraulique et écologie	2021	CAUE 27. (2021). <i>Guide de bonnes pratiques. L'aménagement intégré des mares pour associer paysage, hydraulique et écologie</i> (Guide). https://caue27.fr/wp-content/uploads/2021/10/guide-mares-2021-web.pdf
	Gestion des mares de hutte	s. d.	FDCNPC. (2009). <i>Gestion des mares de hutte</i> . Faune sauvage n°281. Fédération de Chasse Nord - Pas de Calais. https://www.chasse59.fr/wp-content/uploads/guide_de_gestion_des_mares_de_hutte.pdf
	Guide technique de la mare	2009	Laffite, V., Mougey, T., Lemaire, L., Robilliard, J., & Levisse, P. (2009). <i>Guide technique de la mare</i> . Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
	Guide to the restoration, creation and management of ponds. University College London, London, UK	2023	Sayer, C. D., Biggs, J., Greaves, H. M., & Williams, P. (2023). <i>Guide to the restoration, creation and management of ponds</i> . University College London, London, UK. https://norfolkponds.org/wp-content/uploads/2023/10/guide_to_restoration_creation_management_ponds.pdf
	Étangs et paysages d'étangs : Guide technique sur l'intérêt des étangs et des paysages d'étangs en tant que solutions naturelles pour l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ses effets.	2024	Biggs, J, Hoyle, S, Matos, I, McDonald, H, Nicolet, P, Beat, O, Teixeira, J. (2024). <i>Étangs et paysages d'étangs : Guide technique sur l'intérêt des étangs et des paysages d'étangs en tant que solutions naturelles pour l'atténuation du changement climatique et l'adaptation à ses effets</i> . Ponderful.
	Plan d'Action sur les Mares	2025	SNPN. (2025). <i>Plan d'Action Mares</i> . Société Nationale de Protection de la Nature. Paris, France. https://www.snPN.com/le-plan-dactions-mares-pam-est-lance-un-cap-national-pour-les-mares-a-lhorizon-2030/
Mares forestières	La gestion des mares forestières de plaine	2007	Arnaboldi, F., & Alban, N. (2007). <i>La gestion des mares forestières de plaine</i> (Guide technique). Agence de l'eau Seine Normandie. https://bassinversant.org/wp-content/uploads/2023/07/onf_gestion_mare_forest_plaine_2006-1.pdf

	Mares forestières.	2010	CNPF. (2010). <i>Mares Forestières</i> . CNPF Bretagne-Pays de la Loire. Saint-Herblain. https://bretagne-paysdelaloire.cnpf.fr/sites/bretagne-paysdelaloire/files/2023-02/Mares-forestieres.pdf
	Prendre en compte la préservation des mares dans la gestion forestière	2015	Guittet, V., Laporte, M., Seguin, S., & Zimolo, A. (2015). <i>Prendre en compte la préservation des mares dans la gestion forestière - Guide pratique</i> . SNPN/CNPF. 24p. Paris. ifc.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/guidemares_1.pdf
Mardelles de Lorraine	Les mardelles intra-forestières de Lorraine : origines, archives paléo-environnementales, évolutions dynamiques et gestion conservatoire	2011	Etienne, D. (2011). <i>Les mardelles intra-forestières de Lorraine : origines, archives paléo-environnementales, évolutions dynamiques et gestion conservatoire</i> [Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré - Nancy 1]. https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01746238v1/file/SCD_T_2011_0094_ETIENNE.pdf
Mares de carrière	Gestion et aménagements écologiques des carrières de roches massives – Guide pratique à l’usage des exploitants de carrières	2011	Voeltzel, D., Février Y. (2011). <i>Gestion et aménagement écologiques des carrières de roches massives - Guide pratique à l'usage des exploitants de carrières</i> . 232p. ENCEM et CNC – UNPG, SFIC et UPC. www.genieecologique.fr/sites/default/files/documents/biblio/gestion_et_aménagement_ecologique_des_carriere_de_roches_massives_guide_pratique.pdf
	Les mares pionnières	2019	LIFE in Quarries. (2019). <i>Les mares pionnières</i> . https://www.lifeinquarries.eu/2019/11/19/les-mares-pionnieres/
	Carrières et zones agricoles. Une synergie pour la biodiversité	2018	Mercken, K., Boisson, S., Lebeau, J., & Mahy, G. (2018). <i>Carrières et zones agricoles. Une synergie pour la biodiversité</i> . FEDIEX, Mont-Saint-Guibert. https://www.fediex.be/upload/carrieres-et-zones-agricoles-fediex-wgbj6k.pdf
Mares temporaires méditerranéennes	Les mares temporaires méditerranéennes – Volume 1 – Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion	2004	Grillas, P., Gauthier, P., Yavercovski, N., & Perennou, C. (2004). <i>Les mares temporaires méditerranéennes. Volume 1 : Enjeux de conservation, fonctionnement et gestion</i> . Station Biologique de la Tour du Valat, Arles. https://www.europeanponds.org/wp-content/uploads/2014/11/mares_temporaires_med.pdf
	La création de mares temporaires méditerranéennes : défis techniques et aide à la décision	2024	Brissaud, T. (2024). <i>La création de mares temporaires méditerranéennes : défis techniques et aide à la décision</i> (Rapport de fin d'étude). CEN Occitanie.
Mares agricoles	Aménagement d'étangs agroécologiques	2023	Pellet, J., Collaud, V., & Brunel, M. (2023). <i>Aménagement d'étangs agroécologiques</i> . Parc Jura Vaudois. https://www.infofauna.ch/sites/default/files/files/publications/eae_notice-pratique_v5.pdf

Mares en Outre-Mer	Guide technique de Restauration et d'Entretien des Mares des Antilles	2023	Herteman, M., Norden, M., & Vandersarren, G. (2023). <i>Guide Technique de Restauration et d'Entretien des Mares des Antilles</i> . UICN Comité français / Pôle-Relais Zones Humides et Tropicales. Saint-Claude, Guadeloupe. https://www.uicn-fr-ressources.fr/rema/guide-technique-rema-2023.pdf
Mares urbaines	Review : toward management of urban ponds for freshwater biodiversity	2019	Oertli, B., & Parris, K. M. (2019). Review : Toward management of urban ponds for freshwater biodiversity. <i>Ecosphere</i> 10(7). DOI : 10.1002/ecs2.2810
Mare de défense contre les incendies	Guide technique de l'utilisation de mares pour la défense contre les incendies et l'amélioration de la biodiversité	2011	Vancayezeele, J., Garreaux, C-H., Levisse, P., Flamme-Obry, G., & Britou, D. (2011). <i>Guide technique de l'utilisation de mares pour la défense contre les incendies et l'amélioration de la biodiversité</i> . Parc Naturel Régional des Caps et Marais d'Opale.
Gestion en faveur des odonates	Aborder la gestion conservatoire en faveur des Odonates.	2016	OPIE. (2016). <i>Aborder la gestion conservatoire en faveur des Odonates</i> (Guide technique,) 96 p. Office pour les Insectes et leur Environnement & Société française d'Odonatologie. Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement Hauts de France. https://libellules.pnaopie.fr/wp-content/uploads/2023/01/Aborder-la-gestion-conservatoire-en-faveur-des-Odonates-Guide-technique-reduit.pdf
	Agir pour les Odonates. L'essentiel du Plan national d'action 2011-2015.	2012	OPIE-SFO. (2012). <i>Agir pour les Odonates. L'essentiel du Plan national d'actions 2011-2015</i> . DREAL Nord-Pas-de-Calais.
Gestion en faveur des amphibiens	Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés.	2013	Pellet, J. (2013). <i>Réaliser des plans d'eau temporaires pour les amphibiens menacés</i> . ProNatura.
	Gestion forestière et dynamique des populations de Sonneurs à Ventre Jaune (<i>Bombina variegata</i>) : synthèse bibliographique et mesures de conservation	2021	Cayuela, H., Bonnaire, E., Pichenot, J., & Besnard, A. (2021). Gestion forestière et dynamique des populations de Sonneurs à ventre jaune (<i>Bombina variegata</i>) : synthèse bibliographique et mesures de conservation. <i>X</i> , 178-216. DOI : 10.48716/bullshf.178-3
	Les mares agricoles à triton crêté. Leur rôle, leur place dans l'agriculture, comment les protéger	2015	Natagora. (2015). <i>Life Prairies Bocagères. Les mares agricoles à triton crêté. Leur rôle, leur place dans l'agriculture, comment les protéger</i> (Guide). Natagora, Namur. https://www.lifeprairiesbocageres.eu/fileadmin/Life/Prairies_bocageres/LPB-mare.pdf
	Les mares prairiales à triton crêté	2010	Grossi, J.-L., Grand, D., Manneville, O., & Miaud, C. (2010). <i>Les mares prairiales à triton crêté</i> . Conservatoire d'Espaces Naturels Rhône-Alpes, Vourles. https://www.cen-rhonealpes.fr/wp-content/uploads/2010/06/CTmares.pdf

