Les méthodes d'analyses pour l'évaluation écologique et le suivi des mares temporaires méditerranéennes

Revue bibliographique et analyse critique



Hugo Fontès[1,2], Luc Belenguier[3], Karine Buron[4], Francois Chambaud[5], Anaïs Cheiron[6], Damien Cohez[7], Timothe Courteille[8], Delphine Danancher[9], Patrick Grillas[1], Mario Klesczewski[10], Bénédicte Meffre[6], Margaux Mistarz[11], Marie-Laurore Pozzo Di Borgo[4,12], Laurent Sorba[4], Louise Turpin[13], Germain Waroquier[14], Nicole Yavercovski[1], Cécile Zys[3], Antoine Gazaix[1]

2024

Organismes d’affiliation des auteurs

[1]Tour du Valat (TdV)

[2]Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie Marine et Continentale (IMBE)

[3]Réserve Naturelle Nationale de Camargue (RNNC) / Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN)

[4]Office de l’environnement Corse (OEC)

[5]Agence de l'Eau Rhône, Méditerranée et Corse (AERMC)

[6]Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur (CEN PACA)

[7]Réserve Naturelle Régionale de la Tour du Valat (RNRTdV)

[8]Office Français de la biodiversité (OFB)

[9]Conservatoire d’espaces naturels de Rhône-Alpes (CEN RA)

[10]Conservatoire d’espaces naturels d’Occitanie (CEN Occitanie)

[11]PatriNat

[12]Réserve Naturelle des Tre Padule de Suartone

[13]Conservatoire Botanique National Méditerranéen de Porquerolles (CBNMed)

[14]Réserve Naturelle Nationale de la Pleine des Maures (RNNPM) / Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN)

Citation recommandée :

Fontès, H., Belenguier, L., Buron, K., Chambaud, F., Cheiron, A., Cohez, D., Courteille, T., Danancher, D., Grillas, P., Klesczewski, M., Meffre, B., Mistarz, M., Pozzo Di Borgo, M.L., Sorba, L., Turpin, L., Waroquier, G., Yavercovski, N., Zys, C., Gazaix, A., 2024. Les méthodes d’analyses pour l’évaluation écologique et le suivi des mares temporaires méditerranéennes - Revue bibliographique et analyse critique. Tour du Valat/IMBE/AERMC.

Photo de couverture : Mare des Cerisières moyennes à la Tour du Valat, 15/05/2024 ©Fontès Hugo

Financement : Agence de l’eau Rhône, Méditerranée et Corse / Tour du Valat

Remerciements : Merci aux personnes (en dehors des auteurs) qui ont participé aux groupes de travail ou avec qui nous avons pu échanger, notamment Henri Michaux, Leïla Debiesse et Chloé Dambrine.

“If the only tool you have is a hammer,
it is tempting to treat everything as if it were a nail.”
[Si le seul outil dont vous disposez est un marteau,
il est tentant de tout traiter comme s’il s’agissait d’un clou]

Abraham Maslow, 1966

Sommaire

1. Introduction 5

2. Matériel et méthodes 9

2.1. Réunions de travail 9

2.2. Recherches bibliographiques 10

2.3. Comparaison des méthodes 11

2.3.1. Analyse qualitative 11

2.3.2. Analyse quantitative 12

3. Résultats / discussion générale 16

3.1. Analyse qualitative 16

3.2. Analyse quantitative : application au cas d'étude des mares créées et de référence (naturelles) en Camargue 25

3.2.1. Corrélations entre les différents indicateurs 25

3.2.2. Mesurer l'effet de la date de création des mares à l'aide d'indicateurs . 27

3.2.3. Analyse mare par mare 31

4. Conclusions 1

5. Références 3

Annexe 1. Grilles d'évaluation pour habitats Natura 2000 « Mares temporaires méditerranéennes » (3170) et « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara spp.* » (3140) proposées par PatriNat (Mistarz & Latour 2019) et le CEN Occitanie 8

Annexe 2. Liste et fiches descriptives des 17 sources bibliographiques proposant des méthodes d'évaluation et indicateurs identifiées dans la bibliographe 14

1. Introduction

Les mares temporaires méditerranéennes sont des écosystèmes aquatiques temporairement inondés dont le régime hydrique est lié aux caractéristiques du climat méditerranéen (Médail *et al.* 1998, Grillas *et al.* 2004). Leur phase aquatique a lieu en dehors de la période sèche estivale, leur mise en eau se réalise généralement grâce aux pluies automnales et un assec progressif se met en place au cours du printemps (Keeley & Zedler 1998, Grillas *et al.* 2004). Leurs dates de mises en eau et leurs durées d'inondation sont soumises aux précipitations, fortement variables en climat méditerranéen (Bagnouls & Gaussen 1957, Deitch *et al.* 2017). Ce fonctionnement hydrologique singulier et spécifique va de pair avec une flore et une faune originales (Médail *et al.* 1998, Grillas *et al.* 2004). Les mares temporaires méditerranéennes accueillent en effet une forte diversité d'espèces qui s'expriment de manière plus ou moins variable selon les conditions hydrologiques (Rhazi et al 2009a, Van den Broeck *et al.* 2015, Javornik & Collinge 2016). Le sol, la salinité et le niveau trophique sont également susceptibles de fortement influencer l'expression de ces communautés végétales (Grillas 1990, Rhazi *et al.* 2006, Van den Broeck *et al.* 2015). Bon nombre d'espèces qui dépendent de cet habitat sont rares, menacées et protégées. Historiquement, les mares temporaires ont connu des atteintes lourdes et nombreuses : destruction directe, perturbation hydraulique (apports d'eau, drainage, modification du bassin versant), apports de nutriment qui contribuent à l'eutrophisation (Médail *et al.* 1998, Grillas *et al.* 2004, Zacharias & Zamparas 2010, Rhazi *et al.* 2012, Muller *et al.* 2013, Bagella *et al.* 2016). Certains habitats présents dans les mares temporaires sont inscrits en annexe I de la directive « Habitat-Faune-Flore » (Council Directive 92/43/EEC), comme l'habitat d'intérêt communautaire 3170 « Mares temporaires méditerranéennes ». Les mares temporaires possèdent donc de très forts enjeux de conservation, dans le monde comme dans le sud de la France (Keeley & Zedler 1998, Médail *et al.* 1998, Grillas *et al.* 2004, Zacharias & Zamparas 2010, Rhazi *et al.* 2012, Bagella *et al.* 2016, Turpin *et al.* 2022). Cet écosystème a pourtant été longtemps négligé et faiblement étudié au regard de son intérêt écologique et des enjeux de conservation qui le concernent (Oertli *et al.* 2009, Boix *et al.* 2012, Bagella *et al.* 2016). Aujourd'hui, malgré un intérêt croissant des scientifiques et acteurs de la conservation pour les mares temporaires, des lacunes de connaissance sont encore à déplorer, notamment en ce qui concerne la modification de leur fonctionnement hydrologique dans un contexte de changements globaux (Bagella 2023).

Les mares temporaires méditerranéennes concentrent donc d'importantes questions relatives à leur connaissance et leur conservation. De nombreux gestionnaires souhaitent mieux appréhender et suivre l'évolution de ces milieux en fonction des pratiques de gestion et de l'influence des changements globaux. Pour répondre à ces problématiques, de nombreuses méthodes de suivis et d'évaluation ont été développées et permettent de répondre à différents objectifs.



Photo 1 : Mare temporaire partiellement détruite par l'urbanisation en cours dans le delta du Guediz en Turquie, 13/03/2024 ©Fontès Hugo

Une évaluation écologique vise à qualifier ou quantifier la dégradation d'un écosystème ou d'un habitat sous l'effet de pressions anthropiques et/ou vis-à-vis d'un objectif de conservation. Cette définition inclus différentes approches existantes, notamment :

- L'évaluation de **l'état de conservation** des habitats qui répond notamment à un besoin réglementaire de la directive « Habitats, Faune, Flore » (Directive 92/43/EEC). Dans les sites Natura 2000 en France, cette évaluation est souvent réalisée à partir d'une grille d'analyse pour qualifier l'état de conservation de l'habitat, à différentes échelles (mare/site). L'avis d'experts se substitue parfois à l'application des méthodes dédiées faute de temps, de financements ou de méthode d'évaluation existante.
- L'évaluation de **l'intégrité écologique ou de l'état écologique** fait généralement référence à la Directive cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE). Les mares temporaires ne sont pas concernées par cette directive en raison de leurs petites surfaces. Des travaux ont tout de même été menés pour transposer et définir des indicateurs de suivi utilisables pour les mares temporaires méditerranéennes (Van den Broeck *et al.* 2015) et caractériser leur intégrité écologique.
- L'évaluation du **succès de restauration** (au sens large, incluant la réhabilitation) consiste à évaluer la trajectoire d'un écosystème ou d'un habitat en cours de restauration vis-à-vis d'une référence. Les Principes et normes internationaux pour la pratique de la restauration écologique considèrent aujourd'hui que : « Dans le meilleur des cas, le modèle de référence décrit l'état approximatif du site s'il n'y avait pas eu de dégradation. » (Gann *et al.* 2019). Enfin, le succès de restauration peut également utiliser une référence négative

(Marchand *et al.* 2021), c'est-à-dire l'écosystème dégradé avant la restauration ou un site dégradé témoin.

Le présent travail se focalise sur l'analyse des méthodes d'évaluation, c'est-à-dire sur le choix des indicateurs et la manière dont sont analysées les données. Il ne traite pas de la conception et de l'application des protocoles sur le terrain qui ont déjà été étudiés (voir Grillas *et al.* 2004 et Savary *et al.* 2023) et qui dépendent du contexte particulier de chaque site.

L'objectif est de réaliser une synthèse des méthodes d'évaluation écologique des mares temporaires méditerranéennes en vue de leur utilisation par des gestionnaires d'espaces naturels du sud de la France. Cette synthèse permettra à un utilisateur potentiel d'accéder rapidement aux différentes méthodes existantes et à leurs objectifs respectifs. Nous avons également réalisé une analyse comparative et critique de ces méthodes par deux approches :

- Qualitative qui permet de décrire les objectifs et les caractéristiques propre à chaque méthode identifiée.
- Quantitative qui permet de comparer statistiquement les résultats de plusieurs méthodes appliquées à un cas d'étude, celui des mares temporaires de Camargue.

Encadré 1 : définitions de quelques termes utilisés dans ce rapport

Ces définitions ne sont pas générales mais précise la manière dont certaines notions sont employées ici.

Protocole : Description détaillé d'une étude pratique, notamment des méthodes employées sur le terrain ou en laboratoire, du matériel utilisé, de ça temporalité. Le protocole énonce les règles qui permettent la répétabilité des études.

Evaluation (écologique) : comparaison entre une situation à évaluer (e.g. état d'un habitat) et une référence positive (l'objectif visé) ou négative (situation non souhaité, e.g. état dégradé). L'évaluation peut être qualitative (e.g. bon/mauvais état, échec/réussite des opérations de restauration ou de gestion.) ou quantitative et nécessite généralement l'utilisation de métriques et d'indicateurs.

Suivi : recueil de données répété dans le temps qui suit un même protocole, en vue de son analyse statistique. Un suivi vise la mise en évidence de tendances ou de stabilité, en lien avec une question prédéfinie. Dans certain cas, la répétition d'une évaluation peut être considéré comme un suivi.

Indicateur : élément synthétique reposant sur une ou plusieurs métriques, représentatif d'un phénomène plus complexe et permet de les suivre.

Métrique : mesure d'une variable, biotique ou abiotique (exemple : durée d'inondation, salinité, nombre d'espèce, recouvrement en ligneux, etc).

Valeur seuil : valeur d'une métrique qui permet de changer de catégorie, lors d'une évaluation par exemple (e.g. bon à mauvais état).

2. Matériel et méthodes

2.1. Réunions de travail

Deux réunions de travail ont été réalisées avec différents acteurs concernés par la conservation des mares temporaires méditerranéennes. Il s'agit en particulier de gestionnaires et d'experts qui ont participé à l'élaboration des méthodes de suivi et d'évaluation pour ces mares temporaires et/ou qui souhaitent les appliquer (tableau 1). La première réunion de travail (16/05/2024) a permis de définir les objectifs de l'étude et les critères de comparaison des méthodes existantes. La seconde (18/09/2024) a été l'occasion de présenter les résultats de l'application des méthodes sur un jeu de données en Camargue et de les discuter.

Tableau 1: Liste des participants au groupe de travail sur les méthodes d'évaluation des mares temporaires

Nom	Organisme	Participation à la première réunion de travail	Participation à la seconde réunion de travail	Entretien individuel/échanges par mail
Anaïs Cheiron	CEN PACA		X	
Antoine Gazaix	Tour du Valat		X	X
Bénédicte Meffre	CEN PACA			X
Cécile Zys	Agence de l'eau RMC		X	
Chloé Dambrine	RNN Plaine des Maures			X
Damien Cohez	RNR de la Tour du Valat			X
Delphine Danancher	CEN RA	X	X	X
Francois Chambaud	Agence de l'eau RMC		X	
Germain Waroquier	RNN Plaine des Maures	X		X
Henri Michaud	CBNMed			X
Karine Buron	OEC	X		

Nom	Organisme	Participation à la première réunion de travail	Participation à la seconde réunion de travail	Entretien individuel/échanges par mail
Laurent Sorba	OEC	X		X
Leïla Debiesse	RNN des marais du Vigueirat	X		
Louise Turpin	CBNMed		X	
Luc Belenguier	RNN de Camargue	X		
Margaux Mistarz	PatriNat	X	X	X
Marie-Laurore Pozzo Di Borgo	OEC	X	X	
Mario Klesczewski	CEN Occitanie	X		X
Nicole Yavercovski	Tour du Valat		X	
Patrick Grillas	Tour du Valat			X
Timothe Courteille	OFB	X	X	X

2.2. Recherches bibliographiques

Des recherches bibliographiques ont été réalisées pour recueillir un corpus de textes traitant de l'évaluation des mares temporaires méditerranéennes.

Les recherches ont utilisé le moteur de recherche Google Scholar à partir des mots clés suivants : « mediterranean temporary pond », « vernal pool », « restoration », « creation » « conservation state », « assessment », « monitoring », « mare temporaire méditerranéenne », « restauration », « création », « état de conservation », « évaluation », « suivi ». Ces recherches ont été réalisées en juillet 2024 et visent autant des publications internationales que des rapports d'études locales. En complément, les différents experts et gestionnaires contactés ont été sollicités pour fournir les sources bibliographiques des méthodes qu'ils ont conçus ou qu'ils utilisent. Parmi les résultats de ces recherches, seuls les documents

explicitement à destination des gestionnaires, directement utilisables dans le sud de la France et en Corse, et adaptés aux mares temporaires méditerranéennes, ont été retenus. Certaines publications qui ne respectaient pas l'ensemble de ces critères ont toutefois été mentionnées dans les résultats car elles pourraient inspirer l'adaptation d'indicateurs pour une utilisation locale. Elles n'ont pas été intégrées aux analyses.

L'ensemble du corpus de textes retenus peut être découpé en trois principales sources documentaires :

- Les publications internationales (journaux à comité de relecture) ;
- Les méthodes « institutionnelles », développées à l'échelle nationale ou régionale, qui émanent d'organismes publics (PatriNat-OFB/MNHN/CNRS/IRD, INRAE), bénéficiant d'un agrément de l'état (conservatoires d'espaces naturels, conservatoires botaniques nationaux), qui ont été publiées ou qui sont disponibles en ligne.
- La littérature « grise », constituée de méthodes conçues et utilisées par des gestionnaires/experts. Nous avons également considéré les indicateurs inscrits dans les plans de gestions. Ces méthodes ont des applications généralement régionales à locales.

2.3. Comparaison des méthodes

2.3.1. Analyse qualitative

Nous avons renseigné les critères suivants pour chaque source bibliographique :

- Objectif recherché par la méthode ;
- Suivi, évaluation ou les deux ;
- Description rapide de la méthode ;
- Typologies/échelles de travail (définition de la mare temporaire) possibles ;
- Groupes biologiques concernés ;
- Prise en compte de données environnementales ;
- Durée pertinente pour la réalisation du suivi ;
- Besoin en : temps de travail, compétences naturalistes & statistiques ;
- Protocole associé ;
- Indicateur(s) associé(s) ;
- Réglementation associée.

Ces données sont restituées dans des fiches pour chaque source bibliographique (annexe 2). Nous avons également comparé le nombre de sources bibliographiques par résultat pour les critères suivants : suivi/évaluation, typologie/échelle de travail, groupes biologiques, prise en compte de données environnementales et réglementation associée.

2.3.2. Analyse quantitative

Plusieurs indicateurs issus de l'analyse bibliographique ont été appliqués à un même jeu de données et comparés entre eux. Il s'agit des méthodes d'analyses issues des références suivantes :

- **DRCI** (Fontès *et al.* 2024, voir annexe 2) ;
- Indicateurs **RhôMéO IO2** (Indice floristique d'engorgement), **IO6** (indice floristique de fertilité du sol) et **IO8** (indice de qualité floristique) (Collectif RhôMéO 2014, voir annexe 2) ;
- Méthodes d'évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 « Mares temporaires méditerranéennes » (**3170**) et « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* spp. » (**3140**) proposés par **PatriNat** (Mistarz & Latour 2019, voir annexes 1 et 2) ;
- Méthodes d'évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 « Mares temporaires méditerranéennes » (**3170**) et « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* spp. » (**3140**) proposées par le **CEN Occitanie** (voir annexes 1 et 2) ;
- Indicateur développé et utilisé dans le cadre du plan de gestion de la réserve naturelle régionale de la Tour du Valat : **nombre d'espèces caractéristiques** (Nojaroff & Cohez 2024, voir annexe 2).

Le jeu de données utilisé a été recueilli en Camargue lors d'une étude visant à comparer la végétation de mares créées à différentes périodes avec celle de mares naturelles de référence (voir encadré2).

Encadré 2 : le jeu de données sur les mares temporaires en Camargue (Fontès *et al.* in prep.)

L'étude a été réalisée en Camargue, dans le delta du Rhône où de nombreux marais et mares constituent des vestiges de l'activité du fleuve qui, par ses ramifications et ses divagations, y a créé des dépressions aujourd'hui déconnectées du cours d'eau principal (Muller *et al.* 2008). Les mares temporaires que nous avons sélectionnées comme références pour comparaison aux mares créées ont toutes une origine géomorphologique naturelle liée à l'activité du Rhône (millénaire à plurimillénaire, Muller *et al.* 2008) et un fonctionnement hydrologique endoréique. Elles sont considérées comme des écosystèmes en bon état de conservation au niveau local (Nojaroff & Cohez 2024). Depuis la seconde moitié du 19^{e} siècle, l'endiguement du delta ne permet plus l'inondation naturelle de la plaine deltaïque ainsi que la dynamique sédimentaire et morphologique (nouveaux chenaux) associée conduisant

à la création de nouvelles mares temporaires naturelles.

