



Université Jean Moulin, Lyon III
Master 2 Gestion de l'Environnement
Parcours Systèmes socio-écologiques : Héritages, dynamiques et gestion

État écologique et fonctionnalité du réseau de mares sur le Causse du Larzac en vue de la conservation des amphibiens, en particulier du *Pelobates cultripes*.



Leila DEVANNE

2023 - 2024

Sous la direction de BUSSIÈRE Jérôme et CHRISTOL Aurélien
Parc Naturel Régional des Grands Causses (PNR GC)
71 Boulevard de l'Ayrolle – 12100 Millau – FRANCE
05 65 61 35 50



RÉSUMÉ

Ce mémoire examine l'état écologique et la fonctionnalité du réseau de mares sur le Causse du Larzac, avec un focus particulier sur la conservation des amphibiens, notamment le Pélobate cultripède. Le contexte de l'étude est marqué par la dégradation croissante des habitats aquatiques et la fragmentation du paysage, exacerbée par des infrastructures telles que l'autoroute A75. Le travail combine des analyses écologiques, des modélisations spatiales et des propositions de gestion pour répondre aux défis posés par la dégradation des habitats et la fragmentation du paysage. Une évaluation détaillée de l'état des mares est réalisée à l'aide de l'Indice de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens (IECMA), révélant des disparités dans la qualité des habitats. Les résultats indiquent qu'environ 20 % des mares étudiées n'atteignent pas un état écologique satisfaisant, compromettant ainsi leur rôle en tant que réservoirs de biodiversité. Des scénarios de modélisation sont utilisés pour comprendre l'impact de la fragmentation, notamment celle causée par l'autoroute A75, sur la connectivité des habitats. Enfin, ce mémoire propose des mesures de gestion visant à restaurer et à renforcer la résilience des écosystèmes aquatiques. Ces mesures incluent la restauration des mares existantes, la création de nouvelles mares, et le renforcement des corridors écologiques pour améliorer la connectivité des habitats. L'intégration des impacts du changement climatique dans les stratégies de conservation est également mise en avant, soulignant la nécessité d'une approche adaptative et concertée pour préserver les populations d'amphibiens à long terme.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier, en tout premier, Jérôme Bussière - mon tuteur de stage au sein du PNR et chargé de mission biodiversité, forêt et zones humides - de m'avoir offert cette opportunité de découvrir les Grands Causses, un nouveau territoire dans le Sud à explorer pour moi et ma curiosité. Merci de m'avoir poussé à faire des choix, sans jamais les faire à ma place, et merci d'avoir partagé patiemment les rouages de ton métier et ceux du Parc. Merci pour les conseils, les relectures, les photos et les réunions - presque - sans fin.

Je remercie également mon tuteur de stage universitaire, Aurélien Christol, pour ses conseils, son expérience et son rôle de responsable du master ayant permis de compléter ma formation dans la gestion environnementale. De m'avoir écouté, d'avoir écouté la promo 2023-2024 et de s'être adapté au long de ces deux dernières années pour nous offrir une formation riche. Merci d'avoir pris le temps pour la relecture et les dernières corrections qui m'ont permis d'aller jusqu'au bout de ce travail.

Je remercie Matthieu Roques, agent à l'Office Français de la Biodiversité (OFB) de l'Aveyron que j'ai pu suivre lors des inventaires nocturnes sur les amphibiens à La Couvertorade. Merci de m'avoir transmis le savoir sur les amphibiens et la bonne humeur sudiste, de m'avoir prêté une lumière plus puissante que le phare de la tour Eiffel et d'avoir cru en mes talents de photographe à pélobates. Je remercie également Jean-Michel Castan, agent à l'OFB héraultaise, de m'avoir accompagné dans la visite des mares de ma zone d'étude, malgré leur présence parfois douteuse, de m'avoir permis de voir ma toute première chevrette et son petit. Merci à Magali Trille de la LPO Aveyron pour ses critiques constructives avec son regard d'experte naturaliste. Tous vos apprentissages m'ont permis d'ajuster et de préciser mon étude sur un territoire que je continuerai d'explorer.

Je tiens à remercier tout particulièrement Elodie Guignier, ma collègue de bureau, ma chauffeuse de véhicules tous chemins, mon encyclopédie ambulante, ma voisine dévouée, mon agente immobilière, ma camarade de balades, ma fournisseuse de tomates cerises mais, surtout, mon amie ces derniers mois. Merci d'avoir été un vrai rayon de soleil, malgré les nuages, la pluie et même les tempêtes de la vie, d'avoir partagé ta passion pour les petites et grandes bêtes, de m'avoir soutenue, aidée, supporté, et sans qui ce mémoire aurait été dépourvu de la moitié des mares et des poussières.

Petite dédicace à Delphine, ma collègue que j'admire tant. Merci de m'avoir fait découvrir la campagne héraultaise, les écrevisses, les poules aux œufs bleus, les brebis et le fromage. Merci pour ta bonne humeur, ta générosité, le ventilateur et de m'avoir nourrie de haricots et de pois locaux.

Je remercie mes collègues, tous les autres stagiaires et l'ensemble de l'équipe : Alicia, Sylvain, Christophe, Laurent, Sylvie, Noémie, Lola, Rémi, Jean-François, Arnaud - et encore beaucoup d'autres - de m'avoir accueillie au sein du Parc, de la bonne humeur, du café et de la brioche. Merci

pour les conseils, pour la curiosité vis-à-vis de mon travail, de votre participation à ma présentation si stressante pour moi, mais aussi, pour leur aide précieuse et à tout instant. Je souhaite remercier également Kéan, stagiaire de dernière minute, grand explorateur des causses et ami des couleuvres à collier du Larzac. Ton aide sur le terrain et tes photographies ont ajouté la dernière touche à ce mémoire et la continuité de mon protocole IECMA pour quelque temps, je l'espère.

Pour finir, je remercie évidemment toutes les personnes qui m'ont soutenu dans mon quotidien, ma famille - papa, mama, merci d'avoir regardé mes photos de grenouilles ces derniers mois sans trop broncher - et mes ami.e.s de m'avoir nourrie aussi, de ne pas me renier malgré mon éloignement de la géologie et de m'avoir fait rire jusqu'à en oublier ce mémoire justement. Merci à Cha, ma partenaire de voyage, mon soutien et ma touche de bleu, merci de me permettre de concrétiser mes projets, ce mémoire et bien d'autres choses à venir.

AVANT PROPOS

L'étude présentée a été réalisée dans le cadre de mon stage de fin d'étude en deuxième année de master Gestion de l'Environnement, parcours Systèmes socio-écologiques, héritages, dynamiques et gestion à l'université Lyon III Jean Moulin. Ce stage a été réalisé au sein de l'établissement du Syndicat Mixte du Parc Naturel Régional des Grands Causses basée à Millau (12). Cette structure est chargée du Parc Naturel Régional des Grands Causses créé en 1995 et de l'application de sa charte. Elle regroupe des collectivités territoriales et des établissements publics associés et est dirigée par un bureau syndical composé de 16 membres et présidé par Richard Fiol. Le Parc Naturel Régional des Grands Causses ou PNR GC, fait partie du réseau des 58 autres parcs naturels régionaux de France, il est situé en majorité sur le département de l'Aveyron (12), et, depuis la signature de la nouvelle charte en mars 2024, quelques communes sont situées dans le nord du département de l'Hérault (34). La [charte actuelle](#), en vigueur de 2024 à 2039, délimite un périmètre composé de 119 communes, et définit les actions prioritaires à mener pour préserver les écosystèmes, valoriser les paysages et soutenir le développement économique local.

L'organisation du parc s'articule autour de plusieurs pôles thématiques :

- Pôle Aménagement, Paysages et Évaluation : Chargé de la planification territoriale, de la gestion des paysages et du suivi des actions entreprises.
- Pôle Ressources Naturelles et Biodiversité : Responsable de la conservation de la faune, de la flore et des milieux naturels.
- Pôle Développement Territorial : Se concentre sur l'accompagnement des acteurs locaux dans la mise en œuvre de projets de développement durable.
- Pôle Secrétariat, Logistique et Communication : Assure le bon fonctionnement administratif et la communication interne et externe du parc.

Le PNR GC est engagé dans divers programmes d'action pour la préservation de son patrimoine naturel dans le pôle Ressources Naturelles et Biodiversité. Parmi eux, un projet pour la restauration des mares et lavognes sur le Larzac a été initié en 2022. Ce contrat spécifique, financé par la Région Occitanie, vise à réhabiliter ces écosystèmes aquatiques traditionnels, essentiels pour la biodiversité locale et l'équilibre hydrique du territoire. C'est dans le cadre de ce programme que l'étude suivante m'a été proposée. Le stage intitulé *“Diagnostic des continuités écologiques du réseau de mares et de lavognes du sud-Larzac au PNR des Grands Causses”* avait 3 objectifs principaux pour une durée de 5 mois (prolongés de 2 semaines par la suite) qui sont les suivants : (1) Compilation, stabilisation et vérification des mares du Sud-Larzac dans le cadre du PRAM sur SIG ; (2) Compilation et production de données sur la présence d'amphibiens sur un réseau de mares du Sud Larzac ; (3) Proposition d'une méthodologie de détermination des continuités écologiques des mares sur le Sud-Larzac. Ce stage vise donc à connaître et comprendre les réseaux de mares du Sud Larzac afin de proposer des mesures de gestion adaptées à l'échelle de la mare, du sous-réseau et du réseau du Sud-Larzac pour la protection et conservation des amphibiens.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.....	8
1. A LA CONQUÊTE DES MARES EN FRANCE ET SUR LE LARZAC.....	14
1.1 Etat des mares et des lavognes multi-échelles.....	14
1.1.1 Mares en France et en Occitanie.....	14
1.1.2 Mares et lavognes sur le Larzac.....	16
1.2 Amphibiens : recensements et gestions.....	21
1.2.1. Etat des populations d'amphibiens.....	21
1.2.2 Détermination des espèces cibles pour l'étude.....	27
1.3 Menaces et enjeux.....	31
1.3.1 Progression de l'urbanisation.....	32
1.3.2 La fermeture des milieux.....	34
1.3.3 Espèces invasives, agents pathogènes et changement climatique.....	35
2. DES MARES DE QUALITÉ, DES TÊTARDS EN QUANTITÉ ET DES RÉSEAUX CONNECTÉS ?.....	40
2.1 Caractérisation de l'état écologique des mares : indice IECMA.....	40
2.1.1 Protocoles de caractérisation de l'état écologique des mares existant.....	40
2.1.2 Mise en place du IECMA sur le Causse du Larzac.....	43
2.1.3 Résultats et analyses du IECMA sur la zone d'étude.....	44
2.2 Des amphibiens satisfaits sur le Larzac ?.....	48
2.2.2. Comparaison de l'indice IECMA avec la richesse en amphibiens.....	48
2.2.3 Comparaison de la RSA avec les OS de la matrice paysagère.....	49
2.2.4 Le Larzac, un territoire adapté pour amphibiens ?.....	52
2.3 Fonctionnalité du réseau de mares à travers une analyse spatiale : graphes et modélisation...53	
2.3.1 Contexte et travaux existant pour la modélisation.....	53
2.3.2 Modélisation sur Graphab : méthodologie.....	57
2.3.3 Résultats de la modélisation.....	62
3. PROTECTION ET CONSERVATION DES AMPHIBIENS : GESTION(S), SOLUTIONS, ILLUSIONS.....	73
3.1 Quelles mesures de gestion possibles sur les mares du territoire ?.....	73
3.1.1 Réseau continu dysfonctionnel.....	74
3.1.2 Réseau dysfonctionnel à reconnecter.....	75
3.1.3 Réseau continu dysfonctionnel : absence des espèces cibles.....	77
3.1.4 Habitat isolé de qualité.....	78
3.1.5 Réseau continu et fonctionnel.....	79
3.2 Quelles solutions face au déclin du Pélobate cultripède et des amphibiens ?.....	80

3.2.1 Renfort du maillage de points d'eau.....	80
3.2.2 Vers la réintroduction ?.....	82
3.2.3 Prendre en compte le changement climatique.....	84
3.3 Illusions : réflexions diverses sur la gestion de la faune.....	85
CONCLUSION.....	87
BIBLIOGRAPHIE.....	89
ANNEXES.....	96

GLOSSAIRE

ARB : Agence Régionale de la Biodiversité

CC : Changement climatique

CEN Occitanie : Conservatoire d'Espaces Naturels d'Occitanie

CPIE : Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement

EEE : Espèce Exotique Envahissante

IECMA : Indicateur de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens

IPBES : Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

LPO : Ligue de Protection de la Biodiversité

LR : Listes Rouges de l'UICN

NEO : Nature en Occitanie

OFB : Office Français de la Biodiversité

PNR GC : Parc Naturel Régional des Grands Causses

POP Amphibien ou POPA : Protocole ...

PRAM : Programme Régional d'Actions sur les Mares

RSA : Richesse Spécifique en Amphibiens

SHF : Société Herpétologique de France

SINP : Système d'information de l'Inventaire du patrimoine naturel

SNB : Stratégie nationale pour la Biodiversité

SNPN : Société nationale de protection de la nature

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique

UICN : Union Internationale pour la Conservation de la Nature

INTRODUCTION

Le causse du Larzac, situé dans la région Occitanie dans le sud de la France (cf. [figure 1](#)), est un vaste plateau calcaire d'environ 1 000 km² qui s'étend dans les départements de l'Aveyron (12) et de l'Hérault (34). Cette région se distingue par sa géologie karstique particulière, découpant naturellement dans le paysage des plateaux calcaires datant du Jurassique moyen et supérieur creusés par les processus d'érosion au fil du temps (Bruxelles, 2001). Ce processus a également donné naissance aux nombreuses dolines, grottes et avens, témoignant de l'activité hydrogéologique dynamique de la région. Le causse du Larzac fait donc partie de l'ensemble des Grands Causses (Causse du Larzac, Causse Noir, Causse de Sauveterre en Lozère), il est intégré au Parc Naturel Régional des Grands Causses (PNR GC) et inscrit au patrimoine naturel de l'UNESCO. Le climat du causse du Larzac est influencé par sa position géographique, avec des caractéristiques méditerranéennes, particulièrement au sud du plateau de par sa proximité avec la mer Méditerranée, et des caractéristiques montagnardes de par son altitude allant de 600 à 1100 m au-dessus du niveau marin. La pluviométrie annuelle moyenne entre 2002 et 2022 est de 930 mm, avec des années aux fortes précipitations - jusqu'à 1 300 mm en 2014 et 2016 - mais aussi des années particulièrement sèches - moins de 700 mm en 2015 et 2022 (Météo France, 2024). Il y a de grands écarts de pluie saisonniers également avec des étés généralement chauds et secs, tandis que les hivers peuvent être froids, avec des épisodes de gel et de neige. Cette amplitude dans les variations climatiques contribue à la diversité des habitats et des espèces présentes sur le plateau.

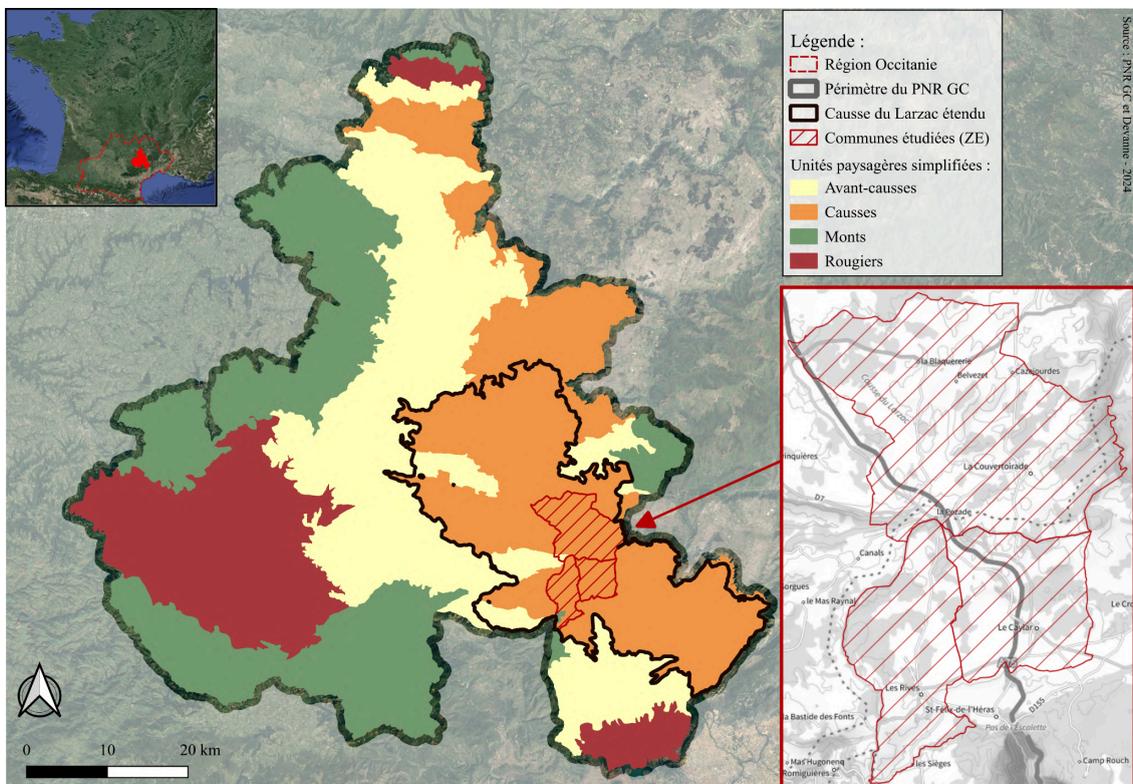


Figure 1 : Périmètres du PNR GC, du causse du Larzac et ses trois de ses vallées et des communes étudiées dans le cadre de ce travail.

Les traces de la présence de l'homme sur le plateau du Larzac remontent à la Préhistoire, au Néolithique, les terres étaient occupées par des pasteurs nomades usant des ressources naturelles abondantes de la région (Artières, 2021). Cette occupation s'ancre véritablement au Moyen-Âge par le développement agricole et économique des ordres religieux des Templiers et des Hospitaliers au XIIe et XIIIe siècles. Parmi leurs activités, on compte l'élevage des moutons qui pâturent sur les grandes étendues disponibles sur le causse. Aujourd'hui, l'élevage ovin reste une des activités dominantes sur ce territoire, malgré la crise agricole et le fort exode rural du siècle passé. C'est cette histoire agropastorale qui a donc façonné durant plusieurs siècles l'apparence steppique des paysages du Larzac : de vastes prairies ouvertes entretenues par les troupeaux entourées de végétations ligneuses - maquis et garrigues typiques de la région Méditerranéenne semi-aride - de chênaies clairsemées adaptés aux sols calcaires et de quelques hêtraies et forêts de pin sylvestre sur la limite nord-est (Peyron, 2016 ; PNR GC 2024). La [figure 2](#) représente la diversité de ces entités paysagères caussenardes. La charte du PNR GC 2024-2039 définit les 4 catégories d'occupation du sol suivant : les milieux ouverts représentent environ 43 % du paysage, les cultures et prairies 20 %, les boisements 20 % également (dont 58 % de feuillus et 42 % de conifères) et le bâti environ 2 à 3% du causse du Larzac (Atlas des paysages, 2024).



Figure 2 : Diversité de paysages sur le plateau du causse du Larzac : zone humide calcaire (haut gauche), prairies sèche (haut droite), vallon forestier (bas gauche) et zone de culture (bas droite) - Photos: Bussière et Devanne - Printemps 2024

De par son hydrologie souterraine au système karstique complexe et son climat saisonnier marqué par les extrêmes, les agriculteurs ont mis en place des petits éléments cruciaux pour récolter et stocker l'eau de surface sur ce plateau : il s'agit des lavognes (cf. [figure 3](#)). Les mares et lavognes sont des éléments vernaculaires du paysage caussenard ayant eu pour rôle principal l'abreuvement des troupeaux de bétail ovins (PNR GC, 2013). Avec les avancées technologiques et la déprise pastorale généralisée à l'échelle de région, ces points d'eau patrimoniaux ont été abandonnés, comblés et ont en grande partie disparu. Pourtant, en dehors de leur rôle de stockage de l'eau, les mares et lavognes sont des écosystèmes à part entière. Oasis de biodiversité, points relais pour le déplacement de la petite faune, terrains de chasse pour les chauves-souris et/ou oiseaux ou simples points d'hydratation pour la grande faune, même temporaires, ce sont des éléments naturels d'intérêt faunistique et floristique majeur. Indépendamment du désintérêt pour ces points d'eau qui entraîne leur disparition, d'autres paramètres menacent la stabilité de ces milieux : fermeture des milieux, déficit hydrique, eutrophisation, artificialisation des milieux alentour, pesticides, comblement, piétinement intense ... compromettent leur fonctionnalité écologique. Le changement climatique accentue certains facteurs tels que le développement de la végétation, l'assèchement précoce ou même définitif, le déséquilibre fonctionnel par la hausse de la température de l'eau mettant ainsi en péril les nombreuses espèces habitant ces milieux remarquables.



Figure 3 : Lavogne de Belvezet 1 et lavogne de la Libertade sur la commune de La Couvertoirade (12)
 Photos: Devanne - Printemps 2024

Parmi les occupants de ces points d'eau menacés, les amphibiens sont particulièrement sensibles à la qualité de leur habitat aquatique qui leur est essentiel à l'accomplissement de leur cycle de vie. En outre, le mot amphibien est en provenance du grec ancien *amphibios* avec *amphi-* signifiant "double" et *-bios* faisant référence à la "vie". L'étymologie de ce mot reflète donc l'amphibie, soit le fait de mener une double vie avec un cycle dans l'eau (reproduction/ponte et développement larvaire) et un cycle sur terre (migrations saisonnières et hivernages) chaque année (Oxford Dictionary, 2024). La sensibilité des amphibiens s'étend donc à la qualité de leur habitat terrestre également, qui est tout aussi menacé par les pressions humaines. Les amphibiens sont divisés en deux ordres : les Anoures, au corps court, trapu et sans queue au stade adulte, qui sont subdivisés en 6 familles : Discoglossidés,

Pélodytidés, Pélobatidés, Bufonidés, Hylidés et Ranidés. Et les Urodèles, au corps allongé et prolongé par une queue héritée du stade larvaire, subdivisés en 2 familles : les Salamandridés et les Pléthodontidés (Duguet et *al.*, 2018). En France métropolitaine on compte 38 espèces d'amphibiens, parmi lesquelles 25 sont répertoriées en Occitanie (Pottier, 2022). Sur le Larzac, on peut trouver une dizaine d'espèces d'amphibiens indigènes (cf. [annexe 1](#)), dont la Salamandre tachetée - *Salamandra Salamandra*, Linnaeus 1758 - présente très ponctuellement en bordure de causse.

L'intense érosion de la biodiversité, considérée comme la 6e extinction de masse (Ceballos et al, 2017), touche la totalité de la faune et de la flore sur la planète, et très particulièrement les amphibiens. En 2008, la menace d'extinction pesait sur environ 1/3 des 6 300 espèces d'amphibiens dans le monde (Wake et Vredenburg, 2008), notamment à cause de l'émergence d'une maladie infectieuse appelée chytridiomycose causée par un champignon pathogène et responsable de l'extinction de plus de 200 espèces. En 2021, l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) revalorise ce chiffre à 41 % des espèces d'amphibiens dans le monde (UICN, 2021). En France métropolitaine, ce sont 23 % des espèces (soit 8 des 35 espèces évaluées¹) actuellement menacées (UICN - Comité Français, 2015), ces dernières sont donc porteuses d'un statut de protection. Ces mêmes Listes Rouges, incluent également une estimation de la tendance d'évolution des populations (en augmentation, en diminution, stable ou inconnue), et les résultats montrent que même si 8 espèces sont menacées d'extinction, les tendances des populations sont en régression conséquente pour 24 des 35 espèces d'amphibien de France métropolitaine en 2015. Et, même si aucune réévaluation n'a eu lieu depuis, la SHF a publié en 2021 les chiffres résultant d'une étude en Normandie, avec 1255 sites aquatiques suivis entre 2007 et 2018, montrant que sur les 15 taxons d'amphibiens suivis 9 des espèces ont une tendance décroissante (Astruc et *al.*, 2021).

Les raisons de ce déclin alarmant des populations d'amphibiens correspondent globalement aux cinq grandes causes responsables du déclin de la biodiversité mondiale identifiées et publiées par l'IPBES en 2019 : (1) Transformation et/ou destruction des écosystèmes naturels par la progression de l'urbanisation, l'étalement des zones agricoles et industrielles, provoquant une perte des habitats pour la faune et la flore mais aussi des fragmentation au sein et entre les habitats ; (2) La surexploitation des ressources naturelles mettant directement ou indirectement les espèces en danger, par la destruction ou la compétition déloyale pour les ressources ; (3) Les changements climatiques qui affectent directement les espèces par la hausse des températures ou les événements climatiques extrêmes mais aussi par ses effets qui viennent accentuer les conséquences d'autres facteurs en se cumulant ou en les aggravant ; (4) Les pollutions diverses d'origine anthropiques menacent l'équilibre fragile et la capacité de résilience des écosystèmes : pollutions chimiques agricoles, industrielles, urbaines, plastiques, les pollutions sonores et lumineuses proches des infrastructures humaines ; (5) Les espèces exotiques envahissantes (EEE) introduites sur la totalité des continents par l'homme

¹ [LR_Regionales_Amphibiens_Reptiles.xlsx \(lashf.org\)](#)

volontairement ou involontairement, perturbant les écosystèmes, faisant la compétition aux espèces indigènes et responsables de l'extinction de nombreux taxons (IPBES, 2019).

Les amphibiens font partie des régulateurs de l'équilibre des écosystèmes des mares et autres points d'eau, d'une part, de par leur position dans les chaînes trophiques avec la consommation d'insectes - dont certains nuisibles et/ou vecteurs de maladies - et comme proie pour leurs prédateurs, comme agents de bioturbations (Hocking et Babbitt, 2014 ; Rowland et al, 2017), comme bioindicateurs de la santé des écosystèmes de par leur peau fine et leur système vasculaire superficiel qui les rendent très sensibles aux polluants (West, 2018) ou encore comme représentant de la richesse et de la diversité génétique et spécifique sur Terre. Ce groupe taxonomique, le plus menacé au monde, est donc une priorité de protection et de conservation à toutes les échelles. Mais, outre les amphibiens, les mares et les lavognes abritent une diversité d'autres espèces aquatiques, telles que des insectes aquatiques - odonates, diptères, coléoptères - des mollusques et diverses plantes hydrophiles. Ces espèces jouent des rôles clés et tout aussi indispensables que les amphibiens dans le fonctionnement et l'équilibre des écosystèmes aquatiques : participation à la décomposition de la matière organique, à la purification de l'eau et à la chaîne alimentaire (Hershey et al., 2010 ; Perron et al., 2021 ; Atkinson et al., 2023). La conservation des écosystèmes aquatiques nécessite donc une gestion attentive des points d'eau et du milieu alentour afin d'assurer leur pérennité et leur résilience face aux changements futurs.

Face aux défis écologiques posés par la gestion des mares et des lavognes, plusieurs acteurs se sont impliqués, parmi eux, et à l'échelle du Larzac, le Parc Naturel Régional des Grands Causses porteur d'initiatives telles que des restaurations de mares et lavogne - patrimoine vernaculaire et patrimoine biodiversité du causse, notamment vis-à-vis du Pélobate cultripède - des travaux de curage, chantiers de désempoisonnement ou des chantiers de lutte contre les espèces exotiques envahissantes (EEE). Ces actions ont pour objectif de rétablir la santé écologique de ces points d'eau perturbés et de maintenir ou recréer des conditions favorables à la vie des amphibiens et autres espèces associées. Mais un acteur du territoire n'agit pas seul, et de nombreux autres organismes sont impliqués dans la gestion et la conservation des mares sur le Larzac, sur des aspects de gestion, inventaires et suivis des populations d'amphibiens ou encore sur les aspects d'animation territoriale et sensibilisation de la population locale sur les enjeux de conservation : c'est le cas de l'OFB de l'Aveyron (OFB 12) et de l'Hérault (OFB 34) présentes sur des chantiers et agentes des suivis des populations d'amphibiens post-chantiers, le CEN Occitanie porteur des initiatives de restauration et gestion ainsi que des suivis sur les communes du Larzac hors PNR dans l'Hérault, mais également les CPIE du Rouergue et CPIE des Causses Méridionaux, la LPO Aveyronnaise ainsi que des associations locales comme l'association KERMIT réalisant l'ensemble des missions variées citées précédemment. Les partenariats établis entre ces acteurs du territoire permettent l'obtention de ressources financières suffisantes pour mettre en place des actions, mais aussi la mutualisation des moyens humains et compétences.

C'est dans le cadre de programmes d'actions sur les mares et lavognes qu'est née la nécessité d'apposer un diagnostic sur l'état de conservation des mares et lavognes du causse du Larzac, de recueillir des informations sur la dynamique des populations d'amphibiens, notamment suite aux restaurations récentes afin de vérifier le taux de réussite de ces travaux. Ainsi que d'évaluer la fonctionnalité des réseaux de mares et ce, dans le but de proposer des mesures de gestion ajustées aux éléments composant le territoire singulier du Larzac. Pour cela, une zone d'étude (ZE) a été délimitée en concertation avec les acteurs listés ci-dessus comprenant les 3 communes du Larzac suivantes : La Couvertoirade dans l'Aveyron, Les Rives et Le Caylar dans l'Hérault. Le choix est dans un premier temps ciblé sur l'extrémité sud du PNR GC sur le Larzac. En effet, cette zone correspond à la limite nord-est de répartition du Pélobate cultripède, un crapaud inféodé aux milieux ouverts, rare et en déclin (statut EN sur les LR régionales et nationales) qui a du mal à s'établir de manière pérenne sur les mares du Larzac. La survie de l'espèce est menacée par la présence de la A75 qui scinde en deux longitudinalement son territoire sur le Larzac. La sélection s'est ensuite arrêté sur les communes de la Couvertoirade et du Caylar, sur lesquelles le Pélobate est historiquement présent, ayant fait l'objet des travaux de restauration des mares et lavognes et traversées par l'autoroute A75, élément dont on cherchera à quantifier l'impact. La commune des Rives, située dans l'Hérault, a été annexée dans un second temps après la confirmation de présence de l'espèce sur cette commune et, car la A75 étant située au milieu du Caylar (cf. [figure 1](#)) il vaut mieux prolonger l'étude vers l'ouest pour mieux prendre en compte les continuités écologiques de part et d'autres de cette autoroute. La zone d'étude étant située sur deux départements avec la partie héraultaise nouvellement annexée au PNR GC, la mise en place de cette étude a été l'occasion de mettre en lien les différentes structures de gestion et protection des écosystèmes, en particulier le CEN Occitanie ayant réalisée des suivis amphibiens et la restauration de mares sur le Larzac méridional.

Nous allons donc tenter de répondre aux problématiques qui suivent : Quel est l'état écologique des mares et du réseau de mares dans le sud du plateau du Causse du Larzac, en particulier dans les 3 communes de la zone d'étude établie ? Et, par conséquent, quelles sont les actions à mettre en place pour la protection et la conservation des amphibiens, en particulier pour Pélobate cultripède, espèce patrimoniale du causse du Larzac ? Dans une première partie nous établirons le bilan chiffré des mares et lavognes, l'état des populations d'amphibiens ainsi qu'un approfondissement des menaces et des enjeux à diverses échelles spatiales. Puis, dans un second temps, nous détaillerons les protocoles déployés pour caractériser l'état écologique des mares et des réseaux de mares. D'abord à travers l'indicateur de l'état de conservation des mares à amphibien dit '*IECMA*' évalué sur le terrain et analysé ensuite. Puis au travers d'une modélisation des réseaux de mares sur la zone d'étude grâce aux logiciels de cartographie numérique *Qgis* et *Graphab* permettant ainsi de faire un diagnostic de la connectivité et de quantifier l'impact de la A75 sur le déplacement d'amphibiens sélectionnés. Pour finir, suite à ces diagnostics nous proposeront des mesures de gestions pour la conservation des mares et des amphibiens, complétées par une réflexion sur la gestion de la faune sauvage en particulier dans le contexte actuel du changement climatique.

1. A LA CONQUÊTE DES MARES EN FRANCE ET SUR LE LARZAC

Les mares et lavognes en France sont des écosystèmes aquatiques de petite taille, faisant partie de la catégorie des eaux stagnantes classées par Dussart en 1992². Selon le Programme national de recherche sur les zones humides (Sajaloli et Dutilleul, 2001), une mare est une étendue d'eau naturelle ou anthropique d'une surface maximale de 5 000 m² et d'une profondeur inférieure à 2 m. Utilisées pour le stockage de l'eau, comme réservoir de pêche, système d'abreuvement pour le bétail, élément ornamental et/ou pédagogique en milieu rural ou urbain, lavoirs, entité de protection de la biodiversité ou encore pour la collecte de ruissellement, ces points d'eau jouent un rôle essentiel à l'échelle locale et micro-locale dans le cycle de l'eau. En bon état écologique, ces écosystèmes équilibrés sont une réserve pour la faune et la flore particulière de ces milieux mais servent également de point-relais et/ou de corridor pour la biodiversité se dispersant à toutes les échelles. Les mares, à la fois corridors et réservoirs³, sont donc des éléments appartenant aux trames écologiques vertes et bleues (Art. L371-1 et R.371-19 du Code de l'Environnement). On peut trouver quelques mentions de « la trame turquoise » puisque ces milieux sont à la fois composés d'éléments terrestres et aquatiques.

1.1 Etat des mares et des lavognes multi-échelles

Afin de préciser le contexte à l'échelle nationale et régionale, nous tenterons d'établir un bilan chiffré de l'ensemble des points d'eau correspondant à la définition de Sajaloli et Dutilleul en France, en Occitanie puis à l'échelle plus locale de notre zone d'étude. Cette dernière ayant fait l'objet d'une campagne de prospection en 2024 dans le cadre de ce stage.

1.1.1 Mares en France et en Occitanie

Selon le Conservatoire d'Espaces Naturel de Normandie, 30 à 50% des mares ont disparu en France depuis 1950 (CEN Normandie, 2023) en raison de l'intensification des activités agricoles et de l'urbanisation principalement, cependant il existe peu d'articles et d'études qui se penchent sur l'estimation du nombre de mares en France. Parmi celles qui s'y sont essayées, Scher en 2006 estime, via des traitements cartographiques, le nombre de mares à 1 000 328 en France. A travers l'étude de cartes IGN au 1/25 000, de plans locaux du 1/5 000 au 1/20 000, du traitement de photographies aériennes et enfin de l'analyse de cartes anciennes et de textes, il parvient à comptabiliser les superficies de moins de 0,5 ha sur le territoire. Malgré sa rigueur et la variété de ses sources, il s'agit d'une estimation globale avec une superficie comprise entre 600 et 2 500 ha d'eau et cette imprécision

² « Deux grandes catégories d'eaux continentales se présentent au géographe ou au naturaliste : les eaux stagnantes et les eaux courantes » (Dussart, 1992)

³ On appelle corridor écologique une liaison fonctionnelle entre différents espaces naturels, agricoles, forestiers ou urbains qui permet le déplacement, la migration et la dispersion des espèces. Un réservoir est un habitat permettant aux espèces d'accomplir toute ou une partie de leur cycle de vie (Centre de ressources TVB, 2024)

ne nous permet pas de stabiliser ce chiffre. Une synthèse des connaissances sur les zones humides en France est publié en 2021 par le Ministère de la transition écologique et la SDES dans le cadre du bilan environnemental de la France publie la phrase suivante : « *À l'heure actuelle, aucun inventaire national ne permet d'évaluer de manière précise et parfaitement exhaustive la surface des milieux humides et aquatiques continentaux sur l'ensemble du territoire français métropolitain et ultramarin* ». Il s'estiment dans cette même étude que 23% du territoire métropolitain serait recouvert de zones humides en 2014 mais la catégorisation des mares n'est pas précisée dans l'étude des eaux de surfaces continentales. Mais si aucune donnée à l'échelle nationale n'est exploitable, des efforts d'inventaires à l'échelle des régions et/ou départements sont largement déployés, notamment par les structures de gestion et protection de la nature. C'est le cas de la SNPN qui depuis 2010 a mis en place des inventaires participatifs en Ile-de-France ayant permis de recenser plus de 23 300 mares (SNPN, 2024), de l'Observatoire Régional des mares en Auvergne-Rhône-Alpes avec le projet «Mares, où êtes-vous?» comptabilisant 20 537 signalements de mares (ORM Auvergne-Rhône-Alpes, 2024). Ces recensements de points d'eau ont pour objectif d'améliorer la connaissance sur les territoires mais également d'assurer la gestion de ces petites entités aquatiques, réservoirs d'une biodiversité importante.

« Le territoire d'Occitanie, jadis réputé pour son réseau de mares très dense, fait face à un appauvrissement et à une fragmentation importante du réseau » (CEN Occitanie, 2024), c'est pourquoi le CEN Occitanie a adapté un outil cartographique créé par le CEN Lorraine pour la mise en œuvre de son programme régional d'actions en faveur des mares (PRAM). Le PRAM est en vigueur dans de nombreuses régions, dont la Normandie ou le Grand-Est, il s'agit d'un programme qui assure la coordination des différents acteurs et structures locales - puisque les actions de gestion des mares sont très localisées - en plus de la cohérence des actions et des documents mis en place pour les mares (Lang et Géraud, 2022). Dans leur base de données, plus de 24 000 mares sont référencées, et comme pour les autres recensements, ce chiffre est encore bien loin du véritable nombre de mares présents sur le territoire (Aveyron Environnement, 2017). Ces mares répertoriées peuvent être visualisées sur l'outil cartographique via une application en construction. Cependant, le PRAM, dans leur document de Stratégie d'intervention territorialisée réalisée en juin 2022, a proposé une carte de répartition du nombre de mares en réseau résultant des inventaires terrains réalisés. Un réseau de mares est défini comme une formation d'au moins cinq entités distantes deux à deux de 500 m au maximum (Scher, 2010). Sur la carte qui suit, [figure 4](#), ces réseaux sont représentés en fonction des enjeux - de très faibles à très forts - qui traduisent la densité de ce réseau et des espèces qui en dépendent. On remarque que ces réseaux sont concentrés dans le nord-ouest de l'Aveyron et nord-est du Tarn-et-Garonne ainsi que dans le Gers. Dans la zone d'étude - représentée sur la carte par un carré rouge - est situé au sein d'un espace à faible densité de mares en réseau qui traduit le manque de connaissances sur le secteur ou bien la rareté des points d'eau sur le Causse du Larzac.

Répartition du nombre de mares en réseaux par maille (au moins 5 mares distantes de moins de 500 m)

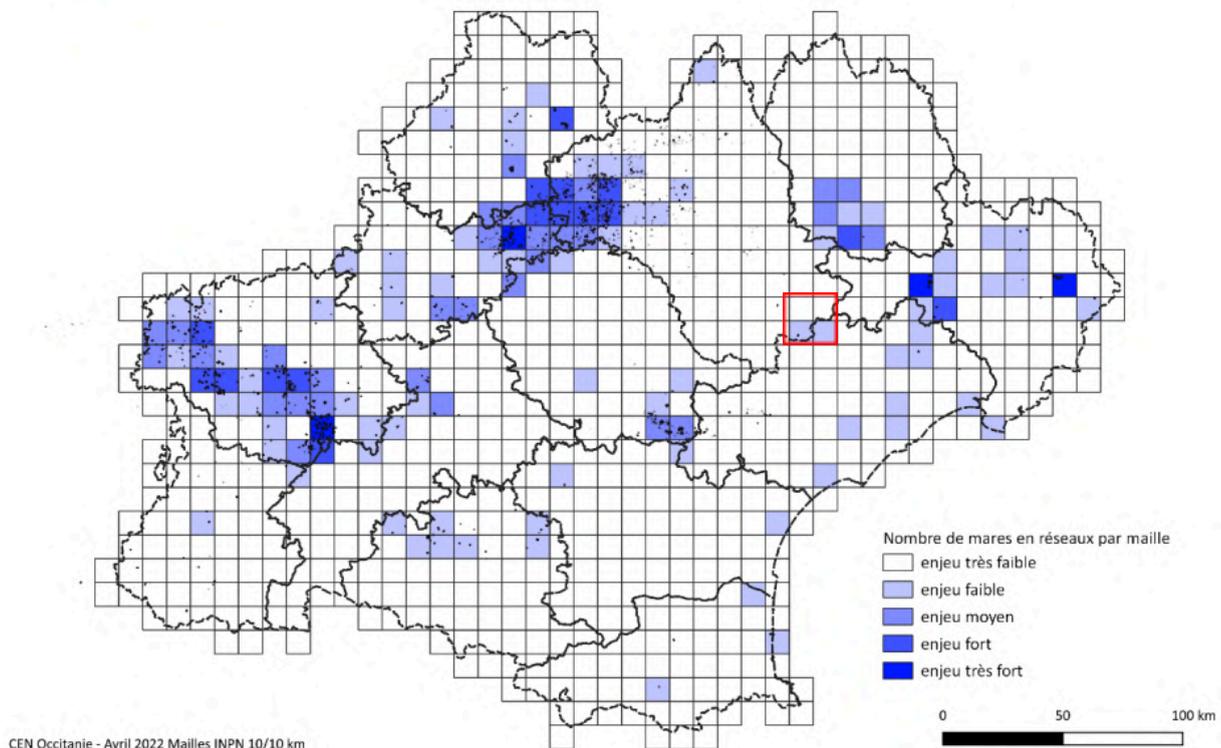


Figure 4 : Carte de répartition des réseaux de mares par maille de 10km x 10km en Occitanie (Lang et Géraud, 2022).

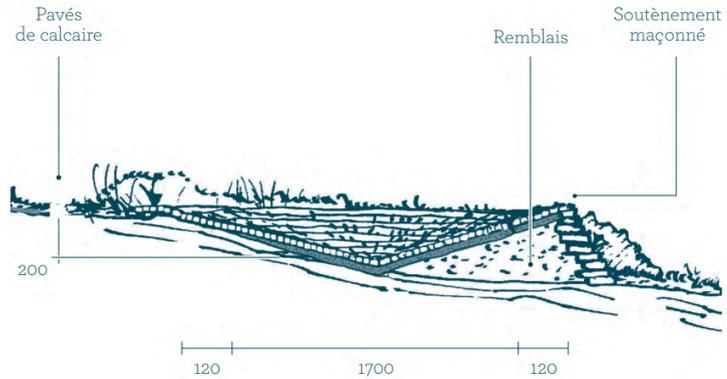
1.1.2 Mares et lavognes sur le Larzac

C'est donc dans le cadre de cette campagne de recensement participatif du PRAM Occitanie que les mares au sein du Parc naturel régional des grands causses ont été évaluées. La période de prospection s'est étalée de février à juillet 2024, et dans un premier temps sur les mares des 3 communes de la zone d'étude. Chaque mare est renseignée à l'aide de la fiche « Mares » standard du (cf. annexe 8) qui permet, en partie, de caractériser l'état de conservation des mares (cf. 2.1.1.) avec des paramètres tels que les pourcentages de végétation aquatique et semi-aquatique, la superficie, le pourcentage de berges en pentes douces ou encore les pressions qui s'exercent sur la mare signalée. Dans les paragraphes qui suivent nous allons nous intéresser particulièrement aux lavognes, éléments vernaculaires du paysage du Larzac puis aux recensements de mares sur le Larzac et notre ZE.

1.1.2.1 Lavognes et mares sur le causse du Larzac

Les lavognes sont des petites retenues d'eau, le mot provient de l'occitan *lavanha* qui désigne toutes les mares, qu'elles soient naturelles ou artificielles. Au sein du PNR GC et dans le cadre de cette étude, les lavognes désignent uniquement les mares ayant été pavées. Leur création répond au besoin

de stockage de l'eau, à des fins pastorales en particulier, sur un causse au climat aride et à l'hydrologie de type souterraine. Il s'agit des creux naturels humides ou non - telles que les dolines nombreuses dans les milieux karstiques - recrusés et étanchéifiés avec de l'argile et parfois pavés afin d'assurer sa pérennité en prévision des cycles de gonflement et rétractation des argiles altérant son rôle étanchéifiant et du piétinement du bétail et de la faune sauvage. Il existait un savoir ancestral, très technique, permettant leur construction mais surtout leur entretien dans le temps. Par exemple, les dalles de pavage sont ancrées à la verticale dans l'argile, en commençant du centre vers l'extérieur pour former une



voûte (cf. coupe transversale de la lavogne des Liquisses ci-dessus - PNR GC, 2014) et non à plat, car elles vont glisser sur la couche d'argile et finir par se chevaucher avec le temps. Mais la plupart de ces savoir se sont perdus et aujourd'hui, les techniques sont très différentes : on trouve des lavognes restaurées à base de ciment ou de bâche plastique donc l'étanchéité et la durabilité temporaire posent encore question.

Tout nous l'avons présenté pour la France et l'Occitanie, les mares et lavognes sont en voie de disparition sur le causse du Larzac. Afin d'évaluer la densité restante de mares sur le Larzac, un travail de compilation cartographique des données mares a été réalisé. Les données cartographiques pointant les mares et lavogne sur le Larzac ont été triées sur le logiciel *Qgis 3.34.4*. Les sources compilées sont variées, elles proviennent des acteurs du groupe de travail sur les mares du Sud-Larzac animé par le PNR GC : données du CEN-PRAM 2024, de la LPO Aveyron, des inventaires NEO 2019, données de l'association KERMIT, des diagnostics éco pastoraux du PNR GC en 2007-2009 et sur la commune de Sainte-Eulalie-de-Cernon en 2024.

Après un premier tri éliminant les doublons et triplons de mares superposés, il a fallu faire une première vérification sur une orthophotographie datant de 2022. Puis, dans un deuxième temps, des vérifications terrain de l'existence des points récupérés ont eu lieu, en parallèle de la saisie des paramètres de la mare dans la fiche PRAM. Ainsi, les mares de la zone d'étude ont été totalement vérifiées sur le terrain lorsque les conditions le permettait (accord des propriétaires, milieux non refermés) ainsi que quelques autres mares aux environs. La [figure 5](#) qui suit présente la synthèse cartographique de ce premier bilan sur la présence de mares sur le Larzac.

On constate, à cette échelle, que les mares sont réparties de façon plus homogène sur la partie sud aveyronnaise et la partie héraultaise. Pour commencer, on remarque une grande zone dépourvue de mares au nord de la Couvertoirade, sur la partie est de la zone il s'agit du camp d'instruction du

Larzac à l'Hospitalet-du-Larzac. Ce terrain modelé et adapté à l'exercice des pratiques militaires ne comprend plus aucune mare sur son périmètre. Sur la partie ouest, il s'agit d'une zone aménagée par l'autoroute et le développement agricole ayant conduit à la disparition de ces points d'eau historiquement présents sur les zones de pâturages. On peut également constater que sur la partie ouest aveyronnaise, les mares se concentrent aux abords du causse du Larzac, sur les reliefs en pente composé de marnes principalement (cf. carte géologique [annexe 2](#)). C'est le cas pour les pentes marneuses de la vallée de Cernon, celle de Cornus (en particulier au niveau de Canals) et au Clapier. Les marnes perméables permettent les écoulements de l'eau et la formation naturelle de mares.

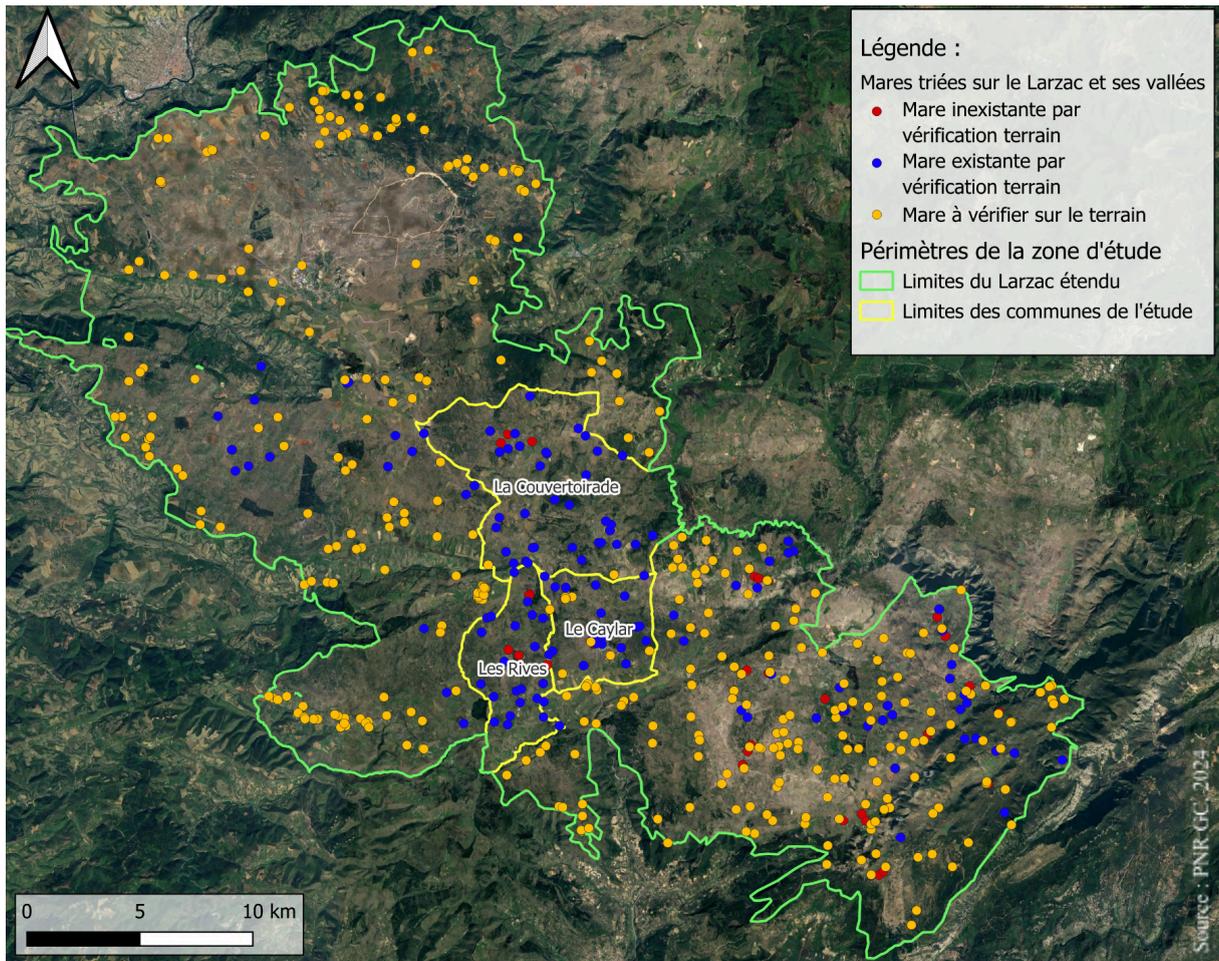


Figure 5 : Cartographie des mares et lavogne triées et vérifiées par photo-interprétation et/ou sur le terrain en 2023-2024 sur le Causse du Larzac.

Au sein des 3 communes constituant la zone d'étude et dans la partie héraultaise, au cœur du plateau du Larzac, les zones de pâturages sont extensives et le patrimoine vernaculaire a été en partie épargné. De nombreuses lavognes - témoins du passé agro-pastoral - et quelques mares subsistent, mais ce premier bilan ne précise pas leur état écologique et il pourrait s'agir de points d'eau abandonnés, comblés ou à définitivement sec aujourd'hui. C'est pourquoi un travail de vérification terrain est en cours pour le restant des mares, à l'extérieur de la zone d'étude.

1.1.2.2 Gestions et restaurations sur le Larzac

Nous avons mentionné au cours de l'introduction que certaines mares et lavognes sur le Larzac ont fait l'objet de restaurations et/ou chantiers de gestion récemment. Ces actions, réalisés par le PNR GC, ont fait l'objet de diverses approches : une approche "patrimoine vernaculaire" afin de restaurer les lavognes pavées, une approche "agro pastorale" afin de rétablir des points d'eau d'abreuvement pour les troupeaux et une approche "biodiversité" pour restaurer des milieux ou des populations d'espèces menacées. C'est via cette dernière approche que la restauration d'un réseau fonctionnel de mares a débuté en janvier 2021, notamment pour le maintien des populations de Pélobate cultripède menacées. Les travaux réalisés visaient une restauration à divers degrés : il s'agit de travaux d'entretien qui doivent être réalisés régulièrement pour assurer la pérennité du point d'eau, des chantier de lutte contre les espèces introduite volontairement ou involontairement et des travaux de restauration qui visent la remise en eau d'une mare principalement par manque d'étanchéité.

Parmi les travaux d'entretien des mares, on peut mentionner le curage, afin d'enlever la matière organique accumulée au fond de la mare et menaçant son fonctionnement (cf [figure 6](#) - Mare de Puit Laurent), les débroussaillages dans l'environnement immédiat de la mare limitant ainsi les dépôts de matières organique et favorisant l'ensoleillement de la mare pour le développement de la végétation et le Pélobate cultripède et, comme dernière action, la mise en défens d'une lavogne avec une clôture afin d'éviter le piétinement par exemple. Pour lutter contre les espèces introduite dans les mares, il y a eu des chantier de désempoisonnement, généralement réalisés lors des curages, ou bien des chantiers de lutte contre les plantes exotiques envahissantes, plus conséquents dans l'objectif d'assécher la mare avec la pose d'un drain réversible. Pour finir des travaux de ré-étanchéification ou restauration totale peuvent être entrepris à divers degrés : une étanchéification par rejointage ou rebouchage de fissures (localisée), la recréation de point d'eau asséché par la pose d'une bâche EPDM (caoutchouc synthétique) étanche (cf. [figure 6](#) - Mare de la Baraque Froide) et, pour finir, le démontage totale ou partiel d'une lavogne avec réfection du pavage et jointure étanche à la bentonite⁴ (cf. [figure 6](#) - Lavogne de l'Aire). L'ensemble de ces travaux doit respecter des périodes précises pour limiter leur impact sur la faune et flore environnante.

Des actions complémentaires en faveur des mares ont eu lieu en parallèle de ces travaux. C'est le cas de la mise en place de chantiers participatifs (cf. [figure 6](#), le chantier de Puit Laurent avec la participation du BTS GPN de la MFR de Valrance), de la campagne de sensibilisation Mare's Attaque diffusée sur des sucettes publicité au coeur de la ville de Millau au printemps et à l'automne 2023 ainsi que la mise en place de pupitres d'interprétation en bord de mares pour la dissuasion d'introduction de poissons dans les lavognes restaurées.

⁴ La bentonite est une argile de type smectite.



Figure 6 : Travaux de curage sur la mare Puit Laurent (Nov. 2022), canal d'arrivée et pose d'une bâche EPDM sur la mare de La Baraque Froide (Nov-2021) et restauration de la lavogne de l'Aire (Avant/après janvier 2024) - Photos: J. Bussière, PNR GC 2021-2024.

1.2 Amphibiens : recensements et gestions

1.2.1. Etat des populations d'amphibiens

Les amphibiens font partie des espèces les plus menacées au monde (UICN, 2021), c'est pourquoi le suivi des populations est indispensable à la conservation des amphibiens. En France, il existe 35 espèces d'amphibiens dont 8 avec un statut de protection des listes rouges de l'UICN. Nous allons nous pencher sur les tendances à l'échelle nationale et régionales des populations recensées afin de mieux comprendre le contexte plus local de la zone d'étude. Puis, nous établirons le bilan des populations d'amphibiens sur la zone d'étude caussenarde pour laquelle des inventaires naturalistes ont été réalisés en 2024. Ce bilan vise à fournir une vision d'ensemble des dynamiques de population, des menaces et des enjeux de conservation à l'échelle locale.

1.2.1.1 Données naturalistes à l'échelle nationale et régionale

En France, le suivi POP Amphibien de la Société Herpétologique de France est un protocole d'inventaire naturaliste mis en place depuis 2011 (Barrioz et Miaud, 2016). Il permet de connaître l'évolution des populations d'amphibiens (accroissement, diminution, stabilité) à l'échelle nationale, à partir de l'estimation de l'occurrence des communautés d'amphibiens dans les sites aquatiques sélectionnés. Il s'agit d'un protocole peu chronophage, non intrusif et permettant un suivi régulier pour alimenter les actions locales et les résultats régionaux et nationaux. La fréquence de prospection proposée est de tous les 2 ans, ce qui suffit à repérer les changements dans les populations. Il nécessite la détermination d'au moins 3 sites de suivi qui feront l'objet de 3 passages - minimum 1 de jour et 1 de nuit - durant la période de reproduction soit de février à juin. Les données résultant de ces prospections sont saisies dans une grille standardisée (cf. annexe 8) et envoyées à la SHF pour leur analyse bi-annuelle. Il s'agit du protocole le plus répandu en France avec une compilation de données depuis 2004, et, les suivis à la hausse ces dernières années ont permis d'analyser les tendances concernant l'évolution des populations à l'échelle nationale. Dans le bilan POPA 2022-2023, 9 espèces d'anoures ont été étudiées sur 1 668 sites, ne comprenant pas le Pélobate cultripède. Après analyse statistique, les tendances sont plutôt à la hausse pour le Crapaud commun, le complexe des grenouilles vertes et la Grenouille agile, tandis que la Grenouille rousse présente une évolution stable. En revanche, les populations d'Alyte accoucheur, le Crapaud calamite, le Crapaud épineux, le Pélodyte ponctué et la Rainette verte sont en diminution rapide (Trochet et al, 2024). Pour les 6 espèces d'urodèle, le Triton alpestre, le Triton marbré et le Triton ponctué présentent des tendances stables (voire légèrement à la baisse) tandis que la Salamandre tachetée, le Triton crêté et le Triton palmé montrent une évolution des populations décroissante. Selon la discussion de la SHF les tendances évoluent rapidement, et, globalement elles évoluent vers une chute des populations d'amphibiens. Cependant, ces observations sont à remettre dans leur contexte, les données terrains comprennent toujours de nombreux biais et, dans ces résultats, la Normandie porte 43 % de

l'information de la tendance nationale, et les espèces présentant un changement de leur tendance sont très présentes dans cette région. Pour mieux connaître les tendances concernant les espèces présentes sur la zone d'étude, il faut se pencher sur les données amphibiens en Occitanie.

La région Occitanie comptabilise 20 espèces d'amphibiens indigènes (ARB, 2022) dont 2 « *kleptons* » du complexe des grenouilles vertes auxquelles s'ajoutent 5 espèces introduites non indigènes. En 2022, plus de 2000 sites ont fait l'objet d'un suivi, dont le POP Amphibien qui est inclus dans les bilans de la SHF. L'Observatoire régional de la Biodiversité (ORB) est un outil produit par l'Agence Régionale de la Biodiversité (ARB) d'Occitanie qui travaille sur l'évolution de la faune et de la flore en Occitanie. L'ORB a créé un indicateur de l'état et la répartition des populations d'amphibiens en Occitanie à partir des données SINP (Systèmes d'Information de l'inventaire du Patrimoine Naturel), de l'Atlas des amphibiens de Midi-Pyrénées et de l'Atlas des amphibiens et reptiles du Languedoc-Roussillon⁵. Sur leur carte de répartition d'espèces d'amphibiens par maille de 10km x 10km, [figure 7](#), on peut constater qu'il y a de fortes disparités de répartition d'espèces. Ces disparités sont principalement liées à l'effort de prospection ainsi qu'aux degrés de diversité des paysages. On rappelle que le suivi quantitatif de ces populations est encore difficile à mettre en place, d'autant plus qu'en dehors du milieu aquatique, les espèces se font très discrètes en phase terrestre et leur détection est plus chronophage. Cette carte nous permet d'identifier les secteurs peu prospectés, en Lozère notamment, mais aussi les secteurs où l'effort de prospection et de suivi doit être maintenu de par leur forte diversité spécifique. C'est le cas en Haute-Garonne et dans l'Hérault, carré jaune dans lequel est compris notre site d'étude qui, selon l'ARB, comprend entre 7 et 12 espèces d'amphibiens.

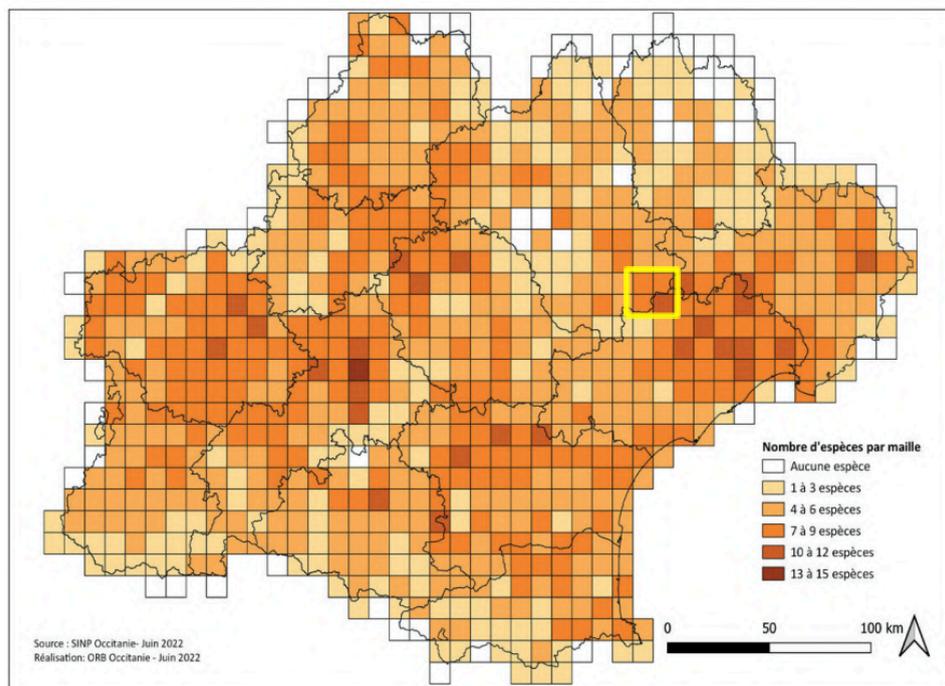


Figure 7 : Carte de répartition des espèces d'amphibiens en Occitanie par maille de 10km x 10km (ORB, 2022).

⁵ L'Occitanie est la fusion des anciennes régions Midi-Pyrénées et Languedoc-Roussillon.

1.2.1.2 Récolte de données sur la zone d'étude

Sur la zone d'étude, qui est délimité comme nous l'avons mentionné dans l'introduction par les communes sur le Larzac de La Couvertoirade (12), Les Rives (34) et Le Caylar (34), sont présent 9 espèces - nous excluons la Salamandre tachetée qui n'est pas présente dans la ZE - des 25 identifiées en Occitanie, dont la grenouille rieuse, une espèce introduite non indigène. Il y a donc 7 espèces d'anoures que sont le Pélobate cultripède (*Pelobates cultripedes*, Cuvier 1829), l'Alyte accoucheur (*Alytes obstetricans*, Laurenti 1768), le Pélodyte ponctué (*Pelodytes punctatus*, Daudin 1802), le Crapaud épineux (*Bufo spinosus*, Daudin 1803), le Crapaud calamite (*Epidalea calamita*, Laurenti 1768), la Rainette méridionale (*Hyla meridionalis*, Boettger 1874), et le complexe des grenouilles vertes : *Pelophylax lessonae*, Camerano 1882; *Pelophylax ridibundus*, Pallas 1771 ; *Pelophylax kl. grafi*, Crochet et al. 1995 (cf. figure x). Ces dernières aux critères d'identification complexes et aux hybridations nombreuses, ne seront pas distinguées par espèces et seront mentionnées dans cette étude comme un seul groupement *Pelophylax sp.* Au sein du périmètre étudié, il n'existe que 2 espèces d'urodèles : le Triton palmé (*Lissotriton helveticus*, Razoumowsky 1789) et le Triton marbré (*Triturus marmoratus*, Latreille 1800). Une troisième espèce a été introduite sur le Larzac, du côté héraultais et en limite extérieure de notre zone d'étude, il s'agit du Triton alpestre (*Triturus alpestris*, Laurenti 1768). Lors des prospections, une attention particulière a été portée sur les mares annexes à la zone d'introduction de cette espèce mais aucun individu n'a été repéré ces dernières années. L'[annexe 1](#) répertorie ces espèces et leur statut de protection en France et en Occitanie.

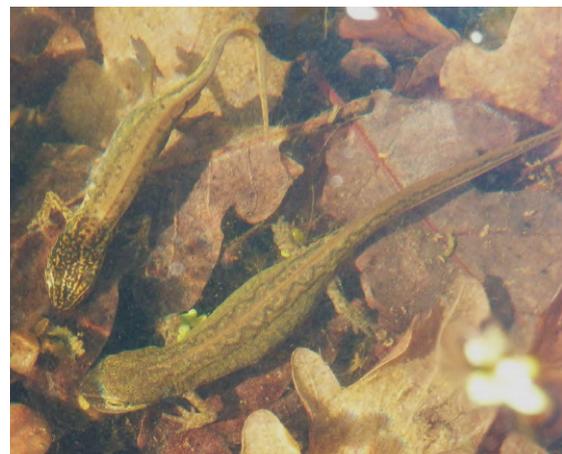


Figure 8 : Photographies de Crapaud calamite (haut gauche), Alyte accoucheur (haut droit), Grenouilles vertes (bas gauche) et Tritons palmés (bas droit) en avril et mai 2024 sur la commune de la Couvertoirade - *Photos: Devanne, Printemps 2024*

Depuis les premiers travaux de restauration débutés en 2021, les mares de la Couvertoirade sont suivies par les agents de l'Office Français de la Biodiversité (OFB) de l'Aveyron (12). Il s'agit d'inventaires nocturnes sur la période de mars à juin, durant le pic d'activité des amphibiens dans la mares pour la reproduction et la croissance larvaire, avec au moins 3 passages sur les mares ayant été restaurées. Ces conditions ont permis cette année de compiler des données naturalistes en respectant le protocole POP Amphibien "communautés" (cf. [1.2.1.1](#)) pour 7 mares de la Couvertoirade. L'annexe 8 nommé '*Fiche Protocole de Prospection des Mares sur le Larzac*' détaille les étapes de ce protocole et les conditions de sa mise en place sur la zone d'étude. Nous allons donc nous intéresser à la donnée naturaliste résultant de ces prospections, qui a été cumulée aux données relevées lors des prospections en journée des mares sur l'ensemble de la zone d'étude.

Comme pour toute récolte de données naturalistes, les biais sont nombreux et ce, même avec un protocole naturaliste strict. En effet, la météo est un facteur influençant grandement l'activité des amphibiens et, l'année 2024 ayant été particulièrement pluvieuse - bénéficiant grandement les amphibiens puisque la plupart des mares étaient en eau sur une durée respectable - cela a nuit à la visibilité et au contact des espèces lors des sorties terrain. De plus, ayant un temps de réalisation limité, imposé par la durée du stage, la grande majorité des mares n'a été visitée qu'une seule fois en 2024, un facteur influençant grandement la fiabilité des données car les espèces les plus menacées sont également les plus difficiles à contacter sur le terrain. Un seul passage permet donc de confirmer la présence d'une espèce qui y sera aperçue mais pas d'infirmer l'absence des espèces non aperçues. Les données 2024 ont donc été complétées par données cumulées sur d'autres années et récupérées sur le SINP (Système d'Information de l'Inventaire du Patrimoine naturel) via le MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle). Le SINP est donc un système d'information, une base de donnée en ligne, qui centralise et diffuse les données naturalistes collectées par les acteurs de la biodiversité tels que l'OFB, les CEN les Parcs Naturels, les Réserves, les associations naturalistes, les chercheurs mais aussi des particuliers. Les données envoyées sont traitées, normalisées selon les standards nationaux afin de les rendre exploitables. Ce sont donc des ressources publiques même si certaines données revêtent un caractère dit '*sensible*' et ne sont accessibles que par demande et validation sur le site (MNHN et OFB, 2024). Les données concernant les communes de la Couvertoirade, les Rives et le Caylar ont été extraites sur une période de 10 ans - de 2014 à 2024 - sélectionnée pour cette étude étant donné que la grande majorité des espèces d'amphibiens ont une espérance de vie inférieure à 10 ans. L'habitat des amphibiens ne se résumant pas à la mare, les espèces sont comptabilisées dans un périmètre de 500 m autour de la mare, prenant ainsi en compte la fonctionnalité des mares appartenant un réseau par des données ponctuelles indiquant les déplacements.

Les données sur la présence/absence des espèces d'amphibiens - SINP et inventaires 2024 - ont été compilées dans un tableau *Excel* (cf. annexe 10) permettant par la suite de les analyser sur ce même logiciel. La richesse spécifique en amphibiens (RSA) - soit le cumul du nombre d'espèces présentes sur une mare - de 70 mares du territoire a pu être obtenue. Cinq mares de la zone d'étude n'ont pas pu être visitées, par manque d'accessibilité physique (barrières, densité de la végétation, éloignement) ou légale (pas d'autorisation du propriétaire pour y accéder) et, ne possédant aucune donnée en provenance des années précédentes, elles n'ont pas de RSA et ne sont donc pas prises en compte dans les résultats qui suivent. Parmi les 70 mares compilées, 35 mares sont localisées sur La Couvertoirade dans l'Aveyron et 35 sont situées dans l'Hérault, 17 sur la commune du Caylar et 18 aux Rives.

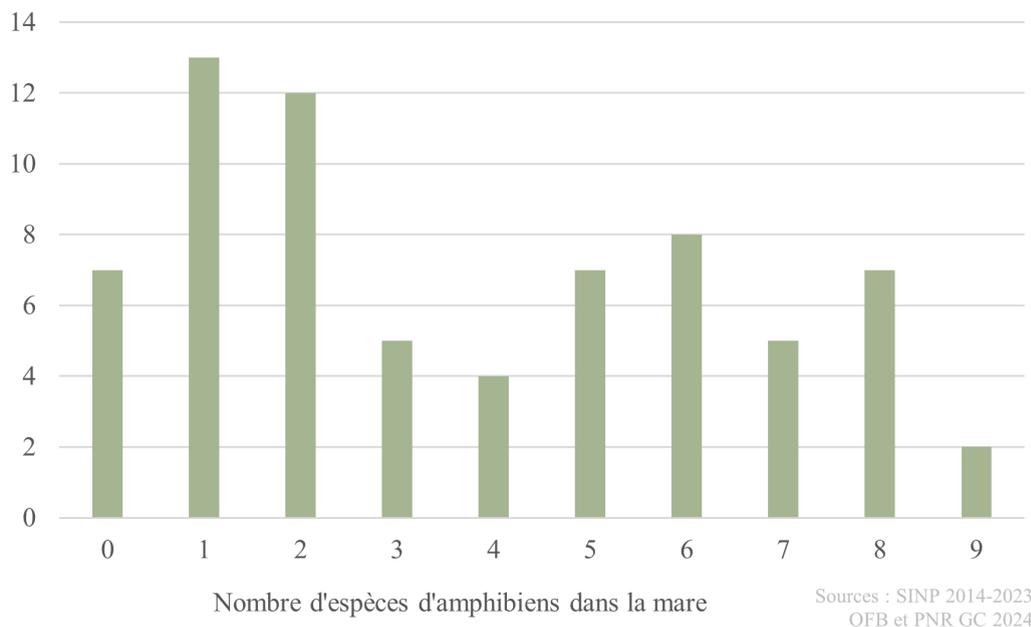


Figure 9 : Graphique représentant la fréquence de la RSA dans les 70 mares de la zone d'étude.

Ce premier graphique - [figure 9](#) - présente les résultats de la RSA qui varie de 0 à 9 correspondant aux 9 espèces du Larzac. On constate que seules 2 mares ont comptabilisé le passage des 9 espèces sur ces 10 dernières années. Les fréquences les plus élevées sont 1 et 2 espèces concernant un tiers des mares du territoire. Nous pouvons diviser la RSA en 3 catégories allant de la plus pauvre à la plus riche en espèces : la première de 0 à 3 espèces d'amphibiens qui concerne 37 mares du territoire (plus de la moitié des mares du territoire), de 4 à 6 espèces concernant 19 mares et la catégorie de 7 à 9 espèces d'amphibien au sein de la même mare avec 14 mares incluses.

Lorsque l'on regarde les résultats à l'échelle des communes sur la [figure 10](#) ci-dessous, la RSA moyenne tourne autour des 3,5 à 4 espèces, ce qui ne concerne même pas la moitié des 9 espèces d'amphibiens du Larzac. La commune des Rives est celle qui a la RSA moyenne la plus élevée avec 3,9 soit un nombre plus important d'espèces par mares contrairement au Caylar qui a une richesse spécifique plus faible de 3,4 espèces en moyenne par mare.

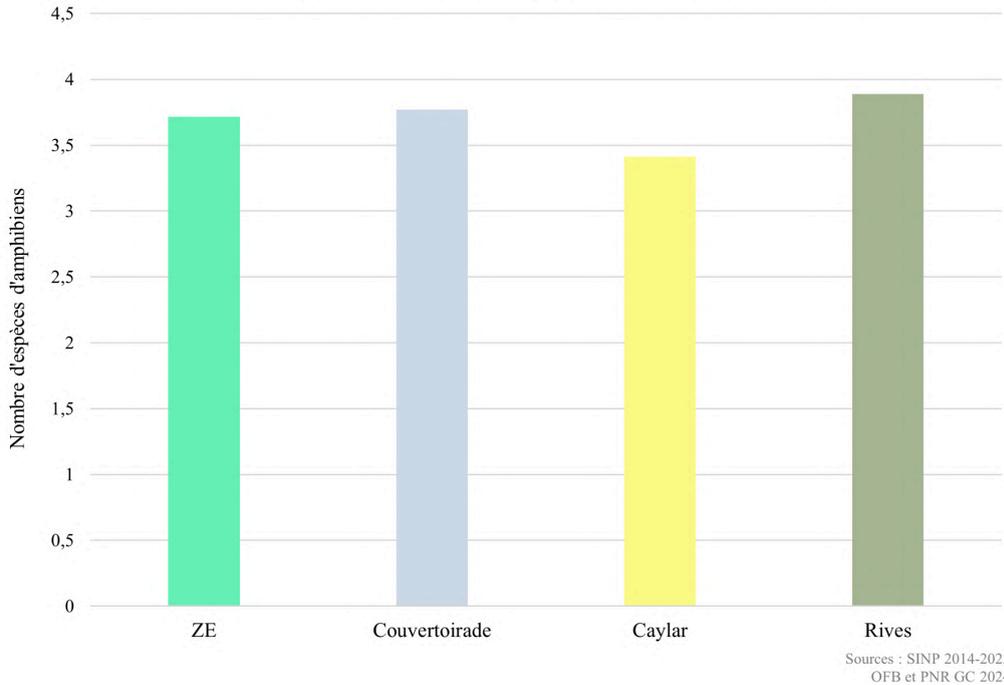


Figure 10 : Graphique représentant la richesse spécifique en amphibien moyenne sur les communes de la zone d'étude.

