



HAL
open science

**Conservation de l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) :
analyse démographique et génétique des populations
conservatoires françaises en vue d'un projet de
restauration de population dans le milieu naturel**

Romain Fischer

► **To cite this version:**

Romain Fischer. Conservation de l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) : analyse démographique et génétique des populations conservatoires françaises en vue d'un projet de restauration de population dans le milieu naturel. Médecine vétérinaire et santé animale. 2023. dumas-04468861

HAL Id: dumas-04468861

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04468861v1>

Submitted on 20 Feb 2024

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

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

**CONSERVATION DE L'ÉMYDE LÉPREUSE
(MAUREMYS LEPROSA) :
ANALYSE DÉMOGRAPHIQUE ET GÉNÉTIQUE
DES POPULATIONS CONSERVATOIRES FRANÇAISES
EN VUE D'UN PROJET DE RESTAURATION DE
POPULATION DANS LE MILIEU NATUREL**

THESE D'EXERCICE

pour obtenir le titre de
DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

DIPLOME D'ÉTAT

*présentée et soutenue publiquement
devant l'Université Paul-Sabatier de Toulouse*

par

FISCHER Romain, Simon, Émile

Directeur de thèse : M. Guillaume LE

LOC'H

JURY

PRESIDENT :
M. Jean-Luc GUERIN

Professeur à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

ASSESEURS :
M. Guillaume LE LOC'H
M. Benjamin CARTIAUX

Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE
Maître de Conférences à l'École Nationale Vétérinaire de TOULOUSE

MEMBRE INVITE :
M. Jérôme MARAN

Président de l'Association du Refuge des Tortues (ART)
à Bessières (31)

**Ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation
ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE**

Liste des directeurs/assesseurs de thèse de doctorat vétérinaire

Directeur : Professeur Pierre SANS

PROFESSEURS CLASSE EXCEPTIONNELLE

- M. **BAILLY Jean-Denis**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **BERTAGNOLI Stéphane**, *Pathologie infectieuse*
- M. **BOUSQUET-MELOU Alain**, *Pharmacologie, thérapeutique*
- M. **BRUGERE Hubert**, *Hygiène et industrie des aliments d'origine animale*
- M. **CONCORDET Didier**, *Mathématiques, statistiques, modélisation*
- M. **DELVERDIER Maxence**, *Anatomie pathologique*
- M. **FOUCRAS Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **GAYRARD-TROY Véronique**, *Physiologie de la reproduction, endocrinologie*
- M. **GUERIN Jean-Luc**, *Aviculture et pathologie aviaire*
- Mme **HAGEN-PICARD Nicole**, *Pathologie de la reproduction*
- M. **MEYER Gilles**, *Pathologie des ruminants*
- M. **SHELCHER François**, *Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour*
- Mme **TRUMEL Catherine**, *Biologie médicale animale et comparée*

PROFESSEURS 1^{ère} CLASSE

- Mme **BOULLIER Séverine**, *Immunologie générale et médicale*
- Mme **BOURGES-ABELLA Nathalie**, *Histologie, anatomie pathologique*
- Mme **CADIERGUES Marie-Christine**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **DUCOS Alain**, *Zootecnie*
- M. **GUERRE Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **JACQUIET Philippe**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **LACROUX Caroline**, *Anatomie pathologique, animaux d'élevage*
- Mme **LETRON-RAYMOND Isabelle**, *Anatomie pathologique*
- M. **LEFEBVRE Hervé**, *Physiologie et thérapeutique*
- M. **MAILLARD Renaud**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **MEYNADIER Annabelle**, *Alimentation animale*

PROFESSEURS 2^{ème} CLASSE

- Mme **CAMUS Christelle**, *Biologie cellulaire et moléculaire*
- M. **CORBIERE Fabien**, *Pathologie des ruminants*
- Mme **DIQUELOU Armelle**, *Pathologie médicale des équidés et des carnivores*
- M. **MATHON Didier**, *Pathologie chirurgicale*
- M. **MOGICATO Giovanni**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **NOUVEL Laurent**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **PAUL Mathilde**, *Epidémiologie, gestion de la santé des élevages avicoles*
- M. **VOLMER Romain**, *Microbiologie et infectiologie*