Sélection des mares

L'origine naturelle ou artificielle des mares étudiées ainsi que l'absence de gestion ou perturbations hydrologiques ont été déterminées par l'étude de photographies aériennes anciennes (https://remonterletemps.ign.fr/ consulté en 2018), la consultation de documents historiques locaux et des enquêtes auprès des gestionnaires de chaque site. Pour sélectionner les mares et marais de référence, nous avons recensé les sites accessibles (i.e. situés dans un espace naturel protégé ou sous convention avec un organisme impliqué dans la conservation de la nature). Parmi les 40 mares de références identifiées (mares endoréiques dont la salinité est <5,5 psu en hiver), 27 ont été sélectionnées au hasard. En parallèle, nous avons identifié 25 mares d'origine artificielle dans la partie sud-est de la Camargue où sont situées les mares de référence. Ces mares ont été sélectionnées car elles ne connaissent pas de perturbations hydrauliques et ne sont pas directement connectées avec une autre mare ou un marais. Parmi les mares créées, le site du Cassaïre est géré hydrologiquement (mise en eau du marais du Cassaïre par pompage) et a fait l'objet d'un inoculum expérimental de banques de graines issues de marais de références locaux (Muller *et al.* 2013). Toutes les autres mares créées ont un fonctionnement hydrologique endoréique similaire aux mares de références et n'ont pas fait l'objet d'introductions volontaires d'espèces. La plupart des mares créées et de références sont pâturées extensivement. Ces mares créées ont été classées selon trois catégories de période de création : plus de 150 ans (19^{e} siècle, n=6), entre 50 et 100 ans (20^{e} siècle, n=9) et moins de 15 ans (21^{e} siècle, n=10).

Méthodes de relevés

Des séries de relevés ont été réalisées à quatre périodes (avril, mai, juin et août) en 2019 et 2020 pour les mares de références et en 2020 pour les mares créées. Ces périodes de relevés permettent d'explorer la variabilité intra-annuelle (et interannuelle pour les mares de référence) des communautés végétales et des conditions abiotiques associées. Elles correspondent aux phases « aquatique » (flore aquatique précoce et tardive) et « sèche » des mares. La variabilité des mares de références a donc été plus largement étudiée (variabilité inter et intra-annuelle) que celle des mares créées (variabilité intra-annuelle). En effet, nous avons cherché à constituer un panel de données de références représentatif de la variabilité naturelle des mares locales, ce qui a nécessité une approche pluriannuelle. Les mares créées ont été, quant à elles, étudiées une année seulement afin d'évaluer leur succès de création à un moment donné de leur trajectoire écologique.

Trois transects ont été positionnés sur chacune des 52 mares, le premier recoupant le point le plus profond et les deux autres, à égale distance entre le premier transect et la bordure de la mare. Selon la longueur cumulée des trois transects, un intervalle

entre quadrats a été déterminé (trois mètres, cinq mètres ou dix mètres) afin de limiter l'écart du nombre de quadrats entre des mares de tailles différentes et de limiter les risques d'autocorrélation spatiale entre quadrats. Le nombre moyen de quadrats par mare est de 20,7 ± 7,5 (min=11, max=44, médiane=19). Chaque relevé, positionné à l'aide d'un GPS, a été réalisé au sein d'un quadrat de 30 x 30 cm, découpé en neuf cellules de 10 x 10 cm. Toutes les espèces présentes sur le quadrat ont été recensées (trachéophytes, charophytes et bryophytes aquatiques, identifiées au genre ou à l'espèce en fonction de leur état de développement) et leur fréquence, mesurée au sein du quadrat (nombre de cellules avec présence de l'espèce, de 1 à 9), comme estimation de leur abondance. De la même manière, nous avons mesuré les fréquences en plantes émergentes (regroupant les magnoliophytes terrestres et hélophytes), macrophytes submergés et flottants (magnoliophytes, bryophytes et charophytes), algues filamenteuses (chlorophytes), de la litière issue de plantes émergentes ou aquatiques et du sol nu. La profondeur de l'eau a été mesurée pour chaque quadrat de chaque mare et à chaque date de mesure de la végétation. Au total, 4321 quadrats de végétation ont été réalisés sur les 27 mares de référence (2019 et 2020), et 1757 quadrats dans les 25 mares créées (2020), respectivement 423 dans les 6 mares créées au 19^{e} siècle, 599 dans les 9 mares créées au 20^{e} siècle et 735 dans les 10 mares créées au 21ème siècle. Parmi ces quadrats, 567 n'avaient pas de végétation dont 366 dans les mares de (2019 et 2020) et 201 dans les mares créées (2020).

Nous avons calculé les valeurs du DRCI, de IO2, IO6 et IO8 pour chaque relevé en distinguant les phases sèche et aquatique. Nous avons déterminé les valeurs indicatrices des Characées pour le calcul des trois indicateurs RhôMéO sur avis d'expert. Les notes d'évaluation de l'état de conservation Natura 2000 pour l'habitat 3170 ont été calculées à l'échelle des mares (données moyennées) sur la base de l'ensemble des relevés des phases terrestres et aquatique. Il s'agit en effet de communautés amphibies qui peuvent s'exprimer en conditions aquatiques comme sèches. Les notes d'évaluation de l'état de conservation Natura 2000 pour l'habitat 3140 ont été calculées à l'échelle des mares (données moyennées) sur la base des relevés où des characées étaient présentes uniquement. Le nombre d'espèces caractéristiques par mare a été calculé sur la base des données naturalistes connues pour la période 2015 – 2020.

Après application de chaque méthode d'évaluation sur les mares de Camargue, nous avons comparé les valeurs des différents indices calculés avec des tests de corrélation non paramétrique de Spearman (comparaison des rangs et non des valeurs elles-mêmes). Cela nous a permis d'identifier les méthodes dont les résultats sont significativement corrélés. Ces corrélations sont interprétées au regard des méthodes de calcul propres à chaque indicateur mais également au regard du cas d'étude des mares camarguaises.

Nous avons ensuite cherché à illustrer l'utilisation de ces méthodes à travers l'étude

de la création des mares temporaires en Camargue. Ceci nous permet de détailler et de discuter du fonctionnement de chacune de ces méthodes, en distinguant l'influence du cas particulier des mares camarguaises de l'influence de leurs caractéristiques intrinsèques sur les résultats. Pour cela, nous avons comparé les mares de références et les mares créées à différentes périodes (19^{e}, au 20^{e}, au 21^{e} siècle) sur la base des neuf indicateurs sélectionnés. Nous avons testé les différences entre chaque indicateur et chaque classe d'âge des mares avec des tests post-hoc de Wilcoxon (comparaisons de chaque catégories deux à deux, la p-value est corrigée en fonction du nombre de tests réalisés).

3. Résultats / discussion générale

3.1. Analyse qualitative

Les recherches ont permis de collecter dix-sept sources bibliographiques traitant de méthodes de suivi et d'évaluation des mares temporaires méditerranéennes. L'ensemble de ces références sont décrites dans le tableau 2 et dans des fiches dédiées en annexe 2.

- Sept références (figure 1a) ont été fournis par des gestionnaires et/ou des experts de la conservation de la flore (CEN Occitanie, CEN PACA, CBN Med, RNN de la Plaine des Maures, RNR de la Tour du Valat). Il s'agit notamment de méthodes de suivi d'espèces végétales et animales à fortes valeurs patrimoniales et considérées comme indicatrices du bon état ou du bon fonctionnement des mares temporaires. Il s'agit également de méthodes d'évaluation de l'état de conservation d'habitats au sens Natura 2000 proposées par le CEN Occitanie (Klesczewski *et al.* 2010) et d'une méthode de suivi à long terme de l'habitat proposé par le CBN Med (Savary *et al.* 2023).
- Cinq sont des références « institutionnelles », il s'agit notamment des méthodes d'évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000, proposées par PatriNat (Mistarz & Latour 2019), des indicateurs RhôMéO (collectif RhôMéO 2014), de l'indicateur HYDRINDIC (Clément *et al.* 2023) ou encore des standards internationaux sur la restauration écologique (Gann *et al.* 2019).
- Enfin, cinq références sont issues de la littérature internationale. Le nombre d'études qui concernent la conservation des mares temporaires est relativement élevé mais peu proposent des indicateurs « clés en main » à destination des gestionnaires et utilisables dans le sud de la France et en Corse. Les cinq références retenues sont la Distance to Reference Communities index (DRCI, Fontès *et al.* 2024), l'approche DPSIR (Drivers, Presure, State, Impact, Response) appliquée aux mares temporaires (Zacharias *et al.* 2008), le « Crustacean conservation value index » (Sahuquillo & Miracle 2015), le suivi de la richesse en coléoptères aquatiques (Sánchez-Fernández *et al.* 2006) et l'analyse PLOCH qui propose un panel de protocoles et d'indicateurs simplifiés pour le suivi à long terme des mares (Oertli *et al.* 2005).

Tableau 2: Liste des méthodes pour chaque source bibliographique retenue, synthèse des objectifs et besoins en temps et compétences pour leurs mise en œuvre

Méthode	Objectif	Groupe biologique	Besoin en temps de travail	Compétences naturalistes	Compétences statistiques
Crustacean conservation value index	Suivre et évaluer des communautés des crustacées des mares temporaires, déterminer l'enjeu de conservation associé.	Crustacés	Terrain : important Analyse : important	Importantes	Faibles
Distance to Reference Communities Index	Comparer des communautés à évaluer vis-à-vis de communautés de références variables. Conçu pour évaluer le succès de restauration mais peut être appliqué à l'évaluation de l'état de conservation	Indifférent	Terrain : important Analyse : important	Importantes	Moyennes
DPSIR model for Mediterranean temporary ponds	Etudier les relations causes-effet (acteurs, Pressions, Etats, Impacts, Réponses) auxquels sont soumis les mares temporaires afin d'élaborer des réponses en leur faveur.	-	Variable	Faibles	Nulles
PLOCH	Evaluer la biodiversité des mares	Plantes, gastéropodes, coléoptères , odonates et amphibiens.	Terrain : moyen Analyse : moyen	Moyennes	Fortes (modélisation)
Suivi des coléoptères aquatiques	Suivre la richesse en invertébrés aquatiques de mares temporaires à l'aide	Invertébrés	Terrain : moyen Analyse : moyen	Moyennes	Faibles

Méthode	Objectif	Groupe biologique	Besoin en temps de travail	Compétences naturalistes	Compétences statistiques
	d'un groupe indicateur (coléoptère)				
HYDRINDIC	Suivre et évaluer l'hydrologie des zones humides en voie de restauration/création, en comparaison avec des zones humides de références	-	Terrain : important Analyse : faible	Faibles	Très faibles
RhôMéO (indicateurs de suivi pour les zones humides) & Mhéo (Milieux humides, évaluation, observation)	Fournir des indicateurs, des protocoles et des méthodes d'analyses permettant le suivi des évolutions des fonctions des zones humides.	Flore, odonates, amphibiens	Terrain : moyen à important Analyse : moyen	Faible à importantes selon les indicateurs et protocoles	Variable selon les indicateurs et protocoles
La roue de rétablissement écologique et le système à cinq étoiles	Permettre une évaluation qualitative des projets de restauration écologique par les chefs de projets	Indifférent	Terrain : faible Analyse : faible	Faibles	Nulles
Etat de conservation des habitats des eaux dormantes d'intérêt communautaire. Méthodes d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000- PatriNat/MNHN	Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000	Flore et faune (prise en compte marginale des groupes faunistiques)	Terrain : moyen Analyse : faible	Moyennes	Très faibles
Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 3170 et 3120 en Corse	Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000	Flore	Terrain : moyen Analyse : faible	Moyennes	Très faibles

Méthode	Objectif	Groupe biologique	Besoin en temps de travail	Compétences naturalistes	Compétences statistiques
Etat de conservation des habitats N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes" et 3140 "Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp.", grille d'évaluation de l'habitat - CEN Occitanie	Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000	Flore	Terrain : moyen Analyse : faible	Moyennes	Très faibles
Etat de conservation de l'habitat N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes", suivi des espèces indicatrices - CEN Occitanie	Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000	Flore	Terrain : moyen Analyse : faible	Moyennes	Très faibles
Évaluation de l'efficacité de mesures de création et d'entretien de mares en sites Natura 2000	Evaluer l'efficacité des mesures de création et d'entretiens de mares au sein du réseau N2000 et identifier les indicateurs les plus pertinent pour leur suivi.	Flore, amphibiens, coléoptères et odonates	Terrain : important Analyse : important	Variable selon les projets	Variable selon les projets
Reseda flore : Suivi des effets du changement global sur l'habitat d'intérêt communautaire 3170* mares temporaires méditerranéennes	Suivre la trajectoire des mares temporaires méditerranéennes sous l'effet des changements globaux	Flore	Terrain : important Analyse : important	Importantes	Moyennes
Suivi des mares et ruisselet temporaires dans la Réserve naturelle nationale de la Plaine des Maures	Suivre l'évolution des mares et ruisselets temporaires	Flore et faune (prise en compte marginale des	Terrain : moyen Analyse : moyen	Importantes	Faibles

Méthode	Objectif	Groupe biologique	Besoin en temps de travail	Compétences naturalistes	Compétences statistiques
		groupes faunistiques)			
Indicateurs du plan de gestion de la RNR de la Tour du Valat	Suivre l'état des mares temporaires par le suivi de la présence d'espèces caractéristiques	Flore, odonates, amphibiens	Terrain : moyen Analyse : faible	Moyennes	Faibles à nulles
Suivi des espèces indicatrice de l'habitat mares temporaires : Indicateur de la notice de gestion de la mare de Lanau (CEN PACA)	Suivi de populations d'espèces caractéristiques des mares temporaires méditerranéennes, indicatrice de l'état de conservation	Flore	Terrain : moyen Analyse : moyen	Faibles	Faibles

Parmi toutes ces méthodes, il existe une diversité d'objectifs et d'approches méthodologiques importantes (Tableau 2 et Figure 1). Certaines méthodes visent à évaluer l'état de conservation, en prenant essentiellement en compte les atteintes observées sur l'habitat et une situation de référence optimale théorique (évaluation des habitats Natura 2000 par exemple). Certaines méthodes définissent des espèces bioindicatrices de l'état ou de l'enjeu de conservation des mares (Crustacean conservation value index, diversité des coléoptères aquatiques, ainsi que plusieurs méthodes utilisées par des gestionnaires). D'autres méthodes comparent des milieux de références et des milieux à évaluer, sur la base de leurs conditions hydrologiques (HYDRINDIC) et de leurs communautés végétales ou animales (DRCI). Aussi, certaines méthodes permettent de qualifier un état à un instant t (évaluation Natura 2000 par exemple) tandis que d'autres visent le suivi d'indicateurs qui permettent d'identifier des changements statistiquement significatifs dans le temps ou l'espace (Indicateurs RhôMéO par exemple). Les suivis et évaluations peuvent être conçus pour détecter des changements fins des communautés ou conditions environnementales tandis que d'autres, moins couteux en temps et en compétences, permettent d'alerter à la suite d'un changement brutal des conditions du milieu (suivis d'espèces bio-indicatrices par exemple).

Dix références bibliographiques permettent à la fois le suivi et l'évaluation des mares temporaires (figure 1b). La répétition d'une évaluation dans le temps en suivant le même protocole permet de réaliser un suivi. À l'inverse, six références ne permettent pas une évaluation qualitative (pas de grille d'évaluation sur la base des indicateurs mesurés) et une n'est pas conçue pour conduire un suivi temporel (DPSIR, Zacharias *et al.* 2008).

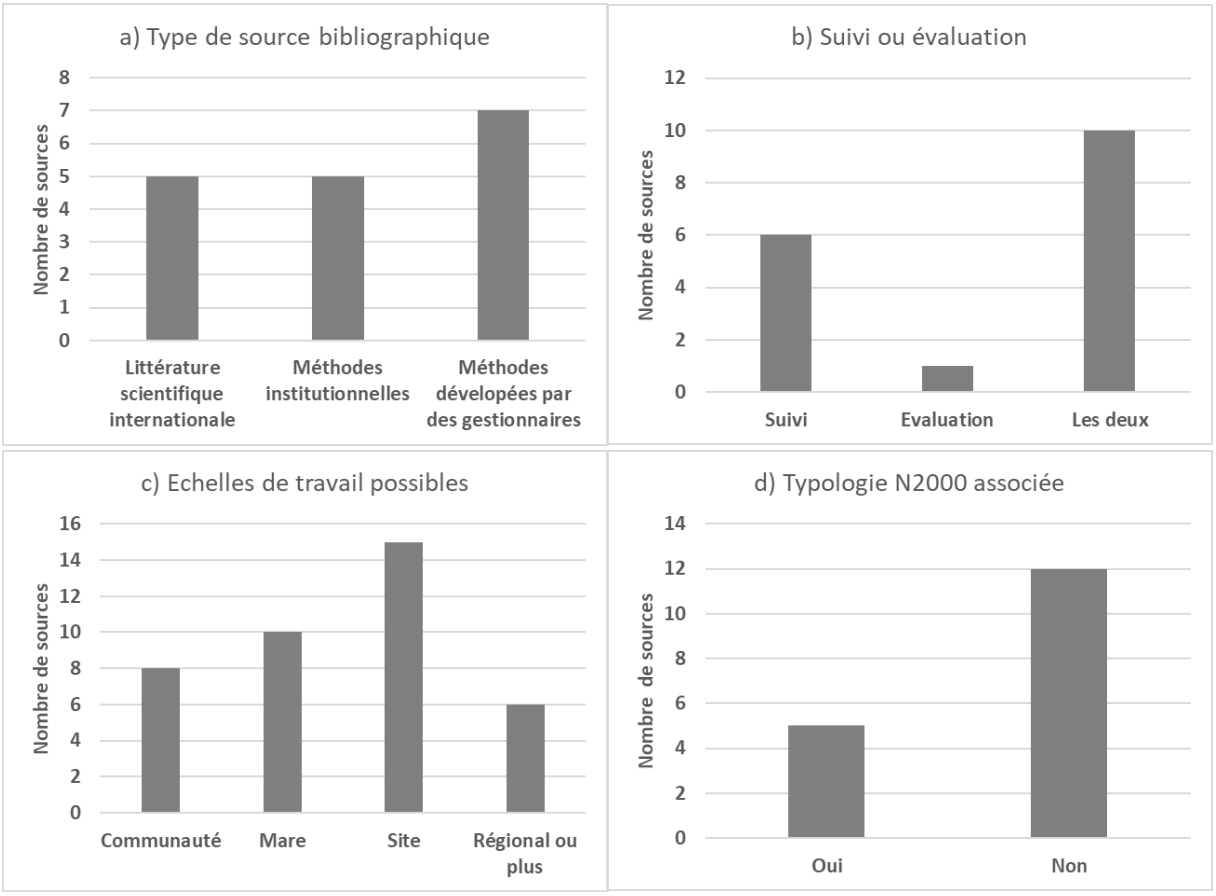
Si ces références concernent toutes les mares temporaires méditerranéennes, il apparait à leur lecture une certaine diversité des définitions de ce qu'est une mare temporaire et de l'échelle de travail utilisée pour les évaluer. Huit références ciblent certaines communautés en particulier (figure 1c), qui peuvent s'exprimer en dehors de mares à proprement parler (suintements, ruissellements temporaires, gazons à isoètes par exemple). Dix références proposent des méthodes pouvant être appliquées à l'échelle de la mare (unité hydrologique définie par son inondation maximale et par ses communautés associées). Dans ce cas, c'est l'ensemble des communautés de la mare qui sont évaluées ou suivies. Quinze références proposent des méthodes pouvant être appliquées à l'échelle d'un site (par exemple du site Natura 2000) ou d'une unité de gestion possédant un complexe de zones humides. Cinq références concernent une échelle régionale ou plus.