La [figure 11](#) suivante nous montre que les espèces les plus présentes, dans plus d'une mare sur deux sont l'Alyte (51 %), le Pélodyte (54 %) et le Triton palmé (54 %). Le Crapaud épineux (43 %), calamite (43 %), les Grenouilles vertes (43 %) et Triton marbré (40 %) sont présents dans 2 mares sur 5. En revanche, la Rainette est présente dans 1 mare sur 5 (24 %) et le Pélobate dans 1 mares sur 10 (10 %). Il semble important de préciser que la totalité des mares avec la présence du Pélobate comptent également au minimum 7 autres espèces d'amphibiens et celles avec la rainette méridionale en comptabilisent au minimum 5 (cf. annexe 10).

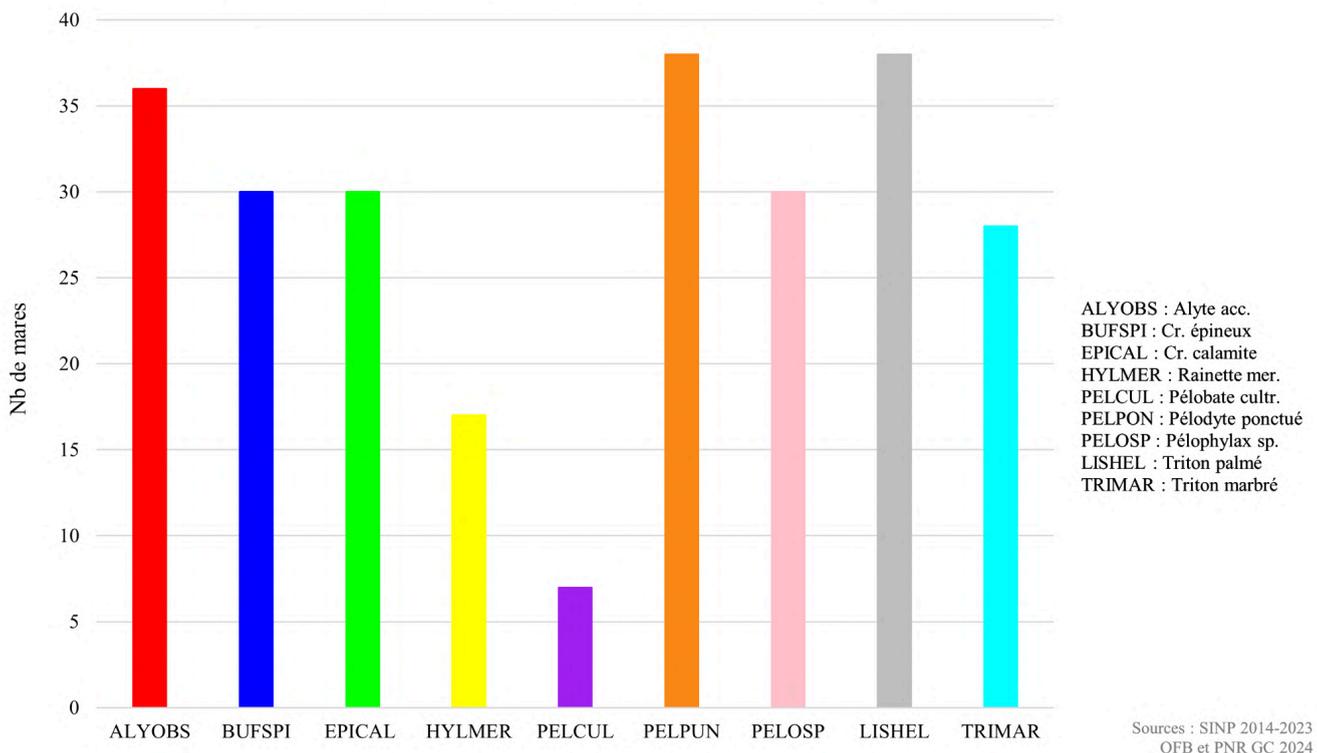


Figure 11 : Fréquences des 9 espèces d'amphibiens dans les mares de la zone d'étude sur la période de 2014 à 2024 (n=70).

Malgré la faible diversité spécifique de la moitié des mares constatée sur les deux premières figures, ce troisième graphique nous montre que les résultats sont plutôt positifs pour l'Alyte accoucheur, un amphibien pourtant rare en Occitanie et au statut de conservation menacé, qui est une espèce commune dans l'Aveyron comme nous pouvons le constater. Le Crapaud épineux pourtant très commun sur son aire de répartition a une occurrence un peu plus faible sur notre zone d'étude ces dix dernières années. Le Pélobate cultripède reste l'espèce la plus menacée, c'est pourquoi les mesures de gestion sont déployées pour la conservation de cette espèce.

1.2.2 Détermination des espèces cibles pour l'étude

Dans cette étude, deux espèces ont fait l'objet d'une attention particulière pour leur protection et leur conservation sur le territoire. Le premier est un anoure, le Pélobate cultripède, une espèce patrimoniale du Larzac bénéficiant des programmes d'actions du PNR GC. Le deuxième est un urodèle, le Triton marbré, une espèce particulièrement exigeante sur la qualité de son milieu de vie qui, faisant partie des 39 espèces standard de cohérence de la TVB (Sordello et al, 2013), pourrait permettre d'intégrer les préconisations sur mares en provenance de cette étude au sein du SCOT/PLUi en cours de réalisation et aux futurs travaux de TVB locaux ou nationaux. Par ailleurs, ce sont 2 des 3 espèces à enjeux avec statut de protection régional (cf. [annexe 1](#)): le Pélobate est en danger critique dans les listes rouges régionales et vulnérable à l'échelle de la France ; le Triton marbré est vulnérable dans les listes rouges régionales et quasi-menacé en France. Une troisième espèce possède un statut de protection : l'Alyte accoucheur, en danger dans les listes régionales mais une préoccupation mineure dans les listes rouges nationales. Nous avons constaté sur les inventaires terrain que la totalité des mares comptabilisant des individus Pélobates ont également des individus Alytes (cf. annexe 10), c'est pourquoi cette espèce sera représentée par le Pélobate cultripède aux milieux de vie relativement proches.

Les traits de vie de ces espèces sont décrits dans les paragraphes qui suivent. Leur appartenance à des cortèges d'habitats très différents - milieux très ouverts, ensoleillés et meubles pour le Pélobate contrairement aux besoins de végétation aquatique et d'éléments boisés pour le Triton marbré - et leur exigences de qualité des milieux en font des espèces dites parapluie : puisque leurs besoins concernent d'autres espèces, comme l'Alyte accoucheur, les actions de préservation et restauration seront alors effectives sur les espèces partageant leurs caractéristiques. Cette sélection nous permettra d'analyser la favorabilité du territoire pour ces 2 représentants, notamment au sein de la partie concernant la modélisation des réseaux de mares (cf. partie [2.3](#)) et leur gestion.

1.2.2.1 Le Pélobate cultripède

Le Pélobate cultripède - *Pelobates cultripes*, Cuvier 1829 - également appelé *Lo Grapaldet d'esperon* localement est un amphibien de l'ordre des Anoures et de la famille des Pelobatidae. Il s'agit d'un crapaud ayant la particularité de s'enfouir dans des terrains meubles grâce à ses tubercules métatarsiens appelés 'couteaux' d'où son étymologie *culter* faisant référence à « couteau » et *podo* pour « pieds ». Une autre de ses particularités très caractéristique est qu'il ne possède pas de sacs vocaux (cf. [figure 12](#)), il peut d'ailleurs chanter sous l'eau et ses larves (cf. [figure 14](#)) sont de grande taille pouvant atteindre plus de 10 cm (Recuero et al, 2014). Il vit près de terrains meubles tels que les sols des zones littorales et arrières littorales, des terrains caillouteux, collines calcaires ou causses. Il a également une préférence pour les grandes étendues de végétation basse, comme les prairies pâturées, les maquis bas, les landes, les vignes ou encore le buis caussenard (Duguet et al., 2003). On peut le trouver également dans d'anciennes carrières et remblais sableux. En ce qui concerne son milieu aquatique, il peut fréquenter une grande diversité de points d'eau : des mares, des lavogne, des puits, des gravières, des marais... avec une préférence pour les étendues d'eau peu profondes, dégagées avec une végétation peu développée. Le Pélobate cultripède est donc une espèce de milieux ouverts, ensoleillés, c'est pourquoi sa zone de répartition est située aux abords des plages Atlantiques et de la Méditerranée dans le sud de la France. La commune de la Couvertoirade constitue une de ses limites septentrionales de sa répartition méditerranéenne.

Pour cette espèce, la reproduction a lieu entre le mi-février et le mois de mai, avec parfois une ponte supplémentaire de septembre à novembre en fonction des conditions climatiques annuelles. Les juvéniles émergent environ 3 mois après (en été) mais certains peuvent hiberner et terminer leur métamorphose l'année d'après, environ 8 mois après la ponte (Speybroeck et al., 2018).



Figure 12 : Photographie d'un Pélobate cultripède à la lavogne de l'Aire (La Couvertoirade) récemment restaurée. *Photos: Devanne - 14/03/2024*

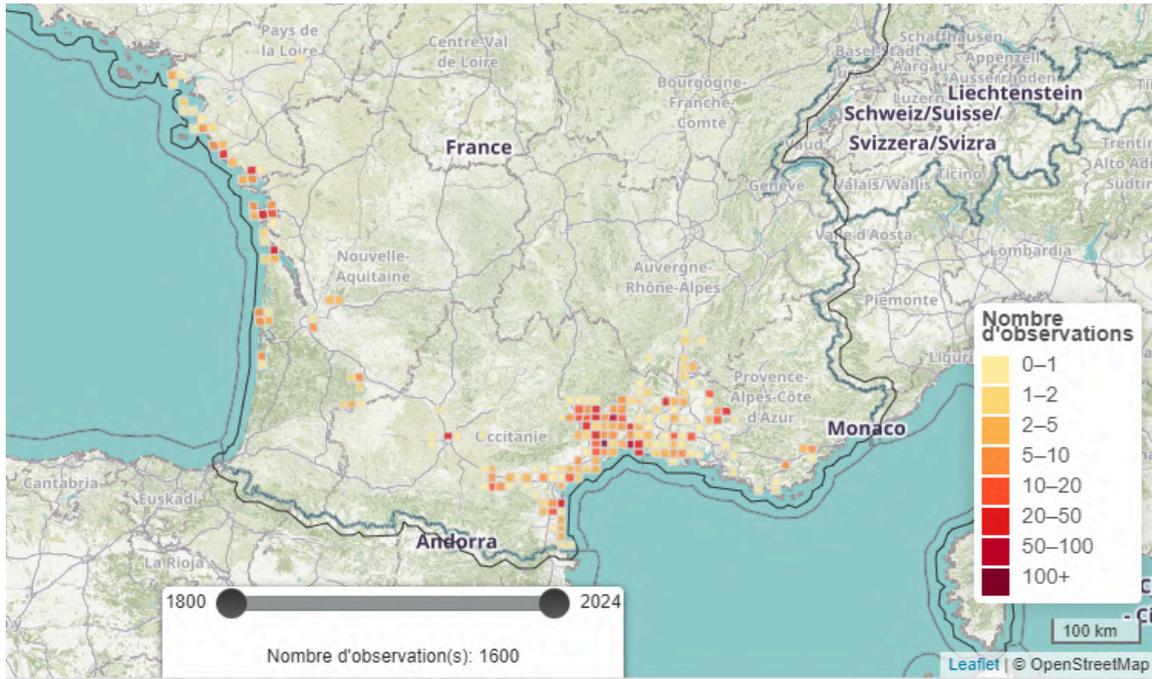


Figure 13 : Répartition du Pélobate cultripède en France sur la période de 1800 à 2022 (SHF, 2024).

Il s'agit d'un amphibien rare et fort déclin, sa répartition est très localisée et peu abondante en France (cf. [figure 13](#)). Seules 150 stations d'observation sont connues (Duguet et al. 2003, Geniez et Cheylan 2005). Entre 2014 et 2024, le Pélobate a été observé sur 5 mares de la zone d'étude - 4 à la Couvertoirade et une dans les Rives - cependant, lorsque l'on remonte aux premières observations, depuis 1975 le Pélobate était présent sur 10 mares de la zone d'étude : 5 dans les Rives et 5 à la Couvertoirade. Aucune donnée pélobate n'existe sur la commune du Caylar. Cependant elle est juxtaposée à celle de Le Cros ou plus de 3 mares comptabilisent des données récentes sur le Pélobate (2013-2018). En 2024, le Pélobate cultripède est présent sur 3 mares : la mare de Soulayrol (La Couvertoirade), la lavogne de l'Aire (La Couvertoirade) et la lavogne de Fédiaux (Les Rives). D'après les inventaires du CEN Occitanie, le restant des communes héraultaises annexées récemment au PNR GC n'ont pas de traces de présence du Pélobate cette année.



Figure 14 : Photographie de larves de Pélobate cultripède dans la lavogne de Fédiaux (Les Rives)

Photos : Devanne - 10/07/2024

1.2.2.2 Le Triton marbré

Le Triton marbré ou *Lo Triton verd* en occitan - *Triturus marmoratus*, Latreille 1800 - fait partie de l'ordre des Urodèles et de la famille des Salamandridae. Il fait partie des grands tritons en France mesurant jusqu'à 170 mm pour les femelles. Son nom est dû aux marbrures latérales supérieures et dorsales vertes, parfois avec un peu de brun ou de jaune (voir [figure 15](#)). Le mâle possède une crête dorsale barrée de bandes sombres tandis que la femelle peut être dotée d'une ligne dorsale dans les tons oranges. Son aire de répartition en France se situe dans la moitié ouest du pays et plutôt vers le quart sud. Concernant son habitat terrestre, le triton marbré est une espèce de milieux semi-ouverts boisés. Ne dépassant pas les 1000 m d'altitude, il côtoie les prairies, landes et garrigues, forêts de plaines et autres boisements mais jamais loin d'un point d'eau (Duguet et al., 2003). Par ailleurs, les haies et autres végétations adjacentes à la mare sont des éléments essentiels pour le déplacement des tritons : la société de zoologie de Londres publie en 2000 un article sur le suivi de 30 individus de Tritons marbrés et Tritons crêtés montrant que les migrations en dépassent pas les 200 m et que la migration en directions d'habitats boisés est favorisée par rapport aux migrations vers d'autres directions (Jehle et Arntzen, 2000). La disparition de la mosaïque bocage et de parcelles boisées est donc tenue en partie responsable du déclin de l'espèce. Concernant sa phase aquatique, il est un peu plus sélectif sur les points d'eau qu'il va habiter en période de reproduction et en phase larvaire : il s'agit de points d'eau stagnantes, avec un ombrage partiel sur celui-ci et une végétation aquatique bien développée. (SHF, 1989).



Figure 15 : Larve (à gauche) et trois adultes (à droite) de *Triturus marmoratus* dans la lavogne de Fédiaux (Les Rives). *Photo: Devanne - 10/07/2024*

Sa phase aquatique s'étend de février à juin avec une activité nocturne comme la plupart des autres espèces d'amphibiens (Speybroeck et al., 2018). Il peut y avoir une reproduction automnale dans la partie sud de son aire de répartition. Les œufs sont pondus individuellement sur un support végétal

durant cette période puis la phase larvaire dure 2 à 3 mois. Les adultes hivernent ensuite dans le milieu terrestre - même si parfois cela peut être dans l'eau - occupant des galeries souterraines, des troncs d'arbres, dans les haies ou encore dans les caves humides de maisons.

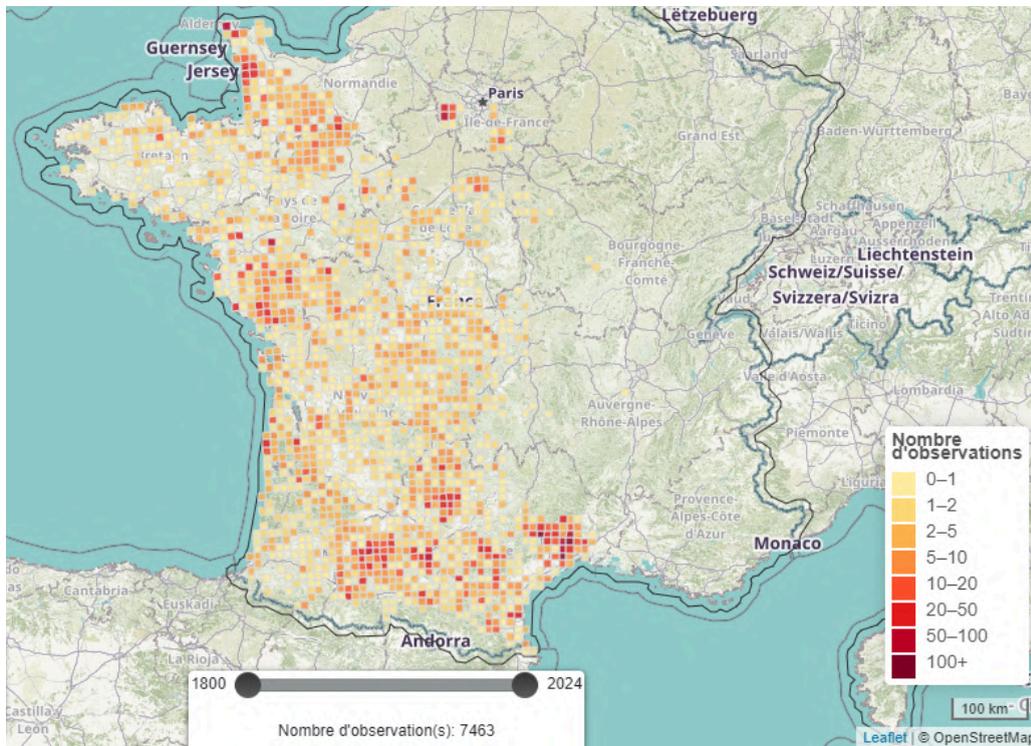


Figure 16 : Carte de répartition du Triton marbré sur la période de 1800-2022 en France (SHF, 2024).

Comme pour le Pélobate, l'Aveyron semble être une limite sud-est de son aire de répartition, mais il est présent tout le long de la façade Atlantique jusqu'à l'ouest de la Méditerranée (cf. [figure 16](#)). Dans la zone d'étude sur le Larzac, le Triton marbré a été remarqué dans 28 mares du territoire dans la compilation de données depuis 1995. Aujourd'hui, sur la période de 2014 à 2024, le Triton marbré n'est présent que dans 23 des mares du territoire.

1.3 Menaces et enjeux

Nous avons vu dans l'introduction les cinq grandes causes responsables du déclin de la biodiversité sur Terre, ces causes sont directement ou indirectement provoquées par les sociétés humaines et l'usage des ressources sur Terre. Nous allons désormais préciser, en France en particulier et sur le Larzac, les menaces pesant sur les espèces d'amphibiens. Cette classe de vertébrés quadripodes et poïkilothermes⁶, du fait de leur écologie bi-phasique particulière, imposent la présence d'un milieu aquatique qualitatif complémentaire à des milieux terrestres connectés et diversifiés.

⁶ Animaux dit "à sang froid" car leur température corporelle varie avec celle du milieu ambiant, c'est le cas des amphibiens, des reptiles ou des poissons. (Dictionnaire de l'Académie Française, 9e édition, 2024).

1.3.1 Progression de l'urbanisation

1.3.1.1 Perte et fragmentation de l'habitat aquatique et terrestre

La perte et la fragmentation des habitats aquatiques et terrestres représentent des menaces majeures pour les amphibiens, un groupe d'espèces particulièrement sensible aux changements environnementaux. En premier lieu, les habitats qui ont régressé proportionnellement le plus sont les zones humides et les mares, qui sont de plus en plus rares en raison des changements d'occupation des sols, tels que l'urbanisation croissante et l'intensification de l'agriculture (Gardner et *al.*, 2007). En 2006, Cushman dans son article '*Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus*' définit la fragmentation comme la division des habitats restants en parcelles plus petites et isolées, ce qui modifie la structure du paysage avec des implications écologiques. La fragmentation augmente l'isolement des populations d'amphibiens par une diminution voire une suppression des voies de déplacement. Cela conduit à un risque accru de consanguinité et de perte de diversité génétique, pourtant essentielle à la survie des populations et à leur résilience face aux changements environnementaux. Elle modifie donc la dynamique des populations, qui dans l'incapacité de compenser les extinctions locales par l'isolement, conduisent à un déclin global progressif (Hanski, 1998 ; Cushman, 2006).

La mécanisation de l'agriculture a également joué un rôle dans la destruction des mares, qui autrefois servaient de réservoirs d'eau essentiels pour les troupeaux (Beebee, 2013). Avec l'augmentation de la taille des troupeaux, les mares sont devenues insuffisantes, et ont été remplacées par des citernes ou d'autres types de réservoirs plus adaptés. En outre, l'arrivée de l'eau courante a réduit la nécessité de maintenir ces mares, accélérant ainsi leur disparition. La perte des haies, qui sont utilisées par les tritons et autres amphibiens comme gîtes hivernaux ou corridors de déplacement, représente une autre conséquence des pratiques agricoles modernisées qui homogénéisent le paysage sur de vastes surfaces (Ray et *al.*, 2002). La disparition des murets en pierre et des prairies naturelles a également affecté ces espèces, car ces éléments structurants du paysage fournissent des abris essentiels. A cela s'ajoute, les faibles distances de dispersion chez certaines espèces de taille modeste, comme les tritons qui dépassent rarement plus d'un kilomètre, et pour lesquelles la diversité des éléments paysagers à fine échelle est indispensable. Cette agriculture intensive, cumulée à la progression urbaine, pourrait également être responsable du déclin des ressources alimentaires, en particulier les insectes qui constituent une part importante du régime alimentaire des amphibiens (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019) et de la disparition de nombreux gîtes hivernaux spécifiques à chaque espèce (murets en pierres, litière forestière, prairies naturelles, terrains meubles...). Par exemple, la progression des complexes balnéaires et des infrastructures côtières menacent la disparition des dunes et petits bosquets littoraux, habitats sources pour le Pélobate cultripède sur le pourtour méditerranéen (Duguet et *al.*, 2003).

Le développement des infrastructures routières en France constitue une barrière supplémentaire dans le paysage, exacerbant la fragmentation des habitats (Andrews et Jochimsen, 2007). Les routes réduisent non seulement les déplacements quotidiens des amphibiens, mais perturbent également les migrations bi-annuelles cruciales pour la reproduction sur les points d'eau. Les échanges génétiques, qui sont essentiels à la diversité, la résilience et la survie des espèces, sont d'autant plus compromis que la densité de route croît continuellement en France. L'un des impacts les plus directs des infrastructures routières sur les amphibiens est la mortalité routière. En Europe, une étude de Hels et Buchwald (2001) a estimé que les amphibiens représentent l'une des principales victimes de la mortalité routière, avec des impacts graves sur les populations locales, notamment dans les zones à haute densité de routes. Cette étude menée sur une période de cinq ans sur 203 adultes comprenant les espèces de Triton crêté - espèces biologiquement proche du Triton marbré - et Pélobate brun - espèce biologiquement proche du Pélobate cultripède - montre que chaque année 10 % de la population mourrait par collision routière et ce chiffre peut atteindre 30 % pour certaines régions au réseau routier dense. L'étude précise que la probabilité variait de 0,89 à 0,98 % lorsque la route traversée était une autoroute. Le manque de dispositifs de franchissement ou de zones tampons contribue à une mortalité accrue sur les routes. En France, des actions ponctuelles comme la fermeture temporaire de routes, le ramassage nocturne d'amphibiens avec ou sans pose de filet, la limitation de vitesse sur des voies de migration sont mises en place par des structures publiques, des associations ou des bénévoles. Des dispositifs de franchissement, tels que des tunnels pour amphibiens et des clôtures dirigées, ont également été développés (Cerema, 2019) mais selon la SHF, il n'existe que 71 sites disposant d'une mesure permanente (SHF, 2019). Sur certaines autoroutes, telles que la A75 sur le Larzac, il existe des buses pouvant être considérées comme des passages clés pour les amphibiens. Ces buses sont de grande taille et ne sont pas submergées en permanence - dans le cas contraire le risque de noyade pour l'amphibien pourrait être élevé - mais la longueur du passage et le revêtement n'en font pas un passage privilégié pour les amphibiens (cf. [figure 17](#)). Et, même si les recherches générales suggèrent que les dispositifs de franchissement peuvent réduire la mortalité, ils ne parviennent pas toujours à rétablir la connectivité nécessaire pour maintenir des populations viables (Gibbs et Shriver, 2005).

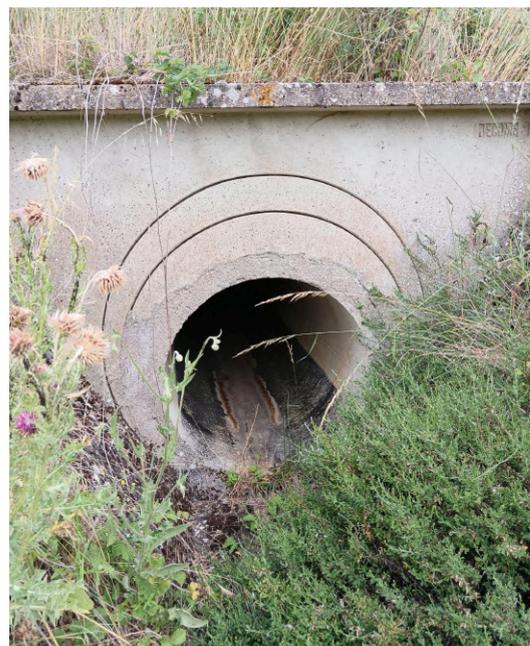


Figure 17 : Photographie d'une buse sur une portion de l'autoroute A75 sur la zone d'étude pouvant servir de passage pour les amphibiens - Photo: Devanne, juin 2024.

1.3.2 La fermeture des milieux

Quoiqu'il semble naturel que les milieux évoluent et qu'ils suivent les mécanismes de succession écologiques décrits par Connell et Slatyer en 1977, de la prairies à des écosystèmes arbustifs, puis arborés, et enfin forestiers, l'évolution des paysages du causse du Larzac pose question pour la pérennité des espèces d'amphibiens inféodées aux milieux actuels, et ce depuis des décennies. Nous rappelons que le causse du Larzac est composé d'une grande diversité de milieux permettant la présence de nombreux amphibiens aux traits de vie opposés, mais que depuis des centaines d'années, le pastoralisme a façonné une grande partie de la flore sur ce plateau calcaire. L'entretien d'un paysage ouvert par le pâturage ovin principalement - et en parallèle la création de nombreuses lavognes pour les abreuver - a permis que des espèces telles que le Pélobate cultripède prospèrent dans ces milieux qui leurs sont adaptés. La déprise pastorale conduisant à une fermeture progressive des milieux sur le Larzac (cf. [figure 18](#)) remet donc en question la présence de cette espèce patrimoniale, ayant prospéré de nombreuses années grâce au pâturage, qui voit son milieu de vie devenir hostile rapidement.



Figure 18 : Photographie illustrant la fermeture des milieux sur le Larzac, avec un stade arbustif évoluant vers un stade forestier sur la commune du Caylar. *Photo: Devanne - Avril, 2024*

Les zones ouvertes favorisent la formation de mares temporaires, cruciales pour la reproduction des amphibiens dans les milieux méditerranéen arides, tandis que la fermeture des milieux peut conduire à leur assèchement prématuré ou à leur colonisation par des plantes aquatiques qui modifient la composition de l'eau et la rendent moins favorable au développement des larves (Denoël et Ficetola, 2014). Même si le Pélobate a montré des signes d'adaptation face aux assecs prématurés, par exemple l'ajustement de sa vitesse de développement larvaire en réponse à la réduction du niveau d'eau (Tejedo et *al.*, 2005), aucune étude ne montre son adaptation sur le Larzac face au cumul des pressions environnementales.

1.3.3 Espèces invasives, agents pathogènes et changement climatique

1.3.3.1 Faune et flore invasives

La présence de poissons de la mare est complètement défavorable à la majorité des espèces d'amphibiens, elle nuit à la richesse spécifique (Porej et *al.*, 2005 ; Teplitsky, 2003 ; Braña et *al.*, 1996). Ceux-ci peuvent se nourrir de pontes, de larves d'amphibiens et parfois même d'individus adultes, ce qui entraîne une concurrence directe avec les amphibiens et la chute de leurs populations dans les mares. Les poissons herbivores, quant à eux, vont se nourrir d'herbiers aquatiques qui ne seront donc plus disponibles comme habitat ou support pour les amphibiens. Les poissons entraînent un changement radical dans le fonctionnement des chaînes trophiques au sein de la mare et leur présence sera incompatible avec la plupart des amphibiens du territoire. Ils peuvent également provoquer un déséquilibre de l'écosystème par leur comportement fouisseur : ils remuent le substrat du fond pour chercher de la nourriture et la mise en suspension des particules altère la turbidité. Cette turbidité réduit la quantité de lumière pénétrant dans l'eau affectant la croissance de la végétation avec un impact direct ou indirect sur le développement des larves d'amphibiens (Wood et Armitage, 1997). Les carpes et carassins dorés (poissons rouges) sont régulièrement de retour dans les mares (cf. [figure 19](#)) et des campagnes de sensibilisation sont menées sur le territoire pour éviter ces introductions (CEN Grands Causses, 2013).



Figure 19: Photographies de poissons dans les mares prospectées sur le Larzac. Photo: Bullaert, 2024.

L'introduction d'espèces exotiques envahissantes peut avoir donc des conséquences dévastatrices sur les écosystèmes locaux, et cela est également vrai au sein de la famille des amphibiens. Nous pouvons prendre les exemples du Xénope lisse (*Xenopus laevis*, Daudin 1803) et de la Grenouille taureau (*Aquarana catesbeiana*, Shaw 1802) introduites en France dans les années 1920 et 1968

respectivement. Dans l'article publié en 2018 par Courant et *al.*, il en ressort que le Xénope lisse exerce une pression significative sur les amphibiens locaux via la prédation, la compétition pour les ressources et la transmission de maladies. Cette espèce est particulièrement problématique car elle est très adaptable et peut survivre dans une grande variété de conditions environnementales ce qui lui permet de coloniser rapidement de nouveaux habitats (Merlet et Trochet - SHF, 2021). La grenouille taureau, originaire de Floride, a été introduite à des fins ornementales et pose de nombreux problèmes en raison de sa grande taille - jusqu'à 180 mm pour 600 g - qui la conduit à une consommation importante des ressources disponibles et à sa reproduction prolifique. Tout comme le Xénope lisse, elle entre en compétition avec les espèces indigènes pour l'alimentation et les sites de reproduction mais aussi en tant que prédateur pour les autres amphibiens de taille plus modeste (Ficetola et *al.*, 2007). Bien que ces espèces ne soient pas actuellement présentes sur le territoire du Larzac, un suivi régulier des mares serait essentiel pour confirmer leur absence continue et prévenir toute potentielle invasion future.

La flore introduite, souvent des espèces populaires dans les jardins et mares d'ornements, peut être à l'origine d'un déséquilibre important voire fatal pour les milieux aquatiques que sont les mares et les lavognes. L'IPBES souligne en 2019 dans son rapport le rôle direct des Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) dans la perte de biodiversité : ces espèces exotiques envahissantes se sont adaptées au climat local et colonisent les milieux à une vitesse très rapide au détriment des espèces locales. En effet, leur développement réduit la surface disponible pour les autres plantes, leurs nutriments et par conséquent leurs capacités de photosynthèse. Les principales plantes aquatiques envahissantes sont actuellement : la crassule d'Helm, l'égérie dense, les différents types de jussie et d'élodée, le myriophylle du Brésil et le myriophylle à feuilles variées (CDDAT, 2022). On peut par exemple mentionner la jussie présente dans le Nord Ouest du PNR des Grands Causses ou encore du Grand Lagarosiphon présent sur le Causse du Larzac (cf. [figure 20](#)). Au sein d'une mare, les effets des PEE peuvent rapidement provoquer l'eutrophisation du milieu et/ou porter atteinte à la faune et flore environnante.

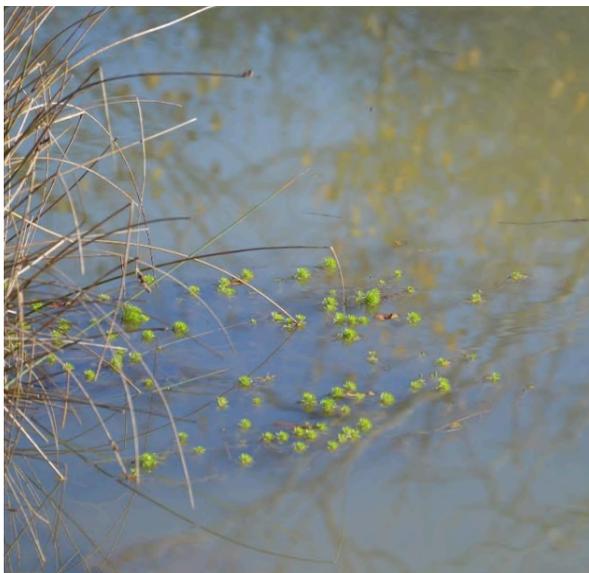


Figure 20: Myriophylle du Brésil (à gauche) et Grand Lagarosiphon (à droite) dans une mare de la commune du Clapier. Photos : E. Gilhodes - ADASEA d'Occ, 2023.

1.3.3.2 Agents pathogènes

Parmi les menaces auxquelles les amphibiens sont exposés, il y a les maladies telles que la chytridiomycose, causée par le champignon pathogène *Batrachochytrium dendrobatidis* (*Bd*) qui représente un danger majeur pour les populations d'amphibiens. Ce champignon, présent sur tous les continents, est responsable de l'extinction de plus de 90 espèces d'amphibiens et menace encore plus de 500 autres espèces à travers le monde (Wake & Vredenburg, 2008). La chytridiomycose se développe principalement dans les environnements aquatiques et semi-aquatiques, en particulier dans les environnements de basse et moyenne montagne, où ses conditions de développement sont optimales (milieux frais et humides). Cette infection entraîne une obstruction des échanges gazeux à travers la peau, entraînant ainsi des difficultés respiratoires et, finalement, la mort par asphyxie progressive des individus affectés (Briggs et al, 2005). En plus des chytridiomycoses présentes en France par leur introduction via le commerce international d'animaux, il existe d'autres maladies infectieuses affectant les amphibiens, comme les ranaviroses, un groupe de virus à ADN de la famille des Iridoviridae infectant les amphibiens, les reptiles mais aussi les poissons (Duffus et al, 2010). Sur le Larzac, on trouve notamment la dermocystidiose : des parasites unicellulaires qui touchent anoures comme urodèles (González-Hernández et al, 2021). Par ailleurs, en 2022, des observations de l'OFB 12 et du PNR GC ont révélé une forte mortalité parmi les tritons marbrés, mais aucune analyse n'a pu identifier le facteur responsable de cette mortalité subite. Bien que la mortalité ait cessé depuis, ce phénomène met en évidence la vulnérabilité des populations locales d'amphibiens face aux maladies infectieuses émergentes. Elles peuvent entraîner des déclin soudains des effectifs d'amphibiens, parfois sans signes précurseurs évidents, et nécessitent des actions rapides pour éviter des pertes irréversibles.

Outre ces maladies infectieuses, d'autres facteurs environnementaux contribuent au déclin des amphibiens. Le rayonnement ultraviolet-B (UV-B), dont l'intensité a augmenté en raison de la diminution de la couche d'ozone, est un autre facteur de stress important pour les amphibiens. Selon Blaustein et Kiesecker (2002), les œufs et les larves d'amphibiens sont particulièrement sensibles aux dommages causés par les UV-B. L'exposition accrue à ces radiations peut entraîner une augmentation de la mortalité embryonnaire et induire des malformations chez les individus en développement. Cette sensibilité accrue peut aggraver les effets des maladies infectieuses sur les populations d'amphibiens.

1.3.3.3 Les effets du changement climatique

La nécessité des milieux de vie diversifiés, terrestres et aquatiques, rendent les amphibiens particulièrement sensibles aux changements climatiques, comme des variations de précipitations ou des sécheresses successives. Les événements climatiques extrêmes et la hausse globale des températures vont exacerber les menaces existantes que nous avons citées. Par exemple, la chytridiomycose est une infection fongique qui se développe dans les environnements frais, avec le changement climatique, ce champignon gagne du terrain en passant de la moyenne montagne à la haute montagne qui se réchauffent graduellement, reproduisant ses conditions de croissance idéales.

Les modifications de températures, en plus d'affecter la présence de points d'eau, peuvent affecter directement la physiologie des amphibiens (métabolisme, comportement de reproduction ou sensibilité aux agents pathogènes). Des températures élevées conduisent à une demande énergétique importante pour la survie de l'individu, qui doit trouver les ressources alimentaires pour compenser ce besoin. Hors, ces ressources ne sont pas toujours disponibles dans un milieu qui est tout autant affecté par ces changements environnementaux ou les conséquences directes anthropiques (cf. [1.3.1](#)). Un vague de chaleur excessive entraîne la dessiccation de la zone humide, avec une perturbation du calendrier reproductif lorsque les individus ne trouvent pas de milieux adéquats. Mais cette hausse de température peut également entraîner la dessiccation des pontes et/ou des larves existantes sur ces points d'eau (cf. [figure 21](#)) ou même des individus adultes s'ils ne parviennent pas à trouver un environnement au taux d'humidité suffisant. Ces effets en cascade conduisent au déplacement des amphibiens à la recherche de fraîcheur, de sites pour la reproduction ou l'alimentation afin d'assurer leur survie, augmentant donc le risque de mortalité par franchissement de structures routières, ou bien la vulnérabilité face aux prédateurs.



Figure 21: Exemple de mare temporaire méditerranéenne menacée par le changement climatique sur le Caylar, mare de la Mouisse 2 et les larves d'amphibiens à risque - *Photos: Devanne, 2024.*

C'est pourquoi la résilience des populations d'amphibiens est une priorité dans les stratégies de gestion. Une étude publiée dans le journal *Scientific Reports* en 2018 démontre que certaines populations d'amphibiens peuvent résister aux variations climatiques grâce à leur organisation spatiale qui permet une recolonisation rapide des zones affectées (Weinbach et *al.*, 2018). Cette résilience est souvent liée à la capacité des populations à recoloniser rapidement après des perturbations environnementales, un processus qui est facilité par l'existence de corridors écologiques et d'habitats interconnectés. Les variations de températures affectant des amphibiens et leurs habitats peuvent être compensées par le déplacement des espèces vers des zones moins affectées. Ainsi, les actions de gestion doivent favoriser la création et le maintien de réseaux d'habitats interconnectés pour permettre aux amphibiens de migrer en réponse aux changements climatiques locaux et assurer la pérennité des populations. Nous allons donc explorer dans la suite de cette étude le fonctionnement écologique de la matrice d'habitats variés pour les amphibiens, la connectivité entre les réseaux existants et les mesures de gestions impliquant la protection et la conservation des ces espèces menacées sur le Larzac.

2. DES MARES DE QUALITÉ, DES TÊTARDS EN QUANTITÉ ET DES RÉSEAUX CONNECTÉS ?

Nous connaissons désormais, en détail, l'état des populations d'amphibien sur la zone d'étude ainsi que la position des points d'eau sur l'ensemble du Larzac. Nous souhaitons à présent évaluer l'état écologique de ces points d'eau et leur potentiel d'accueil vis-à-vis des amphibiens afin de connaître les facteurs affectant la diversité en espèces. Cela revient à connaître l'état des réservoirs de biodiversité qui correspondent à la mare (habitat aquatique) et ses alentours (habitat terrestre). Puis, dans un deuxième temps, nous analyserons le territoire afin d'identifier les corridors écologiques empruntés par les amphibiens au sein de la matrice paysagère de la zone d'étude. Finalement, nous pourrions caractériser la fonctionnalité des réseaux de mares en incluant l'ensemble des connaissances acquises sur l'état écologique des réservoirs de biodiversité et la connectivité entre les réservoirs par une modélisation des réseaux écologiques.

2.1 Caractérisation de l'état écologique des mares : indice IECMA

L'évaluation de la fonctionnalité d'une mare nécessite une pluralité d'indicateurs complémentaires, au sein même de la mare mais également sur le contexte alentour. En particulier lorsque l'on souhaite évaluer le potentiel d'accueil d'une mare pour les amphibiens dont le cycle de vie mobilise tant les milieux de vie aquatiques que les milieux terrestres tout au long des saisons. Ainsi quelques recherches ont été menées sur les outils méthodologiques permettant de caractériser la fonctionnalité des mares vis-à-vis des populations d'amphibiens et répondant aux objectifs globaux de cette étude : améliorer la connaissance sur les mares et lavognes et agir pour le maintien et le développement du réseau de mares. Certains outils ont été récemment mobilisés par les acteurs du territoire sur la région Occitanie et les paragraphes qui suivent décrivent quelques-unes de ces méthodologies, les points d'intérêts qui ont été retenus et leurs limites dans le cadre de cette étude. La méthodologie sélectionnée est l'indicateur de l'état de conservation des mares à amphibiens (IECMA). Il s'agit d'une note traduisant la potentialité d'accueil de la mare vis-à-vis des espèces d'amphibiens sur le territoire. Le IECMA utilisé au sein de cette étude a été adapté au contexte du causse du Larzac.

2.1.1 Protocoles de caractérisation de l'état écologique des mares existant

Avant de commencer les recherches bibliographiques, quelques contraintes ont limité le choix des protocoles. Tout d'abord, le protocole se devait d'être accessible aux personnes non spécialistes de la faune et flore aquatique et intégrer des paramètres auxquels ce type de personnes pouvait se former rapidement à leur évaluation. Il devait requérir peu de moyens matériels et humains, ainsi qu'un temps réduit. Il se devait d'être reproductible sur le long terme - de par son accessibilité au plus grand

nombre et ses faibles contraintes dans son déploiement - afin de compiler ces suivis et adapter la gestion des mares au mieux sur le territoire dans les années qui suivent.

Au sein même du PRAM, Programme d'Action pour les Mares en Occitanie, une méthodologie d'analyse et priorisation a été développée à l'échelle territoriale. Trois enjeux sont retenus : (1) Fonctionnalité des mares, (2) Climat et ressources en eau et (3) Biodiversité. Pour chaque enjeu, 2 critères d'évaluation, appelés 'indicateurs', ont été développés. Chaque indicateur est calculé par maille 10x10km, ce qui à l'échelle de l'étude, n'est pas assez fin. L'utilisation de la méthodologie n'est donc pas applicable à notre étude, les paramètres climatiques, même calculés dans une maille plus fine, ne sont pas adaptés à une échelle locale, voire très locale. Cependant, les résultats calculés les années précédentes permettent de contextualiser les enjeux dans notre zone d'étude.

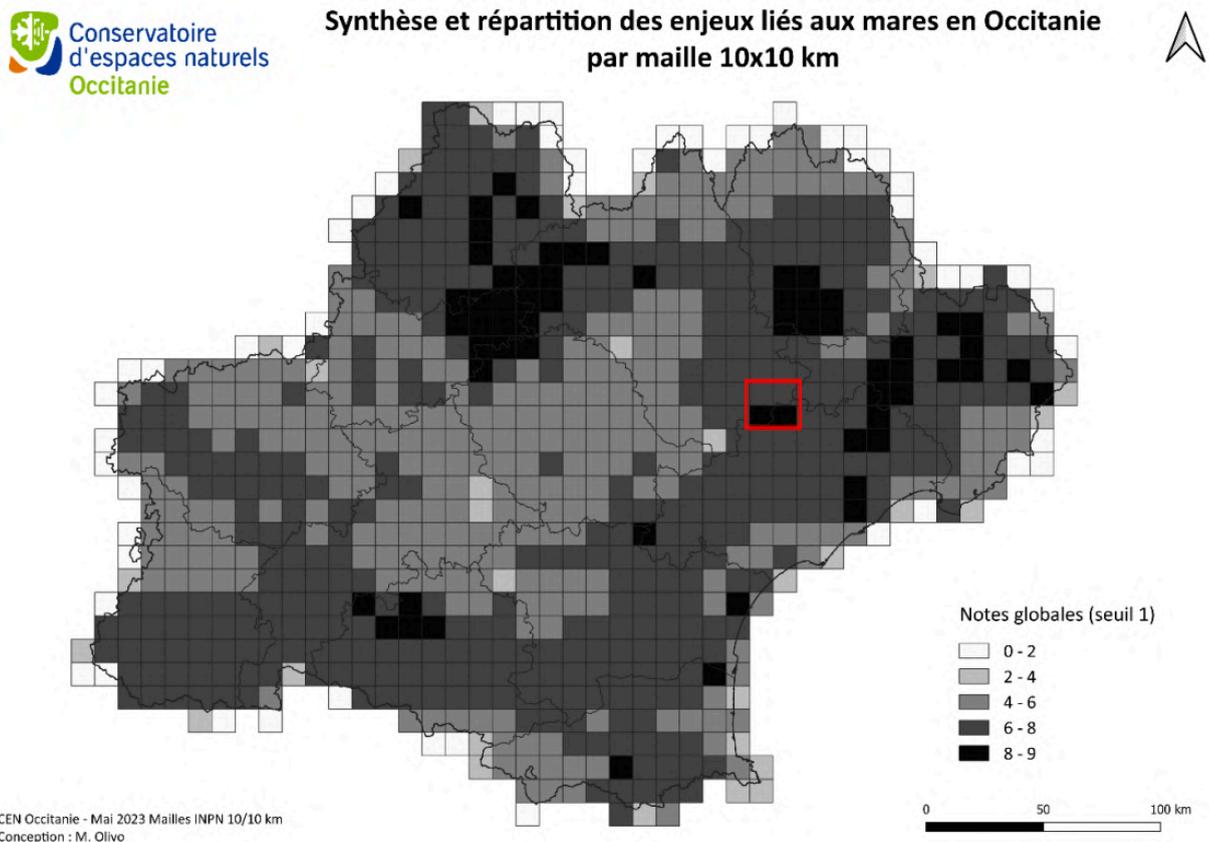


Figure 22: Synthèse et répartition des enjeux liés aux mares en Occitanie par maille de 10kmx10km (CEN Occitanie, 2023).

Le carré rouge sur la [figure 22](#) ci-dessus, dans laquelle se trouve notre zone d'étude, se situe sur des mailles aux notes globales comprises entre 6 et 9 ce qui implique des enjeux multiples et forts. Pour le volet (3) Biodiversité « Conserver la biodiversité » au sein du rapport (PRAM, 2022), nous pouvons souligner l'usage d'une notation différenciée pour chaque espèce d'amphibien d'Occitanie, attribuée en fonction du statut de protection de l'espèce. Cette notation s'étend de 0 à 4 et le pélobate cultripède

est la seule espèce à enjeu de conservation majeur, notée donc à 4 points. Cette même forme de notation sera employée dans la méthodologie de notre étude (cf. [tableau 1](#)).

Il existe une autre forme de caractérisation de l'état écologique des zones humides (ZH), il s'agit des indicateurs et des protocoles RhoMéo, disponibles dans la boîte à outil (BAO) de suivi de zones humides (Porteret et al., 2014) sur le bassin Rhône Méditerranée. Il s'agit de 13 indicateurs multivariés pour évaluer les fonctions des milieux humides adaptés à la région. Dans la BAO, chaque indicateur fait l'objet de 3 fiches décrivant : le choix des indicateurs (bibliographie), le protocole pour évaluer cet indicateur, l'analyse et l'interprétation (calcul de la valeur et interprétation des résultats vis-à-vis de la ZH). Ces indicateurs ne sont pas accessibles au grand public, ils nécessitent un expertise dans le domaine environnemental pour leur application, notamment pour les protocoles de suivi d'espèces animales et végétales, connaissances hydrologiques, etc. Ce protocole est chronophage et coûteux à mettre en place dans son entièreté, mais l'utilisation d'un ou deux paramètres a été utilisé pour évaluer la fonctionnalité de la mare post-restauration par le CEN Occitanie avec les paramètres d'intégrité du peuplement d'odonates et d'amphibiens. Toutefois, son usage pour l'évaluation de l'état des mares pour les amphibiens de cette étude n'est pas envisageable faute de moyens et des compétences nécessaires. Par ailleurs, la liste d'espèces se limite au bassin méditerranéen et la mise à jour de cette liste nécessite l'intervention et la validation des données par un réseau de naturalistes à échelle régionale ce qui dépasserait les délais pour l'étude.

Une troisième méthodologie a été envisagée afin d'évaluer la fonctionnalité d'une mare : il s'agit de l'indice IBEM - l'indice de biodiversité des étangs et des mares (Oertli et al., 2008). Cet indice permet l'évaluation biologique à travers le calcul de l'IBEM obtenu à partir d'un échantillonnage standardisé de la végétation aquatique, des gastéropodes aquatiques, des coléoptères aquatiques, des odonates adultes et des amphibiens. Cette évaluation découlant d'une méthodologie de la DCE 2000 (Directive Cadre Européenne sur l'eau) doit être faite par des professionnels de l'environnement car elle mobilise des connaissances naturalistes. Bien que très intéressante par son calcul multicritères et sa rigueur d'application, elle se concentre uniquement sur le point d'eau évalué et ne permet pas de caractériser l'environnement alentour, ce qui l'écarte pour l'étude présente. Cependant elle a permis de consolider les connaissances et de valider les protocoles pour les sorties amphibiens réalisées.

Pour finir, nous avons étudié et retenu l'indice IECMA - Indicateur de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens (Maillet et al., 2017). Ce protocole a pour principal objectif d'évaluer la capacité d'une pièce d'eau à accueillir les amphibiens en prenant en compte le contexte immédiat dans lequel se situe cette pièce d'eau. Initialement il a été prévu pour suivre en particulier le Triton crêté et le Triton ponctué visés par l'étude sur la tourbière du Grand Lemps pour laquelle cet indice a été créé. Constitué à l'origine de 20 paramètres favorisant la présence d'amphibiens (herbiers aquatiques, grand réseau de mares...) ou limitant leur accueil (présence de poissons ou d'une route à proximité...), il permet ainsi d'évaluer le potentiel de la mare en se basant sur les spécificités écologiques des

amphibiens. Les paramètres retenus ont été testés (Maillet et *al.*, 2017) et une notation a été attribuée à chaque paramètre - 5 points, 2 points ou 0 point en fonction de son caractère très favorable, favorable ou défavorable pour la mare - afin d'aboutir à une notation sur 100 avec le cumul des points de chaque paramètres.

Pour cette étude, l'IECMA proposé garde 19 des paramètres sur 5 ou 10 points afin d'obtenir une notation sur 100, adapté à la compréhension du public. Les 19 paramètres sont divisés en 3 grandes catégories : l'état écologique du point d'eau (12 paramètres), l'étude du contexte géographique alentour (6 paramètres) et l'état des populations d'amphibiens (1 paramètre). Pour la première catégorie, les paramètres du IECMA initial, semblables à ceux que l'on peut trouver dans les fiches 'mares' du PRAM (cf annexe 8) ont été ajustés à ces derniers. Ainsi, en récupérant ces fiches PRAM identifiant les mares en Occitanie, nous pouvons obtenir les paramètres écologiques de la mare et attribuer un début de notation IECMA (ces paramètres sont affichés en **bleu** dans la première colonne du [tableau 1](#)). Pour les données concernant le contexte alentour, les paramètres peuvent être classés via une cartographie Qgis, une photographie aérienne ou une estimation sur le terrain (ces paramètres sont en **jaune** dans le tableau 1). Finalement le paramètre concernant la richesse spécifique en amphibiens découle des inventaires terrains réalisés, des données SINP récupérées ou alors des grilles POP Amphibiens de la SHF (ce paramètre biodiversité est noté en **vert** dans le tableau 1). Ainsi, la complémentarité des approches naturalistes et cartographiques permet de hiérarchiser les mares pour : (1) classer leur favorabilité vis-à-vis des amphibiens et en particulier du Pélobate cultripède ; (2) intégrer ce critère de fonctionnalité local à l'analyse à l'échelle du réseau de mares ; (3) identifier les actions de gestion à mettre en place et prioriser leur réalisation ; (4) améliorer la connaissance sur les mares du Larzac.

2.1.2 Mise en place du IECMA sur le Causse du Larzac

Comme nous l'avons présenté tout au long de ce rapport, les amphibiens sont un groupe taxonomique ayant la particularité d'avoir un cycle de vie biphasique, une phase terrestre et une phase aquatique. C'est pourquoi l'indicateur IECMA prend en compte des paramètres concernant l'état écologique de la mare mais également les facteurs paysagers dans un contexte proche à la mare (jusqu'à 500 m autour). L'adaptation à l'environnement du causse du Larzac s'inspire en partie du remaniement réalisé dans le contexte d'une étude pour la conservation du Pélobate cultripède dans le bassin versant du Calavon dans le Vaucluse (Renet et *al.*, 2024).

Pour ce qui est des paramètres adaptés au contexte du Causse du Larzac, nous pouvons mentionner, par exemple, la nature du fond. En effet, les lavognes étudiées sont constituées de dalles de pierre ou de béton. Historiquement, elles pouvaient être également directement creusées dans la roche. Un critère "*piétinement*" a été ajouté au vu du contexte agropastoral de la région. Et, la notation a été ajustée aux traits de vie du Pélobate cultripède, qui est l'espèce patrimoniale protégée que l'on vise

principalement par la restauration des mares et lavognes. L'adaptation du IECMA au causse du Larzac a nécessité un travail bibliographique pour mettre à jour l'ensemble des paramètres. La présentation de chacun des paramètres et leur évaluation sont disponibles dans la fiche IECMA en annexe 8. Le tableau 1 ci-dessous est une synthèse des notations de chaque paramètre.

Tableau 1: Paramètres à renseigner dans la grille de calcul de l'IECMA, modifiés et adaptés pour l'étude des mares sur le Causse du Larzac (Maillet *et al.*, 2017 ; Devanne, 2024).

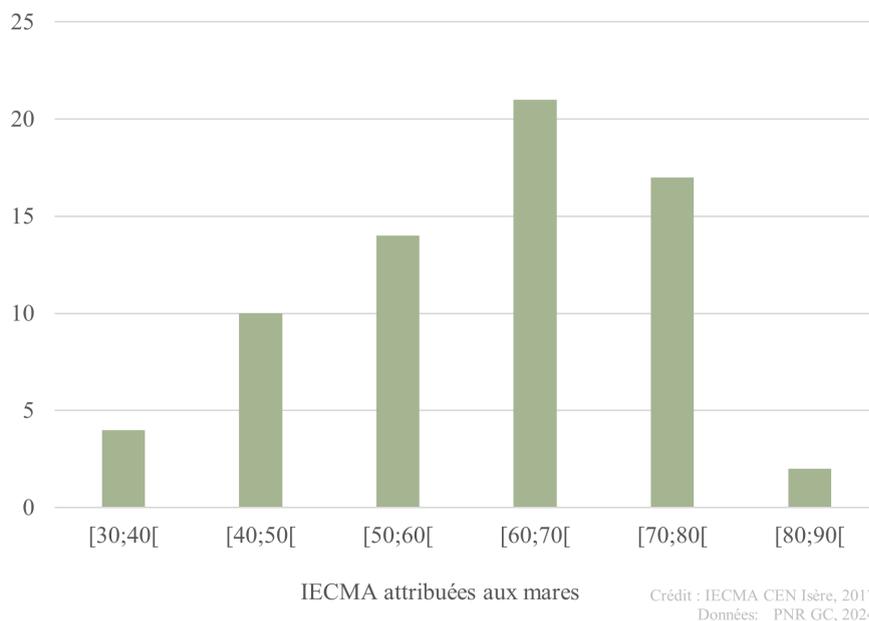
N°	Critères d'évaluation	Très Favorable (≤ 5 pts)	Favorable (2 pts)	Défavorable (0 pts)
Etat de conservation de la mare				
1	Superficie en m ²	S > 50 m ²	10 m ² < S < 50 m ²	S < 10 m ²
2	Profondeur en m	1 m < P < 2 m	0,5 m < P < 1 m ou P > 2 m	P < 0,5 m
3	Nature de fond	Terrain naturel	Pierre / Béton	Bâche plastique
4	Turbidité	Limpide	Trouble	Opaque
5	Berges en pente douce (< 30°)	BPD > 1/2 périmètre	0 < BPD < 1/2	BPD = 0
6	Recouvrement en hélophytes	Moyen (25 à 50%)	Abondant (50 à 75%) ou peu abondant (< 25%)	Très abondant (> 75%)
7	Recouvrement en hydrophytes	Très abondante (>75%) ou abondante (50 à 75%)	Moyen (25 à 50%)	Peu (<25%)
8	Stade d'évolution	Stade 2	Stade 1 ou 3	Stade 4
9	Poissons	Absence		Avérée ou probable
10	Plante Exotique Envahissante (PEE)	Absence		Avérée ou probable
11	Piétinement / passage par le bétail ou la faune sauvage	Pas de piétinement	Piétinement partiel ou localisé	Piétinement général
12	Pollution chimique ou organique visible	Absence	Probable	Avérée
Favorabilité du contexte local pour la communauté d'amphibiens				
13	Contexte précis	Zone humide / Prairies / Landes / Bosquets - Feuillus / Fourrés / Lagune littorale	Terres arables / Jardins / Bois de résineux / Tourbière acide	Zone urbanisée ou semi-urbanisée / Zone de cultures / Infrastructure de transports
14	Distance à la pièce d'eau la plus proche	D \leq 250 m	250 > D < 500 m	D > 500 m
15	Nb de pièces d'eau à moins de 500m	> 2	1	0
16	Distance avec un site terrestre d'hivernage potentiel (en m)	0 < D < 250	250 < D < 500	D > 500
17	Contiguïté d'un corridor linéaire	Corridor écologique linéaire à moins de 100 m	Corridor écologique linéaire situé à une distance comprise entre 100 m et 300 m	Corridor écologique linéaire situé à une distance supérieure à 300 m
18	Zone d'écrasement d'amphibiens potentielle (à moins de 250 m)	Pas de route / Route non bitumée	Route bitumée "communale"	Route départementale ou nationale
19	Richesse en amphibiens à proximité (dans un rayon de 500 m)	ENTRE 0 ET 10 PTS		
		1 pt par espèce (<i>pelophylax sp.</i> non comptabilisées) + 2 pts si <i>pelobates cultripes</i> présent.		

2.1.3 Résultats et analyses du IECMA sur la zone d'étude

Sur la zone d'étude, 68 mares ont pu être visitées et notées : 35 à la Couvertoirade, 15 mares au Caylar et 18 dans la commune des Rives. Les résultats ont été compilés dans un tableau excel - disponible en annexe 10 - et analysés. Sur la [figure 23](#), nous pouvons visualiser la distribution gaussienne des notes IECMA de 0 à 90 (aucune note n'excède 87) avec leur fréquence. La majorité des mares (35) ont des notes comprises entre 50 et 70 points, ce qui correspond à un état écologique acceptable pour certaines espèces mais insuffisant pour celles ayant des exigences importantes dont le

Pélobate cultripède. Nous constatons que 14 mares n'atteignent pas la moyenne de 50 points, cela représente 1 mare sur 5. Cependant, nous pouvons dire que près d'une mare sur trois atteint le bon voire très bon état écologique (IECMA \geq 70).

Figure 23: Fréquence des notes IECMA attribuées aux 68 mares de la zone d'étude.



La [figure 24](#) suivante nous confirme que la moyenne des notes se situe aux alentours de 60, et ce, pour les moyennes des 3 communes. La Couvetoirade ayant la meilleure moyenne IECMA sur ses mares avec 61,2 a une différence de moins de 3 points avec le Caylar ayant la moyenne la plus basse avec 58,5 points. La note la plus haute (87) et la note la plus basse (34) appartiennent à deux points d'eau situés sur les Rives.

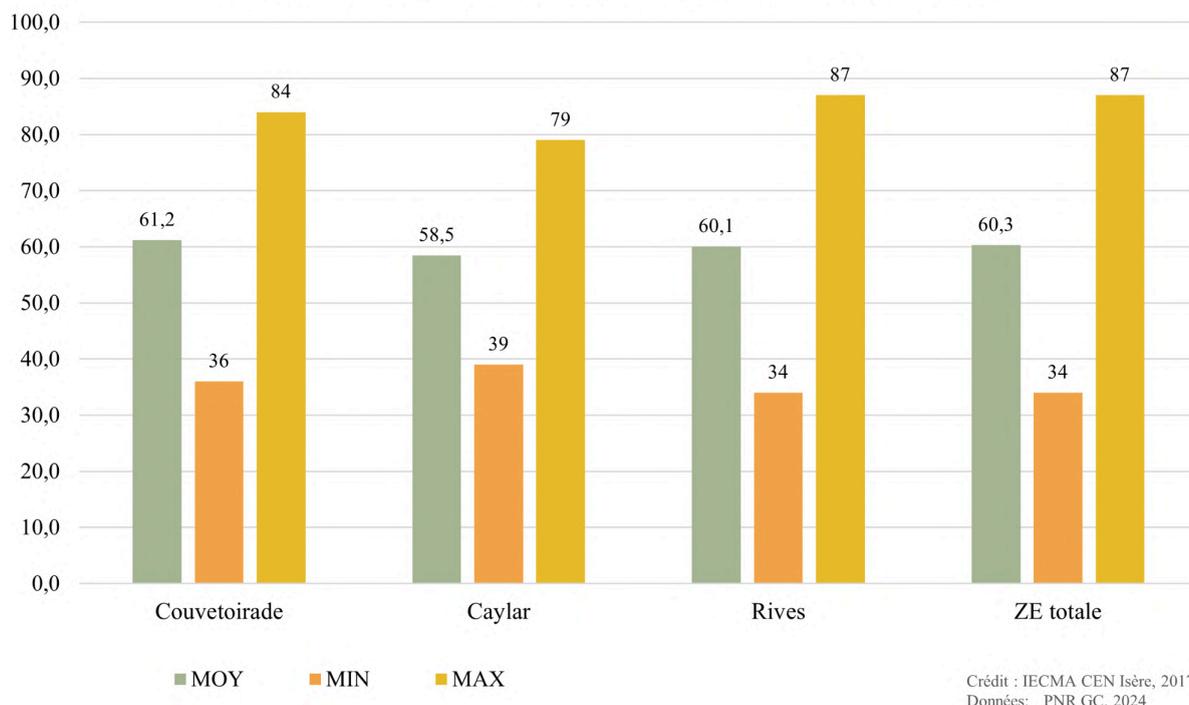


Figure 24 : Valeurs de l'IECMA de la Couvetoirade, du Caylar et des Rives en 2024.

Nous cherchons à comprendre quels sont les paramètres composant la note IECMA qui jouent le plus sur cette note. Pour cela, sur Excel nous avons calculé le cumul des points de chaque paramètre et nous l'avons divisé par le nombre de points maximal que l'on pouvait obtenir avec ce paramètre. Par exemple, pour le paramètre de la superficie, le cumul des 68 mares était de 259 points sur un maximum de 340 points (68 points x 5 points maximum par paramètre) et cette note a été transformée en pourcentage. Ainsi, nous pouvons connaître les paramètres qui font baisser le plus la note finale et donc sur lesquels il faut agir pour améliorer l'état de la mare pour l'accueil des amphibiens.

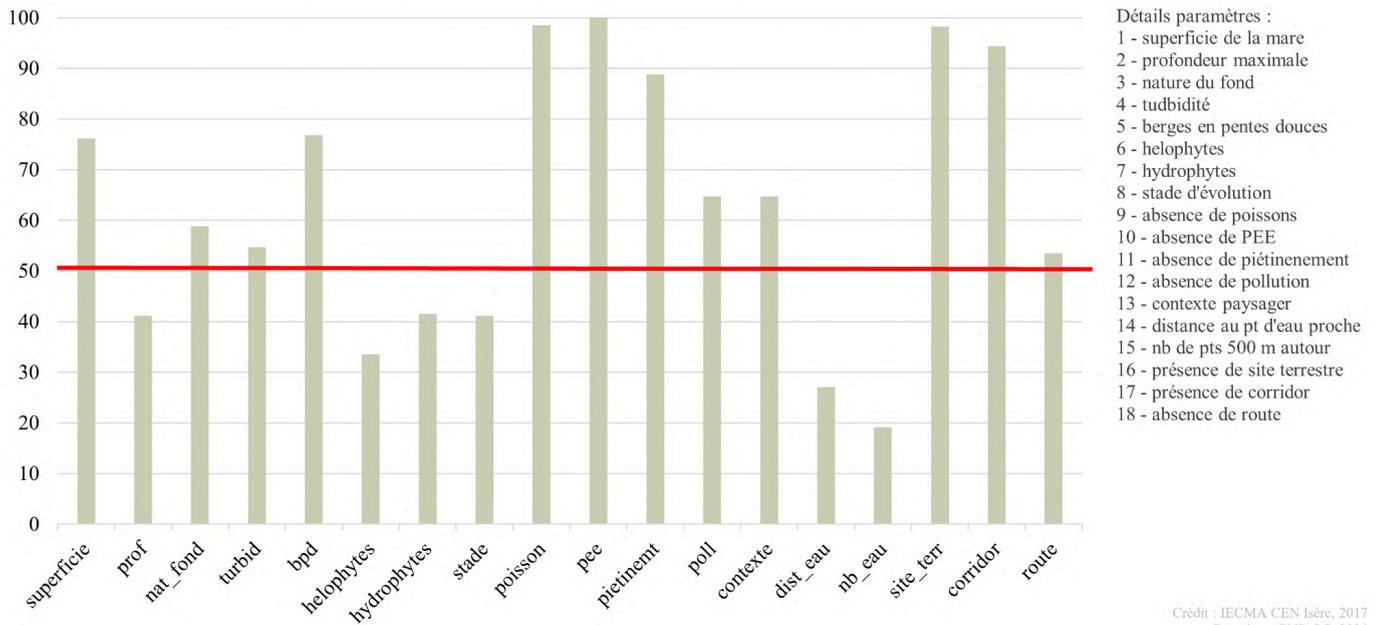


Figure 25: Comparaison du pourcentage des paramètres participant à la note IECMA finale sur les 68 mares de la zone d'étude.

Sur la [figure 25](#) ci-dessus, nous identifions les paramètres sous la barre rouge des 50 % soit les paramètres défavorables aux amphibiens sur les mares du territoire. De gauche à droite, nous commençons par la profondeur, environ 60 % des mares n'ont pas 5 points sur ce paramètre. En effet, il y avait 8 points d'eau à sec lors des prospections terrain et la rareté des eaux de surface combinée au climat aride sur la cause du Larzac joue en défaveur des amphibiens. De plus, il est nécessaire de préciser que le printemps 2024 a été particulièrement pluvieux, permettant le remplissage souvent complet des creux d'eau. Mais, dans le temps, d'autres points d'eau pourraient être à sec de façon plus précoce constituant un obstacle à la survie des espèces ayant un développement larvaire long.

Les paramètres '*helophytes*', '*hydrophytes*' et '*stade*' font référence au développement de la végétation aquatique ou semi-aquatique. Ils témoignent d'un développement végétal plutôt faible, ce qui peut s'expliquer en partie par la nature du fond : souvent rocheux, pavé ou bétonné pour les lavognes ou plastique pour certains réservoirs. Ils peuvent aussi résulter de la faible profondeur des sols caussenards calcaires sur lesquels la végétation, aquatique ou terrestre, a du mal à s'implanter et, même pour les mares aux fonds naturels, le développement végétal n'est pas optimal.

Les derniers paramètres que l'on peut regrouper sont la distance à un point d'eau proche '*dist_eau*' et le nombre de points d'eau à moins de 500 m '*nb_eau*' qui traduisent l'appartenance de la mare notée à un réseau de mares connectées. Sur le Larzac, la proximité entre les points d'eau, pour plus de 70 % des mares, ne permet pas d'avoir un réseau de mares connectées, à moins de 500 m les unes des autres. On peut l'expliquer, comme pour le premier paramètre, par la rareté de l'eau de surface sur le causse du Larzac, ne permettant pas une densité de réseau suffisante pour faciliter les flux des amphibiens (flux individuels, flux génétiques, flux de population pour une adaptation climatique).

Le reste des paramètres jouent plutôt en faveur des amphibiens, par exemple, le Larzac est doté d'un bon maillage de haies qui assure la continuité des corridors écologiques et fournit des sites d'hivernage à proximité, favorisant grandement la présence de tritons. D'ailleurs, on a pu constater sur les résultats de la RSA que le triton marbré est présent sur 40 % des mares, ce qui est supérieur aux taux constatés en Occitanie. Sur le Larzac, contrairement à de nombreuses autres régions en France, le sanglier est plutôt discret et l'élevage ovin est majoritaire ce qui limite le piétinement intensif des bovins et de la faune sauvage allongeant la longévité de la mare. Pour finir, il n'y a pas de plante exotique envahissante et une seule mare confirme la présence de poissons (la mare ornementale du village Les Rives), probablement grâce aux chantiers de gestion récents (cf. partie 1.1.2.2).

Cette analyse par paramètres a été réalisée pour les IECMA des 3 communes (cf. annexe 8) et permet d'expliquer les 2,7 points de différence entre la moyenne du IECMA des mares de la Couvertoirade et du Caylar : le paramètre 'pollution' se situe sous la barre des 50 % signifiant que les mares du Caylar sont en moyenne plus polluées que celles de 2 autres communes.

Il s'agit là de résultats globaux mais dans le cas des mares, leur gestion nécessite une étude au cas par cas afin d'apporter les solutions appropriées. C'est pourquoi réalisation de fiches descriptives propre à chaque mare - exemple pour la mare de Puit Laurent, [figure 26](#) - avec la note indicative de son état écologique pour l'accueil d'amphibien, sa localisation sur le territoire et une photographie récente. Ces fiches sont donc l'état initial 2024 de chacune des mares et permettent leur suivi dans les années à venir. Elles pourront donc servir de point de départ aux futures gestions à apporter.

Figure 26: Fiche descriptive avec l'IECMA de la mare de Puit Laurent à La Couvertoirade (12).

FICHES DESCRIPTIVE MARES ET LAVOGNES

INVENTAIRES MARES ET LAVOGNES SUR LE CAUSSE DU LARZAC 2024

Mare de Puit Laurent

Localisation sur le territoire :



Commune	La Couvertoirade
Lieu-dit	Puit Laurent
Propriétaire	Commune
Coordonnées	725018.572 / 6312015.136

Photographie : L.Devanne - 19/04/2024



Informations supplémentaires :

Notation IECMA			
N°	Critère d'évaluation	Choix	Notes
1	Superficie (en m2)	S > 50	5
2	Profondeur (en m)	0,5 < P < 1 ou P > 2	2
3	Nature du fond	Terrain Naturel	5
4	Turbidité	Limpide	5
5	Berges en pente douce	0 < BPD < 1/2	2
6	Recouvrement en hélophytes	Abondant (50 à 75%) ou peu abondant (<25%)	2
7	Recouvrement en hydrophytes	Très abondante (>75%) ou abondante (50 à 75%)	5
8	Stade d'évolution	Stade 2	5
9	Poissons	Absence	5
10	Plantes Exotiques Envahissantes	Absence	5
11	Piétinement par le bétail ou la faune sauvage	Pas de piétinement	5
12	Pollution chimique ou organique visible	Absence	5
13	Contexte précis	Zone humide / Prairies / Landes / Bosquets - Feuillus / Fourrés / Lagune littorale	5
14	Distance à la pièce d'eau la plus proche	D > 500 m	0
15	Nb de pièces d'eau à moins de 500m	0	0
16	Distance avec un site terrestre d'hivernage potentiel	0 < D < 250	5
17	Contiguïté d'un corridor linéaire	Corridor écologique linéaire à moins de 100 m	5
18	Zone d'écrasement d'amphibiens potentielle (à moins de 250m)	Route bitumée "communale"	2
19	Richesse en amphibiens à proximité	7	7
NOTE FINALE SUR 100			75
NOTE SANS RSA SUR 100			76

Valeur biologique estimée : ★ ★ ★

Crédits : Protocole IECMA - CEN Isère, 2017 / Devanne, 2024

2.2 Des amphibiens satisfaits sur le Larzac ?

Suite à la récolte et mise en forme des données de terrain - IECMA et RSA - dans une grille (cf. annexe 10), des analyses ont été réalisées sur Excel et sur RStudio en ligne⁷. Nous cherchons à mieux comprendre la présence des espèces d'amphibiens sur les mares du territoire en comparant les différents paramètres du IECMA et les OS autour des mares avec la richesse spécifique en amphibiens (RSA). L'objectif est, d'une part, d'identifier les facteurs pouvant expliquer la distribution des espèces sur les mares, et d'autre part, de vérifier la cohérence des données entre elles.