MAITRES DE CONFERENCES HORS CLASSE

- M. **BERGONIER Dominique**, *Pathologie de la reproduction*
- Mme **BIBBAL Delphine**, *Hygiène et industrie des denrées alimentaires d'origine animale*
- M. **JAEG Jean-Philippe**, *Pharmacie et toxicologie*
- M. **LYAZRHI Faouzi**, *Statistiques biologiques et mathématiques*
- Mme **PALIERNE Sophie**, *Chirurgie des animaux de compagnie*
- Mme **PRIYMENKO Nathalie**, *Alimentation*

MAITRES DE CONFERENCES CLASSE NORMALE

- M. **ASIMUS Erik**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **BRET Lydie**, *Physique et chimie biologiques et médicales*
- Mme **BOUHSIRA Emilie**, *Parasitologie, maladies parasitaires*
- M. **CARTIAUX Benjamin**, *Anatomie, imagerie médicale*
- M. **COMBARROS Daniel**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **CONCHOU Fabrice**, *Imagerie médicale*
- Mme **DANIELS Hélène**, *Immunologie, bactériologie, pathologie infectieuse*
- Mme **DAVID Laure**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DIDIMO IMAZAKI Pedro**, *Hygiène et industrie des aliments*
- M. **DOUET Jean-Yves**, *Ophthalmologie vétérinaire et comparée*
- Mme **FERRAN Aude**, *Physiologie*
- M. **FUSADE-BOYER**, *Microbiologie et infectiologie*
- Mme **GRANAT Fanny**, *Biologie médicale animale*
- Mme **JOURDAN Géraldine**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **JOUSSERAND Nicolas**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **LALLEMAND Elodie**, *Chirurgie des équidés*
- Mme **LAVOUE Rachel**, *Médecine Interne*
- M. **LE LOC'H Guillaume**, *Médecine zoologique et santé de la faune sauvage*
- M. **LIENARD Emmanuel**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **MEYNAUD-COLLARD Patricia**, *Pathologie chirurgicale*
- Mme **MILA Hanna**, *Elevage des carnivores domestiques*
- M. **VERGNE Timothée**, *Santé publique vétérinaire, maladies animales réglementées*
- Mme **WASET-SZKUTA Agnès**, *Production et pathologie porcine*

INGENIEURS DE RECHERCHE

- M. **AUMANN Marcel**, *Urgences, soins intensifs*
- M. **AUVRAY Frédéric**, *Santé digestive, pathogénie et commensalisme des entérobactéries*
- M. **CASSARD Hervé**, *Pathologie des ruminants*
- M. **CROVILLE Guillaume**, *Virologie et génomique cliniques*
- Mme **DIDIER Caroline**, *Anesthésie, analgésie*
- M. **DELPONT Mattias**, *Clinique Aviaire*
- Mme **DUPOUY GUIRAUTE Véronique**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- Mme **GAILLARD Elodie**, *Urgences, soins intensifs*
- Mme **GEFFRE Anne**, *Biologie médicale animale et comparée*
- Mme **GRISEZ Christelle**, *Parasitologie et maladies parasitaires*
- Mme **JEUNESSE Elisabeth**, *Bonnes pratiques de laboratoire*
- Mme **LAYSSOL-LAMOUR Catherine**, *Imagerie Médicale*
- Mme **POUJADE Agnès**, *Anatomie pathologique Vétérinaire*
- Mme **PRESSANTI Charline**, *Dermatologie vétérinaire*
- M. **RAMON PORTUGAL Felipe**, *Innovations thérapeutiques et résistances*
- M. **REYNOLDS Brice**, *Médecine interne des animaux de compagnie*
- Mme **ROUCH BUCK Pétra**, *Médecine préventive*
- Mme **SAADA Chloé**, *Gestion intégrée de la santé des ruminants*

Remerciements

A Monsieur le Professeur Jean-Luc Guérin

Professeur de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Pathologie aviaire - Chaire BSA - Directeur UMR IHAP+33

Qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence de mon jury de thèse. Qu'il reçoive mes sincères reconnaissances pour sa disponibilité.

Mes hommages respectueux.

A Monsieur le Docteur Guillaume Le Loc'h

Maître de conférences de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Médecine zoologique et santé de la faune sauvage

Qui m'a fait l'honneur d'encadrer cette thèse. Qui m'a toujours accordé sa confiance, son soutien, et son temps, prodiguant ses conseils précieux pour l'aboutissement de ce travail comme pour l'accomplissement de mon cursus professionnel en médecine zoologique et faune sauvage.