Parmi les références analysées, cinq répondent à un besoin réglementaire d'évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 (figure 1d). Elles ont été produites par PatriNat, par le CEN Occitanie ou encore l'Office de l'Environnement Corse.

Onze références se basent sur la flore (dont sept qui n'utilisent que la flore) pour suivre et évaluer les mares temporaires (figure 1e et 1f). Cinq références concernent les

amphibiens ou les odonates et un plus faible nombre utilise les coléoptères, les crustacés et les mollusques. Six références font intervenir plusieurs groupes biologiques. Deux références ne se basent sur aucun groupe biologique pour évaluer les mares temporaires (indicateur HYDRINDIC, Clément *et al.* 2023 et approche DPSIR, Zacharias *et al.* 2008). Van den Broeck *et al.* (2015) font la revue des différents indicateurs utilisés dans la littérature internationale pour évaluer l'intégrité des milieux humides et discuter de leur utilisation pour les mares temporaires. Ils analysent huit grands groupes d'indicateurs (indicateurs abiotiques, indicateurs biotiques basés sur les vertébrés, les macroinvertébrés, le zooplancton, les macrophytes, le phytoplancton, indices multimétriques et indicateurs basés sur des approches de modélisation). Parmi ces sept groupes d'indicateurs, trois ne sont pas représentés dans notre étude : zooplancton, phytoplancton et approches de modélisation. Ces trois catégories nécessitent des compétences naturalistes sur des groupes peu étudiés ou des compétences statistiques importantes, ce qui constitue un frein pour leur utilisation par les gestionnaires. Comme dans notre étude sur les mares de Camargue, les indicateurs le plus souvent utilisés reposent sur l'étude de la flore (Van den Broeck *et al.* 2015).

Onze références font intervenir des données environnementales et six n'en tiennent pas compte dans le calcul des indicateurs.



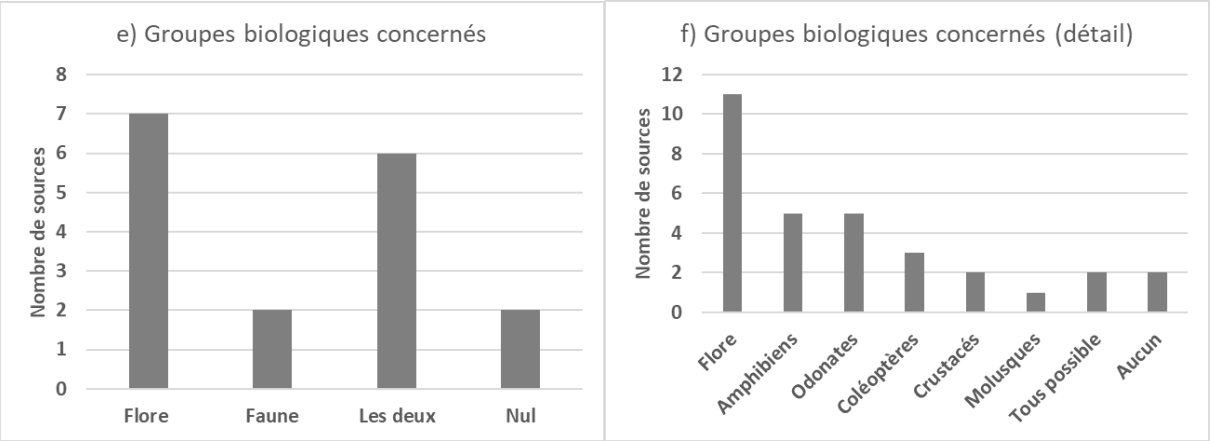


Figure 1: graphiques présentant le nombre de sources bibliographiques en fonction de six critères de comparaison. Les sources documentaires ont été recueillies par recherche bibliographiques ou transmises par des gestionnaires d'espaces naturels et d'experts.

Références non prises en comptes dans l'analyse

Seulement cinq articles scientifiques proposant des méthodes ou indicateurs à destination des gestionnaires et utilisables dans le sud de la France ont été identifiés lors de notre recherche bibliographique. Pourtant, la littérature scientifique sur le suivi et l'évaluation des mares temporaires est vaste et nous pouvons citer quelques références qui ne sont pas directement applicables dans le sud de la France et la Corse mais qui pourraient inspirer certains acteurs de la conservation des mares temporaires.

- Boix *et al.* (2005) proposent un indice pour évaluer la qualité de l'eau dans les zones humides méditerranéennes en lien avec la Directive cadre sur l'eau en Catalogne (Espagne). Ils développent plusieurs indices, basés sur les communautés de micro-crustacés et d'insectes aquatiques.
- Cancela da Fonseca *et al.* (2008) proposent une liste d'espèces (grands branchiopodes et amphibiens) indicatrices pour évaluer la valeur conservatoire des mares temporaires au Portugal.
- Trigal *et al.* (2009) développent un indice multi-métrique basé sur les macro-invertébrés en Espagne avec une approche modélisation.
- Lumbreras *et al.* 2016 proposent d'évaluer l'état de conservation des mares temporaires sur la base d'indicateurs prenant en compte les plantes, les grands branchiopodes, les amphibiens, les campagnols et les chauves-souris menacées. Ces indicateurs sont définis pour le sud du Portugal.

Plusieurs études ne formalisent pas le développement de nouveaux indicateurs mais mesurent certains paramètres qui pourraient être utiles lors du suivi ou de l'évaluation des mares temporaires dans le sud de la France et la Corse :

- Black & Zedler (1998) évaluent le succès de restauration et de création de mares en analysant leur hydropériode, la profondeur de l'eau, l'abondance d'espèces végétales introduites, la diversité, le recouvrement et la biomasse des espèces végétales.
- Lichko & Calhoun (2003) font la revue de quinze projets de création de mares temporaires. Ces projets utilisent différentes catégories de paramètres de suivi selon les cas : régime hydrologique, végétation, surface, profondeur, sol, sites de fixation d'œufs d'amphibiens, débris de bois autour de la mare, hautes terres adjacentes, suivi du transfert d'amphibiens (œufs ou adultes), suivi des amphibiens, invertébrés ou autres groupes biologiques.
- Rhazi *et al.* (2006) étudient la richesse et la structure des communautés végétales des mares temporaires en lien avec l'influence des activités humaines. Ils considèrent différents paramètres comme la composition et la richesse spécifique des communautés végétales, les formes de croissances des espèces, des paramètres hydrologiques et de pression anthropique (usage des terres et drainage notamment).
- Jeffries (2008) étudie les communautés de macrophytes dans des mares temporaires créées. Il utilise des paramètres hydrologiques ainsi que la composition et l'abondance des espèces végétales pour explorer les variations spatio-temporelles de ces communautés.
- Rannap *et al.* (2009) étudient l'effet de la restauration de mares temporaires sur des populations d'amphibiens. Ils ont suivi la présence de larves d'amphibiens, la présence de poissons, et la qualité de l'habitat pour les amphibiens (végétation buissonnante et émergeante), l'eutrophisation et l'envasement (eau turbide, algues filamenteuses, vase) et l'ombrage.
- Rhazi *et al.* (2009a) suivent la végétation d'une mare temporaire. Ils étudient notamment la composition spécifique, l'abondance des espèces, la richesse spécifique en distinguant les espèces annuelles et vivaces et mesurent des paramètres hydrologiques.
- Jeffries (2011) étudie les communautés de macroinvertébrés de mares créées, il utilise des paramètres hydrologiques, floristiques ainsi que la composition et l'abondance des macroinvertébrés (approche multivariée et modélisation).
- Ruhí *et al.* (2012) évaluent la colonisation de deux mares créées pour les amphibiens. Ils mesurent l'abondance des amphibiens adultes reproducteurs entrant dans la mare et des individus post-métamorphiques sortant de la mare (piège à fosse). Ils analysent également les coûts en temps et en énergie associés à la reproduction dans les mares temporaires (méthode de capture-marquage-recapture).
- Collinge *et al.* (2013) comparent des mares créées à des mares de référence en suivant les paramètres tels que : la profondeur de l'eau, l'hydropériode, la composition spécifique de la végétation, le recouvrement en espèces indigènes et en espèces exotiques.

- Faist *et al.* (2013) étudient la banque de graines et la végétation de mares restaurées (diversité, abondance des espèces, abondance proportionnelles des espèces indigènes et des espèces rares).
- Muller *et al.* (2013) étudient l'effet du transfert de sol sur le développement de communautés végétales lors de la création de mares temporaires. Ils suivent notamment la composition et le recouvrement en espèces cibles, indésirables (adventices du riz) et en algues filamenteuses en relations avec les teneurs en nutriments du sol.
- Faist & Collinge (2015) comparent l'abondance et la diversité de la banque de graines de mares naturelles et créées le long d'un gradient hydrologique et selon le degré d'invasion des mares par des espèces exotiques.
- Coccia *et al.* 2016 étudient l'assemblage des macroinvertébrés dans des mares créées et naturelles. Ils étudient des variables environnementales comme l'hydropériode et des variables biotiques relatives à la composition spécifique, l'abondance et la diversité en macroinvertébrés, en comparant notamment les espèces à dispersion active et passive.
- O'Brien *et al.* 2023 étudient les communautés d'invertébrés dans les mares temporaires restaurées et naturelles. Ils prennent notamment en compte l'abondance en grands branchiopodes, l'abondance totale en invertébrés, la composition spécifique et la richesse spécifique des communautés d'invertébrés ainsi que plusieurs variables environnementales (site, profondeur de l'eau, surface des mares, l'âge depuis la restauration).

3.2. Analyse quantitative : application au cas d'étude des mares créées et de référence (naturelles) en Camargue

Après avoir décrit la diversité des approches méthodologiques étudiées, nous allons comparer les résultats de l'application de certaines méthodes au travers d'une étude de cas, la création de mares temporaires en Camargue. Le Jeu de donnée est analysé quantitativement 1) pour tester les corrélations entre les indicateurs 2) pour illustrer et détailler les différences entre méthodes, en distinguant leurs caractéristiques propres et les particularités de notre cas d'étude.

3.2.1. Corrélations entre les différents indicateurs

Nos résultats montrent un faible nombre de corrélations significatives entre les valeurs des neufs indicateurs calculés sur le jeu de données des mares en Camargue (Tableau 3). Ces indicateurs sont donc peu redondants ce qui souligne leur complémentarité. Toutefois certaines évaluations qui visent les mêmes objectifs ne sont pas corrélés

(évaluation de l'état de conservation Natura 2000 notamment).

Tableau 3: Matrice de corrélation de neuf métriques permettant le suivi et l'évaluation des mares temporaires méditerranéennes, appliquée sur 25 mares créées en Camargue. DRCI : Distance to Reference Communities Index ; IO2 : Indice floristique d'engorgement (RhoMéO) ; IO6 : Indice floristique de fertilité du sol (RhoMéO) ; IO8 : Indice de qualité floristique (RhoMéO) ; 3170 PatriNat : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3170 proposée par PatriNat ; 3140 PatriNat : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3140 proposée par PatriNat ; 3170 CEN-O : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3170 proposée par CEN Occitanie ; 3140 CEN-O : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3140 proposée par CEN Occitanie ; Nombre d'espèces TdV : nombre d'espèces caractéristiques des mares temporaires de la réserve de la Tour du Valat. *** : p-value <0.001 ; ** p-value <0.005 ; * : p-value <0.05.

	DRCI	IO2	IO6	IO8	3170 PatriNat	3170 CEN-O	3140 PatriNat	3140 CEN-O	Nombre d'espèces TdV
DRCI	-	-0,0005	-0,24	-0,22	0,34	-0,26	**-0,48*** **	-0,26	-0,25
IO2	-0,0005	-	**-0,51*** **	**0,70*** **	**-0,31***	**0,47** **	-0,09	-0,24	-0,17
IO6	-0,24	**-0,51*** **	-	-0,12	0,13	-0,03	0,008	0,17	-0,06
IO8	-0,22	**0,70*** **	-0,12	-	-0,19	**0,65*** **	0,002	-0,28	0,002
3170 PatriNat	0,34	**-0,31***	0,13	-0,19	-	-0,2	0,29	0,13	**0,50*** **
3170 CEN-O	-0,26	**0,47** **	-0,03	**0,65*** **	-0,2	-	0,25	0,14	-0,02
3140 PatriNat	**-0,48*** **	-0,09	0,008	0,002	0,29	0,25	-	**0,59*** **	0,05
3140 CEN-O	-0,26	-0,24	0,17	-0,28	0,13	0,14	**0,59*** **	-	-0,08
Nombre d'espèces TdV	-0,25	-0,17	-0,06	0,002	**0,50*** **	-0,02	0,05	-0,08	-

Les indices RhôMéO IO2 et IO6 sont significativement et négativement corrélés entre eux. Cela suggère que les espèces les moins hygrophiles sont également les plus nitrophiles ou que l'abondance de ces deux groupes d'espèces est corrélée. Les indices IO2 et IO8 sont significativement et positivement corrélés entre eux. L'indicateur IO8 est pour partie calculé avec les données utilisées pour le calcul de IO2 (valeur indicatrice de l'espèce pour le niveau de la nappe, Collectif RhôMéO 2014). Ce résultat serait donc plus lié aux méthodes de calcul de ces deux indicateurs qu'au contexte particulier du cas d'étude.

Nous n'avons pas trouvé de corrélation entre les notes issues des méthodes d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3170 proposées par PatriNat et le CEN Occitanie. Si elles visent les mêmes objectifs, il existe des différences importantes dans les critères pris en compte. Notamment : la méthode proposée par PatriNat prend en compte le nombre d'espèces déstructurantes et le nombre d'espèces caractéristiques alors que la méthode proposée par le CEN Occitanie prend en compte le recouvrement en espèces vivaces, en litière et pas le nombre d'espèces

caractéristiques (voir annexe 1). La méthode proposée par PatriNat considère l'expression avérée des espèces caractéristiques de l'habitat alors que la méthode proposée par le CEN Occitanie se base plus sur la présence de conditions plus ou moins favorables à l'expression de ces espèces. La méthode proposée par Patrinat doit donc être appliquée une année favorable à l'expression des espèces caractéristiques (i.e. une année où les conditions climatiques sont favorables à la mise en eau des mares afin qu'il y ait bien alternance d'une phase inondée et d'une phase exondée, permettant ainsi l'expression des espèces caractéristiques) pour ne pas dévaluer l'état de conservation artificiellement (Mistarz & Latour 2019). A l'inverse, la méthode proposée par le CEN Occitanie peut être appliquée les années où les conditions hydrologiques sont défavorables à ces espèces car elle vise à évaluer leur potentiel d'expression en tenant compte en particulier des mécanismes de compétition. L'absence de corrélation entre les résultats de ces deux méthodes est à imputer à ces différences mais aussi possiblement au cas particulier des mares de Camargue qui n'ont pas servi de site test lors de leur conception.

A l'inverse, nos résultats montrent une corrélation significative positive entre les notes issues des méthodes d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3140 proposée par PatriNat et par le CEN Occitanie. Malgré les différences de critères et de notation (poids donné au algues filamenteuses, prise en compte du recouvrement en characées uniquement dans la méthode proposée par PatriNat), les résultats de ces deux méthodes sont cohérents entre eux pour les mares étudiées en Camargue.

Le nombre d'espèces caractéristiques des mares temporaires de la Tour du Valat est corrélé avec la note d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3170 proposé par PatriNat qui intègre ce paramètre.

Les valeurs du DRCI (calculées uniquement sur les mares créées) sont significativement corrélées à l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3140 (Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara spp*.) selon la méthode proposée par PatriNat. En effet, plus les différences entre les communautés des mares créées et celles de références sont fortes (i.e. le DRCI est élevé), plus l'habitat est en mauvais état de conservation dans les mares créées. Cette corrélation est cohérente avec l'idée que les communautés aquatiques à Characées les plus dégradées (dans les mares créées) sont également les plus distinctes de leurs communautés de références et traduiraient donc ici une réalité biologique liée à notre cas d'étude.

3.2.2. Mesurer l'effet de la date de création des mares à l'aide d'indicateurs

Le DRCI

Les valeurs du DRCI sont significativement plus élevées pour les relevés réalisés dans les mares créées au 21^{e} siècle que dans celles créées au 20^{e} et au 19^{e} siècle (Figure 2). Ce résultat est valable pour les relevés des phases aquatique et terrestre. Il y a

donc, avec le temps, une convergence de la composition spécifique et de l'abondance des espèces des mares créées avec celle mares de référence.