Gestion d'EEE	State-of-the-art approach on the management of invasiv faunistic alien species : The American bullfrog in Belgium	2023	Descamps, S., & De Vocht, A. (2023). State-of-the-art approach on the management of invasiv faunistic aquatic alien species : The American bullfrog in Belgium. <i>Environmental Challenges</i> ,11. DOI : 10.1016/j.envc.2023.100690
Gestion de la végétation	Végétations des mares : comment maintenir l'équilibre ?	2019	PRAM Normandie. (2019). <i>Végétations des mares : comment maintenir l'équilibre ?</i> (Guide technique). CEN Normandie. https://www.pramnormandie.com/wp-content/uploads/2022/12/Lettre-dinfo-PRAM-N%C2%B03-2020.pdf
	Restoring shallow lakes impaired by eutrophication : Approaches, outcomes, and challenges	2020	Abell, J. M., Özkundakci, D., Hamilton, D. P., & Reeves, P. (2020). Restoring shallow lakes impaired by eutrophication : Approaches, outcomes, and challenges. <i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i> , DOI : https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1854564
Création de mares	Notice de creation d'une mare. Préserver la biodiversité des milieux humides	2024	Decotte, J.-B. (2024). <i>Notice de création d'une mare, préserver la biodiversité des milieux humides</i> (Guide technique). LPO AuRA, Grenoble, 60p. https://biblio.lpo-aura.org/wp-content/uploads/2024/12/Notice-creation-mares-BQ-web_compressed.pdf

Un guide méthodologie pour les mares du Grand Est, est également en cours d'élaboration par le PRAM Grand Est. Ce guide s'articulera autour de méthodes de création, d'entretien et de restauration de mares et devrait être publié dans le courant de l'année 2025. Parallèlement à sa diffusion, un site internet de recueil de retours d'expériences sera également mis en place, à l'image de celui que propose le PRAM Normandie. Ces outils s'adresseront à tous : gestionnaires, scientifiques, grand public.

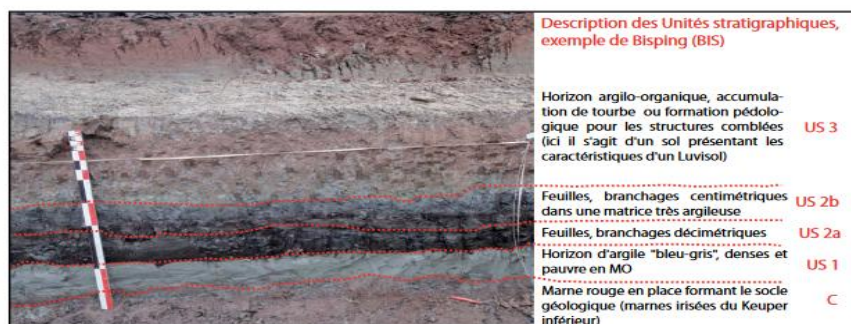
Annexe 2 : Propositions de gestions à mettre en place pour répondre aux perturbations qui peuvent survenir sur les mares temporaires méditerranéennes. Issu de Grillas, 2004.

Problèmes	Processus	Objectif	Mode de Gestion	Remarques (faisabilité...)	Coût
Comblement	Accumulation sédimentaire • réduction de l'hydropériode • enfouissement des semences	Restaurer un régime hydrologique favorable Remettre les semences en surface en conditions propices à la germination	Creusement manuel si petites surfaces (pelle), mécanique si surfaces plus élevées (pelleteuse) Restauration du couvert végétal du bassin versant, limitation de la fréquentation	Détermination préalable du niveau de creusement en fonction du fonctionnement antérieur, des banques de semence, etc.	Dépend de la distance d'exportation des sédiments
	Accumulation de litière d'origine interne ou périphérique d'où • enfouissement des semences • eutrophisation	Supprimer la litière Réduire les sources internes ou périphériques Limiter l'accumulation	Décapage superficiel (manuel) Contrôle des ligneux et des grandes héliophytes	Opération délicate : risque élevé d'exportation des stock semenciers avec la litière et de dommages sur la végétation existante	Faible si surface faible
Modification directe du régime hydrologique	Drainage	Restaurer un régime hydrologique favorable	Obturation des drains, remblai		
	Mise en eau permanente par alimentation directe (tuyau, etc.)	Restaurer un régime hydrologique favorable	Suppression de l'alimentation		
Modification indirecte du régime hydrologique (interventions sur bassin versant)	Détournement des eaux de ruissellement, plantations sur bassin versant, ponction sur la nappe	Restaurer un régime hydrologique favorable	Restauration du bassin versant, réglementation des ponctions sur la nappe	Très variable	Très variable
	Mise en eau permanente par modification du bassin versant (barrage, etc.) ou alimentation de la nappe				
Compétition/Lumière, Eutrophisation	Progression des ligneux	Ouvrir le milieu, limiter les apports de matière organique	Débroussaillage ou coupe avec exportation des branchages coupés, pâturage		
	Progression des grandes héliophytes	Limiter la compétition Limiter les apports de matière organique	Coupe ou/et étrépage avec exportation de la matière coupée et déracinée Pâturage	La cause de la progression doit être identifiée (modification du régime hydrologique ? Absence de pâturage ?) L'étrépage présente un risque élevé d'exportation des stocks semenciers avec le mat racinaire et de dommages sur la végétation existante	
	Augmentation de la densité de petites herbacées terrestres ou amphibiés	Limiter la compétition	Fauchage avec exportation du produit de fauche, pâturage		
	Espèce végétale envahissante	Limiter la compétition Limiter l'accumulation de matière organique	Arrachage manuel, pâturage Information, communication	La durabilité des actions engagées pour limiter l'envahissement doit être évaluée	
Prédation	Introduction animale (poisson, écrevisses, etc.)	Éliminer le prédateur	Élimination de la faune piscicole/retour à une hydrologie instable Information, communication	L'élimination des écrevisses comme de certains amphibiens envahissants est très peu probable car ils ont des refuges à l'extérieur des mares	
Pollution	Déversement direct	Sensibiliser, réduire les risques	Information, communication auprès du public et des collectivités locales, services d'état en charge du respect des lois anti-pollution		
	Déversement indirect sur bassin versant	Limiter les sources de pollution	Information, communication, contrats, etc.		
Déblais, décharge		Nettoyage	Information, communication, etc.		
Surpâturage, surpiétinement	Modification de la structure du substrat, accélération des processus érosifs Détérioration du couvert végétal Limitation de la reproduction	Réduire la charge de pâturage, modifier les saisons de pâturage, etc.	Information, communication, contrats, etc.		
Embroussaillage du bassin versant	Perturbation de la progression des amphibiens en phase terrestre	Ouvrir le milieu	Débroussaillage ou coupe avec exportation des branchages coupés Pâturage	Le débroussaillage doit être limité pour ne pas accroître l'érosion et maintenir des zones refuges, abris potentiels pour les amphibiens	

Annexe 3 : Clé de détermination des types de mares de la RNN du Pinail. Issu de Dupont et Sellier, 2017.