2.2.2. Comparaison de l'indice IECMA avec la richesse en amphibiens

Pour commencer, nous allons comparer la note IECMA des mares (en retirant le dernier paramètre : la RSA et en ramenant la note de 90 à 100) à la RSA. Pour cela, sur excel, les notes sont classées en 5 catégories (cf. [figure 27](#)) et mises en lien avec la RSA moyenne des mares classées dans chaque catégorie. Il s'agit là d'une comparaison entre les 2 paramètres et non d'une corrélation puisqu'aucun test statistique n'a été réalisé. Cependant nous pouvons déjà visualiser des résultats. En effet, les mares ayant les IECMA les plus faibles sont également celles ayant un RSA moyenne la plus faible : les mares au IECMA en dessous de 50 points ont en moyenne 1,6 espèce d'amphibien par mare. A l'inverse, les mares ayant une note IECMA élevée (entre 80 et 90) sont effectivement celles ayant le plus de diversité spécifique avec en moyenne 5,5 espèces par mare. On remarque d'ailleurs que la relation est croissante, plus le IECMA est élevé, plus le nombre d'espèces par mare croît. En retirant le paramètre 19 (la RSA) du IECMA pour le comparer à la RSA, nous comparons directement les facteurs que nous avons sélectionnés pour décrire l'état écologique du point d'eau et son environnement proche. Le choix de ces paramètres favorables aux amphibiens au sein du IECMA est conforté par l'observation de cette relation croissante.

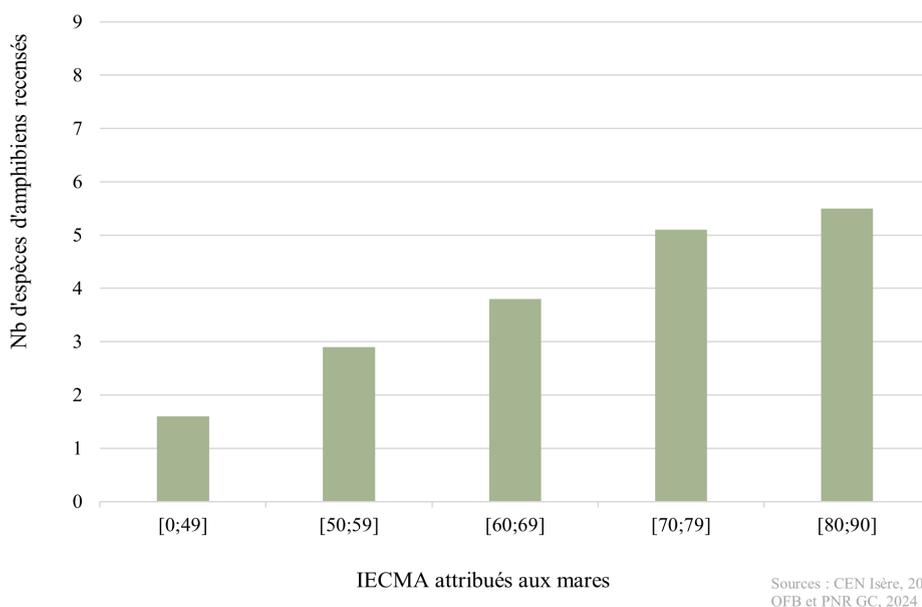


Figure 27: Nombre d'espèces d'amphibiens dans les mares de la zone d'étude en fonction de leur notation IECMA.

⁷ Il s'agit d'une plateforme de RStudio disponible gratuitement en ligne, sur le site internet [Posit Cloud](#). Cette option permet de ne pas installer le logiciel sur l'ordinateur, mais le stockage et la RAM sont limitées.

Dans un second temps, nous avons réalisé un boxplot, [figure 28](#), sur RStudio en compilant les IECMA des mares contenant chacune des 9 espèces. Par exemple, pour l'Alyte accoucheur nous avons compilé les 36 notes IECMA des mares dans lesquelles il a été observé. Nous rappelons que le détail du nombre de mares contenant chaque espèce est disponible sur la [figure 11](#). La [figure 28](#) nous permet de visualiser les exigences en matière de qualité écologique de chaque espèce : le Pélobate cultripède, considéré comme une espèce exigeante, a effectivement une moyenne de IECMA des mares qu'il habite plus élevée que les autres amphibiens, les valeurs sont supérieures aux 70 points. A l'inverse, les espèces ubiquistes comme les grenouilles vertes et le crapaud épineux ont des moyennes de IECMA plus faibles, inférieures à 60 points. On peut même les trouver dans des mares aux IECMA de 40 à 50 points traduisant les faibles exigences en termes de qualité écologique de la mare. On remarque que le Triton marbré a une moyenne un peu au-dessus de celle du Triton palmé, mais que globalement les tritons sont présents dans les mares aux IECMA proches de 70 points.

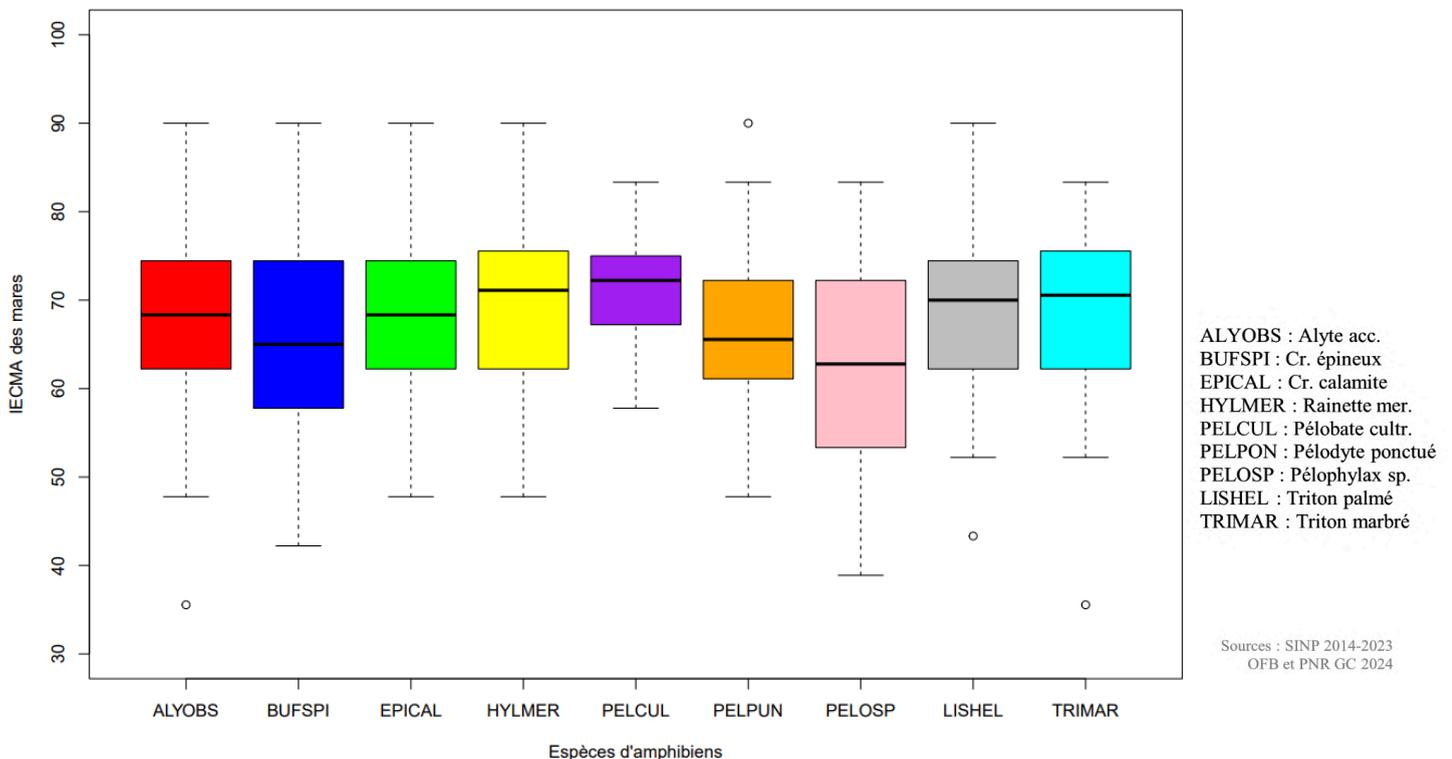


Figure 28 : Analyse des IECMA des mares comprenant chacune des 9 espèces du territoire .

2.2.3 Comparaison de la RSA avec les OS de la matrice paysagère

Dans la littérature scientifique, quelques études mentionnent l'impact important des occupations du sol sur les amphibiens dans un périmètre de 500 m autour de la mare : "*Conservation efforts should focus on maintaining suitable land use within at least 500 m around wetlands to protect amphibian populations*" (Semlitsch et Bodie, 2003) ou encore "*Amphibian species richness was negatively correlated with the proportion of agriculture within 500 m of breeding ponds*" (Cushman, 2006). Nous

allons donc comparer les occupations du sol dans un rayon de 500 m autour de la mare avec la richesse spécifique en amphibien, et ce par commune afin d'identifier les différences pouvant mener à l'augmentation ou diminution de cette richesse spécifique.

Sur Qgis 3.34.4, nous réalisons une extraction des pourcentages d'occupation du sol dans un rayon de 500 m autour des points d'eau à l'aide de la carte raster des occupation du sol (cf [annexe 7](#), carte réalisée dans la suite de l'étude pour la modélisation des corridors et réseaux de mares). Pour cela les outils 'histogramme zonal' et 'statistiques de zone' sont employés pour extraire le nombre de pixel correspondant à chaque occupation du sol cartographiée. Le résultat, disponible dans la table d'attribut de la couche créée par ces traitements Qgis, est exporté sur excel. Les occupations du sol, initialement 24, sont regroupées en 11 classes simplifiées et les pixels sont convertis en pourcentages : (nombre de pixels os / nombre de pixels des 500 m) x 100. La [figure 29](#) permet de comparer les pourcentages de ces occupations du sol autour des mares dans chacune des communes.

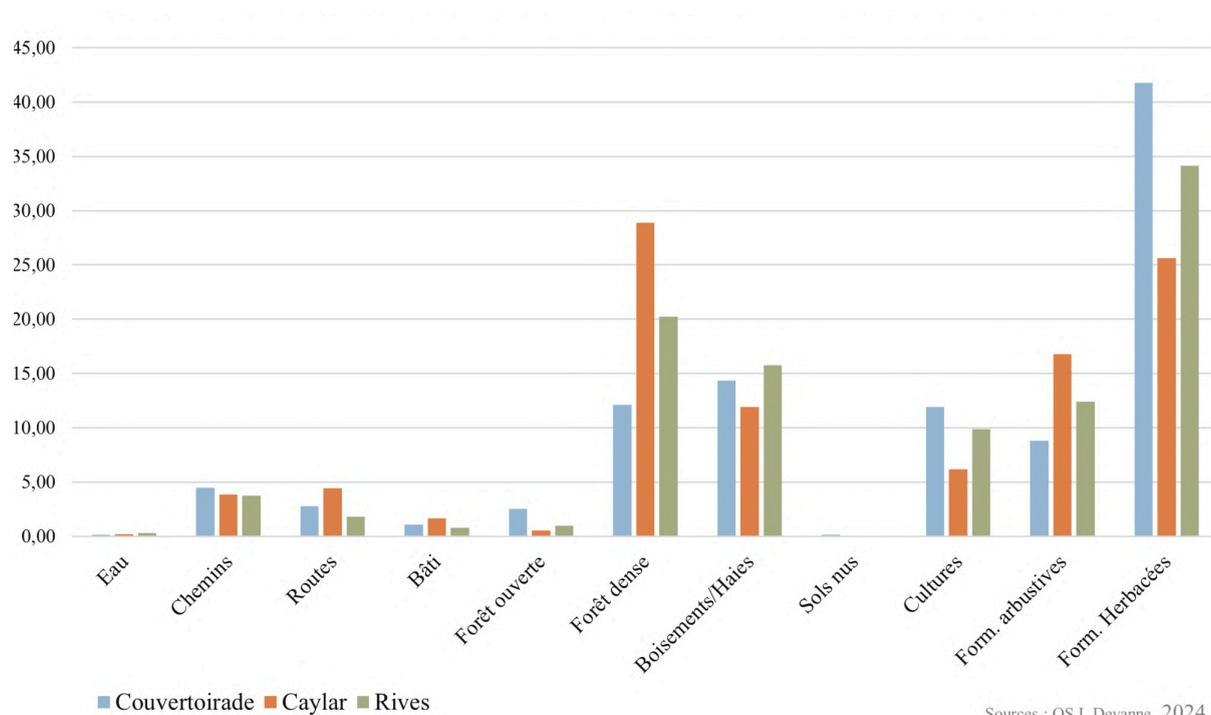


Figure 29 : Pourcentages moyen des occupations du sol dans un périmètre de 500 m autour de la mare pour chaque commune de la zone d'étude.

La première chose que l'on peut constater est que les mares de notre zone d'étude sont situées majoritairement dans des zones non artificialisées, avec des éléments 'naturels' : des prairies et des zones boisées. La Couvertoirade possède des pourcentages plus importants que les autres communes de formations herbacées et d'éléments boisés linéaires autour des mares, des milieux très favorables aux tritons. Ses pourcentages de milieux ouverts - cumulant les formations herbacées, arbustives, les zones de cultures et la forêt ouverte - sont également plus élevés, rendant le contexte aux alentours de

la mare plutôt favorable au Pélobate cultripède. Le Caylar est la commune présentant les pourcentages de milieux fermés les plus forts avec le cumul des formations arbustives, des linéaires boisés et de la forêt dense. On peut dire que ses mares sont plus forestières. Cette commune possède également le taux de route le plus important avec presque 5 % et de bâti dans le périmètre de 500 m autour des mares, un paramètre qui nuit aux amphibiens.

Afin de mieux comprendre l'impact potentiel de l'environnement immédiat autour de la mare, nous allons comparer ces pourcentages d'OS à la richesse spécifique en amphibiens. Pour cela, 3 catégories de RSA sont formées : une RSA faible de 0 à 3 espèces, une RSA moyenne de 4 à 6 espèces et une RSA importante de 7 à 9 espèces d'amphibiens. Les OS des mares de chaque catégorie ont été compilées et les pourcentages calculés apparaissent dans la [figure 30](#). Il ne s'agit pas de faire des corrélations statistiques mais plutôt de constater les résultats sur notre échantillon de n=68 mares.

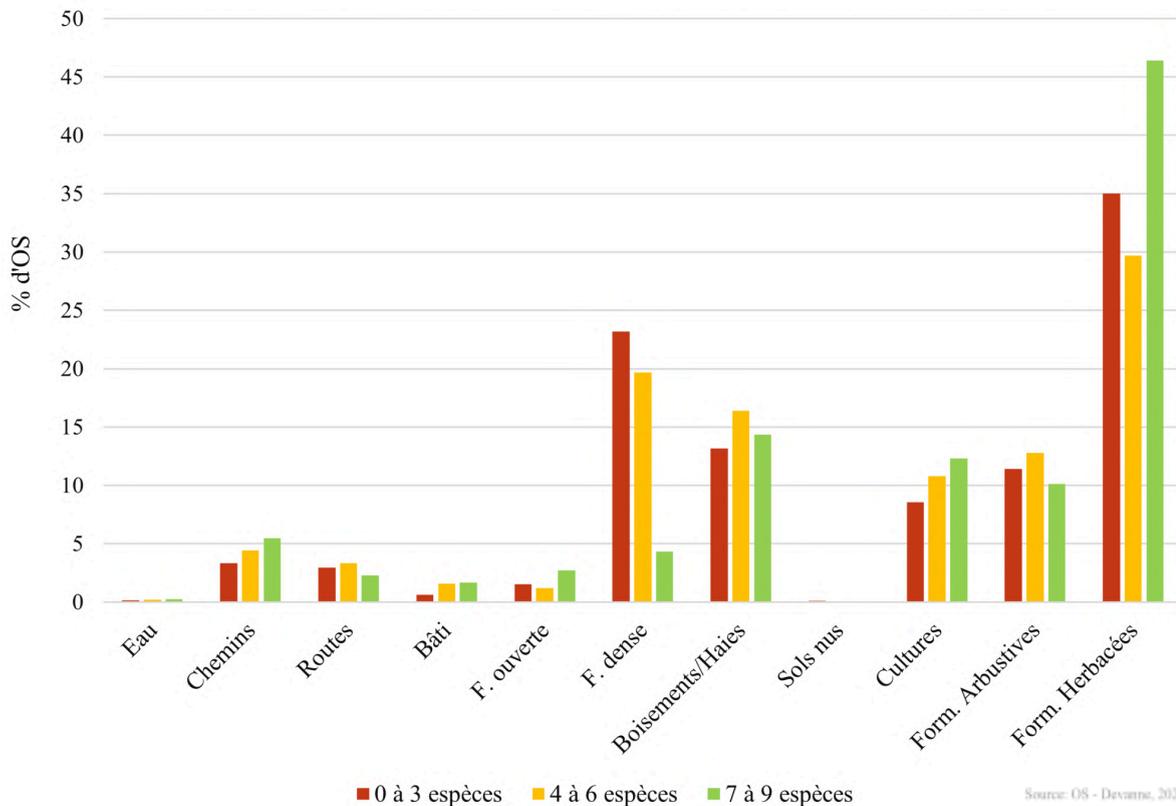


Figure 30 : Pourcentages d'occupation du sol dans un rayon de 500 m autour des mares au 3 catégories de RSA différentes.

Pour les mares ayant une RSA forte (en vert), le pourcentage de formations herbacées est particulièrement important (46%) comparé aux autres catégories. On remarque également le très faible pourcentage de forêt dense à proximité de ces mares (moins de 5%). Les mares de la catégorie de RSA moyenne (en jaune) ont légèrement moins de prairies et de forêts denses que les mares dans la catégorie de RSA faible mais plus de formations arbustives, de linéaires boisés et de routes que les mares à la RSA forte. Pour le restant des paramètres, les pourcentages avec les autres mares sont à peu

près les mêmes. Les mares ayant une RSA faible (en rouge) ont surtout un pourcentage de forêt dense aux alentours plus élevé (24 %) et moins de chemins et de zones de cultures que les autres catégories de RSA, ce sont des mares au paysages plutôt fermés.

2.2.4 Le Larzac, un territoire adapté pour amphibiens ?

Nous avons vu dans la [figure 27](#) qu'une note IECMA inférieure à 50 correspondant à moins de 2 espèces d'amphibiens en moyenne et que, une note supérieure à 70 correspond à une diversité de plus de 5 amphibiens dans la mare. Nous savons également que sur les mares du territoire, le Pélobate habite celles dont la note est supérieure à 70 points en moyenne, les deux espèces de tritons occupent des mares aux notes proches de 70 et que le Crapaud épineux, les *Pelophylax sp.* et le Pélodyte ponctué séjournent dans des mares aux notes parfois inférieures à 60 points ([figure 28](#)). Nous rappelons que cet indice est construit à partir des exigences écologiques d'espèces comme le Pélobate cultripède ou le Triton marbré qui nécessitent des éléments très spécifiques dans une mare pour s'y installer (végétation aquatique développée, profondeur d'eau suffisante, etc.). Ces résultats confirment donc que des amphibiens comme le Pélobate cultripède et le Triton marbré sont des espèces aux traits de vie exigeants, nécessitant un habitat à la note IECMA élevée. Nous pouvons justifier les différences de diversité spécifique entre les 3 communes en combinant la qualité de l'habitat traduite par le IECMA et l'analyse du paysage à l'aide des occupations du sol qui entourent la mare dans un rayon de 500 m. Les mares du Caylar ont la RSA la plus faible, elle est de 3,4, mais ce sont aussi les mares avec la moyenne de IECMA la plus basse (58,5 points) ainsi qu'un pourcentage plus élevé de milieux fermés et légèrement plus de routes ([figure 29](#)). Par ailleurs, ces pourcentages élevés de milieux fermés pourraient expliquer l'absence de Pélobate, inféodé aux espaces ouverts et/ou meubles, sur la commune Pour les mares de la Couvertoirade qui ont en moyenne 3,6 espèces par mares, les notes IECMA sont les plus élevées (moyenne à 60,2 points) et les milieux sont plus ouverts (plus de prairies et de cultures) avec un linéaire boisé développé. Pour finir, les mares des Rives à la RSA la plus haute (presque 4 espèces par mares), leurs notes IECMA tournent autour de 60,1 points et le pourcentage de milieux ouverts égale presque celui de la Couvertoirade ([figure 24](#) et [29](#)). Le seul paramètre singulier sur cette commune est la faible quantité de routes (< 1 %) et notamment l'absence totale de l'autoroute A75 (cf. [figure 1](#)).

C'est pourquoi nous pouvons nous demander si les notes des paramètres IECMA sont suffisamment contrastées, certains facteurs tels que les routes sont probablement minimisés au regard de leur impact sur les amphibiens. Une notation à points négatifs permettrait de contraster davantage les paramètres aux conséquences fatales sur les populations d'amphibiens. On pourrait également émettre l'hypothèse que certains facteurs impactant les amphibiens restent à identifier dans le IECMA. Cela amène de nouvelles problématiques concernant la mise en place du IECMA qui serait alors plus chronophage, nécessiterait un matériel coûteux ou des connaissances très spécifiques (ex : analyse de la qualité de l'eau, eutrophisation, facteurs météorologiques).

2.3 Fonctionnalité du réseau de mares à travers une analyse spatiale : graphes et modélisation

Parmi les objectifs principaux de cette étude, on compte la caractérisation de la fonctionnalité écologique du réseau de mares pour les amphibiens au sud du plateau du Causse du Larzac au regard de la déprise pastorale et des voies de communications, telles que la A75 qui fractionne le territoire. Cette analyse comprend donc l'identification des réservoirs de biodiversité et des corridors de déplacement ainsi que la quantification de la connectivité au sein de la zone d'étude. Pour cela une modélisation est réalisée à l'aide de l'outil cartographique *Qgis 3.34.4* et du logiciel de modélisation *Graphab 2.8.6* (Foltête et *al.*, 2021). L'étude vise à guider et prioriser les mesures de gestion sur les mares et les corridors de déplacement afin de rétablir la fonctionnalité du réseau écologique. Elle a pour but également de justifier les actions de protection et de conservation des amphibiens du territoire du Larzac, en particulier pour le Pélobate cultripède et le Triton marbré.

2.3.1 Contexte et travaux existant pour la modélisation

2.3.1.1 Quelques notions d'écologie du paysage

L'écologie du paysage est un champ de recherche interdisciplinaire émergent qui étudie l'organisation spatiale des territoires en relation avec les processus écologiques et les activités humaines (Burel et Baudry, 1999; Turner, 2005; Wiens, 2002). Il combine l'approche spatiale de la géographie, qui se concentre sur la distribution des éléments dans l'espace, et l'approche fonctionnelle de l'écologie, qui examine les interactions entre les organismes vivants et leur environnement (Wiens et *al.*, 1993; Forman et Godron, 1986). L'objectif central de l'écologie du paysage est de comprendre comment les paysages, en tant que mosaïques d'habitats diversifiés, influencent la distribution des espèces, les flux de matières et d'énergie, ainsi que les processus écologiques à différentes échelles spatiales et temporelles (Turner, 1989; Levin, 1992).

La connectivité fait partie des concepts clés en écologie du paysage car il s'agit du degré par lequel le paysage facilite ou influence les mouvements entre les tâches d'habitat préférentiel pour une espèce donnée (Taylor et *al.*, 1993). La connectivité est cruciale pour la survie des populations d'espèces, en particulier dans les paysages fragmentés où les habitats naturels sont isolés les uns des autres. Cette notion englobe deux types principaux : la connectivité structurelle et la connectivité fonctionnelle (Merriam, 1984). La connectivité structurelle décrit la disposition physique des habitats dans le paysage, en se concentrant sur la proximité entre les tâches d'habitat. Par exemple, un paysage où les habitats sont physiquement reliés par des corridors continus aura une connectivité structurelle élevée (Merriam, 1984). La connectivité fonctionnelle se concentre sur le comportement des espèces, en examinant comment les individus se déplacent à travers le paysage en fonction de leurs besoins écologiques spécifiques (Wiens et *al.*, 1997). Par exemple, une espèce qui peut traverser des matrices

de paysage diversifiées (comme des champs ou des routes) aura une connectivité fonctionnelle plus élevée que celle qui est strictement dépendante d'un type d'habitat particulier.

Les réservoirs écologiques, aussi appelés habitats sources, sont des espaces plus ou moins naturels permettant à la biodiversité de réaliser en totalité ou en partie leur cycle de vie (alimentation, reproduction, repos). Chez les amphibiens, il comprend le point d'eau mais aussi tous les habitats terrestres alentour. Les réservoirs écologiques peuvent abriter des noyaux de populations - soit des populations d'espèces stables et viables - qui pourront alors se disperser et recoloniser de nouveaux habitats (Pulliam, 1988 ; Hanski, 1999) mais aussi accueillir de nouvelles populations d'espèces.

Les corridors écologiques sont les espaces qui permettent le déplacement des espèces entre les habitats. Ces zones de passage connectent les éléments paysagers permettant la circulation des flux d'individus, de gènes ou de ressources (Bennett, 1999). Ces corridors peuvent varier en taille, en forme et en qualité, allant de simples haies ou bandes de végétation le long des cours d'eau à des forêts linéaires continues. L'efficacité d'un corridor dépend de sa capacité à offrir un habitat temporaire ou permanent pour les espèces en déplacement ainsi qu'à réduire les barrières imposées par les activités humaines telles que l'urbanisation ou l'agriculture intensive. Par exemple, dans un paysage urbain fragmenté, les corridors écologiques peuvent prendre la forme de parcs urbains, de rivières ou de bandes boisées, jouant un rôle critique dans le maintien de la connectivité écologique (Bourgeois, 2015).

Un réseau écologique est un ensemble de réservoirs interconnectés par des corridors écologiques qui facilitent la dispersion, la migration et l'échange génétique entre les populations d'espèces (Opdam et Wascher, 2004). Ce concept a été intégré dans le droit français, apparaissant dans les articles L.371-1 et R.371-19 du Code de l'environnement, ce qui a conduit à la création des trames vertes et bleues (TVB). Celles-ci sont utilisées comme outils de planification et d'aménagement du territoire dans les schémas régionaux de cohérence écologique (SRCE).

Pour finir, la fonctionnalité fait référence à la capacité d'un paysage à maintenir les processus écologiques et les populations d'espèces (Fahrig, 2003). Elle est liée à la structure spatiale du paysage et à la connectivité entre les éléments, comme la connectivité entre les réservoirs de biodiversité reliés par les corridors écologiques formant les réseaux, mais elle dépend aussi de la qualité des éléments qui composent le réseau écologique. Par exemple, dans le cas de notre étude, il faut qu'un ensemble d'habitats terrestres et aquatiques répondent aux exigences écologiques des espèces qui y vivent, qu'ils soient connectés par des corridors continus, pour que le réseau soit fonctionnel c'est-à-dire qu'il soit suffisant pour maintenir la viabilité sur le long terme des populations d'amphibiens.

L'écologie du paysage offre un cadre conceptuel et d'action pour comprendre et gérer les interactions complexes entre les activités humaines et les processus écologiques dans les paysages fragmentés. La

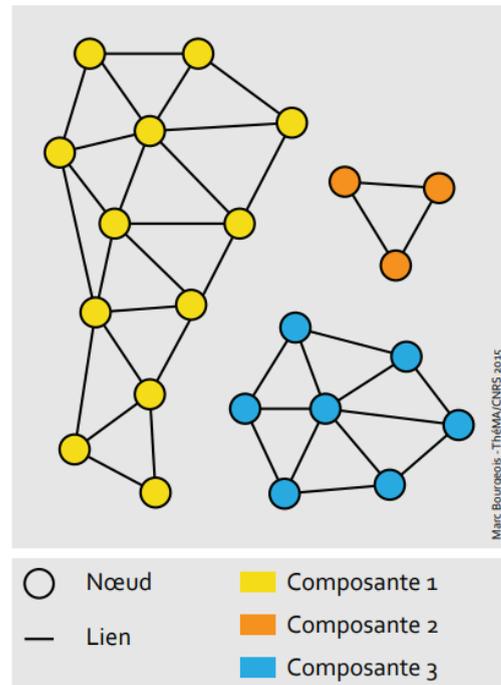
modélisation de ses éléments permet de concevoir des stratégies de conservation qui favorisent la résilience des écosystèmes et la biodiversité.

2.3.1.2 Théorie des graphes, métriques et modélisations

La modélisation spatiale à l'aide des SIG comme Qgis et de logiciels de modélisation comme Graphab, peut être utilisée pour comprendre les structures et les dynamiques des paysages, en particulier des réseaux pour cette étude. Nous allons expliquer les notions théoriques utilisées dans ce contexte.

La théorie des graphes est une branche des mathématiques qui étudie les relations entre les objets d'un ensemble donné. La théorie des graphes a été formalisée par Leonhard Euler en 1736. Ces objets, appelés sommets ou nœuds, sont connectés par des arêtes - ici on les appellera des liens - et les séquences de nœuds connectés par des liens sont des chemins. Les composantes sont des sous-ensembles de sommets où chaque paire de sommets est connectée par un chemin (Newman, 2010).

Figure 31 : Illustration d'un graphe à trois composantes (Bourgeois, 2015).



Appliqués dans le cadre écologique dans lequel nous travaillons, nous pouvons traduire ces éléments mathématiques de la façon suivante : les nœuds représentent des réservoirs de biodiversité et sont connectés par des chemins, ce qui correspond aux corridors de déplacements des espèces. Un ensemble de réservoirs connectés formera un réseau, cela correspond au concept des composantes. Tous ces éléments sont localisés dans l'espace géographique, permettant d'évaluer la connectivité écologique au sein du paysage dans lequel on se situe.

Afin de visualiser les flux de dispersion des espèces et de quantifier la connectivité écologique, nous pouvons utiliser les métriques. Les métriques sont des mesures quantitatives, calculées, qui permettent d'analyser les graphes créés. Pour calculer des métriques divers objets des graphes peuvent être utilisés, par exemple, le degré d'un nœud (soit le nombre de connexions de ce nœud avec d'autres nœuds du graphe), la distance (on calcule le nombre minimum de liens pour aller d'un nœud à un autre), la centralité (mesure l'importance du sommet au sein du graphe par rapport à son nombre de connexions alentour ou sa proximité avec d'autres nœuds) ou, à l'inverse, l'excentricité (c'est la plus grande distance entre le nœud et n'importe quel autre nœud du graphe).

Pour cette étude deux métriques ont été utilisées : la métrique globale de Centralité Équivalente (EC) et la métrique locale Flux-circuit (CF). La centralité équivalente prend en compte la superficie d'habitat disponible et la connectivité entre ces patches d'habitats. Il s'agit d'une métrique globale car elle est calculée à l'échelle du paysage. La valeur EC calculée ne donne une information que si elle est comparée à une autre : c'est le taux de variation entre les EC calculées qui évalue le gain ou la perte de connectivité entre des scénarios différents ([figure 32](#) ci-dessous).

Connectivité équivalente (EC)	Formule	Signification
Niveau global Niveau composante Delta	$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$	Racine carrée de la somme des produits de la capacité de tous les couples de tâches pondérées par leur probabilité d'interaction.
Valeurs	L'unité correspond à l'unité des capacités des tâches. Valeur minimale : 0 Valeur maximale : capacité totale des tâches	
Commentaire	Pour chaque couple de tâches, le chemin du graphe utilisé est celui qui maximise $e^{-\alpha d}$, c'est-à-dire celui qui minimise la distance d (ou le coût) entre les tâches i et j .	
Référence	[Saura et al.(2011)]	

Figure 32: Métrique EC dans le manuel d'utilisation [Graphab 2.8](#) (Foltête et al., 2021).

La métrique Flux circuit (CF) utilise la théorie des circuits électriques pour modéliser la connectivité écologique (McRae et al, 2008). Elle calcule la somme des flux qui traverse chaque réservoir (ici la mare et ses habitats terrestres alentour) et permet d'identifier, d'une part, les habitats sources, et, d'autre part, les liens les plus importants soutenant ces flux ([figure 33](#)). Cette métrique peut être vue comme un équivalent de la métrique BC, Indice de Centralité Intermédiaire, (avec $\alpha = 0$ et $\beta = 0$) mais qui tient compte de l'ensemble des chemins possibles et non pas uniquement du chemin le plus court.

Flux circuit (CF)	Formule	Signification
Niveau local	$CF_i = \sum_j^n c_i^j$	Somme des courants traversant la tâche focale i . c_i^j représente le courant à travers la tâche i lorsque un courant est émis depuis toutes les tâches vers la tâche j (la tâche j est reliée à la terre)
Valeurs	Valeur minimale : 0 Valeur maximale : $(n-1)(n-2)$ si $\beta = 0$ $(n-2) \sum_i^{n-1} a_i$ si $\beta = 1$	
Commentaire	La métrique CF utilise la théorie des circuits électriques. Chaque lien du graphe correspond à une résistance électrique, les sources de courants et la terre sont quant à elles attachées aux tâches. Si $\beta = 0$ chaque tâche émet un courant unitaire, si $\beta = 1$ chaque tâche émet un courant égal à sa capacité. Cette métrique peut être vue comme un équivalent de la métrique BC (avec $\alpha = 0$ et $\beta = 0$) qui tient compte de l'ensemble des chemins possibles et non pas uniquement du chemin le plus court.	
Références	[Girardet et al.(2015)]	

Figure 33 : Métrique CF dans le manuel d'utilisation [Graphab 2.8](#) (Clauzel et al, 2022).

2.3.1.3 Travaux existants sur le Pélobate cultripède et le Triton marbré

La bibliographie concernant la modélisation des trames de déplacements des Tritons marbrés est plutôt restreinte. Il existe une dizaine d'études modélisant les réservoirs écologiques ou différents scénarios d'aménagements (Guérin, 2017), de changement climatiques (Préau, 2020) ou encore qui étudient la dispersion des espèces et les migrations saisonnières à l'aide de modèles mathématiques (Jehle & Arntzen, 2000; Malmgren et al, 2007⁹) et de méthodes génétiques (Spear et al.; 2010⁸). Mais très peu s'attardent sur les corridors de déplacements et les réseaux écologiques à une échelle locale, notamment dans un contexte d'aménagement et de gestion du territoire pour la conservation des espèces. Parmi les documents explorant ces thématiques, on peut trouver un dossier de l'ANA CEN Ariège en 2023 intitulé "Création d'un outil de modélisation "Réseau de mares" pour l'espace pilote autour du Mas d'Azil" qui modélisent à l'aides des outils Graphab et BioDispersal les continuités écologiques du Pélodyte ponctué et du Triton marbré. Quelques éléments méthodologiques tels que l'usage de la métrique CF et l'étude de création de mares seront explorés dans cette étude.

Concernant le Pélobate cultripède, il n'existe aucune étude, en France ou dans le monde, ayant modélisé les trames de déplacement et les réseaux écologiques du Pélobate cultripède. En effet, cette espèce est très localisée sur le pourtour Méditerranéen en France et sur la Péninsule Ibérique, et seules des méthodes génétiques ont permis d'identifier le potentiel de dispersion du Pélobate cultripède (cf. annexe 9). Quelques articles identifient les réservoirs écologiques des Pélobates (Iosif et *al.*, 2014; Renet et *al.*, 2024) ou bien les effets de la fragmentation des habitats par les linéaires routiers (Hels et Nachman, 2008⁹). Il n'existe donc pas de modélisation des réseaux écologiques du Pélobate cultripède, notre étude se veut donc pionnière concernant cette espèce et le territoire étudié : le causse du Larzac.

Comme pour les travaux récents de modélisation de Clauzel et *al.* (2024) concernant la connectivité des habitats pour favoriser la conservation des amphibiens, un habitat terrestre connexe à l'habitat aquatique sera pris en compte au sein de la matrice paysagère. Mais, contrairement à Clauzel et *al.* (2024), où l'habitat terrestre est considéré comme un réservoir à part entière déconnecté du point d'eau, l'habitat terrestre sera complémentaire à l'habitat aquatique, il fera partie du réservoir écologique dans un périmètre de 250 m autour du point d'eau. Cela se justifie par les faibles distances de migration et de dispersion des espèces étudiées qui recherchent des habitats dans un environnement immédiat autour de la mare (cf. partie [1.2.2](#)).

2.3.2 Modélisation sur Graphab : méthodologie

⁸ Cet article traite du Triton crêté mais les résultats et la méthodologie sont applicables au Triton marbré.

⁹ Cette étude se réfère au *Pelobates fuscus*, une espèce proche du *Pelobates cultripipes*.

Afin de quantifier l'état du réseau de mares sur la zone d'étude (La Couvertoirade, Les Rives et Le Caylar) une modélisation des trames de déplacements des amphibiens a donc été réalisée. Elle permet de visualiser et quantifier la fonctionnalité du réseau de mares, elle est complémentaire à l'analyse de la fonctionnalité des mares en elles-même (IECMA). La première étape consiste à produire une carte d'occupation du sol adaptée aux espèces étudiées, ici le Pélobate cultripède (milieux ouverts) et le Triton marbré (milieux semi-ouverts boisés) (cf. sous-partie [1.2.2](#)). Nous allons donc commencer par justifier la sélection et les coûts des OS. Puis nous verrons quelles sont les différentes modélisations réalisées répondant aux objectifs de gestion. Nous finirons par la construction des cartes d'OS répondant aux choix précédents avant de présenter les résultats de la modélisation. La méthodologie complète est disponible en annexe x, les paragraphes suivants visent à justifier les choix réalisés.

2.3.2.1 Occupations du sols et coûts de déplacements

Un travail bibliographique sur les traits de vie de chacune des espèces a été entrepris afin de construire une carte finale détaillée avec une vingtaine d'OS (cf. [annexe 4](#) et [5](#)). La sélection des occupations du sol s'est faite sur les critères d'habitat décrits dans les parties [1.2.2.1](#) pour le Pélobate et [1.2.2.2](#) pour le Triton marbré. En ce qui concerne les distances de dispersion, le choix se complique car il existe une poignée de documents, aux provenances très variées, qui ne permettent pas d'avoir une réponse consensuelle. Nous rappelons que la dispersion se réfère aux déplacements unidirectionnels en partance du site de naissance vers d'autres sites, plus lointains, pour la reproduction (Semlitsch, 2008). Chez les amphibiens, les juvéniles ont tendance à réaliser ces distances plus importantes que les adultes qui migrent de façon saisonnière pour la reproduction, effectuant ainsi des déplacements entre les différents sites de reproduction aquatiques disponibles dans un contexte plus local. C'est pourquoi les distances de dispersion sont difficiles à évaluer, en général elles sont estimées à partir de méthodes génétiques alors que les migrations sont mesurées à l'aide de méthodes comme la CMR (Capture-Marquage-Recapture) ou le PIT-Tagging.

Nous avons compilé l'ensemble des documents mentionnant les distances de dispersion ou migration chez le Pélobate cultripède, ils sont disponibles dans l'annexe 9 (Priol, 2015; Sanchez-Montes, 2018; Renet et al., 2018; Fizesan, 2018; Reyes-Moya, 2023; Martinez-Gil et al., 2023). Avec des données variant de 700 m à 1800 m, une dispersion maximale a été fixée à 1 000 m dans un premier temps, en concertation avec des experts naturalistes travaillant sur le Larzac. Cependant, au vu de la bibliographie incertaine, une deuxième modélisation a été réalisée avec une distance maximale de dispersion à 1 500 m afin de se rapprocher de la dernière distance maximale enregistrée en Espagne au sein d'une matrice paysagère très favorable à cette espèce. Dans la bibliographie, les distances de déplacements d'un Triton marbré sont mieux renseignées mais les données manquent encore, notamment concernant la dispersion des amphibiens juvéniles. Les données issues des documents scientifiques étudiés sont disponibles annexe 9 (Griffiths, 1985; Arntzen & Wallis, 1991; Griffiths et al., 2010). Les distances de dispersion pour le Triton marbré sont comprises entre 300 et 2 000 m.

C'est pourquoi, dans le cadre de cette modélisation et à l'appui de dires d'experts, les distances maximales de dispersion modélisées seront de 1000 m et de 1 500 m comme pour le Pélobate. Ce choix nous permettra également de comparer la favorabilité de la matrice paysagère pour chacune des espèces à distances de dispersion maximales (d_{max}) égales. De la même façon, aucune donnée concernant la perméabilité réelle des OS sélectionnées n'existe, ainsi des choix en concertation ont permis d'établir les coûts attribués aux OS pour ces deux modélisations sur le Causse du Larzac. La résolution finale de la carte d'OS est de 5 m et les déplacements ont été convertis en coûts de la façon suivante : une distance maximale de déplacement à 1000 m correspond à 200 pixels de 5 m au sein du raster d'OS. Le [tableau 2](#) présente les OS simplifiées pour le Pélobate avec les coûts pixels lors de la modélisation à $d_{max}=1000$ m et le [tableau 3](#) pour le Triton marbré à $d_{max}=1500$ m.

Tableau 2 : Coûts de déplacements simplifiés du *Pelobates cultripes* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac (Devanne, 2024).

Occupations du sol	Déplacement max en m	Déplacement max en px	Coût d'un pixel
Points d'eau et ZH	1000 m	200 px	1
Végétation arbustive, prairies et sols dolomitiques.	1000 m	200px	1
Chemins, sentiers, sols nus, linéaires de haies, lisières de forêts, petits boisements, cultures et prairies sans sols dolomitiques.	500 m	100 px	2
Routes communales, buses A75 et forêts ouvertes	50 m	10 px	20
Routes départementales	25 m	5 px	40
Forêts denses et zones anthropisées	10 m	2 px	100
A75 et centres urbains	5 m	1 px	200

Tableau 3 : Coûts de déplacements simplifiés du *Triturus marmoratus* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac (Devanne, 2024).

Occupations du sol	Déplacement max en m	Déplacement max en px	Coût d'un pixel
Points d'eau et ZH	1 500 m	300 px	1
Lisière de forêts, petits boisements, linéaire de haies et formations arbustives	1 500 m	300 px	1
Prairies, forêts ouvertes, chemins et sentiers	750 m	150 px	3
Forêts denses, sols nus, cultures, routes communales et buses A75	75 m	15 px	30
Routes départementales	40 m	8 px	60

Zones anthropisées	15 m	3 px	150
A75 et centres urbains	5 m	1 px	300

2.3.2.2 Scénarios de modélisations

Afin de comprendre les scénarios ci-dessous, il nous faut rappeler les objectifs de cette modélisation. Nous souhaitons identifier les trames de déplacements du Pélobate cultripède et du Triton marbré, analyser la fonctionnalité du réseau de mares et de la matrice paysagère vis-vis de ces espèces et tenter de quantifier l'impact - positif comme négatif - de la A75 présente sur la zone d'étude. Par ailleurs, la bibliographie concernant la dispersion du Pélobate et du triton marbré étant très contrastée, nous avons opté pour une double réalisation de chaque scénario avec les distances de dispersions maximales de 1 000 m et de 1 500 m. Pour finir, sur le terrain, lors des prospections diurnes des mares, nous avons constaté que certaines n'étaient pas en eau. C'est le cas de 8 des 70 mares visitées sur le terrain entre février et juin 2024. Il s'agissait pour 5 d'entre elles de lavognes à sec, potentiellement par manque d'étanchéité et qui pourraient être restaurées afin de stocker à nouveau de l'eau. Pour les 3 autres ce sont des mares naturelles qui ont fini par se combler, subir la fermeture des milieux ou dont la couche imperméable est désormais perméable laissant l'eau s'infiltrer. Avec l'ensemble de ces informations nous pouvons désormais décrire et justifier les scénarios du tableau suivant.

Tableau 4 : Douze scénarios explorés, modélisés et analysés dans le cadre de notre étude sur la fonctionnalité des réseaux écologiques pour les amphibiens du Sud-Larzac (Devanne, 2024).

Dispersion maximale	Pélobate cultripède		Triton marbré	
	1 000 m	1 500 m	1 000 m	1 500 m
Uniquement les mares en eau en 2024	S1P	S1P Bis	S1M	S1M Bis
Toutes les mares du territoire	S2P	S2P Bis	S2M	S2M Bis
Toutes les mares mais sans la A75 et ses bassins d'eau	S3P	S3P Bis	S3M	S3M Bis

Scénario 1 (S1-) : Il s'agit du scénario permettant de faire le diagnostic de la fonctionnalité du réseau de mare à l'état initial, c'est-à-dire, tel qu'il est en 2024. Pour cela, nous allons prendre en compte uniquement les mares fonctionnelles, soit en eau lors des prospections 2024. Comme nous l'avons dit, 2 distances maximales de dispersion seront calculées lors de la modélisation, et ce, pour les 2 espèces. Il existe 2x2 scénarios distincts (S1P/S1P Bis et S1M/S1M Bis) pour chaque espèce car les cartes d'OS sont différentes au vu des préférences pour les milieux ouverts du Pélobate cultripède et des milieux plutôt boisés pour le Triton marbré.

Scénario 2 (S2-) : Dans ce scénario, on prend en compte la totalité des mares existantes sur la zone d'étude, qu'elles soient en eau ou à sec cette année. Cela va permettre d'identifier l'importance au sein du réseau des mares à sec et de, peut-être, prioriser leur restauration en fonction de cette importance. Il s'agit donc des scénarios S2P et S2P Bis ainsi que S2M et S2M Bis.

Scénario 3 (S3-): Ce scénario est la modélisation permettant de quantifier, notamment à l'aide de la métrique globale de connectivité équivalente, l'impact de l'autoroute sur cette connectivité. Ainsi il sera possible de vérifier l'hypothèse d'un sectionnement définitif du territoire par l'autoroute et de savoir si les bassins d'autoroute, bien que ce ne soit pas des points d'eau optimales pour le développement des amphibiens, pourraient servir de points relais et compenser la perte de connectivité si c'est le cas. Il ne s'agit pas de faire une analyse diachronique de l'ensemble des éléments paysagers et de constater la perte de connectivité entre les années 70 (avant autoroute) et aujourd'hui, mais uniquement de retirer l'autoroute sur la carte d'OS afin d'isoler ce paramètre et le tenter de le quantifier 'seul'. Et, puisqu'il ne s'agit pas d'une analyse diachronique complète, nous n'allons pas comparer la représentation des déplacements sur une carte mais plutôt comparer les métriques avec les autres scénarios, c'est l'aspect quantitatif qui nous intéresse ici. Ainsi, la totalité des mares existantes ont été prises en compte pour cette modélisation, qu'elles soient en eau ou non en 2024 et il en résulte les scénarios S3P, S3P Bis et S3M, S3M Bis.

2.3.2.3 Réalisation des cartes d'OS

Notre zone d'étude est composée d'un premier périmètre comprenant les 3 communes sur lesquelles les prospections ont été réalisées auquel s'ajoute une zone tampon de 2 km autour de chacune des mares : le périmètre se retrouve agrandi pour les mares situées en bordure de commune. Ces 2 km supplémentaires sont donc appliqués afin de limiter les effets de bordure lors de la modélisation. Et, puisque la zone d'étude est un peu plus étendue que pour le IECMA, d'autres mares situées sur des communes annexes sont présentes sur cette extension, elles seront donc représentées en tant que mares sur la carte. Pour cette délimitation, aucune carte d'occupation du sol complète avec tous les éléments nécessaire et à une résolution satisfaisante (5 à 10 m) n'existait. Il a donc fallu en composer une en récupérant chacune des OS dans les sources de données disponible au sein de la base SIG du PNR GC mais également celles disponibles sur internet sur data.gouv.fr, le [brgm](http://brgm.fr) ou encore [geoservices](http://geoservices.fr). La [figure 34](#) compile l'ensemble des sources utilisées pour la construction de la carte d'occupation vectorielle qui a été par la suite rasterisée avec une résolution de 5 m.

Nous rappelons que la carte d'occupation du sol doit être adaptée au scénario et à l'espèce au vu des préférences d'habitat contrastées. C'est pourquoi 6 cartes d'occupation des sols différentes ont été produites dans le cadre de cette étude (un exemple est disponible en [annexe 7](#)) : une pour chacun des 3 scénarios des 2 espèces puisqu'elles ne convoient pas les mêmes milieux.

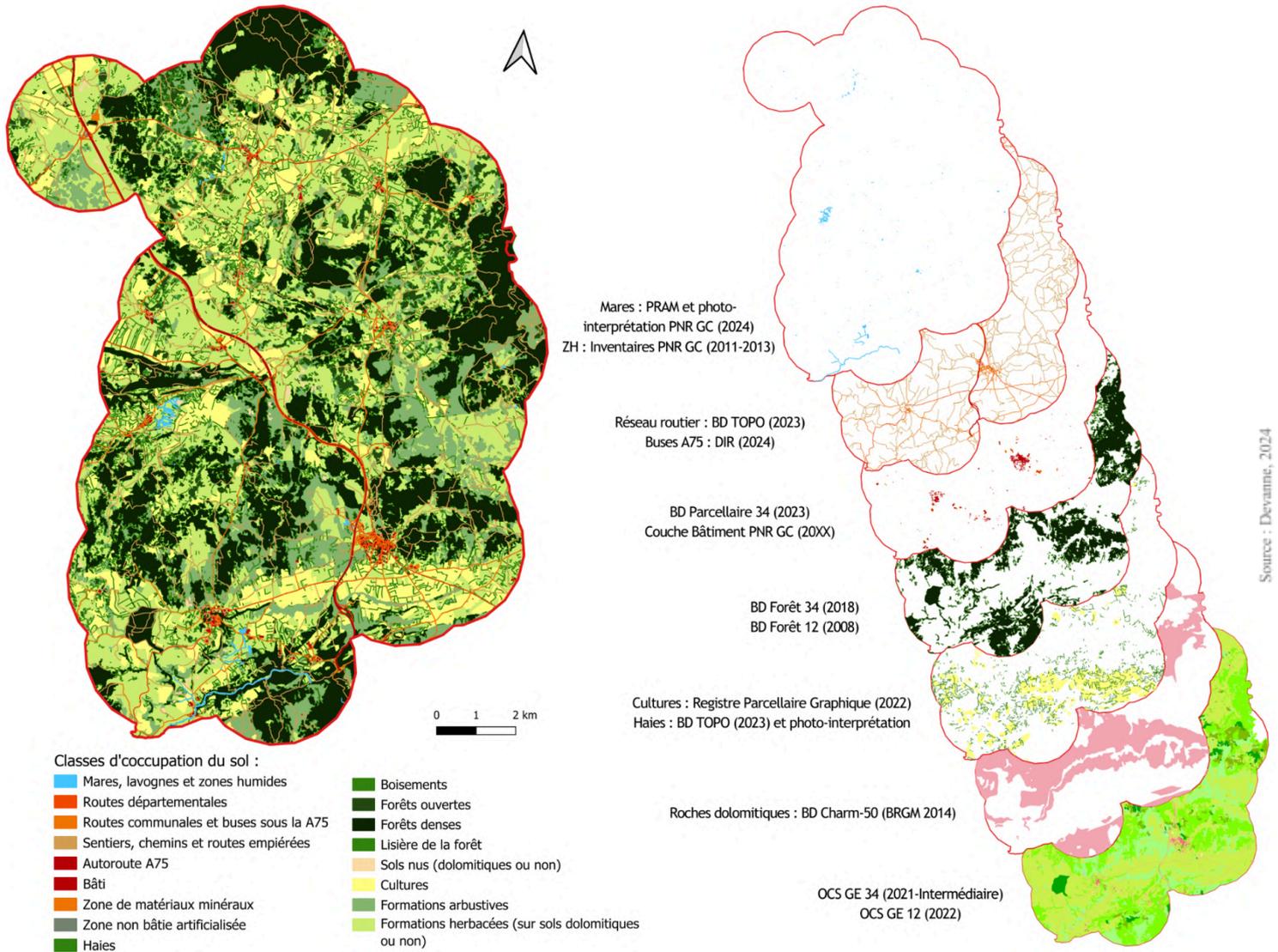


Figure 34: Compilation des occupations du sol dans la carte d'OS finale pour la modélisation.

2.3.3 Résultats de la modélisation

Après avoir réalisé l'ensemble des traitements sur *Graphab*, nous allons commenter et comparer les cartes résultant de ces modélisations. Nous évoquerons d'abord les résultats pour le Pélobate cultripède, aux distances de dispersion $d_{max} = 1000$ m et $d_{max} = 1500$ m et les métriques résultant des différents scénarios, puis les résultats pour le Triton marbré. Nous comparerons pour finir les deux espèces à d_{max} égales afin d'analyser par comparaison les effets de la fragmentation et des changements d'OS et nous entamerons une discussion sur les observations retenues.

2.3.3.1 Résultats pour le Pélobate cultripède

Nous avons compilé les paramètres résultats de la modélisation et la métrique EC calculée dans le [tableau 5](#) pour le Pélobate cultripède. La première chose que l'on constate est que le nombre de noeuds est le même entre les scénarios initiaux ($d_{\max} = 1000$ m) et les scénarios 'Bis' ($d_{\max} = 1500$ m), ce qui est tout à fait normal puisque les occupations du sols ne changent pas, le même raster est utilisé donc le nombre d'habitats (noeuds) est fixe. En revanche, ce sont les déplacements et la connectivité globale qui changent. Puisque le scénario 'Bis' prend en compte une distance de dispersion plus grande, il est logique que le nombre de liens augmente et que le nombre de composantes (sous-réseaux) diminue.

Tableau 5 : Résumé des paramètres et EC calculée sur Graphab pour le Pélobate cultripède.

Scénarios	S1P	S1P Bis	S2P	S2P Bis	S3P	S3P Bis
Noeuds	1307	1307	1421	1421	1321	1321
Liens	2875	2670	3169	2961	3003	2784
Composantes	50	36	51	36	47	33
Métrique EC	616 606	647 160	636 128	670 819	600 471	630 272

Nous allons comparer les scénarios deux à deux pour comprendre le rôle des éléments modélisés. Pour commencer, en comparant les scénarios S1P/S2P et S1P Bis/S2P Bis, la connectivité globale (EC) augmente : de 3,2 % pour les scénarios initiaux et de 3,7 % pour les scénarios Bis. Cela nous informe que si les mares actuellement vides sont restaurées, le gain de connectivité sera de de l'ordre de 3 à 4 %. Pour la comparaison entre les scénarios S2P/S3P et S2P Bis/S3P Bis correspondant à la présence/absence de l'autoroute A75 sur la zone d'étude, on remarque que la connectivité est plus élevée dans le scénario 2 qui comprend l'autoroute mais que le nombre de composantes est plus réduit sur le scénario sans autoroute, signifiant que le nombre de sous-réseaux est réduit en nombre mais de taille plus conséquente. Le gain de connectivité entre le scénario S2P et S3P est de 5,9 % et de 6,4 % pour les scénarios *Bis*. Ce gain de connectivité peut s'expliquer par l'ajout de nouveaux réservoirs potentiels : les bassins d'autoroute et les milieux terrestres alentour. Cela signifie que pour le Pélobate cultripède, les bassins autoroutiers et leurs milieux terrestres comprennent des zones favorables à cette espèce qui ont en partie compensé l'effet fragmentant de l'autoroute A75 traversant le paysage. Cependant, nous savons que le pélobate cultripède est une des espèces bénéficiant de programmes de conservation au vu de son déclin grandissant. L'une des hypothèses que l'on peut émettre avec cette comparaison de scénarios est que les pélobates du territoire avant l'autoroute restaient dans des sous-réseaux de grande taille, ces sous-réseaux moins fragmentés que ceux actuels, permettaient leur déplacement. En revanche aujourd'hui, même si de nouveaux habitats potentiels ont émergé, ils doivent fournir davantage d'efforts pour se disperser ce qui pourrait expliquer la difficulté des populations de Pélobate cultripède locales à s'installer sur d'autres points d'eau. Pour cela, une analyse diachronique avant/après A75 serait nécessaire en intégrant la totalité de la matrice paysagère, et pas uniquement le changement de l'OS de la A75. Pour finir, en comparant les scénarios S1P/S3P

et leur version Bis, on constate comme pour le scénario 2, une connectivité plus importante sur la représentation actuelle (S1P), 2,3 % de plus de connectivité globale pour les scénarios $d_{\max}=1000$ m et de 2,7 % pour les scénarios à $d_{\max}=1500$ m. Cela pourrait confirmer le fait que le pélobate n'est pas très affecté par l'effet fragmentant de l'autoroute - atténué par la présence de bassins et de milieux terrestres alentour favorables - mais plutôt par la fragmentation globale du paysage.

Afin de compléter les observations quantitatives de ces modélisations, nous allons nous pencher sur l'analyse des cartes résultant des traitements Graphab et Qgis. Nous avons choisi de comparer le scénario S2P et S2P Bis afin d'identifier les réseaux actuels et/ou potentiels sur le territoire à des distances de dispersion de 1000 m et 1500 m. Sur la figure 35, les mares où le Pélobate cultripède a été observé sur la période de 2014-2024 ont été signalées à l'aide d'un figuré. On rappelle donc que cette espèce est très peu présente sur le territoire d'étude, les mares dans lesquelles il se trouve sont très éloignées et appartiennent à des sous-réseaux de mares différents. La modélisation a permis de représenter sur la carte les chemins de moindre coût et les réseaux de mares, et, comme toute modélisation, elle ne correspond pas à la réalité et ne suffit pas à montrer la fonctionnalité de ces réseaux. C'est pourquoi, l'indice IECMA a été rajouté sur les cartes afin de quantifier l'état écologique des habitats. La modélisation se veut être un outil pour la gestion, les chemins de moindre coût nous informent des zones de passage mais surtout des barrières au sein de la matrice paysagère, le IEMA sur la qualité de l'habitat aquatique comme terrestre et les réseaux de mares sont représentés en fonction de leur fonctionnalité, c'est-à-dire si 5 mares sont connectées entre elles (selon les modalités du PRAM).

On remarque sur les cartes des [figures 35](#) et [36](#) que la matrice paysagère le long de l'autoroute est plutôt favorable aux pélobates, les cartes indiquent même un réseau le long de l'autoroute grâce à la présence de milieux dolomitiques ouverts. Mais il faut tenir compte de la réalité des points d'eau disponibles : de part et d'autres ces bassins et réservoirs sont pollués, les notes IECMA indiquent une note rarement supérieure à 50 ne permettant pas l'installation d'une population source. De plus, même si l'autoroute est perméable par endroit grâce à la prise en compte des passages busés, elle reste un facteur de mortalité important chez les amphibiens en migration, d'autant plus avec la proximité de ces points d'eau. Et, bien que les deux cartes représentent un réseau de mares conséquent dans le sud de la zone d'étude, celui-ci ne semble pas fonctionnel. En effet, la seule donnée Pélobate existante (avec un peuplement source existant depuis plusieurs décennies) se situe dans une mare appelée Fédiaux qui sur carte 35 est isolée et sur la carte 36 est rattachée à un réseau, cependant ses individus ne semblent pas atteindre d'autres points d'eau. L'hypothèse de ce manque de dispersion sur des lavognes qui hébergeaient antérieurement des individus de cette espèce serait la fermeture des milieux. C'est pourquoi il serait intéressant d'ajouter à la modélisation pour cette espèce la fermeture progressive des milieux actuellement ouverts. On peut remarquer également que les corridors de déplacements de cette zone sont rouges ou oranges indiquant leur difficulté de passage, et, le figuré est plutôt épais ce qui signifie que ce corridor est essentiel au réseau et que peu, voire aucun autre

passage n'est disponible. Même si les chemins modélisés ne correspondent donc pas à la réalité, cette représentation nous indique la nécessité de prendre en compte la gestion des corridors de déplacement, leur entretien (comme pour les mares) et notamment leur réouverture.

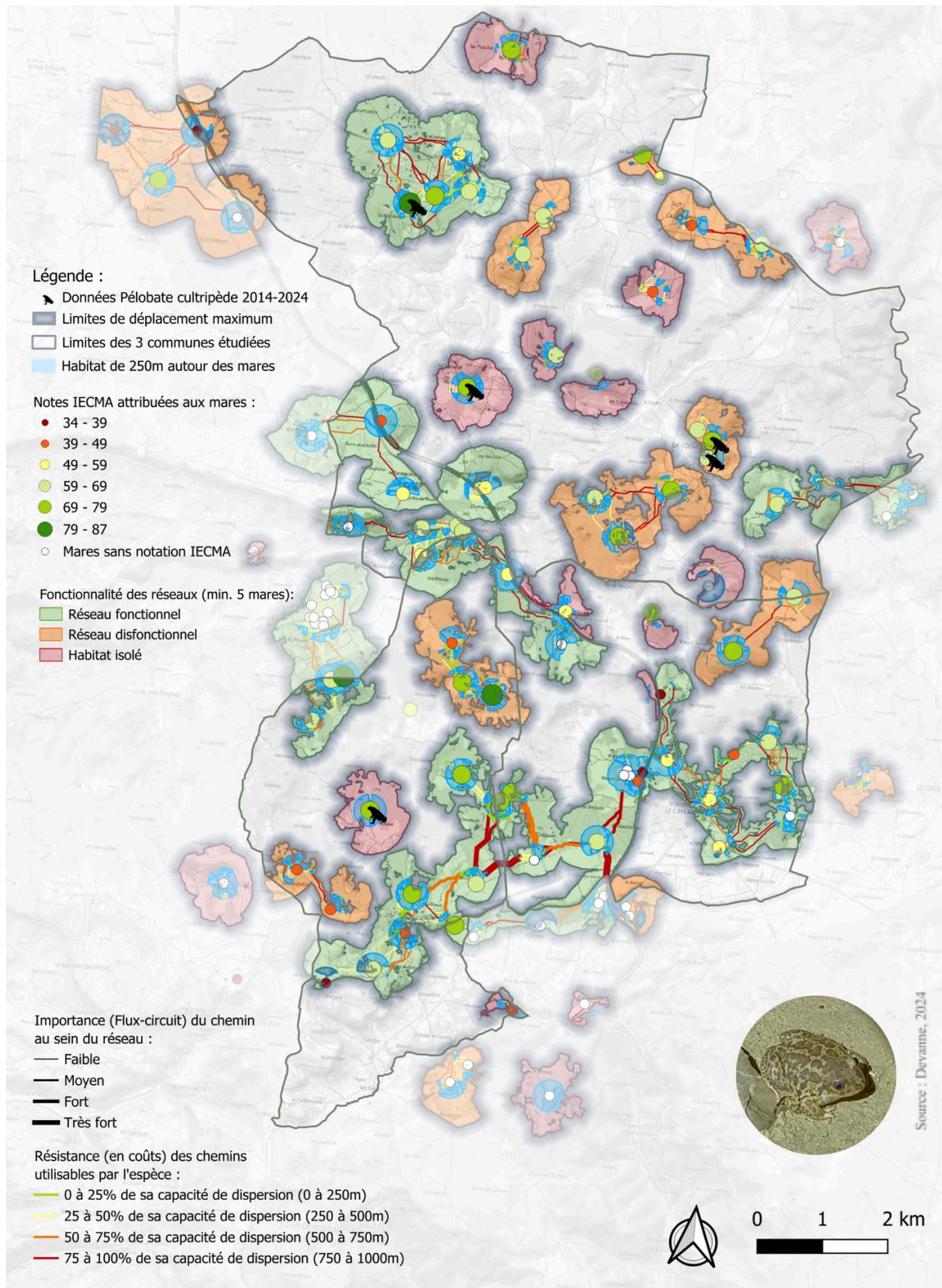


Figure 35 : Carte d'analyse de la fonctionnalité du réseau de mares pour le Pélobate cultripède sur la zone d'étude à $d_{max} = 1000$ m, scénario S2P.

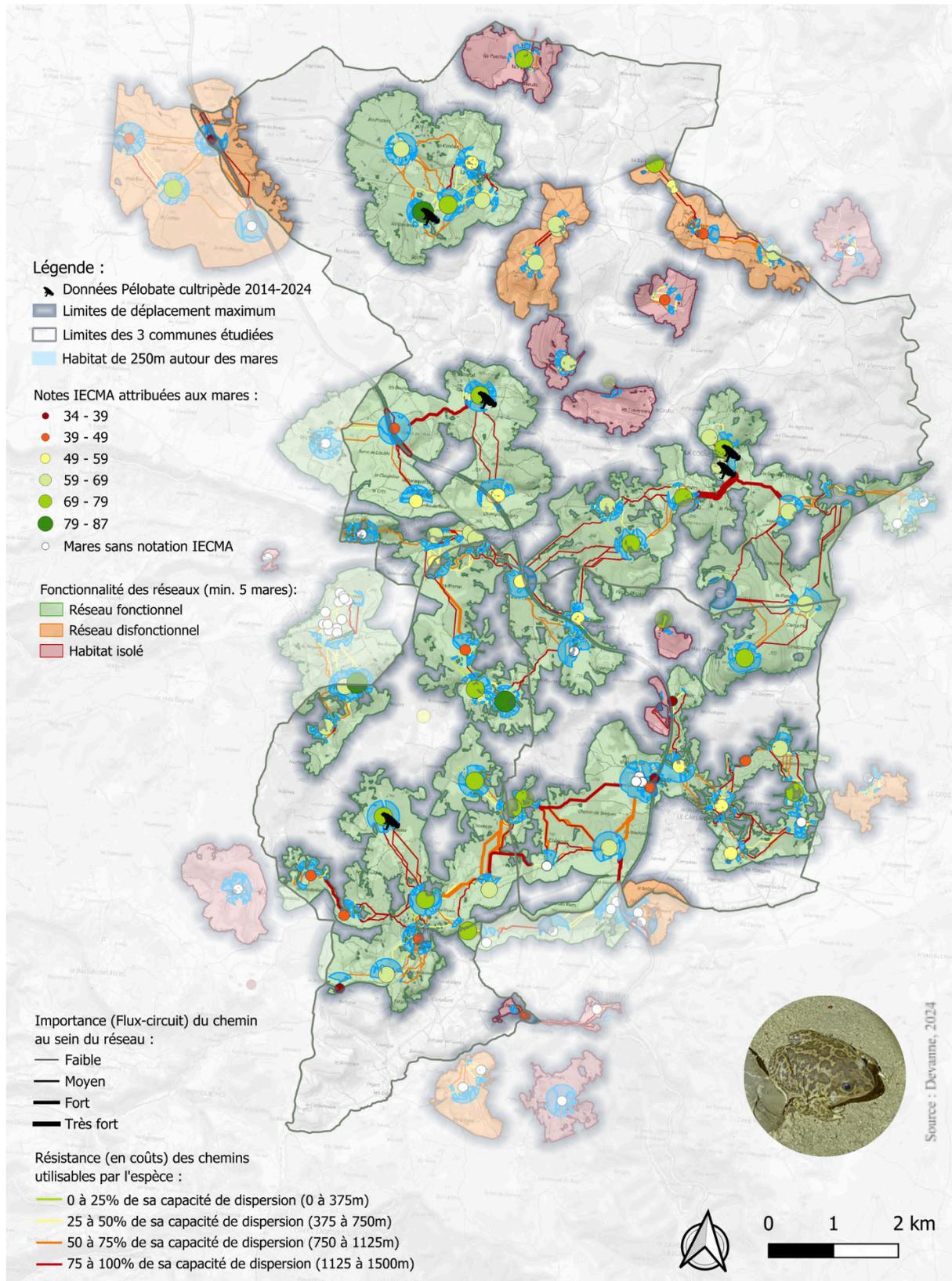


Figure 36 : Carte d'analyse de la fonctionnalité du réseau de mares pour le Pélobate cultripède sur la zone d'étude à $d_{max} = 1500$ m, scénario S2P Bis.

2.3.3.2 Résultats pour le Triton marbré

Pour le Triton marbré, les résultats de la modélisation sont compilés dans le [tableau 6](#) ci-dessous. Lorsque l'on compare les scénarios normaux et les scénarios Bis on remarque que les différences sont marquées pour les composantes : le nombre de composantes est pratiquement divisé par deux entre les deux modélisations d'un même scénario. Cela pourrait être expliqué par une matrice paysagère très favorable autour des habitats permettant, lorsque l'on augmente la distance de dispersion, plus de déplacements dans ces milieux. Nous allons comparer les scénarios deux à deux comme pour le pélobate pour nous apercevoir des différences. Entre le scénario S1M/S2M, le taux de variation est de 7,4 % lorsque la totalité des mares de la zone d'étude sont en eau, il s'agit d'un gain de connectivité plus important que chez le Pélobate. Pour les scénarios 1 et 2 *Bis*, le gain de connectivité s'élève à 8 %. Cela signifie que l'on gagnerait entre 7 et 8 % de connectivité globale si l'on étanchéifiait les 8 mares à sec actuellement. Lorsque l'on compare les scénarios avec et sans autoroute, S2M et S3M, on remarque un gain de connectivité pour le scénario avec autoroute, de 2,4 % pour les scénarios à distance de dispersion de 1000 m et de 2,6 % pour les scénarios à 1500 m. Comme pour le pélobate, cette augmentation de connectivité globale est due à la création de nouveaux réservoirs sur la modélisation (les 6 bassins d'autoroute). En comparant la troisième paire de scénarios S1M et S3M, soit le scénario des mares actuelles avec celui sans autoroute, la tendance s'inverse. En effet, le gain de connectivité se fait à la faveur du scénario sans autoroute, un gain de 4,9 % pour cette paire de scénarios et de 5,3 % pour la paire S1M Bis/S3M Bis. Cela veut dire que dans le cas du Triton marbré, les bassins d'autoroute ne compensent pas son effet fragmentant et que, pour compenser cet effet, il faut que la totalité des mares existantes soient en eau.

Tableau 6 : Résumé des paramètres et la métrique EC calculée sur Graphab pour le Triton marbré.

Scénarios	S1M	S1M Bis	S2M	S2M Bis	S3M	S3M Bis
Noeuds	1827	1827	1994	1994	1914	1914
Liens	3472	4077	4778	4440	4663	4318
Composantes	38	23	37	22	28	15
Métrique EC	558 681	592 402	600 013	640 058	586 010	623 673

Nous allons nous pencher sur l'analyse des cartes des figures [37](#) et [38](#) correspondant aux scénarios S2M et S2M Bis respectivement. On remarque pour les deux cartes, que l'autoroute impacte fortement les limites spatiales des réseaux qui s'arrêtent de chaque côté de l'autoroute sans la traverser. Si on analyse les alentours du linéaire de la A75, on peut constater qu'ils ne présentent pas de caractéristiques très favorables au Triton marbré : il y a très peu de haies et le paysage est très dégagé au cœur du plateau du Larzac. Par ailleurs, si les bassins d'autoroute ne sont pas favorables au pélobate cultripède, ils le sont encore moins pour le Triton marbré, avec peu ou pas de végétalisation et quasiment aucun gîte terrestre boisé pour hiverner et la pollution en provenance de l'autoroute, ils

ne constituent pas des réservoirs privilégiés pour cette espèce. Sur le reste de la zone d'étude, on peut s'apercevoir que les tritons marbrés (les données 2014-2024) sont présents dans des mares au réseau fonctionnel (en vert) principalement. Le sous-réseau dans le sud de la zone d'étude semble d'ailleurs fonctionnel, le triton marbré est présent dans la quasi-totalité des mares qui le constituent. Cette zone des Rives très favorable est un paysage bocager contrairement au nord-ouest de la Couvertoirade aux milieux très ouverts et exposés.

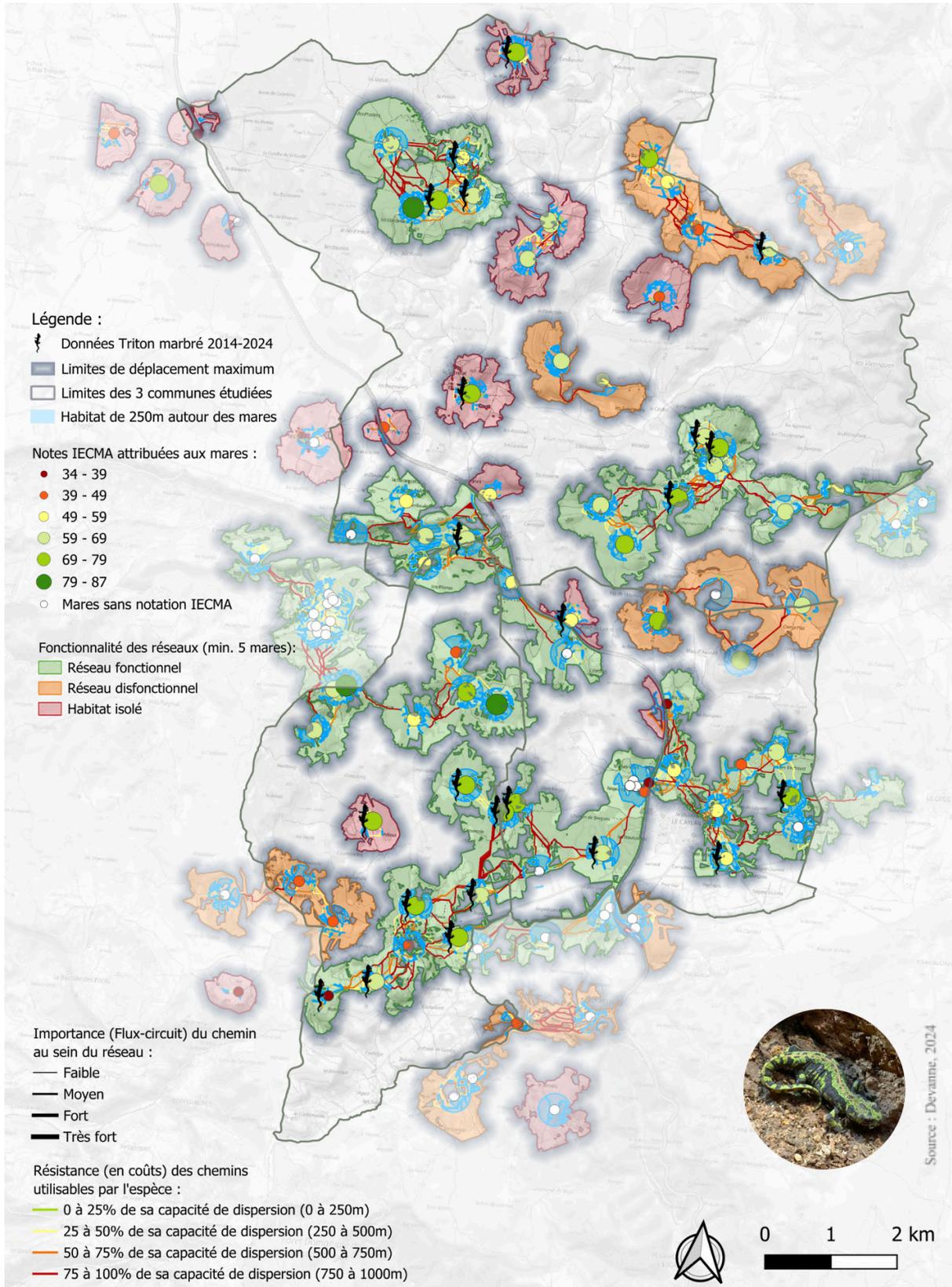


Figure 37 : Carte d'analyse de la fonctionnalité du réseau de mares pour le Triton marbré sur la zone d'étude à $d_{max} = 1000$ m, scénario S2M.