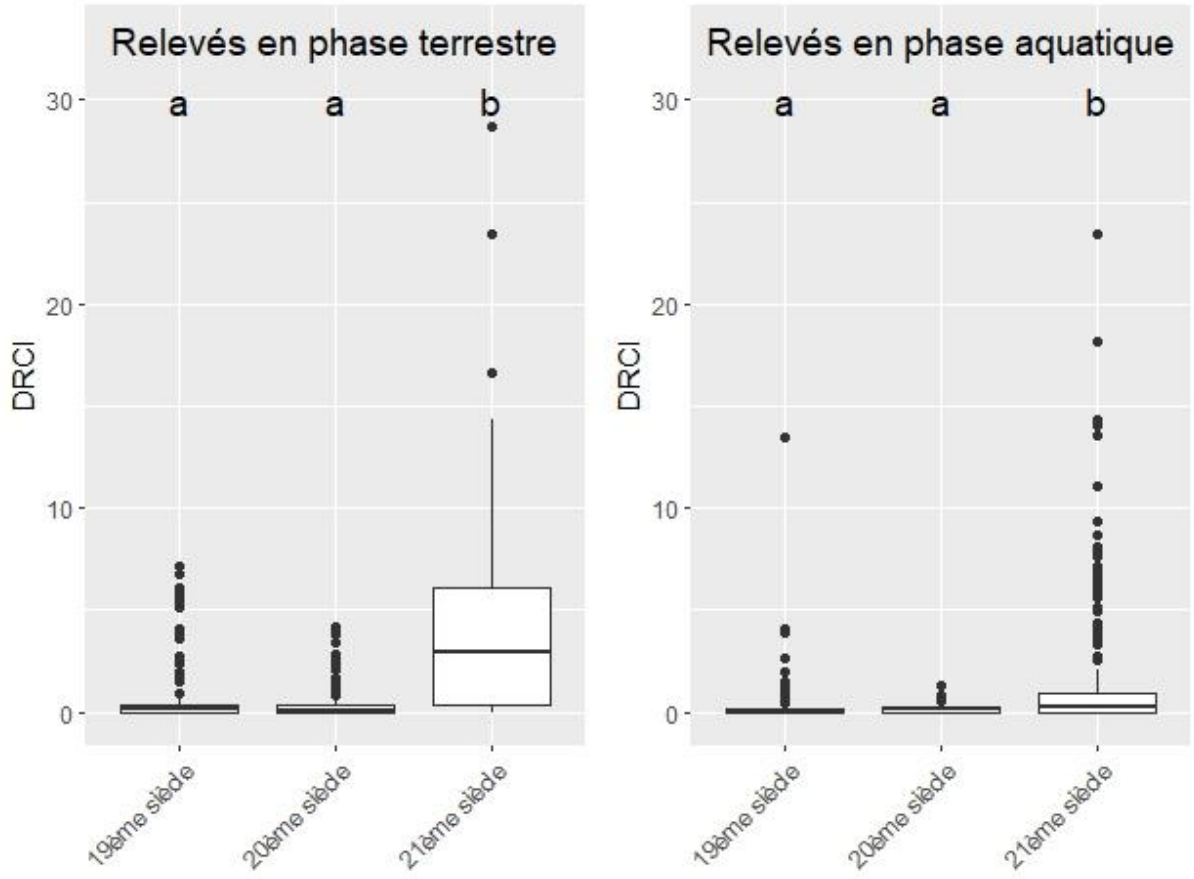


Figure 2: Distance of Reference Communities Index (DRCI, Fontès *et al.* 2024) calculée à partir des communautés végétales des mares créées à trois périodes et vis-à-vis des communautés de références. Les données utilisées ont été collectées pour chaque quadrat et chaque date d'inventaire des mares. Les mêmes lettres indiquent une absence de différence significative (post-hoc Wilcoxon tests). La barre horizontale au centre du boxplot indique la médiane.

Les indicateurs RhôMéO

Les valeurs de IO2 calculées en phase terrestre (Indice floristique d'engorgement du sol calculé pour chaque relevé en phase terrestre) sont significativement plus faibles pour les mares de référence que pour les mares créées, quel que soit leur âge (Figure 3). Les espèces de la phase terrestre sont donc moins hygrophiles dans les mares temporaires de référence que dans les mares créées, mais ces différences restent faibles. En phase aquatique, les valeurs de IO2 sont significativement différentes selon l'âge des mares mais ce résultat traduirait plus des différences de conditions hydrologiques qu'un effet de l'âge des mares (Fontès *et al.* in prep).



Photo 2: Mare des Cerisières moyennes à la Tour du Valat, où une végétation herbacée terrestre domine en phase d'assec (10/06/2020), ©Fontès Hugo

Les valeurs de IO6 calculées en phase terrestre (indice floristique de fertilité du sol calculé pour chaque relevé en phase terrestre) pour les mares créées au 21^{e} siècle sont significativement plus faibles que pour les mares de référence ou celles plus anciennes. Ce résultat est cohérent avec les teneurs en matières organiques totales plus faibles dans le sol les mares créées au 21^{e} siècle que pour le sol des mares de références (Fontès *et al.* in prep). À l'inverse, lors de la phase aquatique, les valeurs de IO6 calculées pour les mares créées au 21^{e} siècle et au 19^{e} siècle sont significativement plus élevées que pour les mares de référence, mais ces différences sont faibles.

Les valeurs de IO8 calculées en phase terrestre (indice de qualité floristique calculé pour chaque relevé en phase terrestre) sont significativement plus faibles pour les mares créées au 21^{e} siècle que pour les mares de référence ou les mares plus anciennes. En accord avec les résultats précédents (DRCI, Figure 2), la végétation des mares les plus récentes peut être considérée comme moins typique des milieux humides que pour les autres mares. Ce n'est pas le cas pour les valeurs de IO8 calculées pour les relevés de la phase aquatique où seules les mares du 19^{e} siècle diffèrent significativement des autres mares. Comme pour IO2, ces différences sont plus liées à des différences de conditions hydrologiques entre les mares créées au 19^{e} siècle et les autres. Par ailleurs, ces résultats sont cohérents avec le fait que les communautés de la phase aquatique sont plus proches des communautés de référence (composition et abondance des espèces) que celles de la phase terrestre (Fontès *et al.* in prep, Figure 2).

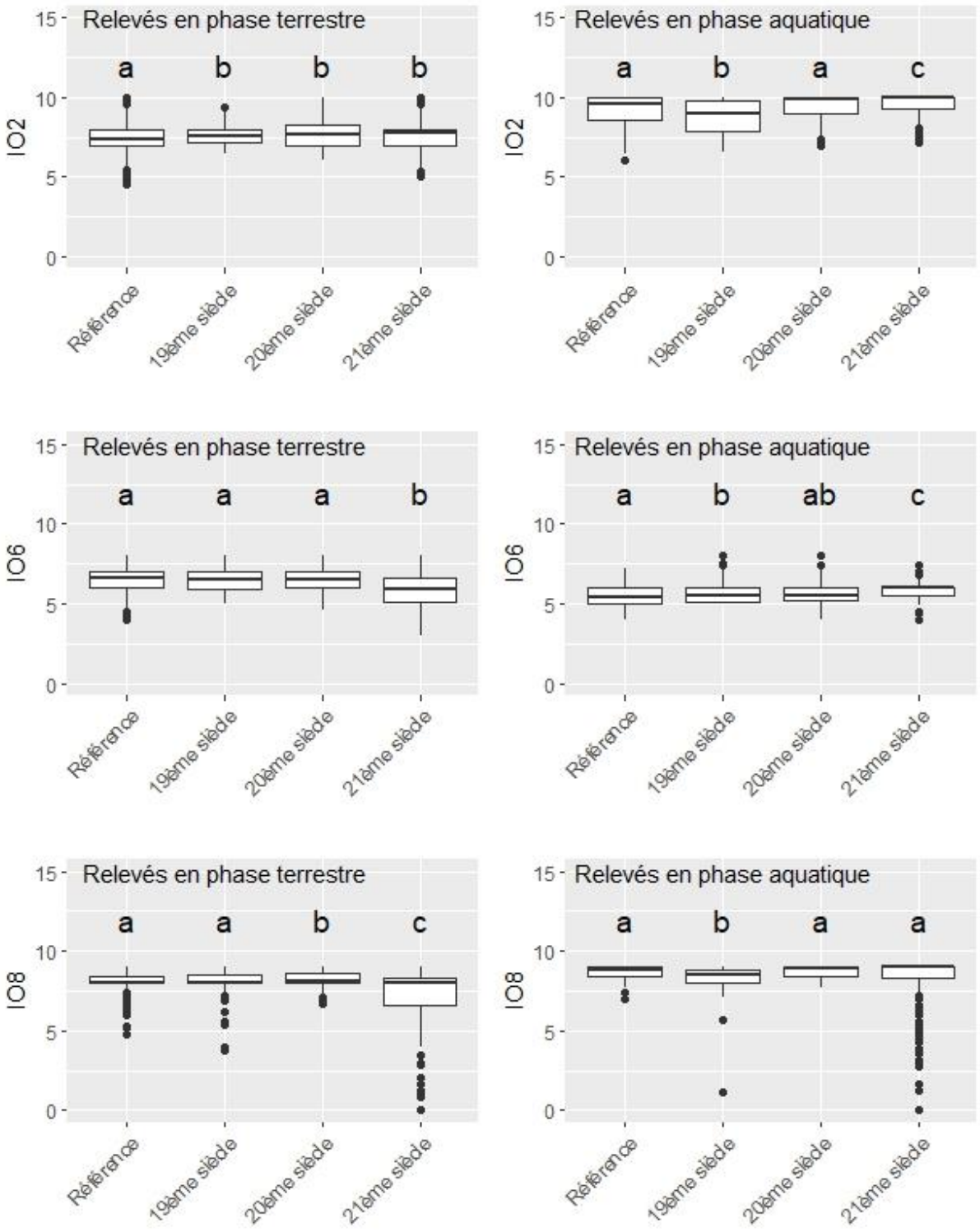


Figure 3: Indicateur RhoMéO (Collectif RhôMéO 2014) calculés à partir des communautés végétales des mares créées à trois périodes et vis-à-vis des communautés de références. IO2 : Indice floristique d'engorgement ; IO6 : Indice floristique de fertilité du sol ; IO8 : Indice de qualité floristique. Les données utilisées ont été collectées pour chaque quadrat et chaque date d'inventaire des mares. Les mêmes lettres indiquent une absence de différence significative (post-hoc Wilcoxon tests). La barre horizontale au centre du boxplot indique la médiane.

L'état de conservation des habitats N2000

Les notes d'évaluation de l'état de conservation des mares créées (état de conservation des habitats 3140 et 3170 proposées par PatriNat ou le CEN Occitanie) ne diffèrent pas de celles des mares de référence, quelles que soient leurs classes d'âge et les méthodes appliquées. Ceci peut notamment s'expliquer par l'échelle de travail qui oblige à évaluer l'état de conservation au niveau de la mare et non du relevé. Cette contrainte entraine une forte diminution du nombre de données qui ne permettent pas ici d'obtenir des résultats pertinents sur le plan statistique. Dans notre cas d'étude, ces méthodes ont plus d'intérêt dans leur évaluation mare par mare que par une analyse statistique comparant des groupes de mares.

3.2.3. Analyse mare par mare

L'analyse mare par mare (Tableau 4) montre que seul le DRCI indique une différence nette entre classes d'âge des mares, cet indicateur a par ailleurs été développé pour répondre à cette question dans le contexte des mares camarguaises (Fontès *et al.* 2024). Les évaluations de l'état de conservation des habitats Natura 2000 3170 et 3140 sont globalement plus positives en suivant la méthode proposée par PatriNat et globalement plus sévères en suivant la méthode proposée par le CEN Occitanie. Plusieurs mares de référence considérées comme bien conservés en Camargue (voir encadré 2) sont évaluées comme altérées ou dans un état défavorable quelle que soit la méthode ou l'habitat considéré ce qui est un résultat inattendu.

Evaluation de l'état de conservation de l'habitat 3170

La méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3170 proposée par le CEN Occitanie est fortement influencée, dans notre cas d'étude, par le recouvrement en espèces vivaces et la litière associée, notamment par *Aeluropus littoralis* qui est très fréquent et abondant dans les mares temporaires camarguaises. L'abondance en espèces vivaces (herbacées terrestres, hélophytes et ligneuses) est connue pour limiter le développement d'espèces annuelles par compétition dans les mares temporaires (Grillas *et al.* 2004, Rhazi *et al.* 2006). Toutefois, des conditions hydrologiques favorables permettent de limiter le développement d'espèces compétitives (Rhazi *et al.* 2006). En Camargue, de fortes précipitations peuvent favoriser le développement d'espèces indicatrices de l'habitat comme *Damasonium polyspermum* et *Lythrum tribracteatum,* qui peuvent alors être très abondantes dans certaines mares, y compris au sein des tapis de *Aeluropus littoralis* (observation inédite H. Fontès 2024, photo 3). L'effet de la compétition des espèces vivaces sur les annuelles peut en effet être variable selon les conditions hydrologiques. Enfin, *Aeluropus littoralis* est possiblement moins compétitif que d'autres espèces vivaces comme *Phragmites australis* par exemple. Les résultats de la méthode proposée par le CEN Occitanie sont aussi possiblement liés à une question d'échelle de travail, si

les relevés avaient ciblé les secteurs des mares les plus favorables à l'expression des communautés du 3170, les tapis denses de *Aeluropus littoralis* n'auraient probablement pas été échantillonnés. Les résultats plus optimistes, dans notre cas d'étude, de la méthode proposée par PatriNat peuvent s'expliquer par le fait que *Aeluropus littoralis* ne fait pas partie de la liste des espèces considérées comme déstructurantes (nous n'avons d'ailleurs pas souhaité l'y inclure pour les raisons évoquées précédemment) et que seule le nombre d'espèces déstructurantes est considérée, pas leur recouvrement (voir annexe 1). Par sa présence très fréquente y compris dans les mares les plus riches taxonomiquement, il est difficile de considérer dans les mares de Camargue que *Aeluropus littoralis* ne soit pas à sa place. On sait toutefois que la forte abondance d'une seule espèce compétitrice peut défavoriser certaines espèces des mares temporaires (Rhazi *et al.* 2009b) et d'autre part que l'abondance des espèces vivaces peut varier très fortement entre années en fonction des conditions hydrologiques (pluviométriques).



Photo 3 : *Damasonium polyspermum*, une espèce indicatrice de l'habitat 3170 « Mares temporaires méditerranéennes » fructifiant au milieu d'un tapis d'*Aeluropus littoralis* une année très favorable (11/06/2024), ©Fontès Hugo

Evaluation de l'état de conservation de l'habitat 3140

Les résultats de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 3140 proposée par le CEN Occitanie, dans notre cas d'étude, sont essentiellement influencés par le recouvrement en algues vertes filamenteuses (photo 4). Ces algues sont connues pour indiquer une eutrophisation et limiter le développement des macrophytes submergés (Ozimek *et al.* 1991, Kneitel & Lessin 2010, Gladyshev et Gubelit 2019). Toutefois, de fortes abondances en algues filamenteuses peuvent

parfois être transitoires, correspondant à des blooms saisonniers (notamment hiver et périodes de diminution des niveaux d'eau au printemps) qui surviennent de manière naturelle y compris dans des mares de référence. Enfin, les mares camarguaises sont généralement des milieux naturellement mésotrophes (contrairement à d'autres mares temporaires sur substrat rocheux cristallin plus oligotrophes par exemple) et sont donc plus susceptibles de connaitre un fort développement d'algues filamenteuses. Il n'est donc pas toujours aisé de distinguer les blooms saisonniers naturels des blooms indicateurs d'une eutrophisation anthropique.



Photo 4 : fort recouvrement en algues filamenteuses (gauche, 17/04/2020) et herbier dominé par *Chara vulgaris* (droite, 7/06/2023) dans le Marais du Cassaïre, ©Fontès Hugo

Les évaluations de l'état de conservation de l'habitat 3140 obtenues en suivant la méthode proposée par PatriNat sont positivement et fortement influencées par le recouvrement en characées. Elles sont négativement et fortement influencés par le nombre d'espèces déstructurantes et dans une moindre mesure par le nombre d'espèces eutrophiles et la présence d'algues filamenteuses. Les espèces vivaces compétitrices, notamment les hélophytes sont connus pour entrer en compétition avec les macrophytes submergés annuels mais c'est plus leur abondance qui est susceptible d'entrainer un effet de compétition (Grillas 1990) que leur richesse spécifique. Cet effet de compétition est également fortement variable selon les espèces (*Phragmites australis* est beaucoup plus compétitif que *Eleocharis palustris* par exemple). Aussi, dans notre cas d'étude, les Characées côtoient fréquemment d'autres hydrophytes annuels (en particulier *Callitriche truncata, Zannichellia pedunculata, Zannichellia obtusifolia, Ranunculus peltatus*). L'abondance de ces espèces limite probablement le développement des Characées sans que cela puisse être perçu comme un facteur de dégradation puisqu'il s'agit d'espèces bien typiques des mares temporaires locales (Molinier & Tallon 1970, Grillas 1990, Tamisier & Grillas 1994) (photos 5). À l'inverse, certaines espèces de Characées sont plus ou moins tolérantes à la modification trophique du milieu et aux perturbations hydrauliques. Par exemple, les forts recouvrements en *Chara vulgaris,* une espèce ubiquiste fréquente dans les rizières (Guerlesquin & Vaquer 1980) et les marais permanents à semi-permanents (Grillas 1990), indique plus une dégradation trophique des mares temporaires camarguaises que leur bon état de conservation, comme au Cassaïre par

exemple (photo 4). La directive « Habitat-Faune-Flore » (Council Directive 92/43/EEC) n'exclut toutefois aucune espèce du genre *Chara* spp. dans la définition de l'habitat 3140, incluant donc les herbiers à *Chara vulgaris*. Enfin, les characées s'expriment de manière très variable et sont plus ou moins abondants selon les conditions d'inondation des mares (Grillas & Battedou 1998).

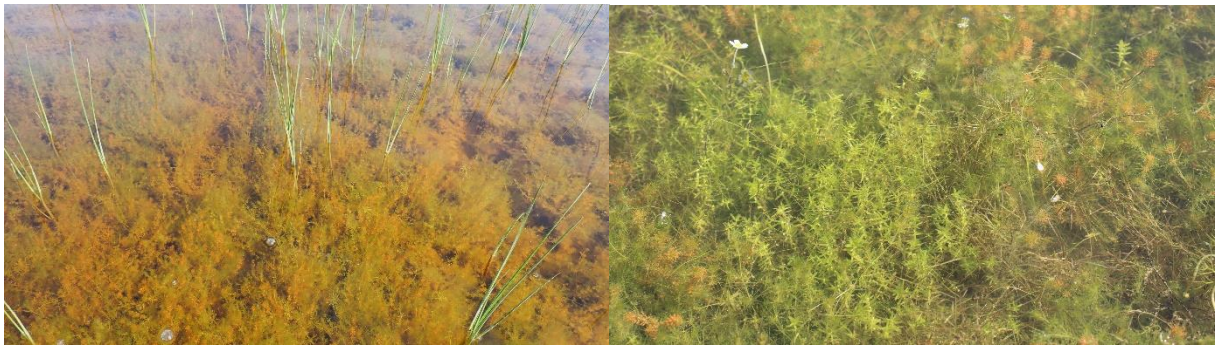


Photo 5: Forte abondance en *Chara aspera* (gauche, 3/05/2022) et communauté diversifiée en hydrophytes annuelles, mélange de magnoliophytes (*Callitriche truncata, Ranunculus peltatus, Zannichellia obtusifolia, Zannichellia palustris*) et de charophytes (*Chara aspera*) (21/05/2024) à la Tour du Valat, ©Fontès Hugo

Bilan

Les différences dans les résultats obtenus après application des méthodes proposées par le CEN Occitanie et PatriNat, tiennent donc essentiellement aux différences de critères pris en compte, notamment :

- Développement des communautés cibles (PatriNat) et potentiel d'expression de ces communautés (CEN Occitanie).
- Prise en compte du nombre et/ou du recouvrement d'espèces déstructurantes, eutrophiles et ligneuses (PatriNat) et uniquement du recouvrement de ces espèces (CEN Occitanie)

Aussi, les listes d'espèces déstructurantes et eutrophiles peuvent différer selon les situations et les valeurs seuils peuvent avoir des effets importants sur l'évaluation. Enfin, les méthodes proposées par le CEN Occitanie retiennent le critère le plus dévaluant tandis que les méthodes proposées par PatriNat prennent en compte une situation moyenne multicritère.