- 1 – Mare de profondeur supérieure à 100 cm 2
 1 – Mare de profondeur inférieure à 100 cm 3
- 2 – Mare dont la profondeur est supérieure à 150 cm, dont les pentes sont abruptes et dont la végétation du cœur de mare¹ ne dépasse pas 20 % **Type A**
 2 – Mare ne présentant pas cet assemblage de critères **Type B**
- 3 – Mare entièrement constituée d'une végétation aquatique caractéristique (*Eleocharis multicaulis*, *Sphagnum* sp., *Ranunculus ololeucos*, *Cladium mariscus*, *Phragmites australis*, *Typha* sp., *Potamogeton natans*, *Potamogeton polygonifolius*...) **Type C**
 3 – Mare non entièrement constituée de végétation aquatique caractéristique (mare très temporaire ou en cours de transition) 4
- 4 – Végétation aquatique caractéristique des mares entremêlée à de la végétation de prairie et/ou de lande humide et/ou de tourbière 5
 4 – Végétation aquatique caractéristique des mares absente ou limitée à quelques pieds, mare immergée de façon très temporaire **Type E**
- 5 – Végétation aquatique caractéristique des mares entremêlée à de la végétation de prairie (*Molinia caerulea*) **Type D1**
 5 – Végétation aquatique caractéristique des mares entremêlée à de la végétation de lande humide (*Erica tetralix*, *Erica scoparia*...) **Type D2**
 5 – Végétation aquatique caractéristique des mares entremêlée à de la végétation de tourbière (*Sphagnum* sp., *Drosera rotundifolia*, *Menyanthes trifoliata*...) **Type D3**
 5 – végétation aquatique caractéristique des mares entremêlée à de la végétation de tourbière (*Sphagnum* sp., *Drosera rotundifolia*, *Menyanthes trifoliata*...) **Type D3**

Annexe 4 : Photographie de la sédimentation de la mardelle de Bisping illustrant les trois grandes Unités Stratigraphiques (US) retrouvées sur les mardelles [...]. Issu de Etienne, 2011.



Annexe 5 : Habitats d'intérêts communautaire pouvant être affiliés à des mares selon Bernard, 2019.

Remarque : cette liste d'habitat est fournie à titre indicatif.

Habitats d'intérêt communautaire de la Directive Habitats Faune Flore (Annexe I) :

3110 Eaux stagnantes à végétation vivace oligotrophique panitiaire à nollinéenne des régions atlandies, des *Littorelletea uniflorae*

3110-1 Eaux stagnantes à végétation vivace oligotrophique plinitiare à collinéenne des régions atlantiques, des *Littorelletea uniflorae*

3120 Eau oligotrophes très peu minéralisées sur sols généralement sableux de l'ouest méditerranéen à Isoetes spp.

3120-1 Pelouses mésophiles à Sérapias de la Provence cristalline (*Serapion*)

3120-2 Pelouses mésohygrophiles oligotrophiques thermo-atlantiques à isoètes épineux et ophioglosses

3130 Eaux stagnantes, oligotrophes à mésotrophes avec végétation des *Littorelletea uniflorae* et/ou des *Isoeto-Nanojuncetea*

3130-1 Eaux stagnantes à végétation vivace oligotrophique à mésotrophique montagnarde à subalpine des régions alpines, des *Littorelletea uniflorae*

3130-4 Communautés annuelles oligotrophiques à mésotrophiques, de bas-niveau topographique, planitiales, d'affinités atlantiques, des *Isoeto-Juncetea*

3130-5 Communautés annuelles oligotrophiques à mésotrophiques, acidiphiles, de niveau topographique moyen, planitiales à montagnardes, des *Isoeto-Juncetea*

3140 Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara spp.*

3140-1 Communautés à characées des eaux oligo-mésotrophes basique

3140-2 Communautés à characées des eaux oligo-mésotrophes faiblement acides à faiblement alcalines

3150 Lacs eutrophes naturels avec végétation du *Magnopotamion* ou de l'*Hydrocharition*

3150-1 Plans d'eau eutrophes avec végétation enracinée avec ou sans feuilles flottantes

3150-2 Plans d'eau eutrophes avec dominance de macrophytes libres submergés

3150-3 Plans d'eau eutrophes avec dominance de macrophytes libres flottant à la surface de l'eau

3160 Lacs et mares dystrophes naturels

3160-1 Mares dystrophes naturelles

3170 * Mares temporaires méditerranéennes

3170-1* Mares temporaires méditerranéennes à Isoètes (*Isoetion*)

3170-2* Gazons méditerranéens amphibies longuement inondés (*Preslion*)

3170-3* Gazons méditerranéens amphibies halonitrophiles (*Heleochoion*)

3170-4* Gazons amphibies annuels méditerranéens (*Nanocyperetalia*)

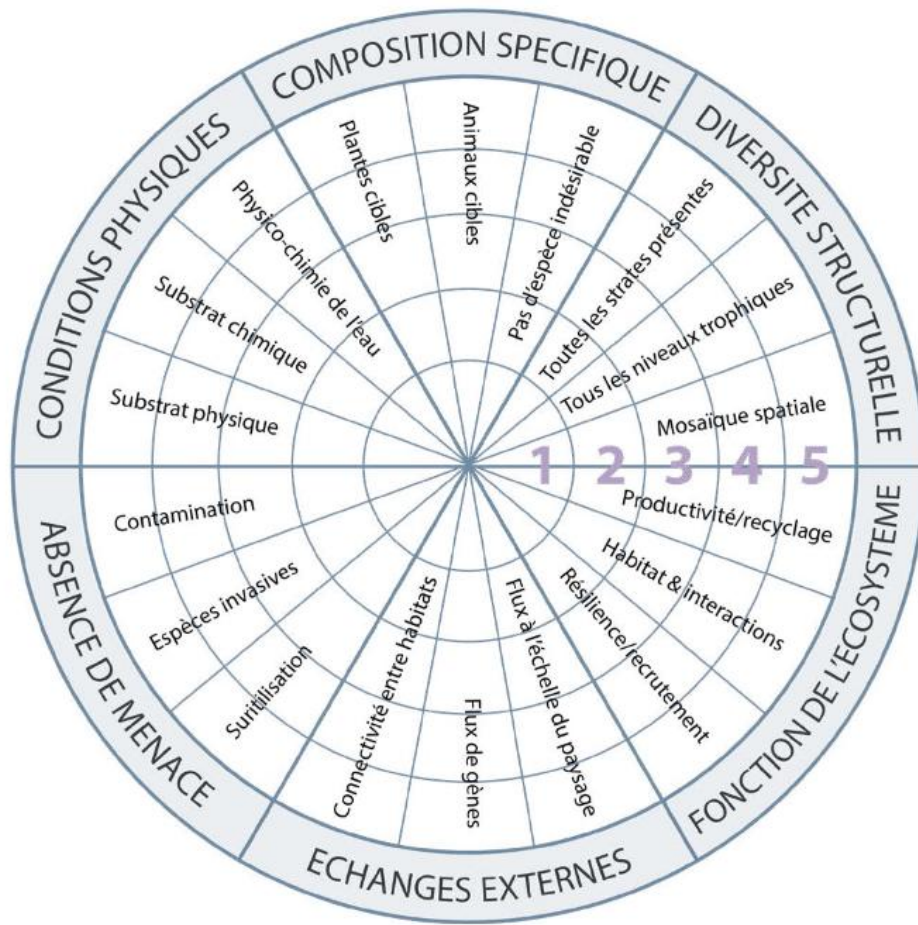
Habitat des espèces suivantes (figurant à l'annexe II de la DHFF) :