Ma gratitude la plus profonde.

A Monsieur le Docteur Benjamin Cartiaux

Maître de conférences de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse
Anatomie

Qui a aimablement accepté de se constituer membre du jury de cette thèse, qui m'a accompagné et soutenu professionnellement comme personnellement pendant ces années.

Ma sincère reconnaissance.

A Monsieur Jérôme Maran

Président de l'Association du Refuge des Tortues

Qui m'a fait l'honneur d'encadrer cette thèse. Qui m'a ouvert les portes du monde des tortues, me gratifiant de son temps précieux, et partageant généreusement son inestimable expérience. Pour sa passion et son engagement inconditionnel.

Mes remerciements respectueux.

A Monsieur Simon Rouot

Membre du conseil d'administration de l'Association du Refuge des Tortues

A Monsieur le Docteur Benoît Quintard

DVM, Dipl ECZM (ZHM), vétérinaire au Parc Zoologique et Botanique de Mulhouse

A Monsieur Anthony Kohler

Directeur zoologique du Parc Animalier de Sainte-Croix

A Monsieur le Docteur Jean-Yves Georges

Institut Pluridisciplinaire Hubert Curien (IPHC) - Département d'écologie, de physiologie et d'éthologie de l'Université de Strasbourg

A Monsieur le Professeur Olivier Verneau

Université de Perpignan (UPVD)-Centre d'enseignement et de recherche sur les environnements méditerranéens

SERMENT DE BOURGELAT

FIDÈLEMENT ATTACHÉ AUX DIRECTIVES FIXÉES AUX ÉLÈVES DES ÉCOLES ROYALES VÉTÉRINAIRES DE FRANCE PAR CLAUDE BOURGELAT, INSPECTEUR GÉNÉRAL, EN L'ARTICLE 19 DU RÉGLEMENT POUR CES ÉCOLES DE 1777 ET AINSI EXPRIMÉES :

« Toujours imbus des principes d'honnêteté qu'ils auront puisés et dont ils auront vu des exemples dans les Écoles, ils ne s'en écarteront jamais. Ils distingueront le pauvre du riche. Ils ne mettront point à un trop haut prix des talents qu'ils ne devront qu'à la bienfaisance et à la générosité de leur patrie. Enfin, ils prouveront par leur conduite qu'ils sont tous également convaincus que la fortune consiste moins dans le bien que l'on a que dans celui que l'on peut faire. »

*« Je promets et je jure devant le Conseil de l'Ordre des Vétérinaires de conformer ma conduite professionnelle aux règles prescrites par le code de déontologie et d'en observer toute circonstance les principes de correction et de droiture.
Je fais le serment d'avoir à tout moment et en tout lieu le souci constant de la dignité et de l'honneur de la profession vétérinaire. »*

Table des matières

LISTE RÉCAPITULATIVE DES ENSEIGNANTS	2
REMERCIEMENTS	4
SERMENT DE BOURGELAT	6
TABLE DES FIGURES	12
TABLE DES TABLEAUX	15
TABLE DES ABRÉVIATIONS ET DES SIGLES	16
INTRODUCTION	18
PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA BIOLOGIE DE L'ÉMYDE LÉPREUSE (<i>MAUREMYS LEPROSA</i>), DES MENACES ET DES MESURES DE CONSERVATION	20
A. Biologie et écologie de l'Émyde lépreuse.....	20
1. Première description de l'Émyde lépreuse.....	20
2. Position systématique et taxinomie	21
3. Description anatomique.....	24
4. Répartition géographique et milieu de vie	28
i. Répartition géographique et origine fossile	28
ii. Habitat et écologie.....	31
5. Mode de vie : comportement, reproduction et alimentation	33
i. Comportement.....	33
ii. Reproduction	33
iii. Alimentation.....	34
B. Menaces et considération du statut de protection de l'Émyde lépreuse.....	35
1. Facteurs de risque d'extinction	35
i. Dégradation et perte d'habitat	35
ii. Prédation des tortues et de leurs œufs	36
iii. L'introduction et l'installation d'espèces exogènes	36
iv. Collection, consommation et commerce d'individus.....	37
2. Changement climatique.....	38
3. Statut de conservation	38
4. Statut légal de protection.....	40

i.	Au niveau international	41
ii.	Au niveau européen.....	41
iii.	Au niveau national	41
C.	Action d'étude et mesures de conservation de l'Émyde lépreuse	42
D.	Une station dédiée à l'élevage et à l'étude de l'Émyde lépreuse au Refuge des Tortues de Bessières.....	43