Les résultats obtenus après application des méthodes d'évaluation de l'état de conservation sont fortement liés au contexte local et particulier de la Camargue (notamment du fait de la salinité et du caractère mésotrophe du sol) qui n'a pas été considéré lors du développement de ces méthodes. Ceci illustre bien la difficulté d'évaluation des situations marginales qui peuvent apparaitre comme dégradés. Pour l'habitat 3170, nous pouvons recommander en vue d'une adaptation de ces méthodes au contexte camarguais de limiter la liste des espèces déstructurantes à celles dont la forte abondance est incompatible avec le développement des espèces caractéristiques (Roseau notamment). Il serait sinon utile de considérer des valeurs

de recouvrement seuil élevées pour les espèces vivaces qui cohabitent fréquemment avec les espèces caractéristiques des mares temporaires, même si elles entrent en compétition (notamment *Aleluropus littoralis, Bolboschoenus maritimus* et *Tamarix galica*). En ce qui concerne les communautés à characées (habitat 3140), il serait utile de distinguer les espèces indicatrices d'un niveau trophique élevé et de perturbations hydrauliques (*Chara vulgaris* et *Chara globularis* par exemple) des espèces associées aux systèmes endoréiques mieux conservés (notamment *Chara aspera* et *Tolypella hispanica*). La forte abondance d'algues filamenteuses, si elle intervient au pic de développement de la végétation aquatique pourrait également être un bon indicateur de dégradation. Les perturbations hydrauliques et les changements de salinité sont également des facteurs de dégradation à considérés pour les habitats 3170 et 3140.

La méthode DRCi permet une adaptation locale de l'évaluation de l'état des mares mais elle est plus complexe à mettre en œuvre et ne donne pas de conclusion en termes de bon état mais plutôt une distance des communautés évalués par rapport à des communautés de référence. C'est l'interprétation écologique de cette distance, à l'aide d'analyses complémentaires qui permet de statuer sur le succès de restauration écologique ou l'atteinte d'un bon état de conservation (Fontès et al. 2024).

Tableau 4: évaluation de l'état de conservation (habitats Natura 2000) et du succès de restauration (DRCI) de mares créées et de mares de référence en Camargue. DRCI : Distance to Reference Communities Index ; 3170 (PatriNat) : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3170 proposée par PatriNat ; 3140 (PatriNat) : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3140 proposée par PatriNat ; 3170 (CEN Occ) : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3170 proposée par CEN Occitanie ; 3140 (CEN Occ) : méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat N2000 3140 proposée par CEN Occitanie.

Mare	Secteur	Période de création	Année de création	DRCi	3170 (PatriNat)	3170 (CEN Occitanie)	3140 (PatriNat)	3140 (CEN Occitanie)
Mare RTE (A50)	Tour du Valat	XXIe siècle	2018	Non similaire, début de trajectoire favorable	Non évaluable	Non évaluable	Favorable	Bon
Mare temporaire du Cassaïre (A36)	Vigueirat		2015	Non similaire, trajectoire défavorable	Non évaluable	Non évaluable	Altéré	Moyen
Mare en demi-lune (A10)	Vigueirat		2014	Non similaire	Favorable	Moyen	Altéré	Défavorable
Mare du clos des vaches (A7)	Vigueirat		2014	Non similaire, trajectoire très favorable	Altéré	Moyen	Altéré	Défavorable
Mare B5 (A8)	Vigueirat		2013	Non similaire, trajectoire très favorable	Favorable	Défavorable	Altéré	Défavorable
Mare A5 (A9)	Vigueirat		2013	Non similaire, trajectoire très favorable	Favorable	Moyen	Altéré	Défavorable
Marais du Cassaïre (CB)	Vigueirat		2012	Non similaire	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Mare d'Aline 1 (A43)	Tour du Valat		2008	Non similaire, trajectoire défavorable	Favorable	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Mare d'Aline 2 (A44)	Tour du Valat		2008	Non similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Bon
Mare d'Aline 3 (A46)	Tour du		2008	Non similaire, trajectoire	Altéré	Défavorable	Non	Non

Mare	Secteur	Période de création	Année de création	DRCi	3170 (PatriNat)	3170 (CEN Occitanie)	3140 (PatriNat)	3140 (CEN Occitanie)
	Valat			défavorable			évaluable	évaluable
Emprunt des Cerisières Nord (A42)	Tour du Valat	XX^{e} siècle	1970	Similaire	Optimal	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Emprunt du Trafalgar (A12)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Bon
Emprunt du canal (A17)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Bon
Emprunt du clos des Faïsses (A18)	Tour du Valat		1968	Similaire	Non évaluable	Non évaluable	Favorable	Bon
Mare de Campouceu (A19)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Bon
Emprunt de Tamarguiron (A20)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Moyen	Optimal	Bon
Emprunt sud plateau sud (A22)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Moyen
Emprunt de Férigoulet 3 (A23)	Tour du Valat		1968	Similaire	Favorable	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Emprunt d'Amphise (A24)	Amphise		1936	Non similaire	Favorable	Moyen	Non évaluable	Non évaluable
Emprunt de la digue Napoléon 1 (A26)	Palissade	XIX^{e} siècle	XIX^{e} siècle	Similaire	Altéré	Moyen	Favorable	Bon
Emprunt de la digue Napoléon 2 (A27)	Palissade		XIX^{e} siècle	Similaire	Favorable	Moyen	Favorable	Bon

Mare	Secteur	Période de création	Année de création	DRCi	3170 (PatriNat)	3170 (CEN Occitanie)	3140 (PatriNat)	3140 (CEN Occitanie)
Emprunt de la digue Napoléon 3 (A28)	Palissade		XIX^{e} siècle	Similaire	Altéré	Défavorable	Favorable	Bon
Emprunt de la digue Napoléon 4 (A29)	Palissade		XIX^{e} siècle	Similaire	Favorable	Défavorable	Favorable	Défavorable
Emprunt de la digue Napoléon 5 (A34)	Palissade		XIX^{e} siècle	Similaire	Altéré	Défavorable	Favorable	Défavorable
Emprunt de la digue Napoléon 6 (A35)	Palissade		XIX^{e} siècle	Non similaire	Altéré	Défavorable	Altéré	Bon
Mare du CNRS 2 (R11)	Tour du Valat	Référence	-	-	Non évaluable	Défavorable	Altéré	Défavorable
Mare du CNRS 1 (R12)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Défavorable	Favorable	Bon
Baisse du Renard Nord (R13)	Tour du Valat			-	Altéré	Moyen	Altéré	Défavorable
Baisse du Renard Sud (R14)	Tour du Valat			-	Altéré	Moyen	Favorable	Moyen
Tamarguiron (R17)	Tour du Valat			-	Favorable	Défavorable	Altéré	Défavorable
Baisse des Tirasses (R18)	Tour du Valat			-	Favorable	Défavorable	Favorable	Moyen
Baisse des Tirasses (R19)	Tour du Valat			-	Favorable	Bon	Favorable	Bon
Mare de Giraud 8 (R2)	Tour du			-	Favorable	Moyen	Non	Non

Mare	Secteur	Période de création	Année de création	DRCi	3170 (PatriNat)	3170 (CEN Occitanie)	3140 (PatriNat)	3140 (CEN Occitanie)
	Valat						évaluable	évaluable
Cerisières nord (R20)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Cerisières moyennes (R21)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Optimal	Bon
Cerisières sud (R22)	Tour du Valat			-	Optimal	Moyen	Favorable	Bon
Emprunt sud du canal (R23)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Emprunt des Cerisières sud (R24)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Non évaluable	Non évaluable	Non évaluable
Emprunt sud des cerisieres sud (R25)	Tour du Valat			-	Favorable	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Mare plateau sud (R26)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Cerisières de Faïsses (R29)	Tour du Valat			-	Optimal	Moyen	Favorable	Bon
Mare de Giraud 2 (R3)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Moyen		Non évaluable
R30	Amphise			-	Non évaluable	Non évaluable	Favorable	Bon
R31	Amphise			-	Altéré	Défavorable	Favorable	Bon
R33	Amphise			-	Favorable	Moyen	Favorable	Défavorable

Mare	Secteur	Période de création	Année de création	DRCi	3170 (PatriNat)	3170 (CEN Occitanie)	3140 (PatriNat)	3140 (CEN Occitanie)
R34	Amphise			-	Non évaluable	Non évaluable	Non évaluable	Non évaluable
Mare de Giraud (R4)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Non évaluable	Non évaluable
Mare de Giraud 7 (R5)	Tour du Valat			-	Optimal	Moyen	Non évaluable	Non évaluable
Mare de Giraud 3 (R6)	Tour du Valat			-	Optimal	Défavorable	Favorable	Bon
Mare de Giraud 4 (R7)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Défavorable	Altéré	Bon
Emprunt nord sarcelles (R8)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Non évaluable	Favorable	Bon
Emprunt ouest Sarcelles (R9)	Tour du Valat			-	Non évaluable	Non évaluable	Favorable	Bon

4. Conclusions

La revue de littérature a permis d'identifier dix-sept source bibliographiques pour évaluer et suivre les mares temporaires méditerranéennes dans le sud de la France. Les méthodes sont diverses tant dans leurs objectifs que leur « mécanique » et nous avons pu constituer un portfolio de ces méthodes, sous la forme de fiches synthétiques facilement consultables par les gestionnaires, experts ou chercheurs (annexe 2). Leur compréhension devrait permettre de les utiliser à la lumière de leurs valeurs informatives et de leurs limites respectives. Notre approche quantitative se focalise sur certaines méthodes appliquées aux données recueillies pour les mares de Camargue. Cette étude de cas illustre le fait que ces méthodes répondent à des problématiques distinctes et fonctionnent de manières différentes :

- Les indicateurs RhôMéO permettent un suivi de zones humides dans le temps ou entre sites, basé sur des groupes biologiques indicateurs ou des variables environnementales. Ils ne sont pas conçus pour fournir une évaluation qualitative (e.g. bon ou mauvais état) mais pour suivre une trajectoire écologique (testée statistiquement).
- Les méthodes d'évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 d'une mare, reposent sur une base commune (système à points dégressif basé essentiellement sur l'observation de dégradations), mais les résultats de leur application peuvent fortement varier selon les critères considérées (métriques, valeur seuil, espèces indicatrices de dégradation, etc.).
- Le suivi de la présence ou du nombre d'espèces indicatrices utilisées par différents gestionnaires donne une indication facile d'acquisition mais peu détaillée sur l'état de l'écosystème.
- Le DRCI permet la comparaison de l'assemblage et de l'abondance des espèces entre communautés à évaluer et communautés de références (basée sur une approche statistique multivariée).

La diversité de ces méthodes et des résultats associés illustre bien le large panel d'approches disponibles, correspond à des objectifs et des conceptions différentes de ce que peut être un « bon état » écologique. Cette diversité, si elle peut être source de confusion au premier abord, n'est pas problématique en soit et permet de répondre à différentes questions précises. Elle souligne également la nécessité de définir de manière claire et explicite les objectifs en terme de conservation et donc d'évaluation.

L'évaluation du bon état des mares temporaires reste un exercice délicat dans lequel devraient être pris en compte d'une part la variabilité temporelle (intra- et interannuelle) et d'autre part la diversité des situations par rapport au référentiel. En effet, les classifications d'habitat correspondent à une discrétisation de la diversité des végétations existantes avec de nombreuses situations intermédiaires entre les types

décrits. Ainsi, une adaptation au contexte local parait nécessaire à une bonne évaluation. Les méthodes d'évaluation de l'état de conservation proposées au niveau national par PatriNat sont d'ailleurs conçues pour pouvoir être plus ou moins adaptables au contexte local (valeurs seuils, liste des espèces) (Mistarz & Latour 2019), comme cela est fait en Corse (annexe 2).

Notre travail bibliographique recueille une large diversité de méthodes de suivi et d'évaluation des mares temporaires. Celles-ci répondent à une diversité d'objectifs, de fonctionnement et de moyens nécessaires pour leur mise en œuvre. Toutefois, malgré une littérature scientifique internationale importante, nous avons identifié peu d'articles explicitement à destination des gestionnaires, adaptés aux mares temporaires méditerranéennes situées dans le sud de la France et en Corse. À l'inverse, une majorité d'indicateurs de notre analyse est proposée par des acteurs de la conservation des mares temporaires et reste généralement non publiée. Une amélioration des liens entre la recherche scientifique et la conservation de la nature permettrait d'enrichir le développement de ces méthodes.

5. Références

Bagella, S., 2023. Which perspectives for Mediterranean temporary ponds in the European Union in the third millennium? Biodivers Conserv 32, 839–849. https://doi.org/10.1007/s10531-023-02549-3

Bagella, S., Gascón, S., Filigheddu, R., Cogoni, A., Boix, D., 2016. Mediterranean Temporary Ponds: new challenges from a neglected habitat. Hydrobiologia 782, 1–10. https://doi.org/10.1007/s10750-016-2962-9

Bagnouls, F., Gaussen, H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. Annales de géographie 66, 193–220. https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273

Bernard C., 2019. Évaluation de l'efficacité des mesures de création et entretien de mares. Cadre méthodologique. UMS PatriNat (AFBCNRS-MNHN), Paris, 46 p + annexes

Black, C., Zedler, P.H., 1998. An Overview of 15 Years of Vernal Pool Restoration and Construction Activities in San Diego County, California. In: Ecology, conservation, and management of vernal pool ecosystems. Proceedings of the 1996 conference of the California Native Plant Society. 1998.

Boix, D., Biggs, J., Céréghino, R., Hull, A.P., Kalettka, T., Oertli, B., 2012. Pond research and management in Europe: "Small is Beautiful." Hydrobiologia 689, 1–9. https://doi.org/10.1007/s10750-012-1015-2

Boix, D., Gascón, S., Sala, J., Martinoy, M., Gifre, J., Quintana, X.D., 2005. A new index of water quality assessment in Mediterranean wetlands based on crustacean and insect assemblages: the case of Catalunya (NE Iberian peninsula). Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems 15, 635–651. https://doi.org/10.1002/aqc.750

Cancela da Fonseca, L., Cristo, M., Machado, M., Sala, J., Reis, J., Alcazar, R., Beja, P., 2008. Mediterranean temporary ponds in Southern Portugal: Key faunal groups as management tools? Pan-American Journal of Aquatic Sciences 3, 304–320.

Clément, H., Gaucherand, S., Gayet, G., Baptist, F., Porteret, J., Caessteker, P., Magand, C., Vivier, A., 2023. HYDRINDIC - Suivi et évaluation de la restauration/création de zones humides avec un indicateur hydrologique, Guide méthodologique. pp.1-93, 2023. ⟨hal-04144755⟩

Coccia, C., Vanschoenwinkel, B., Brendonck, L., Boyero, L., Green, A.J., 2016. Newly created ponds complement natural waterbodies for restoration of macroinvertebrate assemblages. Freshwater Biology 61, 1640–1654. https://doi.org/10.1111/fwb.12804

Collectif RhôMéO, 2014. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 147 pages + annexes Publication février 2014 / Version 1.

Collinge, S.K., Ray, C., Marty, J.T., 2013. A Long-Term Comparison of Hydrology and Plant Community Composition in Constructed Versus Naturally Occurring Vernal Pools: Plant Communities in Restored Vernal Pools. Restor Ecol 21, 704–712.

https://doi.org/10.1111/rec.12009

Deitch, M.J., Sapundjieff, M.J., Feirer, S.T., 2017. Characterizing Precipitation Variability and Trends in the World's Mediterranean-Climate Areas. Water 9, 259. https://doi.org/10.3390/w9040259

Directive 92/43/CEE du Conseil, du 21 mai 1992, concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages, 1992. , OJ L.

Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau, 2000. , OJ L.

Faist, A.M., Collinge, S.K., 2015. Seed bank composition varies along invasion and inundation gradients in vernal pool wetlands. Plant Ecol 216, 553–564. https://doi.org/10.1007/s11258-015-0458-8

Faist, A.M., Ferrenberg, S., Collinge, S.K., 2013. Banking on the past: seed banks as a reservoir for rare and native species in restored vernal pools. AoB PLANTS 5. https://doi.org/10.1093/aobpla/plt043

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, e14194. https://doi.org/10.1111/rec.14194

Fontès, H., Grillas, P., Dutoit, T., Gazaix, A., Mesléard, F., in prep. Vegetation dynamic over 150 years of temporary ponds creations in the Camargue delta (Southern France).

Gann, George D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., Dixon, K.W., 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 27. https://doi.org/10.1111/rec.13035

Gladyshev, M.I., Gubelit, Y.I., 2019. Green Tides: New Consequences of the Eutrophication of Natural Waters (Invited Review). Contemp. Probl. Ecol. 12, 109–125. https://doi.org/10.1134/S1995425519020057

Grillas P., 1990. Distribution of submerged macrophytes in the Camargue in relation to environmental factors. Journal of Vegetation Science, 1: 393-402. https://doi.org/10.2307/3235716

Grillas, P., Battedou, G., 1998. Effects of the date of flooding on the biomass, species composition and seed production of submerged macrophyte beds in temporary marshes in the Camargue (S. France). Proceedings of the Intecol Conference, Perth, September 1996. In Wetlands for the Future (McComb A.J. & J.A. Davis, eds), INTECOL'S V International Wetland Conference, pp: 207-218.

Grillas, P., Gauthier, P., Yavercovski, N., Perennou, C., 2004. Mediterranean temporary pools. 1: Issues relating to conservation, functioning and management. Tour du Valat.

Guerlesquin, M, Vaquer A, 1980. Quelques observations biologiques et floristiques sur les rizières de Camargue : biotopes à Characées. Bull Ecol 11 (2): 113-124.

Javornik, C.J., Collinge, S.K., 2016. Influences of annual weather variability on vernal pool plant abundance and community composition. Aquatic Botany 134, 61–67. https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2016.07.002

Jeffries, M., 2008. The spatial and temporal heterogeneity of macrophyte communities in thirty small, temporary ponds over a period of ten years. Ecography 31, 765–775. https://doi.org/10.1111/j.0906-7590.2008.05487.x

Jeffries, M.J., 2011. The temporal dynamics of temporary pond macroinvertebrate communities over a 10-year period. Hydrobiologia 661, 391–405. https://doi.org/10.1007/s10750-010-0551-x

Keeley, J.E., Zedler, P.H., 1998. Characterization and global distribution of vernal pools, pages 1-14 in: C.W. Witham, E.T. Bauder, D. Belk, W.R. Ferren Jr., and R. Ornduff (Editors). Ecology, Conservation, and Management of Vernal Pool Ecosystems – Proceedings from a 1996 Conference. California Native Plant Society, Sacramento, CA.