CD_ESPECE_UE	CD_NOM	Nom_valide	ALP	ATL	CONT	MED
1166	139	<i>Triturus cristatus</i> (Laurenti, 1768)	O	O	O	O
1193	212	<i>Bombina variegata</i> (Linnaeus, 1758)	O	O	O	O
1196	223	<i>Discoglossus montalentii</i> Lanza, Nascetti, Capula & Bullini, 1984	N	N	N	O
1190	229	<i>Discoglossus sardus</i> Tschudi in Otth, 1837	N	N	N	O
1316	60439	<i>Myotis capaccinii</i> (Bonaparte, 1837)	N	N	N	O
1318	60447	<i>Myotis dasycneme</i> (Boie, 1825)	N	O	N	N
1014	64140	<i>Vertigo angustior</i> Jeffreys, 1830	O	O	O	O
1016	64141	<i>Vertigo moulinsiana</i> (Dupuy, 1849)	N	O	O	N
1044	65133	<i>Coenagrion mercuriale</i> (Charpentier, 1840)	O	O	O	O
4045	65139	<i>Coenagrion ornatum</i> (Selys in Selys & Hagen, 1850)	N	N	O	N
1046	65231	<i>Gomphus graslinii</i> Rambur, 1842	N	O	N	O
1037	65243	<i>Ophiogomphus cecilia</i> (Geoffroy in Fourcroy, 1785)	N	O	O	N
1042	65356	<i>Leucorrhinia pectoralis</i> (Charpentier, 1825)	N	O	O	N
1041	65381	<i>Oxygastra curtisii</i> (Dale, 1834)	O	O	O	O
1036	65384	<i>Macromia splendens</i> (Pictet, 1843)	N	O	N	O
1220	77381	<i>Emys orbicularis</i> (Linnaeus, 1758)	N	O	O	O
1221	77412	<i>Mauremys leprosa</i> (Schweigger, 1812)	N	N	N	O
1082	9562	<i>Graphoderus bilineatus</i> (de Geer, 1774)	N	O	O	N
1832	87417	<i>Caldesia parnassifolia</i> (L.) Parl., 1860	N	O	O	N
1887	92171	<i>Coleanthus subtilis</i> (Tratt.) Seidl, 1817	N	O	N	N
1416	103832	<i>Isoetes boryana</i> Durieu, 1861	N	O	N	N
1831	106807	<i>Luronium natans</i> (L.) Raf., 1840	N	O	O	N
1428	107407	<i>Marsilea quadrifolia</i> L., 1753	N	O	O	N
1429	107409	<i>Marsilea strigosa</i> Willd., 1810	N	N	N	O
1384	6207	<i>Riccia breidlerii</i> Jur. ex Steph.	O	N	N	N
1391	6131	<i>Riella helicophylla</i> (Bory & Mont.) Mont.	N	N	N	O
1493	123905	<i>Sisymbrium supinum</i> L., 1753	N	O	O	N
4014	8451	<i>Carabus variolosus</i> Fabricius, 1787	N	N	O	N

Annexe 6 : Présentation de quelques espèces qui profitent de la mosaïque de milieux mis en place lors de la gestion en faveur du Triton crêté. Issu de Dochy, 2018.

Espèce	Biotope
Plantes	
Lychnis fleur de coucou	Prairies fleuries humides
Crépide bisannuelle	Accotements et prés fleuris
Rhinanthe à grandes fleurs	Prés fleuris sur sol humide
Primevère officinale	Lisières de bois et de prairie dans les dunes, les polders et le Heuvelland
Primevère élevée	Bois, lisières de bois et haies vives
Rhinanthe à petites fleurs	Prés fleuris sur sol sec
Achillée ptarmique	Prés fleuris sur sol humide, fossés humides le long d'accotements
Oiseaux	
Chouette effraie	Paysage agraire mixte avec broussailles et bâtiments grouillant de souris ou nichoirs destinés à la nidification
Chouette chevêche	Prairies avec de vieux arbres têtards, de vieux bâtiments
Tourterelle des bois	Large haies et haies vives, larges lisières de bois, abords de champ et chaumes riches en semences de végétation spontanée
Espèces	
Hirondelle rustique	Étables avec portes ouvertes et paysage mixte aux alentours. Boue à proximité des mares.
Hirondelle de fenêtre	Bâtiments avec grand débord de toit dans un environnement riche en insectes (ferme, village). Boue à proximité des mares.
Traquet pâtre	Accotements, prairies ou broussailles riches en insectes avec des poteaux, des massifs de buissons ou d'autres postes d'observation
Fauvette grisette	Haies, haie vives
Chardonneret élégant	Broussailles de toutes sortes et terrains en friche avec de nombreux chardons, bardanes ou cardères
Moineau friquet	Zone agricole bocagère avec de nombreux vieux arbres (têtards) et haies vives
Bruant jaune	Zone agricole bocagère mixte avec de vieux arbres (têtards) et haies vives
Mammifères	
Lérot	Terrain varié avec bois, vergers, vieux jardins avec bâtiments, plantes grimpantes, arbres têtards, tas de pierres ou de branches, ...
Chauve-souris	Paysage varié riche en insectes
Fouine	Paysage varié
Amphibiens et reptiles	
Rainette verte	Paysage bocager en mosaïque avec mares, prairies fleuries, broussailles et haies
Groupe des Grenouilles vertes	Mares modérément riches en nourriture avec de nombreuses plantes aquatiques, eaux stagnantes
Grenouille rousse	Mares dans un bois ou une prairie
Crapaud commun	Mares
Triton ponctué	Mares dans un environnement varié
Orvet	Lisières de bois ensoleillées, accotements pauvres
Papillons	
Thèle du bouleau	Haies, haies vives, lisières des bois avec Prunellier
Papillons des prairies, sous forme de groupe	Prairies et accotements fleuris
(Myrtil et Amaryllis, Collier-de-corail et Argus bleu, Aurore, Cuivré commun, Fadet commun, Satyre, Machaon, Sylvaine et Hespérie du Dactyle)	
Criquets	
Grande sauterelle verte	Broussailles
Decticelle cendrée	Haies, haies vives, lisières des bois, massifs de buissons
Libellules	
Libellule déprimée	Mares avec eau claire, plantes aquatiques et berges
Nymphe au corps de feu	Mares avec eau claire, plantes aquatiques et berges dans un environnement boisé
Sympétrum rouge sang	Mares avec eau claire, plantes aquatiques et berges

Annexe 7 : Roue de la restauration. Issu de McDonald, Gann, et al., 2016.



Annexe 8 : Tableau décisionnel présentant les 4 types de plans d'eau temporaires avec leurs caractéristiques favorables aux différentes espèces de batraciens menacés. Issu de Pellet, 2013.

	Crapaud accoucheur	Sonneur à ventre jaune	Crapaud calamite	Rainette verte	Grenouille agile	Triton crêté et triton lobé	Remarques
Chapelet de gouilles	—	+++	—	—	—	—	En situation ensoleillée. Peut être réalisé par un remodelage de fossé d'évacuation des eaux. Compte tenu des faibles coûts de réalisation, ce type de plan d'eau devrait compléter tous les aménagements de plans d'eau.
Rétention d'eau et remodelage de terrain	+++	++	+	++	+++	+++	Dans des dépressions de terrain facilement réinondables et sur des sols présentant une bonne capacité de rétention hydrique. Peut être réalisé avec des drainages réglables ou des barrages.
Creusement dans la fourchette de battement de la nappe phréatique	++	+++	+++	+++	+++	+++	Là où les fluctuations de la nappe sont à la fois proches du niveau du terrain et suffisamment importantes pour permettre un assèchement régulier.
Imperméabilisation artificielle	+++	++	++	+++	++	++	Sur les sols filtrants et perméables ou au-dessus des fluctuations de la nappe phréatique.
Dimensions du plan d'eau	Surface: de 50 à environ 1000 m²	Surface: entre 0,5 et environ 20 m²	Surface: plus de 50 m²	Surface: de 100 à 2'000 m²			
(les valeurs données ici sont indicatives et peuvent être adaptées aux conditions locales)	Profondeur: 0,6 à 1,5 m	Profondeur: 10 à 60 cm	Profondeur: 10 à 40 cm	Profondeur: 10 à 30 cm le long des rives, maximum 1 m			
Vidange, mise à sec	Tous les 3 à 5 ans, entre octobre et février.	Annuelle, dès octobre. Remise en eau avant février.					
Habitats terrestres	Petites structures de type talus ou tas de pierre ou de sable, murs en pierre sèche. A moins de 50 m du plan d'eau. Emplacement ensoleillé.	Nombreux abris terrestres de type tas de bois, souches, murs, etc. A moins de 500 m d'une forêt.	Surfaces minérales meubles (sables fins ou grossiers) de 60 à 120 cm de profondeur dans lesquelles le crapaud peut creuser pour s'abriter. Gros tas de bois comme abris. A moins de 100 m du plan d'eau.	Ronciers, haies et bosquets buissonnants. A moins de 200 m du plan d'eau. Surfaces abritées de la bise.	Lisière forestière, haie dense, bosquet ou d'une surface marécageuse. A moins de 200 m du plan d'eau.	Forêts mixtes ou prairies humides offrant de multiples possibilités de cache. A moins de 200 m du plan d'eau.	