PARTIE 2 : FONDEMENTS DE LA CONSERVATION *EX SITU* ET ENJEUX DE LA GESTION DÉMOGRAPHIQUE ET GÉNÉTIQUE D'ESPÈCES MENACÉES : APPLICATION A *MAUREMYS LEPROSA* 46

A.	Principes, objectifs et prérequis d'un élevage conservatoire	46
1.	Notion de conservation.....	46
2.	Principes de l'élevage conservatoire ou conservation <i>ex situ</i>	46
3.	Rôles et objectifs de l'élevage conservatoire	48
i.	L'élevage conservatoire incarne différents rôles (IUCN/SSC 2014) :.....	49
ii.	L'élevage conservatoire définit des objectifs :.....	49
iii.	Éducation et recherche :	50
4.	Le projet « Sauvons l'Émyde lépreuse ».....	50
i.	Principe et objectifs	50
ii.	Prérequis et évaluation de la pertinence du projet.....	51
5.	Prérequis à la génétique des populations.....	53
6.	Prérequis à l'élevage conservatoire.....	53
i.	Évaluation du statut démographique :	53
ii.	Évaluation du statut génétique :	54
B.	Un guide de bonnes pratiques pour l'élevage conservatoire.....	54
C.	Constitution, gestion et relâché d'une population conservatoire	55
1.	Reconnaitre le déclin de la population sauvage (Phase 1 : identification)...	56
i.	Notion de population et conséquences génétiques d'une taille réduite....	56
ii.	Les facteurs contrôlant l'évolution des petites populations	57
iii.	La taille effective N_e de la population.....	57
iv.	La dérive génétique dépend de la taille effective N_e	58
v.	Le déclin des populations sauvages d'émydes lépreuses	59
vi.	Caractérisation de la structure démographique et génétique des populations d'émydes lépreuses françaises sauvages	60
2.	Marqueurs génétiques permettant de caractériser le génome.....	64
i.	ADN mitochondrial.....	64

ii.	Microsatellites	64
iii.	Synthèse chez <i>M. leprosa</i>	64
3.	Constituer une population captive (Phase 2 : fondation)	66
i.	Recruter des individus fondateurs	66
ii.	Conséquences génétiques d'un nombre insuffisant de fondateurs.....	67
iii.	Phase de fondation : application à l'Émyde lépreuse.....	68
(a)	Protocole d'accueil des émydes lépreuses au Refuge des Tortues.....	69
(b)	Schéma d'identification génétique	69
(c)	Effectifs envisagés d'émydes lépreuses	71
4.	Atteindre une taille de population captive cible (Phase 3 : croissance).....	72
i.	Assurer la viabilité démographique de la population constituée.....	72
ii.	Phase de croissance : application à l'Émyde lépreuse	73
5.	Maintenir une stabilité démographique et génétique de la population captive au cours des générations (Phase 4 : maintien <i>ex-situ</i>).....	75
i.	Maintenir la viabilité d'une population : enjeux démographiques.....	75
ii.	Maintenir la viabilité d'une population : enjeux génétiques	76
(a)	Augmentation de la consanguinité	76
(b)	Diminution de la diversité génétique	77
(c)	Objectifs génétiques de l'élevage conservatoire	79
(d)	Minimiser l'apparentement moyen	79
iii.	Phase de maintien <i>ex situ</i> : application à l'Émyde lépreuse.....	80
(a)	Gestion des individus reproducteurs	80
(b)	Gestion des œufs	81
(c)	Gestion des descendants et identification de la parenté	81
6.	Translocation d'individus dans le milieu naturel (Phase 5 : restauration) ...	84
i.	Le choix de la translocation	84
ii.	Considérations sur la translocation d'individus dans le milieu naturel....	85
7.	Gestion de la population restaurée (phase 6 : maintien <i>in situ</i>)	87
i.	Suivi d'un projet de restauration de population et évaluation de son succès sur le long terme.....	87
ii.	Suivi du projet « Sauvons l'Émyde lépreuse » et évaluation de son succès sur le long terme.....	88
	CONCLUSION	90
	GLOSSAIRE DES TERMES UTILISÉS.....	92