Klesczewski, M., Barret, J., Baudot, C., Fleury, J., 2010. Evaluer l'état de conservation des habitats naturels à l'échelle du terrain : approches dans le Languedoc-Roussillon. Rev. For. Fr. https://doi.org/10.4267/2042/38955

Kneitel, J.M., Lessin, C.L., 2010. Ecosystem-phase interactions: aquatic eutrophication decreases terrestrial plant diversity in California vernal pools. Oecologia 163, 461–469. https://doi.org/10.1007/s00442-009-1529-0

Lecompte, C., Klesczewski, M., Bernard, P., 2024. Deux décennies de suivi floristique, tendances contrastées dans un site singulier. Poster présenté aux rencontres naturalistes d'Occitanie.

Lichko, L.E., Calhoun, A.J.K., 2003. An Evaluation of Vernal Pool Creation Projects in New England: Project Documentation from 1991? 2000. Environmental Management 32, 141–151. https://doi.org/10.1007/s00267-003-2967-9

Lumbreras, A., Marques, J.T., Belo, A.F., Cristo, M., Fernandes, M., Galioto, D., Machado, M., Mira, A., Sá-Sousa, P., Silva, R., Sousa, L.G., Pinto-Cruz, C., 2016. Assessing the conservation status of Mediterranean temporary ponds using biodiversity: a new tool for practitioners. Hydrobiologia 782, 187–199. https://doi.org/10.1007/s10750-016-2697-7

Marchand, L., Castagneyrol, B., Jiménez, J.J., Rey Benayas, J.M., Benot, M.-L., Martínez-Ruiz, C., Alday, J.G., Jaunatre, R., Dutoit, T., Buisson, E., Mench, M., Alard, D., Corcket, E., Comin, F., 2021. Conceptual and methodological issues in estimating the success of ecological restoration. Ecological Indicators 123, 107362. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107362

Médail, F., Michaud, H., Molina, J., Paradis, G., Loisel, R., 1998. Conservation de la flore et de la végétation des mares temporaires dulçaquicoles et oligotrophes de France méditerranéenne. ecmed 24, 119–134. https://doi.org/10.3406/ecmed.1998.1856

Mistarz M. & Latour M., 2019. État de conservation des « Mares temporaires méditerranéennes » (UE 3170*). Guide d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. UMS PatriNat – AFB/CNRS/MNHN. 30p.

Muller, S.D., Bruneton, H., Soulié-Märsche, I., Rey, T., Thiéry, A., Waterkeyn, A., Brendonck, L., Schevin, P., Yavercovski, N., Grillas, P., 2008. Long-term dynamics of a Mediterranean alkaline vernal pool (Rhone delta, southern France). Wetlands 28, 951–966. https://doi.org/10.1672/07-112.1

Muller, I., Buisson, E., Mouronval, J.-B., Mesléard, F., 2013. Temporary wetland restoration after rice cultivation: is soil transfer required for aquatic plant colonization? Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst. 03. https://doi.org/10.1051/kmae/2013067

O'Brien, S.M., Helm, B.P., Davidson, T.M., Kneitel, J.M., 2023. Invertebrate community composition differs between restored and natural vernal pools. Restoration Ecology 32, e14080. https://doi.org/10.1111/rec.14080

Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A., Lachavanne, J., 2005. PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation 15, 665–679. https://doi.org/10.1002/aqc.744

Oertli, B., Céréghino, R., Hull, A., Miracle, R., 2009. Pond conservation: from science to practice. Hydrobiologia 634, 1–9. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9891-9

Oules, E., 2023. Programme de conservation en faveur des mares de Provence-Alpes-Côte d'Azur –Conserver un réseau de mares temporaires méditerranéennes et ses espèces patrimoniales à Mas-Thibert, Arles (13) - Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aix en Provence, 75 p. + annexes.

Ozimek, T., Pieczyńska, E., Hankiewicz, A., 1991. Effects of filamentous algae on submerged macrophyte growth: a laboratory experiment. Aquatic Botany 41, 309–315. https://doi.org/10.1016/0304-3770(91)90050-F

Rannap, R., Lõhmus, A., Briggs, L., 2009. Restoring ponds for amphibians: a success story. Hydrobiologia 634, 87–95. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9884-8

Rhazi, L., Grillas, P., Rhazi, M., Aznar, J.-C., 2009a. Ten-year dynamics of vegetation in a Mediterranean temporary pool in western Morocco. Hydrobiologia 634, 185–194. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9893-7

Rhazi, M., Grillas, P., Rhazi, L., Charpentier, A., Médail, F., 2009b. Competition in microcosm between a clonal plant species (Bolboschoenusmaritimus) and a rare quillwort (Isoetessetacea) from Mediterranean temporary pools of southern France. Hydrobiologia 634, 115–124. https://doi.org/10.1007/s10750-009-9887-5

Rhazi, L., Grillas, P., Saber, E.-R., Rhazi, M., Brendonck, L., Waterkeyn, A., 2012. Vegetation of Mediterranean temporary pools: a fading jewel? Hydrobiologia 689, 23–36. https://doi.org/10.1007/s10750-011-0679-3

Rhazi, L., Rhazi, M., Grillas, P., Khyari, D.E., 2006. Richness and structure of plant communities in temporary pools from western Morocco: influence of human activities.

Hydrobiologia 570, 197–203. https://doi.org/10.1007/s10750-006-0180-6

Ruhí, A., Sebastian, O.S., Feo, C., Franch, M., Gascón, S., Richter-Boix, À., Boix, D., Llorente, G., 2012. Man-made Mediterranean temporary ponds as a tool for amphibian conservation. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 48, 81–93. https://doi.org/10.1051/limn/2011059

Sahuquillo, M., Miracle, M.R., 2015. Crustacean diversity and conservation value indexes in pond assessment: implications for rare and relict species. Limnetica 333–348. https://doi.org/10.23818/limn.34.26

Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., Mellado, A., Velasco, J., Millán, A., 2006. Are Water Beetles Good Indicators of Biodiversity in Mediterranean Aquatic Ecosystems? The Case of the Segura River Basin (SE Spain). Biodivers Conserv 15, 4507–4520. https://doi.org/10.1007/s10531-005-5101-x

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. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27105.07527

Tamisier, A., Grillas, P., 1994. A review of habitat changes in the camargue: An assessment of the effects of the loss of biological diversity on the wintering waterfowl community. Biological Conservation 70, 39–47. https://doi.org/10.1016/0006-3207(94)90297-6

Trigal, C., García-Criado, F., Fernández-Aláez, C., 2009. Towards a multimetric index for ecological assessment of Mediterranean flatland ponds: the use of macroinvertebrates as bioindicators. Hydrobiologia 618, 109–123. https://doi.org/10.1007/s10750-008-9569-8

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, 126185. https://doi.org/10.1016/j.jnc.2022.126185

Van den Broeck, M., Waterkeyn, A., Rhazi, L., Grillas, P., Brendonck, L., 2015. Assessing the ecological integrity of endorheic wetlands, with focus on Mediterranean temporary ponds. Ecological Indicators 54, 1–11. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.02.016

Zacharias, I., Parasidoy, A., Bergmeier, E., Kehayias, G., Dimitriou, E., Dimopoulos, P., 2008. A "DPSIR" model for Mediterranean temporary ponds : European, national and local scale comparisons. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 44, 253–266. https://doi.org/10.1051/limn:2008009

Zacharias, I., Zamparas, M., 2010. Mediterranean temporary ponds. A disappearing ecosystem. Biodivers Conserv 19, 3827–3834. https://doi.org/10.1007/s10531-010-9933-7

Annexe 1. Grilles d'évaluation pour habitats Natura 2000 « Mares temporaires méditerranéennes » (3170) et « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara spp*. » (3140) proposées par PatriNat (Mistarz & Latour 2019) et le CEN Occitanie.

Tableau 5 : Grille d'indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Mares temporaires méditerranéennes" (UE 3170*) à l'échelle du site Natura 2000 proposé par PatriNat (Mistarz & Latour 2019).

Paramètre	Critère	Indicateur	Échelle	Résultats attendus	Notes
Surface	Surface couverte	Évolution de la surface couverte ou du nombre de pièces d'eau	Site	Stabilité, progression	0
				Régression	-10
Structures et fonctions	Composition floristique	Nombre d'espèces ligneuses	Polygone ou placette	< 3	0
				≥ 3	-5
		Recouvrement des espèces ligneuses (%)	Polygone ou placette	< 1	0
				1-5	-5
				> 5	-10
		Nombre d'espèces déstructurantes	Placette	< 3	0
				≥ 3	-15
		Nombre d'espèces caractéristiques	Placette	≥ 2	0
				< 2	-30
	Composition faunistique	Invertébrés aquatiques (bonus)	Plan d'eau	Présence	+10
Altérations	Atteintes lourdes	Recouvrement des atteintes quantifiables en surface	Polygone/écocomplexe	Somme des points = 0	0
				Somme des points = 1	-5
				Somme des points ≥ 2	-10
	Atteintes diffuses	Impact des atteintes difficilement quantifiables en surface	Site	Nul ou négligeable	0
				Moyen	-10
				Fort	-20

Tableau 6 : Grille d'indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat "Mares temporaires méditerranéennes" (UE 3170*) proposé par le CEN Occitanie.

Code Natura 2000		**3170***			
Intitulé Natura 2000		**Mares temporaires méditerranéennes***			
Code et intitulé CORINE		22.34 Groupements amphibies méridionaux			
Syntaxons	**Référentiel**	**Code CORINE**	**Manuel EUR15/2**	**Prodrome (BARDAT *et al.* 2004)**	**JULVE (1998 ff.)**
	Classes	-	-	*Isoeto durieui-Juncetea bufonii*	*Agrostio stoloniferae - Arrhenatheretea elatioris* (grpm. à Menthe cervine) *Isoëtetea velatae*
	Ordres	*Isoetalia*	-	*Elatino triandrae-Cyperetalia fusci, Isoetetalia durieui, Nanocyperetalia flavescentis*	*Eleocharitetalia palustris* (grpm. à menthe cervine) *Isoëtetalia velatae* *Juncetalia bufonii*
	Alliances	*Isoetion*	*Agrostion salmanticae, Heleochloion, Isoetion, Lythrion tribracteati, Nanocyperion flavescentis, Preslion cervinae*	*Cicendion filiformis, Heleochloion schoenoidis, Isoetion durieui, Lythrion tribracteati, Nanocyperion flavescentis, Radiolion linoidis*	*Antinorio agrostideae - Isoëtion velatae, Ophioglosso lusitanici - Isoëtion histricis, Menthion cervinae* (grpm. à Menthe cervine) *Cicendion filiformis, Crassulo vaillantii - Lythrion borysthenici,* *Crypsio alopecuroidis - Cyperion fusci, Elatini macropodae - Damasonion alismae*
Cortège caractéristique		**Annuelles** *: Crassula vaillantii, Crypsis aculeata, C. schoenoides, Damasonium stellatum, Heliotropium supinum, Juncus pygmaeus, Juncus sphaerocarpos, Lythrum borysthenicum, L. thesioides, L. thymifolium, L. tribracteatum, Oxybasis (= Chenopodium chenopodioides), Pulicaria sicula, Schoenoplectus supinus, Sisymbrella aspera, Trifolium filiforme, T. ornithopodioides* **Vivaces** *: Cressa cretica, Isoëtes duriei, I. histrix, I. setacea, I. velata, Marsilea strigosa, Mentha cervina, Ophioglossum azoricum, O. lusitanicum, Pilularia minuta, Polygonum romanum* ssp. *gallicum*			
Compagnes fréquentes		**Annuelles** *: Centaurium* spp., *Cicendia filiformis, Cyperus fuscus, Isolepis cernua, Juncus bufonius, J. capitatus, J. tenageia, Lysimachia minima, Lythrum hyssopifolia, L. portula, Myosurus minimus, Pulicaria vulgaris, Radiola linoides, Schenkia spicata (= Centaurium spicatum)* **Vivaces** *: Anthoxanthum odoratum, Carex caryophyllea, Eleocharis palustris, E. uniglumis, Gratiola officinalis, Juncus* spp., *Kickxia commutata, Mentha pulegium, Serapias lingua, Spiranthes aestivalis*			
Remarques		La Directive distingue deux codes pour la même classe (*Isoeto-Nanojuncetea=Juncetea bufonii*) : 3130 (sans précision géographique) et *3170 pour les « mares temporaires méditerranéennes », tout en donnant certaines espèces comme caractéristiques pour les deux codes (!) : *Cicendia filiformis, Cyperus flavescens, C. fuscus, C. michelianus, Juncus bufonius* (à clarifier !). Démarche proposée : ce sont les espèces typiques des mares méditerranéennes qui priment, c'est-à-dire en leur présence est noté l'habitat *3170.			

Code Natura 2000	3170*				
Intitulé Natura 2000	Mares temporaires méditerranéennes*				
Critères	Indicateurs	Etat de conservation			Remarques
		Bon	Moyen	Défavorable	
Structure	Recouvrement d'espèces vivaces (herbacées ou ligneuses) autres que le « cortège caractéristique » et les « compagnes fréquentes » [%]	< 40	40-60	> 60	Ex. : *Bolboschoenus maritimus, Cistus* spp., *Erica* spp., *Fraxinus* spp., *Juncus gerardii, J. maritimus, Phragmites australis, Pinus* spp., *Salix* spp., *Scirpoides holoschoenus*
	Recouvrement litière (= matière végétale morte) [%]	< 10	10-20	> 20	
Composition	Espèces exotiques [%]	< 1	1-10	> 10	Ex. : *Aster squamatus, Conyza* spp., *Phyla filiformis* (= *Lippia nodiflora*), *Senecio inaequidens, Xanthium italicum*…
	Espèces rudérales [%]	< 10	10-20	> 20	Ex. : *Chenopodium* spp., *Hordeum marinum, H. murinum, Picris echioides, Rubus* spp., *Rumex crispus*, …
Dégradations	Dépôts… [% superficie impactée]	0	< 1	> 1	
	Drains fonctionnels	Absence	-	Présence	

Tableau 7 : Grille d'indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp. » (UE 3140) à l'échelle du site Natura 2000 proposée par PatriNat (Mistarz & Latour 2019).

Paramètre	Critère	Indicateur	Échelle	Résultats attendus	Notes
Surface	Surface couverte	Évolution du nombre de pièces d'eau où l'habitat est présent	Site	Stabilité, progression	0
				Régression	-10
Structures et fonctions	Sédimentation	Signe d'envasement	Placette	Non	0
				Oui	-10
	Qualité de l'eau	Turbidité de l'eau	Placette	Claire	0
				Trouble	-10
				Très trouble	-20
	Composition floristique	Recouvrement des Characées (%)	Placette	> 40	0
				10-40	-10
				< 10	-20
		Nombre d'espèces eutrophiles	Placette	0	0
				≤ 2	-10
				> 2	-20
		Recouvrement des espèces déstructurantes (%)	Placette	< 1	0
				1-10	-5
				> 10	-20
		Présence d'algues filamenteuses (malus)	Placette	Oui	-10
Altérations	Atteintes lourdes	Recouvrement des atteintes quantifiables en surface	Polygone	Somme des points = 0	0
				Somme des points = 1	-5
				Somme des points ≥ 2	-10
	Atteintes diffuses	Impact des atteintes difficilement quantifiables en surface	Site	Nul ou négligeable	0
				Moyen	-10
				Fort	-20

Tableau 8: Grille d'indicateurs pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat « Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp. » (UE 3140) proposé par le CEN Occitanie.

Code Natura 2000		**3140**			
Intitulé Natura 2000		**Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* spp.**			
Code et tintitulé CORINE		22.44 Tapis immergés de Characées			
Syntaxons	**Référentiel**	**Code CORINE**	**Manuel EUR15/2**	**Prodrome (BARDAT *et al.* 2004)**	**JULVE (1998 ff.)**
	Classes	*Charetea fragilis*	-	*Charetea fragilis*	*Charetea globularis*
	Ordres	-	-	*Charetalia hispidae*, *Nitelletalia flexilis*	*Charetalia hispidae*, *Nitelletalia flexilis*
	Alliances	-	-	*Charion canescentis*, *Charion fragilis*, *Charion vulgaris*, *Nitellion flexilis*, *Nitellion syncarpo - tenuissimae*	*Charion asperae*, *Charion canescentis*, *Nitellion flexilis*, *Nitellion syncarpo - tenuissimae*
Cortège caractéristique		*Chara* spp., *Nitella* spp., *Tolypella* spp.			
Compagnes fréquentes		Plantes aquatiques annuelles relevant des *Najado marinae - Potamogetonetea pusilli* ; plantes aquatiques vivaces relevant des *Potamogetonetea pectinati* ; herbiers flottants (voiles) relevant des *Lemnetea minoris*.			