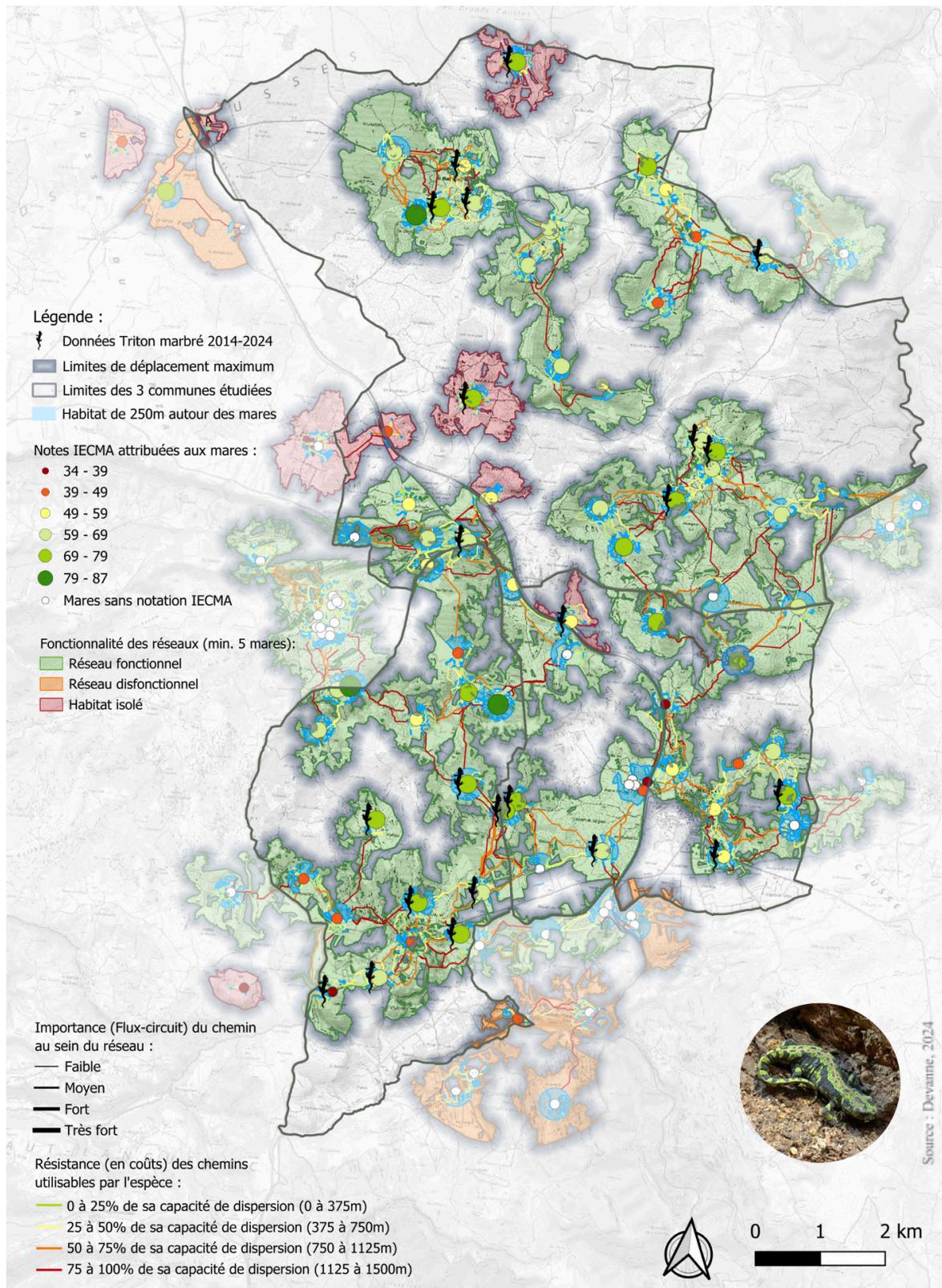


Figure 38 : Carte d'analyse de la fonctionnalité du réseau de mares pour le Triton marbré sur la zone d'étude à $d_{max} = 1500$ m, scénario S2M Bis.

2.3.3.3 Comparaisons et discussion

Après avoir analysé les résultats des deux espèces, aux traits de vie très différents, pour chacun des scénarios, nous allons désormais les comparer et, pour faciliter la comparaison, nous allons comparer les paramètres et cartes à distances de dispersion maximale égales, avec $d_{\max}=1000$ m. Tout d'abord, on remarque que le Triton marbré a davantage de tâches d'habitat (nœuds) que le pélobate, mais cette donnée n'est pas comparable puisque nous n'en connaissons pas la surface. Il a également davantage de liens (de chemins de déplacement à moindre coûts) sur sa modélisation et moins de composantes. La différence est de près d'un quart de composante en moins pour le Triton marbré, cela signifie comme nous l'avons vu que le nombre de sous-réseaux est moins important mais ceux-ci sont plus étendus. On peut comprendre que la matrice paysagère est plus favorable pour le Triton marbré que pour le Pélobate cultripède, notamment par la fermeture des milieux. On peut le constater sur la [figure 39](#), mettant les scénarios S2P et S2M en parallèle, que les réseaux fonctionnels sur la carte du Triton marbré sont plus développés et nombreux que pour le Pélobate. Par ailleurs, ces deux espèces cohabitent ensemble, le Triton marbré est présent dans les mêmes mares que le Pélobate cultripède mais, il est bien plus dispersé sur le territoire - 6 mares pour le Pélobate et 23 mares comptent la présence du triton marbré entre 2014 et 2024.

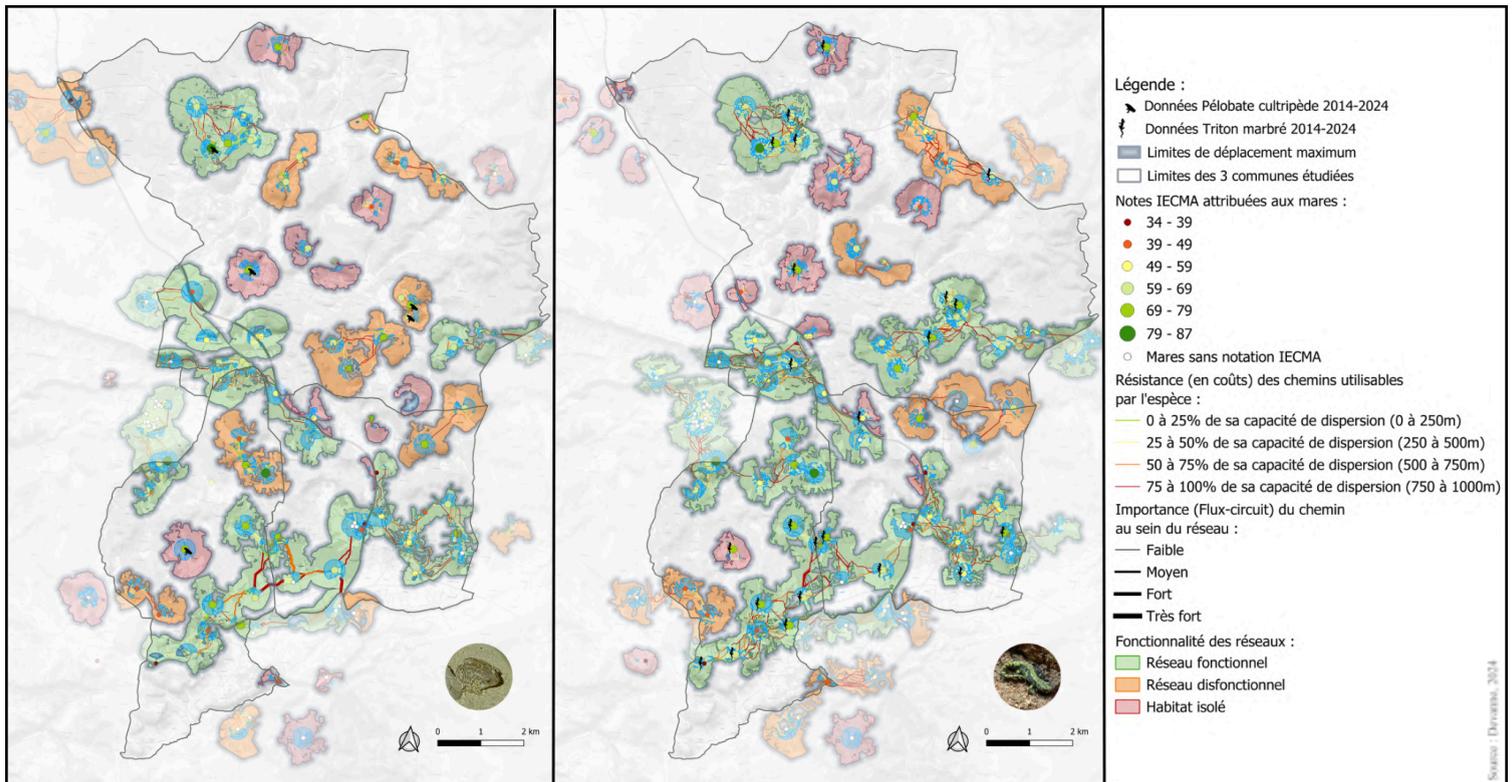


Figure 39 : Comparaison de la fonctionnalité du réseau de mares entre le Pélobate cultripède (à gauche) et le Triton marbré (à droite) à $d_{\max} = 1000$ m, scénario 2.

Cependant, la connectivité équivalente (EC) est plus élevée dans les scénarios S1P et S2P pour le Pélobate. Le scénario S3P sans autoroute a une connectivité globale proche de celle du scénario S2M avec toutes les mares en eau du Triton marbré. Cela pourrait s'expliquer en partie par l'effet fragmentant de l'autoroute et des habitats alentour qui longent la A75 que l'on distingue parfaitement en comparant les deux cartes côte à côte sur la [figure 39](#) moins adaptés pour le Triton marbré. On peut également rappeler que le long de l'autoroute, les sols sont dolomitiques (cf. carte géologique simplifiée [annexe 2](#)) et donc plutôt favorables au Pélobate cultripède. Le réseau du sud de la semble d'étude semble fonctionnel pour les deux espèces mais seule le Triton marbré est présent. Cela peut également être justifié par la composition de la matrice paysagère, de type bocagère avec de nombreux boisements, mais surtout des mares situées dans ces zones boisées. Les pélobates, préférant les grandes surfaces d'eau ensoleillées et ouvertes, ne vont donc pas s'installer de manière pérenne sur ces mares. De plus, leurs déplacements peuvent être entravés par ces éléments forestiers comme on a pu le constater avec les liens (chemins) au coût de déplacement important : des chemins rouges et oranges, souvent uniques, entre les mares de ce sous-réseau du sud des Rives sur la figure 39 du côté du Pélobate. Sur le Larzac, la déprise agropastorale est l'une des causes principales de la fermeture des milieux, ils seront donc plus favorables dans les prochaines années aux populations de Triton marbré. Et, même si les deux espèces peuvent habiter les mêmes points d'eau, la gestion des corridors écologiques est bien différente, peut-être même incompatible.

On peut également constater la présence de peuplements sources de Pélobates cultripèdes et de Tritons marbrés sur des habitats complètement isolés, tant pour les scénarios à distance de dispersion 1000 m que ceux à 1500 m. C'est le cas notamment de la Salvetat (cf. la carte avec le nom de mares dans l'[annexe 6](#)) pour le Triton marbré, dans lesquelles des centaines d'individus prospèrent et sont d'autant plus vulnérables face à un changement brutal (assecs précoces, espèces envahissantes, événements climatiques extrêmes) qu'ils sont isolés, sans possibilité de se déplacer aisément dans le paysage pour survivre. Ce manque de connectivité provoque un manque de résilience sur cette population source. Cependant, avec cet exemple nous pouvons évoquer l'une des limites de cette modélisation : le Pélobate cultripède présent dans la mare de la Salvetat en 2018 a été aperçu cette année, en 2024, dans la mare de Soulayrol (au nord de la Salvetat isolée). Cette espèce a donc pu se déplacer au sein du paysage et atteindre cette mare alors qu'aucun passage n'est apparent sur la modélisation. Plusieurs hypothèses peuvent être formulées : (1) il pourrait y avoir des points d'eau non cartographiés dans ce secteur qui permettraient de faire le lien entre les deux mares, (2) les coefficients de perméabilité des OS ou la distance de dispersion maximale sont surestimés ou sous-estimés, (3) le Pélobate est une espèce encore peu connue et certains comportements nous échappent ne permettant pas de rendre la modélisation suffisamment réaliste.

Une autre limite que l'on a pu constater est le biais d'interprétation de l'effet fragmentant de l'autoroute A75 avec ses bassins. En effet, nous avons pu constater que cette fragmentation du paysage (quantifiée par le calcul de connectivité équivalente), et donc des réseaux de mares sur le

territoire, est compensée par la présence de bassins dans le cas du Pélobate cultripède. Hors, aucun individu Pélobate n'a jamais été observé sur ces bassins, qui sont plutôt récents, mais dont la qualité endommage grandement la fonctionnalité du réseau. Pour compenser cette surestimation, l'idéal serait d'intégrer la qualité des habitats directement dans les processus de calcul de la modélisation sur Graphab. Des compétences techniques et de nouvelles recherches sont donc à prévoir pour la réalisation de modèles plus complets. Cette modélisation peut tout de même permettre l'orientation des mesures de gestion grâce à l'intégration post-traitements des autres variables indispensables à la compréhension des réseaux. Dans la troisième partie qui suit, nous allons donc illustrer les usages de cet outil à l'appui de mesures de gestion sur les mares et les corridors de déplacement afin de rétablir ou de conserver la fonctionnalité des réseaux sur le causse du Larzac de notre zone d'étude.

3. PROTECTION ET CONSERVATION DES AMPHIBIENS : GESTION(S), SOLUTIONS, ILLUSIONS.

En France, la protection des amphibiens repose sur une combinaison de dispositifs juridiques internationaux, nationaux et régionaux, qui visent à sauvegarder ces espèces vulnérables et leurs habitats. La Convention de Berne de 1979, relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel en Europe, en est un des premiers exemples de protection de ces espèces. Cette convention internationale impose aux États membres - dont la France - de protéger les espèces de faune et de flore sauvage en interdisant leur capture, leur détention, leur mise à mort et la détérioration de leurs habitats naturels (Conseil de l'Europe, 1979). A l'échelle européenne, il existe la Directive Habitats-Faune-Flore (92/43/CEE) qui vise à assurer la conservation des habitats naturels, et, les amphibiens bénéficient d'une protection renforcée grâce à l'inscription de plusieurs espèces, dont le Pélobate cultripède, à l'annexe II de la directive (Commission européenne, 1992). En France, la loi relative à la protection de la nature (Loi n° 76-629 du 10 juillet 1976) est le texte fondamental qui structure la protection des espèces sauvages, y compris les amphibiens. On peut mentionner également les programmes de gestion de la faune et de la flore comme la Stratégie Nationale pour la Biodiversité (SNB) 2011-2020 ou bien le Schéma Régional de Cohérence Écologique (SRCE) qui vise à maintenir et restaurer les continuités écologiques, essentielles pour la survie des amphibiens (Région Occitanie, 2015). Ces outils juridiques sont essentiels mais insuffisants à la conservation des espèces, ils doivent être combinés aux différentes actions locales pour leur application. Nous allons donc explorer les différentes mesures de protection et de conservation des amphibiens sur le Larzac, en particulier du Pélobate cultripède et du Triton marbré sur la zone d'étude. Puis, nous examinerons quelques mesures de gestion alternatives comprenant la réintroduction d'espèces et la prise en compte du contexte de changement climatique dans le futur. Enfin, nous réfléchirons aux limites inhérentes à la gestion de la faune sauvage, en questionnant le rôle de l'Homme dans la conservation de la nature et en examinant les défis que pose cette gestion dans un monde en constante évolution. Cette réflexion visera à mettre en lumière les illusions parfois associées aux solutions de gestion actuelles, tout en explorant les voies possibles pour une meilleure cohabitation entre l'Homme et les écosystèmes naturels.

3.1 Quelles mesures de gestion possibles sur les mares du territoire ?

Nous nous appuyerons sur les cartes de modélisation du territoire précédentes afin de mieux comprendre les dynamiques environnementales. L'analyse des continuités se fera au cas par cas identifier les zones critiques pour la conservation du Pélobate cultripède et du triton marbré et proposer des mesures de gestion adaptées.

3.1.1 Réseau continu dysfonctionnel

Le premier cas est celui du réseau continu dysfonctionnel. Il s'agit d'un réseau qui se veut fonctionnel de par sa connectivité entre les différents réservoirs mais ne l'est pas à cause de la qualité de ses réservoirs écologiques. C'est le cas sur la [figure 40](#) où un réseau fonctionnel connecté est identifié en vert sur la modélisation du triton marbré à $d_{\max}=1500$ m, mais les réservoirs de biodiversité ne sont pas en capacité d'accueillir des populations d'amphibiens stables dans le temps. En effet, ce réseau est composé d'au moins 3 mares défaillantes : 2 lavognes vides et un réservoir d'eau. Ce réservoir, appelé réservoir de la Baraque Froide, peut être considéré comme un piège, il possède plus d'un mètre de parois verticales lisses et aucune possibilité d'échappatoire pour les amphibiens (pas de grille, de branches ou de plantes pour sortir). Dans le cas où les lavognes, en particulier celle de Cazejourdes centrale sur le réseau, seraient restaurée et une échappatoire apposée sur le réservoir, ce réseau pourrait être fonctionnel pour le Triton marbré.

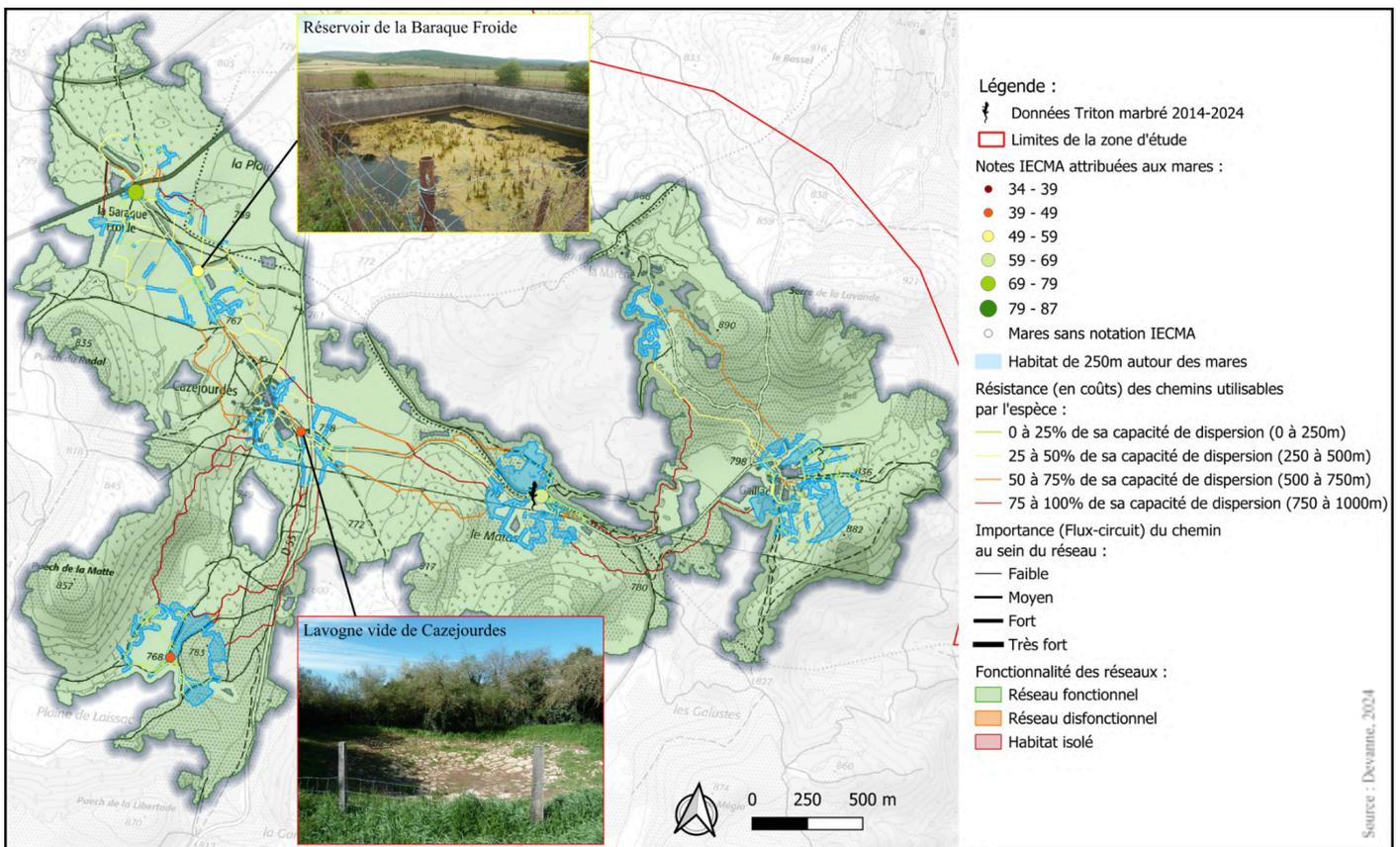


Figure 40 : Modélisation d'un cas de réseau continu dysfonctionnel sur la zone d'étude pour le Triton marbré à $d_{\max}=1500$ m, scénario 2.

On peut donc considérer que la lavogne de Cazejourdes est prioritaire pour une restauration, de par sa position centrale stratégique. Néanmoins, elle a déjà fait l'objet de travaux en novembre 2021 : un

débroussaillage et un nettoyage a permis de découvrir un dallage et un drain. Ce drain empêche la remise en eau de la lavogne et aucune solution de restauration n'est envisagée dans l'immédiat.

3.1.2 Réseau dysfonctionnel à reconnecter

Sur la [figure 41](#), correspondant à la modélisation du scénario 2 du Pélobate cultripède à 1000 m, on peut distinguer en orange deux réseaux de mares qualifiés de 'dysfonctionnels' car ils comprennent chacun uniquement 3 points d'eau. On constate que dans deux des mares du réseau de la Couvertoirade (le plus au Nord) le Pélobate est présent et l'objectif serait qu'il puisse se disperser vers les autres mares dans le sud. Par ailleurs, des données Pélobate anciennes (de plus de 10 ans) existent pour la mare de Puit Laurent, cette mare ayant été restaurée récemment pourrait donc de nouveau accueillir l'espèce. L'espace qui sépare les deux réseaux dysfonctionnels est une zone boisée, suffisamment large pour être considérée comme un obstacle pour le Pélobate dans la modélisation. L'objectif serait donc de reconnecter les deux réseaux afin de le rendre fonctionnel et permettre le flux d'individus.

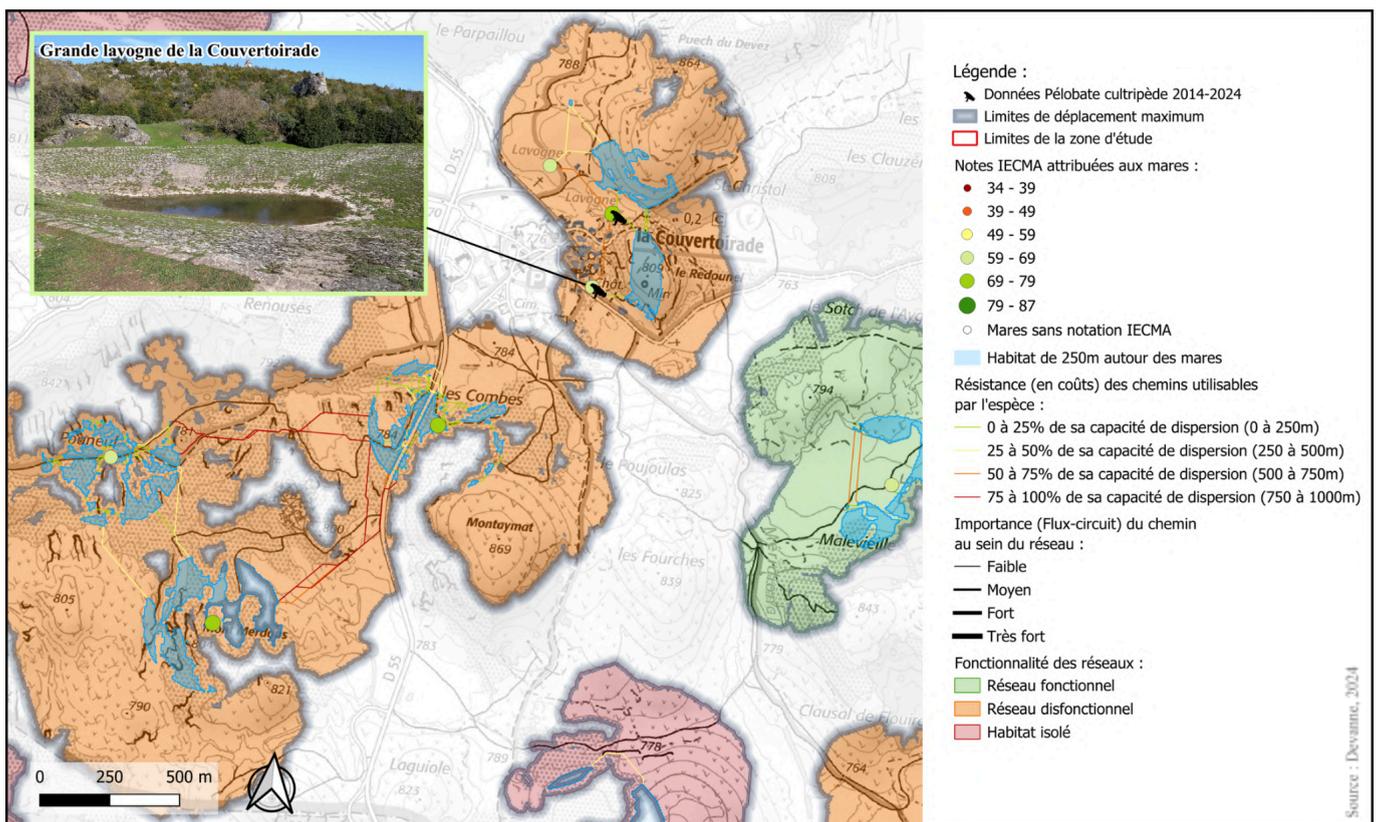


Figure 41: Modélisation d'un cas de réseau continu dysfonctionnel sur la zone d'étude pour le Pélobate cultripède à distance $d_{\max} = 1000$ m, scénario 2.

Les habitats sur les deux réseaux en orange ont des notes IECMA supérieures à 60 points, ce qui indique qu'ils sont de qualité moyenne. La grande lavogne de la Couvertoirade (cf. photographie

figure 41) n'est pas tout à fait étanche et elle pourrait être restaurée dans les prochaines années à l'aide de programmes spécifiques portés par le PNR GC. Cette lavogne se trouve juste en dessous de la lavogne de l'Aire, une lavogne avec un peuplement source de pélobates restaurée récemment (cf. partie 1.1.2.2) pouvant garantir une recolonisation rapide de la grande lavogne de La Couvertoirade par les espèces des points d'eau proches. Sur cette emprise, la matrice paysagère est constituée de milieux ouverts et aux sols de type dolomitiques très favorables au Pélobate cultripède.

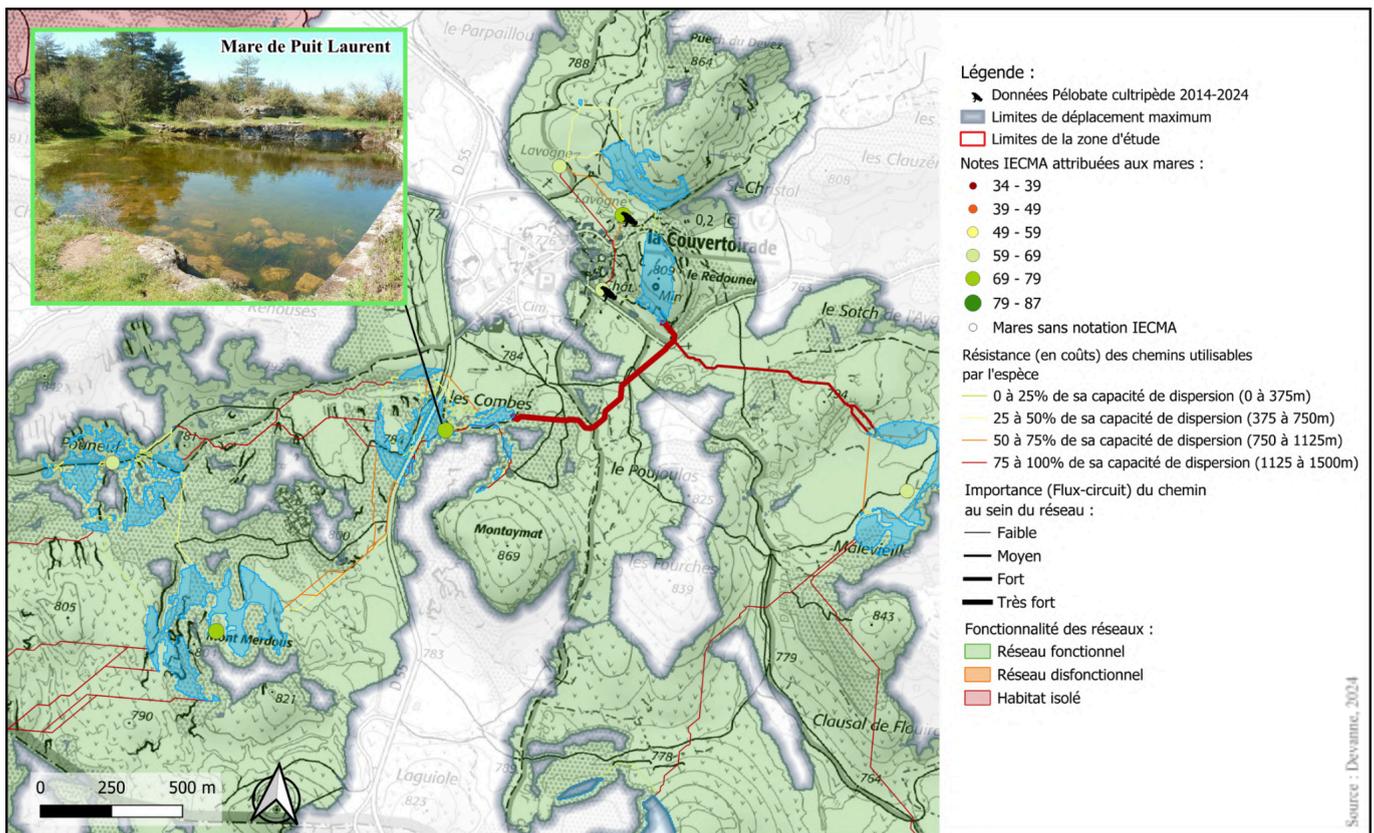


Figure 42: Modélisation d'un cas de réseau continu fonctionnel sur la zone d'étude pour le Pélobate cultripède à distance $d_{\max} = 1500$ m.

La deuxième modélisation pour le Pélobate cultripède avec une distance de dispersion plus importante (S2P Bis, figure 42 ci-dessus) nous permet d'apercevoir d'autres chemins privilégiés par ce crapaud pour se déplacer au sein du territoire. Nous pouvons constater que les deux réseaux dysfonctionnels de la carte précédente sont ici connectés et donc fonctionnels. Cette nouvelle modélisation permet d'identifier le chemin de moindre coût du Pélobate qui relie la grande lavogne de La Couvertoirade à la mare de Puit Laurent. Ce passage est unique, il est considéré comme indispensable au sein du réseau, et, il est rouge indiquant son coût élevé. C'est pourquoi dans ce cas de figure la création d'un nouveau point d'eau pourrait être envisagée près de cette zone de passage afin de reconnecter le réseau. Les 6 mares seraient non seulement reconnectées au réseau sud, mais aussi au réseau fonctionnel à l'est, formant un sous-réseau de taille conséquente au centre de la zone d'étude.

3.1.3 Réseau continu dysfonctionnel : absence des espèces cibles

La [figure 43](#) représente, au premier abord, un réseau fonctionnel pour le Pélobate cultripède (S2P, $d_{\max} = 1000$ m). Ce réseau est composé de plus de 5 points d'eau connectés, mais ces habitats ne sont pas qualitatifs pour le Pélobate. En effet, on remarque qu'il y a 4 bassins d'autoroute (bassins A43, A44-1, A44-2 et A45) composant ce réseau qui ne permettent pas une installation pérenne de l'espèce et augmentent fortement les risques d'écrasement. Trois des autres points d'eau sont vides (mare du Pas du Lac) ou bien ont perdu de leur étanchéité ne permettant pas une profondeur suffisante (cf. mare des Infruits [figure 44](#)) et le restant des mares sont forestières, situées dans des milieux boisés peu attractifs pour le Pélobate (mares de la Pezade et mares de la Vallée). Pour le Pélobate, malgré une bonne connectivité entre les différents points d'eau, ce réseau n'est pas fonctionnel et sa présence n'a jamais été confirmée sur la totalité des données naturalistes existantes.

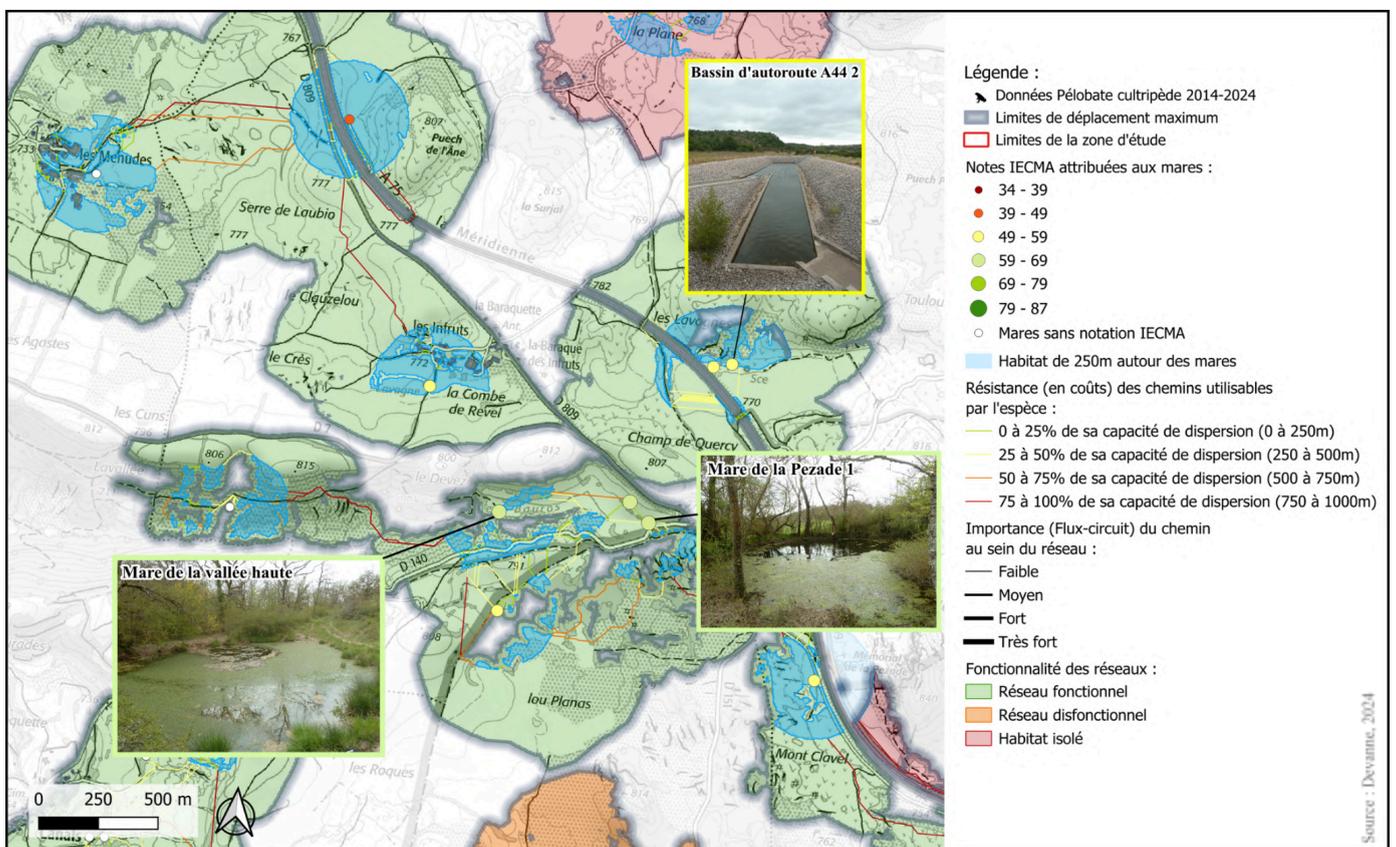


Figure 43: Modélisation d'un cas de réseau continu pour le Pélobate cultripède sur la zone d'étude mais sans trace de présence.

Dans cette même zone, la [figure 44](#) représente un réseau fonctionnel - un peu plus réduit par l'effet fragmentant de l'autoroute A75 - pour le Triton marbré (S2M). Les bassins d'autoroute et points d'eau à sec sont tout aussi défavorables pour les deux espèces étudiées mais la matrice paysagère boisée favorise la présence du triton marbré dans les mares en eau. On remarque d'ailleurs sa présence dans une des mares de la Pezade. Mais la disposition des points d'eau défavorables rendent le réseau plutôt

dysfonctionnel car il ne garantit pas la viabilité des populations de triton, et seules 2 mares sont véritablement fonctionnelles et connectées entre-elles (La Pezade 1 et la mare de la Vallée haute, cf. photographies [figure 43](#)).

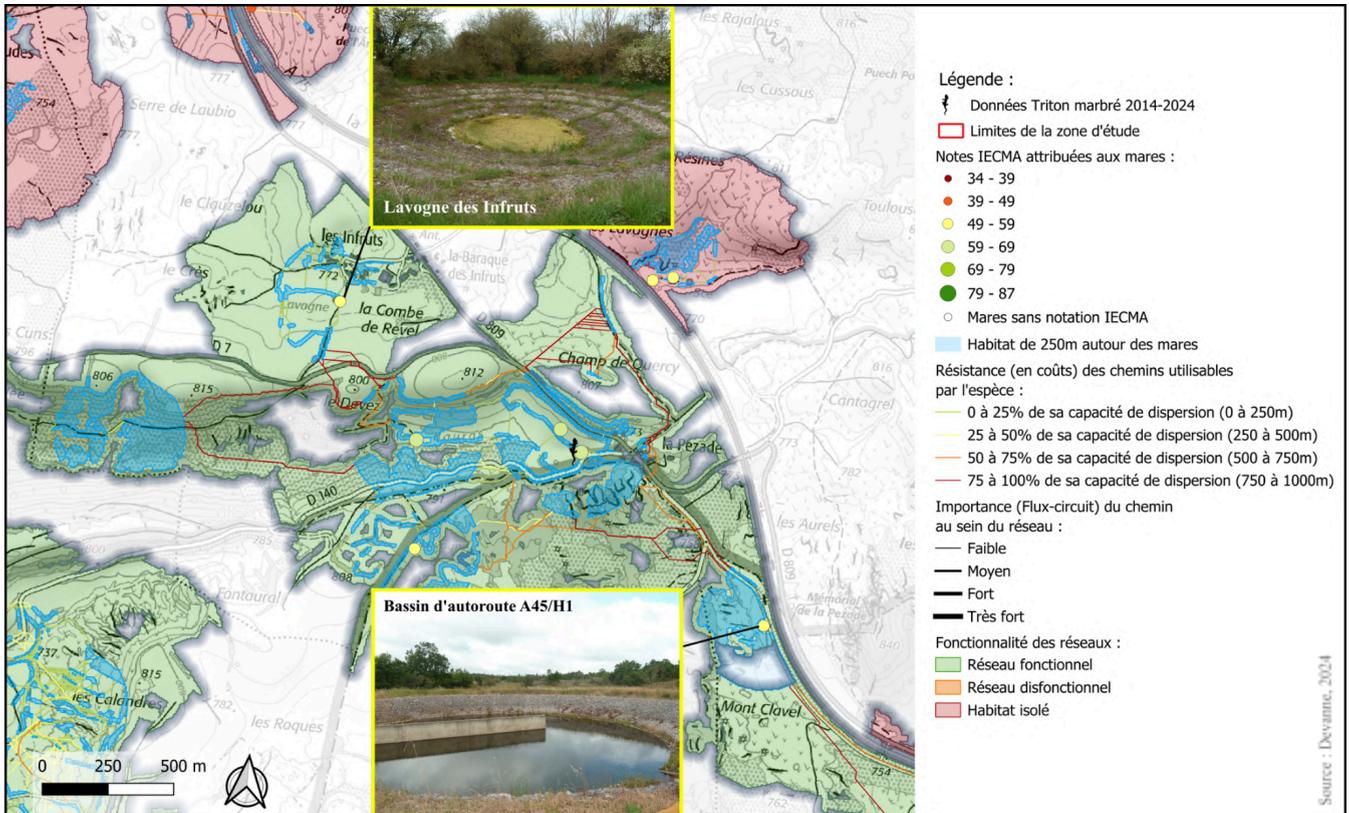


Figure 44: Modélisation d'un cas de réseau continu pour le Triton marbré sur la zone d'étude mais avec peu de mares.

3.1.4 Habitat isolé de qualité

Nous avons mentionnées précédemment qu'il existait des habitats sources isolés pour des populations de Pélobate et de Triton marbré. Ces habitats sont isolés, c'est-à-dire qu'il ne font pas partie d'un réseau de mares, mais les espèces prospèrent depuis des années sur ces habitats. C'est donc le cas de la Salvetat, sur la [figure 45](#), qui accueille plus d'une centaine de tritons marbrés en 2024. Cet habitat de qualité (note supérieure à 70), malgré son isolement spatial, rend l'entretien de la mare indispensable afin de préserver les populations qui y vivent. Ces populations d'amphibiens, de par cet isolement, sont moins résilientes face aux changements brusques qui pourraient advenir. La mare de la Salvetat a fait l'objet de travaux de débroussaillage et d'un curage l'hiver 2023, et la présence de la population de tritons marbrés confirme l'efficacité des mesures de gestion réalisées. Une reconexion de ces espaces peut être envisagée mais des études ou une modélisation plus complète sont nécessaires afin d'identifier les mécanismes qui rendent cet îlot d'habitat isolé fonctionnel sur le long terme.

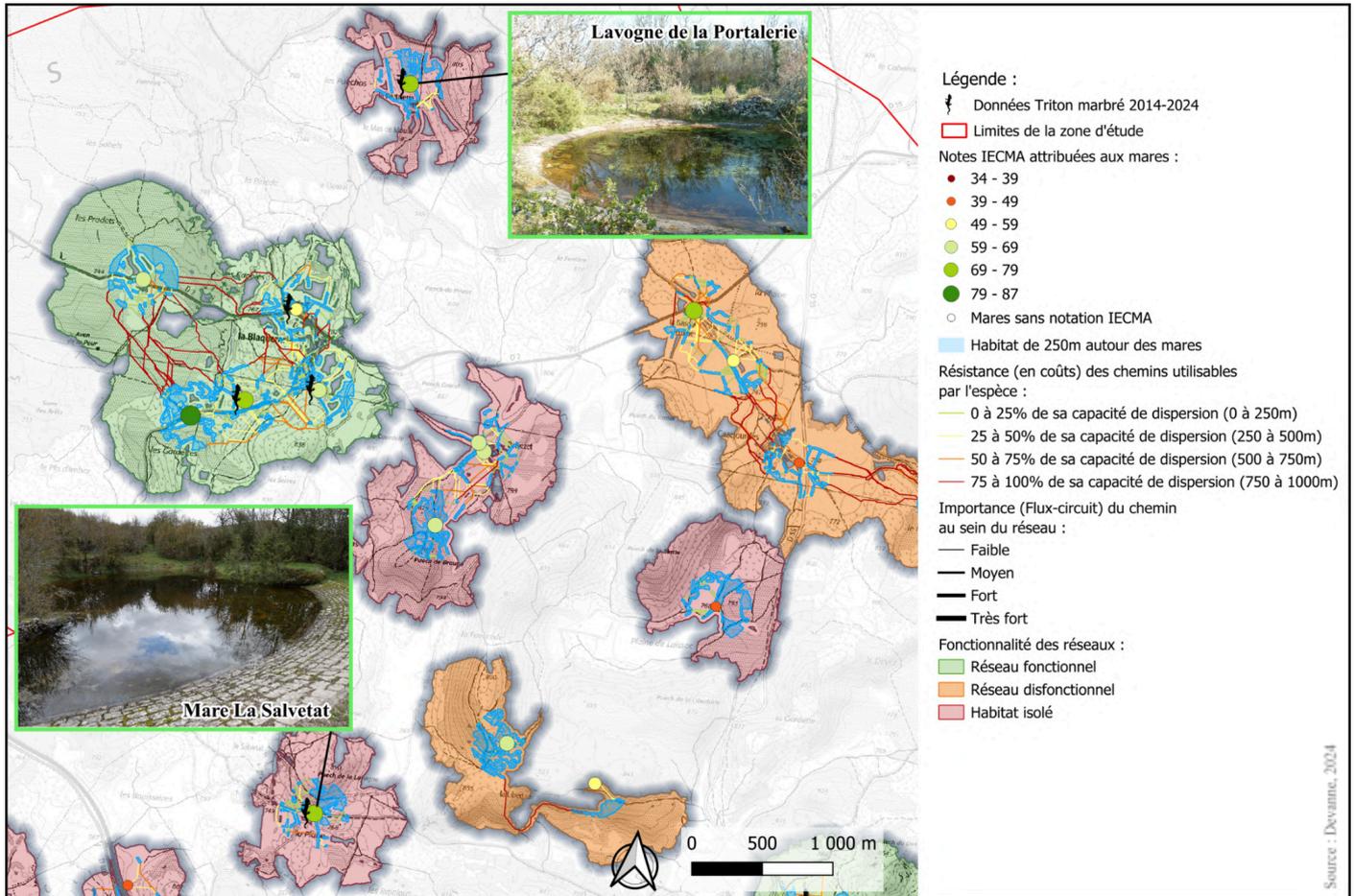


Figure 45: Modélisation d'un cas d'habitats isolés de qualité pour le Triton marbré (S2M).

3.1.5 Réseau continu et fonctionnel

Le dernier cas d'analyse que nous pouvons classer sur le territoire est le réseau continu et fonctionnel : les réservoirs de biodiversité sont en bon ou très bon état écologique, ils sont connectés entre eux formant un réseau de plus de 5 mares fonctionnelles. C'est le cas du réseau dans le sud de la zone d'étude, entre la commune des Rives et du Caylar sur la [figure 46](#), pour le Triton marbré à distance de dispersion 1000 m. Cette fonctionnalité permet la conservation de cette espèce sur le territoire, mais comme pour les habitats isolés et tous les points d'eau, une gestion est nécessaire pour assurer la pérennité de ces milieux. Cela peut concerner l'entretien de la mare mais aussi la sensibilisation du grand public pour stabiliser le bon état écologique de ces milieux ou bien le suivi des populations d'amphibiens afin d'anticiper les menaces potentielles (espèces envahissantes, sécheresses, fermeture des milieux, pesticides). Afin d'exploiter le plein potentiel de ce réseau pour la dispersion du Triton marbré, trois mares peuvent bénéficier d'actions de gestion particulières : la mare de Clarissac, une mare complètement embroussaillée nécessitant une actions pour son maintien (réouverture de la mare par débroussaillage), la mare du village des Rives qui est la seule mare contenant des poissons nécessitant donc le retrait de ces derniers, et le réservoir Rafègue tout au sud du réseau, nécessitant la mise en place d'une échappatoire pour les amphibiens se retrouvant piégés à l'intérieur.

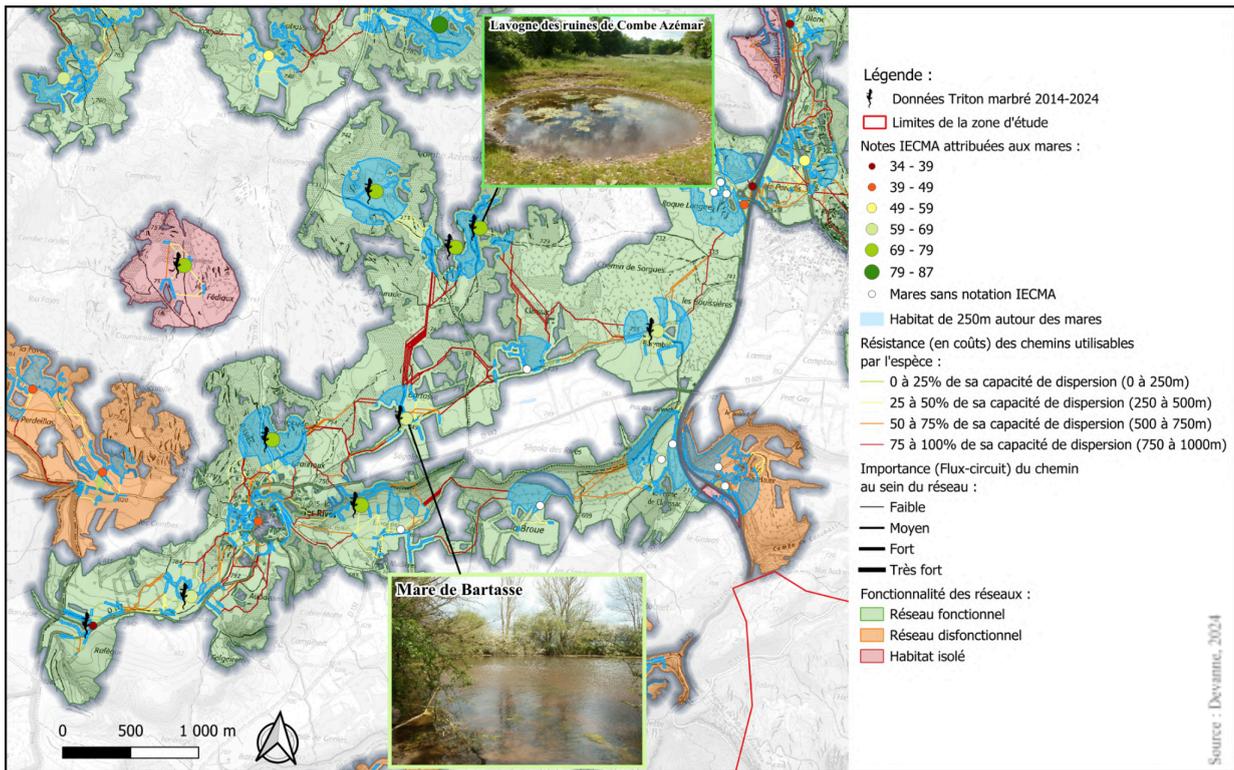


Figure 46: Modélisation d'un réseau fonctionnel sur la zone d'étude pour le Triton marbré.

3.2 Quelles solutions face au déclin du Pélobate cultripède et des amphibiens ?

Malgré des efforts de gestion, ces populations continuent de diminuer, principalement en raison de la destruction et de la dégradation de leurs habitats naturels. Pour contrer cette tendance, des mesures plus proactives s'imposent. Parmi celles-ci, la création de nouveaux points d'eau adaptés à leurs besoins et la réintroduction d'espèces dans des zones appropriées apparaissent comme des solutions prometteuses. Par ailleurs, il est essentiel d'intégrer les enjeux liés au changement climatique dans les stratégies de conservation, afin de garantir des habitats viables pour ces espèces à long terme.

3.2.1 Renfort du maillage de points d'eau

Sur la commune de la Couvertoirade, dont le réseau est très discontinu malgré la forte compatibilité de la matrice paysagère, très ouverte et arbustive, la création de mares pour reconnecter et renforcer le réseau peut être envisagée. Une modélisation test, que l'on appellera S4P (à $d_{max}=1000$ m) a été conduite avec l'ajout de 6 nouveaux points d'eau (et les habitats terrestres de 250 m autour) permettant de renforcer les axes majeurs de déplacement du Pélobate cultripède. Les mares aux peuplements d'amphibiens sources ont été ciblées afin de les reconnecter et faire augmenter la connectivité à l'échelle de toute la zone d'étude. Nous avons mentionné précédemment la reconnexion potentielle entre les mares de la Couvertoirade abritant des populations de Pélobate et la mare de Puit

Laurent à fort potentiel d'accueil pour les amphibiens. L'emplacement de cette mare a été disposée sur l'un des chemins de moindre coût de la modélisation S2P *Bis* à distance de dispersion de 1500 m (cf. [figure 42](#)). La [figure 48](#) montre donc la reconnexion des réseaux au sein de la modélisation S4P à une distance de dispersion 1000 m, on constate que la totalité des réseaux autour du village de La Couvertoirade sont connectés et fonctionnels.

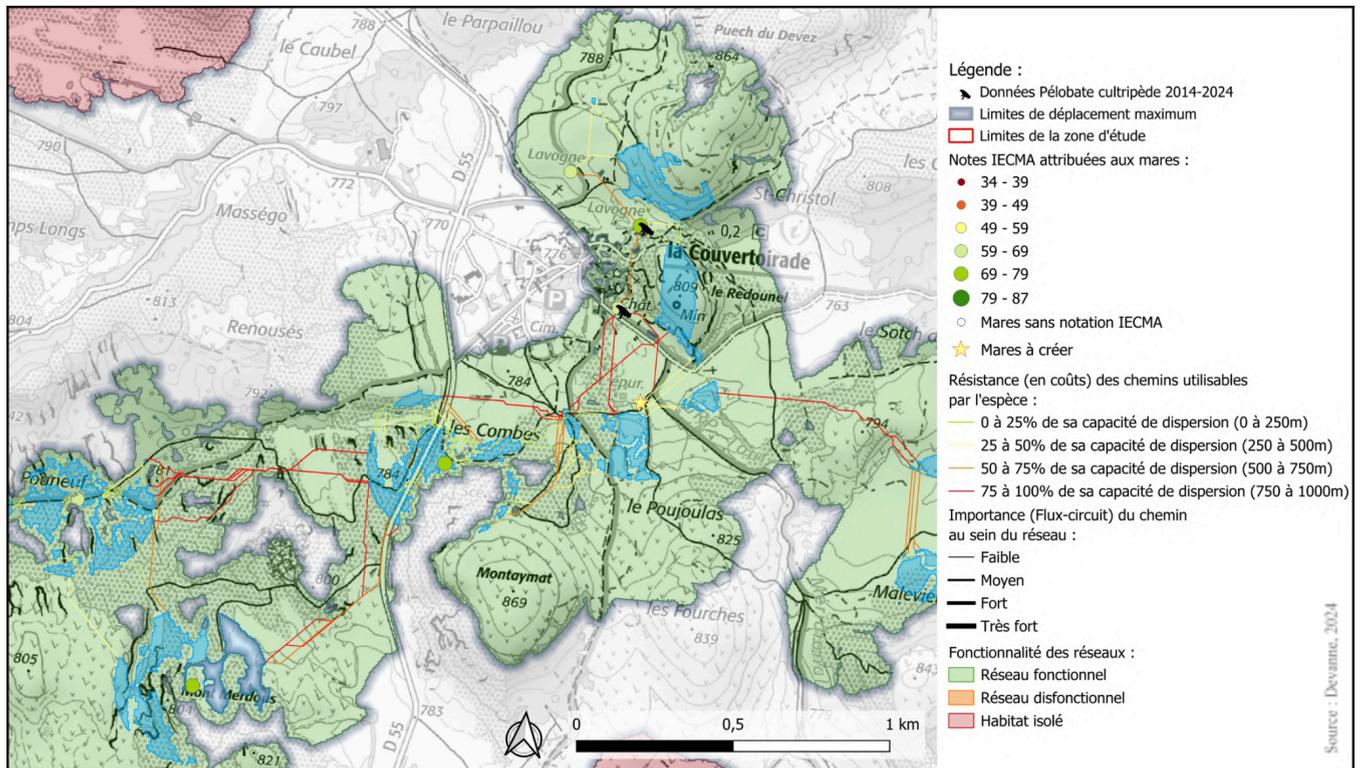


Figure 48: Modélisation de la fonctionnalité des réseaux de mares sur la zone d'étude après l'ajout de nouveaux réservoirs.

De la même façon, les mares de la Salvetat et de la Portalerie ont été reconnectées au réseau fonctionnel de la Blaquererie sur [figure 49](#). Pour reconnecter la mare de la Salvetat au restant des habitats, 3 nouveaux points d'eau sont nécessaires sur la modélisation. Un dernier habitat a été placé entre La Baraque Froide et le réseau du hameau de Belvezet. La métrique EC ont été calculés lors de ce nouveau scénario S4P afin de le comparer au scénario S2P à $d_{\max}=1000$ m. Avec l'ajout de ces 6 nouveaux points d'eau sur le territoire, le gain de connectivité globale est de 2 %. Le nombre d'habitat et de connexions a donc augmenté dans les paramètres des graphes, mais surtout, le nombre de composantes a diminué : il est passé de 51 composantes à 45 composantes l'échelle de la zone d'étude.

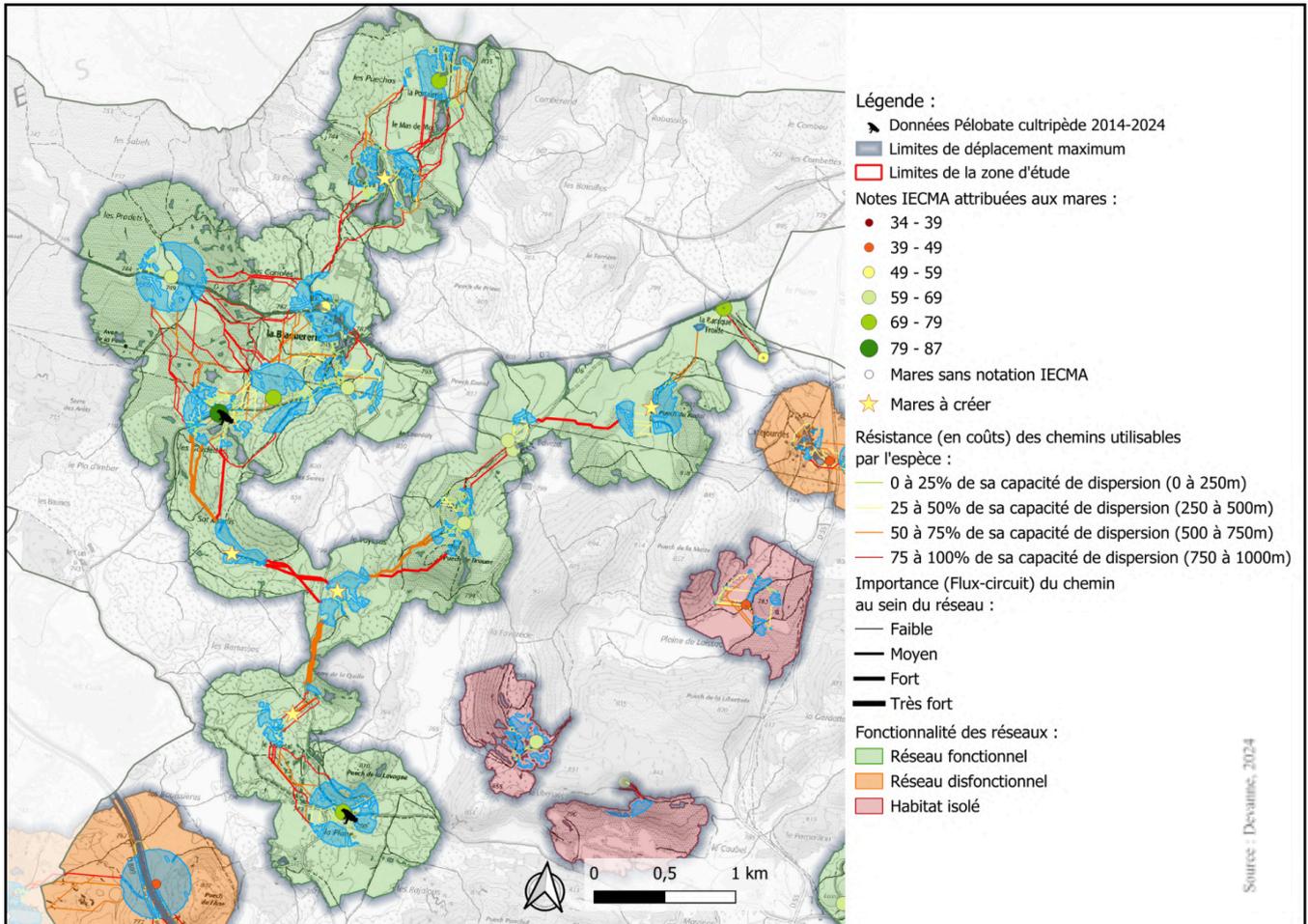


Figure 49: Modélisation de la fonctionnalité des réseaux de mares sur la zone d'étude après l'ajout de nouveaux réservoirs, scénarios S2.

3.2.2 Vers la réintroduction ?

Pour le Pélobate cultripède, certaines expertises en provenance de structures naturalistes s'interrogent sur la nécessité, dans les années à venir, de réintroduire cette espèce pour sa conservation sur le territoire. La réintroduction des amphibiens implique de multiples considérations écologiques, biologiques et éthiques. L'objectif de ces projets est de restaurer les populations d'amphibiens dans leurs habitats naturels après une période de déclin ou d'extinction locale. Cependant, malgré les efforts considérables et les ressources investies, la réintroduction des amphibiens rencontre plusieurs limites qui influencent son succès.

La réussite d'une réintroduction dépend grandement de la capacité des individus relâchés à survivre et à établir des populations viables sur le lieu de réintroduction. Mais ces taux sont encore difficiles à évaluer en raison de la difficulté à imiter les conditions naturelles en captivité et à assurer l'adaptation des amphibiens réintroduits (Muths et al., 2014). La reproduction et développement des amphibiens en captivité peut affecter le comportement et la physiologie des individus, et, la sélection génétique

peut entraîner une perte de diversité génétique. Ces conditions compromettent la résilience des populations face aux défis environnementaux après leur réintroduction. Par ailleurs, les méthodes de réintroduction varient considérablement, allant de la libération directe de populations élevées en captivité à des approches plus graduelles impliquant l'acclimatation progressive des individus réintroduits. La transition entre la captivité et la vie sauvage n'est pas toujours simple. Les animaux élevés en captivité peuvent manquer des compétences de survie essentielles, comme la recherche de nourriture ou l'évitement des prédateurs. La gestion des dynamiques post-réintroduction implique également de surveiller les interactions entre les individus réintroduits et les populations résidentes, ainsi que de gérer les effets potentiels sur les écosystèmes locaux. La compétition pour les ressources, les comportements territoriaux et les interactions avec les prédateurs sont autant de facteurs qui peuvent influencer le succès de la réintroduction.

Nous avons vu que les agents pathogènes et les changements climatiques représentent des défis majeurs pour la conservation des populations d'amphibiens. Dans le cadre de la réintroduction d'espèces, afin d'assurer le succès sur le long terme, ces défis sont à considérer dès le stade de réflexion. En effet, les amphibiens réintroduits sont souvent confrontés à des pathogènes et à des conditions climatiques qu'ils n'ont pas rencontrés auparavant en captivité (Joseph et Knapp, 2018). Ces facteurs peuvent avoir des effets dévastateurs sur leur survie et leur reproduction. Ces défis cumulés à la vulnérabilité des populations relâchées peuvent compromettre la réussite du projet de réintroduction.

En outre, la restauration de l'habitat est une étape essentielle qui ne peut être négligée. Même si les individus sont réintroduits avec succès, sans un habitat approprié et fonctionnel, les chances de survie sont réduites. Les changements dans l'utilisation des sols, la déforestation, et la pollution de l'eau sont des problèmes environnementaux courants qui peuvent compromettre les efforts de réintroduction. Les conflits d'usages sont nombreux sur l'utilisation de l'espace pour les activités humaines (agriculture, urbanisation, tourisme) et viennent contraindre les projets de restauration des habitats et de réintroduction d'espèces. Afin de garantir le succès sur le long terme, les projets à la faveur de la protection et conservation des espèces doivent impliquer la participation des communautés locales, afin d'atténuer les conflits et obtenir le soutien nécessaire.

Les projets de réintroduction sont donc multifactoriels et nécessitent une réflexion intégrant de nombreuses conditions : la biologie des espèces, les conditions environnementales actuelles et futures, la dynamique des populations introduites et celles existantes ainsi que toutes les interactions directes ou indirectes avec la société humaine. Bien que les projets de réintroduction puissent offrir des opportunités pour la conservation des amphibiens, ils doivent être soigneusement planifiés et exécutés. Ils ne sont pas encore envisagés sur le cas du Larzac de par leur difficulté d'exécution (études approfondies, coûts, etc.) qui ne garantit en aucun cas la réussite de la réintroduction.

3.2.3 Prendre en compte le changement climatique

Nous avons vu que les amphibiens sont particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique en raison de leurs cycles de vie complexes les rendent très sensibles aux changements climatiques brusques. Le changement climatique peut exacerber d'autres menaces existantes telles que la destruction des habitats, la pollution, et les maladies émergentes, notamment les infections fongiques comme la chytridiomycose, qui a déjà conduit au déclin dramatique de nombreuses populations d'amphibiens à travers le monde. Certaines études montrent que certaines espèces d'amphibiens développent des adaptations comportementales et physiologiques face au réchauffement climatique, comme des changements dans le comportement reproducteur ou une augmentation de la tolérance thermique (Reading, 2007). Le *Pelobates cultripes* par exemple est capable de ralentir ou accélérer son développement larvaire en fonction des fluctuations thermiques et de réguler sa perte d'eau en fonction des besoins (Cei et Crespo, 1971). Mais ces adaptations ne suffisent pas à compenser les conséquences rapides du changement climatique.

Afin d'anticiper les effets du changement climatique sur les amphibiens, la modélisation des niches écologiques peut devenir un outil essentiel. C'est le cas de l'étude de Burylo *et al.* (2020) qui combine la modélisation des niches écologiques et la théorie des graphes pour évaluer les habitats et les déplacements potentiels des tritons crêtés et marbrés dans la Vienne dans un contexte de changement climatique. Ces modèles permettent de projeter les distributions futures des espèces en tenant compte des variables climatiques changeantes, ce qui peut aider à identifier des zones refuges où les espèces pourraient persister malgré les conditions défavorables dans d'autres régions. Ces approches théoriques permettent aussi d'évaluer les corridors écologiques qui pourraient relier les populations fragmentées, favorisant ainsi leur résilience face aux perturbations climatiques. En utilisant ces modèles, les gestionnaires de la conservation peuvent prioriser les zones pour la protection, la restauration ou même l'introduction assistée, où les amphibiens auraient les meilleures chances de survie à long terme. Cependant, ces modèles doivent être continuellement affinés pour intégrer les incertitudes climatiques et les interactions complexes entre le climat, l'usage des terres et d'autres facteurs écologiques. L'étude qui a été présentée sur le déplacement des amphibiens sur 3 communes du Larzac pourrait donc être prolongée et servir de base à des modèles de prédiction pour identifier les zones vulnérables aux changements climatiques futurs.

Un autre aspect critique est de savoir si le changement climatique aura un impact plus important que les changements d'utilisation des terres sur la distribution future des amphibiens. En effet, le changement climatique pourrait avoir un effet prépondérant rendant nécessaire l'intégration des projections climatiques dans les plans de gestion des terres. Cela implique de prendre en compte non seulement les habitats actuels, mais aussi ceux qui deviendront vitaux à l'avenir en raison des déplacements d'espèces induits par le climat et des modifications anthropiques directes. Cet aspect pourrait faire l'objet de scénarios de modélisation multicritères. A cela s'ajoute l'intégration de la résilience des populations d'amphibiens dans la planification des stratégies de gestion. Une étude de

Weinbach et al. (2018) démontre que certaines populations peuvent résister aux variations climatiques grâce à leur organisation spatiale, qui permet une recolonisation rapide des zones affectées. Elle met donc en avant l'importance de la connectivité des habitats pour la résilience des populations. Les projets de restauration devraient se concentrer sur l'amélioration de la connectivité des habitats, permettant le déplacement des individus entre les populations, ce qui est crucial pour maintenir la diversité génétique et la résilience.

3.3 Illusions : réflexions diverses sur la gestion de la faune.

La gestion de la faune est un domaine complexe et souvent empreint d'illusions, particulièrement lorsqu'il s'agit de restaurer des milieux naturels dans un contexte de changement climatique. Les solutions fondées sur la nature (SFN), promues par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN), sont fréquemment présentées comme une réponse idéale aux défis environnementaux actuels. Cependant, leur pertinence réelle suscite des débats, surtout lorsqu'elles sont appliquées à des écosystèmes dynamiques et en évolution. La restauration des milieux naturels vise souvent à recréer des conditions écologiques antérieures, dans l'espoir de restaurer les communautés fauniques et floristiques qui leur étaient associées. Néanmoins, cette approche peut être critiquée pour son manque de prise en compte des dynamiques évolutives naturelles et des incertitudes liées au changement climatique.

L'une des principales illusions dans la gestion de la faune est l'idée que l'on peut revenir à un état de référence fixe, souvent idéaliste, d'un écosystème. Selon Hobbs et Harris (2001), les écosystèmes sont par nature dynamiques, avec des espèces qui migrent, évoluent, ou disparaissent en fonction de divers facteurs environnementaux. Restaurer un milieu à un état antérieur présuppose une stabilité écologique qui est en réalité illusoire, surtout dans le contexte actuel de changement climatique qui accélère les transformations écologiques.

De plus, le changement climatique modifie les conditions environnementales de manière si rapide que les espèces fauniques et floristiques ont parfois du mal à s'adapter (Hoegh-Guldberg et al., 2008). Cela remet en question la pertinence des efforts de restauration qui visent à recréer des écosystèmes historiques, car ces milieux ne pourront pas forcément subsister dans le climat futur. En effet, les zones restaurées pourraient ne pas soutenir les espèces pour lesquelles elles ont été recrées, rendant ainsi ces efforts inefficaces (Perring et al., 2013).

Les solutions fondées sur la nature sont souvent proposées comme une stratégie de gestion adaptative capable de répondre aux enjeux du changement climatique (Cohen-Shacham et al., 2016). Pourtant, cette approche peut parfois conduire à des interventions mal avisées si elle ne tient pas compte des processus écologiques en cours. Par exemple, la reforestation, une solution fréquemment mise en

avant, pourrait dans certains contextes aggraver les problèmes écologiques en introduisant des espèces non natives ou en modifiant des régimes hydrologiques critiques pour la faune locale (Menz et *al.*, 2013).

Enfin, il est essentiel de reconnaître que les cortèges faunistiques et floristiques associés aux milieux restaurés ne seront jamais identiques à ceux d'origine, en raison des changements irréversibles qui ont eu lieu. Les nouvelles conditions climatiques, les espèces invasives, et les perturbations humaines sont autant de facteurs qui modifient la composition des écosystèmes (Choi, 2007). Cette réalité doit inciter les gestionnaires de la faune à adopter une approche plus flexible et pragmatique, plutôt que de chercher à atteindre des objectifs de conservation idéalisés mais irréalistes.

Ainsi, la gestion de la faune dans un contexte de changement climatique nécessite une remise en question des paradigmes traditionnels de restauration écologique. Plutôt que de poursuivre l'illusion d'un retour à un état naturel historique, il est crucial de se concentrer sur la résilience des écosystèmes et l'adaptation des espèces aux conditions futures, en reconnaissant que l'évolution est une composante essentielle de la nature.

CONCLUSION

Les amphibiens sont parmi les groupes d'espèces les plus menacés au monde, avec 41 % des espèces en danger d'extinction selon l'UICN (2021). Cette étude, centrée sur le Causse du Larzac, enrichit les connaissances sur ce groupe taxonomique, encore insuffisamment pris en compte dans les études écologiques et la gestion des territoires, notamment sur le Larzac. Elle associe des analyses écologiques détaillées, des modélisations spatiales et des recommandations de gestion, afin de répondre aux défis que posent la dégradation des habitats et la fragmentation croissante du paysage. Concernant l'état écologique des mares et du réseau de mares sur les trois communes étudiées dans le Sud Larzac (La Couvertoirade, Les Rives et Le Caylar), le diagnostic effectué à l'aide de l'indicateur IECMA (Indicateur de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens) a mis en lumière des lacunes importantes. Notamment, il a été observé que 20 % des mares n'atteignent pas un état écologique satisfaisant, compromettant ainsi leur rôle en tant que réservoirs de biodiversité. Ces mares, en grande partie, souffrent d'une faible profondeur, rendant impossible l'accomplissement du cycle de vie des amphibiens. La profondeur moyenne des mares sur le Larzac a été relevée comme étant insuffisante, particulièrement durant les périodes de sécheresse accrue, un phénomène de plus en plus fréquent avec le changement climatique.