BIBLIOGRAPHIE.....	96
ANNEXES	110
ANNEXE 1 : Lettre de Jérôme Maran, président de l'ART (Maran 2021).....	110
ANNEXE 2 : Protocole de prélèvement de sang Émyde lépreuse	111
ANNEXE 3 : Liste des Émydes lépreuses (<i>Mauremys leprosa</i>) pour lesquelles un prélèvement sanguin été effectué par le Dr Olivier VERNEAU au Refuge des Tortues le 30/04/2021, afin d'identifier le profil génétique	112
ANNEXE 4 : Listes des Émydes lépreuses (<i>Mauremys leprosa</i>) pour lesquelles un prélèvement sanguin a été effectué dans diverses institutions (vert)	114

Table des figures

Figure 1 : Émyde lépreuse (<i>Mauremys leprosa</i>) adulte (Arnold et al. 2010).....	20
Figure 2 : Tortue d'Hermann adulte (<i>Testudo hermanni</i>) et Cistude d'Europe adulte (<i>Emys orbicularis</i>) (Arnold et al. 2010)	21
Figure 3 : Émyde lépreuse (<i>Mauremys leprosa</i>) adulte femelle ©Matthieu Berroneau (Maran, Frétey 2023)	22
Figure 4 : <i>Mauremys leprosa</i> adulte mâle © Matthieu Berroneau.....	23
Figure 5 : <i>Mauremys leprosa leprosa</i> adulte (gauche) et <i>Mauremys leprosa saharica</i> adulte (droite) ©Matthieu Berroneau.....	24
Figure 6 : <i>Mauremys leprosa</i> mâle subadulte, modifié ©Matthieu Berroneau.....	26
Figure 7 : <i>Mauremys leprosa</i> adulte mâle et femelle, planche originale ©Matthieu Berroneau (Maran, Frétey 2023).....	27
Figure 8 : Répartition en France de <i>Mauremys leprosa</i> (Comm. Personnelle ART).....	29
Figure 9 : Localisations géographiques et abondances des haplotypes cyt b de l'ADNmt des différentes populations de <i>M. leprosa</i> dans les parties septentrionales de son aire de répartition, adaptée (Palacios et al. 2015)	30
Figure 10 : Localisation des deux métapopulations françaises obtenue à l'aide du logiciel QGis© IGN 2023	30
Figure 11 : <i>Mauremys leprosa</i> en thermorégulation © Fred Lavail.....	32
Figure 12 : Évaluation du statut de conservation de l'Émyde lépreuse selon l'IUCN.....	39
Figure 13 : Structure des catégories de la Liste rouge UICN, adaptée (Comité des normes et des pétitions de l'UICN 2019)©Matthieu Berroneau	40
Figure 14 : Arbre décisionnel d'évaluation de la pertinence d'un projet, adaptée (Thienpont et al. 2020; Guidelines for reintroductions and other conservation translocations 2013)....	52

Figure 15 : Évolution de la taille d'une population captive, depuis l'arrivée d'individus fondateurs jusqu'à la phase de restauration, modifiée d'après (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).....	55
Figure 16 : Mise en évidence du déclin de la population sauvage et de ses conséquences génétiques : identification.	56
Figure 17 : Schéma du vortex entraînant les petites populations isolées et fragmentées dans une spirale vers l'extinction, adaptée (Frankham et al. 2017)	57
Figure 18 : Réseau d'enchevêtrement minimal des haplotypes cyt b de l'ADNmt de <i>M. leprosa</i> . Les cercles de couleur représentent la distribution et la fréquence des haplotypes identifiés en Catalogne espagnole et française ainsi que dans les "autres" sites de l'étude. Les cercles blancs représentent les haplotypes connus de cette espèce qui n'ont pas été observés dans cette étude. Les tirets représentent les haplotypes manquants (Palacios et al. 2015).....	62
Figure 19 : A, distribution spatiale des lignées et sous-lignées d'ADNmt. Les cercles et les carrés correspondent respectivement aux lignées A et B. B, réseau d'haplotypes pour les séquences R35. La taille des 19 haplotypes est proportionnelle à leur fréquence et les lignes représentent les étapes mutationnelles séparant les haplotypes observés. C, phylogramme basé sur les données de l'ADNmt (Cytb et boucle D). Les temps jusqu'à l'ancêtre commun le plus récent pour la séparation entre les lignées et à l'intérieur des lignées sont en rouge (Veríssimo et al. 2016).	63
Figure 20 : Création d'une ou plusieurs populations captives : fondation.....	66
Figure 21 : Probabilité d'échantillonner au moins une copie de chaque allèle en fonction du nombre d'individus fondateurs, modifiée d'après (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).....	67
Figure 22 : Expansion des populations captives jusqu'à une taille de population suffisante : croissance	72
Figure 23 : Photographies aériennes de la station d'élevage en cours de construction - © Fred Lavail.....	74
Figure 24 : Gestion de la population captive sur plusieurs générations : maintien <i>ex-situ</i>	75