Code Natura 2000	3140				
Intitulé Natura 2000	**Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* spp.**				
Critères	**Indicateurs**	**Etat de conservation**			**Remarques**
		Bon	**Moyen**	**Défavorable**	
Structure	Recouvrement litière (matière végétale morte) recouvrant le groupement [%]	< 10	10-20	> 20	
Composition	Espèces exotiques [%]	< 1	1-10	> 10	Ex. : *Elodea* spp. *Ludwigia* spp., *Myriophyllum aquaticum*…
	Recouvrement algues filamenteuses (sur les Characées elles-même ou par-dessus) [%]	< 10	10-20	> 20	
Dégradations	Exemples : piétinement, pollutions visibles, dépôts… [% superficie impactée]	< 1	1-10	> 10	

Annexe 2. Liste et fiches descriptives des 17 sources bibliographiques proposant des méthodes d'évaluation et indicateurs identifiées dans la bibliographe

Méthode	Référence
Crustacean conservation value index	Sahuquillo, María, Miracle, María Rosa, 2015. Crustacean diversity and conservation value indexes in pond assessment: implications for rare and relict species. Limnetica 333–348. https://doi.org/10.23818/limn.34.26
Distance to Reference Communities Index	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 e14194. https://doi.org/10.1111/rec.14194
DPSIR model for Mediterranean temporary ponds	Zacharias, I., Parasidoy, A., Bergmeier, E., Kehayias, G., Dimitriou, E., Dimopoulos, P., 2008. A "DPSIR" model for Mediterranean temporary ponds : European, national and local scale comparisons. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 44, 253–266. https://doi.org/10.1051/limn:2008009
PLOCH	Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A., Lachavanne, J., 2005. PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation 15, 665–679. https://doi.org/10.1002/aqc.744
Suivi des coléoptères aquatiques	Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., Mellado, A., Velasco, J., Millán, A., 2006. Are Water Beetles Good Indicators of Biodiversity in Mediterranean Aquatic Ecosystems? The Case of the Segura River Basin (SE Spain). Biodivers Conserv 15, 4507–4520. https://doi.org/10.1007/s10531-005-5101-x

HYDRINDIC	Clément, H., Gaucherand, S., Gayet, G., Baptist, F., Porteret, J., Caessteker, P., Magand, C., Vivier, A., n.d. HYDRINDIC - Suivi et évaluation de la restauration/création de zones humides avec un indicateur hydrologique, Guide méthodologique.
RhôMéO (indicateurs de suivi pour les zones humides) & Mhéo (Milieux humides, évaluation, observation)	Porteret, J., Danancher, D., Pache, G., Pont, B., Grossi, J.-L., Dick, R., 2017. Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration des zones humides 25p. Collectif RhôMéO (2014) La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. www.rhomeo-bao.fr Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 147 pages + annexes Publication février 2014 / Version 1
Reseda flore : Suivi des effets du changement global sur l'habitat d'intérêt communautaire 3170* mares temporaires méditerranéennes	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. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27105.07527
La roue de rétablissement écologique et le système à cinq étoiles	Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., Dixon, K.W., 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 27. https://doi.org/10.1111/rec.13035
Etat de conservation des habitats N2000 - PatriNat/MNHN	Mistarz, M., Latour, M., 2019. État de conservation des habitats des eaux dormantes d'intérêt communautaire. Méthodes d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Cahiers d'évaluation. UMS PatriNat – AFB/CNRS/MNHN. 252p.
Evaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 3170 et 3120 en Corse	Méthode en cours de développement par Laurent Sorba, Margaux Mistarz, Manon Latour, Jérémy Dumoulin et Ileana Quiquere

Etat de conservation de l'habitats N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes" et 3140 "Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp.", grille d'évaluation de l'habitat - CEN Occitanie	Non publié, voir cependant : Klesczewski, M., Barret, J., Baudot, C., Fleury, J., 2010. Evaluer l'état de conservation des habitats naturels à l'échelle du terrain : approches dans le Languedoc-Roussillon. Rev. For. Fr. https://doi.org/10.4267/2042/38955
Etat de conservation de l'habitat N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes", suivi des espèces indicatrices - CEN Occitanie	Lecompte C., Klesczewski M., Bernard P., 2024. Deux décennies de suivi floristique, tendances contrastées dans un site singulier. Poster, les rencontres naturalistes d'Occitanie.
Évaluation de l'efficacité de mesures de création et d'entretien de mares en sites Natura 2000	Bernard C., 2019. Évaluation de l'efficacité des mesures de création et entretien de mares. Cadre méthodologique. UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), Paris, 46 p + annexes
Suivi des mares et ruisselet temporaires dans la Réserve naturelle nationale de la pleine des Maures	Vallauri, M. (2017). Élaboration et mise en œuvre de protocoles de suivi des grands ensembles d'habitats naturels représentatifs de la Réserve Naturelle Nationale de la Plaine des Maures. Rapport de stage de Master 2 Pro « Sciences de l'Univers, Environnement et Ecologie », Université Pierre et Marie Curie. Année 2016-2017.
Indicateurs du plan de gestion de la RNR de la Tour du Valat	Nojaroff, N., Cohez, D. (2024). Plan de gestion 2024-2033 – Réserve naturelle régionale de la Tour du Valat.
Suivi des espèces indicatrices de l'habitat mares temporaires : Indicateur de la notice de gestion de la mare de Lanau (CEN PACA)	Oules, E., 2023. Programme de conservation en faveur des mares de Provence-Alpes-Côte d'Azur –Conserver un réseau de mares temporaires méditerranéennes et ses espèces patrimoniales à Mas-Thibert, Arles (13) - Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aix en Provence, 75 p. + annexes.

Méthode	**Crustacean conservation value index**
Référence	Sahuquillo, María, Miracle, María Rosa, 2015. Crustacean diversity and conservation value indexes in pond assessment: implications for rare and relict species. Limnetica 333–348. https://doi.org/10.23818/limn.34.26
Type	Littérature scientifique internationale
Objectif	Suivi et évaluation des communautés des crustacés des mares temporaires, notamment de l'enjeu de conservation associé.
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Il s'agit d'un indicateur de suivi des communautés de crustacés des mares. Cet indicateur permet de prendre en compte l'enjeu de conservation des espèces contrairement aux indicateurs de diversité classiques : "species are scored based on the relictness and biogeographical significance of the taxonomic group to which they belong, as well as on their rarity or endemicity". "(I) all species present are scored according to their rarity, vulnerability or threat; (II) the scores of all species in each sample were summed to give a Species Rarity Score; and (III) the Species Rarity Score was divided by the number of species recorded in the sample to yield the CCVI."
Echelle de travail / Typologie	Mare (communautés de crustacés au sein des mares)
Groupe biologique	Crustacés
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Non
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisée par les auteurs
Besoin en temps de travail	Important dans un premier temps car il est nécessaire de calculer un score pour chaque espèce de crustacé selon la méthode décrite dans l'article. Une fois ce travail réalisé, le calcul de l'indicateur est rapide.
Compétences naturalistes	Importantes pour l'acquisition des données de terrain et l'attribution des scores par espèce et l'interprétation des résultats
Compétences statistiques	Faibles
Protocole(s) associé(s), nature	Protocole associé présenté dans l'article mais l'indicateur peut être calculé sur la base de données collectées suivant différents

du dispositif	protocoles.
Indicateurs	CCVI (crustacean conservation value index)
Réglementation associé	Non

Méthode	**Distance to Reference Communities Index**
Référence	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 e14194. https://doi.org/10.1111/rec.14194
Type	Littérature scientifique internationale
Objectif	Comparaison d'une mare à évaluer avec un panel de mares de références, conçu pour évaluer le succès de restauration mais applicable pour évaluer la trajectoire d'un écosystème vis-à-vis d'un panel de référence (état de conservation, etc.). Cette approche se base sur un critère de similarité taxonomique entre la végétation de la mare à évaluer et celles du panel de références.
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Il s'agit d'un indicateur calculé à partir d'analyses multivariées sur des communautés végétales ou animales. Il permet de comparer les communautés d'une mare évalué à un ensemble diversifié de communautés/mares de références. Chaque site ou communautés de référence est alors considéré comme un objectif potentiel.
Echelle de travail / Typologie	Du relevé (échantillon d'une communauté) à la végétation d'une mare (ensemble de communautés qui se développent dans une mare délimitée par des critères hydrologiques). Toute typologie possible. L'objet évalué doit suivre la même typologie que le panel de références.
Groupe biologique	Tous (données communautés)
Prise en compte de critères/variables environnementales , Données physico-chimiques	Non
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Suivi pertinent sur plusieurs décennies (temps pertinent pour le suivi des communautés végétales des zones humides en cours de restauration). Evaluation ponctuelle possible car la méthode se base sur la comparaison d'un panel de références avec un site à évaluer et non nécessairement sur le suivi d'une trajectoire.
Besoin en temps de travail	Important pour la collecte des données de terrain et/ou leur compilation, rapide dans l'analyse
Compétences naturalistes	Importantes notamment pour la collecte des données de terrain et l'interprétation des résultats
Compétences statistiques	Moyennes, niveau de base sur le logiciel R nécessaire

Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Non, besoin d'un nombre de sites de référence important
Indicateurs	DRCI, indicateur donnant une métrique continue qui quantifie la distance d'une communauté à évaluer à un panel de communautés de références
Réglementation associé	Non

Méthode	**DPSIR model for Mediterranean temporary ponds**
Référence	Zacharias, I., Parasidoy, A., Bergmeier, E., Kehayias, G., Dimitriou, E., Dimopoulos, P., 2008. A “DPSIR” model for Mediterranean temporary ponds : European, national and local scale comparisons. Ann. Limnol. - Int. J. Lim. 44, 253–266. https://doi.org/10.1051/limn:2008009
Type	Littérature scientifique internationale
Objectif	Étudier les relations causes-effet (Facteurs, Pressions, Etats, Impacts, Réponses) auxquelles sont soumises les mares temporaires afin d'élaborer des réponses en leur faveur.
Suivi/évaluation	Évaluation
Description	Application de l'analyse DPSIR : Drivers, Presure, State, Impact, Response (FPEIR : Facteurs, Pressions, Etats, Impacts, Réponses) aux mares temporaires. Il s'agit d'une analyse qualitative d'un ensemble de paramètres permettant d'évaluer les mares temporaires d'une échelle locale à internationale. Elle permet notamment de mettre en évidence les leviers d'actions pertinents face aux impacts que subissent les mares temporaires. Ce n'est donc pas un outil de suivi mais plutôt une analyse de causalité, permettant de faire émerger des actions nécessaires pour améliorer l'état de conservation des mares temporaires, notamment en intervenant sur les causes des impacts et par des actions de restauration.
Echelle de travail / Typologie	Du local à l'international.
Groupe biologique	Pas de groupe biologique cible, prise en compte de la végétation mais pas d'analyse à l'échelle des communautés ou des populations.
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui, évaluation qualitative sur de nombreux paramètres, nécessitant pour certains des analyses quantitatives (qualité de l'eau par exemple)
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Peut être réalisé une seule fois ou répété dans le temps à plus ou moins long terme.
Besoin en temps de travail	Peut nécessiter une collecte de données de terrain et la réalisation d’analyses longues et couteuses. Analyse rapide et synthétique sur la base de données existantes possible (N2000 notamment), potentiellement sur avis d'expert.

Compétences naturalistes	Faibles
Compétences statistiques	Nulles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Non
Indicateurs	Analyse qualitative d'une vingtaine de critères, classés selon le modèle DPSIR
Réglementation associé	Non

Méthode	**PLOCH**
Référence	Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R., Lehmann, A., Lachavanne, J., 2005. PLOCH: a standardized method for sampling and assessing the biodiversity in ponds. Aquatic Conservation 15, 665–679. https://doi.org/10.1002/aqc.744
Type	Littérature scientifique internationale
Objectif	Evaluer la biodiversité des mares
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Il s'agit d'une approche standardisée et non exhaustive d'évaluation de la diversité sur cinq groupe taxonomiques associés aux mares.
Echelle de travail / Typologie	Locale ou régionale
Groupe biologique	Plantes aquatiques, gastéropodes aquatiques, coléoptères aquatiques, odonates et amphibiens.
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Non
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Long terme
Besoin en temps de travail	Modéré pour l'acquisition de données de terrain (inventaires non exhaustifs)
Compétences naturalistes	Limités vis-à-vis d'une approche d'inventaires exhaustifs mais qui demeurent importantes.
Compétences statistiques	Fortes (modélisation)
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui, le respect des protocoles associés est nécessaire pour le calcul des indicateurs correspondant à chaque groupe taxonomique
Indicateurs	Richesse spécifique
Réglementation associé	Non

Méthode	**Suivi des coléoptères aquatiques**
Référence	Sánchez-Fernández, D., Abellán, P., Mellado, A., Velasco, J., Millán, A., 2006. Are Water Beetles Good Indicators of Biodiversity in Mediterranean Aquatic Ecosystems? The Case of the Segura River Basin (SE Spain). Biodivers Conserv 15, 4507–4520. https://doi.org/10.1007/s10531-005-5101-x
Type	Littérature scientifique internationale
Objectif	Suivre la richesse en invertébrés aquatiques de mares temporaires
Suivi/évaluation	Suivi
Description	L'étude analyse les corrélations entre richesse spécifique de 6 groupes d'invertébrés aquatiques (Coleoptera, Plecoptera, Trichoptera, Mollusca, Heteroptera et Ephemeroptera) ainsi qu'avec le Remaining Richness value ("defined as the total number of species found at a site minus the number of species belonging to the considered indicator group"). Ils concluent que la richesse en coléoptères aquatiques au niveau du genre ou de la famille peut être utilisée comme indicateur de suivi de la diversité en invertébrés aquatiques.
Échelle de travail / Typologie	de la mare à échelle régionale
Groupe biologique	Invertébrés
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Non (pris en compte dans l'étude mais pas dans l'indicateur)
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisée par les auteurs
Besoin en temps de travail	Modéré pour l'acquisition de données de terrain et l'analyse
Compétences naturalistes	Limités (reconnaissance des coléoptères au niveau du genre ou de la famille)
Compétences statistiques	Faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Non

Indicateurs	Nombre de genre ou de familles en coléoptères aquatiques
Réglementation associé	Non

Méthode	**HYDRINDIC**
Référence	Clément, H., Gaucherand, S., Gayet, G., Baptist, F., Porteret, J., Caessteker, P., Magand, C., Vivier, A., n.d. HYDRINDIC - Suivi et évaluation de la restauration/création de zones humides avec un indicateur hydrologique, Guide méthodologique.
Type	méthodes « institutionnelles » ou standards nationaux à internationaux
Objectif	Suivre et évaluer l'hydrologie des zones humides en voie de restauration/création
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	"Le principe de l'indicateur repose sur la comparaison annuelle de chroniques piézométriques (relevé de la profondeur de nappe dans le temps à l'aide de plusieurs piézomètres) entre une zone humide en voie de restauration/création et des zones humides qui correspondent à l'objectif de restauration/création". Il permet donc non seulement le suivi de la zone humide en cours de restauration/création mais également son évaluation (comparaison avec un panel de référence suivi en parallèle).
Echelle de travail / Typologie	Ensemble de sites/zones humides de référence et site en cours de restauration/création
Groupe biologique	Aucun
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Court (1 an minimum) à long terme
Besoin en temps de travail	Important pour la mise en place (identification de sites de référence, pose de piézomètres) et l'acquisition de données de terrain (suivi hebdomadaire), faible pour l'analyse
Compétences naturalistes	Non, mais connaissances importantes sur l'hydrologie du site et du territoire/bassin versant
Compétences statistiques	Très faibles
Protocole(s) associé(s), nature	Oui : pose de piézomètres et suivis

du dispositif	
Indicateurs	"Pour un site en voie de restauration/création, l'indicateur HYDRINDIC correspond ainsi au pourcentage de données piézométriques récoltées sur une année contenues dans une enveloppe de référence"
Réglementation associé	Non

Méthode	**RhôMéO (indicateurs de suivi pour les zones humides)**
Référence	Collectif RhôMéO, 2014. La boîte à outils de suivi des zones humides du bassin Rhône-Méditerranée. www.rhomeo-bao.fr Conservatoire d'espaces naturels de Savoie. 147 pages + annexes Publication février 2014 / Version 1 Porteret, J., Danancher, D., Pache, G., Pont, B., Grossi, J.-L., Dick, R., 2017. Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration des zones humides 25p.
Type	Méthodes « institutionnelles » ou standards nationaux à internationaux – reprise des initiatives locales au niveau national via Mhéo (Milieux humides, évaluation, observation)
Objectif	Fournir des indicateurs, des protocoles et des méthodes d'analyses permettant le suivi des évolutions des fonctions des zones humides du bassin Rhône Méditerranée. Le travail a été décliné afin de permettre également l'évaluation du succès de restauration des zones humides. Les deux méthodes sont à destination des gestionnaires d'espaces naturels.
Suivi/évaluation	Suivi
Description	Utilisation des indicateurs de la boite à outils des zones humides (suivi et évaluation des zones humides) pour suivre les effets des opérations de restauration des zones humides. Dans ce contexte plusieurs indicateurs ont été retenus car pertinents dans un contexte de restauration écologique. Les indicateurs RhôMéO permettent de mesurer la trajectoire plus ou moins favorable d'une zone humide en cours de restauration. Elle ne mesure pas l'écart à une référence positive ("bon état" à atteindre) mais l'écart entre la situation avant restauration et après restauration. Elle n'utilise pas non plus de site de référence témoin et se base donc sur une analyse avant/après restauration et le test de la signification des variations observées. Voir la boite à outils de suivi des zones humides et sa déclinaison pour l'évaluation des opérations de restauration pour le détail du fonctionnement des indicateurs.
Échelle de travail / Typologie	Échelle de la communauté (point de relevé) ou d'un ensemble de communautés (site)
Groupe biologique	Flore, odonates, amphibiens, orthoptères
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui (indicateurs à part entière)
Durée pertinente	Bilan annuel les 5 premières années de la restauration et espacement

pour la réalisation du suivi	de la fréquence des suivis jusqu'aux 10 ans qui suivent les opérations de restauration.
Besoin en temps de travail	Variable selon les indicateurs et protocoles
Compétences naturalistes	Variable selon les indicateurs et protocoles
Compétences statistiques	Variable selon les indicateurs et protocoles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Un protocole est associé à chaque indicateur. Le plan d'échantillonnage doit être adapté au contexte de restauration. P01 - Pédologie, P02 - Flore, P03 - Piézométrie, P06 - Odonates, P07 - Amphibiens. Voir la boite à outils RhôMéO pour le détail des protocoles et le Guide méthodologique d'utilisation des indicateurs pour le suivi des travaux de restauration des zones humides pour leurs adaptations au contexte de restauration.
Indicateurs	I01- indicateur d'hydromorphie du sol, I02 – Indice floristique d'engorgement, I03 – Indicateur de dynamique de la nappe, I05 : dynamique sédimentaire – orthoptères, I06 – Indice floristique de fertilité, I08 – Indice de qualité floristique, I09 : humidité du milieu – orthoptères, I10 – Indice d'intégrité du peuplement d'odonates, I11 – Indice d'intégrité du peuplement d'amphibiens,
Réglementation associé	Non