L'analyse spatiale via les modélisations sur Graphab a révélé que la connectivité des habitats est affectée par la présence de l'autoroute A75. Cette infrastructure crée une barrière physique significative pour le déplacement des espèces. Le réseau de mares se trouve ainsi fragmenté, réduisant la mobilité des populations d'amphibiens et limitant les échanges génétiques nécessaires à leur survie. L'impact de cette autoroute est notable sur le Pélobate cultripède, dont les populations déjà en déclin sont encore davantage isolées. Toutefois, cette fragmentation est partiellement compensée par la présence de bassins autoroutiers. Bien que ces bassins ne soient pas colonisés par le Pélobate cultripède, ils offrent un potentiel d'habitat et participent à la réduction des perturbations anthropiques si des mesures de gestion adéquates sont mises en œuvre (amélioration de la qualité de l'eau et création de corridors écologiques spécifiques reliant ces bassins aux mares naturelles).

Les mesures de gestion proposées dans cette étude se concentrent principalement sur la restauration des mares existantes, le renforcement des corridors écologiques, et la prise en compte des impacts du changement climatique dans les stratégies de conservation. La restauration des mares existantes, notamment par le curage des sédiments et la ré-étanchéification des fonds, est une priorité pour rétablir leur fonctionnalité écologique. De plus, la lutte contre les espèces exotiques envahissantes, comme les poissons introduits et certaines plantes aquatiques, est cruciale pour restaurer un équilibre écologique propice aux amphibiens indigènes. Ces actions doivent être accompagnées d'un entretien régulier pour assurer la pérennité des habitats aquatiques, qui sont essentiels pour la reproduction des espèces d'amphibiens. En parallèle, la création de nouvelles mares dans les zones où la connectivité des habitats est insuffisante est indispensable pour renforcer le maillage écologique du territoire. Sur

les 70 mares étudiées, près de 40 % se situent dans des zones critiques où la création de nouvelles mares pourrait jouer un rôle clé dans la stabilisation des populations d'amphibiens. Ces nouvelles mares, idéalement situées à moins de 500 mètres des habitats existants, pourraient servir de relais écologiques, facilitant le déplacement et la dispersion des espèces.

Il est également recommandé de poursuivre les efforts de recherche pour affiner les outils de modélisation, en intégrant des données plus précises sur la qualité des habitats et les comportements des espèces. Par exemple, les études devraient inclure des variables telles que la qualité de l'eau, la présence de prédateurs, et la composition floristique des mares, qui sont des facteurs déterminants pour la colonisation des habitats par les amphibiens. Mais aussi des variables concernant la qualité de l'habitat terrestre, la présence de linéaires boisés ou l'absence d'obstacles comme les routes. Les comportements migratoires des espèces comme le Pélobate cultripède, qui dépendent fortement de la disponibilité de mares connectées, nécessitent une attention accrue pour anticiper les impacts futurs du changement climatique et des activités humaines sur leurs populations.

L'approche de gestion adaptative, fondée sur un suivi continu et l'ajustement des stratégies de conservation en fonction des résultats obtenus, se présente comme une méthode des plus prometteuses pour la préservation à long terme des amphibiens sur le Larzac. Le suivi des mares devrait inclure des relevés réguliers de l'état de conservation des habitats, des inventaires des populations d'amphibiens, et des mesures de la qualité de l'eau, afin d'adapter les interventions en temps réel. Par ailleurs, l'utilisation de bioindicateurs, comme les amphibiens eux-mêmes, pourrait fournir des informations précieuses sur l'état général des écosystèmes aquatiques.

La conservation des amphibiens dans cette région ne peut se faire sans une collaboration étroite entre les gestionnaires du territoire, les scientifiques, et les communautés locales. Il est essentiel de sensibiliser ces acteurs aux enjeux de la biodiversité et de promouvoir des pratiques durables qui favorisent la coexistence entre les activités humaines et la préservation des écosystèmes naturels. Les futurs efforts de gestion doivent inclure une dimension éducative pour renforcer la compréhension des enjeux environnementaux par les populations locales, en particulier les agriculteurs et les propriétaires, qui jouent un rôle clé dans la gestion des mares. Il est impératif que les futures mesures de gestion des amphibiens intègrent les effets anticipés du changement climatique pour être efficaces. Cela comprend la modélisation des niches écologiques futures, la gestion des maladies dans un contexte climatique changeant, et la prise en compte des interactions entre le changement climatique et l'utilisation des terres. Le changement climatique risque d'accélérer l'assèchement des mares et d'aggraver les conditions de vie pour les amphibiens, rendant encore plus cruciale la nécessité de créer des habitats résilients. L'avenir du Pélobate cultripède et des autres espèces d'amphibiens du Larzac dépendra de notre capacité à anticiper et à atténuer les impacts du changement climatique tout en renforçant les habitats et les populations face à ces défis à toutes les échelles. Une approche intégrée, combinant restauration écologique, création de nouveaux habitats, et gestion adaptative, est essentielle pour garantir la pérennité de ces espèces dans un environnement en constante évolution.

BIBLIOGRAPHIE

- ARB Occitanie. (2022.). *Amphibiens d'Occitanie*. ARB Occitanie. Disponible sur : <https://www.arb-occitanie.fr/connaître/indicateurs/amphibiens-doccitanie/> et [ETAT ET RÉPARTITION DU PEUPLEMENT DES AMPHIBIENS EN OCCITANIE](#)
- ANA-CEN Ariège (2023) Création d'un outil de modélisation « Réseau de mares » pour l'espace pilote du Mas d'Azil . PRAM Occitanie. Disponible sur : https://www.pram-occitanie.fr/IMG/pdf/modelisation_reseau_mares_mas_azil_2022_2023_final.pdf
- Andrews, K. M., & Jochimsen, D. M. (2007). Ecological Effects of Roads Infrastructure on Herpetofauna: Understanding Biology and Increasing Communication. UC Davis: Road Ecology Center. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/8d73q0mj>
- Artières, P. (2021). Le peuple du Larzac: Une histoire de crânes, sorcières, croisés, paysans, prisonniers, soldats, ouvrières, militants, touristes et brebis.... La Découverte.
- Arntzen, J. W., & Wallis, G. P. (1991). Restricted gene flow in a moving hybrid zone of the newts *triturus cristatus* and *t. marmoratus* in western france. *Evolution*, 45(4), 805-826. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.1991.tb04352.x>
- Astruc G., Miaud C., Besnard A., & Barrioz M. (2021). The alarming decline of amphibians in France : The documented example of Normandy. Le déclin alarmant des amphibiens de France : L'exemple étayé de la Normandie. <https://doi.org/10.48716/BULLSHF178-4>
- Atkinson, C. L., Hopper, G. W., Kreeger, D. A., Lopez, J. W., Maine, A. N., Sansom, B. J., Schwalb, A., & Vaughn, C. C. (2023). Gains and gaps in knowledge surrounding freshwater mollusk ecosystem services. *Freshwater Mollusk Biology and Conservation*, 26(1). <https://doi.org/10.31931/fmbc-d-22-00002>
- Atlas de la SHF. (1989). *Atlas de la Société Hydrotechnique de France*. Société Hydrotechnique de France. https://lashf.org/wp-content/uploads/2016/04/atlas_shf_1989.pdf
- Aveyron Environnement. (2017). *Mares et amphibiens*. Aveyron Environnement. Disponible sur : <http://www.aveyron-environnement.com/index.php/sciences-participatives/mares-amphibiens>
- Barrioz, M., & Miaud, C. (2016). Protocoles de suivi des populations d'amphibiens de France, « POPAmphibien Communauté » (Version 2022). Société Herpétologique de France. Disponibl sur : [Programme POP - Protocole POPAmphibien Communauté Édition 2022](#)
- Beebee, T. J. C. (2013). Effects of road mortality and mitigation measures on amphibian populations. *Conservation Biology*, 27(4), 657-668. <https://doi.org/10.1111/cobi.12063>
- Bennett, A. F. (1999). Linkages in the landscape: The role of corridors and connectivity in wildlife conservation. IUCN.
- Blaustein, A. R., & Kiesecker, J. M. (2002). Complexity in conservation : Lessons from the global decline of amphibian populations. *Ecology Letters*, 5(4), 597-608. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.2002.00352.x>
- Braña, F. & Orizaola, G. (1996). Effect of introduced fish on amphibian assemblages in mountain lakes of northern Spain. *The Herpetological Journal*, 6(4), 182-185. <https://www.thebhs.org/publications/the-herpetological-journal/volume-6-number-4-october-1996/1465-07-effect-of-introduced-fish-on-amphibian-assemblages-in-mountain-lakes-of-northern-spain?format=html>
- Briggs, C. J., Vredenburg, V. T., Knapp, R. A., & Rachowicz, L. J. (2005). Investigating the population-level effects of chytridiomycosis : An emerging infectious disease of amphibians. *Ecology*, 86(12), 3149-3159. <https://www.jstor.org/stable/3450720>

- Bruxelles L. (2002). Reconstitution morphologique du Causse du Larzac : Rôle des formations superficielles dans la morphogenèse karstique. *KARSTOLOGIA* N° 38, 25-40; DOI : <https://doi.org/10.13140/2.1.1241.1521>.
- Bourgeois, M. (2015). Impacts écologiques des formes d'urbanisation: modélisations urbaines et paysagères (Doctoral dissertation, Université de Franche-Comté). Disponible sur : <https://hal.science/tel-01368998/>
- Burel, F., & Baudry, J. (1999). *Ecologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*, 359.
- Burylo, M., Touzot, M., Renet, J., Ferrant, P., Piha, M., & Rousset, S. (2020). Habitat patches for newts in the face of climate change: Local scale assessment combining niche modelling and graph theory. *Scientific Reports*, 10, Article 2045. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60479-4>
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., & Raven, P. H. (2020). Vertebrates on the brink as indicators of biological annihilation and the sixth mass extinction. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(24), 13596-13602. <https://doi.org/10.1073/pnas.1922686117>
- Cei, J. M. A. M., & Crespo, E. G. (1971). Remarks on some adaptive ecological trends of *Pelobates cultripes* from Portugal : Thermal requirement, rate of development and water regulation. *Arquivos Do Museu Bocage*, III, no 2. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/87642>
- CEN Normandie (2023). Contribuez à l'état des lieux sur la situation de mares en France et des acteurs qui les préservent. Disponible sur : [Contribuez à l'état des lieux sur la situation de mares en France et des acteurs qui les préservent - Jusqu'au 6 novembre 2023 | Zones Humides](https://www.cen-normandie.fr/actualites/contribuez-a-l-etat-des-lieux-sur-la-situation-de-mares-en-france-et-des-acteurs-qui-les-preservent-jusqu-au-6-novembre-2023-zones-humides).
- Centre de ressources de la TVB (2024). *Qu'est-ce qu'un réservoir de biodiversité ?* Trame verte et bleue. <https://www.trameverteetbleue.fr/presentation-tvb/foire-aux-questions/qu-est-ce-qu-reservoir-biodiversite>.
- Cerema. (2019). *Amphibiens et dispositifs de franchissement des infrastructures de transport terrestre*. Collection : Connaissances. Disponible sur : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/amphibiens-dispositifs-franchissement-infrastructures>
- Choi, Y. D. (2007). Restoration ecology to the future: A call for new paradigm. *Restoration Ecology*, 15(2), 351-353. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2007.00225.x>
- Clauzel, C., Godet, C., Tarabon, S., Eggert, C., Vuidel, G., Bailleul, M., & Miaud, C. (2024). From single to multiple habitat connectivity : The key role of composite ecological networks for amphibian conservation and habitat restoration. *Biological Conservation*, 289, 110418. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110418>
- Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). *Nature-based solutions to address global societal challenges*. International Union for Conservation of Nature (IUCN). <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2016.13.en>
- Commission européenne. (1992). 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. Disponible sur : [Directive - 92/43 - EN - EUR-Lex](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:31992L0043)
- Connell, J. H., & Slatyer, R. O. (1977). Mechanisms of succession in natural communities and their role in community stability and organization. *The American Naturalist*, 111(982), 1119-1144. <https://doi.org/10.1086/283241>
- Conseil de l'Europe. (1979). Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (Convention de Berne). Disponible sur : <https://www.coe.int/fr/web/bern-convention>
- Courant, F., Vollette, F., Marin, A., & Herrel, A. (2018). Assessing the impacts of the invasive frog, *Xenopus laevis*, on amphibians in western France. *Amphibia-Reptilia*, 39(2), 197-205.
- Cushman, S. A. (2006). Effects of habitat loss and fragmentation on amphibians: A review and prospectus. *Biological Conservation*, 128(2), 231-240. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.031>

- Daniel J. Hocking et Kimberly J. Babbitt. (2014) Contributions des amphibiens aux services écosystémiques. *Conservation et biologie herpétologiques* 9(1) :1–17. http://www.herpconbio.org/Volume_9/Issue_1/Hocking_Babbitt_2014.pdf
- Duffus, A. L. J., & Cunningham, A. A. (2010). Major disease threats to European amphibians. *The Herpetological Journal*, 20(3), 117-127.
- Duguet, J.-P., & al. (2003). *Les amphibiens de France, Belgique et Luxembourg*. Biotope.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), 487-515. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419>
- Ficetola, G. F., Thuiller, W., & Miaud, C. (2007). Prediction and validation of the potential global distribution of a problematic alien invasive species—the American bullfrog (*Rana catesbeiana*). *Diversity and Distributions*, 13(4), 476-485. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00377.x>
- Foltête, J.-C., Vuidel, G., Savary, P., Clauzel, C., Sahraoui, Y., Girardet, X., & Bourgeois, M. (2021). Graphab : An application for modeling and managing ecological habitat networks. *Software Impacts*, 8, 100065. <https://doi.org/10.1016/j.simpa.2021.100065>
- Gardner, T. A., Barlow, J., & Peres, C. A. (2007). Paradox, presumption and pitfalls in conservation biology: The importance of habitat change for amphibians and reptiles. *Biological Conservation*, 138(1-2), 166-179. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.017>
- Géniez, P., & Cheylan, M. (2012). Les amphibiens et les reptiles du Languedoc-Roussillon et régions limitrophes : Atlas biogéographique. Biotope / Muséum National d'Histoire Naturelle. Coll. Inventaires et biodiversité.
- Gibbs, J. P., & Shriver, W. G. (2005). Can road mortality limit populations of pool-breeding amphibians? *Wetlands Ecology and Management*, 13(3), 281-289. <https://doi.org/10.1007/s11273-004-7522-9>
- González-Hernández, M., Denoël, M., Duffus, A. J. L., Garner, T. W. J., Cunningham, A. A., & Acevedo-Whitehouse, K. (2010). Dermocystid infection and associated skin lesions in free-living palmate newts (*Lissotriton helveticus*) from Southern France. *Parasitology International*, 59(3), 344-350. <https://doi.org/10.1016/j.parint.2010.04.006>
- Griffiths, R. A., Sewell, D., & McCrea, R. S. (2010). Dynamics of a declining amphibian metapopulation: Survival, dispersal and the impact of climate. *Biological Conservation*, 143(2), 485-491. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.11.017>
- Guérin, S.. (2017). Méthodes d'étude et modélisation de la dynamique de population du triton marbré dans le cadre du projet de construction d'une infrastructure de grande ampleur en zone bocagère dans l'ouest de la France. Disponible sur : <https://theses.hal.science/tel-02106998>
- Hanski, I. (1998). Metapopulation dynamics. *Nature*, 396(6706), 41-49. <https://doi.org/10.1038/23876>
- Hanski, I. (1999). *Metapopulation ecology*. Oxford University Press.
- Hels, T., & Buchwald, E. (2001). The effect of road kills on amphibian populations. *Biological Conservation*, 99(3), 331-340. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(00\)00215-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(00)00215-9)
- Hels, T., & Nachman, G. (2002). Simulating viability of a spadefoot toad *Pelobates fuscus* metapopulation in a landscape fragmented by a road. *Ecography*, 25(6), 730-744. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0587.2002.250609.x>
- Hershey, A. E., Lamberti, G. A., Chaloner, D. T., & Northington, R. M. (2010). Aquatic insect ecology. In *Ecology and Classification of North American Freshwater Invertebrates* (p. 659-694). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374855-3.00017-0>
- Hobbs, R. J., & Harris, J. A. (2001). Restoration ecology: Repairing the earth's ecosystems in the new millennium. *Restoration Ecology*, 9(2), 239-246. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100X.2001.009002239.x>

Hoegh-Guldberg, O., Hughes, L., McIntyre, S., Lindenmayer, D. B., Parmesan, C., Possingham, H. P., & Thomas, C. D. (2008). Assisted colonization and rapid climate change. *Science*, 321(5887), 345-346. <https://doi.org/10.1126/science.1157897>

Iosif, R., Papeş, M., Samoilă, C., & Cogălniceanu, D. (2014). Climate-induced shifts in the niche similarity of two related spadefoot toads (Genus *pelobates*). *Organisms Diversity & Evolution*, 14(4), 397-408. <https://doi.org/10.1007/s13127-014-0181-7>

IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

IUCN. (2021). The IUCN Red List of Threatened Species 2021: Amphibians. International Union for Conservation of Nature. Retrieved from <https://www.iucnredlist.org>

Jehle, R., & Arntzen, J. W. (2000). Post-breeding migrations of newts (*triturus cristatus* and *t. marmoratus*) with contrasting ecological requirements. *Journal of Zoology*, 251(3), 297-306. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb01080.x>

Joseph, M. B., & Knapp, R. A. (2018). Disease and climate effects on individuals drive post-reintroduction population dynamics of an endangered amphibian. *Ecosphere*, 9(11), e02499. <https://doi.org/10.1002/ecs2.2499>

Lang I. et Géraud A., 2022. Stratégie d'intervention territorialisée du Programme Régional d'Actions en faveur des Mares d'Occitanie. Conservatoire d'espaces naturels d'Occitanie & Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie. Disponible sur : https://www.pram-occitanie.fr/IMG/pdf/strategie_du_pram_occitanie_vf_1_.pdf

Levin, S. A. (1992). The problem of pattern and scale in ecology: The Robert H. MacArthur award lecture. *Ecology*, 73(6), 1943-1967

Maillet, N., Le Cabec, F., & Bonnet, C. (2017). *Indice d'Écologie des Communes pour la Faune des Mares (IECMA)*. Conservatoire d'espaces naturels de l'Isère. https://www.cen-isere.org/wp-content/uploads/2019/05/GL_SE32_IECMA_MailletLeCabecBonnet2017_bq.pdf

Malmgren, J., Andersson, P., & Ekdahl, S. (2007). Modelling terrestrial interactions and shelter use in great crested newts (*Triturus cristatus*). *Amphibia-Reptilia*, 28(2), 205-215. <https://doi.org/10.1163/156853807780202431>

McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>

Menz, M. H., Dixon, K. W., & Hobbs, R. J. (2013). Hurdles and opportunities for landscape-scale restoration. *Science*, 339(6119), 526-527. <https://doi.org/10.1126/science.1228334>

Merlet A., Chauvin I., Labadesse M., Lardon M., Martin A., Martin B., Trochet A., & Barthe L. (2022), Fiche Technique, Inventaire du Xénope lisse. Société Herpétologique de France. 18 pages. DOI : 10.48716/FTLC-003

Ministère de la transition écologique et la SDES (2021) Les zones humides en France—Synthèse des connaissances en 2021 | Données et études statistiques. Disponible sur : [Les zones humides en France - Synthèse des connaissances en 2021 | Données et études statistiques](https://www.mte.gouv.fr/les-zones-humides-en-france-synthese-des-connaissances-en-2021-donnees-et-etudes-statistiques)

Muséum National d'Histoire Naturelle (MNHN) & Office Français de la Biodiversité (OFB). (2003–2024). *Inventaire national du patrimoine naturel (INPN)*. <https://inpn.mnhn.fr>

Muths, Erin, et al. « Animal Reintroductions: An Innovative Assessment of Survival ». *Biological Conservation*, vol. 172, avril 2014, p. 200-08. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.02.034>.

Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.

Observatoire régional des Mares (ORM) Auvergne-Rhône-Alpes (2024). Présentation du projet. Mares & Libellules. Disponible sur : <https://www.mares-libellules.fr/presentation-du-projet/>

Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R. & Lachavanne, J.-B. 2000. Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève et OFEFP. 434 pp.

Opdam, P., & Wascher, D. (2004). Climate change meets habitat fragmentation : Linking landscape and biogeographical scale levels in research and conservation. *Biological Conservation*, 117(3), 285-297. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2003.12.008>

Oxford English Dictionary. (2024). Amphibian. In Oxford English Dictionary Online. Disponible sur : [Oxford English Dictionary](https://www.oed.com/).

Parc naturel régional des Grands Causses. (2024.). *Causse du Larzac*. Atlas des paysages du Parc naturel régional des Grands Causses. Disponible sur : [Causse du Larzac - Atlas Paysager](https://www.parc-naturel-grands-causses.fr/le-parc/le-paysage/causse-du-larzac-atlas-paysager).

Perring, M.P., Standish, R.J. & Hobbs, R.J. Incorporating novelty and novel ecosystems into restoration planning and practice in the 21st century. *Ecol Process* 2, 18 (2013). <https://doi.org/10.1186/2192-1709-2-18>

Perron, M. A. C., Richmond, I. C., & Pick, F. R. (2021). Plants, water quality and land cover as drivers of Odonata assemblages in urban ponds. *Science of The Total Environment*, 773, 145467. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145467>

Peyron, A. (2016). *Flore et végétation des Causses du Sud de la France*. Editions Delachaux & Niestlé.

Porej, D., Hetherington, T. Designing Wetlands for Amphibians: The Importance of Predatory Fish and Shallow Littoral Zones in Structuring of Amphibian Communities. *Wetlands Ecol Manage* 13, 445–455 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11273-004-0522-y>

Porteret, et al. (2014). ZH Boite-outils-complète.pdf. Rhomeo-BAO. Disponible sur : https://rhomeo-bao.fr/sites/all/themes/corporateclean/pdf/ZH_Boite-outils-complete.pdf

Pottier (2022). Agence Régionale de la Biodiversité Occitanie. (n.d.). *Amphibiens d'Occitanie*. Disponible sur : <https://www.arb-occitanie.fr/connaître/indicateurs/amphibiens-doccitanie/>

Pottier, G., Paumier, J.-M., Tessier, M., Barascud, Y., Talhoet, S., Liozon, R., D'Andurain, P., Vacher, J.-P., Barthe, L., Heaulme, V., Esslinger, M., Arthur, C.-P., Calvert, A., Maurel, C., & Redon, H. (2008). Atlas de répartition des reptiles et amphibiens de Midi-Pyrénées. *Nature Midi-Pyrénées*.

Préau, C., Grandjean, F., Sellier, Y., Gailledrat, M., Bertrand, R., & Isselin-Nondedeu, F. (2020). Habitat patches for newts in the face of climate change : Local scale assessment combining niche modelling and graph theory. *Scientific Reports*, 10(1), 3570. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60479-4>

Pulliam, H. R. (1988). Sources, sinks, and population regulation. *The American Naturalist*, 132(5), 652-661.

Ray, N., Lehmann, A. & Joly, P. (2002). Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation* 11, 2143–2165. <https://doi.org/10.1023/A:1021390527698>

Recuero, E. (2014). Sapo de espuelas – Pelobates cultripes. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Martínez-Solano, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. [Sapo de espuelas – Pelobates cultripes \(Cuvier, 1829\)](https://www.mncn.csic.es/enciclopedia-virtual-de-los-vertebrados-espanoles/sapo-de-espuelas-pelobates-cultripes-cuvier-1829)

Reading, C. J. (2007). Linking global warming to amphibian declines through its effects on female body condition and survivorship. *Oecologia*, 151(1), 125-131. <https://doi.org/10.1007/s00442-006-0558-1>

- Région Occitanie. (2015). Schéma régional de cohérence écologique (SRCE). Disponible sur : [Le Schéma régional de cohérence écologique Languedoc-Roussillon approuvé | DREAL Occitanie](#)
- Renet, Julien & Loubinoux, Elfie & Krebs, Muriel & Thirion, Felix & Priol, Pauline & Travers, William & Ménétrier, Florence & Baudat-Franceschi, Julien & Brichard, Jérôme. (2024). La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède (*Pelobates cultripedes*). Disponible sur : [\(PDF\) La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède \(Pelobates cultripedes\)](#)
- Rowland, F. E., Rawlings, M. B., & Semlitsch, R. D. (2017). Joint effects of resources and amphibians on pond ecosystems. *Oecologia*, 183(1), 237-247. <https://doi.org/10.1007/s00442-016-3748-5>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. G. (2019). Worldwide decline of the entomofauna : A review of its drivers. *Biological Conservation*, 232, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Scher O. (2006). « The french pondscape : state of the art », Poster.
- Scher, O. (2010). Conserver les réseaux de mares. *Espaces naturels*, (30), 37-38.
- Semlitsch, R. D., & Bodie, J. R. (2003). Biological criteria for buffer zones around wetlands and riparian habitats for amphibians and reptiles. *Conservation Biology*, 17(5), 1219-1228. <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.2003.02177.x>
- Semlitsch, R. D. (2008). Differentiating migration and dispersal processes for pond-breeding amphibians. *The Journal of Wildlife Management*, 72(1), 260-267. <https://doi.org/10.2193/2007-0827>
- SNPN. (2024). *Observatoire participatif sur les mares et petites zones humides*. Société Nationale de Protection de la Nature. <https://www.snpn.com/actions/observatoire-participatif-sur-les-mares-et-petites-zones-humides/>
- Sordello, R., & al. (2013). Synthèses bibliographiques sur les traits de vie de 39 espèces proposées pour la cohérence nationale de la Trame verte et bleue relatifs à leurs déplacements et besoins de continuité écologique. Trame verte et bleue. http://spn.mnhn.fr/spn_rapports/archivage_rapports/2014/SPN%202013%20-%202024%20-%2020131219_-_MNHN-OPIE_Rapport_fiches_TV_B_CDR.pdf
- Société Herpétologique de France (2024) Pélobate cultripède (Le)—*Pelobates cultripedes* | Atlas des reptiles et amphibiens de France—Société herpétologique de France. Consulté 13 août 2024, à l'adresse <https://atlas.lashf.org/espece/235>
- Speybroeck, J., Beukema, W., Berger, L., & al. (2018). *Guide des amphibiens et reptiles de France et d'Europe*. Delachaud.
- Taylor, P. D., Fahrig, L., Henein, K., & Merriam, G. (1993). Connectivity is a vital element of landscape structure. *Oikos*, 571-573.
- Tejedo, M., Reques, R., & Esteban, M. (2005). Developmental response to pond desiccation in the Iberian spadefoot toad *Pelobates cultripedes* during and after metamorphosis. *Biological Journal of the Linnean Society*, 85(3), 383-393.
- Teplitsky, .C., Plénet, .S. & Joly, .P. Tadpoles' responses to risk of fish introduction. *Oecologia* 134, 270–277 (2003). <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1106-2>
- Trochet A., Hugon F., Lombardi A., Besnard A. (2024) Suivi des amphibiens de France métropolitaine sur la période 2010-2023. Société herpétologique de France. 37 pp.. Disponible sur : https://lashf.org/wp-content/uploads/2024/04/Bilan-POPA-2023_vf.pdf
- Turner, M. G. (1989). Landscape ecology: The effect of pattern on process. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20(1), 171-197.
- Turner, M. G. (2005). Landscape ecology : What is the state of the science? *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 36(1), 319-344. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.36.102003.152614>

UICN France, MNHN & SHF (2015). La Liste rouge des espèces menacées en France - Chapitre Reptiles et Amphibiens de France métropolitaine. Paris, France. Disponible sur :

https://uicn.fr/wp-content/uploads/2015/09/Liste_rouge_France_Reptiles_et_Amphibiens_de_metropole.pdf

Wake, D. B., & Vredenburg, V. T. (2008). Are we in the midst of the sixth mass extinction? A view from the world of amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(supplement_1), 11466-11473.

<https://doi.org/10.1073/pnas.0801921105>

Weinbach, A., Cayuela, H., Grolet, O. et al. Resilience to climate variation in a spatially structured amphibian population. *Sci Rep* 8, 14607 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-33111-9>

West J. (2018). Importance of Amphibians: A Synthesis of Their Environmental Functions, Benefits to Humans, and Need for Conservation. In *BSU Honors Program Theses and Projects*. Item 261. Available at: https://vc.bridgew.edu/honors_proj/261

Wiens, J. A. (2002). Central concepts and issues of landscape ecology. In *Applying landscape ecology in biological conservation* (pp. 3-21). New York, NY: Springer New York.

Wood, P. J., & Armitage, P. D. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental management*, 21(2), 203-217.

ANNEXES

Annexe 1 : Fiche des statuts de protection des amphibiens sur le Larzac

Listes des 15 espèces et/ou taxons d'amphibiens et statut de protection et de menaces. Réalisation : Leïla DEVANNE ; Source : INPN - MNHN - DREAL OCCitanie 2015.

Famille	Espèce - Nom scientifique et vernaculaire	France (Articles 2, 3 et 5)	DH (Annexes II, IV et V)	LR Régionale	LR France
ANOURES					
Alytidae	<i>Alyte obstetricans</i> Alyte accoucheur	Art 2	IV	EN	LC
Bufonidae	<i>Bufo spinosus</i> Crapaud épineux	Art 3	-	LC	LC
	<i>Epidalea calamita</i> Crapaud calamite	Art 2	IV	LC	LC
Hylidae	<i>Hyla meridionalis</i> Rainette méridionale	Art 2	IV	LC	LC
Pelobatidae	<i>Pelobates cultripes</i> Pélobate cultripède	Art 2	IV	CR	VU
Pelodytidae	<i>Pelodytes punctatus</i> Pélodyte ponctué	Art 3	-	LC	LC
Ranidae	<i>Pelophylax kl. grafi</i> Grenouille de Graf	Art 5	V	DD	NT
	<i>Pelophylax lessonae</i> Grenouille de Lessona	Art 2	IV	DD	NT
	<i>Pelophylax ridibundus</i> Grenouille rieuse	Art 3	V	NA (espèce introduite)	LC
URODÈLES					
Salamandridae	<i>Salamandra salamandra</i> Salamandre tachetée	Art 3	-	LC	NT
	<i>Ichthyosaura alpestris</i> Triton alpestre	Art 3	-	NA (espèce introduite)	LC
	<i>Lissotriton helveticus</i> Triton palmé	Art 2	II et IV	LC	NT
	<i>Triturus marmoratus</i> Triton marbré	Art 2	II et IV	VU	NT

CR = En danger critique

DH = Directives Habitats ; LR = Listes Rouge.

EN = En danger

VU = Vulnérable

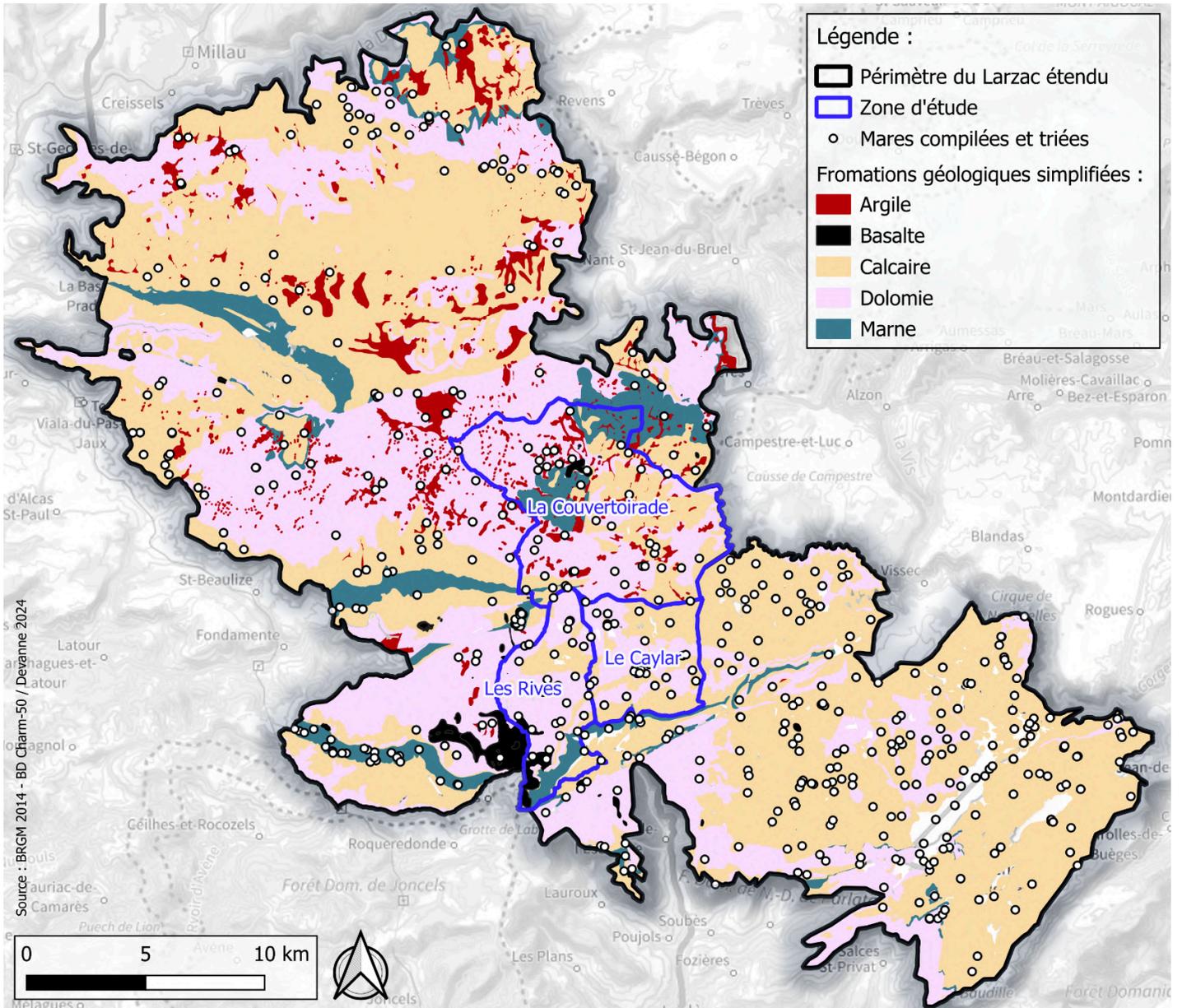
NT = Quasi-menacée

DD = Données insuffisantes

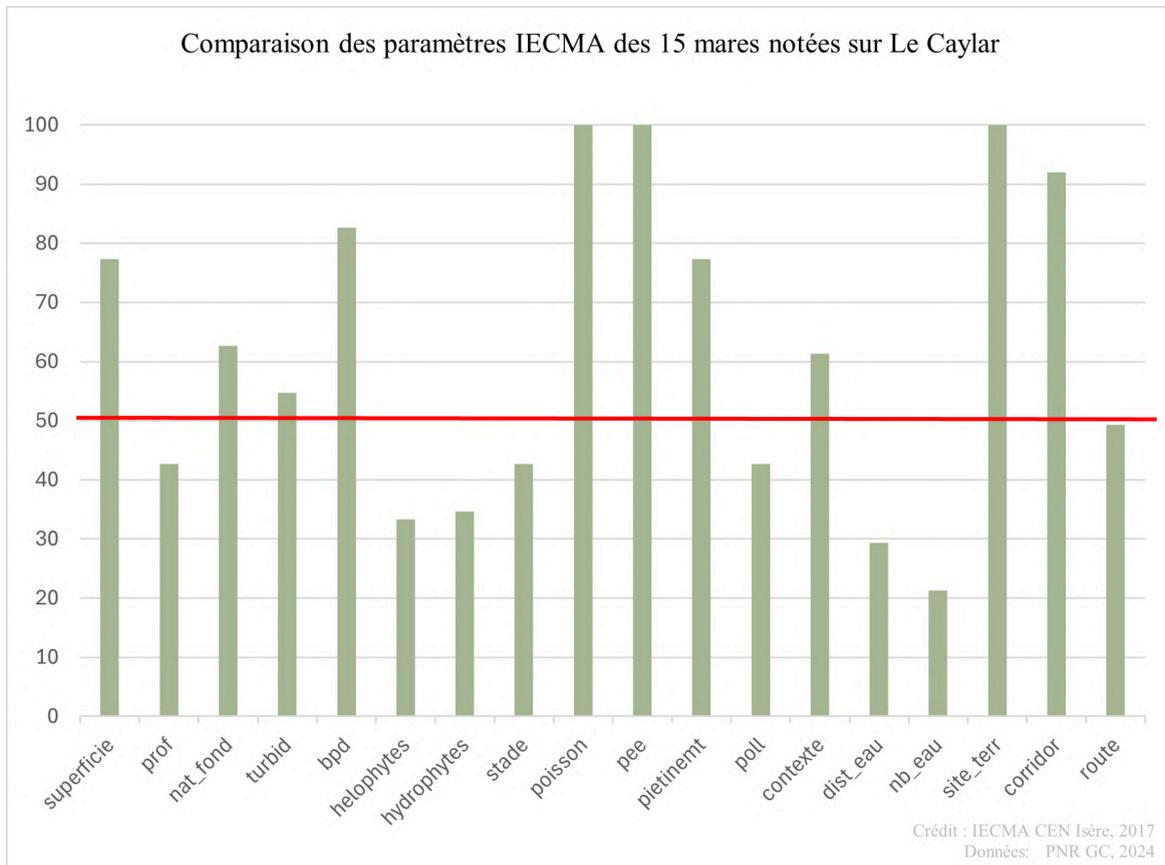
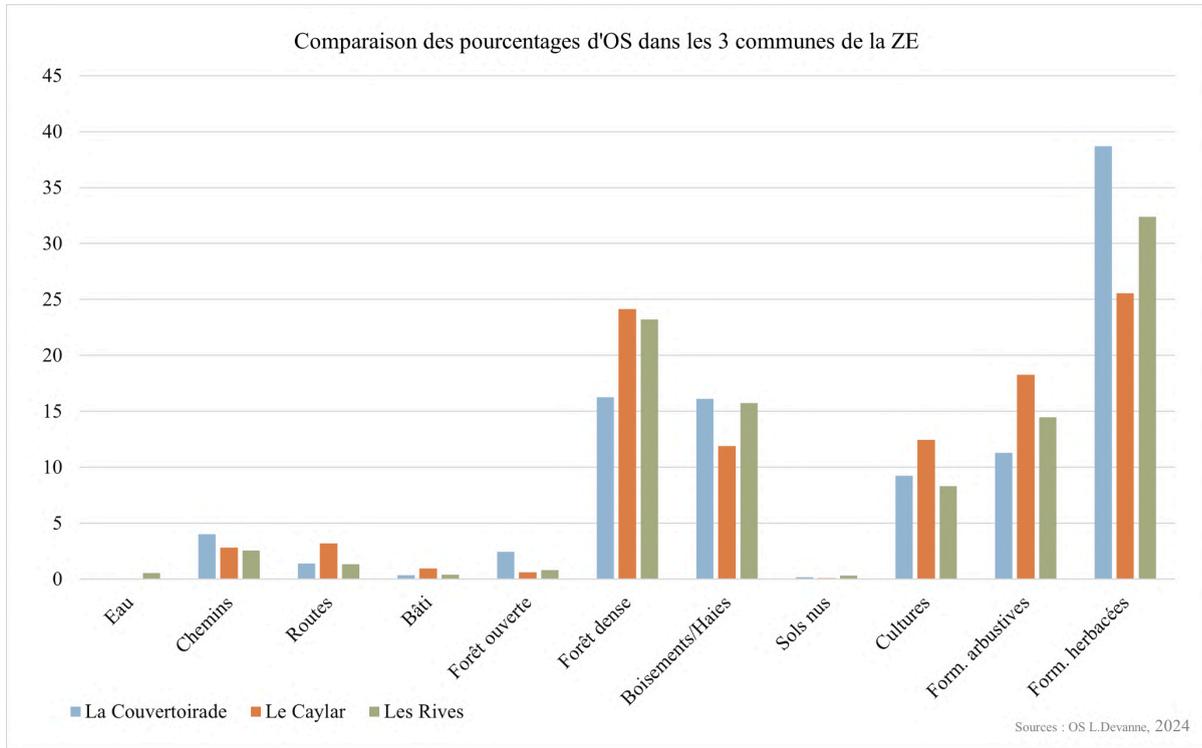
LC = Préoccupation mineure

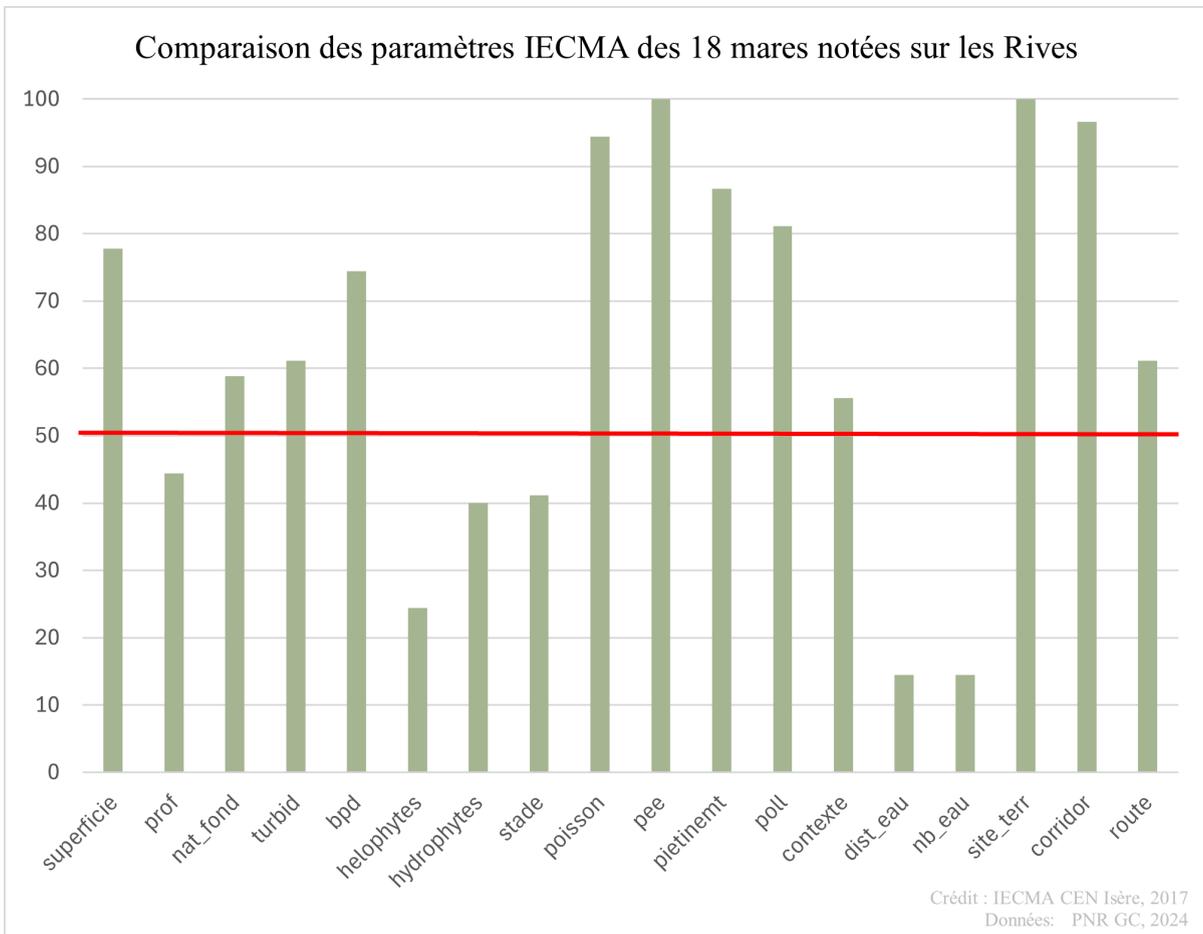
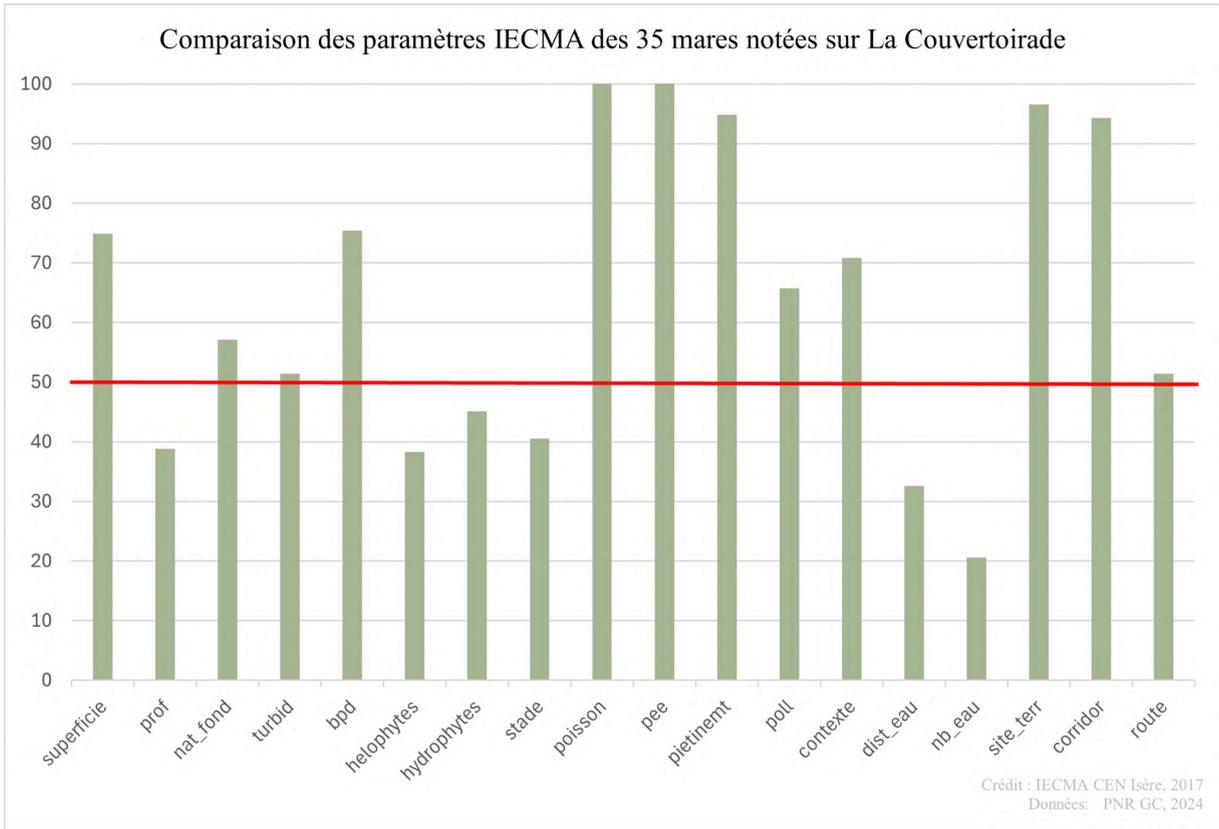
NA = Non applicable

Annexe 2 : Carte géologique simplifiée des formations géologiques sur le périmètre du Larzac étendu et positionnement des mares sur ce territoire.



Annexe 3 : Compléments d'analyses sur les occupations du sol et des notes IECMA





Annexe 4 : Tableau des coûts de déplacements du *Pelobates cultripes* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac.

<i>Pelobates cultripes</i>			
Distance dispersion max : 1 000 m / Coût de déplacement max : 200 pixels			
OS	Code ¹⁰	Déplacement max (m)	Coût d' <u>un pixel</u>
Milieux de vie : habitat aquatique (HA) et habitat terrestre (HT)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) dans la zone d'étude : La Couvertoirade, Les Rives et Le Caylar.	1	1000 (HA)	1
Formations arbustives buissonnantes dans un rayon de 250 m autour de la mare.	20	1000 (HT)	1
Végétation herbacée sur sols dolomitiques - de type prairies - dans un rayon de 250 m autour de la mare.	22	1000 (HT)	1
Sols nus dolomitiques dans un rayon de 250 m autour de la mare.	16	1000 (HT)	1
Gradient de favorabilité : du plus perméable (1 px) au moins perméable (200 px)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) hors zone d'étude : dans la zone tampon de 1,5 km autour.	2	1000	1
Formations arbustives buissonnantes au-delà de 250 m autour d'une mare.	21	1000	1
Végétation herbacée sur sols dolomitiques - de type prairies - au-delà de 250 m autour d'une mare.	23	1000	1
Sols nus dolomitiques au-delà de 250 m autour d'une mare.	17		1
Zone humide	3	1000	1
Chemins et sentiers	6	500	2
Linéaires de haies	11	500	2
Boisements < 5000m ²	12	500	2
Lisière de forêt	15	500	2
Sols nus non dolomitiques	18	500	2
Surfaces agricoles cultivées	19	500	2
Végétation herbacée sur sols calcaires - de type prairies.	24	500	2
Routes communales + buses sous A75	5	50	20
Forêt ouverte	13	50	20

¹⁰ Il s'agit de son classement lorsque l'on superpose l'ensemble des couches d'OS sur Qgis ou Graphab

Routes départementales	4	25	40
Zones matériaux minéraux	9	10	100
Zones non bâties	10	10	100
Forêts dense/fermée	14	10	100
A75	7	5	200
Zones bâties (centres urbains)	8	5	200

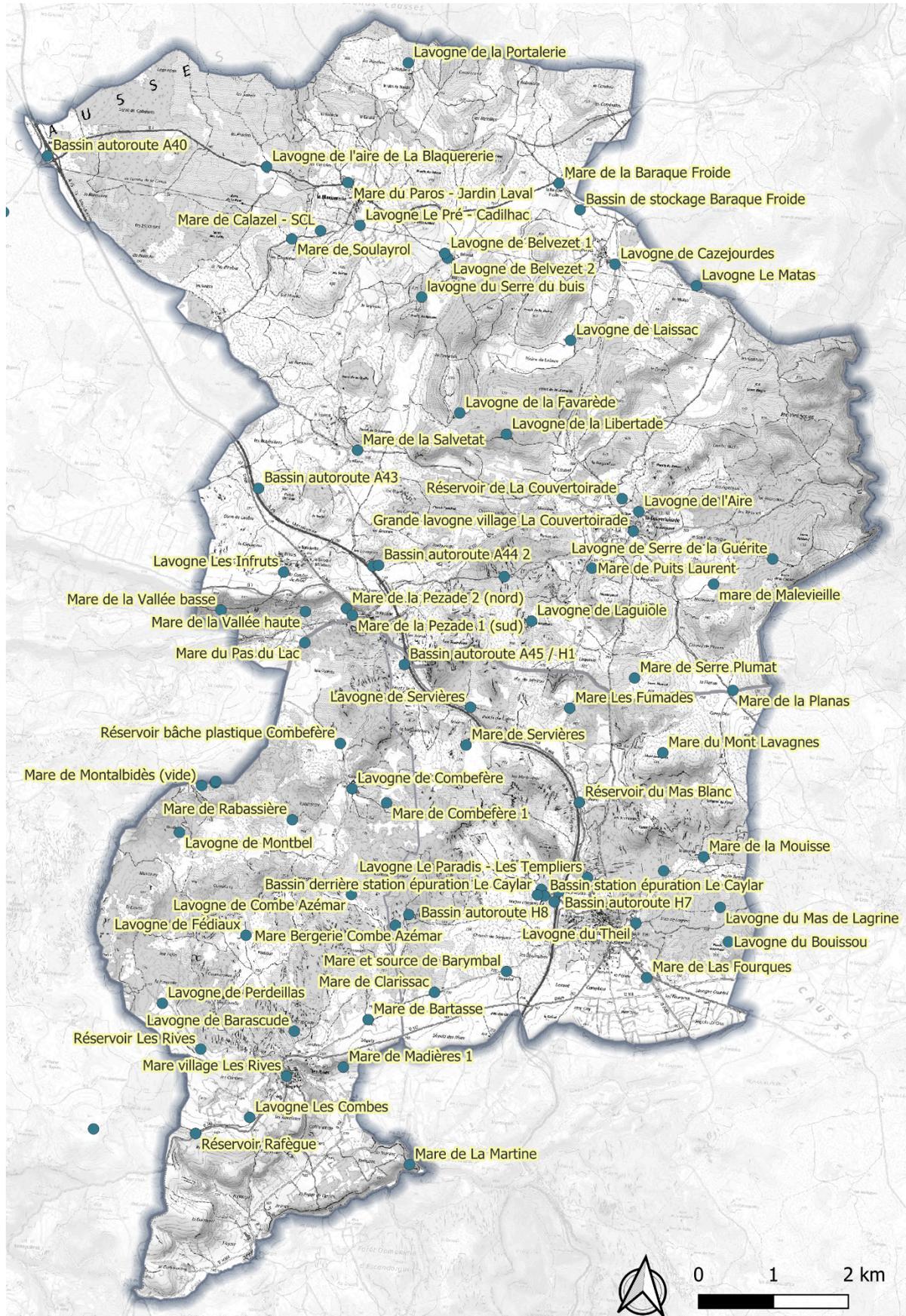
Annexe 5 : Tableau détaillé des coûts de déplacements du *Triturus marmoratus* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac.

<i>Triturus marmoratus</i>			
Distance dispersion max : 1 000 m / Coût de déplacement max : 200 pixels			
OS	Code ¹¹	Déplacement max (m)	Coût d'un pixel
Milieux de vie : habitat aquatique (HA) et habitat terrestre (HT)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) dans la zone d'étude : La Couvertorade, Les Rives et Le Caylar.	1	1000 (HA)	1
Lisières de forêts dans un rayon de 250 m autour de la mare.	17	1000 (HT)	1
Boisements < 5000m ² dans un rayon de 250 m autour de la mare.	13	1000 (HT)	1
Linéaire de haies dans un rayon de 250 m autour de la mare.	11	1000 (HT)	1
Formations arbustives buissonnantes dans un rayon de 250 m autour de la mare.	21	1000 (HT)	1
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) hors zone d'étude : dans la zone tampon de 1,5 km autour.	2	1000	1
Lisières de forêts au-delà de 250 m autour d'une mare.	18	1000	1
Boisements < 5000m ² au-delà de 250 m autour d'une mare.	14	1000	1
Linéaire de haies au-delà de 250 m autour d'une mare.	12	1000	1
Formations arbustives buissonnantes au-delà de 250 m autour d'une mare.	22	1000	1
Zone humide	3	1000	1

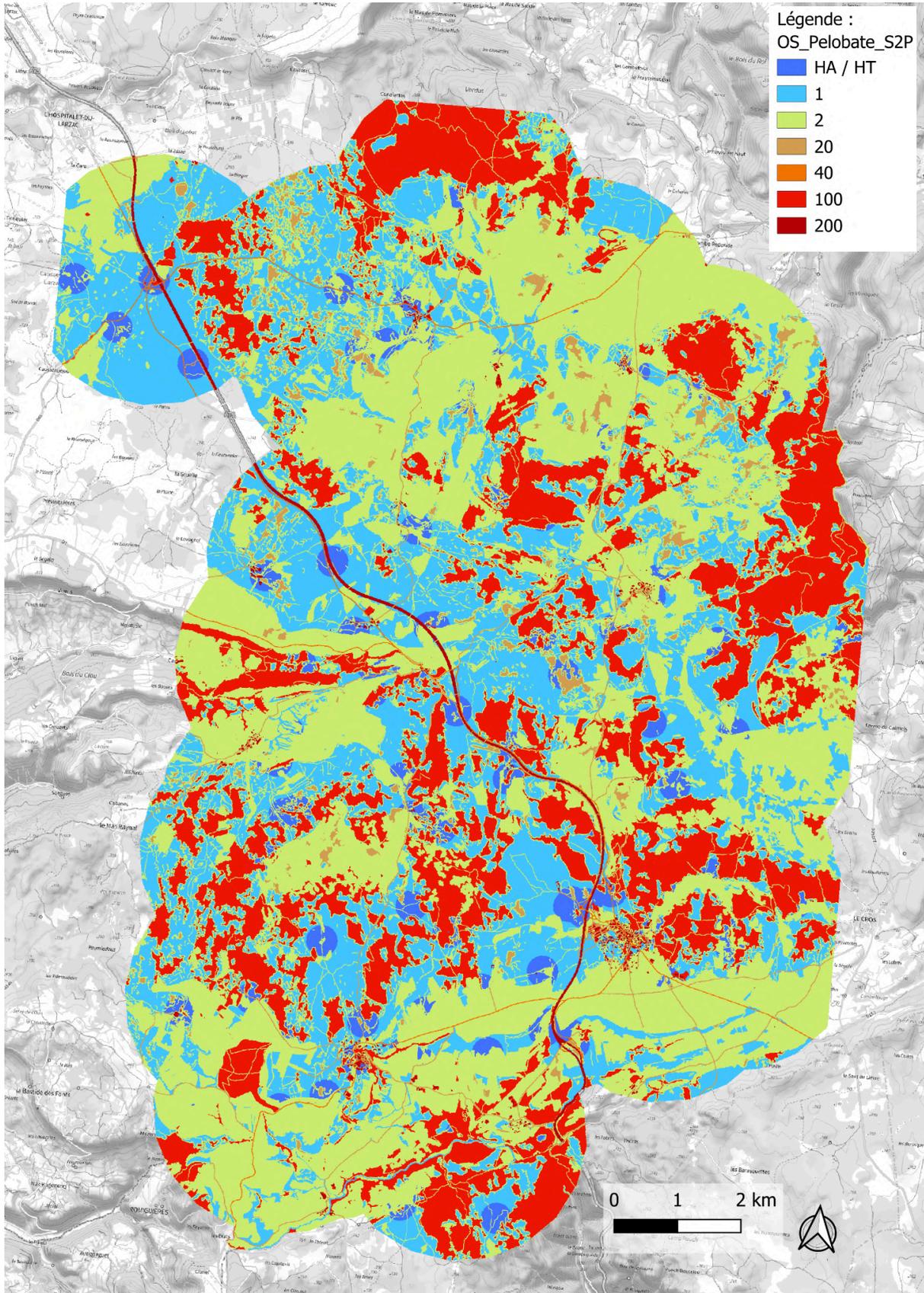
¹¹ Il s'agit de son classement lorsque l'on superpose l'ensemble des couches d'OS sur Qgis ou Graphab

Végétation herbacée - de type prairies.	23	500	2
Forêt ouverte.	15	500	2
Chemins et sentiers.	6	500	2
Forêts dense/fermée	16	50	20
Sols nus	19	50	20
Parcelles agricoles cultivées	20	50	20
Routes communales + buses sous A75	5	50	20
Routes départementales	4	25	40
Zones matériaux minéraux	9	10	100
Zones non bâties	10	10	100
A75	7	5	200
Zones bâties (centres urbains)	8	5	200

Annexe 6 : Localisation et nom des mares avec une notation IECMA dans les 3 communes de la zone d'étude.



Annexe 7 : Raster de la modélisation S2 pour le Pélobate cultripède utilisé dans Graphab.





Protocole et méthodologie pour la prospection de mares et amphibiens sur le Causse du Larzac et ses vallées

DIAGNOSTIC DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES - ANNEXE 8



Leïla DEVANNE | Juillet 2024

TABLE DES MATIÈRES

Introduction :	1
1 Contexte et description des protocoles	2
1.1 Le PRAM Occitanie.....	2
1.2 Le POPAmphibien “Communauté”	6
2 Attribuer une note de fonctionnalité aux mares de la zone d’études	9
2.1 Etat de l’art des indicateurs existants.....	9
2.2 L’indice IECMA : Indicateur de l’État de Conservation des Mares à Amphibiens (CEN Isère, 2017).....	11
3 Un IECMA adapté au territoire du Larzac	12
PARTIE I : Description des paramètres de l’état de conservation de la mare (ECM).....	12
PARTIE II : Description des paramètres du contexte local favorables pour la communauté d’amphibiens.....	19
Bibliographie	27

INTRODUCTION :

En Occitanie, il existe un Programme Régional d'Actions en faveur des Mares (PRAM) engagé en 2020 par l'Union Régionale des CPIE (Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement), associée au Conservatoire d'espaces naturels d'Occitanie (CEN Occitanie), à la Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie (FRC Occitanie), à Nature en Occitanie (NEO) et à la Ligue de Protection des Oiseaux – Délégation territoriale du Lot (LPO – Lot). La biodiversité des mares est considérée comme un outil pertinent pour le suivi et l'évaluation des actions de création ou de restauration menées, car elle permet de caractériser leur type, leur état écologique et leur fonctionnalité (Lumbreras et al., 2016; Pinto-Cruz et al., 2009). C'est pourquoi ce programme propose une stratégie commune d'évaluation d'enjeux du territoire, et pour l'appliquer, une description des enjeux et de leur traitement avec des fiches de prospection des mares servant de protocole standard en Occitanie. Nous allons donc nous inscrire dans la démarche du PRAM en utilisant le protocole " Mares " proposé pour notre zone d'étude.

En parallèle, un protocole de suivi des populations d'amphibien à l'échelle métropolitaine, le POP Amphibien, a été élaboré par la SHF (Société Herpétologique de France), les Réserves Naturelles de France (RNF), l'Office National des Forêt (ONF), l'Union Nationale des Centres Permanents d'Initiatives pour l'Environnement (UNCPIE), le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive de Montpellier (UMR CEFE) et le Centre d'Études Biologiques de Chizé (UMR CEBC). Il s'agit d'un document permettant de caractériser la dynamique temporelle des populations et des communautés d'amphibiens de France. Ce programme de surveillance des populations d'amphibiens est coordonné par la SHF et s'inscrit dans le cadre du [programme de surveillance de la biodiversité terrestre](#) porté par l'UMS PatriNat et l'OFB. Tout comme les fiches Mares du PRAM, ce protocole a pour objectif d'améliorer la connaissance biologique et de tester une série d'hypothèses pour expliquer les tendances observées, tout en facilitant la mise en place de suivis standardisés à l'échelle locale.

L'enjeu a donc été de trouver et adapter un outil existant pour caractériser la fonctionnalité des mares vis-à-vis des populations d'amphibien à l'aide de ces protocoles mis en oeuvre sur le territoire et répondant aux mêmes objectifs globaux que cette étude : améliorer la connaissance sur les mares et agir pour le maintien et le développement du réseau de mares. L'objectif de cette fiche est de retranscrire le cheminement méthodologique employé pour l'analyse de la fonctionnalité des mares pour les amphibiens sur le Causse du Larzac. Une deuxième partie concernant l'analyse de la connectivité à l'aide des outils Graphab et Qgis viendra compléter ce premier volet méthodologique afin de quantifier la fonctionnalité du réseau de mares.

1 CONTEXTE ET DESCRIPTION DES PROTOCOLES

1.1 Le PRAM Occitanie

Dans ce programme, 5 objectifs sont visés, que l'on retrouve dans les PRAM d'autres régions : (1) Promouvoir l'acquisition de connaissances sur les mares (via le recensement de ces milieux) et la vie qu'elles abritent (par des inventaires naturalistes), (2) Motiver et accompagner les actions de restauration et de gestion des réseaux de mares, (3) Créer une synergie entre les acteurs du territoire agissant en faveur des mares, (4) Accompagner les collectivités pour la prise en compte de ces milieux dans les documents d'urbanisme et accompagner les Services de l'Etat pour la mise en œuvre des politiques publiques (SRADDET, TVB...), (5) Informer et sensibiliser le grand public sur les enjeux liés aux mares.

La stratégie d'intervention du PRAM comprend surtout la coordination des différents acteurs et la cohérence des actions et des documents mis en place pour les mares. Elle s'appuie donc sur la mobilisation des compétences de structures locales, plus aptes à décliner les actions aux enjeux locaux très ciblés.

Dès l'introduction, le PRAM Occitanie nous donne la définition des mares, qui sera celle que l'on va mobiliser dans la suite de notre travail : " les mares sont définies comme des étendues d'eau permanentes ou temporaires, d'une surface maximale de 5000 m² et d'une profondeur maximale de 2 m, pouvant être d'origine anthropique ou naturelle (Sajaloli & Dutilleul, 2001). Les mares peuvent être isolées ou bien organisées en réseau si elles constituent une formation d'au moins cinq entités, distantes deux à deux de 500 m au maximum (Scher, 2010)". On retrouve également dans la suite document explicatif, un récapitulatif des enjeux concernant les mares, du patrimoine naturel à la fonctionnalité des écosystèmes. Ce document, à destination des professionnels de l'environnement, mobilise des termes et notions clés de l'écologie des mares afin de clarifier les connaissances communes nécessaires à son application : réservoirs de biodiversité, continuités écologiques, densité et connectivités des mares, régulation de la ressource en eau ou encore résilience des territoires.

Comme mentionné dans l'introduction, le PRAM met à disposition une fiche " Mare" permettant de recueillir les paramètres de connaissance, nécessaire à la compréhension du territoire et à la priorisation des actions sur les mares. Le tableau suivant récapitule les enjeux faisant l'objet d'une notation au sein de la stratégie PRAM Occitanie :

Enjeu	Sous-enjeu	Critère
Fonctionnalité des mares	Densité mares en réseau	Nombre de mares en réseau par maille
	Rétention d'eau	Pourcentage de recouvrement en sol karstique par maille
Climat et Ressource en eau	Déficit hydrique pluviométrique	SPI : indicateur de sécheresse météorologique
	Sècheresse agricole	SWI : indicateur sécheresse agricole (sècheresse des sols)
Biodiversité	Continuité écologique	Linéaire de cours d'eau par maille (trame bleue)
	Conservation de la biodiversité	Présence d'espèces (faune ou flore) vulnérables et/ou menacées selon leur statut liste rouge, ou à dire d'experts

Figure 1 : Tableau des enjeux retenus pour la caractérisation des territoires pour la stratégie territorialisée du PRAM Occitanie faisant l'objet d'une notation. (Lang et al., 2022)

C'est cette fiche "Mare" standard qui nous intéresse pour la prospection des mares sur notre territoire d'étude. En effet, les données seront uniformes et pourront être transmises au responsable régional, mais cette fiche permet surtout d'avoir un protocole identique à appliquer sur le long terme pour étudier les mares et pouvant être appliqué par le grand public - accompagné par un professionnel de l'environnement ou d'un animateur PRAM territorial. Le tableau qui suit décrit le contenu de la fiche PRAM qui est disponible en annexe 1.

Nom de la partie	Donnée demandée	Description et choix disponibles
A) Données utilisateur	Nom observateur	identification de l'observateur, suivi des données
	Mail observateur	
	Date et heure	xx/xx/xxxx - 00h00
	Localisation	coordonnée, commune, lieu-dit de la mare
B) Étude et protocole concerné(e)	Choix du protocole ou étude	RhoMéo, MEO, STELI, POPAmphibien, CIMaE, ICOCAM
C) Structure de l'observateur	Nom de la structure de l'observateur	identification et suivi des données
D) Caractérisation de la mare	Foncier	Public, Privé, Mixte, Inconnu
	Nature du fond de la mare	Béton, Bâche, Dalle, Autre matériau naturel, Indéterminé, Autre à préciser
	Pourcentage de la berge en pentes douces (< 30%)	0 %, 1 à 25%, 26 à 50%, 51 à 75%, 76 à 100%
	Typologie	Mare de : prairie, culture, friche, forêt, marais, carrière, village-parc-jardin-ferme, temporaire méditerranéenne, bassin routier ou décantation, lavogne, pesquier

	Contexte général	Forestier, agricole, littoral, urbain, infrastructure de transport, autre à préciser
	Contexte précis	Tourbière acide, marais, bas marais alcalin, marais continental ou saumâtre, pelouse sèche, prairie mésophile prairie humide, fourrés bosquet, lande humide, lagune littorale, lande sèche, bois de feuillus, bois de résineux, culture, zone urbanisée, infrastructure de transport, indéterminé, autre à préciser
	Usages	abreuvoir aménagé, abreuvoir non aménagé, collecte de ruissellement, pêche, chasse, réserve incendie, ornemental, patrimoine culturel/paysager, pédagogique, abandonné, lagunage, indéterminé, protection de la biodiversité, autre à préciser
	Si parmi usages il y a " protection de la biodiversité"	Mare compensatoire, IAE
	Périodicité	Permanente, temporaire, indéterminé
	Stade d'évolution de la mare	Stade 1, 2, 3 ou 4 (cf. figure 2)
	Type(s) de liaison hydrologique	Fossé, drainage/pompage, cours d'eau, axe de ruissellement, aucune, indéterminée, autre à préciser
	Type(s) d'alimentation en eau	Précipitations, ruissellement, source, nappe, pluvial bâti, indéterminé, autre à préciser
	Superficie en m2	0-10, 10-50, 50-100, 100-500, 500-1000, 1000-2500, 2500-5000m2
	Profondeur en m	mesure
	Hauteur d'eau en m	mesure
	Transparence de l'eau	je vois le fond, je vois mal le fond, je ne vois pas le fond
	Couleur de l'eau	Eau brune, verte, blanche, rouge, noire, jaune, huileuse, indéterminée, autre à préciser
	Turbidité de l'eau	Limpide, trouble
	Mesures diverses	Turbidité pH de l'eau T°C de l'eau Oxygène dissous en % Oxygène dissous en mg/L Conductivité de l'eau Productivité de l'eau
	Pressions et menaces (1 - poissons) (1 - déchets) (1 - pollution chimique ou organique visible)	Erosion, déficit hydrique, piétinement faune sauvage, piétinement bétail comblement, perturbation hydrologique, ouvrage hydro à

		proximité, source de pollution à proximité, présence déchets, présence poissons, pollution chimique ou organique visible, aucune, autre à préciser
	Intensité moyenne des pressions et menaces	Très faible, faible, moyenne, forte, très forte
	Fermeture de la mare (embroussaillage/boisements)	0%, 1 à 25%, 26 à 50%, 51 à 75%, 76 à 100%
	Végétation aquatique (types et % de recouvrement)	Recouvrement héliophytes, hydrophytes enracinés, hydrophytes non enracinés, algues filamenteuses, eau libre sans végétation aquatique, fond exondé non végétalisé
	Préconisation(s) et Gestion	restaurer/réhabiliter, libre évolution, mise en défens, suivre l'évolution, mettre en place un système d'abreuvement, lutte contre EEE, indéterminé, autre à préciser
	Si "Restaurer/réhabiliter" plusieurs choix proposés	mise en place d'ouvrage, réouverture milieu, réouverture berges, aucune
	Types d'accessibilité à la mare	Non accessible, accès piéton uniquement, utilitaire, SUV, Quad, engin de travaux
	Observations générales / commentaires supplémentaires	texte libre

Tableau 1 : Description des paramètres à renseigner dans la fiche "Mare" standard du PRAM Occitanie (source)

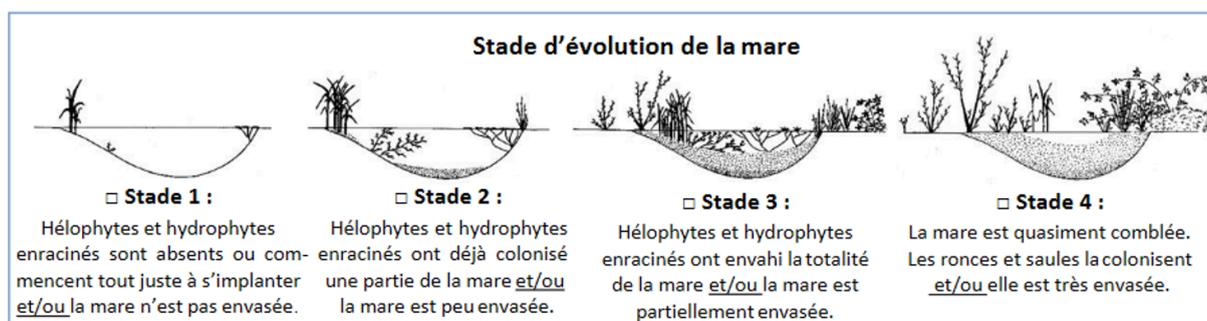


Figure 2 : Stades d'évolution de la mare à caractériser dans la partie D de la fiche "Mare" du PRAM Occitanie (C. Mousquet, SD)

Les données en **rouge** sont des champs à remplir obligatoirement, même en cas de caractérisation simplifiée de la mare.

Nous allons voir par la suite comment cette fiche est amenée à évoluer, à être adaptée pour notre étude qui comprend une double caractérisation de la fonctionnalité des mares et du réseau, de l'écologie à la connectivité.

1.2 Le POPAmphibien “Communauté”

La mise en œuvre de ce protocole de type “inventaire naturaliste” permet de connaître l'évolution des populations d'amphibiens (accroissement, diminution, stabilité) à l'échelle nationale, à partir de l'estimation de l'occurrence des communautés d'amphibiens dans les sites aquatiques sélectionnés. Et, d'utiliser ces données comme des indicateurs pour évaluer l'état d'espèces cibles (telles que le pélobate cultripède) ou bien du milieu (suite à une restauration par exemple). Il s'agit d'un protocole peu chronophage, non intrusif et permettant un suivi régulier pour alimenter les actions locales et les résultats régionaux et nationaux. La fréquence de prospection proposée est de tous les 2 ans, ce qui suffit à repérer les changements dans les populations.

Le protocole de suivi, divisé en 2 étapes, est le suivant :

1°) La préparation : choix de l'aire, repérages par photo interprétation ou terrain, estimation des temps de sortie (en fonction de la distance entre les sites) et du calendrier de suivi (3 passages entre février et juin sur chacun des sites, minimum 3 sites) et/ou adaptation d'un suivi POP d'une année précédente...

2°) Les prospections terrain : 3 passages (min. un de jour et un de nuit), repérage visuel et auditif, effort de prospection identique entre les sites...

3°) La saisie et transmission des données : les données récoltées sur le terrain sont à saisir dans le tableau Excel standardisé joint au dossier explicatif, différentes fiches de saisie de données existent en fonction du protocole appliqué. Les données sont à saisir sur GeoNature ou à envoyer à la SHF par mail (popamphibien@lashf.org ou au coordinateur régional).