Espèces hélophytes* indigènes adaptées à la végétalisation d'une mare

Nom scientifique	Nom français	Hauteur possible (cm)
<i>Carex acutiformis</i>	Laïche des marais	50-120
<i>Carex gracilis</i> ou <i>acuta</i>	Laïche grêle	50-120
<i>Carex pseudocyperus</i> 	Laïche faux-souchet	30-90
<i>Juncus effusus</i> 	Jonc épars	30-100
<i>Mentha aquatica</i>	Menthe aquatique	20-75
<i>Schoenoplectus lacustris</i>	Jonc des chaisiers	100-150
<i>Sparganium erectum</i> 	Rubadier d'eau	30-120

Espèces hydrophytes** indigènes adaptées à la végétalisation d'une mare

Nom scientifique	Nom français	Profondeur possible (cm)
<i>Chara</i> sp. 	Characées	-
<i>Groenlandia densa</i>  	Potamot dense	20-50
<i>Myriophyllum alterniflorum</i> 	Myriophylle à feuilles alternes	15-60
<i>Myriophyllum verticillatum</i> 	Myriophylle verticillé	50-200
<i>Nymphoides peltata</i> 	Faux-nénuphar pelleté	20-100
<i>Potamogeton coloratus</i> 	Potamot coloré	30-100
<i>Potamogeton crispus</i> 	Potamot crépu	30-120
<i>Potamogeton lucens</i>  	Potamot luisant	50-100
<i>Potamogeton natans</i> 	Potamot nageant	20-80
<i>Ranunculus trichophyllus</i>	Renoncule à feuilles capillaires	20-100

 Contrôler la croissance  En régression  Inscrite sur la liste rouge de la région Rhône-Alpes

Annexe 10 : Vue d'ensemble des mesures en faveur du sonneur à ventre jaune. Issu de Mermod, et al., 2010.

2.3 Vue d'ensemble des mesures en faveur du sonneur à ventre jaune

La mise en oeuvre des mesures ci-dessous est décrite en détail au chapitre 3. Les mesures ci-dessous sont des propositions qui doivent être adaptées au contexte local.

Création de nouveaux sites de reproduction			
☞ Consulter les autorités communales pour l'obtention d'un permis de construire (permis en général pas nécessaire pour de petites gouilles) ☞ Consulter le cadastre des décharges ☞ Consulter le cadastre des zones de protection des sources (pas d'aménagements aquatiques dans les zones de protection S1 et S2)			
Les plans d'eau favorables au sonneur à ventre jaune: » se réchauffent rapidement » sont en eau durant 8 semaines, au minimum entre avril et août » s'assèchent périodiquement en automne ou en hiver » sont dénués de végétation aquatique » sont souvent sur des sols argileux	Dimension des plans d'eau: » surface entre 0.5 et 20 m² » profondeur d'env. 10–60 cm » plusieurs plans d'eau de taille variable par site, avec au moins un petit plan d'eau » la surface totale en eau par site dépend fortement de la situation, mais si possible plus d'un are.	Choix de l'emplacement: » à distance colonisable depuis d'autres populations (entre 500 m et 2 km) » situation ensoleillée ou de mi-ombre (envisager des éclaircies ciblées) » bonne accessibilité et possibilité d'assurer l'entretien à long terme » la préférence doit être donnée aux situations naturellement humides. La consultation des cartes de végétation peut être utile. Attention aux autres valeurs biologiques présentes!	Habitats terrestres: » à proximité des sites de ponte (< 50 m) » habitats proches de l'état naturel » surfaces rudérales, sols nus et pionniers, bandes herbeuses, bosquets, lisières et forêts avec murgiers, tas de souches, tas de bois ou fourrés denses (p.ex. ronciers) » Structures refuges à proximité de l'eau (murgiers, souches...)
Mise en oeuvre			
Compaction de sols humides Des gouilles et dépressions inondables peuvent être réalisées par compaction de sols humides ou argileux, par exemple par le passage répétés de véhicules lourds (tracteur, débardeur, rétropelleuse, pilonneuse etc.). Cette mesure peut être répétée au besoin. Cette mesure est également favorable au crapaud calamite (voir notice pratique correspondante)			 Photo 6K
Gouilles sur sols humides Il est possible d'aménager des gouilles sans imperméabilisation artificielle dans les situations naturellement humides sur sols argileux (en particulier les zones de suintements et dans les regards de nappes phréatiques). La creuse préalable d'une fosse ou la pose d'un piézomètre permet d'identifier les niveaux de fluctuation des eaux et d'ajuster la profondeur de creuse des plans d'eau en conséquence. Dans l'idéal, on creusera (à la machine ou à la main) plusieurs dépressions de tailles différentes, avec une profondeur de 20 à 60 cm. Des retenues peuvent être aménagées de manière à favoriser les plans d'eau. nouvellement créés à l'aide de troncs d'arbres, de palissades en bois ou de batardeaux. ☞ Si les plans d'eau ne s'assèchent jamais, en créer régulièrement de nouveaux.			 Photo 6L
Petits plans d'eau imperméabilisés naturellement Dans le cas où le sous-sol ne retient que partiellement l'eau, il est possible d'imperméabiliser durablement de petites gouilles à l'aide de glaise et d'argile. Dans ce cas, des dépressions de 70 à 100 cm seront creusées et partiellement comblées avec une épaisseur de 60 à 90 cm de glaise ou d'argile. Ces matériaux seront mis en place en 3 couches successives, chacune étant compactée successivement et dans une direction différente de la précédente. Les gouilles définitives seront modelées dans la couche superficielle. Le risque que de tels plans d'eau aménagés sur des sols partiellement perméables perdent leur efficacité après quelques années est relativement élevé. Compte tenu des coûts d'aménagement de tels plans d'eau (matériaux et transports), cette méthode doit donc être évaluée au cas par cas. ☞ Glaise et argile peuvent être obtenus directement auprès des exploitants de sites d'extraction. On privilégiera une compaction des matériaux par une pilonneuse manipulée par une entreprise spécialisée offrant une garantie d'imperméabilisation.			 Photo 5A
Petits plans d'eau avec imperméabilisation artificielle Une imperméabilisation artificielle est indispensable dans les cas où les plans d'eau doivent être aménagés dans des sols perméables. Des dépressions de 30 à 50 cm de profondeur seront couvertes d'une bâche. La bâche sera ensuite intégralement couverte d'une couche de 5 à 25 cm d'argile ou de glaise ou, afin de ralentir la croissance végétale, par deux tiers de sables et graviers et un tiers de matériaux argileux. On évitera dans tous les cas des matériaux terreux riches en matière organique. L'aménagement de telles gouilles est peu coûteux, mais ces plans d'eau ne sont pas facile à entretenir durablement pour le sonneur à ventre jaune. La mise en place d'un système de vidange permet d'en faciliter l'entretien. L'aménagement de grands plans d'eau imperméabilisés avec des bâches et comblés par d'importants volumes de graviers, bien que plus onéreux, permet de faciliter considérablement l'entretien à long terme (celui-ci consistant en un remodelage périodique du substrat minéral). La bâche, placée à une profondeur d'environ 1 m, sera complétée par un système de vidange placé au point le plus bas. La bâche sera placée entre deux couches de géotextiles, sur une épaisseur de sables d'environ 10 cm. Le tout sera couvert d'un volume de graviers dans lequel les gouilles seront modelées. Les gouilles pourront alors être couvertes de glaises ou de sables et d'argiles. La partie superficielle sera retravaillée tous les 3 à 5 ans. Une mesure d'urgence dans les sites drainants consiste à placer quelques bacs à mortier (ou bacs similaires disponible dans les centres de bricolage) partiellement remplis d'argile ou de gravier. On veillera à maintenir une rampe de sortie pour les animaux. Ce type de bacs peut également être utilisé pour faciliter la détection du sonneur à ventre jaune dans un site dépourvu de plans d'eau.			 Photo 5B  Photo 5C  Photo 5D
Renaturation de cours d'eau La renaturation de cours d'eau doit permettre d'équilibrer les processus dynamiques de l'eau et des sédiments, le plus souvent en assurant un espace cours d'eau suffisant qui permet, lors de crues, l'apparition spontanée de nouveau petits plans d'eau temporaires. Cette solution idéale n'étant malheureusement pas toujours réalisable, il est envisageable d'aménager et d'entretenir de petites gouilles situées en dehors des hautes eaux normales.			 Photo 6M