Méthode	**La roue de rétablissement écologique et le système à cinq étoiles**
Référence	Gann, G.D., McDonald, T., Walder, B., Aronson, J., Nelson, C.R., Jonson, J., Hallett, J.G., Eisenberg, C., Guariguata, M.R., Liu, J., Hua, F., Echeverría, C., Gonzales, E., Shaw, N., Decleer, K., Dixon, K.W., 2019. International principles and standards for the practice of ecological restoration. Second edition. Restoration Ecology 27. https://doi.org/10.1111/rec.13035
Type	Méthodes « institutionnelles » ou standards nationaux à internationaux
Objectif	Permettre une évaluation qualitative des projets de restauration écologique par les chefs de projets
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Cette méthode fonctionne par l'attribution d'un score (nombre d'étoile) correspondant au niveau de restauration de la cible pour les six attributs de l'écosystème de référence
échelle de travail / Typologie	Echelle du site en cours de restauration
Groupe biologique	Tous groupes biologiques possibles
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Moyen à long terme
Besoin en temps de travail	Faible
Compétences naturalistes	Non
compétences statistiques	Non
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Non
Indicateurs	Il ne s'agit pas d'indicateurs à mesurer mais à évaluer qualitativement, Ils sont classés en six attributs : absence de menace, conditions physiques, diversité structurelle, composition spécifique,

	fonctions écosystémiques, échanges externes
Réglementation associé	Non

Méthode	**État de conservation des habitats N2000 - PatriNat**
Référence	Mistarz, M., Latour, M., 2019. État de conservation des habitats des eaux dormantes d'intérêt communautaire. Méthodes d'évaluation à l'échelle des sites Natura 2000. Cahiers d'évaluation. UMS PatriNat – AFB/CNRS/MNHN. 252p.
Type	Méthodes « institutionnelles » ou standards nationaux à internationaux
Objectif	Évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Cette méthode fait intervenir un panel d'indicateurs biotiques et abiotiques. Le renseignement de ces indicateurs permet le calcul d'une note et aboutit à l'évaluation de l'état de conservation général de l'habitat. Il s'agit donc d'un système à point qui vise un état optimal théorique en termes de surface, de structure, de fonctions et d'altération.
Echelle de travail / Typologie	De la communauté (placette de relevé au sein d'une mare) au site Natura 2000. Différents habitats d'intérêt communautaire présents dans les mares temporaires méditerranéennes sont concernés, à savoir : 3110 - Eaux oligotrophes très peu minéralisées des plaines sablonneuses (Littorelletalia uniflorae) ; 3120 - Eaux oligotrophes très peu minéralisées sur sols généralement sableux de l'ouest méditerranéen à Isoetes spp. ; 3130 - Eaux stagnantes, oligotrophes à mésotrophes avec végétation des Littorelletea uniflorae et/ou des Isoeto-Nanojuncetea ; 3140 - Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp. ; 3170 - Mares temporaires méditerranéennes
Groupe biologique	Flore pour l'essentiel (prise en compte marginale de la présence d'amphibiens, de poissons et d'invertébrés)
Prise en compte de critères/variables environnementales , Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisée par les auteurs. Evaluation pertinente à court terme, suivi à moyen ou long terme
Besoin en temps de travail	Moyen pour la collecte des données de terrain (la réalisation d'un relevé floristique exhaustif n'est pas nécessaire), rapide dans l'analyse
Compétences	Importantes pour l'acquisition des données flore, faibles pour

naturalistes	l'analyse et l'interprétation
Compétences statistiques	Très faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui. Des fiches pour la collecte des données de terrain nécessaires à l'évaluation sont proposées. Certains éléments peuvent êtres renseignés selon différentes méthodes (relevés floristiques notamment).
Indicateurs	Panel d'indicateurs biotiques et abiotiques, variables selon les habitats Natura 2000. Pour chaque habitat, le calcul d'une note finale constitue une métrique qui quantifie l'état de conservation.
Réglementation associé	Directive habitats

Méthode	**Évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000 3170 et 3120 en Corse**
Référence	Méthode en cours de développement par Laurent Sorba, Margaux Mistarz, Manon Latour, Jérémy Dumoulin et Ileana Quiquerez
Type	Méthodes « institutionnelles » ou standards nationaux à internationaux
Objectif	Évaluation de l'état de conservation des habitats Natura 2000
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Indicateur N2000 adapté à la Corse. Cette méthode fait intervenir un panel d'indicateurs biotiques et abiotiques. Le renseignement de ces indicateurs permet le calcul d'une note et aboutit à l'évaluation de l'état de conservation général de l'habitat. Il s'agit donc d'un système à point qui vise un état optimal théorique en termes de surface, de structure, de fonction et d'altération.
Echelle de travail / Typologie	De la communauté (relevé au sein d'une mare) au site Natura 2000. Deux habitats d'intérêt communautaires présents dans les mares temporaires méditerranéennes sont concernés, à savoir : 3120 – « Eaux oligotrophes très peu minéralisées sur sols généralement sableux de l'ouest méditerranéen à Isoetes spp. » et 3170 – « Mares temporaires méditerranéennes »
Groupe biologique	Flore
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisée par les auteurs. Evaluation pertinente à court terme, suivi à moyen ou long terme
Besoin en temps de travail	Moyen pour la collecte des données de terrain (la réalisation d'un relevé floristique exhaustif n'est pas nécessaire), rapide dans l'analyse
Compétences naturalistes	Importantes pour l'acquisition des données flore, faibles pour l'analyse et l'interprétation
Compétences statistiques	Très faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Une fiche de synthèse pour la collecte des données de terrain nécessaires à l'évaluation est disponible

<table>
<tr><td>Indicateurs</td><td>Panel d'indicateurs biotiques et abiotiques (recouvrement en ligneux, en espèces déstructurantes, observations d’atteintes lourdes, etc). Pour chaque habitat, le calcul d'une note finale constitue une métrique qui quantifie l'état de conservation. La grille provisoire pour évaluer l’état de conservation des habitats Natura 2000 est mentionné ci-dessous :

<table>
<tr><th>État(s) altéré(s)</th><th>État(s) favorable(s) choisi(s)</th><th>État(s) optimal(aux) souhaité(s)</th></tr>
<tr><td></td><td></td><td>≤ 2 espèces ligneuses</td></tr>
<tr><td>Plus de 5 % de ligneux* possible</td><td>Recouvrement ligneux ≤ 5 %</td><td>Recouvrement ligneux ≤ 1 %</td></tr>
<tr><td>Jusqu’à trois espèces déstructurantes possibles</td><td>Jusqu’à trois espèces déstructurantes possibles</td><td>Pas plus d’une espèce déstructurante</td></tr>
<tr><td>Recouvrement espèces déstructurantes ≤ 75 %</td><td>Recouvrement espèces déstructurantes ≤ 15 %</td><td>Recouvrement espèces déstructurantes ≤ 15 %</td></tr>
<tr><td>Jusqu’à quatre atteintes lourdes possibles</td><td>Pas plus de trois atteintes lourdes</td><td>Pas plus d’une atteinte lourde</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Réglementation associé</td><td>Directive habitat</td></tr>
</table>

Méthode	**État de conservation des habitats N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes" et 3140 "Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à *Chara* spp.", grille d'évaluation de l'habitat - CEN Occitanie**
Référence	Non publié, voir cependant : Klesczewski, M., Barret, J., Baudot, C., Fleury, J., 2010. Evaluer l'état de conservation des habitats naturels à l'échelle du terrain : approches dans le Languedoc-Roussillon. Rev. For. Fr. https://doi.org/10.4267/2042/38955
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Évaluer l'état de conservation des habitats N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes" et 3140 "Eaux oligo-mésotrophes calcaires avec végétation benthique à Chara spp."
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Ces méthodes font intervenir un panel d'indicateurs biotiques et abiotiques (drains fonctionnels, dégradations physiques). Le renseignement de ces indicateurs permet le calcul d'une note et aboutit à l'évaluation de l'état de conservation général de l'habitat. Cette note correspond à celle de l'indicateur le moins bien noté.
Echelle de travail / Typologie	habitat Natura 2000, évaluation à l'échelle d'une mare/parcelle (unité de gestion)
Groupe biologique	Flore
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	A la marge : pas de variable mesuré mais prise en compte de dégradations physiques
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisé par les auteurs. Évaluation pertinente à court terme, suivi à moyen ou long terme
Besoin en temps de travail	Moyen pour la collecte des données de terrain (la réalisation d'un relevé floristique exhaustif n'est pas nécessaire), faible pour leur analyse
Compétences naturalistes	Faibles
Compétences statistiques	Très faibles

Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Non
Indicateurs	Habitat 3170 : Six indicateurs sur la structure (recouvrement en espèces vivaces non caractéristiques, recouvrement en litière), composition (recouvrement en espèces exotiques envahissantes et rudérales) et dégradations (dépôts, drains). Habitat 3140 : Quatre indicateurs sur la structure (recouvrement en litière), la composition (recouvrement en espèces exotiques envahissantes et en algues filamenteuses) et dégradations (piétinement, pollutions, dépôts…)
Réglementation associé	Directive habitat

Méthode	**État de conservation de l'habitat N2000 3170 "Mares temporaires méditerranéennes", suivi des espèces indicatrices - CEN Occitanie**
Référence	Lecompte C., Klesczewski M., Bernard P., 2024. Deux décennies de suivi floristique, tendances contrastées dans un site singulier. Poster, les rencontres naturalistes d'Occitanie.
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Suivre et évaluer l'état de conservation de l'habitat Natura 2000 3170, ainsi que des espèces qui en sont caractéristiques
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Évaluation basée sur le nombre d'espèces observées ou non sur dix ans (suivi selon un maillage). Cette méthode permet de considérer la variabilité naturelle de l'habitat où toutes les espèces indicatrices ne s'expriment pas chaque année.
Echelle de travail / Typologie	Habitat Natura 2000, évaluation à l'échelle d'un site (zone humide à cortèges diversifiés). Méthode développée et appliquée pour un site de taille particulièrement importante (de l'ordre de 30 hectares)
Groupe biologique	Flore
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Non
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	10 ans minimum
Besoin en temps de travail	Moyen pour l'acquisition des données de terrain (20ha par jour) et pour les analyses
Compétences naturalistes	Limités (reconnaissance d'un faible nombre d'espèces)
Compétences statistiques	Très faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui, prospections de maille de 20m/20m, pointage des espèces et évaluation des effectifs
Indicateurs	Etat de conservation de l'habitat considéré comme bon si toutes les espèces caractéristiques connues sur le site ont été observées dans les 10 dernières années, moyen si une espèce non observée

	et mauvais si deux ou plus d'espèces non observées dans les dix dernières années.
Réglementation associé	Non

Méthode	**Évaluation de l'efficacité de mesures de création et d'entretien de mares en sites Natura 2000**
Référence	Bernard C., 2019. Évaluation de l'efficacité des mesures de création et entretien de mares. Cadre méthodologique. UMS PatriNat (AFB-CNRS-MNHN), Paris, 46 p + annexes
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Evaluer l'efficacité des mesures de création et d'entretien de mares au sein du réseau N2000 et identifier les indicateurs les plus pertinents pour leur suivi.
Suivi/évaluation	Suivi
Description	Il s'agit d'un ensemble d'indicateurs biotiques et abiotiques accompagnés de propositions de protocoles. Cette méthode ne propose pas de méthode ou de grille d'analyse.
Echelle de travail / Typologie	De la mare au site Natura 2000
Groupe biologique	Flore, amphibiens, coléoptères aquatiques et odonates
Prise en compte de critères/variables environnementales , Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Non précisée par les auteurs. Le suivi des opérations de restauration est pertinent à moyen ou long terme
Besoin en temps de travail	Important pour la collecte des données de terrain et pour leur analyse
Compétences naturalistes	Importantes pour la collecte des données de terrain
Compétences statistiques	Inconnue (pas de méthode d'analyse)
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui, chaque paramètre est accompagné d'un protocole pour l'acquisition des données
Indicateurs	Panel d'indicateurs biotiques et abiotiques dont certains sont optionnels (suivis faune flore).
Réglementation associé	Directive habitat

Méthode	**RESEDA Flore : Suivi des effets du changement global sur l'habitat d'intérêt communautaire 3170* mares temporaires méditerranéennes**
Référence	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. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.27105.07527
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Suivre la trajectoire des mares temporaires méditerranéennes (sud de France) sous l'effet des changements globaux
Suivi/évaluation	Suivi
Description	Sélection d'indicateurs biotiques et abiotiques, incluant des relevés de communautés végétales et un protocole standardisé conçu pour les mares temporaires méditerranéennes du sud de la France. Le document ne propose pas de grille ou de méthode d'analyse de ces indicateurs et donc pas de méthodes d'évaluation des communautés végétales des mares temporaires.
Echelle de travail / Typologie	Prend en compte l'ensemble des communautés végétales (inclus la typologie Natura 2000) d'une mare (définie sur critères hydrologiques). Dispositif déployé dans l'ensemble du sud de la France (continent et Corse)
Groupe biologique	Flore
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Long terme
Besoin en temps de travail	Important pour l'acquisition de données de terrain et pour leur analyse
Compétences naturalistes	Fortes
Compétences statistiques	Inconnue
Protocole(s) associé(s), nature	Oui, le respect du protocole associé est nécessaire pour l'analyse future des données. Il s'agit de réaliser un suivi annuel de la

du dispositif	végétation (transects de quadrats) et de la morphologie des mares, ainsi que d'un suivi mensuel pour les variables hydrologiques
Indicateurs	Plusieurs indicateurs regroupés en six catégories : dimension de la mare, état de conservation et eutrophisation, niveau d'eau, hydropériode, inventaire floristique, taux de recouvrement
Réglementation associé	Non

Méthode	**Suivi des mares et ruisselets temporaires dans la réserve naturelle nationale de la Plaine des Maures**
Référence	Vallauri, M. (2017). Élaboration et mise en œuvre de protocoles de suivi des grands ensembles d'habitats naturels représentatifs de la Réserve Naturelle Nationale de la Plaine des Maures. Rapport de stage de Master 2 Pro « Sciences de l'Univers, Environnement et Ecologie », Université Pierre et Marie Curie. Année 2016-2017.
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Suivre l'évolution des mares et ruisselets temporaires
Suivi/évaluation	Suivi
Description	Sélection d'indicateurs de suivi des mares et ruisselets temporaires basés sur des mesures biotiques et abiotiques.
Echelle de travail / Typologie	Mare & ruisselets (délimitation sur la base de la présence d'espèces caractéristiques), réserve naturelle
Groupe biologique	Flore et faune (prise en compte marginale des groupes faunistiques)
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Court à long terme
Besoin en temps de travail	Modéré pour l'acquisition des données de terrain et pour les analyses
Compétences naturalistes	Importantes pour l'identification des espèces floristiques
Compétences statistiques	Faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui, le suivi d'un protocole prédéfini est nécessaire pour le calcul des indicateurs
Indicateurs	Surface de la zone humide, hydropériode, profondeur, couleur de l'eau, espèces eutrophiles, algues filamenteuses, flore typique, faune typique, invertébrés, structure de la végétation dans l'environnement proche, espèces exotiques envahissantes, poissons, perturbations

Réglementation associé	Non

Méthode	**Indicateurs du plan de gestion de la RNR de la Tour du Valat**
Référence	Nojaroff, N., Cohez, D. (2024). Plan de gestion 2024-2033 – Réserve naturelle régionale de la Tour du Valat.
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Suivi d'espèces liées aux milieux aquatiques temporaires. Le suivi de ces espèces est considéré comme informatif sur l'état général des mares temporaires où elles sont présentes et permet d'alerter sur la perte de sites fonctionnels à l'échelle de la réserve naturelle régionale de la Tour du Valat
Suivi/évaluation	Suivi et évaluation
Description	Plusieurs suivi et méthodes d'évaluation : - Présence de *Damasonium polyspermum* au sein d'un maillage sur plusieurs mares - Suivi du nombre d'espèces végétales indicatrices de l'habitat sur une période de cinq ans. - Suivi du nombre d'exuvies de *Lestes macrostigma* dans des mares sur cinq ans - Suivi du nombre d'espèces d'amphibiens se reproduisant (suivi des têtards) dans des mares sur cinq ans Ces approches permettent de considérer la variabilité naturelle de l'habitat où toutes les espèces indicatrices ne s'expriment pas chaque année. La période de cinq ans est arbitraire et expérimentale.
Echelle de travail / Typologie	Mare (critère hydrologique & communautés basé sur plusieurs années d'observation), réserve naturelle
Groupe biologique	Flore, odonates, amphibiens
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Non
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	Moyen terme
Besoin en temps de travail	Modéré à important pour l'acquisition des données de terrain selon les groupes biologiques, utilisation de données opportunistes possible

Compétences naturalistes	Limitées (reconnaissance d'un faible nombre d'espèces végétales) à modérées (identification des têtards et de l'exuvie d'une espèce d'odonate)
Compétences statistiques	Faibles à nulles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui : suivi de D. polyspermum au sein de mailles de 10m de cotés. Pour chaque maille, une fourchette du nombre d'individus est estimée ; suivi protocolé des émergences de L. macrostigma ; suivi des têtards au troubleau. La recherche des espèces végétales indicatrices dans les mares ne suit pas de protocole et peut utiliser des données d'observations opportunistes
Indicateurs	Suivi de *D. polyspermum* : nombre de mailles d'occurrence et estimation du nombre de pieds par mare. Suivi de *L. macrostigma* : moyenne sur 5 ans du nombre de sites où s'exprime le Leste à grands stigmas (*Lestes macrostigma*) parmi une sélection de 12 sites. Suivi des amphibiens : moyenne sur 5 ans du nombre d'espèces caractéristiques (parmi *Pelodytes punctatus*, *Pelobates cultripes*, *Hyla meridionalis* et *Epidalea calamita*) observées en moyenne sur 11 sites dans le cadre du suivi des têtards en mares temporaires. Suivi des espèces végétales : nombre de mares (parmi les 20 sélectionnées) où au moins 2 espèces végétales patrimoniales caractéristiques de l'habitat 3170* (parmi *Damasonium polyspermum*, *Pulicaria sicula*, *Lythrum tribracteatum*, *Cressa cretica*, *Sporobolus aculeata*) sont présentes au moins une fois sur 5 ans.
Réglementation associé	Non

Méthode	**Suivi des espèces indicatrice de l'habitat mares temporaires : Indicateur de la notice de gestion de la mare de Lanau (CEN PACA)**
Référence	Oules, E., 2023. Programme de conservation en faveur des mares de Provence-Alpes-Côte d'Azur –Conserver un réseau de mares temporaires méditerranéennes et ses espèces patrimoniales à Mas-Thibert, Arles (13) - Conservatoire d'espaces naturels de Provence-Alpes-Côte d'Azur. Aix en Provence, 75 p. + annexes.
Type	Méthodes fournies et utilisées par des gestionnaires/experts, applications locales à régionales
Objectif	Suivre la population de *Teucrium aristatum* et d'autres espèces indicatrices des mares temporaires à enjeux de conservation. Le suivi de ces espèces est considéré comme informatif sur l'état général de la mare de Lanau.
Suivi/évaluation	Suivi
Description	Suivi des populations d'espèces caractéristiques (*Teucrium aristatum, Damasonium polyspermum, Lythrum tribracteatum*)
échelle de travail / Typologie	Mare (critère hydrologique & communautés)
Groupe biologique	Flore
Prise en compte de critères/variables environnementales, Données physico-chimiques	Oui (climatiques), hydropériode et surface de mise en eau de la mare
Durée pertinente pour la réalisation du suivi	10 ans minimum
Besoin en temps de travail	Modéré pour l'acquisition de données de terrain et l'analyse
Compétences naturalistes	Limités (reconnaissance d'un faible nombre d'espèces)
compétences statistiques	Faibles
Protocole(s) associé(s), nature du dispositif	Oui : estimation de la surface où chaque espèce est présente et réalisation de transects dans ces zones.
Indicateurs	Effectifs estimés de chaque espèce
Réglementation associé	Non