Le tableau suivant regroupe les différents paramètres à saisir dans la grille excel :

Nom de la partie	Paramètre à saisir	Choix dans la grille Excel
Données utilisateur et identification	Observateur	
	Date	jj/mm/aaaa
Données de cadrage / localisation	Numéro ou nom de l'aire	
	Numéro ou nom du site	
	Numéro de passage	
	Période de passage	Matinée, après-midi, soirée, nuit
	Département	
	Commune	
	Coordonnées X	A renseigner en Lambert 93
	Coordonnées Y	

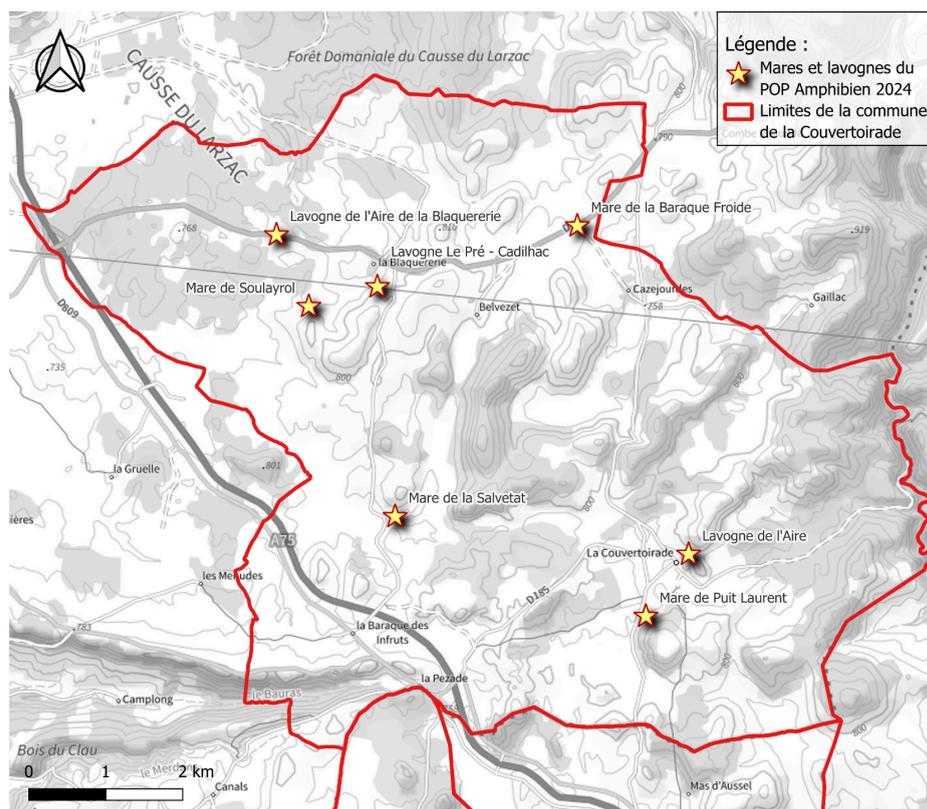
	T°C de l'air	
	T°C de l'eau	Mesure par sonde
	Pourcentage de recouvrement nuageux (ensoleillement)	0-25%, 25-50%, 50-75% ou 75-100%
	Vent	Échelle de Beaufort de 0 à 10.
	Méthode de prospection	A vue, à l'écoute, capture à l'épuisette ou à la nasse, identification à la vue + capture à l'épuisette/nasse, identification à la vue + écoute, identification à l'écoute + capture épuisette/nasse.
Données amphibiens	Présence d'amphibiens	oui, non
	Espèce	toutes les espèces du territoire métropolitain
	Stade	oeuf, larve, juvénile, subadulte, adulte, indéterminé
	Sexe	mâle, femelle, indéterminé
	Nombre	en nb si moins de 10 individus ou en classe d'abondance si plus.
	Remarque	

Tableau 2 : Paramètres du POP Amphibien à saisir dans la grille excel standard mise à disposition par la SHF (SHF, 2024).

L'utilisation de ce protocole POPAmphibien est né suite à une discussion entre les acteurs du territoire lors d'une réunion (5 mars 2024) mentionnant la nécessité d'homogénéiser la saisie des données, par l'utilisation d'un protocole et d'une grille de saisie commune et validée. Les principales inquiétudes et reproches émis sont : l'absence de notation lorsqu'une absence d'amphibien est constatée, l'absence d'indication sur le stade de développement de l'amphibien ou le sexe, ainsi que le nombre approximatif d'individus ou les classes d'abondances pour les pontes/têtards. En utilisant cette grille, la totalité de ces informations sont renseignées, d'ailleurs, le fichier contient une feuille descriptive des options à renseigner qui se présentent sous la forme de liste déroulante dans la grille de saisie. En complément, une troisième feuille dans le fichier permet la saisie d'information sur le contexte de la mare dans le cas où ces informations ne seraient pas renseignées dans une fiche "mare" PRAM par exemple. Parmi les POPAmphibien existant, c'est le POP Amphibien "Communauté" 2022 qui a été sélectionné pour les mares de la zone d'étude car il permet de suivre l'ensemble des espèces simultanément. Utiliser ce protocole POP dans le cadre de mon stage pourrait donc permettre de le démocratiser et d'encourager la saisie de données de manière guidée et complète.

Mes passages sur le terrain ont été réalisés aux côtés de l'OFB (Office Français de la Biodiversité) de l'Aveyron uniquement sur la commune de La Couvertoirade. Le protocole POP a été adapté aux conditions des agents de l'OFB qui prônent un suivi non intrusif avec le moins d'interaction possible dans le milieu. Nous n'avons donc fait aucun échantillonnage à l'épuisette ou de capture par nasse pour les tritons. En dehors de la démarche administrative de dérogation pour autoriser les captures, la donnée précise sur la taille des populations d'amphibiens présentes ne sont pas nécessaires dans le cadre de cette étude, toute perturbation injustifiée du milieu a donc été évitée. En revanche, la température de l'eau a été relevée sur chacune des mares, dans la mesure où son accessibilité permettait la mesure en toute sécurité, à l'aide d'une sonde. Un protocole de nettoyage au Virkon™, un virucide et bactéricide en plaquettes mélangé à un volume d'eau indiqué, a été adopté suite à chacune des mesures dans un point d'eau pour éviter toute contamination entre eux. Dans le cadre de ce protocole POP, 7 mares de la Couvertoirade ont été prospectées : Lavogne de l'Aire de la Blaquererie, Lavogne Le Pré, Mare de Soulayrol, Mare de la Baraque Froide, Lavogne de l'Aire, Mare de Puit Laurent et Mare de la Salvetat (cf. [Figure 3](#)). La prospection de ces mares respecte toutes les conditions du protocole POP, avec notamment 2 passages de nuit et 1 passage de jour. Quelques autres mares ont été prospectées, que ce soit lors des passages nocturnes ou diurnes de visites de mares, cependant, ils ne rentrent pas dans les conditions du POP Amphibiens. Néanmoins les données ont été saisies dans une grille POP afin d'uniformiser et faciliter la récolte, le traitement et la transmission des données en Occitanie. La compilation des informations des mares du POP Amphibiens et des autres va par la suite permettre d'alimenter le tableau d'attribution d'une note de fonctionnalité à chacune des mares explorées de la zone d'étude (cf. tableau 3).

Figure 3 : Mares et lavognes du POP Amphibiens sur la commune de la Couvertoirade réalisés entre mars et juin 2024 par l'OFB 12 et le PNR GC. *Source : Devanne - 2024*



2 ATTRIBUER UNE NOTE DE FONCTIONNALITÉ AUX MARES DE LA ZONE D'ÉTUDES

Afin de quantifier la fonctionnalité des mares étudiées et de les hiérarchiser et classer en fonction des mesures de gestion à apporter, nous avons comme contrainte d'utiliser les protocoles de prospection mares et amphibiens appliqués à l'échelle régionale par l'ensemble des acteurs. Nous avons donc cherché au sein de la bibliographie des formes de quantification de la connectivité à l'aide des indicateurs récoltés avec ces deux protocoles (cf. [tableau 1](#) et [tableau 2](#)).

Les contraintes pour le protocole à mettre en place sont les suivantes :

- Il doit être accessible à des personnes non spécialistes de la faune et flore aquatique et/ou ces personnes doivent pouvoir se former rapidement pour évaluer les paramètres étudiés.
- Le protocole doit être rapide et requiert peu de matériel. Au sein du Parc des Grands Causses, nous ne disposons que de sondes pour certains paramètres hydrologiques et 5 mois pour le déployer.
- L'objectif est qu'il soit reproductible sur le long terme - de par son accessibilité au plus grand nombre et ses faibles contraintes dans son déploiement - afin de compiler ces suivis et adapter la gestion des mares au mieux sur le territoire.

2.1 Etat de l'art des indicateurs existants

L'évaluation de la fonctionnalité d'une mare nécessite une pluralité d'indicateurs complémentaires, au sein de la mare, mais également dans le contexte alentour. En particulier lorsque l'on souhaite évaluer le potentiel d'accueil d'une mare pour les amphibiens dont le cycle de vie mobilise tant les milieux de vie aquatiques que les milieux terrestres tout au long des saisons. Ainsi quelques recherches ont été menées sur les indicateurs existants pour évaluer l'état écologique des mares, certaines ayant été utilisées récemment par les acteurs du territoire sur la région Occitanie. Les paragraphes qui suivent décrivent quelques-unes de ces méthodologies, les points d'intérêts qui ont été retenus et leurs limites dans le cadre de cette étude.

Au sein même du PRAM, Programme d'Action pour les Mares en Occitanie, une méthodologie d'analyse et priorisation a été développée à l'échelle territoriale. Les 3 enjeux retenus et leurs 6 critères d'évaluation sont compilés dans la [figure 1](#) : ce sont les indicateurs. Chaque indicateur est calculé par maille 10x10km, ce qui à l'échelle de l'étude, n'est pas assez fin. L'utilisation de la méthodologie n'est donc pas applicable à notre étude, les paramètres climatiques calculés dans une maille plus fine ne sont pas adaptés à une échelle locale, voire très locale. Cependant, les

résultats calculés les années précédentes permettent de contextualiser dans une maille de 10x10km notre zone d'étude et ses enjeux.

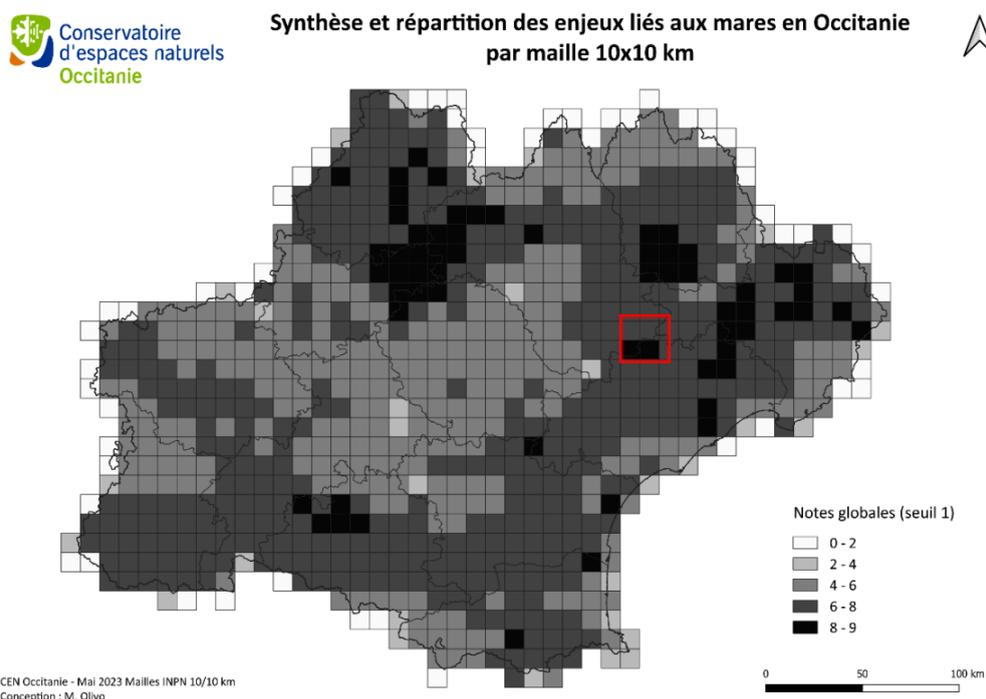


Figure 4 : Synthèse et répartition des enjeux liées aux mares en Occitanie par maille de 10km x 10km (CEN Occitanie, 2023).

Notre zone d'étude, sur la [figure 4](#) ci-dessus, se situe sur des mailles aux notes globales comprises entre 6 et 9 ce qui implique des enjeux multiples et forts. Pour le volet Biodiversité « Conserver la biodiversité », nous pouvons souligner l'usage d'une notation différenciée pour chaque espèce d'amphibien d'Occitanie, attribuée en fonction du statut de protection de l'espèce. Cette notation s'étend de 0 à 4 et le pélobate cultripède est la seule espèce à enjeu majeur, notée donc à 4 points. Cette même forme de notation sera employée dans la méthodologie de notre étude (cf. [Paramètre 19, Partie 2 du IECMA](#)).

Il existe une autre forme de caractérisation de l'état écologique des zones humides (ZH), il s'agit des indicateurs et des protocoles RhoMéo, disponibles dans la boîte à outil (BAO) de suivi de zones humides (Porteret et *al.*, 2014) sur le bassin Rhône Méditerranée. Il s'agit de 13 indicateurs multivariés pour évaluer les fonctions des milieux humides adaptés à la région. Dans la BAO, chaque indicateur fait l'objet de 3 fiches décrivant : choix des indicateurs (bibliographie), protocole pour évaluer cet indicateur, analyse et interprétation (calcul de la valeur et interprétation des résultats vis-à-vis de la ZH). Ces indicateurs ne sont pas accessibles au grand public, ils nécessitent un expertise dans le domaine environnemental pour leur application, notamment pour les protocoles de suivi d'espèces animales et végétales, connaissances hydrologiques, etc. Ce protocole est chronophage et coûteux à mettre en place dans son

entièreté, mais l'utilisation d'un ou deux paramètres a été utilisée pour évaluer la fonctionnalité de la mare post-restauration par le CEN Occitanie avec les paramètres d'intégrité du peuplement d'odonates et d'amphibiens. Toutefois, son usage pour l'évaluation de l'état des mares pour les amphibiens de cette étude n'est pas envisageable pour cause de moyens et de compétences. Par ailleurs, la liste d'espèces se limite au bassin méditerranéen et la mise à jour de cette liste nécessite l'intervention et la validation des données par un réseau de naturalistes à échelle régionale ce qui dépasserait les délais pour l'étude.

Une troisième méthodologie a été envisagée afin d'évaluer la fonctionnalité d'une mare : il s'agit de l'indice IBEM - l'indice de biodiversité des étangs et des mares (Oertli et *al.*, 2008). Cet indice permet l'évaluation biologique à travers le calcul de l'IBEM obtenu à partir d'un échantillonnage standardisé de la végétation aquatique, des gastéropodes aquatiques, des coléoptères aquatiques, des odonates adultes et des amphibiens. Cette évaluation découlant d'une méthodologie de la DCE 2000 (Directive Cadre Européenne sur l'eau) doit être faite par des professionnels de l'environnement car elle mobilise des connaissances naturalistes. Bien que très intéressante par son calcul multicritères et sa rigueur d'application, elle se concentre uniquement sur le point d'eau évalué et ne permet pas de caractériser l'environnement alentour, ce qui disqualifie pour l'étude présente. Cependant elle a permis de consolider les connaissances et protocoles pour les sorties amphibiens.

2.2 L'indice IECMA : Indicateur de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens (CEN Isère, 2017).

C'est donc l'indice IECMA - Indicateur de l'État de Conservation des Mares à Amphibiens - qui a été retenu. Créé par Grégory Maillet, testé et mis en œuvre par Ninon Kassemian en 2015, discuté en 2016 avec Lucile Beguin puis modifié et validé en 2016 par Tristan Le Cabec et déployé, revalidé en 2017 par Charline Bonnet-Rageade, il a pour principal objectif d'évaluer la capacité d'une pièce d'eau à accueillir les amphibiens. Initialement il a été prévu pour suivre en particulier le Triton crêté et le Triton ponctué visé par l'étude sur la tourbière du Grand Lemps pour laquelle cet indice a été créé. Constitué à l'origine de 20 paramètres favorisant la présence d'amphibiens (herbiers aquatiques, grand réseau de mares) ou limitant leur accueil (présence de poissons ou d'une route à proximité), il permet ainsi d'évaluer le potentiel de la mare vis-à-vis des amphibiens. Les paramètres retenus ont été testés (Le Cabec, 2016) et une notation a été attribuée à chaque paramètre — 5 points, 2 points ou 0 point en fonction de son caractère favorable pour la mare — afin d'aboutir à une notation sur 100 avec le cumul des paramètres correspondant à l'indice IECMA.

Ce protocole a été adapté au contexte des mares du Causse du Larzac. Il s'inspire en partie du remaniement réalisé dans le contexte d'une étude pour la conservation du Pélobate cultripède dans le bassin versant du Calavon (Vaucluse). Cette étude s'est déroulée entre 2019 et 2021 et

avait pour objectif d'établir une stratégie de préservation et de restauration des mares tout en améliorant leur connectivité.

Pour cette étude, l'IECMA proposé garde 19 des paramètres sur 5 ou 10 points afin d'obtenir une notation sur 100, adapté à la compréhension du public. Les 20 paramètres sont compilés dans les fiches mares PRAM (en **bleu** dans la première colonne du [tableau 3](#)), les données des grilles POP Amphibien (en **vert**) ou encore via une cartographie des mares sur Qgis (en **jaune**). La complémentarité des approches naturalistes et cartographiques permet de hiérarchiser les mares pour : (1) classer leur favorabilité vis-à-vis des amphibiens et en particulier du pélobate cultripède ; (2) intégrer ce critère de fonctionnalité local à l'analyse à l'échelle du réseau de mares ; (3) identifier les actions de gestion à mettre en place et prioriser leur réalisation ; (4) améliorer la connaissance sur les mares du Larzac.

3 UN IECMA ADAPTÉ AU TERRITOIRE DU LARZAC

Les amphibiens sont un groupe taxonomique ayant la particularité d'avoir un cycle de vie biphasique, terrestre et aquatique. C'est pourquoi l'indicateur IECMA prend en compte des paramètres concernant l'état écologique de la mare mais également les facteurs paysagers dans un contexte proche à la mare (jusqu'à 500 m autour). Certains paramètres ont été adaptés au contexte du Causse du Larzac. C'est le cas notamment de la nature du fond, en effet les lavognes étudiées sont constituées de dalles de pierre ou de béton, historiquement, elles pouvaient être également directement creusées dans la roche. Un critère de piétinement a été ajouté au vu du contexte agropastoral de la région. Et, la notation a été ajustée aux traits de vie du Pélobate cultripède, qui est l'espèce patrimoniale protégée que l'on vise principalement par la restauration des mares et lavognes.

L'ensemble des paramètres sont compilés dans le tableau 3, récapitulant chaque notation pour obtenir la note finale sur 100.

PARTIE I : Description des paramètres de l'état de conservation de la mare (ECM).

Ces paramètres permettent de déterminer le bon état écologique de la mare, lieu de reproduction, de ponte (sauf alytes obstetricans) et de développement larvaire des espèces d'amphibiens sur le Causse du Larzac. L'ECM permet de noter le degré d'intérêt de ce point d'eau pour les communautés d'amphibiens présentes ou bien d'évaluer le potentiel d'accueil de la mare afin d'ajuster au mieux les mesures de gestion.

(1) Superficie (en m²)

La superficie est un paramètre qui corrélé à la capacité d'accueil de la mare en nombre d'individus, pour la faune comme pour la flore. Une superficie seuil de 50m² est proposée dans

les indices IECMA du CEN Isère et de l'étude sur le pélobate dans le Calavon (Renet et al, 2023) car elle correspond à la superficie minimale pour laquelle l'abondance de tritons est maximale (Joly et al., 2001). Par ailleurs, aucun autre papier scientifique ne donne la superficie maximisant l'abondance du Pélobate cultripède. La superficie peut être calculée via un logiciel SIG ou bien estimée sur le terrain.

Ainsi, si la superficie est supérieure à 50m², elle est très favorable (5 pts), si la superficie se situe entre 10 et 50 m² elle sera favorable (2 pts) et si elle est inférieure à 10 m² elle sera considérée comme défavorable (0 pts).

(2) Profondeur (en m)

Lors des relevés sur le terrain, la profondeur relevée correspond à la hauteur d'eau maximale supposée. Il ne s'agit pas d'une mesure précise mais de classes de profondeur afin d'estimer la viabilité et les potentialités d'accueil d'espèces aquatiques dans la mare au cours des fluctuations de l'année. Une mare plus profonde sera susceptible de résister plus longtemps à la sécheresse. En revanche, en absence d'assecs elle sera plus sujette à l'empoisonnement (Renet et al, 2023) et bien moins oxygénée en profondeur. Une mare moins profonde sera plus sensible aux assecs précoce mais déclenche la reproduction des amphibiens par l'augmentation de la température de l'eau au printemps (Renet et al, 2023 ; Duguet et al, 2003). Cependant, elle expose les pontes et larves d'anoures à un risque thermique important (gel et autre stress thermique) lié à la faible profondeur qui ne suffit pas à faire de la mare un tampon thermique (Bovo et al., 2018).

Lors de la construction de mares, les profondeurs conseillées dans les documents de création des mares sont comprises entre 0,8 et 2 m (PNR Grands Causses, 2013; PNR Lorraine, 2022 ; ARB Nouvelle-Aquitaine, 2023; PRAM Occitanie, 2024; ANA CEN Ariège, 2024).

Il y a 4 classes de profondeurs, de la plus optimale à la moins optimale : une mare entre 1 et 2 m sera très favorable (5 pts), une mare entre 0,5 et 1m ou bien supérieur à 2m sera favorable (2 pts) et une mare dont la profondeur est inférieure à 0,5 m sera défavorable pour la pérennité des amphibiens (0 pts).

(3) Nature du fond

Un fond de mare naturel favorise l'ancrage des végétaux qui serviront à la reproduction des amphibiens contrairement à un fond en béton ou en bâche en plastique (Maillet et al, 2017). En plus d'une dégradation plus rapide, avec risque de pollution aux particules plastiques, le risque de perte d'étanchéité est important pour cette dernière. C'est le cas également des fonds de mare en béton qui finissent par se fracturer dans le temps par les cycles de gel/dégel entraînant inévitablement une perte d'étanchéité. Les bâches plastiques présentent également un risque de mortalité pour la faune habitant la mare et ses alentours. En effet, les espèces peuvent se retrouver coincées, desséchées et/ou piétinées sous une bâche remise à l'affleurement dans le

temps ou bien noyées dans la mare si aucune échappatoire n'est prévue sur les parois plastiques glissantes.



Figure 5 : Exemple de mares aux parois plastiques glissantes, aux effets néfastes multiples : piège, dessèchement, piétinement sous la bâche. *Photo : Devanne, 2024.*

Il y a donc 3 catégories de fond : les fonds naturels très favorables pour la végétation et les amphibiens (5 pts), les fonds rocheux ou bétonnés - tels que ceux des lavognes - sont favorables (2 pts) et les fonds en plastiques qui sont défavorables, sur le court comme sur le long terme (0 pts).

(4) Turbidité

La turbidité est le degré d'opacité d'un liquide par la présence de particules visible en suspension dans l'eau de la mare, causant la diminution de la diffusion de la lumière dans l'eau. Ce frein à la lumière sera particulièrement néfaste pour le développement de la végétation - provoquant un manque d'oxygène dans la mare voire une situation d'anoxie - mais également pour la faune. La turbidité déforme la perception des couleurs dans l'eau par exemple, ce qui peut être néfaste pour les espèces dont le camouflage est une défense contre la prédation, c'est le cas chez certaines larves d'amphibiens (Fouilloux, 2021). La diversité des espèces d'amphibiens présents dans une mare se voit impactée négativement par une mauvaise qualité de l'eau, la turbidité étant l'un des paramètres défavorables (Calderon et al, 2019). Les causes de cette turbidité sont diverses pour les mares de notre zone d'étude : l'érosion ou l'apport de sédiments, le ruissellement urbain, le rejet d'eaux usées, un piétinement important, la présence de poissons ou encore une perturbation par les algues provoquant un déséquilibre biologique ou une suspension de particules en continu.

Ainsi, des eaux limpides sont synonyme de bon état de conservation de la mare et très favorables aux amphibiens (5 pts), des eaux plus troubles (en cours d'eutrophisation par exemple) seront moins favorables (2 pts) et une mare complètement opaque (pouvant relever d'une pollution conduisant à une eutrophisation) est complètement défavorable pour son écosystème et donc pour les amphibiens (0 pts).

(5) Berges en pentes douce (<30%)

La présence de berges en pentes douces favorise l'ancrage d'une végétation aquatique (hélrophytes et herbiers aquatiques) qui peuvent ensuite être utilisée comme support de ponte ou comme zone refuge et d'alimentation pour les têtards et les tritons (CEN Isère, 2017; Knutson et al., 2004; Porej et al., 2005). Elles permettent de diminuer le risque de noyade chez les juvéniles lors de leur sortie de l'eau par exemple. Une mare constituée uniquement de pentes abruptes pourrait se transformer en piège pour la faune. La pente sera considérée comme douce si elle est inférieure à 30 % (PNR Lorraine, 2022 ; PRAM Occitanie, 2024).

Ainsi, si plus de la moitié des berges sont en pente douce, ces berges sont très favorables, si moins de la moitié des berges sont en pentes douces (souvent un mixe de doux et abrupte) elles seront moins favorables (2 pts) et si les pentes sont abruptes/verticales elles seront défavorables à l'installation d'amphibiens dans la mare (0 pts).

(6) Recouvrement en hélrophytes

Les hélrophytes sont des plantes de zones humides, enracinées dans la vase au fond de l'eau mais dont le sommet émerge à l'air libre (Larousse, 2024) tels que les typhas, les phragmites, les joncs, etc. La partie immergée sert de zone refuge, de zone d'alimentation ou encore de support de ponte pour un grand nombre d'amphibiens (Grillas et al., 2004). Cette végétation contribue à l'oxygénation de la mare. Cependant, s'ils sont présents en grandes quantités ou colonisent rapidement la mare, ils sont susceptibles de provoquer un comblement prématuré.

Pour cette étude, les catégories sont : un recouvrement moyen (25 à 50%) sera idéal pour la mare et ses habitants (5 pts), un recouvrement abondant (50 à 75%) ou peu abondant (<25%) sera considéré comme favorable (2 pts) et un recouvrement très abondant (>75%) sera considéré comme défavorable pour les risques d'eutrophisation qu'il engendre (0 pts).

Figure 6 : Photographie de la mare des Fumades dont le recouvrement en hélrophytes est moyen (5 pts) et celui en hélrophytes est plutôt abondant (5 pts) - Photo : Devanne, 2024.



(7) Recouvrement en hydrophytes

Les hydrophytes sont des plantes aquatiques, elles sont immergées ou affleurent à la surface de l'eau : leurs racines sont fixées dans la vase sur le fond ou bien elles flottent librement (Chauvin, 2022). Ce sont par exemple les characées, renoncules, potamots ou bien myriophylle indigène. Elles ne supportent pas la sécheresse et constituent comme les héliophytes d'importantes zones ressources pour les amphibiens (refuge, nourriture et support de ponte) et permettent l'oxygénation de la mare, essentielle à son bon fonctionnement écologique (Grillas et al., 2004). Les plantes hydrophytes sont une ressource trophique non négligeable pour les têtards émergents de Pélobate cultripède (Arribas et al., 2014).

Les catégories sont les suivantes : des hydrophytes abondantes ou très abondantes (au-delà de 50%) seront des ressources très favorables aux amphibiens (5 pts), un recouvrement moyen sera favorables également (2 pts) et un faible recouvrement en héliophyte sera moins attractif pour les amphibiens (0 pts).

Figure 7 : Photographie de la lavogne de Laguiole (La Couvertoirade) comprenant : moins de 25% d'héliophytes (2 pts) et plus de 50% d'hydrophytes (5 pts). *Photo : Devanne, 2024.*



(8) Stade d'évolution

Le stade d'évolution correspond à une classification en 4 classes de l'évolution temporelle de la mare, schématisées et décrites dans le PRAM Occitanie (voir [figure 2](#) - C. Mousquet, SD). L'objectif est de classer 2 paramètres : l'éclaircissement de la mare (autrement dit, le pourcentage d'embroussaillage de la mare) et le comblement de la mare. Le premier va avoir un impact sur le développement de la végétation aquatique et donc sur la production d'oxygène. La présence d'un couvert arboré tout autour de mare peut provoquer une enrichissement rapide de la mare en matière organique, soit son eutrophisation à terme. Selon les essences, les feuilles des arbres peuvent libérer des composés toxiques (Oertli & Frossard, 2013 ; Grillas et al., 2004). À noter toutefois que l'ombrage des mares est favorable aux espèces de tritons (Grillas et al., 2004). Le

deuxième paramètre va plutôt donner une indication sur la pérennité de la mare, le processus de comblement est naturel et l'entretien de la mare est nécessaire pour que cet élément du paysage perdure.

Les risques de biais sont plus grands pour ce paramètre, en effet, la catégorie dans laquelle la mare sera placée dépendra de son contexte et de la perception de son observateur. Néanmoins, une mare au stade 2 - avec une végétation bien développée, un bon taux d'ensoleillement et un comblement faible - sera optimale pour son écosystème (5 pts), une mare au stade 1 ou 3 ne seront pas néfastes pour les amphibiens, mais moins favorables chez certaines espèces (2 pts) et une mare au stade 4 - avec un fort taux de comblement et/ou un embroussaillage avancé - sera plus défavorable (0 pts).

(9) Présence de poissons

La présence de poissons de la mare est complètement défavorable à la majorité des espèces d'amphibiens, elle nuit à la richesse spécifique (Porej et al, 2005 ; Denoël et al., 2005 ; Teplitsky, 2003 ; Braña et al, 1996; Stephen et al, 1998). Ceux-ci peuvent se nourrir de pontes, de larves d'amphibiens et parfois même d'individus adultes, ce qui entraîne une concurrence directe avec les amphibiens et la chute de leurs populations dans les mares. Les poissons herbivores, quant à eux, vont se nourrir d'herbiers aquatiques qui ne seront donc plus disponibles comme habitat ou support pour les amphibiens. Carpes et carassins dorés (poissons rouges) sont régulièrement de retour dans les mares, il s'agit d'espèces introduites par l'homme et des campagnes de sensibilisation sont régulièrement menées sur le territoire (CEN Grands Causses, 2013).

Les poissons entraînent tout de même un changement radical dans le fonctionnement des chaînes trophiques au sein de la mare et leur présence sera incompatible avec la plupart des amphibiens du territoire : l'absence de poissons sera très profitable aux amphibiens (5 pts) et leur présence aura des conséquences négatives importantes (0 pts).

(10) Plantes Exotiques Envahissantes (PEE)

L'IPBES souligne en 2019 dans son rapport le rôle direct des Espèces Exotiques Envahissantes (EEE) dans la perte de biodiversité : ces espèces exotiques envahissantes se sont adaptées au climat local et colonisent les milieux à une vitesse très rapide au détriment des espèces locales (IPBES, 2019). En effet, leur développement réduit la surface disponible pour les autres plantes, leurs nutriments et par conséquent leurs capacités de photosynthèse. Les principales plantes aquatiques envahissantes sont actuellement : la crassule d'Helm, l'égérie dense, les différents types de jussie et d'élodée, le myriophylle du Brésil et le myriophylle à feuilles variées (CDDAT, 2022). On peut par exemple mentionner la jussie présente dans le Nord Ouest du PNR des Grands Causses ou encore du Grand Lagarosiphon présent sur le Causse du Larzac. Au sein d'une mare, les effets des PEE peuvent rapidement provoquer l'eutrophisation du milieu et/ou porter atteinte à la faune et flore environnante.

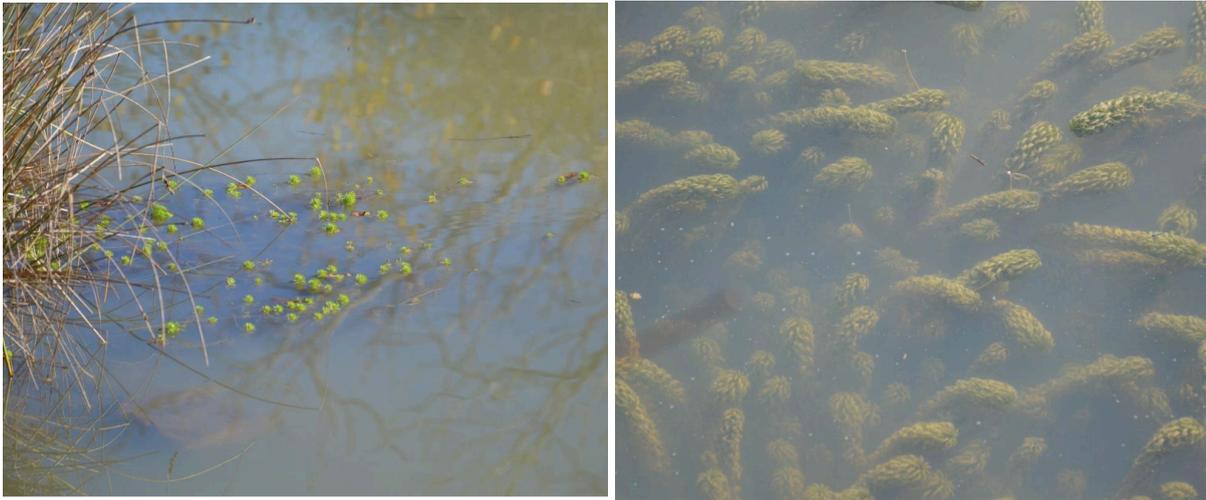


Figure 8 : Myriophylle du Brésil (à gauche) et Grand Lagarosiphon (à droite) dans une mare de la commune du Clavier. Photos : E. Gilhodes - ADASEA d'Occ, 2023

Une absence de PEE sera bénéfique à la mare (5 pts) et l'identification d'une PEE sera réhabilitative au bon état écologique d'une mare (0 pts) et doit être rapidement signalée.

Pour connaître les procédures réglementaires en cas d'identification d'une PEE ou pour toute information concernant les PEE des milieux aquatiques et les actualités PEE en France, aller sur le [Centres de ressources des Espèces Exotiques Envahissantes](#).

(11) Piétinement par le bétail ou la faune sauvage

Les mares qui servent d'abreuvement au bétail sont sujettes au piétinement par les troupeaux domestiques. Ce piétinement peut provoquer une destruction de la végétation aquatique, des pontes ou des individus présents, une déformation des pentes ou du fond et la turbidité de l'eau. Les conséquences et la pression sur la mare est d'autant plus importante que le passage est fréquent. Le passage des troupeaux domestique peuvent signifier également un pollution organique ponctuelle ou constante en fonction du nombre d'individus et de la fréquence de passage. Le piétinement nuit à la diversité spécifique en amphibiens dans la mare (Knutson et al. 2004) et fait donc partie des paramètres très néfastes concernant le bon état écologique des mares (Trimble, 1994; Trimble et Mendel, 1995; Jansen et Healey, 2003; Declerck et al, 2005).



Figure 9 : Piétinement sur les mares temporaires du Caylar. Photos : Devanne, 2024.

Une absence de piétinement sera très favorable pour la conservation de la mare (5 pts), un piétinement léger ou très ponctuel pourra causer des dégâts limités (2 pts) et un fort piétinement, notamment par bovins ou sangliers, sera destructeur (0 pts).

(12) Pollution chimique ou organique visible

La présence de polluants va nuire, non seulement aux amphibiens, mais à l'ensemble de l'équilibre écologique de la mare. Ils peuvent entraîner une mortalité accrue des Amphibiens (Maillet et al, 2017). Certaines études montrent que les amphibiens ne sont pas si sensibles aux polluants, mais cela dépend évidemment des espèces : certaines seront résistantes et d'autres, plus exigeantes sur la qualité du milieu, ne pourront pas s'adapter. La pollution, en fonction de sa concentration, n'est pas un paramètre rédhibitoire pour la présence d'amphibiens mais réduit considérablement la diversité d'espèces qui pourraient s'y trouver. Dans le cadre de cette étude aucune mesure de la qualité physicochimique et bactériologique de l'eau n'est faite, on se base donc sur la perception visible d'une quelconque pollution qui témoignerait d'un déséquilibre écologique dans le point d'eau. Ou bien, d'une configuration paysagère qui pourrait accentuer le risque de pollution telle que la présence de champs (produits phytosanitaires lessivés) ou une route à proximité (hydrocarbures dans les ruissellements atteignant la mare comme sur la photographie ci-contre).



Ainsi, si la pollution est visible à la surface de l'eau ou autour, le point d'eau sera donc considéré comme dégradé (0 pts), si une route ou un champs se situe à moins de 10m le point d'eau sera probablement polluée (3 pts car il n'agit qu'indirectement sur la richesse spécifique), et, s'il n'y a pas de pollution visible, le point d'eau sera considéré en bonne santé écologique (5 pts).

PARTIE II : Description des paramètres du contexte local favorables pour la communauté d'amphibiens.

Il s'agit de paramètres permettant d'évaluer la perméabilité, et donc la favorabilité, de la matrice paysagère à échelle locale pour les amphibiens. Pour la plupart de ces paramètres, le rayon de 500 m délimitant le réseau de mares selon le PRAM a été posé comme limite. Par ailleurs, quelques études montrent que l'influence des caractéristiques paysagères sur la richesse spécifique en amphibiens se fait dans un rayon inférieur à 500 m (Boissinot et al, 2019 ; Ficetola, 2009).

(13) Contexte précis

Ce paramètre permet d'indiquer le contexte local dans lequel se situe une mare en classant simplement l'occupation du sol majoritaire aux alentours en catégories paysagères. Même si le contexte urbain est considéré comme défavorable, certaines espèces sont adaptées à des contextes "pionniers / anthropisés " tels que le crapaud commun, la rainette méridionale ou encore l'alyte accoucheur (Tatin, 2010).

Le classement se fait donc de la manière suivante :

- *Très favorable pour les milieux de vie ou de ressources (reproduction, alimentation, déplacements) tels que les prairies, les landes, les bosquets, etc (5 pts) ;*
- *Favorable pour les lieux présentant peu d'obstacles pour les amphibiens et ne constituant pas les lieux de vie privilégiés comme les bois de résineux, les jardins, les tourbières acides (2 pts) ;*
- *Défavorable pour les occupations du sol néfastes pour les amphibiens, notamment à cause des nuisances anthropiques et pollutions, d'apport d'espèces introduites ou bien des risques liés à la fragmentation dans le domaine vital, c'est le cas des zones urbanisées, des cultures agricoles ou des infrastructures de transport (0 pts).*



Figure 10 : Illustration de contextes favorables pour les amphibiens sur le Causse du Larzac: pelouses sèches (à gauche) et prairies calcaires humides (à droite). *Photo : Devanne, 2024.*

(14) Distance à la pièce d'eau la plus proche

Ce paramètre permet de prendre en compte les points d'eau susceptibles d'accueillir des populations d'amphibiens en cas de perturbation ou de fuite du point d'eau dans lequel ils se trouvaient. Il peut aussi s'agir de mares potentielles d'accueil d'amphibiens qui seraient très bénéfiques dans le contexte local, pour le brassage génétique par exemple. La distance de 250 m optimale pour les déplacements du pélobate cultripède a été fixée dans l'étude sur le pélobate dans le Calavon (Renet et al, 2023).

Ainsi, une mare située entre 0 et 250 m sera très favorable dans la matrice (5 pts), une mare située dans le périmètre entre 250 et 500 m sera favorable (2 pts) et au-delà de 500 m la mare est exclue du réseau et ne sera plus favorable, car inexistante dans le contexte proche pour les amphibiens (0 pts).

Sur Qgis, les distances entre tous les points d'eau cartographiés sont calculées automatiquement. Le caractère favorable pour chacune des mares est reporté dans le tableau en fonction du résultat.

(15) Nombre de pièces d'eau à moins de 500m

Le nombre de pièces d'eau à moins de 500 m permet de déterminer si la mare se trouve au sein d'un réseau de mares. On retient la valeur minimale conseillée pour un réseau fonctionnel de mares, soit 4 mares par km², soit 3 mares dans un rayon de 500 m (Scher, 2010).

C'est pourquoi on va considérer qu'à partir de 2 mares à moins de 500m de celle étudiée, le contexte paysager est très favorable pour les amphibiens (5 pts), s'il y a une seule mare c'est positif (2 pts) et si la mare est isolée à plus de 500 m d'une autre, le contexte est défavorable aux amphibiens (0 pts).

Sur Qgis, un tampon de 500 m est réalisé puis le nombre de mares dans ce périmètre est comptabilisé et reporté dans le tableau.

(16) Distance avec un site terrestre d'hivernage potentiel

Les amphibiens font usage d'éléments paysagers très diversifiés, aquatiques et terrestres, tout au long de leur cycle de vie bi-phasique. La prise en compte des entités terrestres pour l'hivernage est donc essentielle à l'étude d'une matrice paysagère favorable pour les amphibiens. Plus la distance est importante entre un plan d'eau et le site terrestre hivernal, plus les risques d'écrasements ou de prédateurs sont importants (CEN Isère, 2017). La distance maximale de déplacement est fixée à 500 m, c'est la limite du réseau de mares (PRAM Occitanie, 2024). En revanche, la distance de déplacement chez les tritons est bien plus faible (inférieure à 100m autour de mare) et, chez les pélobates également. Dans son mémoire, Priol mentionne : « les pélobates demeurent en hiver, proche de la mare, probablement afin d'être parmi les premiers au plan d'eau pour optimiser leurs succès de reproduction (compétition intra-spécifique) », ils restent en moyenne à moins de 300 m de la mare (Priol, 2015). Ce paramètre dépend également d'autres paramètres paysagers tels que la présence ou non d'une route ou d'un corridor linéaire qui permettrait de faciliter le déplacement des amphibiens, qui sont pris en compte par la suite. Ici, il s'agit d'estimer, dans une configuration idéale, les limites ou les habitudes de déplacements liées à l'écologie des espèces du territoire.

Ainsi, si un gîte d'hivernage potentiel est situé entre 0 et 250 m, cette configuration est très favorable, si la distance est située entre 250 et 500 m les risques sont accrus et la matrice moins favorable (2 pts) et au-delà de 500 m, les déplacements sont restreints et ce paramètre sera classé comme défavorable (0 pts).

Sur Qgis, la cartographie fine des occupation du sol est réalisée (cf. carte x) à l'échelle de la zone d'étude. Au sein d'un tampon des OS dans 1 km autour de la mare étudiée, le site hivernal terrestre le plus proche est identifié parmi ces OS et la distance à la mare est calculée pour permettre son classement dans une des 3 catégories du tableau.

(17) Contiguïté d'un corridor linéaire

La présence d'un corridor écologique linéaire autour de la mare va favoriser les déplacement des amphibiens au sein du territoire. Il s'agit d'éléments structurant le paysage linéaire tels que les haies, arbustes, fossés, ruisseaux et toute zone de passage facilitant le passage des amphibiens et réduisant les risques d'écrasement et de prédation. Pour le Pélobate, les distances maximales moyennes parcourues par les individus se situaient sous le seuil des 100 m (Renet et *al.*, 2023), la présence d'un corridor à une distance inférieure à 100 m sera donc la catégorie très favorable. Dans cette même étude, le seuil limitant était situé à 300 m, ce sera donc la limite de favorabilité.

Ainsi, un corridor situé à moins de 100 m de la mare sera très favorable (5 pts), un corridor situé à plus de 100 m mais moins de 300 m sera moins favorable mais tout de même bénéfique pour le déplacement des amphibiens (2 pts) et un corridor situé à plus de 300 m perd de son utilité de protection pour les déplacements (0 pts).

Sur Qgis, les occupations du sol correspondant aux corridors linéaires (haies, fossés, ruisseaux) sont croisées avec un buffer de 100 m et un autre de 300 m. En fonction de leur localisation, cette distance permet de classer le paramètre dans le tableau.

(18) Zone d'écrasement d'amphibiens potentielle (à moins de 250 m de la mare)

La présence d'une route induit un risque accru d'écrasement d'amphibiens, particulièrement en période de migration prénuptiale. Ce risque varie en fonction du type de voie de circulation (route nationale, départementale ou simple chemin) avec une distance plus ou moins grande à parcourir, une densité de passage différente ou encore la disponibilité de zones refuges autour. Une distance de 250 m a été définie comme optimale pour les déplacements du pélobate dans le paramètre (15), c'est donc dans ce périmètre que les risques sont les plus importants car ils concentrent la majorité des déplacements (Renet et *al.*, 2023).

La présence d'une autoroute ou d'une voie départementale dans le périmètre de 250 m autour de la mare sera très incompatibles pour les déplacements des amphibiens (0 pts), une route communale sera plus perméable mais le risque d'écrasement est toujours présent (2 pts) alors qu'un chemin non bitumé ou l'absence de route sera optimal pour les amphibiens (5 pts).

Sur Qgis, un buffer avec les OS de 250 m est délimité autour de la mare. Pour chaque buffer l'occupation du sol "route" est identifiée permettant de classer le type de voie de circulation - si elle existe - dans une des catégories du tableau.

(19) Richesse en amphibiens à proximité (périmètre de 500 m)

La richesse spécifique à proximité, c'est-à-dire le nombre d'espèces d'amphibiens observés dans un périmètre proche de la mare étudiée, permet de prendre en compte les données naturalistes ponctuelles ou non en provenance d'autres sources pour compléter celles obtenues dans les mares prospectées. Ce paramètre permet d'intégrer la diversité en amphibiens sur l'ensemble d'un réseau grâce aux données opportunistes : au sein de la mare prospectée, dans les mares alentours (paramètre 15) et dans les sites terrestres hivernaux (paramètre 16). C'est pourquoi le périmètre délimité est de 500 m, où les déplacements d'amphibiens sont les plus fréquents, et, en cohérence avec les paramètres précédents.

Ce paramètre est noté sur 10 points, pour chaque espèce d'amphibien du Larzac détectée dans un rayon de 500 m, 1 point est additionné. Le pélobate cultripède étant la seule espèce au statut de protection régional (CR) et national (VU), deux points supplémentaires sont ajoutés lorsque l'espèce est observée dans ce périmètre. Toute autre espèce d'amphibien détectée ne sera pas prise en compte car considérée comme exogène, introduite. Les *Pelophylax sp.* ne sont pas comptabilisés suite à une étude récente sur le plateau du Larzac qui démontre que la grenouille verte rieuse (*Pelophylax ridibundus*) est considérée comme une espèce invasive nuisant aux espèces locales. En effet, elle agit sur la chaîne trophique en consommant les individus, au stade larvaire comme adulte (Pille et al., 2021). Les espèces faisant partie du complexe des grenouilles vertes (*Pelophylax sp.*) étant très difficiles à distinguer entre elles, nous allons exclure le groupe des pelophylax des espèces à comptabiliser pour ce paramètre de diversité spécifique car il n'agit pas en faveur de la présence des espèces régionales protégées.

Listes d'espèces sur le Causse du Larzac :

- *Pelobates cultripipes* (3 pts)
- *Alytes obstetricans* (1 pt)
- *Triturus marmoratus* (1 pt)
- *Hyla meridionalis* (1 pt)
- *Bufo spinosus* (1 pt)
- *Epidalea calamita* (1 pt)
- *Pelodytes punctatus* (1 pt)
- *Lissotriton helveticus* (1 pt)
- *Pelophylax sp.* (0 pts)

Ici, les données utilisées sont en provenance de diverses bases de données : extraction des données du SINP sur la période 2019 - 2023, données de l'OFB Aveyron et Hérault, les données POP Amphibien sur La Couvertoirade en provenance du CPIE (2017-2018) et les données très récentes du CEN Occitanie (2024) indisponible sur le SINP.

Sur Qgis, un tampon de 500 m est délimité autour de la mare et le nombre d'espèces est compté. Il faut comptabiliser le nombre d'espèces en détail, avec chaque famille, afin d'écarter les *Pelophylax* sp. et d'attribuer une note plus élevée aux *Pelobates* cultripès. Les points sont ensuite additionnés **sur Excel** et reportés dans le tableau.

Il est important de mentionner que tous les paramètres obtenus suite à un traitement Qgis peuvent également être obtenus sans calcul SIG et même sans traitement informatique. En effet, ce protocole a pour objectif d'être accessible à ses futurs utilisateurs, par conséquent, ces paramètres peuvent être classés manuellement sur une carte papier en délimitant les périmètres - et à l'aide de connaissances solides sur le territoire - ou bien sur Qgis, mais sans calculs, en délimitant également les périmètres de 250 et 500 m autour des mares et par identification visuelle de chacun des paramètres. Cette forme de traitement sera plus chronophage mais pas plus imprécise, en effet les données recherchées sont classées en 2 ou 3 classes et aucune mesure chiffrée n'est requise. Par exemple : pour les corridors écologiques, deux périmètres de 100 et 300 mètres sont établis sur une carte et au sein de ces périmètres il faudra alors simplement déterminer la présence ou non de corridors et indiquer la valeur correspondante dans la feuille de notation de l'IECMA.

Tableau 3 : Paramètre à renseigner dans la grille de calcul de l'IECMA, modifiés et adaptés pour l'étude des mares sur le Causse du Larzac (Devanne, 2024).

N°	Critère d'évaluation	Options de saisie	Points : Très Favorable (≤ 5 pts); Favorable (2 pts) ; Défavorable (0 pts)
Etat de conservation de la mare			
1	Superficie en m ²	$S > 50 \text{ m}^2$	5
		$10 \text{ m}^2 < S < 50 \text{ m}^2$	2
1		$S < 10 \text{ m}^2$	0
2	Profondeur en m	$1 \text{ m} < P < 2 \text{ m}$	5
		$0,5 \text{ m} < P < 1 \text{ m}$ ou $P > 2 \text{ m}$	2
		$P < 0,5 \text{ m}$	0

3	Nature de fond	Terrain naturel	5
		Pierre / Béton	2
		Bâche plastique	0
4	Turbidité	Limpide	5
		Trouble	2
		Opaque	0
5	Berges en pente douce (< 30°)	BPD > 1/2 périmètre	5
		0 < BPD < 1/2	2
		BPD = 0	0
6	Recouvrement en hélrophytes	Moyen (25 à 50%)	5
		Abondant (50 à 75%) ou peu abondant (< 25%)	2
		Très abondant (> 75%)	0
7	Recouvrement en hydrophytes	Très abondante (>75%) ou abondante (50 à 75%)	5
		Moyen (25 à 50%)	2
		Peu (<25%)	0
8	Stade d'évolution	Stade 2	5
		Stade 1 ou 3	2
		Stade 4	0
9	Poissons	Absence	5
		Avérée ou probable	0
10	Plante Exotique Envahissante (PEE)	Absence	5
		Avérée	0
11	Piétinement / passage par le bétail ou la faune sauvage	Pas de piétinement	5
		Piétinement partiel ou localisé	2
		Piétinement général	0

12	Pollution chimique ou organique visible	Absence	5
		Probable	2
		Avérée	0
Favorabilité du contexte local pour la communauté d'amphibiens			
13	Contexte précis	Zone humide / Prairies / Landes / Bosquets - Feuillus / Fourrés / Lagune littorale	5
		Terres arables / Jardins / Bois de résineux / Tourbière acide	2
		Zone urbanisée ou semi-urbanisée / Zone de cultures / Infrastructure de transports	0
14	Distance à la pièce d'eau la plus proche	$D \leq 250$ m	5
		$250 > D < 500$ m	2
		$D > 500$ m	0
15	Nb de pièces d'eau à moins de 500m	> 2	5
		1	2
		0	0
16	Distance avec un site terrestre d'hivernage potentiel (en m)	$0 < D < 250$	5
		$250 < D < 500$	2
		$D > 500$	0
17	Contiguïté d'un corridor linéaire	Corridor écologique linéaire à moins de 100 m	5
		Corridor écologique linéaire situé à une distance comprise entre 100 m et 300 m	2
		Corridor écologique linéaire situé à une distance supérieure à 300 m	0
18	Zone d'écrasement d'amphibiens potentielle (à moins de 250 m)	Pas de route / Route non bitumée	5
		Route bitumée "communale"	2
		Route départementale ou nationale	0

19	Richesse en amphibiens à proximité (dans un rayon de 500 m ou de 1 km ?)	1 pt par espèce (<i>pelophylax sp.</i> non comptabilisées) + 2 pts si <i>pelobates cultripès</i> présent.	Entre 0 et 10 pts
19			

IECMA Classes de notations sur 100

- de 50 points



+ de 50 points



+ de 70 points



+ de 90 points



BIBLIOGRAPHIE

- ANA CEN Ariège. (2024). *plaquette_mare_2023_def.pdf*. <https://pram-occitanie.fr>
- ARB Nouvelle-Aquitaine. (2023). *CATZH64-ARB-Mares-generalités-Retours-d'expérience-Mare-Archilondo-27042023.pdf*. <https://biodiversite-nouvelle-aquitaine.fr>
- Boissinot, A., Besnard, A., & Lourdais, O. (2019). Amphibian diversity in farmlands : Combined influences of breeding-site and landscape attributes in western France. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 269, 51-61. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.09.016>
- Bovo, et al. (2018). Écophysiologie des amphibiens : informations pour les meilleurs modèles mécanistiques. *Diversité*, 10(4), Article 118. <https://doi.org/10.3390/d10040118>
- Braña, F. & Orizaola, G. (1996). Effect of introduced fish on amphibian assemblages in mountain lakes of northern Spain. *The Herpetological Journal*, 6(4), 182-185. <https://www.thebhs.org/publications/the-herpetological-journal/volume-6-number-4-october-1996/1465-07-effect-of-introduced-fish-on-amphibian-assemblages-in-mountain-lakes-of-northern-spain?format=html>
- Calderon, M. R., Almeida, C. A., González, P., & Jofré, M. B. (2019). Influence of water quality and habitat conditions on amphibian community metrics in rivers affected by urban activity. *Urban Ecosystems*, 22(4), 743-755. <https://doi.org/10.1007/s11252-019-00862-w>
- Chauvin, C. (2022). Les plantes aquatiques : des adaptations spécifiques, une écologie sous contrainte, un intérêt en bioindication. *L'eau et la plante*. fhal-03690711f.
- Declerck, S., De Meester, L., Stoks, R., Louette, G., Van De Meutter, F., De Bie, T., Michels, E., & Brendonck, L. (2005). Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(6), 715-725. <https://doi.org/10.1002/aqc.748>
- Ficetola, G. F., Padoa-Schioppa, E., & De Bernardi, F. (2009). Influence of Landscape Elements in Riparian Buffers on the Conservation of Semiaquatic Amphibians. *Conservation Biology*, 23(1), 114-123. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2008.01081.x>
- Fouilloux, C. A., Yovanovich, C. A. M., & Rojas, B. (2022). Tadpole responses to environments with limited visibility : What we (Don't) know and perspectives for a sharper future. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 9, 766725. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.766725>
- Grillas, et al. (2004). *Volume_1_Mediterranean_Temporary_Pools.pdf*.
- IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- Jansen, A., & Healey, M. (2003). Frog communities and wetland condition : Relationships with grazing by domestic livestock along an Australian floodplain river. *Biological Conservation*, 109(2), 207-219. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(02\)00148-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(02)00148-9)
- Joly, P., AngÉlibert, S., Giani, N., & Marty, P. (2005). Directionality of pre- and post-breeding migrations of a marbled newt population (*Triturus marmoratus*) : Implications for buffer zone management. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 15(3), 215-225. <https://doi.org/10.1002/aqc.672>
- Knutson, et al. (2004). *ecap_14_321.669_684.tp*.

- Lang I. et Géraud A., 2022. Stratégie d'intervention territorialisée du Programme Régional d'Actions en faveur des Mares d'Occitanie. Conservatoire d'espaces naturels d'Occitanie & Fédération Régionale des Chasseurs d'Occitanie. Disponible sur : https://www.pram-occitanie.fr/IMG/pdf/strategie_du_pram_occitanie_vf_1.pdf
- Larousse. (2024). Définitions : héliphyte. Dictionnaire de français Larousse.
- Maillet, N., Le Cabec, F., & Bonnet, C. (2017). Indice d'Écologie des Communes pour la Faune des Mares (IECMA). Conservatoire d'espaces naturels de l'Isère. https://www.cen-isere.org/wp-content/uploads/2019/05/GL_SE32_IECMA_MailletLeCabecBonn_et2017_bq.pdf
- Oertli, B., Auderset Joye, D., Castella, E., Juge, R. & Lachavanne, J.-B. 2000. Diversité biologique et typologie écologique des étangs et petits lacs de Suisse. Laboratoire d'Ecologie et de Biologie aquatique de l'Université de Genève et OFEFP. 434 pp.
- Pille, F., Pinto, L., & Denoël, M. (2021). Predation pressure of invasive marsh frogs : A threat to native amphibians? *Diversity*, 13(11), 595. <https://doi.org/10.3390/d13110595>
- Porteret, et al. (2014). ZH Boite-outils-complète.pdf. Rhomeo-BAO. Disponible sur : https://rhomeo-bao.fr/sites/all/themes/corporateclean/pdf/ZH_Boite-outils-complète.pdf
- Porej, D., Hetherington, T. Designing Wetlands for Amphibians: The Importance of Predatory Fish and Shallow Littoral Zones in Structuring of Amphibian Communities. *Wetlands Ecol Manage* 13, 445–455 (2005). <https://doi.org/10.1007/s11273-004-0522-y>
- PNR Grands Causses. (2013). dt_mare_et_lavogne.pdf. Parc Grands Causses. <https://parc-grands-causses.fr>
- PNR Lorraine. (2022). Maquette_MaresV5_web.pdf. <https://pnr-lorraine.com>
- Priol, P. (2015). Suivi d'une espèce rare en vue de sa conservation: dynamique spatiale et temporelle de populations de Pélobate cultripède (*Pelobates cultripes*) en Aquitaine.
- Renet, Julien & Loubinoux, Elfie & Krebs, Muriel & Thirion, Felix & Priol, Pauline & Travers, William & Ménétrier, Florence & Baudat-Franceschi, Julien & Brichard, Jérôme. (2024). La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède (*Pelobates cultripes*). Disponible sur : [\(PDF\) La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède \(Pelobates cultripes\)](#)
- Scher, O. (2010). Conserver les réseaux de mares. *Espaces naturels*, (30), 37-38.
- Hecnar, S. J., & M'Closkey, R. T. (1997). The effects of predatory fish on amphibian species richness and distribution. *Biological Conservation*, 79(2-3), 123-131. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(96\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(96)00113-9)
- Teplitsky, .C., Plénet, .S. & Joly, .P. Tadpoles' responses to risk of fish introduction. *Oecologia* 134, 270–277 (2003). <https://doi.org/10.1007/s00442-002-1106-2>
- Trimble, S. W., & Mendel, A. C. (1995). The cow as a geomorphic agent—A critical review. *Geomorphology*, 13(1-4), 233-253. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(95\)00028-4](https://doi.org/10.1016/0169-555X(95)00028-4)



Méthodologie d'une modélisation des déplacements des amphibiens sur le Causse du Larzac et ses vallées.

DIAGNOSTIC DES CONTINUITÉS ÉCOLOGIQUES - ANNEXE 9



Leïla DEVANNE | Juillet 2024

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.....	1
Matériel : Qgis et Graphab.....	2
1. Réalisation de la carte d'occupation du sol.....	3
1.1 Définition de la zone d'étude.....	3
1.2 Choix des espèces.....	3
1.3 Préparation des OS : coûts et déplacements des espèces étudiées, le Pélobate cultripède et le Triton marbré.....	4
1.3.1. Traits de vie du Pélobate cultripède.....	4
1.3.2. Traits de vie du Triton marbré.....	7
1.4 Compilation des OS et traitements Qgis.....	10
1.4.1 Réseau de transports.....	11
1.4.2 Eléments urbains.....	12
1.4.3 Eléments 'naturels'.....	13
1.4.4 OS de la zone d'habitat terrestre (HT).....	15
1.5 Carte d'OS finale et rasterisation.....	15
2. Modélisation des déplacements sur Graphab.....	20
2.2 Scénarios et modélisations.....	20
2.3 Traitements sur Graphab.....	21
2.3.1 Projet et jeu de liens sur Graphab.....	21
2.3.2 Création d'un graphe.....	24
2.3.3 Calcul de métriques.....	26
2.3.3.1 Métriques sélectionnées.....	27
2.3.3.2 Calcul des métriques sur Graphab.....	28
2.3.4 Corridors et exportations Qgis.....	30
3 Mise en page Qgis.....	31
3.1 Les chemins de moindre coûts / Corridors.....	32
3.2 Classification de la fonctionnalité des réseaux.....	34
Etape Bonus : Le modeleur pour fusionner les couches corridor.....	35
3.3 Ajoût des tâches d'habitat.....	38
Bibliographie.....	39

INTRODUCTION

Dans le cadre d'un programme d'actions sur les mares et les lavognes du Larzac, financé par la Région Occitanie, un diagnostic des continuités écologiques de ces points d'eau dans le Sud-Larzac est en cours. Il s'agit de caractériser la fonctionnalité écologique du réseau de mares au sud du plateau du Causse du Larzac, notamment pour les amphibiens - et plus particulièrement le Pélobate cultripède - au regard de la déprise pastorale et des voies de communications, telles que la A75, qui fractionne le territoire afin d'identifier les actions à mettre en oeuvre pour préserver et renforcer le maillage de points d'eau.

C'est pourquoi une modélisation à l'aide des logiciels Graphab et Qgis a été réalisée pour quantifier la fonctionnalité de ces réseaux. Cette fiche qui détaille le protocole de cette modélisation a pour objectifs de guider pas à pas dans la réalisation de graphes paysagers mais également de justifier la méthodologie employée et permettre son adaptation à d'autres contextes d'étude. En effet, la modélisation a été réalisée sur les communes de La Couvertourade, Les Rives et Le Caylar, mais la zone pourra être étendue à l'ensemble du plateau du Larzac pour la gestion de ses mares.

Le résultat de cette modélisation est une carte des déplacements de moindre coûts (corridors) et des réseaux de mares pour le Pélobate cultripède et le Triton marbré au sein de la matrice paysagère dans la zone d'étude. Cette modélisation permet de visualiser et quantifier la fonctionnalité du réseau de mares, elle est complémentaire à l'analyse de la fonctionnalité des mares en elles-mêmes¹. Avec ces analyses, la modélisation est un outil qui permet de guider les mesures de gestion futures sur les mares - en complément de vérifications sur le terrain - afin de rétablir la connectivité et la fonctionnalité des mares et des corridors de déplacements en faveur de la conservation des amphibiens sur le Larzac.

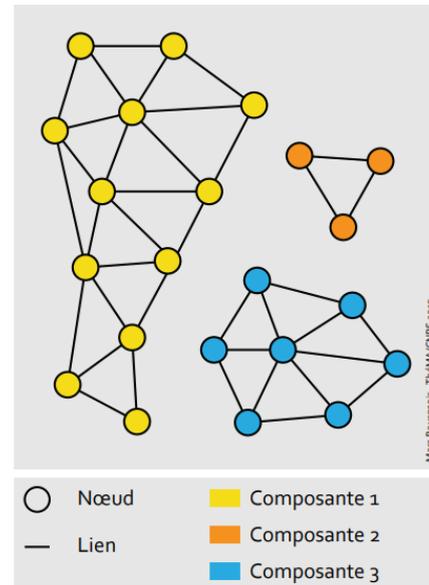
¹ Disponible dans une fiche complémentaire à ce protocole : *'Protocole et méthodologie pour la prospection de mares et amphibiens sur le Causse du Larzac et ses vallées'*

MATÉRIEL : QGIS ET GRAPHAB

La modélisation spatiale à l'aide des SIG (Systèmes d'Information Géographique) comme Qgis (version 3.34.4) et de logiciels de modélisation comme Graphab (version 2.8.6)², peut être utilisée pour comprendre les structures et les dynamiques des paysages, en particulier des réseaux pour cette étude. Nous allons expliquer les notions théoriques utilisées dans ce contexte.

La théorie des graphes est une branche des mathématiques qui étudie les relations entre les objets d'un ensemble donné. La théorie des graphes a été formalisée par Leonhard Euler en 1736. Ces objets, appelés sommets ou nœuds, sont connectés par des arêtes - ici on les appellera des liens - et les séquences de nœuds connectés par des liens sont des chemins. Les composantes sont des sous-ensembles de sommets où chaque paire de sommets est connectée par un chemin (Newman, 2010).

Figure 1 : Illustration d'un graphe à trois composantes (Bourgeois, 2015)



Appliqués dans le cadre écologique dans lequel nous travaillons, nous pouvons traduire ces éléments mathématiques de la façon suivante : les nœuds représentent des réservoirs de biodiversité et sont connectés par des chemins, ce qui correspond aux corridors de déplacements des espèces. Un ensemble de réservoirs connectés formera un réseau, cela correspond au concept des composantes. Tous ces éléments sont localisés dans l'espace géographique, permettant d'évaluer la connectivité écologique au sein du paysage dans lequel on se situe.

Afin de visualiser les flux de dispersion des espèces et de quantifier la connectivité écologique, nous pouvons utiliser les métriques. Les métriques sont des mesures quantitatives, calculées, qui permettent d'analyser les graphes créés. Pour calculer des métriques divers objets des graphes peuvent être utilisés, par exemple, le degré d'un nœud (soit le nombre de connexions de ce nœud avec d'autres nœuds du graphe), la distance (on calcule le nombre minimum de liens pour aller d'un nœud à un autre), la centralité (mesure l'importance du sommet au sein du graphe par rapport à son nombre de connexions alentour ou sa proximité avec d'autres nœuds) ou, à l'inverse, l'excentricité (c'est la plus grande distance entre le nœud et n'importe quel autre nœud du graphe).

² Il faut préalablement télécharger et installer Java 8 ou + (java.com) version 64 bits. Puis sur la [page web de Graphab](#) télécharger graphab-2.8.jar et le lancer une fois installé.

MÉTHODES

Au sein de cette nouvelle partie, nous allons nous attaquer à la réalisation de la modélisation, en décrivant étape par étape les démarches à suivre. Ces étapes seront également justifiées par des recherches bibliographiques ayant permis d'orienter cette étude et ses résultats.

1. RÉALISATION DE LA CARTE D'OCCUPATION DU SOL

La première étape pour réaliser une étude spatiale des déplacements d'espèces est l'obtention ou, le cas échéant, la création d'une carte d'occupation du sol (OS) de la zone d'étude. C'est sur ce fond d'occupation des sols que notre modélisation s'appuie et que l'intégralité des traitements Graphab et Qgis seront réalisés. Les étapes, dans l'ordre de réalisation, sont décrites dans les paragraphes qui suivent.

1.1 Définition de la zone d'étude

Dans le cadre de cette étude, la zone définie doit permettre de modéliser les déplacements des espèces présentes dans les mares inventoriées. Elle est donc composée d'un premier périmètre comprenant les 3 communes sur lesquelles les prospections diurnes ou nocturnes ont été réalisées (voir *Fiche des protocoles de suivi Mares et Amphibiens*) auquel s'ajoute une zone tampon de 2 km autour de chacune des mares, le périmètre est agrandi pour les mares situées en bordure de commune. Ces 2 km supplémentaires sont donc appliqués afin de limiter les effets de bordure lors de la modélisation. Et, puisque la zone d'étude est un peu plus étendue que pour le IECMA, d'autres mares situées sur des communes annexes sont présentes sur cette extension, elles seront donc représentées en tant que mares sur la carte d'OS mais n'auront pas forcément fait l'objet d'une prospection, et, par conséquent d'une notation IECMA. Les notes IECMA de toutes les mares ayant fait l'objet d'une prospection 2024 figureront sur la carte finale. La zone d'étude (ZE) est représentée sur la figure 6.

1.2 Choix des espèces

Pour comprendre la fonctionnalité du réseau vis-à-vis des amphibiens sur le Larzac, je me suis concentrée sur 2 espèces, le Pélobate cultripède et le Triton marbré, pour les raisons qui suivent :

- (1) Ce sont 2 des 3 espèces à enjeux avec un statut de protection régional important : le pélobate est en danger critique dans les listes régionales et vulnérable à l'échelle de la France ; le triton marbré est vulnérable dans les listes rouges régionales et quasi-menacé en France. Une troisième espèce possède un statut de protection : l'alyte accoucheur est en danger dans les listes régionales mais une préoccupation mineures dans les listes rouges

nationales. Il n'a pas été sélectionné car il sera représenté par le pélobate cultripède, considéré comme espèce parapluie dans le cadre de notre étude. En effet les milieux fréquentés sont relativement proches et, sur le terrain, les mares comptabilisant des individus pélobates, possèdent également des individus alytes.

- (2) Elles appartiennent à un cortège d'habitat très différent (cf. figure 3 et 5) : le Pélobate est plutôt inféodé aux milieux très ouverts, ensoleillés, avec des terrains meubles aux alentours, et dans son milieu aquatique sans besoin particulier de végétation. Alors que le Triton marbré est plutôt une espèce nécessitant un milieu boisé ou buissonnant plus dense, et, en tant que triton, la végétation aquatique en générale est nécessaire durant son cycle de vie.
- (3) Le pélobate est l'espèce au cœur de mon stage, il s'agit de l'espèce patrimoniale bénéficiant des programmes d'action sur les mares sur le Causse du Larzac. Le triton marbré, quant à lui, fait partie des 39 espèces standard de cohérence de la TVB (Sordello et *al.*, 2013), ce qui pourrait permettre d'intégrer cette étude, et en particulier les préconisations sur mares, au sein du SCOT/PLUi en cours de réalisation et aux futurs travaux de TVB locaux ou nationaux.

1.3 Préparation des OS : coûts et déplacements des espèces étudiées, le Pélobate cultripède et le Triton marbré

Une fois les cibles de l'étude choisies, il faut connaître les OS qu'elles fréquentent afin de réaliser une carte d'OS détaillée et complète. Pour cela, il est nécessaire de réaliser un travail bibliographique sur les traits de vie de ces espèces, en particulier sur les milieux de vie et les distances de dispersion. Dans le cas des amphibiens, deux habitats (milieu de vie) sont retenus : un habitat aquatique pour la reproduction, la ponte et le développement larvaire ainsi qu'un habitat terrestre comme gîte hivernal qui doit être situé dans le périmètre optimal de déplacement autour de l'habitat aquatique - ici la limite est placée à 250 m. Les OS et leur perméabilité pour les 2 espèces sont classées dans les tableaux des figures 3 et 5. Cette étude bibliographique des traits de vie comprend également une réflexion et détermination des coefficients de friction appelés ici '*coût d'un pixel*' ou encore coût de résistance. Ces coûts seront par la suite saisis dans le logiciel Graphab lors de la création de chaque nouvelle modélisation.

1.3.1. Traits de vie du Pélobate cultripède

Le Pélobate cultripède - *Pelobates cultripes*, Cuvier 1829 - est un amphibiens de l'ordre des Anoures et de la famille des Pelobatidae. Il s'agit d'un crapaud ayant la particularité de s'enfouir dans des terrains meubles grâce à ses tubercules métatarsiens (voir figure 2) appelés '*couteaux*' d'où son étymologie culter faisant référence à « *couteau* » et podo pour « *pieds* ». Il vit donc près

de terrains meubles tels que les sols des zones littorales et arrières littorales, des terrains caillouteux, collines calcaires ou causses. Il a également une préférence pour les grandes étendues de végétation basse, comme les prairies pâturées, les maquis bas, les landes, les vignes ou encore le buis caussenard (Duguet et *al.*, 2003). On peut le trouver également dans d'anciennes carrières et remblais sableux. En ce qui concerne son milieu aquatique, il peut fréquenter une grande diversité de points d'eau : des mares, des lavagne, des puits, des gravières, des marais,... avec une préférence pour les étendues d'eau peu profondes, dégagées avec une végétation peu développée. Le Pélobate cultripède est donc une espèce de milieux ouverts, ensoleillés c'est pourquoi sa zone de répartition est située aux abords des plages Atlantiques et de la Méditerranée dans le Sud de la France. La commune de la Couvertoirade constitue une de ses limites les plus au nord de sa répartition méditerranéenne.

Pour cette espèce, la reproduction a lieu entre le mi-février et le mois de mai, avec parfois une ponte supplémentaire de septembre à novembre en fonction des conditions climatiques annuelles. Les juvéniles émergent environ 3 mois après (en été) mais certains peuvent hiberner et terminer leur métamorphose l'année d'après, environ 8 mois après la ponte (Speybroeck et *al.*, 2018).

En ce qui concerne les déplacements, le Pélobate cultripède n'est pas une espèce dont on connaît précisément les distances de dispersion. Il existe une poignée de documents, aux sources variées, dont les informations regroupées ne permettent pas d'avoir une réponse consensuelle. En 2015, P. Priol mentionne une distance maximale de 380 m par une femelle (p. 40) et > 400 m pour 2 individus (p. 51) sur la côte atlantique française, mais il s'agit d'une distance de migration et non de dispersion. En 2018, Sanchez-Montes et *al.* mentionnent une distance maximale de 710 m (p. 2) dans une étude à Madrid (Espagne). En 2019, le papier de Renet et *al.*, informe sur une distance maximale de 700,25 m réalisée par une femelle lors de leur étude dans le Calavon (p. 53). Cette même année, une étude sur le Pélobate brun - du genre Pélobates - dans le Bas Rhin menée par A. Fizesan (Association BUFO) indique une distance maximale de 1 000 m (p. 36). A Alpedrete (Madrid) en 2023, Reyes-Moya et *al.* obtiennent une distance maximum de 477 m (p. 72) à l'aide d'une méthode de CMR (Capture-Marquage-Recapture). Et pour finir, toujours à Madrid par Martinez-Gil et *al.*, le record de distance est attribué à un individu ayant parcouru 1 800 m selon des analyses génétiques. N'ayant que peu de données concordantes, avec un écart-type important, une distance de dispersion maximale a été fixée à 1 000 m dans un premier temps pour le Pélobate cultripède, en concertation avec des experts naturalistes travaillant sur le Larzac. Cependant, au vu de la bibliographie, une deuxième modélisation a été réalisée avec une distance maximale de dispersion à 1 500 m afin de se rapprocher de la dernière distance maximale enregistrée en Espagne au sein d'une matrice paysagère très favorable à cette espèce. De la même façon, aucune donnée concernant la perméabilité réelle des OS sélectionnées n'existe, ainsi des choix en concertation ont permis d'établir les coûts attribués aux OS pour ces deux modélisations sur le Causse du Larzac.