Systèmes d'évacuation des eaux On évitera autant que possible la mise sous tuyau des eaux de surface et l'on favorisera l'apparition de petits cours d'eau et gouilles. Les fossés pourront être approfondis localement et des petits barrages pourront être aménagés de manière à retenir l'eau. Prévoir un échappatoire sous forme de rampe au cas où les eaux aboutissent à un puits. ➤ Plus d'information à ce sujet dans les documents «Amphibiens dans les systèmes d'évacuation des eaux» et «Ausstiegshilfen für Entwässerungsschächte»	 Photo: MM
Prairies Inondables L'approfondissement de dépressions inondables dans les prairies et pâturages permet de mettre en valeur ces milieux pour les amphibiens. Les matériaux peuvent être excavés à la rétropelleuse. L'imperméabilisation peut se faire par le passage répété de la pelleuse ou par un gros véhicule à pneus. L'alimentation en eau peut être adaptée de manière à amener les eaux du bassin versant vers la dépression; soit en détournant les eaux de surface, soit en bouchant les systèmes de drainage existants (drains, fossés). Dans le cas où le sol est suffisamment gorgé d'eau, il est possible d'imperméabiliser un plan d'eau par compaction, sans évacuation de matériaux. ➤ Assurer une zone tampon (contre les engrais et herbicides) suffisante autour des plans d'eau Cette mesure est également favorable aux espèces suivantes: crapaud calamite, rainette, triton crêté et triton lobé. (voir les notices pratiques correspondantes)	 Photo: SZ
Entretien des plans d'eau et des habitats terrestres Période d'intervention: en général tous les 1 à 5 ans entre le 15 octobre et le 1er février (on veillera toutefois à ne pas porter atteinte aux autres espèces sensibles à cette période). Le rythme d'intervention doit être adapté aux conditions locales (plans d'eau, rapidité de l'embroussalement etc.) . » Gestion alternée des plans d'eau. Cet entretien peut inclure le passage répété d'un véhicule à pneu dans le plan d'eau, le débroussaillage des berges, la fauche de la végétation ou le décapage de la couche superficielle. Dans les sites où de nouvelles gouilles sont régulièrement créées, il est envisageable de réduire les coûts d'entretien des plans d'eau existants. » Maintien de l'offre en plans d'eau pionniers: planifier la création régulière de nouveaux plans d'eau. Selon la place à disposition, il peut être nécessaire d'abandonner certains plans d'eau matures pour les remplacer par de nouveaux plans d'eau pionniers. » Contrôle de l'alimentation en eau: Lorsque des plans d'eau imperméabilisés par compaction ou par des argiles ne conservent plus d'eau, même après des pluies importantes, il peut être nécessaire de ré-étanchéifier la surface (avec une pilonneuse ou par le passage répété d'engins lourds). » Maintien des rives et des habitats terrestres ouverts: Dans la mesure du possible, assurer une fauche ou une pâture annuelle du plan d'eau et de ses berges. Au besoin, un débroussaillage des milieux adjacents peut s'avérer nécessaire. Certains plans d'eau peuvent être laissés à leur libre évolution durant quelques années comme refuges, pour autant qu'une quantité suffisante de plans d'eau pionniers soient mis à disposition en permanence.	
Mise en réseau On aménagera des groupes de gouilles à des distances de 500 m à 2 km des populations les plus proches. L'efficacité de la mise en réseau de groupes de gouilles dépend fortement des conditions locales. Les structures terrestres le long des cours d'eau doivent également être favorisées (fossés, lisières structurées, chemins forestiers, haies, bandes herbeuses etc.).	

Annexe 11 : Fiche descriptive des mares de l'Observatoire Régional des Mares

Missions Mares & Libellules

N° de la mare :

Fiche description de la mare

Nom/prénom de l'Observateur :

Conditions d'observation

Date de visite *	Altitude (en mètres)	Observateur(s) secondaire(s)	
Heure de visite	☐ Avant 10h	☐ Entre 10h et 17h	☐ Après 17h
Météo antérieure	☐ Il a plu dans les 3 derniers jours	☐ Pas de pluie sur les 3 derniers jours	☐ Je ne sais pas

Contexte de la mare

Je connais bien cette mare	☐ Oui	☐ Non	Type de propriété	☐ Public	☐ Privé	☐ Je ne sais pas
Je suis propriétaire de la mare, je souhaite mener des actions en faveur de la biodiversité	☐ Oui	☐ Non				
Distance de la mare par rapport au boisement le plus proche	☐ < à 100m	☐ Entre 100 et 250m	☐ Entre 250 et 500m	☐ > à 500m		
Distance de la route	☐ < à 10m	☐ Entre 10 et 100m	☐ Entre 100 et 250m	☐ > à 250m		
Type de routes à proximité	☐ Route nationale, départementale ou autoroute	☐ Route communale				
Présence d'un corridor linéaire (haie, ruisseau, fossé) dans un rayon de 5m autour de la mare	☐ Fonctionnel	☐ Altéré	☐ Absent			
Contexte de la mare (Précisez) *						
☐ Zone plutôt agricole	☐ Prairie pâturée	☐ Prairie de fauche	☐ Champ cultivé	☐ Verger	☐ Vigne	
	☐ Jardin privé	☐ Alpage	☐ Zone minérale naturelle (zone de montagne, doline, etc.)		☐ Zone humide	
☐ Zone plutôt forestière	☐ Forêt de résineux	☐ Forêt de feuillus	☐ Forêt mixte	☐ Zone humide	☐ Garrigue	
☐ Zone urbanisée	☐ Jardin privé	☐ Parc public	☐ Espace public (sauf parc)	☐ Carrière		

Description de la mare

Nature du fond*	☐ Artificiel (Plastique, Caoutchouc, Béton, Rocher)	☐ Naturel (Terre, Vase, Roche, Gravier etc.)				
Je connais la surface exacte de la mare (m²)	☐ Oui :	☐ Non				
Surface approximative	☐ < de 10m²	☐ Entre 10m² et 50m²	☐ Entre 50m² et 100m²	☐ Entre 100m² et 5000m²	☐ > de 5000m²	
Présence d'eau lors de la visite*	☐ Oui	☐ Non	Présence d'eau permanente	☐ Oui	☐ Non	☐ Je ne sais pas
Profondeur maximale	☐ < de 50cm	☐ Entre 50cm et 100cm	☐ Entre 100cm et 150cm	☐ > de 150cm		
Forme de la mare	☐ Ronde / Ovale	☐ Carré / Rectangle	☐ Complexe			
Piétinement des abords*	☐ Partout	☐ Sur une partie	☐ Absence de piétinement	☐ Berges bétonnées		
Clarté de l'eau*	☐ Trouble	☐ Limpide	Odeur de l'eau	☐ Mauvaise odeur	☐ Pas d'odeur	
Alimentation en eau	☐ Ruisseau ou canal	☐ Précipitation	☐ Nappe	☐ Autre		
Pente des berges*	☐ Au moins la moitié des berges est en pente douce	☐ Moins de 50% des berges est en pente douce				
	☐ Toutes les berges sont pentues ou verticales					