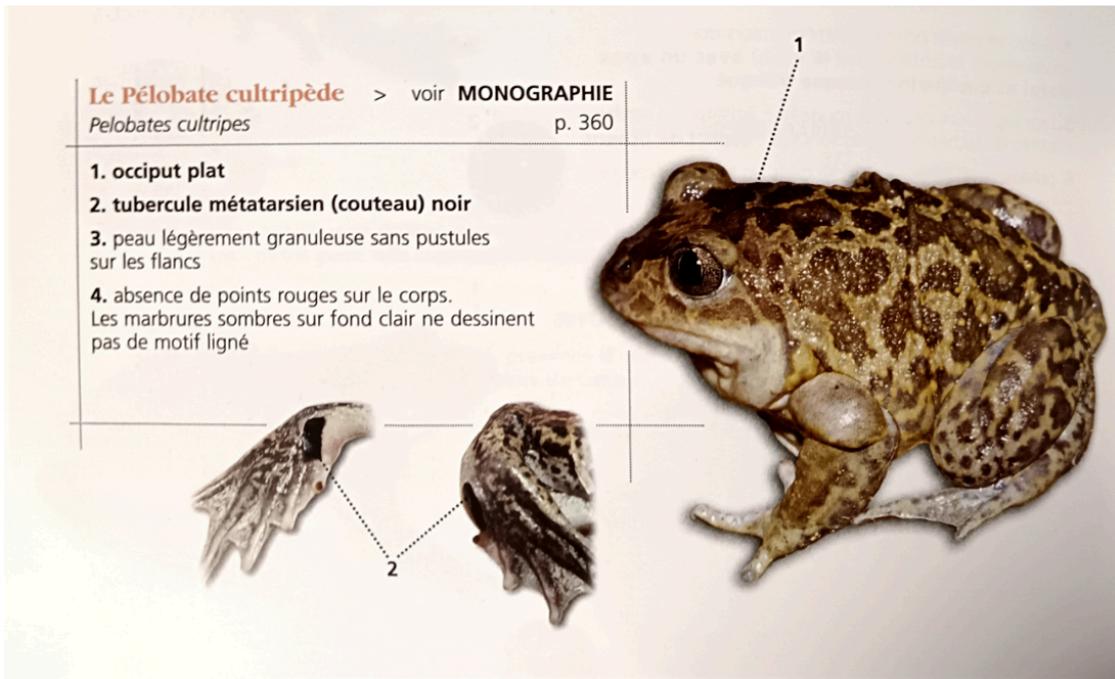


Figure 2 : Clé d'identification d'un Pélobate cultripède adulte (Duguet et al., 2003)

Selon critères d'habitat décrits ci-dessus, des coûts - ou coefficients de friction - ont été attribués à chacune des occupations du sol et répertoriés dans le tableau qui suit :

Figure 3 : Tableau des coûts de déplacements du *Pelobates cultripes* et du *Triturus marmoratus* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac (Devanne, 2024).

<i>Pelobates cultripes</i>			
Distance dispersion max : 1 000 m / Coût de déplacement max : 200 pixels			
OS	Code ³	Déplacement max (m)	Coût d'un pixel
Milieux de vie : habitat aquatique (HA) et habitat terrestre (HT)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) dans la zone d'étude : La Couvertorade, Les Rives et Le Caylar.	1	1000 (HA)	1
Formations arbustives buissonnantes dans un rayon de 250 m autour de la mare.	20	1000 (HT)	1
Végétation herbacée sur sols dolomitiques - de type prairies - dans un rayon de 250 m autour de la mare.	22	1000 (HT)	1
Sols nus dolomitiques dans un rayon de 250 m autour de la mare.	16	1000 (HT)	1
Gradient de favorabilité : du plus perméable (1 px) au moins perméable (200 px)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) hors zone	2	1000	1

³ Il s'agit de son classement lorsque l'on superpose l'ensemble des couches d'OS sur Qgis ou Graphab

d'étude : dans la zone tampon de 1,5 km autour.			
Formations arbustives buissonnantes au-delà de 250 m autour d'une mare.	21	1000	1
Végétation herbacée sur sols dolomitiques - de type prairies - au-delà de 250 m autour d'une mare.	23	1000	1
Sols nus dolomitiques au-delà de 250 m autour d'une mare.	17	1000	1
Zone humide	3	1000	1
Chemins et sentiers	7	500	2
Linéaires de haies	11	500	2
Boisements < 5000m ²	12	500	2
Lisière de forêt	15	500	2
Sols nus non dolomitiques	18	500	2
Surfaces agricoles cultivées	19	500	2
Végétation herbacée sur sols calcaires - de type prairies.	24	500	2
Routes communales	6	50	20
Forêt ouverte	13	50	20
Routes départementales	5	25	40
Zones matériaux minéraux	9	10	100
Zones non bâties	10	10	100
Forêts dense/fermée	14	10	100
A75	4	5	200
Zones bâties (centres urbains)	8	5	200

1.3.2. Traits de vie du Triton marbré

Le Triton marbré - *Triturus marmoratus*, Latreille 1800 - fait partie de l'ordre des Urodèles et de la famille des Salamandridae. Il fait partie des grands tritons en France mesurant jusqu'à 170 mm pour les femelles. Son nom est dû aux marbrures latérales supérieures et dorsales vertes, parfois avec un peu de brun ou de jaune. Le mâle possède une crête dorsale barrée de bandes sombres (voir figure 4) tandis que la femelle peut être dotée d'une ligne dorsale dans les tons oranges. Son aire de répartition en France se situe dans la moitié ouest du pays et plutôt vers le quart sud. Concernant son habitat terrestre, le triton marbré est une espèce de milieux semi-ouverts boisés.

Ne dépassant pas les 1000 m d'altitude, il côtoie les prairies, landes et garrigues, forêts de plaines et autres boisements mais jamais loin d'un point d'eau (Duguet et *al.*, 2003). Par ailleurs, les haies et autres végétations adjacentes à la mare sont des éléments essentiels pour le déplacement des tritons, la société de zoologie de Londres publie en 2000 un article sur le suivi de 30 individus de tritons marbrés et tritons crêtés montrant que les migrations en dépassent pas les 200 m et que la migration en directions d'habitats boisés est favorisée par rapport aux migrations vers d'autres directions (Jehle et Arntzen, 2000). La disparition de la mosaïque bocage et de parcelles boisées est donc tenue en partie responsable du déclin de l'espèce. Concernant sa phase aquatique, il est un peu plus sélectif sur les points d'eau qu'il va habiter en période de reproduction et en phase larvaire : il s'agit de points d'eau stagnantes, avec un ombrage partiel sur celui-ci et une végétation aquatique bien développée. (SHF, 1989).

Sa phase aquatique s'étend de février à juin avec une activité nocturne comme la plupart des autres espèces d'amphibiens (Speybroeck et *al.*, 2018). Il peut y avoir une reproduction automnale dans la partie sud de son aire de répartition. Les œufs sont pondus individuellement sur un support végétal durant cette période puis la phase larvaire dure 2 à 3 mois. Les adultes hivernent ensuite dans le milieu terrestre - même si parfois cela peut être dans l'eau - occupant des galeries souterraines, des troncs d'arbres, dans les haies ou encore dans les caves humides de maisons.

Dans la bibliographie, la distance de migration d'un Triton marbré est un mieux renseignée que celle du Pélobate cultripède que nous avons mentionné précédemment, mais les données manquent encore, notamment concernant la dispersion des amphibiens juvéniles. Nous avons rassemblé dans le paragraphes qui suit les éléments énonçant la dispersion du triton marbré qui indiquent à l'unanimité une dispersion maximale de 1 à 2 km lorsque la matrice d'habitat est favorable : en 1985, Griffiths mentionne des distance de dispersion allant de 200 m à 2 km en fonction de l'habitat et de sa connectivité avec la citation suivante : "*Field studies indicate that the dispersal of Triturus marmoratus can reach significant distances, with some individuals traveling over 1 kilometer from their breeding sites to terrestrial habitats.*" (Griffiths, 1985, p. 108). Puis en 1991, il est mentionné que la distance de dispersion des tritons marbrés de l'étude atteint jusqu'à 1 km lorsque les conditions sont optimales (Arntzen & Wallis, 1991, p. 812). Puis, en 2010, un nouvel article de Griffiths et *al.* observe une distance de dispersion maximale allant jusqu'à 1000 mètres dans une métapopulation d'amphibiens en déclin. Cette étude modélise la probabilité de dispersion en fonction de la distance entre les étangs, avec une distance moyenne de dispersion de 254 mètres.

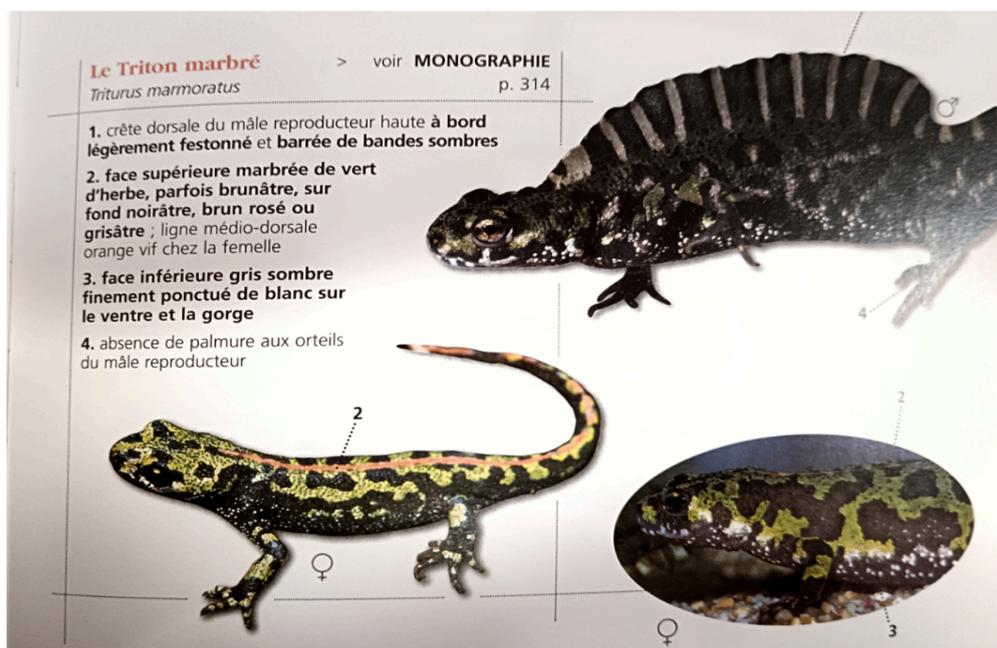


Figure 4 : Clé d'identification d'un Triton marbré adulte (Duguet et al., 2003)

Selon critères d'habitat décrits ci-dessus, les coûts ont été attribués à chacune de OS du tableau qui suit :

Figure 5 : Tableau des coûts de déplacements du *Triturus marmoratus* au sein de la matrice paysagère du Causse du Larzac (Devanne, 2024).

<i>Triturus marmoratus</i>			
Distance dispersion max : 1 000 m / Coût de déplacement max : 200 pixels			
OS	Code ⁴	Déplacement max (m)	Coût d'un pixel
Milieux de vie : habitat aquatique (HA) et habitat terrestre (HT)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) dans la zone d'étude : La Couvertorade, Les Rives et Le Caylar.	1	1000 (HA)	1
Lisières de forêts dans un rayon de 250 m autour de la mare.	17	1000 (HT)	1
Boisements < 5000m ² dans un rayon de 250 m autour de la mare.	13	1000 (HT)	1
Linéaire de haies dans un rayon de 250 m autour de la mare.	11	1000 (HT)	1
Formations arbustives buissonnantes dans un rayon de 250 m autour de la mare.	21	1000 (HT)	1
Gradient de favorabilité : du plus perméable (1 px) au moins perméable (200 px)			
Points d'eau < 5000 m ² (même temporaires) hors zone	2	1000	1

⁴ Il s'agit de son classement lorsque l'on superpose l'ensemble des couches d'OS sur Qgis ou Graphab

d'étude : dans la zone tampon de 1,5 km autour.			
Lisières de forêts au-delà de 250 m autour d'une mare.	18	1000	1
Boisements < 5000m2 au-delà de 250 m autour d'une mare.	14	1000	1
Linéaire de haies au-delà de 250 m autour d'une mare.	12	1000	1
Formations arbustives buissonnantes au-delà de 250 m autour d'une mare.	22	1000	1
Zone humide	3	1000	1
Végétation herbacée - de type prairies.	23	500	2
Forêt ouverte.	15	500	2
Chemins et sentiers.	6	500	2
Forêts dense/fermée	16	50	20
Sols nus	19	50	20
Parcelles agricoles cultivées	20	50	20
Routes communales + buses sous A75	5	50	20
Routes départementales	4	25	40
Zones matériaux minéraux	9	10	100
Zones non bâties	10	10	100
A75	7	5	200
Zones bâties (centres urbains)	8	5	200

1.4 Compilation des OS et traitements Qgis

Il faut désormais compiler tous les OS nécessaires en une seule carte. Pour notre ZE, aucune carte d'occupation du sol complète avec tous les éléments nécessaire et à une résolution satisfaisante (5 à 10 m) n'existait, il a donc fallu en composer une en récupérant chacune des OS dans les sources de données disponible au sein de la base SIG du PNR GC mais également celle disponibles sur internet sur data.gouv, le brgm ou encore geoservices. La figure 6 et les paragraphes qui vont suivre expliquent chacune des couches récupérées pour former le carte finale, la source ainsi que les traitements appliqués pour affiner sa précision ou l'adapter au territoire.

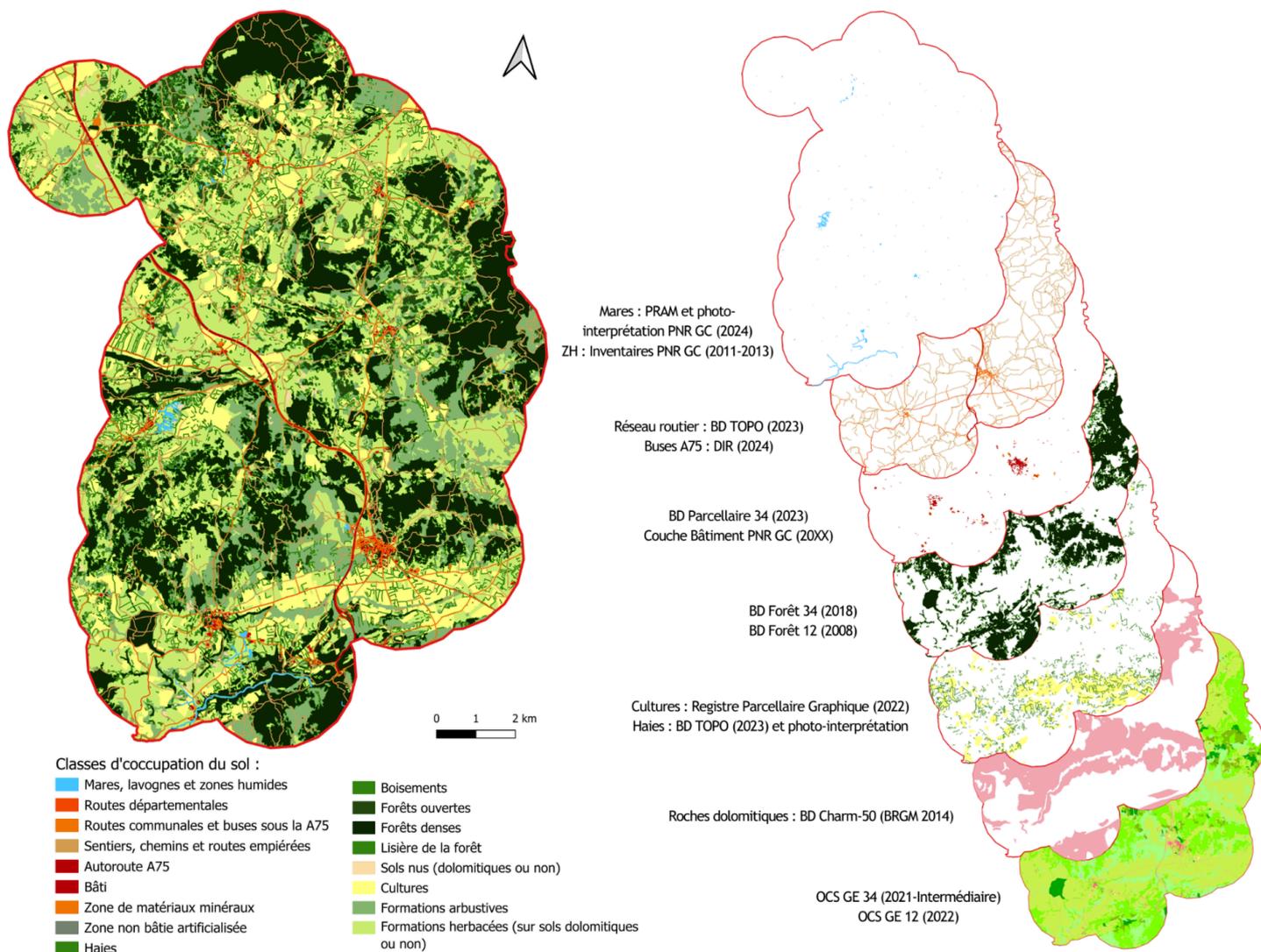


Figure 6: Compilation des occupations du sol pour la carte d'OS finale employée pour la modélisation (Devanne, 2024)

Les couches aveyronnaise et héraultaise de la BD TOPO, de la BD Forêt et de l'OCS GE ont préalablement été fusionnées et découpées selon les limites de la zone d'étude pour la modélisation avant d'être traitées comme décrit ci-dessous.

1.4.1 Réseau de transports

Les données concernant les voies de transport sont contenues dans la BD Topo 2023⁵. Après avoir récupéré BD Topo héraultaise et aveyronnaise et découpé les données selon l'emprise de notre zone d'étude, un traitement *Différence* est peut être nécessaire pour supprimer les voies cartographiées en doublons sur les deux départements.

⁵ [BD TOPO@ Version 3.3 - Descriptif de contenu \(ign.fr\)](#)

Pour l'OS **Autoroute A75**, extraire les entités '*Type autoroutier*' de la colonne NATURE de la table d'attributs de la BD TOPO 12 et 34. Pour cela sélectionner les entités souhaitées (manuellement ou par recherche avec une requête) puis sur la couche *BD TOPO < Exporter < Sauvegarder les entités sélectionnées sous...* Sur une orthophoto, avec l'outil de mesure, la largeur maximale de l'autoroute est estimée, ici environ 40 m pour les 4 voies. Nous pouvons ensuite convertir la couche linéaire en polygone grâce à la réalisation d'un tampon de 10 m (*Vecteur < Outil de géotraitement < Tampon*). L'autoroute étant constituée de 2x2 voies, la largeur lorsque toutes les voies sont regroupées sera égale à 40 m. Quelques corrections manuelles de la géométrie des polygones peuvent être réalisées pour plus de précision.

Pour l'OS **Sentiers et chemins**, extraire les entités '*chemin*', '*sentier*' et '*Route empierrée*' dans la colonne NATURE de la table d'attribut BD TOPO comme pour l'autoroute. Puis réaliser un tampon de 2,5 m sur cette nouvelle couche pour que le chemin fasse 5 m de largeur et soit par la suite visible sur la couche raster (suite à la rasterisation 5 m de notre OS vectorielle).

Pour l'OS **Routes départementales** et **Routes communales**, extraire séparément les entités en fonction de la colonne IMPORTANCE⁶. Mesurer sur l'orthophoto la taille de la route en moyenne, ici la moyenne de la largeur des routes est de 4 m par voie, soit 8 m. Faire un tampon de 4 mètres sur le linéaire de routes.

1.4.2 Éléments urbains

Les zones urbaines sont des éléments construits par les sociétés humaines, correspondants à des bâtiments, des zones imperméabilisées associées ou non aux voies de circulations ou bien à des espaces situés dans les cœurs urbains, perturbant fortement le développement de la faune et de la flore. Pour les amphibiens les zones construites et les cœurs urbains correspondent à des obstacles majeurs pour le déplacement et/ou l'habitation, la pollution et l'écrasement par des véhicules étant des facteurs impactant l'espérance de vie de ces espèces aux migrations saisonnières importantes.

Pour l'OS **Bâti**, qui représente toutes les constructions sur la ZE, récupérer et fusionner les couches du PNR GC et de la BD Parcellaire 34 - ou bien les entités '*CS1.1.1.1 - Zones bâties*' dans la colonne Couverture de l'OCS GE 12 et 34 dans le cas où l'accès aux couches mentionnées serait restreint - et faire un ajout d'entités ou des corrections géométriques si nécessaire. Par la suite, réaliser un tampon de 2,5 m autour du bâti de la couche nouvellement créée par la fusion, afin de rendre visible sur le raster de 5m le plus petit des polygones de la couche.

Pour l'OS **Zones non bâties anthropiques**, il nous faut extraire et fusionner les entités '*CS1.1.1.2 - Zones non bâties*' ainsi que '*CS1.1.2.1 - Zones à matériaux minéraux*' dans la colonne Couverture de

⁶ [BD TOPO® Version 3.3 - Descriptif de contenu \(ign.fr\)](#)

l'OCS GE 12 et 34. Ces polygones représentent les surfaces d'origine anthropique tels que les parkings, les carrefours à sens giratoire, et autres surfaces imperméabilisées et/ou situées en plein cœurs urbains.

1.4.3 Eléments 'naturels'

Les éléments dit 'naturels' de la zone d'étude correspondent à des zones naturelles composées de végétation, d'eau et de roche - pouvant être d'origine anthropiques (ex : les haies, les forêts ou les prairies temporaires) - servant de lieu d'habitat privilégié pour les amphibiens pour accomplir leur cycle de vie : se nourrir, se déplacer, hiverner et se reproduire.

Pour l'OS **Cultures**, on peut réaliser une extraction des entités dans la colonne CODE_GROUP du RPG 2022 suivantes : '1' (Blé tendre), '2' (Maïs), '3' (Orge), '4' (Autres céréales), '5' (Colza), '8' (Protéagineux) et '16' (Fourrages) correspondant à des parcelles cultivées ⁷ et sauvegarder les entités sélectionnées sous : *Parcelles_agricoles_cultivees*. Ces polygones représentent donc l'ensemble des parcelles en cultures recensées en 2022.

Pour l'OS **Haies**, il faut récupérer les données du dossier HAIES dans la BD TOPO 12 et 34 préalablement fusionnées. Cette couche est complétée en traçant manuellement la géométrie linéaire des haies par photo-interprétation. Puis réaliser un tampon de 4 m sur le linéaire de haie (largeur des haies = 8 m) pour qu'elles soient visibles sur le raster de 5 m.

Pour l'OS **Sols nus dolomitiques** et **Sols nus non dolomitiques**, ce sont les polygones qui représentent les sols nus affleurants, autres que les sols nus agricoles. Ils sont divisés en sols dolomitiques - des sols plutôt meubles, sableux - et non dolomitiques (calcaires et autres). Il faut extraire les entités '*CS1.2.1 - Sols nus*' dans la colonne Couverture de l'OCS GE 12 et 34 dans une couche appelée *Sols_nus_OCS_GE*. Faire par la suite les corrections géométriques par photo-interprétation nécessaires. En parallèle, extraire les entités dolomitiques de la BD Charm-50 du BRGM en les sélectionnant dans la colonne DESCR et les enregistrer dans une couche *Dolomies_BRGM*. Sur la couche *Sols_nus_OCS_GE* faire un traitement *Intersection* avec en couche source les *Sols_nus_OCS_GE* et couche de superposition *Dolomies_BRGM* en enregistrant sous le nom de *Sols_nus_dolomtq*. Puis, faire un traitement *Différence* avec en couche source *Sols_nus_OCS_GE* et en couche de superposition les *Sols_nus_dolomtq*, enregistrer sous le nom de *Sols_nus_non_dolomtq*.

Pour l'OS **Forêts ouvertes**, **Forêts denses** et **Boisements**, il faut fusionner les entités '*CS2.1.1.1 - Peuplements feuillus*', '*CS2.1.1.2 - Peuplements conifères*' et '*CS2.1.1.3 - Peuplements mixtes*' des OCS GE 12 et 34 et enregistrer sous *Forets_OCS_GE*. Faire des corrections de la géométrie par photo-interprétation si nécessaire. Réaliser un tampon (de 0 m) pour fusionner l'ensemble des

⁷ [Dossier-PAC-2023_notice_cultures-precisions.pdf \(agriculture.gouv.fr\)](#) Précisions sur le code culture

entités qui se touchent. Calculer la surface des entités avec la calculatrice de champs (\$area). Extraire les entités < 5 000 m² en *Boisement_inf-5000m2* et les entités > 5000 m² en *Forêts_sup-5000m2*. Utiliser le géotraitement Intersection sur cette couche source *Forêts_sup-5000m2* et une sélection des entités 'Forêt dense' dans la colonne *BDForet_Ty* de la couche BD Forêt 12. La couche résultante sera nommée *Foret_dense_sup-5000m2*. Sur cette couche réaliser un tampon de -10m pour obtenir *Coeur_foret_dense*. Pour les forêts ouvertes, faire une Différence entre les couches *Forêts_sup-5000m2* et *Foret_dense_sup-5000m2* que l'on peut nommer *Foret_ouverte_sup-5000m2*. Sur cette couche réaliser un tampon de -10m pour obtenir *Coeur_foret_ouverte*.

Pour l'OS **Lisière de forêt**, il faut appliquer un traitement *Différence* entre la couche *Forêts_sup-5000m2* et les couches *Coeur_foret_dense* et *Coeur_foret_ouverte*. Les couches résultantes sont les lisières de forêts que l'on peut fusionner pour donner la couche *Lisieres_foret_10m*.

Pour l'OS **Points d'eau et Zones humides**, ce sont des polygones représentant les points d'eau permanents et temporaires : mares, bassins, réservoirs, etc. Pour l'étude, ils sont triés en 3 catégories : (1) les points d'eau en eau en 2024 sur les 3 communes; (2) les points d'eau vides en 2024 sur les 3 communes et (3) les points d'eau en dehors des des 3 communes mais dans le tampon de 1,5 km. Pour récupérer les points d'eau, extraire la catégorie 'CS1.2.2 - Surfaces eau' de l'OCS GE 12 et 34. Compléter avec la cartographie par photo-interprétation l'ensemble des points d'eau de la zone d'étude. Si nécessaire, y associer des vérifications terrain pour les éléments nouveaux, en particulier les mares qui ne sont pas prises en compte dans l'OCS GE. Dans la définition de la mare du PRAM, il nous faut une entité < 5000m². Nous allons donc calculer l'aire (calculatrice de champs - formule = \$area) puis enregistrer séparément les entités supérieures et inférieures à 5000 m². Pour les zones humides, les données sont complétées à l'aide des inventaires des zones humides du PNR GC 2011-2013.

/!\ Toute mare ayant une surface inférieure à 25 m² (correspondant à un carré de 5x5 m) doit être extrapolée pour être visible sur le raster 5 m.

Pour l'OS **Formations herbacées dolomitiques** et **Formations herbacées non dolomitiques**, les polygones représentent l'ensemble des surfaces à la végétation herbacée. Tout comme pour les sols nus, elle est divisée en 2 catégories : végétation herbacée sur sols dolomitiques et végétation herbacée sur sols non dolomitiques. Récupérer les entités 'CS2.2.1 - Formations herbacées' des OCS GE 12 et 34 et les entités avec le CODE_GROUP : '11', '18', '19', '25' et '28' correspondant à des formations herbacées dans le RPG 2022. Nommer la couche *Formations_herbacees*. Faire des corrections géométriques et ajout d'entités par photo-interprétation si nécessaire. Extraire les entités dolomitiques en les sélectionnant dans la colonne DESCR et enregistrer dans une couche *Dolomies_BRGM*. Faire un traitement *Intersection* avec en couche source les *Formations_herbacees*

et en couche de superposition *Dolomies_BRGM* en enregistrant sous le nom de *Form_herbacees_sols_dolomtq*. Faire un traitement *Différence* avec en couche source *Formations_herbacees* et en couche de superposition les *Form_herbacees_sols_dolomtq*, enregistrer sous le nom de *Form_herbacees_non_dolomtq*.

Pour l'OS **Formations arbustives**, ce sont des polygones correspondant aux surfaces de végétation arbustives, buissonnantes correspondant à la première strate de la fermeture des milieux. Récupérer les entités '*CS2.1.2 - Formations arbustives et sous-arbrisseaux*' ainsi que '*CS2.1.3 - Autres formations ligneuses*' des OCS GE 12 et 34. Puis les entités avec le CODE_GROUP '17' correspondant aux estives et landes dans le RPG 2022. Nommer la couche *Form_arbustives* et faire les corrections de polygones nécessaires par photo-interprétation.

1.4.4 OS de la zone d'habitat terrestre (HT)

Au sein de la modélisation, les habitats terrestres aux alentours des points d'eau ont été inclus. Un tampon de 250 m a été déterminé (en accord avec la Fiche IECMA complémentaire à cette Fiche Modélisation), il s'agit de la zone dans laquelle les amphibiens vont migrer après la reproduction. Pour chaque mare, les OS correspondant aux préférences d'habitat terrestre chez l'espèce étudiée (cf. figures 3 et 5) sont découpées avec le traitement *Couper*. Par exemple, les couches sols nus boulimiques, les formations arbustives et les formations herbacées ont été découpées au sein de ce tampon de 250 m pour former une OS à part entière qui correspondra à l'habitat terrestre (HT).

La dernière étape consiste à convertir la carte d'OS vectoriels créée en carte raster de résolution 5 m. Nous avons vu que pour que les éléments les plus fins apparaissent sur cette carte finale, tels que les mares ou les chemins-sentiers, il faut que leur taille minimale soit de 5m x 5m. Cela engendre évidemment une surestimation de la taille réelle de ces éléments dans le paysage qui est un des biais de cette modélisation.

1.5 Carte d'OS finale et rasterisation

La carte d'OS injectée dans graphab pour la modélisation des graphes est un raster. Il va donc falloir convertir les couches vecteurs assemblées en une unique carte raster. Il est important de noter que la superposition des couches définit leur apparition sur le raster. En fonction de l'espèce étudiée, les couches ne se superposent pas de la même façon, par exemple, une espèce aquatique de type poisson va se déplacer le long des rivières et une construction de type 'pont' ne sera pas un obstacle à son déplacement, la couche vecteur 'linéaire aquatique' sera donc placée au-dessus de la couche contenant le pont. Dans le cas de cette étude, 2 cartes d'OS seront réalisées car les occupations du sol diffèrent pour le pélobate et le triton marbré mais la logique de superposition reste la même car ce sont des amphibiens dont le déplacement est similaire.

Le choix de la superposition des couches se fait grâce aux sources bibliographiques et à une réflexion autour de la logique de déplacement de ces espèces au sein de la matrice paysagère. La colonne 'N°' du tableau ci-dessous détaille la superposition des OS pour l'étape de rasterisation.

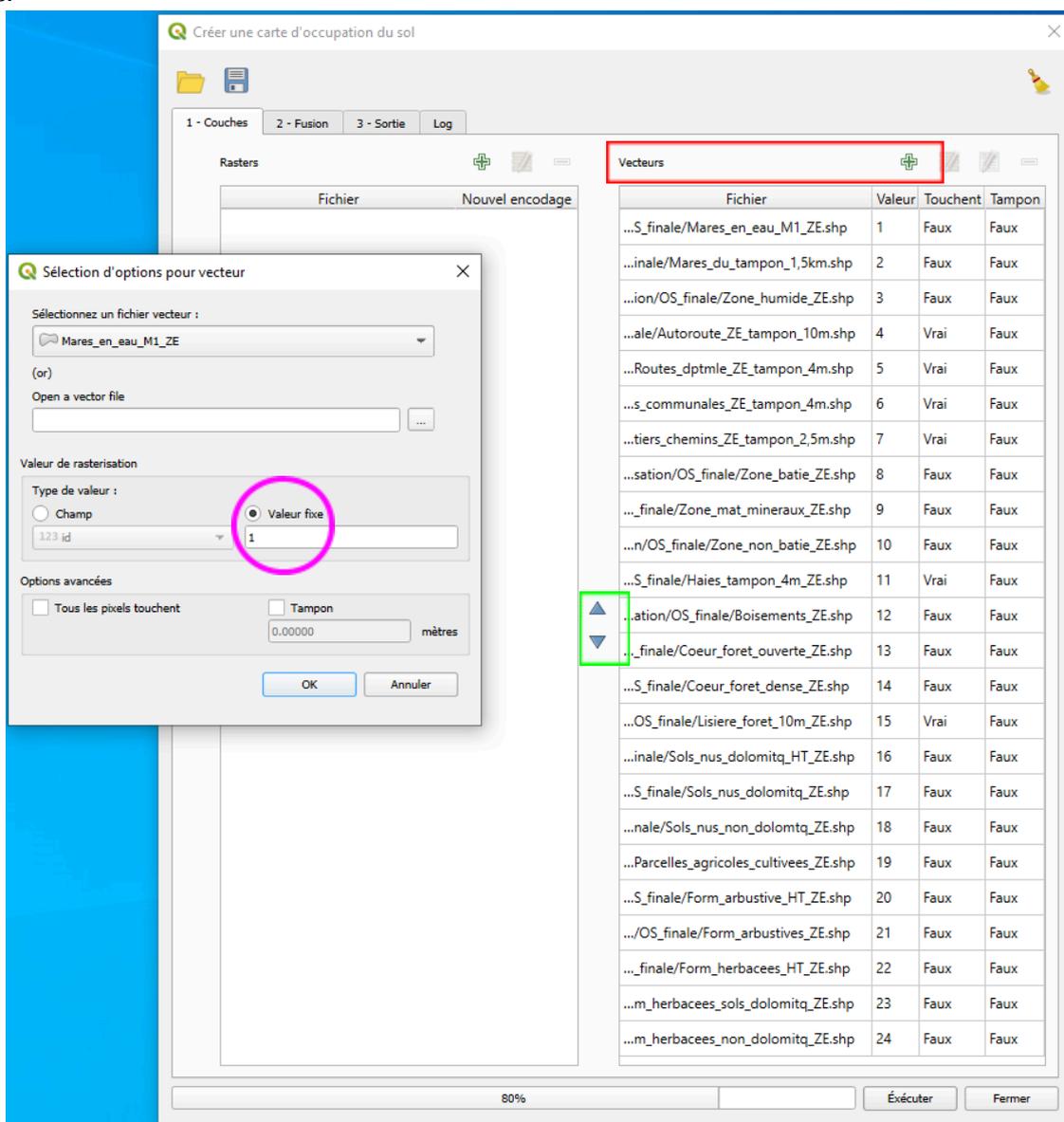
Après cette étape de classification des OS, il faut lancer la création de la carte avec



l'extension Graphab sur Qgis sur 'Création d'une nouvelle carte' :

Il faudra alors rajouter une à une les couches vecteur⁸ en leur attribuant le code correspondant à classement (cf. figure 7). Pour les éléments linéaires, cocher l'option 'all pixels touch' afin de modéliser l'élément linéaire au complet sur le raster final (cf. figure 8)

Figure 7 : Onglet 1-Couches de 'Créer une carte d'occupation du sol' dans l'extension Graphab sur Qgis.



⁸ S'il s'agit d'une couche raster que l'on ajoute, il faudra rentrer les fichiers dans la colonne raster à gauche.

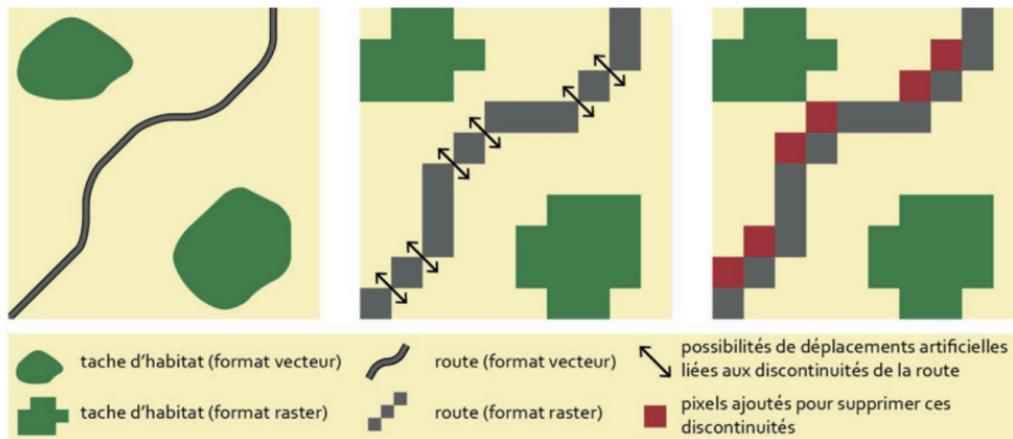
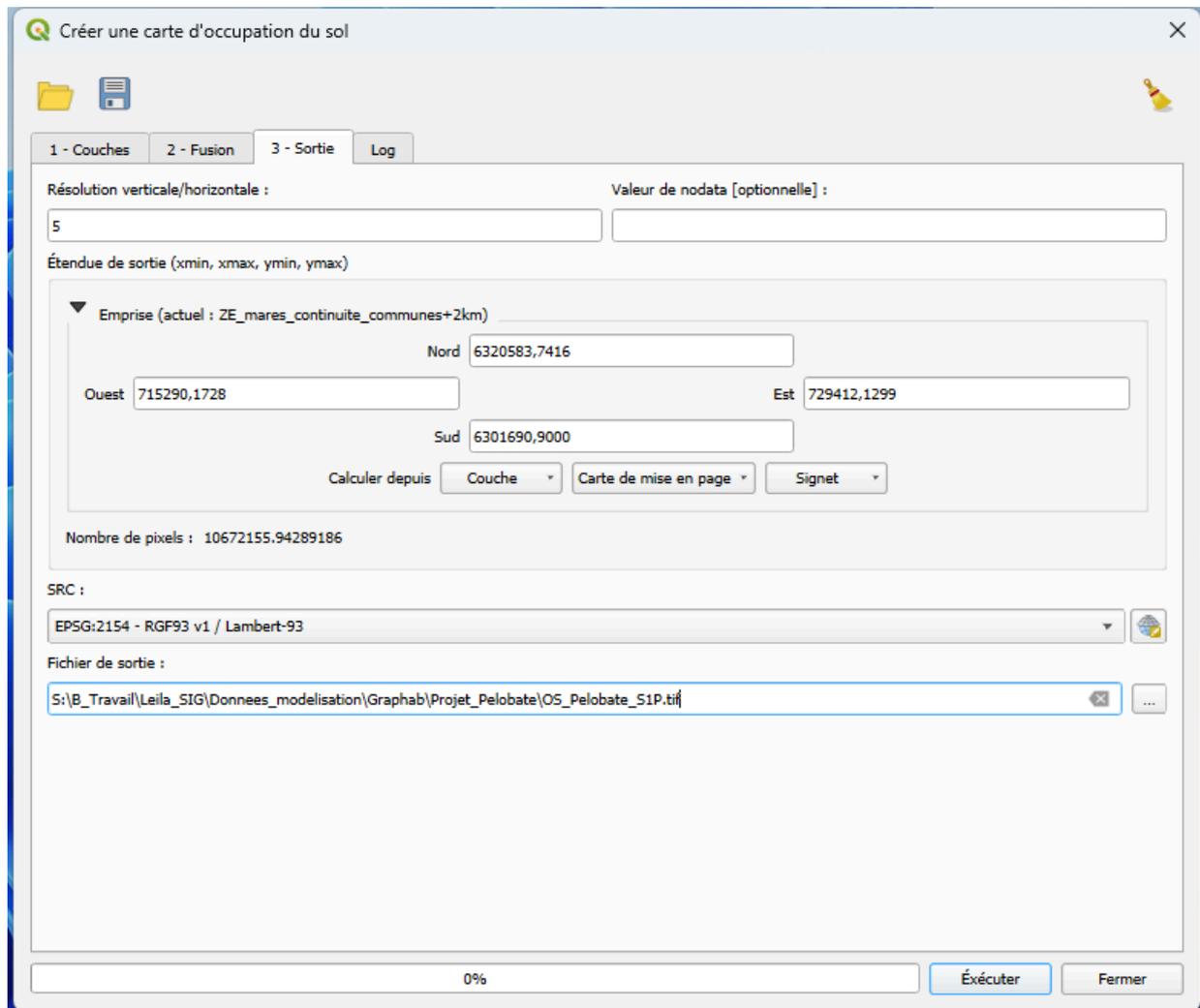


Figure 8 : Rôle de la fonction 'all pixels touch' pour que le corridor linéaire ne soit pas discontinu par sa pixellisation (Chailloux et *al.*, 2024)

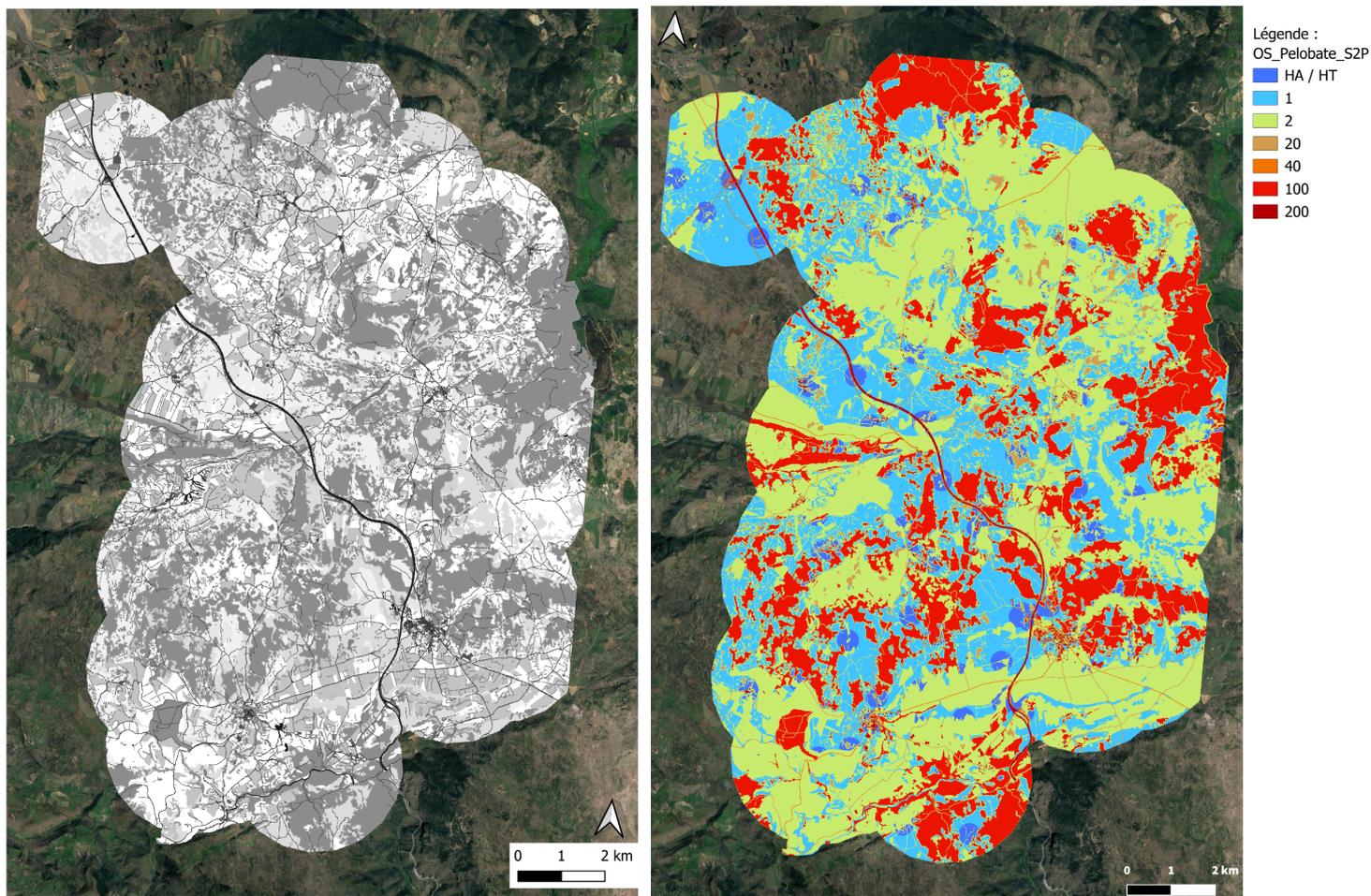
Une fois la totalité des couches insérées, numérotées et classées par ordre de superposition (à l'aide des flèches bleues dans le carré vert, figure 7) passer à l'onglet 2-fusion pour vérifier chacune des données rentrées. Si toutes les données ne sont pas comme souhaité, revenir à l'étape précédente et modifier les couches. Si les couches sont ok, passer à l'onglet 3-Sortie (cf. figure 9) et remplir les encarts dans l'ordre : la résolution, elle correspond à la taille des pixels du raster, ici c'est 5 m de côté car la zone d'étude est petite. Si la zone d'étude est à une échelle plus large, la résolution peut passer à 10 m afin de réduire les temps de calculs réalisés sur Graphab par la suite. La valeur de nodata correspond à la valeur des pixels qui n'ont pas de valeur justement. Il faut éviter qu'il y ait des pixels sans valeur mais parfois, quelques pixels passent inaperçus et cette étape leur attribue une valeur. Lorsqu'aucune valeur est rentrée, la valeur par défaut est le code 255 ou 999, c'est pourquoi lors de cette étape je ne marque aucune information. L'emprise correspond à la couche de la zone d'étude, elle peut directement être calculée en cliquant sur 'Couche' et en la sélectionnant parmi celles du projet Qgis en cours. Le SCR est le même référentiel que celui du projet Qgis avec toutes les couches vecteurs. Et finalement, il ne reste qu'à nommer et enregistrer la carte dans le bon dossier : OS_Pelobate_S1P (pour Occupation du sol du Pélobate cultripède, scénario 1 du Pélobate).

Figure 9: Onglet 3-Sortie de la création d'une carte d'OS avec l'extension Qgis sur Graphab.



En cliquant sur 'Exécuter' la création se lance. Si jamais les calculs se bloquent, il faudra recommencer les étapes à l'onglet 1-Couches. Le résultat obtenu sur Qgis est la carte à gauche de la figure x, et les OS peuvent être classés pour visualiser la matrice paysagère rasterisée comme sur la figure x à droite.

Figure 10 : Résultat de la rasterisation des couches vecteurs d'occupation du sol pour la modélisation du Pélobate cultripède scénarios S2P. La carte à gauche est la carte d'OS brute, la carte à droite représente chaque pixel en fonction de son coût.



L'ensemble des cartes d'OS réalisées sont disponibles en annexes. Le choix des OS et le niveau de précision (résolution) sont à adapter à la zone d'étude. Il dépendent de l'objectif et de l'échelle de l'étude, et, des moyens à disposition. Une zone d'étude englobant le périmètre PNR des Grands Causses ne pourra être rasterisée à 5m (résolution trop fine) : les traitements Graphab et Qgis qui s'en suivent seront chronophages, voire impossibles, en fonction de la puissance de l'appareil informatique utilisé.

2. MODÉLISATION DES DÉPLACEMENTS SUR GRAPHAB

De la même façon que pour la réalisation des cartes d'occupation des sols, cette partie décrira chacune des étapes de la modélisation : de la réflexion des espèces à étudier sur la zone d'étude choisie, aux 'scénarios' de modélisation proposés jusqu'à la création des graphes sur *Graphab* et au calcul des métriques réalisées.

2.2 Scénarios et modélisations

Afin de comprendre le choix des scénarios, il nous faut rappeler les objectifs de cette modélisation. Nous souhaitons identifier les trames de déplacements du Pélobate cultripède et du Triton marbré, analyser la fonctionnalité du réseau de mares et de la matrice paysagère vis-vis de ces espèces et tenter de quantifier l'impact - positif comme négatif - de la A75 présente sur la zone d'étude. Par ailleurs, la bibliographie concernant la dispersion du Pélobate et du triton marbré étant très contrastée, nous avons opté pour une double réalisation de chaque scénario avec les distances de dispersions maximales de 1 000 m et de 1 500 m. Pour finir, sur le terrain, lors des prospections diurnes des mares, nous avons constaté que certaines n'étaient pas en eau. C'est le cas de 8 des 75 mares visitées sur le terrain entre février et juin 2024. Il s'agissait pour 5 d'entre elles de lavognes à sec, potentiellement par manque d'étanchéité et qui pourraient être restaurées afin de stocker à nouveau de l'eau. Pour les 3 autres ce sont des mares naturelles qui ont fini par se combler, subir la fermeture des milieux ou dont la couche imperméable est désormais perméable laissant l'eau s'infiltrer. Avec l'ensemble de ces informations nous pouvons désormais décrire et justifier les scénarios du tableau suivant.

Figure 11 : Tableau des douze scénarios explorés, modélisés et analysés dans le cadre de notre étude sur la fonctionnalité des réseaux écologiques pour les amphibiens du Sud-Larzac.

	Pélobate cultripède		Triton marbré	
	1 000 m	1 500 m	1 000 m	1 500 m
Uniquement les mares en eau en 2024	S1P	S1P Bis	S1M	S1M Bis
Toutes les mares du territoire	S2P	S2P Bis	S2M	S2M Bis
Toutes les mares mais sans la A75 et ses bassins d'eau	S3P	S3P Bis	S3M	S3M Bis

Scénario 1 (S1-) : Il s'agit du scénario permettant de faire le diagnostic de la fonctionnalité du réseau de mare à l'état initial, c'est-à-dire, tel qu'il est en 2024. Pour cela, nous allons prendre en compte uniquement les mares fonctionnelles, soit en eau lors des prospections 2024. Comme nous l'avons dit, 2 distances maximales de dispersion seront calculées lors de la modélisation, et ce, pour les 2 espèces. Il existe 2x2 scénarios distincts (S1P/S1P Bis et S1M/S1M Bis) pour chaque

espèce car les cartes d'OS sont différentes au vu des préférences pour les milieux ouverts du Pélobate cultripède et des milieux plutôt boisés pour le Triton marbré.

Scénario 2 (S2-) : Dans ce scénario, on prend en compte la totalité des mares existantes sur la zone d'étude, qu'elles soient en eau ou à sec cette année. Cela va permettre d'identifier l'importance au sein du réseau des mares à sec et de, peut-être, prioriser leur restauration en fonction de cette importance. Il s'agit donc des scénarios S2P et S2P Bis ainsi que S2M et S2M Bis.

Scénario 3 (S3-) : Ce scénario est la modélisation permettant de quantifier, notamment à l'aide de la métrique globale de connectivité équivalente, l'impact de l'autoroute sur cette connectivité. Ainsi, nous pourrions peut-être constater si l'autoroute a sectionné définitivement le territoire en 2 et de savoir si les bassins d'autoroute, bien que ce ne soit pas des points d'eau optimales pour le développement des amphibiens, pourraient servir de points relais et compenser la perte de connectivité si c'est le cas. Il ne s'agit pas de faire une analyse diachronique de l'ensemble des éléments paysagers et de constater la perte de connectivité entre les années 70 (avant autoroute) et aujourd'hui, mais uniquement de retirer l'autoroute sur la carte d'OS afin d'isoler ce paramètre et le tenter de le quantifier 'seul'. Et, puisqu'il ne s'agit pas d'une analyse diachronique complète, nous n'allons pas comparer la représentation des déplacements sur une carte mais plutôt comparer les métriques avec les autres scénarios, c'est l'aspect quantitatif qui nous intéresse ici. Ainsi, la totalité des mares existantes ont été prises en compte pour cette modélisation, qu'elles soient en eau ou non en 2024 et il en résulte les scénarios S3P, S3P Bis et S3M, S3M Bis.

Nous rappelons que la carte d'occupation du sol doit être adaptée au scénario et à l'espèce au vu des préférences d'habitat contrastées. C'est pourquoi 6 cartes d'occupation des sols différentes ont été produites dans le cadre de cette étude. Les distances de dispersion maximales, tout comme le coût de résistance des pixels, sont renseignées lors de l'utilisation de *Graphab* et ne nécessitent pas la création de cartes supplémentaires.

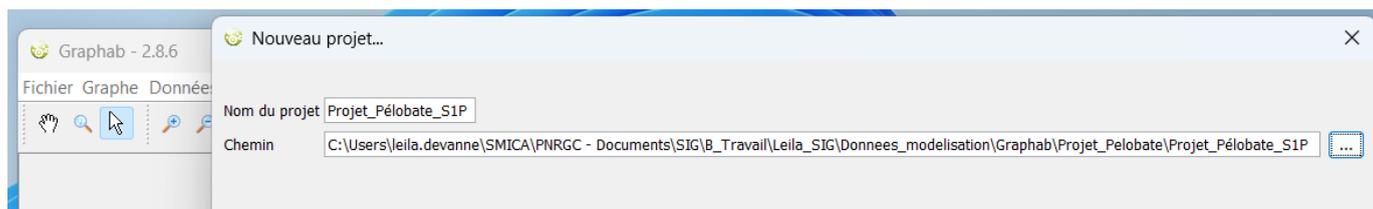
2.3 Traitements sur Graphab

Après la réalisation des cartes d'occupation du sol, la préparation des coûts de résistance des pixels des OS et de la dispersion maximale ainsi que la sélection des scénarios de modélisation à produire, nous allons pouvoir réaliser les traitements sur Graphab. Chaque étape de traitement est décrite et illustrée ci-dessous afin de guider la totalité des étapes de modélisation, les traitements post-modélisation et de mise en page seront précisés dans une troisième partie.

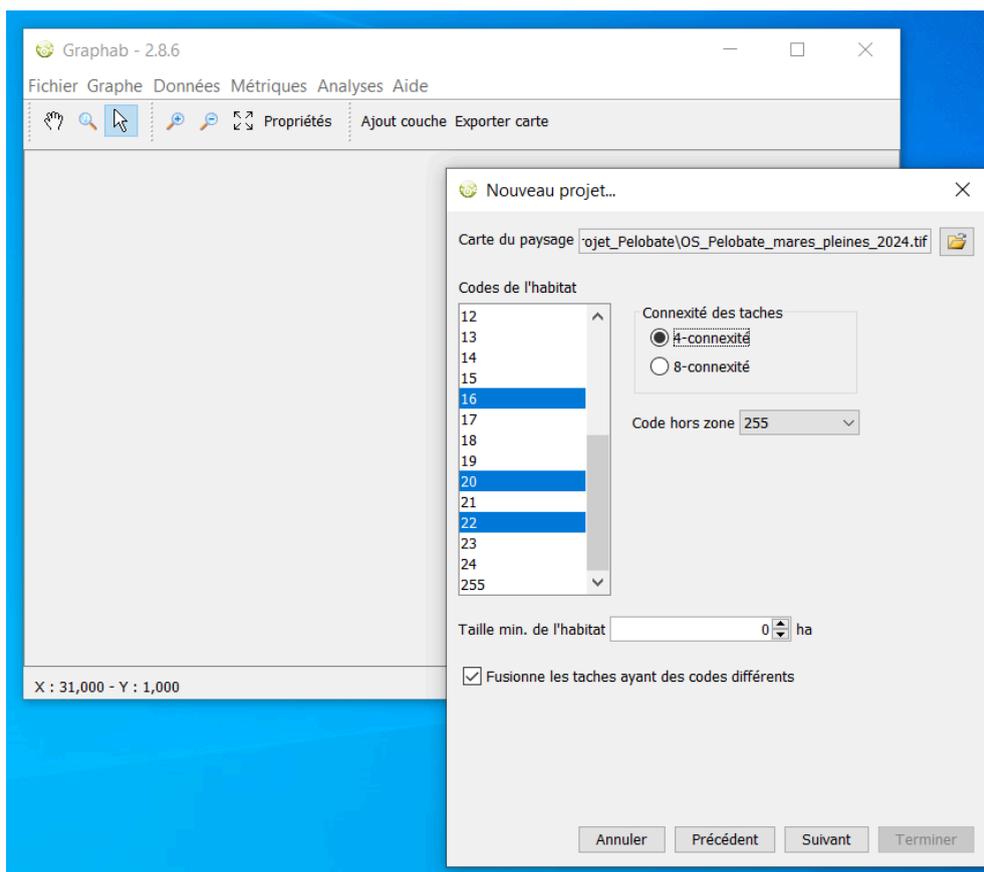
2.3.1 Projet et jeu de liens sur Graphab

Après avoir stabilisé définitivement les coûts associés à chaque pixel d'OS, nous allons créer un projet sur Graphab. Pour l'installation du logiciel Graphab, voir la note 1. Une fois Graphab 2.8.6

ouvert, cliquer sur *Fichier* < *Nouveau projet*. Il faut attribuer un nom au dossier de ce nouveau projet que l'on crée et l'enregistrer à l'endroit souhaité.



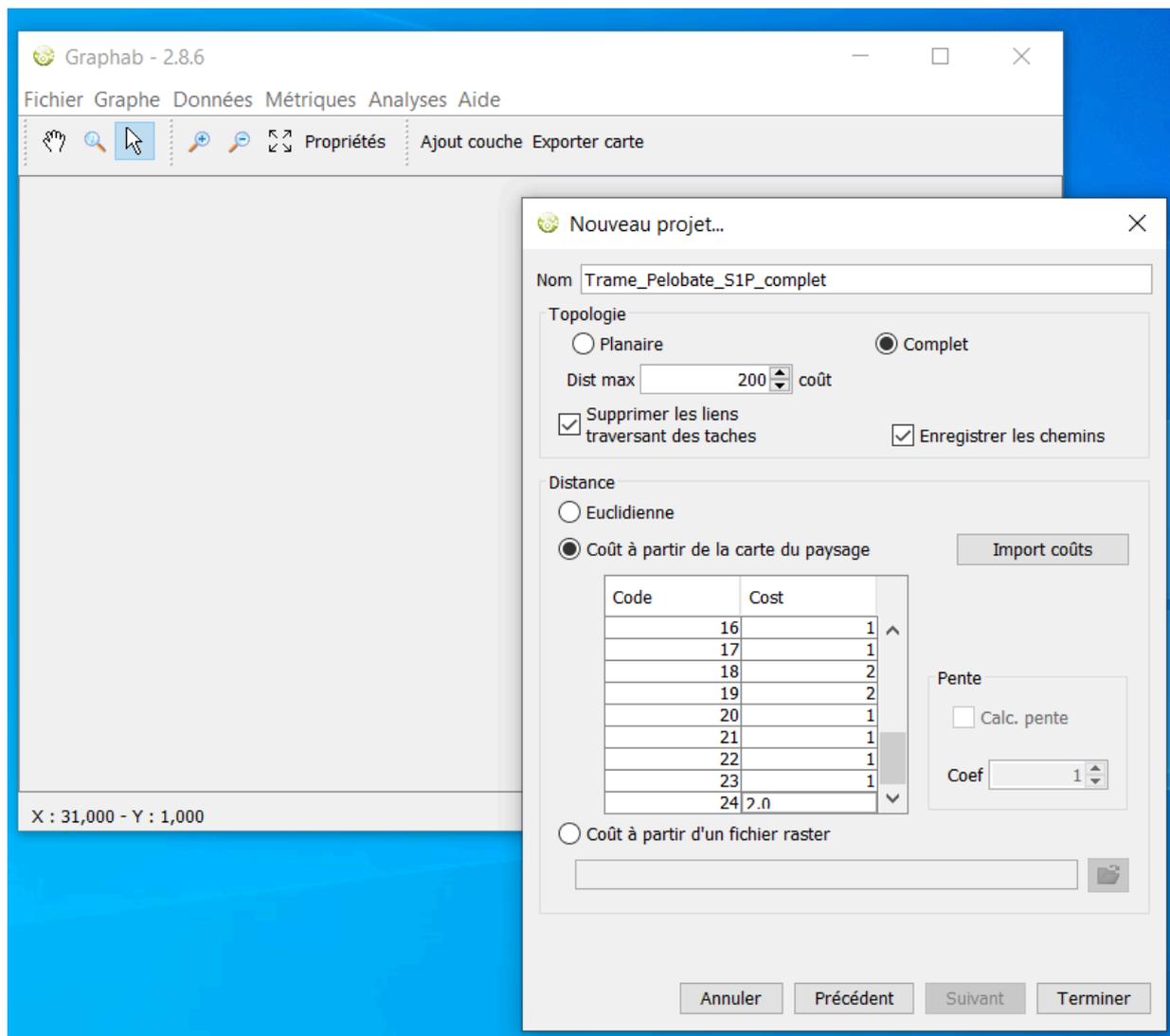
En cliquant sur *Suivant*, la page suivant s'affiche et l'on peut commencer à rentrer les éléments que nous avons minutieusement préparé dans les parties précédentes :



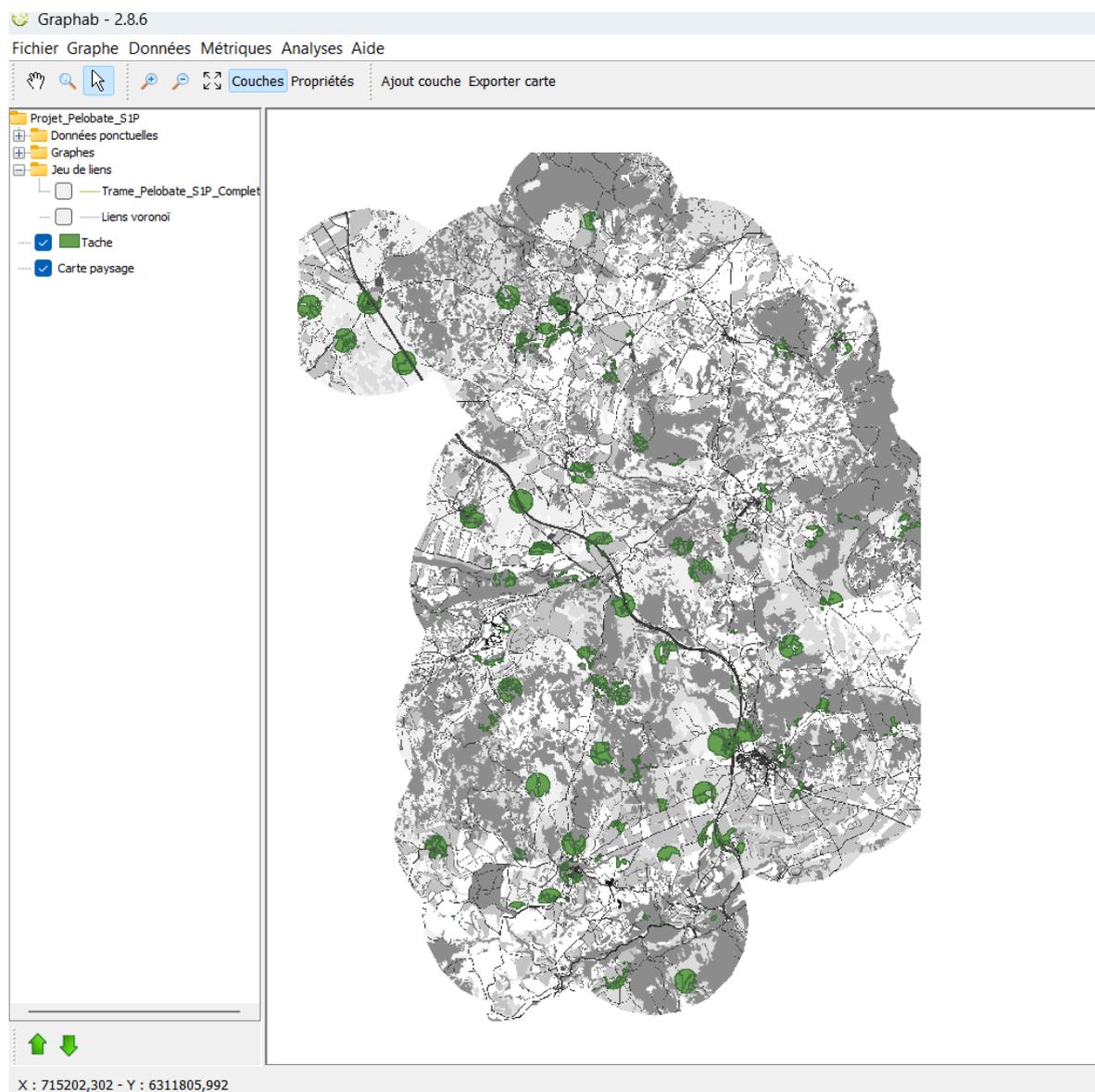
Il faut commencer par insérer la carte d'OS correspondant au scénario que l'on veut produire dans le volet Carte du paysage. Si tout va bien, les codes s'affichent automatiquement et il faut sélectionner un ou plusieurs codes habitats (Ctrl+sélection) correspondant aux réservoirs écologiques à partir desquels les chemins et corridors vont être calculés. En ce qui concerne la connexité des tâches, elle détermine si le déplacement de l'espèce se fait de pixel en pixel (4-connexité) ou bien prend en compte les diagonales pour se déplacer (8-connexité), j'ai sélectionné 8-connexités. Le code hors-zone correspond au code entré à l'étape précédente ou bien au code par défaut associés aux pixels sans valeur, soit 255. Pour les espèces de cette modélisation, aucune taille minimale d'habitat n'est nécessaire à renseigner, mais pour des espèces plus grandes, ou lorsque l'on a l'information, on peut la saisir. Pour finir, je coche

'fusionner les tâches ayant des codes différents' pour faciliter les calculs mais ce n'est pas nécessaire.

L'étape suivante est la création d'un jeu de liens, qu'il faut nommer, par exemple 'Trame_Pélobate_S1P_complet'. Une topologie 'planaire' correspond à un graphe élagué, avec uniquement des liens qui ne se croisent pas, et une topologie 'complet' va calculer la totalité des chemins. On choisit le type de topologie en fonction des métriques que l'on veut calculer par la suite ou bien vis-à-vis des temps de calculs (des calculs en complet seront plus chronophages en fonction de la puissance de l'ordinateur). Ensuite, dans le volet Distance, on clique sur Coût à partir de la carte des paysages et l'on renseigne les coûts préparés pour chacune de nos OS. On retourne sur le volet Topologie et on peut renseigner la distance maximale en coûts, dans le cas de mon Pélobate il peut parcourir 1000 m et ma résolution pixel est de 5 m ce qui correspond à un coût de 200 maximum. Je fais le choix de supprimer les liens traversant les tâches pour réduire les temps de calculs.



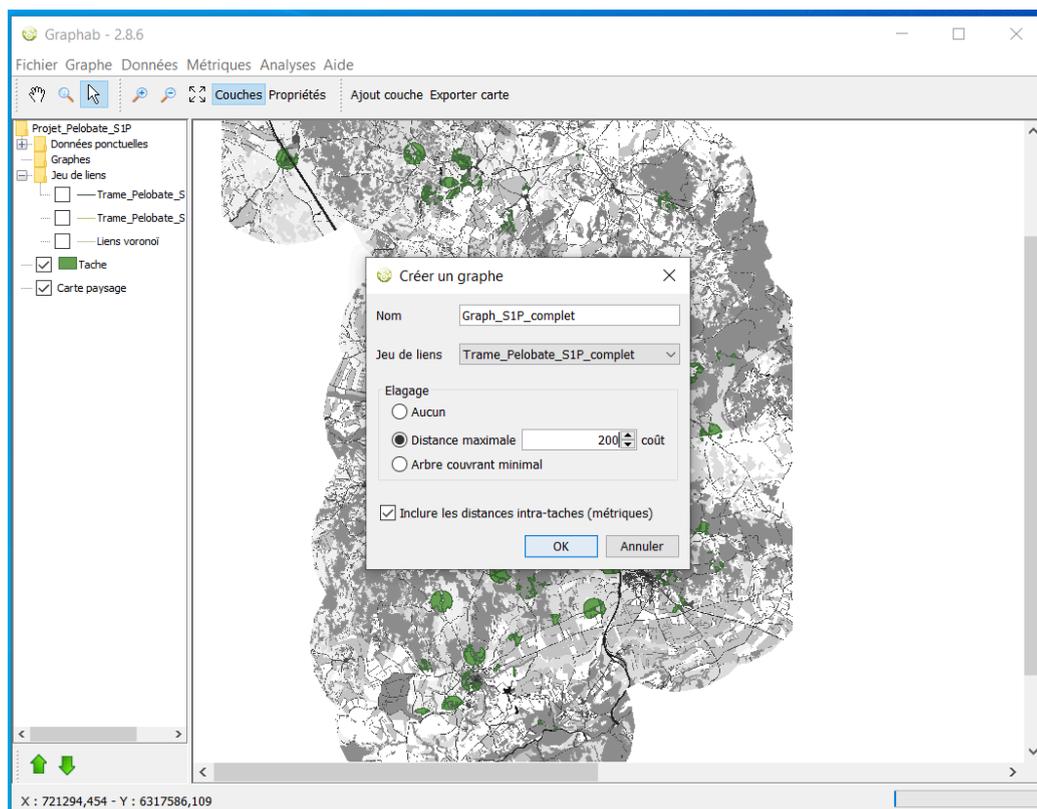
En cliquant sur *Terminer*, on obtient le résultats de la figure ci-dessous (il faut cocher ' *Tâche* ' et ' *Carte paysage* ' pour avoir le même visuel) :



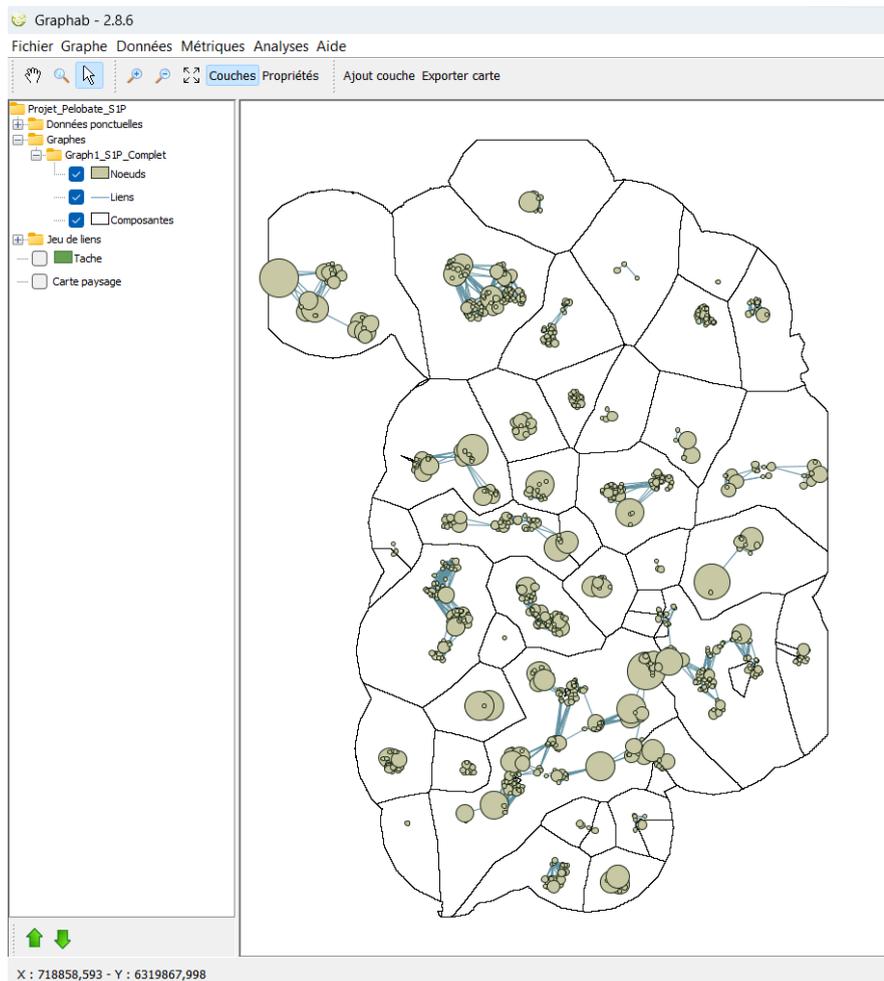
Le jeu de liens est créé, on peut désormais générer des graphes puis calculer des métriques.