Faune et flore

Végétation héliophytes (pieds dans l'eau ou sur berge)*	☐ Absence	☐ Clairsemé (≤ à 50% de recouvrement)			
	☐ Abondant (recouvrement entre 50 et 75% ou égal à 75%)	☐ Très abondant (> à 75%)			
Végétation hydrophytes (Plantes aquatiques immergées et flottantes)*	☐ Absence	☐ Clairsemé (≤ à 50% de recouvrement)			
	☐ Abondant (recouvrement entre 50 et 75% ou égal à 75%)	☐ Très abondant (> à 75%)			
Arbres et arbustes	☐ Absence	☐ Clairsemé (≤ à 50% de recouvrement)	☐ Abondant (recouvrement entre 50 et 75% ou égal à 75%)		
	☐ Très abondant (> à 75%)				
Je suis une bête de la mare, je regarde en l'air, je vois	☐ Uniquement du ciel	☐ 50% de ciel et 50% de végétation			
	☐ Uniquement de la végétation				
Avez-vous constaté la présence de ragondin (animal ou galerie dans les berges visible) ?	☐ Oui	☐ Non	Espèce exotique envahissante (animale ou végétale) observée (laquelle)	☐ Oui :	☐ Non
	☐ Oui	☐ Non		☐ Je ne sais pas	
Avez-vous noté la présence de poissons ?*	☐ Oui	☐ Non			
Faune observée	☐ Libellules	☐ Autres insectes	☐ Oiseaux	☐ Poissons	☐ Mammifères
	☐ Amphibiens	☐ Reptiles	☐ Crustacés	☐ Mollusques	☐ Autres

Activités humaines et impacts

Usage(s) observé(s)	☐ Agrément : lavoir, fontaine, mare paysagère ...	☐ Traitement de l'eau : lagunage, rétention ...	☐ Agricole		
	☐ Loisirs : pêche, chasse nautique ...	☐ Captage : neige, incendie ...	☐ Pédagogique	☐ Pas d'usage	☐ Je ne sais pas
Avez-vous noté la présence de déchets (canettes, bouteilles, reblois, etc.) ?*	☐ Oui en grande quantité	☐ Oui en petite quantité	☐ Non		
Avez-vous constaté la présence d'une pollution chimique ?*	☐ Oui	☐ Non			
Avez-vous constaté la présence d'autres menaces ?	☐ Oui :	☐ Non			

Observations et remarques

Annexe 12 : Grille d'aide à la construction de scénarios. Issu de Michelot et Simon, 2015.

Caractères du scénario	Type de Scénario	Restauration ponctuelle / symptomatique	Restauration partielle	Restauration complète
Espace de mise en œuvre de la gestion		Intervention à l'échelle de l'unité écologique ou de la parcelle (une petite partie du site)	Intervention à l'échelle de la zone humide	Intervention à l'échelle de l'Espace de Bon Fonctionnement
Pas de temps		Restauration ponctuelle, non pérenne. Il sera nécessaire de renouveler l'opération dans quelques années.	Restauration semi-pérenne. Les effets de la restauration perdureront durant 5 ans ou plus.	Restauration pérenne. Les effets de la restauration perdureront durant plusieurs décennies.
Spécialisation de l'action		Restauration ciblée sur un dysfonctionnement, une fonction	Situation intermédiaire	Restauration simultanée des différentes fonctions, traitement de l'ensemble des dysfonctionnements
Niveau d'intervention		Intervention sur les conséquences des dysfonctionnements	Fonctions partiellement restaurées	Intervention sur les causes de l'ensemble des dysfonctionnements
Cibles de l'action		Composition de la ZH (végétation)	Structure de la ZH (topographie...)	Flux (eau, matières) Processus
Motivation de la restauration		Une fonction, un service : approche ciblée	Quelques fonctions ou services	Ensemble des fonctions et services Priorité donnée à la pérennité des fonctions « eau »

Annexe 13 : Résumé de la méthode d'évaluation des mares temporaires méditerranéennes. Issu de Savary, et al., 2023.

Premièrement, l'état de conservation et l'eutrophisation de la mare sont observés : il s'agit de vérifier que l'habitat est présent, commenter l'état de conservation (pressions locales, absence de dégradations...) et noter la présence ou l'absence d'algues filamenteuses dans l'eau. Le niveau d'eau est également considéré à travers une mesure à effectuer une fois par mois, à cinq endroits choisis aléatoirement au centre de la mare : la hauteur d'eau la plus élevée est alors retenue. La profondeur peut être mesurée grâce à un mètre pliant ou à l'aide d'une échelle limnimétrique qui doit être installée en phase asséchée pour des raisons d'accessibilité. Le troisième paramètre est l'hydropériode, qui permet de caractériser si la mare est en eau ou à sec à la fin de chaque mois. Un suivi de l'hydrologie de la mare est particulièrement intéressant à mettre en place pour en déterminer le caractère temporaire ou permanent. Ce suivi, dont les résultats sur le long terme pourront être exploités, permettra de déterminer si le régime hydrique de la mare connaît une perturbation ou non et d'agir éventuellement sur ses causes. Puis les dimensions de la mare sont mesurées. Pour ce faire, il faut repérer l'axe le plus long qui passe par le centre de la mare, ainsi qu'un second axe perpendiculaire qui correspond à la largeur maximale de la mare ; puis les matérialiser avec des repères visibles pour les repositionner chaque année. Les limites de la mare sont situées au niveau des ruptures de pente constituant le haut de la berge. Un inventaire floristique est également réalisé tous les ans à une période fixe, à l'aide de quadrats. Pour chacun des quadrats, il faut noter les espèces observées ainsi que leur abondance. La note varie de 1 à 9 car chaque quadrat est sous-divisé en 9 cellules. Pour ce faire, les axes de longueur et de largeur doivent être utilisés et 10 quadrats doivent être répartis le long de ces axes. Enfin, le taux de recouvrement de ligneux est calculé, tous les trois ans.

Annexe 14 : Récapitulatif des vingt critères de l'IECMA, avec les seuils de notation. Issu de Maillet, Le Cabec et Bonnet-Rageade, 2017.

N°	Critère d'évaluation	Très favorable = 5 points	Favorable = 2 points	Défavorable = 0 point	Abréviations : Très favorable / Favorable / Défavorable
1	Contexte immédiat	Zones humides / Prairies / Bois de feuillus	Terres arables / Jardins / Bois résineux	Urbain / Bitume	ContexteF/ContexteM/ContexteNF
2	Superficie (S en m²)	S > 50	50 ≥ S > 10	S < 10	Sgrande/Smoyenne/Spetite
3	Profondeur (P en cm)	150 ≥ P ≥ 100	100 ≥ P ≥ 50	P > 150 ou P < 50	PF/Pmoy/PNF
4	Turbidité	Limpide	-	Trouble/Opaque	Limpide/TrouOpa
5	Nature du fond	Terrain naturel	Pierre / Béton / Caoutchouc	Plastique	FondN/FondM/FondP
6	Berges en pente douce	BPD ≥ ½ du périmètre	0 < BPD ≤ 1/2	BPD = 0	BergeA/BergeM/BergeNA
7	Recouvrement en hélophytes	Abondant	Clairsemé	Absence	HéloAbon/HéloClair/HéloAbs
8	Recouvrement en hydrophytes	Abondant	Clairsemé	Absence	HydroAbon/HydroClair/HydroAbs
9	Richesse spécifique en Amphibiens	Nb d'espèces ≥ 4	3 ≥ Nb d'espèces ≥ 1	Nb d'espèces = 0	RSabondante/RSmoy/RSnulle
10	Distance avec un peuplement source	≤ 500m	≤ 1000m	> 1000m	PSproche/PSmoy/PSdist
11	Distance à la pièce d'eau la plus proche	≤ 250m	≤ 500m	> 500m	PEPpro/PEPmoy/PEPéloigné
12	Nb de pièces d'eau à moins de 500m	≥ 2	1	0	DensFort/DensMoy/DensFai
13	Distance avec un site terrestre hivernal (pas pris en compte à moins de 100m)	250 ≥ P ≥ 100	500 ≥ P ≥ 250	P > 500	HiverPro/HiverMoy/HiverEloi
14	Contigu d'un corridor linéaire	Corridor fonctionnel	Corridor altéré	Absence de corridor	CorFonc/CorAlt/CorNonFonc
15	Zone d'écrasement d'Amphibiens potentielle (à moins de 250m)	Pas de route ou non bitumée	Route bitumée "communale"	Route départementale ou nationale	EcrasFai/EcrasMoy/EcrasFort
16	Richesse en Amphibiens à proximité	Nb d'espèces ≥ 6	5 ≥ Nb d'espèces ≥ 3	2 ≥ Nb d'espèces ≥ 0	RSpAbon/RSpMoy/RSpFai
17	Poissons	Absence	-	Avérée ou Probable	PoisAbs/PoisPres
18	Déchets	Absence	Faible quantité	Quantité importante	DechAbs/DechMoy/DechAbon
19	Pollution chimique ou organique visible	Absente	-	Avérée	PolluAbs/PolluPres
20	Mesures de protection	Conventionnelle ou réglementaire	Propriétaire favorable	Aucune	ProtFor/ProFav/ProtNulle

Classes de notation sur 100 :

- de 50 points



+ de 50 points



+ de 70 points



+ de 90 points



Annexe 15 : Fiche de caractérisation de mare. Issu de PRAM Normandie, 2017.