2.3.2 Création d'un graphe

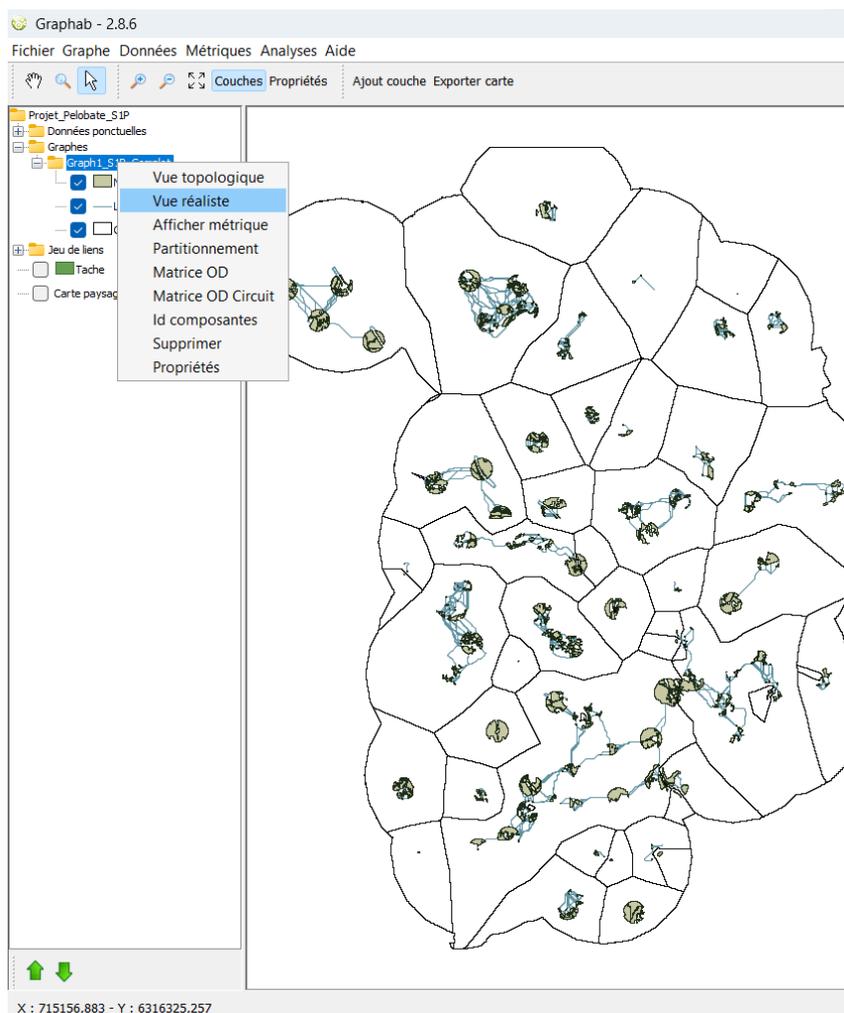
Il faut cliquer sur Graphes (barre du haut) puis sur 'Créer un graphe'. On lui attribue un nom et on sélectionne le jeu de lien avec lequel on veut réaliser le graphe : ici le nom est *Graph1_S1P_complet* car il s'agit du premier graphe du scénario S1P avec le jeu de lien complet. Je seuille le graphe à 200 coût qui correspondent à la distance maximale de dispersion de mon espèce et je coche l'option 'Inclure les distances intra-tâches' :



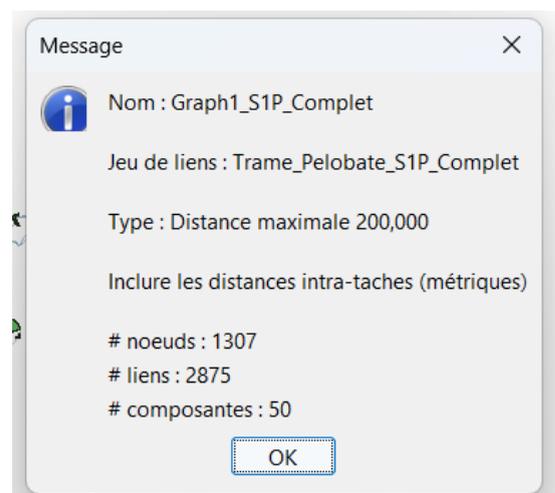
Le résultat de cette étape est le suivant :



En cliquant sur 'Graph1_S1P_Complet' on peut sélectionner l'option 'Vue réaliste' (voir figure ci-dessous) permettant d'ajuster les noeuds du graphes au contour des habitats sélectionnés :



Lorsque l'on a crée le graphe, on peut afficher ses propriétés en cliquant sur le Propriétés (figure ci-dessus). La boîte qui s'affiche est la suivante :



2.3.3 Calcul de métriques

Une fois les graphes réalisés, nous pouvons calculer des métriques. On peut se référer au manuel d'utilisation Graphab-2.8 pour le choix des métriques et de chaque paramètre : [manual-2.8-fr.pdf\(renater.fr\)](http://manual-2.8-fr.pdf(renater.fr))

2.3.3.1 Métriques sélectionnées

Pour cette étude deux métriques ont été utilisées : la métrique globale de Centralité Équivalente (EC) et la métrique locale Flux-circuit (CF). La centralité équivalente prend en compte la superficie d'habitat disponible et la connectivité entre ces patches d'habitats. Il s'agit d'une métrique globale car elle est calculée à l'échelle du paysage. La valeur EC calculée ne donne une information que si elle est comparée à une autre : c'est le taux de variation entre les EC calculées qui évalue le gain ou la perte de connectivité entre des scénarios différents (cf. figure 12 ci-dessous).

Figure 12 : Descriptif de la métrique EC dans le manuel d'utilisation [Graphab 2.8](#) (Clauzel et al., 2022)

Connectivité équivalente (EC)	Formule	Signification
Niveau global Niveau composante Delta	$EC = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_i a_j e^{-\alpha d_{ij}}}$	Racine carrée de la somme des produits de la capacité de tous les couples de taches pondérées par leur probabilité d'interaction.
Valeurs	L'unité correspond à l'unité des capacités des taches. Valeur minimale : 0 Valeur maximale : capacité totale des taches	
Commentaire	Pour chaque couple de taches, le chemin du graphe utilisé est celui qui maximise $e^{-\alpha d}$, c'est-à-dire celui qui minimise la distance d (ou le coût) entre les taches i et j .	
Référence	[Saura et al.(2011)]	

La métrique Flux circuit (CF) utilise la théorie des circuits électriques pour modéliser la connectivité écologique (McRae, 2008). Elle calcul la somme des flux qui traverse chaque réservoirs (ici la mare et ses habitats terrestres alentour) et permet d'identifier, d'une part, les habitats sources et d'autre part, les liens les plus importants soutenant ces flux. Cette métrique peut être vue comme un équivalent de la métrique BC, Indice de Centralité Intermédiaire, (avec $\alpha = 0$ et $\beta = 0$) mais qui tient compte de l'ensemble des chemins possibles et non pas uniquement du chemin le plus court.

Figure 13 : Descriptif de la métrique CF dans le manuel d'utilisation [Graphab 2.8](#) (Clauzel et al., 2022).

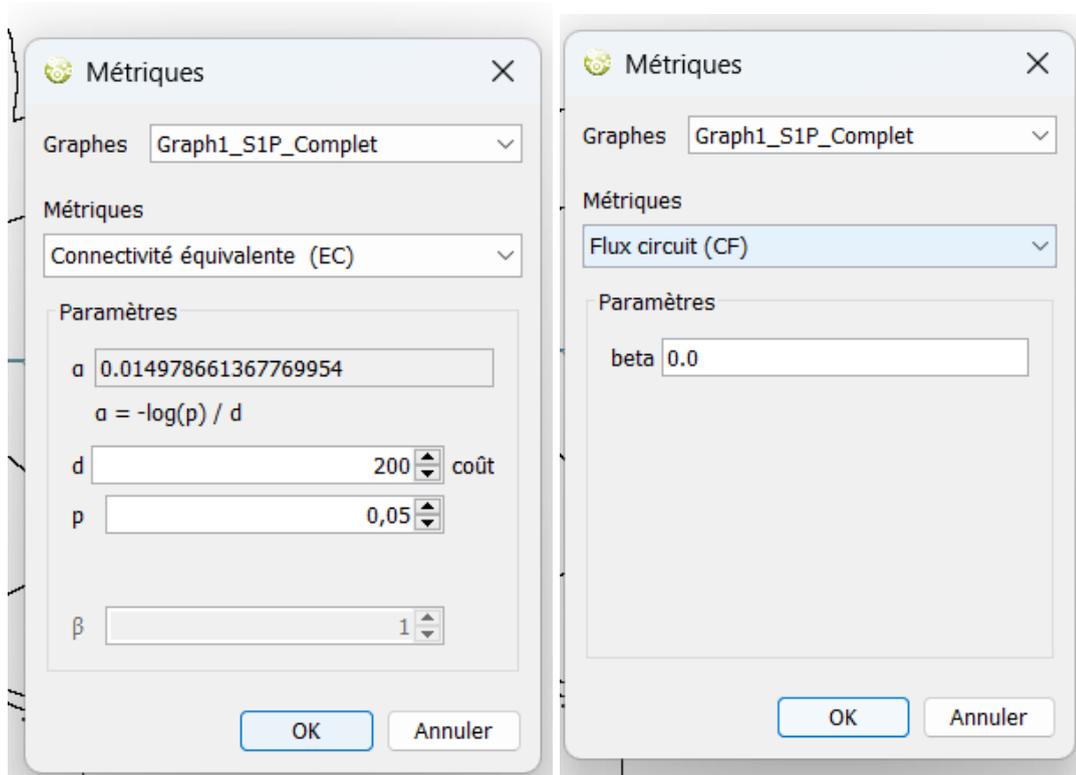
Flux circuit (CF)	Formule	Signification
Niveau local	$CF_i = \sum_j c_i^j$	Somme des courants traversant la tache focale i . c_i^j représente le courant à travers la tache i lorsque un courant est émis depuis toutes les taches vers la tache j (la tache j est reliée à la terre)
Valeurs	Valeur minimale : 0 Valeur maximale : $(n-1)(n-2)$ si $\beta = 0$ $(n-2) \sum_i^{n-1} a_i$ si $\beta = 1$	
Commentaire	La métrique CF utilise la théorie des circuits électriques. Chaque lien du graphe correspond à une résistance électrique, les sources de courants et la terre sont quant à elles attachées aux taches. Si $\beta = 0$ chaque tache émet un courant unitaire, si $\beta = 1$ chaque tache émet un courant égal à sa capacité. Cette métrique peut être vue comme un équivalent de la métrique BC (avec $\alpha = 0$ et $\beta = 0$) qui tient compte de l'ensemble des chemins possibles et non pas uniquement du chemin le plus court.	
Références	[Girardet et al.(2015)]	

Pour d'autres métriques, se référer au manuel d'utilisation Graphab 2.8 ou bien celui disponible sur le site de la TVB : fiche3_graphab_metriques.pdf (trameverteetbleue.fr)

2.3.3.2 Calcul des métriques sur Graphab

Une fois le graphe réalisé et les métriques étudiées, nous pouvons les calculer en cliquant sur le volet *Métrique < Calcul une métrique*. Sur la première ligne on indique le graphe à partir duquel on veut calculer la métrique (attention aux temps de calculs, notamment pour les delta-métriques). Puis remplir les paramètres comme ci-après :

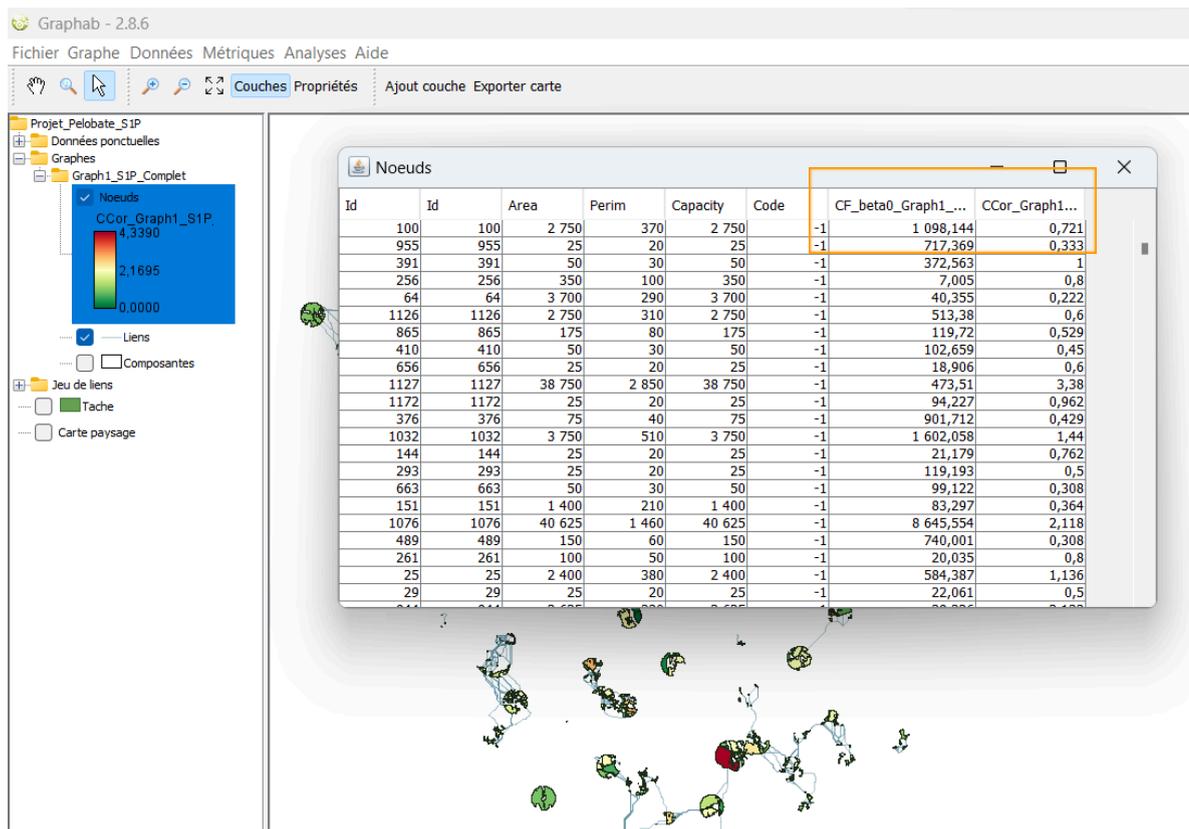
Figure 14 : Images des volet Calcul de métriques pour EC et CF



Comme pour le choix des métriques en fonction des usages de la modélisation, les paramètres des métriques peuvent être remplis à partir des livrets et guides Graphab.

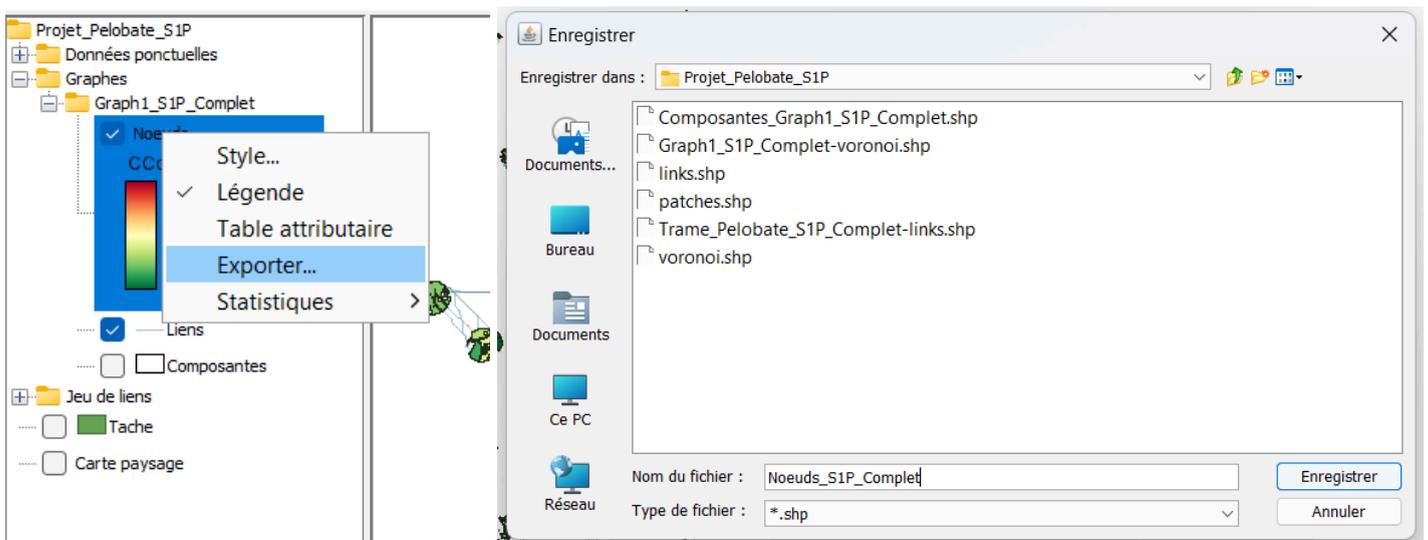
Lorsqu'une métrique est calculée (sauf pour les métriques globales), les résultats seront affichés dans la table d'attribut des nœuds et liens des graphes (cf. figure 15).

Figure 15: Table d'attribut des nœuds d'un graphe complet après avoir calculé les métriques CF et Ccor.



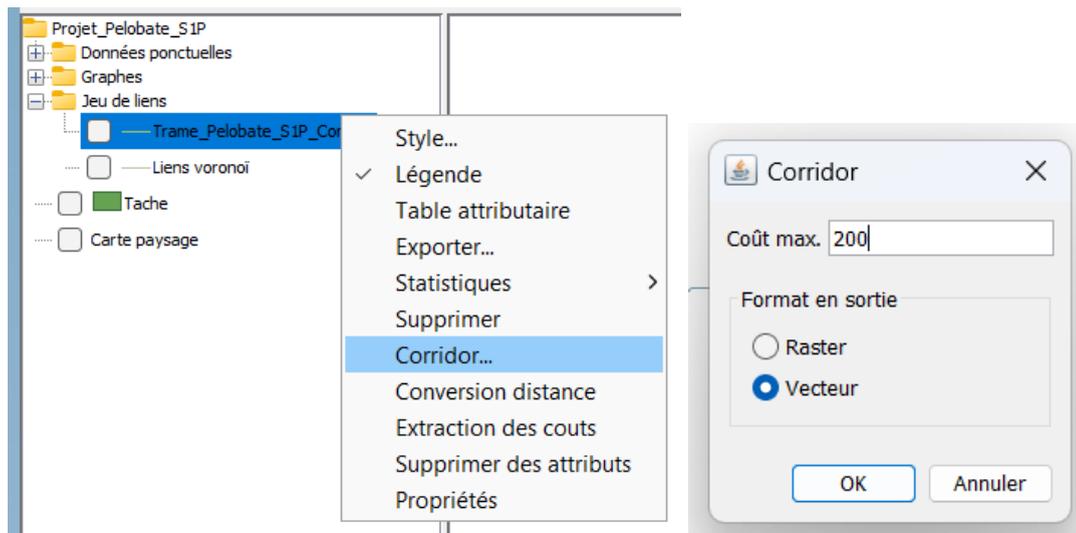
Pour exporter les couches sur Qgis, il faut cliquer sur exporter (figure 16 ci-dessous), sélectionner le dossier dans lequel se trouvera la couche, nommer le fichier et ne pas oublier de changer le format en **shp**. Enregistrer la couche, il ne restera plus qu'à aller la chercher dans le bon dossier pour l'ouvrir sur Qgis.

Figure 16 : Exportation des entités de graphab pour les importer sur Qgis.

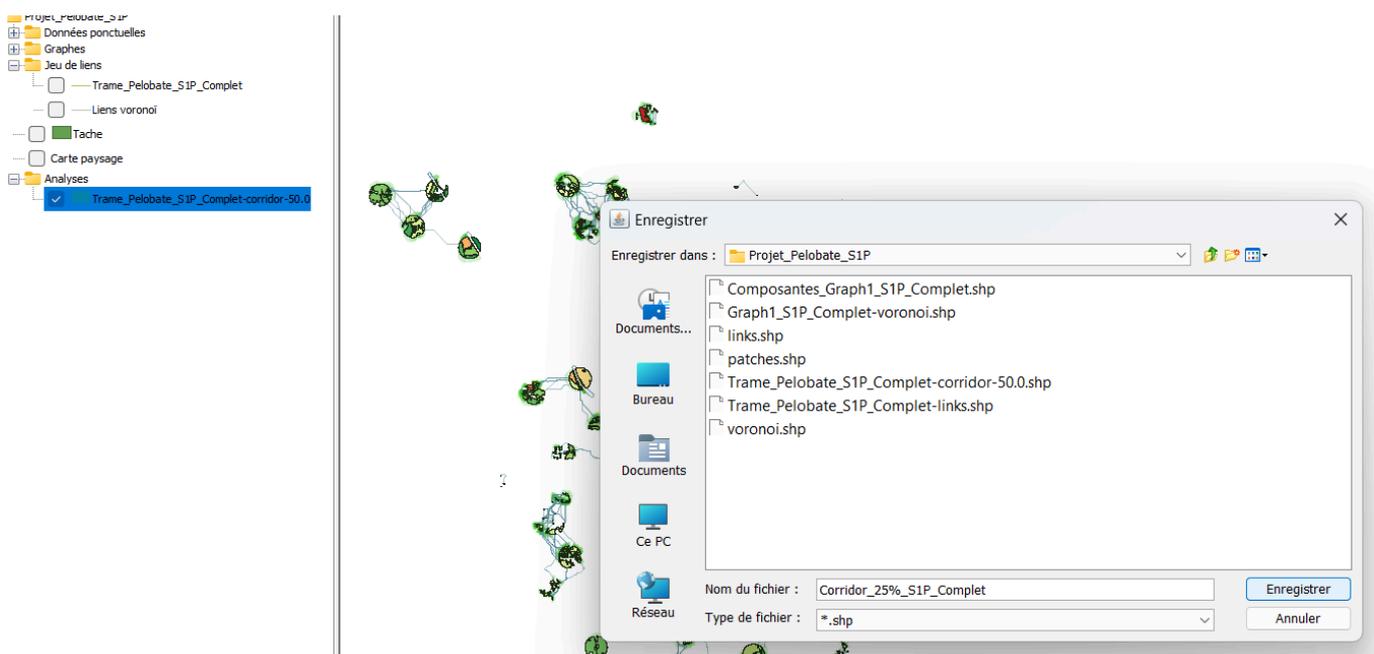


2.3.4 Corridors et exportations Qgis

L'utilisation de la fonction corridor sur Graphab peut se faire sur un jeu de lien planaire ou complet, mais prendra beaucoup plus de temps avec le complet, notamment si la résolution du raster est fine. Cliquer sur le *Jeu de lien planaire créé < Corridor* et remplir les paramètres : choisir le format vecteur en sortie et remplir l'espace coût qui correspond à distance de dispersion. Je fais le choix de le calculer à différentes échelles : 25 %, 50 %, 75 % et 100 % de sa capacité maximum que je convertis en coûts pixels. Par exemple, pour les 25 %, cela correspond à 50 pixels, lorsque la dispersion maximale est de 200 pixels (1000 m de dispersion maximale sur un raster de 5 m de résolution pour le Pélobate cultripède).



De la même façon que pour les nœuds et liens, nous pouvons exporter les corridors calculés en shp afin de retravailler la mise en page sur Qgis (cf. images ci-dessous).



3 MISE EN PAGE QGIS

Une fois tous les traitements graphab réalisés et convertis en shp, nous pouvons les récupérer et les ouvrir dans le projet en cours sur Qgis. Les paragraphes qui suivent expliquent la mise en page de chacun des paramètres de la carte finale que l'on voit sur la figure 17 suivante :

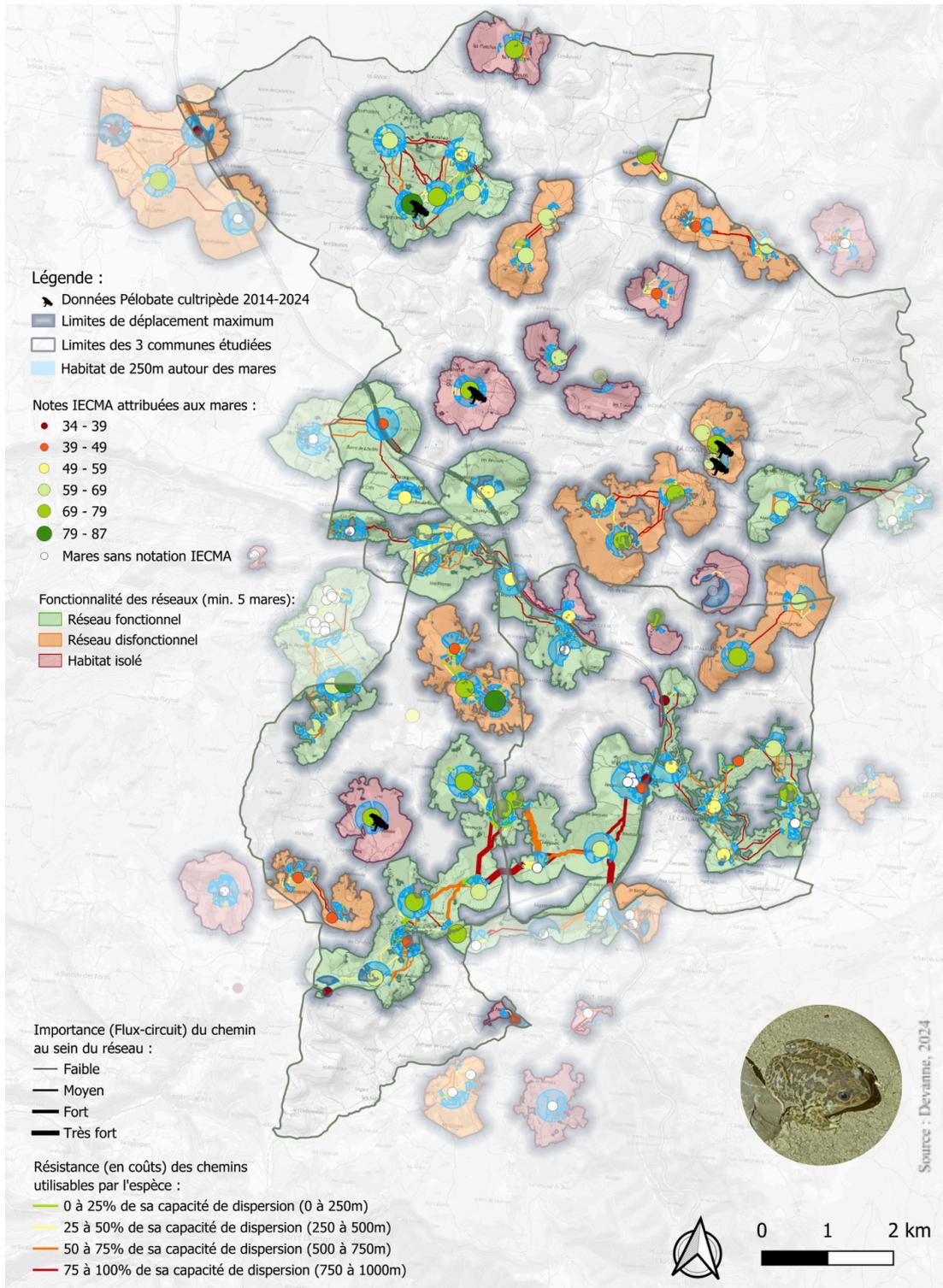


Figure 17 : Carte d'analyse de la fonctionnalité du réseau de mares pour le Pélouate cultrifère sur la zone d'étude à $d_{max}=1000$ m, scénario S2P.

3.1 Les chemins de moindre coûts / Corridors

Les chemins de moindre coût présentent 2 informations sur la carte : (1) la couleur du lien informe sur le coût du chemin et (2) l'épaisseur du trait informe sur l'importance du lien au sein du réseau des mares reliées.

Pour faire cette double classification, on commence par créer une colonne 'Taille' dans la table d'attribut de la couche de liens importée, comme sur la figure 18 ci-dessous. Une fois la colonne créée, il faut classer en 4 niveaux la métrique CF. Pour cela prendre la valeur max du Cf et la diviser par 4 puis dans la colonne taille attribuer 0,26 pour toutes les lignes incluses dans le premier quart de la CF ; 0,66 pour le deuxième quart ; 1,06 pour le troisième quart et pour finir 1,46 pour le dernier quart (voir colonne *Taille* de la figure 18)

Id	ID1	ID2	Dist	DistM	CF_beta0	Taille	
2514	1234-1223	1234	1223	41,0000000000...	15,0000000000...	3868,45313538...	0,66
2515	1197-1181	1197	1181	90,1837671999...	228,994949366...	3890,41604809...	0,66
2516	1198-1197	1198	1197	83,6213204000...	212,071067811...	3920,23868878...	0,66
2517	1170-1038	1170	1038	161,941126400...	722,634559672...	3967,30110612...	0,66
2518	1334-1322	1334	1322	4,24264080000...	14,1421356237...	3980,58005270...	0,66
2519	1198-1181	1198	1181	6,24264080000...	19,1421356237...	4001,76534222...	0,66
2520	1187-1181	1187	1181	5,00000000000...	15,0000000000...	4066,15795593...	0,66
2521	1164-1162	1164	1162	44,4558447999...	207,279220613...	4105,98264559...	0,66
2522	1165-1164	1165	1164	43,0416311999...	200,208152801...	4218,62798910...	0,66
2523	1168-1038	1168	1038	150,710680000...	676,482322781...	4282,69889855...	0,66
2524	1143-1132	1143	1132	53,7634564000...	137,426406871...	4286,48998087...	0,66
2525	1261-1223	1261	1223	41,0000000000...	15,0000000000...	4430,66563531...	0,66
2526	1148-1109	1148	1109	3,62132040000...	12,0710678118...	4432,39755014...	0,66
2527	1200-1199	1200	1199	6,24264080000...	19,1421356237...	4553,08710871...	0,66
2528	1180-1179	1180	1179	5,00000000000...	15,0000000000...	5587,20523839...	1,060
2529	1322-1261	1322	1261	35,7634563999...	155,710678118...	5854,91406102...	1,060
2530	1261-1234	1261	1234	4,24264080000...	14,1421356237...	6381,22752334...	1,060
2531	1204-1200	1204	1200	5,62132040000...	17,0710678118...	6576,47714703...	1,060
2532	1199-1197	1199	1197	199,622369599...	582,695526217...	7797,85099172...	1,460
2533	1166-1148	1166	1148	4,41421360000...	22,0710678118...	8100,39933763...	1,460
2534	1210-1204	1210	1204	1,41421360000...	7,07106781186...	8163,36927615...	1,460
2535	1202-1180	1202	1180	198,142136000...	413,639610306...	8801,99998456...	1,460
2536	1166-1164	1166	1164	5,00000000000...	15,0000000000...	9008,38650480...	1,460
2537	1181-1141	1181	1141	149,811184799...	714,055915910...	9530,14900743...	1,460

Figure 18 : Création et classification dans la colonne Taille de la table d'attribut des chemins de moindre coûts.

Une fois cette classification faite, fermer la table d'attribut et ouvrir dans les propriétés la symbologie. Suivre les étapes suivantes visibles sur la figure 19 suivante : sélectionner la classification graduée avec en valeur la colonne 'Dist' et en méthode 'Couleur' (dans la palette de couleur sélectionner des couleurs de type 'Discrete') et faire 4 classes de couleurs. Pour ajouter la taille, cliquer sur le symbole à droite de la ligne 'Largeur' et suivre les commandes de la figure 20.

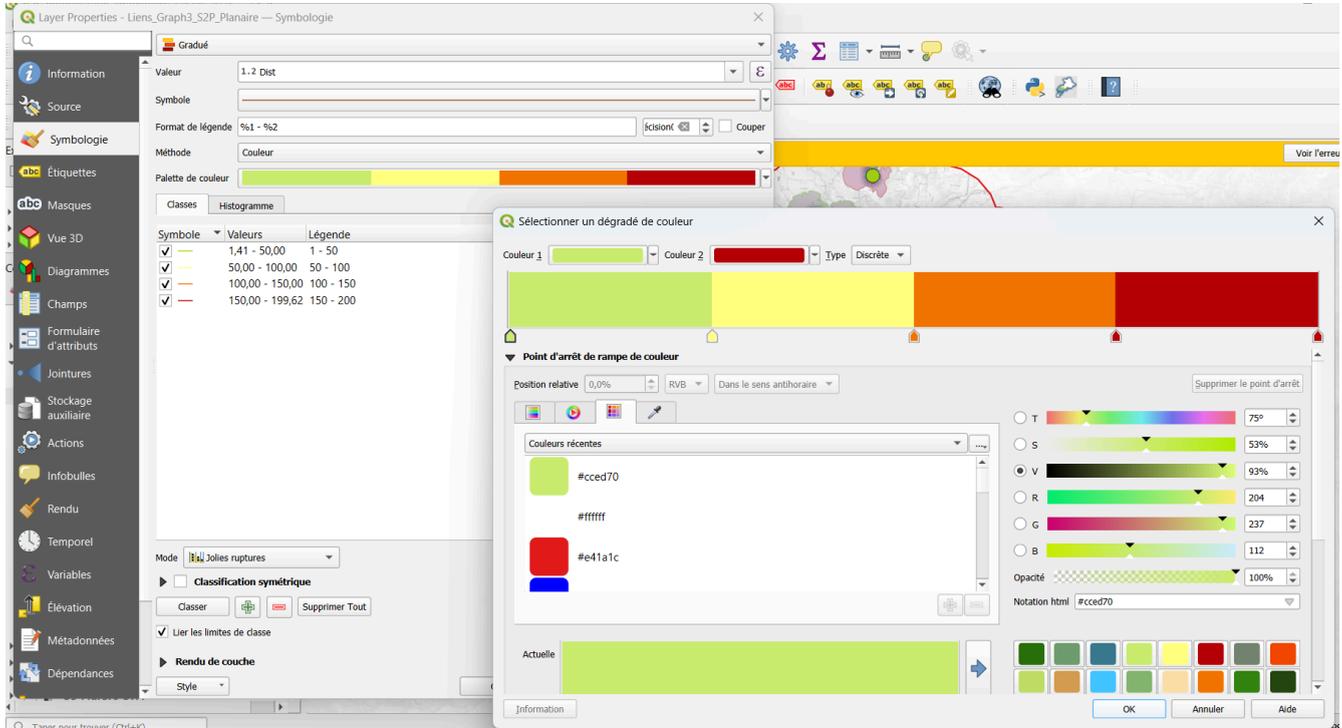


Figure 19 : Classification de la couleur dans l'onglet Symbologie.

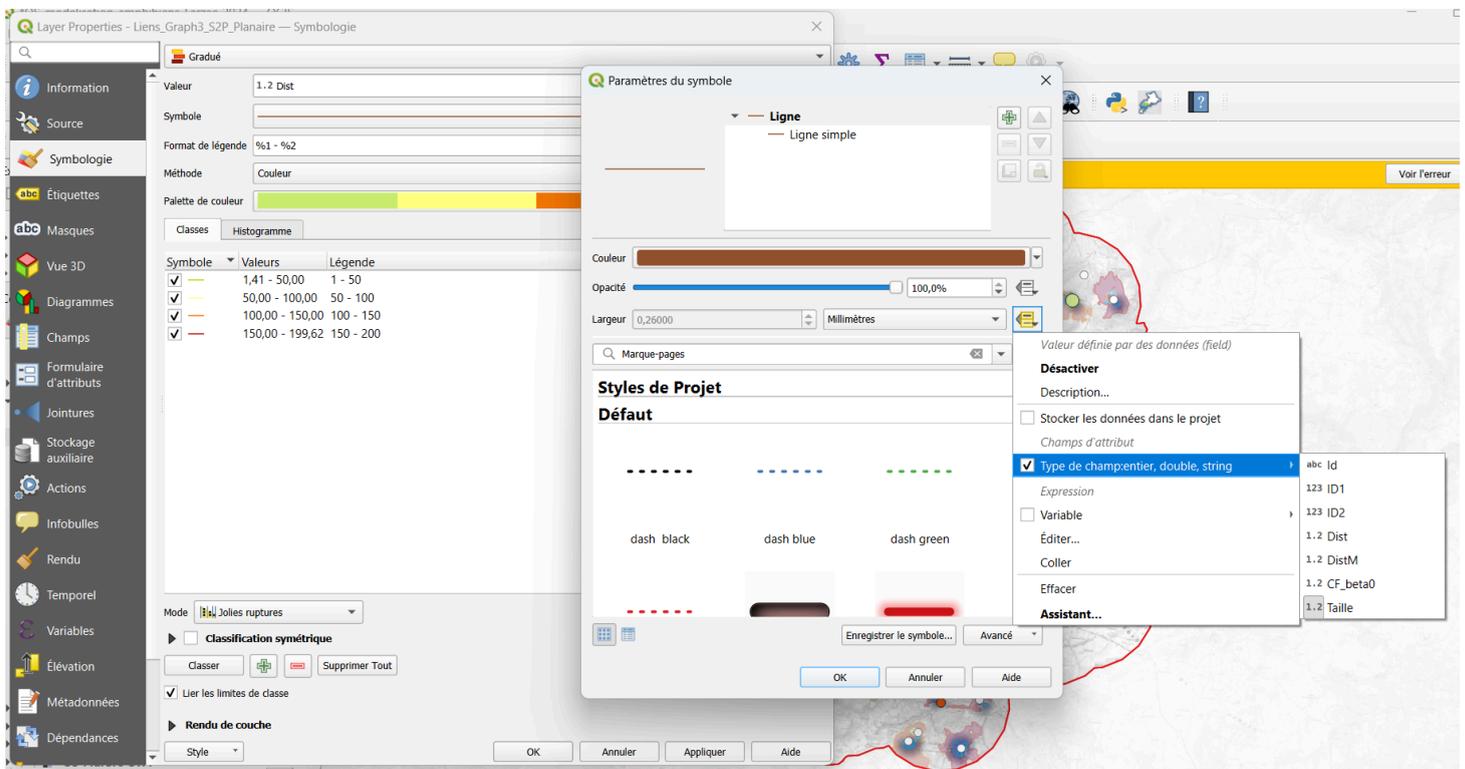
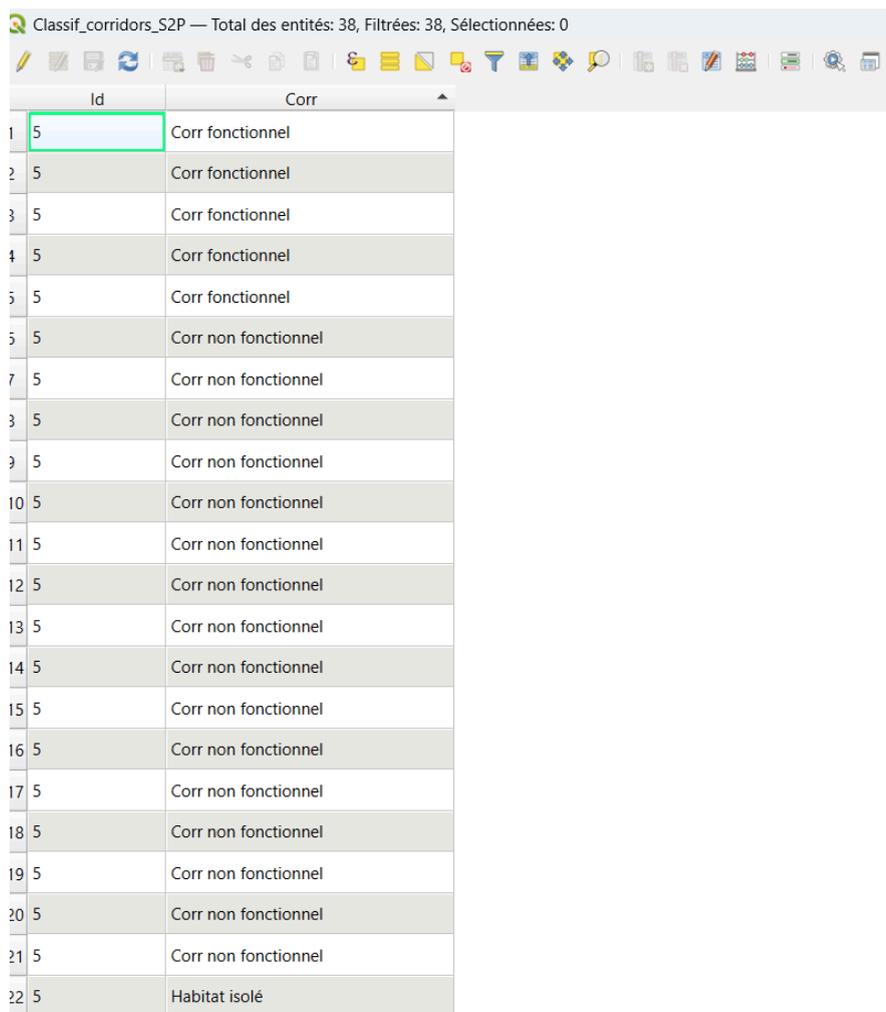


Figure 20 : Classification de la taille dans l'onglet Symbologie.

Une fois ces étapes réalisées, les chemins seront donc classés par couleur en fonction de leur coût et par taille en fonction de la métrique CF.

3.2 Classification de la fonctionnalité des réseaux

Il faut commencer par récupérer les corridors produits par graphab et exportés en shp. Sur Qgis, il faut fusionner les 4 couches à 25 %, 50 %, 75 % et 100 % ainsi que les tâches d'habitats (les nœuds - voir Étape bonus pour utiliser un modeleur et faciliter la fusion. Une fois les couches fusionnées, faire un tampon de 0m sur cette couche pour avoir des entités séparées. Classer manuellement chacune de ces entités en fonction du nombre de mares au sein du réseau (voir figure 21) : 5 mares ou plus = *corridor (ou réseau) fonctionnel*, entre 2 et 4 mares il s'agit d'un *corridor non fonctionnel* (réseau non fonctionnel) et 1 seule mare ou un habitat isolé correspondra au code *habitat isolé*. Il ne restera plus qu'à catégoriser dans l'onglet symbologie les réseaux par couleurs (voir catégorisation sur la figure 22).



Id	Corr
1	Corr fonctionnel
2	Corr fonctionnel
3	Corr fonctionnel
4	Corr fonctionnel
5	Corr fonctionnel
5	Corr non fonctionnel
7	Corr non fonctionnel
3	Corr non fonctionnel
3	Corr non fonctionnel
10	Corr non fonctionnel
11	Corr non fonctionnel
12	Corr non fonctionnel
13	Corr non fonctionnel
14	Corr non fonctionnel
15	Corr non fonctionnel
16	Corr non fonctionnel
17	Corr non fonctionnel
18	Corr non fonctionnel
19	Corr non fonctionnel
20	Corr non fonctionnel
21	Corr non fonctionnel
22	Habitat isolé

Figure 21 : Exemple de classification de la fonctionnalité des réseaux.

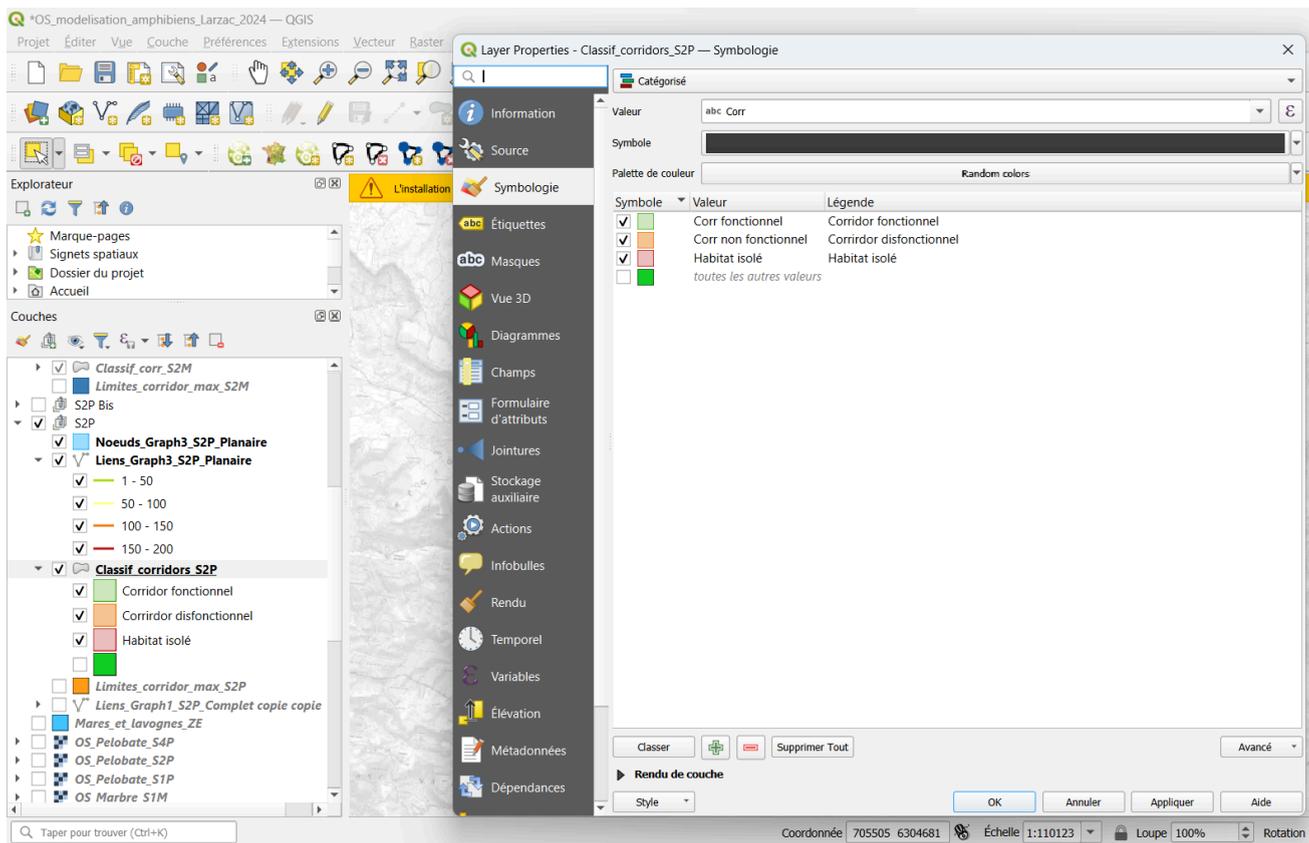
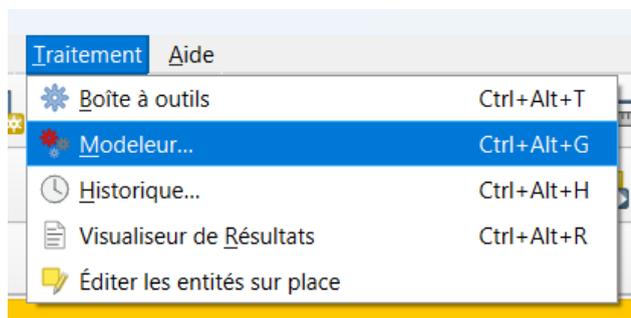


Figure 22 : Catégorisation des réseaux en fonction de leur fonctionnalité.

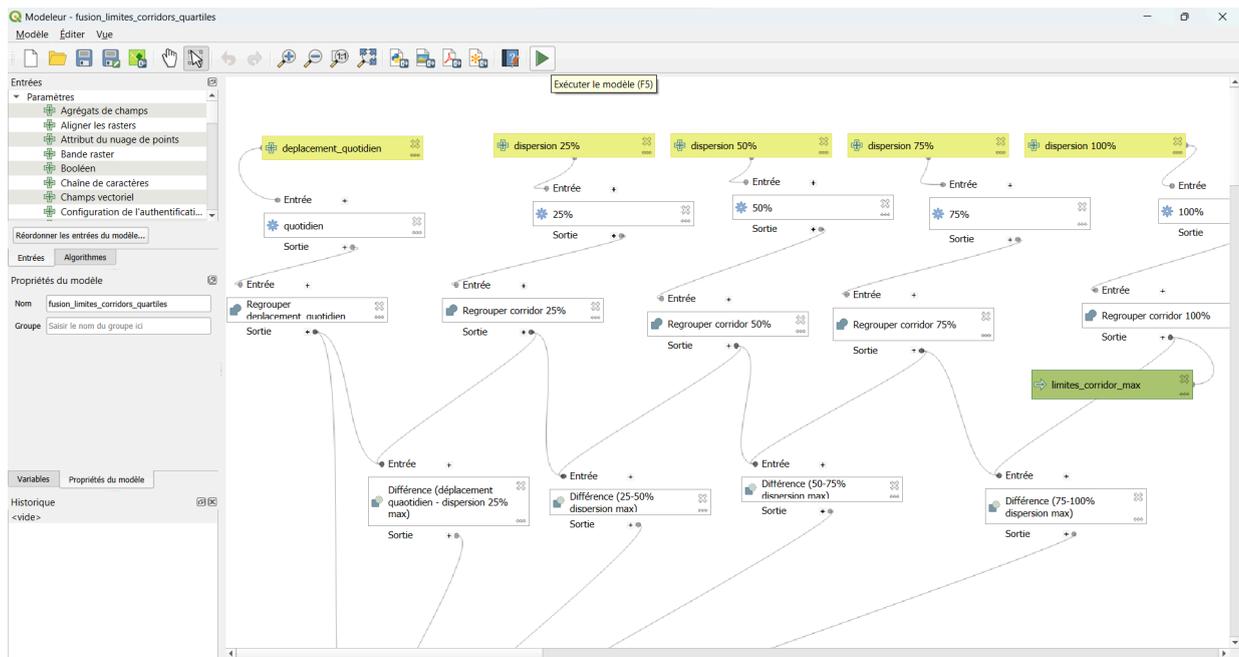
Etape Bonus : Le modeleur pour fusionner les couches corridor

Utilisation dans le cas de cette modélisation un modèle créé par Matthias Lee de l'ANA CEN Ariège en 2023. Il y a possibilité de créer son propre model en cherchant des tutoriels sur internet. Les figures qui suivent résument les étapes et la saisie des données pour fusionner les corridors :



Sélection du model créé :





fusion_limtes_corridors_quartiles

Paramètres | Journal

deplacement_quotidien
 azure_planaire_corridor_40_0_b78e3c06_baff_4589_8842_c683a35f9c57

dispersion 100%
 azure_planaire_corridor_300_0_d2dcb254_90c4_409b_af44_2b145d89e34a

dispersion 25%
 azure_planaire_corridor_75_0_60a1cff3_a8d4_40ad_a32f_bdf326dbb98b

dispersion 50%
 azure_planaire_corridor_150_0_ab9f24ec_52d9_4c00_817b_13565ac68f72

dispersion 75%
 azure_planaire_corridor_225_0_015550fc_0679_4051_b75c_9d779e24cb59

limites_corridor_max
 ravail/Leila_SIG/Donnees_modelisation/Graphab/Projet_Pelobate/Projet_Pelobate_S4P/Lim_corridor_max_S1P.shp

Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

trame
 [Créer une couche temporaire]

Ouvrir le fichier en sortie après l'exécution de l'algorithme

0%

Avancé | Exécuter comme processus de lot... | Exécuter | Annuler | Fermer

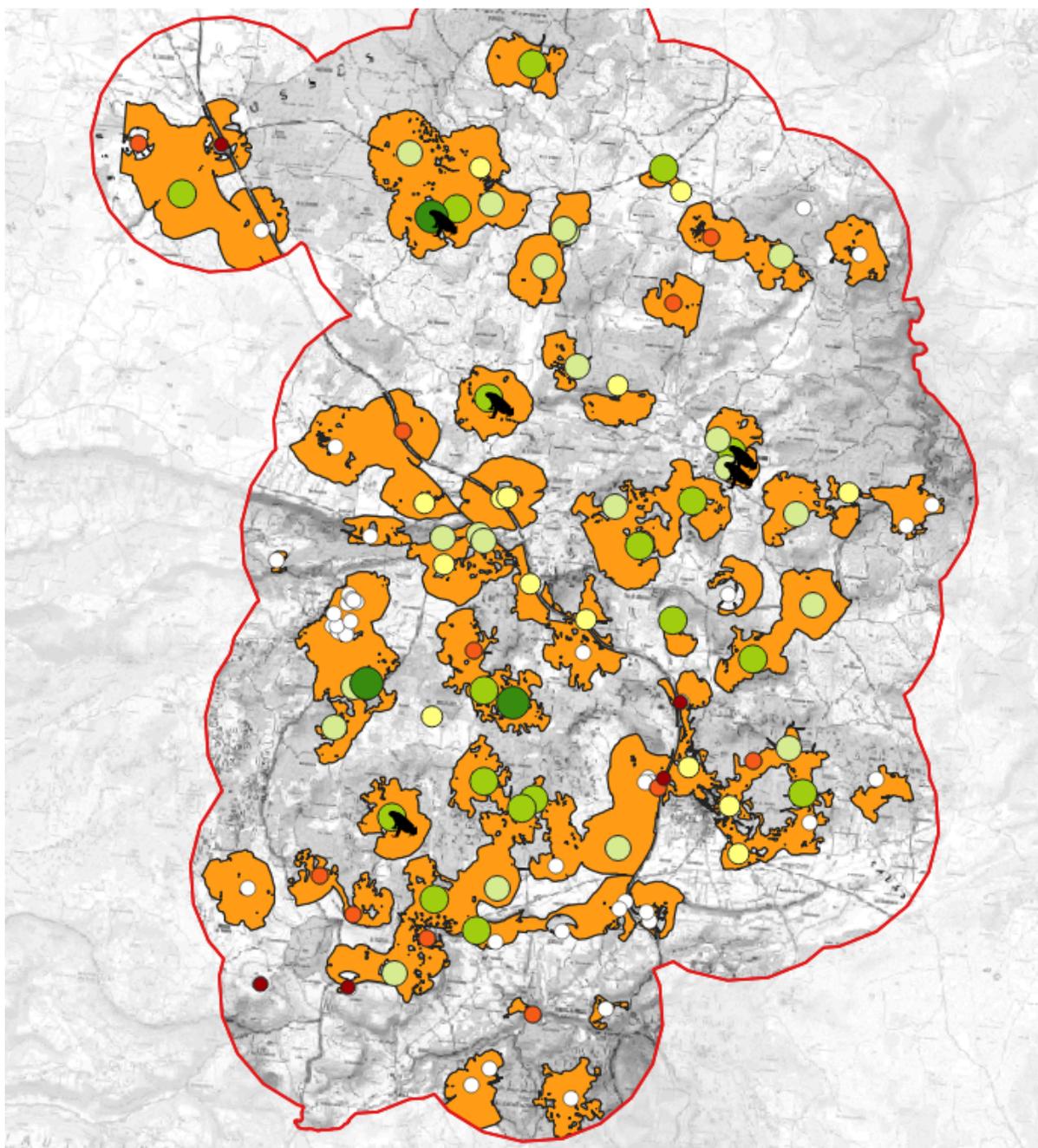
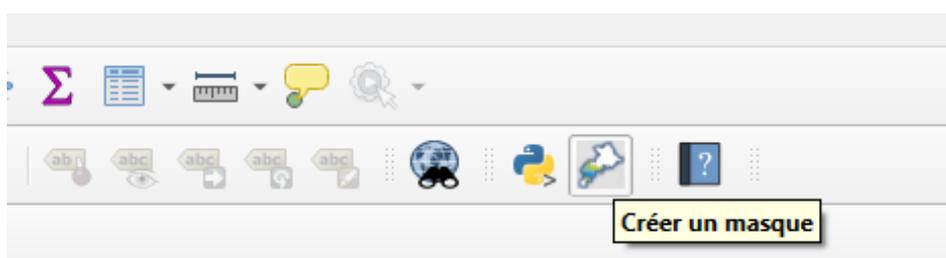


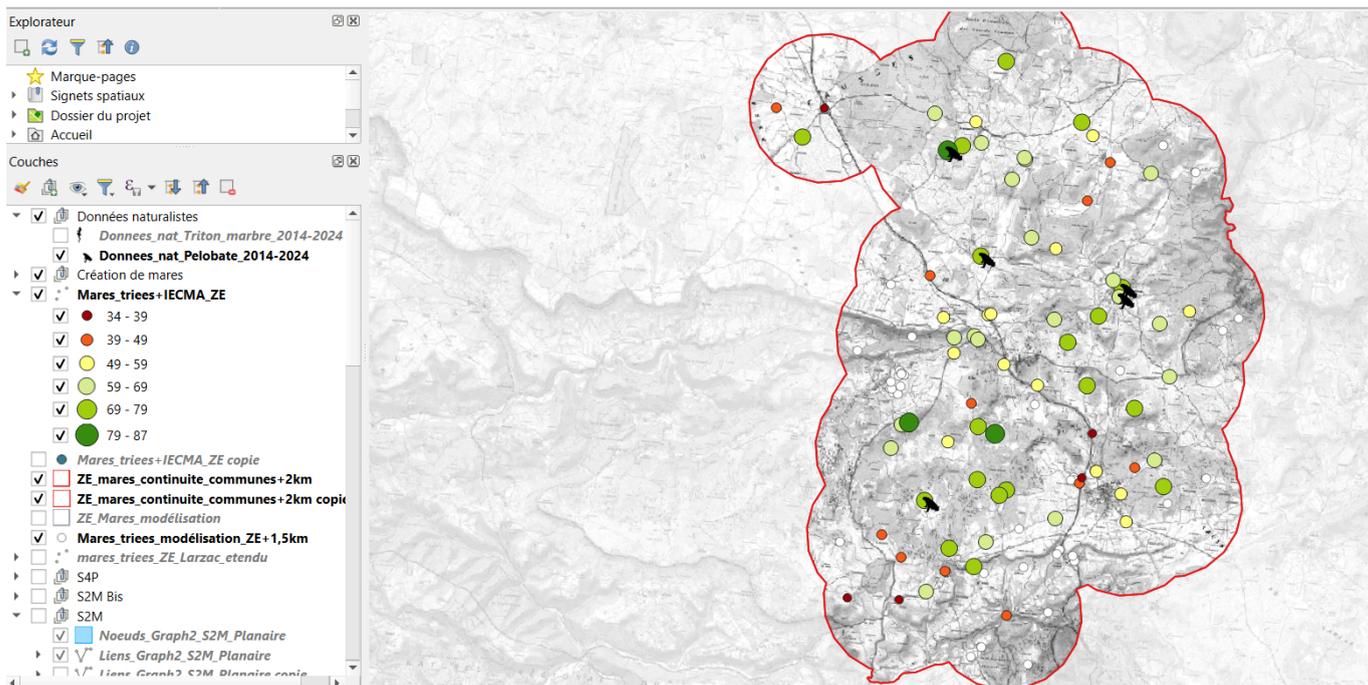
Figure 23 : Étapes de saisie des données et résultats de l'utilisation du model créé par Matthias Lee à l'ANA-CEN Ariège.

Un masque peut être appliqué, à but esthétique, sur les réseaux. Pour appliquer le masque il ne faut pas oublier de sélectionner les entités sur lesquelles on souhaite appliquer le masque.



3.3 Ajoût des tâches d'habitat

Pour finir, on rajoute les informations concernant l'état de conservation des habitats, correspondant au IECMA - Indicateur de l'Etat de Conservation des Mares à Amphibiens - calculé lors des prospections terrain (Fiche protocole IECMA). Les différents IECMA renseignés dans la table d'attribut sont catégorisés et classés par couleur dans l'onglet *Symbologie*. En complément les données naturalistes issues de l'extraction des données SINP 2014-2023 et des inventaires naturalistes 2024 ont été rajoutés sur la cartographie finale (cf. figure ci-dessous).



BIBLIOGRAPHIE

- Arntzen, J. W., & Wallis, G. P. (1991). "Restricted gene flow in a moving hybrid zone of the newts *Triturus cristatus* and *T. marmoratus* in western France." *Evolution*, 45(4), 805-826.
- Arntzen, J. W. & Jehle, R. (2000). Post-breeding migrations of newts (*Triturus cristatus* and *T. marmoratus*) with contrasting ecological requirements. *Journal of Zoology*, 251(3), 297-306. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2000.tb01080.x>
- Bourgeois, M. (2015). Impacts écologiques des formes d'urbanisation: modélisations urbaines et paysagères (Doctoral dissertation, Université de Franche-Comté). Disponible sur : <https://hal.science/tel-01368998/>
- Chailloux et al. (2014). Trame verte et bleue - Manuel d'utilisation pour MitiConnect. Février 2014. Disponible sur https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/miticonnect_manuelutilisation.pdf https://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/references_bibliographiques/miticonnect_manuelutilisation.pdf
- Clauzel, C., Godet, C., Tarabon, S., Eggert, C., Vuidel, G., Bailleul, M., & Miaud, C. (2024). From single to multiple habitat connectivity : The key role of composite ecological networks for amphibian conservation and habitat restoration. *Biological Conservation*, 289, 110418. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2023.110418>
- DUGUET R. & MELKI D, ACEMAV coll., ed. 2003 - Les amphibiens de France, Belgique et Luxembourg. Collection Parthénopé, éditions Biotope, Mèze (France). 480 p.
- Fizesan (2019) Étude des déplacements terrestres du Pélobate brun (*Pelobates fuscus*) dans le Bas-Rhin. https://www.researchgate.net/publication/337185874_ETUDE_DES_DEPLACEMENTS_TERRESTRES_DU_PELOBATE_BRUN_PELOBATES_FUSCUS_DANS_LE_BAS-RHIN
- Griffiths, 1985, p. 108 - Griffiths, R. A. (1985). "Densities of Smooth and Palmate Newts (*Triturus vulgaris* and *T. helveticus*) in ponds: A Case Study in Mid-Wales." *Holarctic Ecology*, 8, 103-110.
- Griffiths et al, 2010 : Griffiths, R. A., Sewell, D., & McCrea, R. S. (2010). Dynamics of a declining amphibian metapopulation: Survival, dispersal and the impact of climate. *Biological Conservation*, 143(2), 485-491. DOI: 10.1016/j.biocon.2009.11.013.
- Martínez-Gil, H., Sánchez-Montes, G., Montes-Gavilán, P. et al. Fine-scale functional connectivity of two syntopic pond-breeding amphibians with contrasting life-history traits: an integrative assessment of direct and indirect estimates of dispersal. *Conserv Genet* 24, 361–374 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10592-023-01506-5>
- McRae, B. H., Dickson, B. G., Keitt, T. H., & Shah, V. B. (2008). Using circuit theory to model connectivity in ecology, evolution, and conservation. *Ecology*, 89(10), 2712-2724. <https://doi.org/10.1890/07-1861.1>
- Newman, M. E. J. (2010). *Networks: An Introduction*. Oxford University Press.
- Priol, P. (2015). Suivi d'une espèce rare en vue de sa conservation: dynamique spatiale et temporelle de populations de Pélobate cultripède (*Pelobates cultripipes*) en Aquitaine.
- Renet, Julien & Loubinoux, Elfie & Krebs, Muriel & Thirion, Felix & Priol, Pauline & Travers, William & Ménétrier, Florence & Baudat-Franceschi, Julien & Brichard, Jérôme. (2024). La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède (*Pelobates cultripipes*). Disponible sur : [\(PDF\) La vallée du Calavon dans le Vaucluse: un territoire à fort enjeu pour la conservation du Pélobate cultripède \(Pelobates cultripipes\)](#)
- Reyes-Moya, I., Sánchez-Montes, G., Babik, W., Dudek, K., & Martínez-Solano, Í. (2023). Integrative delineation of populations in pond-breeding amphibians. Una aproximación integral al estudio de la dispersión en anfibios An integrative approach to the study of amphibian dispersal, 126.
- Sánchez-Montes, G., Wang, J., Ariño, A. H., & Martínez-Solano, Í. (2018). Mountains as barriers to gene flow in amphibians : Quantifying the differential effect of a major mountain ridge on the genetic structure of four sympatric species with different life history traits. *Journal of Biogeography*, 45(2), 318-331. <https://doi.org/10.1111/jbi.13132>
- SORDELLO R. (coord.), CONRUYT-ROGEON G., MERLET F., HOUARD X. & TOUROULT J. (2013). Synthèses bibliographiques sur les traits de vie de 39 espèces proposées pour la cohérence nationale de la Trame verte et bleue relatifs à leurs déplacements et besoins de continuité écologique. Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) - Service du Patrimoine naturel (SPN) & Office pour les insectes et leur environnement (Opie). 20 pages + 39 fiches.
- SPEYBROECK J., BEUKEMA W., BOK B. & VAN DER VOORT J. - Guide Delachaux des Amphibiens et Reptiles de France et d'Europe. Ed. française Delachaux et Niestlé, Paris (France) 2018. 432p.

Annexe 10 : Tableaux IECMA 2024 et RSA 2014-2024 sur le Causse du Larzac

Tableau général compilation données IECMA																											
PARAMETRES	Code Mare	superficie	prof	nat_fond	turbid	bpd	helophytes	hydrophytes	stade	poisson	pee	pletinnet	poll	contexte	dist_eau	nb_eau	site_terr	corridor	route	rspe	TOTAL MARE SUR 100	TOTAL MARE SS RSA SUR 90	TOTAL SS RSA SUR 100				
LA COUVERTOIRADE																											
Mare de Soulayrol	Couv1	5	2	5	5	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	2	2	5	5	5	9	84	75	83,3			
Lavogne de La Portalerie	Couv2	5	2	2	5	5	2	5	2	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	3	71	68	75,6			
Lavogne de Laguiole	Couv3	2	2	2	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	2	70	68	75,6			
Mare de Puit Laurent	Couv4	5	2	5	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	2	7	75	68	75,6			
Lavogne de La Baraque Froide	Couv5	5	2	5	5	5	2	5	5	5	5	5	3	5	5	0	0	5	5	0	4	71	67	74,4			
Mare de la Vallée Haute	Couv6	5	5	5	2	5	2	5	0	5	5	5	2	5	5	2	2	5	5	2	0	67	67	74,4			
Mare SCL	Couv7	2	5	5	2	5	2	5	2	5	5	5	0	5	2	2	5	5	5	9	76	67	74,4				
Lavogne du Serre du Buis	Couv8	2	2	2	5	5	2	5	2	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	1	66	65	72,2			
Mare de la Salvétat	Couv9	5	2	2	5	2	2	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	2	10	75	65	72,2			
Lavogne de l'Air	Couv10	2	2	2	0	5	2	2	2	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	9	73	64	71,1				
Lavogne Le Matas	Couv11	5	2	2	5	5	2	5	2	5	5	5	3	5	0	0	5	5	2	5	68	63	70,0				
Lavogne La Pré - Cadillac	Couv12	2	5	2	2	5	2	2	2	5	5	5	5	5	2	2	5	5	2	6	69	63	70,0				
Mare de la Planasse	Couv13	2	0	5	2	5	5	0	2	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	0	61	61	67,8				
Lavogne 1 de Belvezet	Couv14	2	0	2	2	5	2	2	0	5	5	5	5	5	5	2	5	5	2	6	85	58	65,6				
Lavogne de la Favardé	Couv15	2	2	2	5	2	2	2	2	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	3	62	58	65,6				
Lavogne du Pounaou	Couv16	2	2	2	2	5	2	2	2	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1	60	58	65,6				
Mare de Malevieille	Couv17	5	0	5	0	5	2	0	2	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1	60	58	65,6				
Lavogne de l'aire La Blaquererie	Couv18	5	2	2	5	5	2	2	5	5	5	5	0	5	0	0	5	5	0	3	61	58	64,4				
Lavogne Serre de la Guérite	Couv19	2	0	2	5	2	2	5	0	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1	59	58	64,4				
Mare la Pezade 1 (sud)	Couv20	5	2	5	2	5	2	0	0	5	5	5	3	2	5	2	5	5	0	5	63	58	64,4				
Mare la Pezade 2 (nord)	Couv21	5	2	5	2	5	2	0	0	5	5	5	0	5	5	2	5	5	0	5	63	58	64,4				
Grande lavogne viilage La	Couv22	2	2	2	0	5	2	0	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	9	66	57	63,3				
Lavogne 2 de Belvezet	Couv23	5	2	2	2	5	2	5	0	5	5	2	0	2	5	2	5	5	2	6	62	56	62,2				
Lavogne de la Libertade	Couv24	2	0	2	2	5	2	0	2	5	5	5	5	5	0	0	5	5	1	5	56	55	61,1				
Lavogne les Infruts	Couv25	0	2	2	0	5	2	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	2	2	50	48	53,3				
Mare jardin Laval (La Blaquererie)	Couv26	5	2	5	2	5	2	0	2	5	5	5	0	0	0	0	5	5	0	5	53	48	53,3				
Réservoir de La Couvertoirade	Couv28	5	2	2	0	0	0	0	2	5	5	5	5	5	2	2	5	5	2	9	61	52	57,8				
Lavogne vide Cazejourdes	Couv29	5	0	2	0	5	0	0	0	5	5	5	3	0	0	0	5	5	0	0	40	40	44,4				
Lavogne vide Laissac	Couv30	2	0	2	0	5	0	0	0	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	0	49	49	54,4				
Bassin carré La Baraque Froide	Couv27	5	2	2	0	0	2	0	0	5	5	5	3	0	2	2	5	5	5	4	52	48	53,3				
Bassin autoroute A44 1	Couv33	5	2	2	2	2	2	0	2	5	5	5	0	0	0	2	5	5	0	1	50	49	54,4				
Bassin autoroute A44 2	Couv35	5	2	2	2	2	2	0	2	5	5	5	0	0	0	5	2	5	5	0	50	49	54,4				
Bassin autoroute A45	Couv34	5	2	2	5	0	2	5	2	5	5	5	0	0	0	2	5	5	0	1	56	55	61,1				
Bassin autoroute A40	Couv31	5	5	2	2	0	2	0	2	5	5	5	0	0	0	0	2	0	0	1	36	36	38,9				
Bassin autoroute A43	Couv32	5	2	2	2	0	2	5	5	5	5	5	0	0	0	0	2	0	0	1	41	46	44,4				
Mare de la Vallée Basse	Couv36																				0	0	0,0				
Mare de Serre Plumat	Couv37																				0	0	0,0				
TOTAL PARAM		131	68	100	90	132	67	79	71	175	175	166	115	124	57	36	169	165	90								
TOTAL SUR 100		38,5	38,9	57,1	51,4	75,4	38,3	45,1	40,6	100,0	100,0	94,9	65,7	70,9	32,6	20,6	96,6	94,3	51,4								
LE CAYLAR																											
Mare du Mont Lavagnes	Cay1	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	2	79	77	85,6			
Mare bergenie Combe Azémar	Cay2	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	2	0	5	5	2	5	5	5	6	79	73	81,1				
Lavogne du Mas de Lagrine	Cay3	5	2	2	5	5	2	5	5	5	5	5	0	5	2	2	5	5	5	3	73	70	77,8				
Mare Les Fumades	Cay4	5	2	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3	5	5	0	0	5	5	0	2	72	70	77,8			
Lavogne ruines Combe Azémar	Cay5	5	5	2	2	5	2	2	2	5	5	2	0	5	5	2	5	5	5	6	70	64	71,1				
Mare de la Mousse	Cay6	5	0	5	2	5	2	0	2	5	5	2	5	5	0	0	5	5	5	2	60	58	64,4				
Mare Barymbal	Cay7	2	2	5	5	5	2	5	0	5	5	2	3	0	0	0	5	5	5	6	62	56	62,2				
Lavogne Le Peradis	Cay8	5	5	2	2	5	2	0	2	5	5	5	3	2	0	0	5	5	0	3	56	53	58,9				
Mare Les Fourques	Cay9	5	2	5	2	5	2	2	0	5	5	5	0	2	0	0	5	5	0	5	55	50	55,6				
Lavogne Le Thiel	Cay10	2	2	2	2	5	2	0	2	5	5	5	3	0	0	0	5	5	2	5	52	47	52,2				
Mare de la Mousse 2	Cay11	0	0	5	0	5	2	0	0	5	5	0	5	0	0	0	5	5	5	2	49	47	52,2				
Lavogne (vide) de Servières	Cay14	5	0	2	0	5	0	0	0	5	5	5	5	5	0	0	5	5	0	4	51	47	52,2				
Réservoir du Mas Blanc	Cay16	5	2	2	2	0	0	0	0	5	5	5	5	0	2	0	0	5	5	0	1	39	38	42,2			
Lac dernière station d'épuration	Cay15														2	5	5	5	2	2	21	21	23,3				
Mare de Servières	Cay18														5	0	0	5	5	0	20	20	22,2				
Station épuration Le Caylar	Cay19														0	5	5	5	2	0	17	17	18,9				
Bassin autoroute H7	Cay17																										
Bassin autoroute H8	Cay20																										
Lavogne (vide) du Bousso	Cay13																										
Mare de Carissac	Cay12																										
TOTAL PARAM		58	32	47	41	62	25	26	32	75	75	58	32	53	32	26	90	76	44								
TOTAL SUR 100		77,3	35,6	52,2	45,6	68,9	27,8	28,9	35,6	83,3	83,3	64,4	35,6	58,9	35,6	28,9	100,0	86,7	48,9								
LES RIVES																											
Mare de Combefère	Riv1	5	5	5	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	2	2	5	5	5	6	87	81	90,0				
Lavogne Combe Azémar	Riv2	5	5	2	5	5	2	5	5	5	5	5	5	5	0	0	5	2	5	6	77	71	78,9				
Lavogne de Fédiaux	Riv3	2	2	2	5	5	2	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	10	78	68	75,6				
Lavogne Combefère	Riv4	5	2	5	5	5	2	2	5	5	5	3	2	2	2	2	5	5	2	6	73	67	74,4				
Mare de Madières	Riv5	5	5	5	5	2	2	5	2	5	5	5	5	2	2	2	5	5	0	5	72	67	74,4				
Lavogne de Barascude	Riv6	5	2	2	5	5	2	2	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	2	6	71	65	72,2				
Lavogne de Montbel	Riv7	2	2	2	5	5	2	5	2	5	5	5	5	5	0	0	5	5	5	0	65	65	72,2				
Mare (vide) de Montbidés	Riv13	2	0	5	0	5	0	0	0	5	5	2	5	5	5	5	5	5	3	3	62	58	65,6				
Lavogne les Combes	Riv8	5	5	2	5	5	2	2	2	5	5	5	2	0	0	0	5	5	0	7	67	60	66,7				
Mare Bartasse	Riv9	5	2	5	5	5	2	0	0	5	5	2	5	0	0	0	5	5	6	62	56	62,2					
Mare de Rabassière	Riv10	5	2	5	5	5	0	5	2	5	5	2	5	2	2	5	5	5	0	5	56	56	62,2				
Mare vide Pas du Lac	Riv14	0	0	5	0	5	0	0	0	5	5	2	5	2	2	5	5	5	0	5	51	51	56,7				
Mare de La Martine	Riv11	2	2	0	0	0	2	0	2	5	5	5	5	2	0	0	5	5	5	0	45	45	50,0				
Mare Village Les Rives	Riv12	5	2	2	5	5	2	0	2	0	5	5	0	0	0	0	5	5	0	5	48	43	47,8				
Réservoir plein Les Rives	Riv16	5	2	2	0	0	0	0	0	5	5	5	5														