Fiche de caractérisation de mare (Version 2017)

Données générales

Identifiant PRAM :
 ☞ Si je ne le connais pas, j'attribue un code de mon choix :

Nom usuel de la mare :

Commune :

Date : / /

Observateur :
 Je suis le ☐ propriétaire ☐ locataire ☐ gestionnaire
☐ simple observateur ou autre :

Type de propriété : ☐ public ☐ privé ☐ mixte ☐ inconnu

Coordonnées GPS (si mare non repérable sur une carte) :
 Lambert 93 ou WGS 84
 X = Lat. :
 Y = Long. :

Groupes faunistiques observés (si des espèces sont déterminées, remplir la fiche inventaire correspondante) :
☐ Amphibiens (grenouilles, crapauds, tritons, salamandres)
☐ Reptiles (serpents, tortues, lézards)
☐ Libellules (larves, adultes ou exuvies) ☐ Poissons
☐ Invertébrés aquatiques ☐ Canards, oies, cygnes
☐ autres : ☐ aucun

Présence de végétation aquatique (sous ou à la surface de l'eau) : ☐ oui ☐ non

Type de mare :

☐ de prairie ☐ de culture ☐ de friche ☐ de forêt ☐ de marais ☐ de carrière
☐ bassin routier ou de décantation ☐ de village, de ferme, de parc ou jardin ☐ je ne sais pas

Stade d'évolution de la mare

☐ **Stade 1 :**
Hélophytes et hydrophytes enracinés sont absents ou commencent tout juste à s'implanter et/ou la mare n'est pas envasée.

☐ **Stade 2 :**
Hélophytes et hydrophytes enracinés ont déjà colonisé une partie de la mare et/ou la mare est peu envasée.

☐ **Stade 3 :**
Hélophytes et hydrophytes enracinés ont envahi la totalité de la mare et/ou la mare est partiellement envasée.

☐ **Stade 4 :**
La mare est quasiment comblée. Les ronces et saules la colonisent et/ou elle est très envasée.

Usages

Usage(s) observé(s) de la mare : ☐ abreuvoir aménagé ☐ abreuvoir non aménagé ☐ collecte ruissellement ☐ pêche
☐ chasse ☐ réserve incendie ☐ ornemental ☐ protection de la biodiversité ☐ patrimoine culturel / paysager ☐ pédagogique
☐ abandonné ☐ lagunage ☐ inconnu

Mare équipée d'une pompe à nez ? ☐ oui ☐ non

Présence de déchets ? ☐ aucun ☐ déchets verts (taille de haie, tonte...) ☐ ordures ménagères ☐ déchets recyclables (verre, plastique, métal) ☐ déchets dangereux (solvant, huile, batterie...) ☐ déchets inertes (gravats) ☐ meubles ☐ électroménager

Situation

Topographie : ☐ plateau ☐ versant ☐ fond de vallée ☐ autre :

Contexte (2 choix possibles si mare en situation de lisière) : ☐ dune côtière ☐ falaise et rochers côtiers ☐ tourbière acide
☐ bas-marais / tourbière alcaline ☐ marais continental salé ou saumâtre ☐ pelouse sèche ☐ prairie mésophile
☐ prairie humide ☐ fourrés, bosquets ☐ lande humide ☐ lande sèche ☐ bois de feuillus ☐ bois de résineux ☐ culture
☐ jardin, parc, cour (de ferme) ☐ carrière ☐ annexe routière / ferroviaire ☐ indéterminé

Petit patrimoine bâti associé ? ☐ aucun ☐ fond empierré ☐ mur ☐ ponton ☐ enrochement ☐ autre :

Mare clôturée ? ☐ non ☐ en partie ☐ totalement

Présence d'une haie en contact avec la mare ? ☐ oui ☐ non

Caractéristiques abiotiques de la mare (schéma possible au verso)

Forme : ☐ ronde / ovale ☐ triangle ☐ carré / rectangle ☐ patatoïde ☐ complexe (en U, digitée)

Taille moyenne (évaluez en pas) : longueur = m largeur = m

Hauteur d'eau maximum observée aujourd'hui : ☐ = 0 < ☐ ≤ 30 cm < ☐ ≤ 60 cm < ☐ ≤ 100 cm < ☐ indéterminé

Nature du fond de la mare : ☐ matériau naturel ☐ béton ☐ bêche ☐ autre : ☐ indéterminé

Berges en pente douce (% du périmètre de la mare) : ☐ = 0% < ☐ ≤ 25% < ☐ ≤ 50% < ☐ ≤ 75% < ☐ ≤ 100% = ☐

Bourrelet de curage en haut de berge : ☐ non ☐ oui = % du périmètre de la mare

Surpiétinement des abords : ☐ intense et total ☐ localisé ☐ faible à nul

Hydrologie

Régime hydrologique : ☐ mare permanente ☐ mare temporaire ☐ indéterminé

Liaison(s) avec le réseau hydrographique superficiel : ☐ aucune ☐ fossé, noues ☐ drainage / pompage ☐ cours d'eau
☐ axe de ruissellement ☐ autre (précisez) : ☐ indéterminée

Alimentation spécifique : ☐ aucune ☐ ruissellement voirie ☐ ruissellement culture ☐ source ☐ nappe ☐ pluvial bâti
☐ autre (précisez) : ☐ indéterminée

Turbidité de l'eau : ☐ limpide ☐ trouble

L'eau a une couleur spécifique : ☐ non ☐ oui (précisez) :

Zone tampon : ☐ oui ☐ non ☐ indéterminé

Exutoire : ☐ surverse ☐ débit de fuite ☐ débordement ☐ indéterminé

Ecologie

Recouvrement de la végétation herbacée sur la surface de la mare :

... % + ... % + ... % + ... % + ... % = 100%					
Hélophytes (roseaux, massettes, juncs, ris, carex, saulcaune...)	Hydrophytes enracinés (gibbères, callitriche, potamogeton, najas, myriophyllum...)	Hydrophytes non enracinés (bentilles d'eau, stratiotes...)	Algues filamenteuses	Eau libre sans végétation aquatique	Fond exposé, non végétalisé

Boisement / embroussaillage des abords : ☐ = 0% < ☐ ≤ 25% < ☐ ≤ 50% < ☐ ≤ 75% < ☐ ≤ 100% = ☐

Ombrage sur la surface de la mare par les ligneux (soleil au zénith) : ☐ 0% < ☐ ≤ 25% < ☐ ≤ 50% < ☐ ≤ 75% < ☐ ≤ 100% = ☐

Espèce(s) animale(s) exotique(s) envahissante(s) observée(s) :

Espèce végétale exotique envahissante observée (terrestre ou aquatique)	% de la surface de la mare colonisée (à cocher seulement pour les plantes aquatiques)						
	< 1%	1 à 5%	6 à 25%	26 à 50%	51 à 75%	76 à 100%	indéterminé

Intervenir en faveur de cette mare...

Travaux à envisager : ☐ aucun ☐ curage ☐ reprofilage berge ☐ bûcheronnage ☐ débroussaillage ☐ pose de clôture
☐ aménagement d'abreuvoir ☐ lutte contre espèces exotiques envahissantes ☐ nettoyage déchets ☐ arrachage de végétation
☐ intervention sur fonctionnement hydraulique ☐ fauchage tardif de la périphérie ☐ autre :

Dans quel(s) objectif(s) ?

Schéma de la mare et commentaires



Echelle : 1 côté de carré = m

N° des photos (localisation des prises de vue)

Légende

Commentaires

Merci de saisir cette fiche et de joindre vos photos sur
l'application web : www.pramnormandie.com/API

Illustrations : C. MOUQUET