Figure 25: Taux de consanguinité (F) en fonction des générations (t) pour une taille de population isolée N, adaptée (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).....	77
Figure 26 : Taux d'hétérozygotie en fonction du nombre de générations (t), pour une taille de population effective N_e , adaptée (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).....	78
Figure 27 : Choix des individus à transférer dans le milieu naturel : restauration.....	84
Figure 28 : Arbre décisionnel de translocation d'individus, adaptée (Guidelines for reintroductions and other conservation translocations 2013).....	85
Figure 29 : Gestion de la population restaurée dans la nature : maintien <i>in-situ</i>	87
Figure 30 : Planning prévisionnel de translocation à des fins de conservation de <i>Mauremys leprosa</i> (Maran, Rouot, communication personnelle, 2023).....	89

Table des tableaux

TABLEAU 1 : EFFECTIFS ENVISAGÉS D'INDIVIDUS REPRODUCTEURS DANS CHACUN DES BASSINS (MARAN, ROUOT, ROCH 2022)	71
--	----

Table des abréviations et des sigles

	Signification
ADN	Acide désoxyribonucléique
AMPA	Acide alpha-amino-3-hydroxy-5-méthyl-4-isoxazolepropionique
ARN	Acide ribonucléique
ART	Association du Refuge des Tortues
CEN	Conservatoire des Espaces Naturels
CMR	Capture-Marquage-Recapture
CR	Statut « en danger critique d'extinction » de la liste rouge de l'IUCN
DDPP	Direction départementale de la protection des populations
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EL	Émyde lépreuse
EN	Statut « en danger » de la liste rouge de l'IUCN
ENVT	École Nationale Vétérinaire de Toulouse
IUCN	Union Internationale pour la Conservation de la Nature (de l'anglais
ou UICN	<i>International Union for Conservation of Nature</i>)
ML	<i>Mauremys leprosa</i>
OFB	Office Français de la Biodiversité
PCR	Réaction en chaîne par polymérase (de l'anglais <i>Polymerase Chain Reaction</i>)
PNA	Plan National d'Action
RFID	Radio-identification (de l'anglais <i>Radio Frequency Identification</i>)
VHF	Bande de très hautes fréquences (de l'anglais <i>Very High Frequency</i>)
VU	Statut « vulnérable » de la liste rouge de l'IUCN
ZNIEFF	Zones Naturelles d'Intérêts Écologique, Faunistique et Floristique

INTRODUCTION

Les formes de vie contemporaines reflètent un échantillon de lignées ininterrompues de 3,5 milliards d'années d'évolution, voire davantage (Dodd et al. 2017). En 540 millions d'années, cinq crises biologiques majeures ont modelé la biodiversité, la faisant chuter drastiquement (jusqu'à 75% de diminution), brusquement (en quelques millions d'années), et globalement (Ambu, Dufresnes 2022). Nous sommes au cœur de la sixième extinction massive. Le taux de disparition des espèces est près de 1000 fois supérieur aux taux antérieurs, et il est certainement sous-estimé (Pimm et al. 2014). À l'échelle mondiale, l'abondance des espèces de vertébrés terrestres a diminué de 28,9 % entre 1960 et 2016 (Ripple et al. 2017) ; celle des espèces d'eau douce de 83% entre 1970 et 2014 (Grooten, Almond, WWF (Organization) 2018). Parmi les espèces de tortues décrites, 52,2 % sont menacées d'extinction. Certaines se sont éteintes au cours de l'histoire récente de l'humanité, comme par exemple le dernier mâle *Chelonoidis abingdonii*, une tortue géante de l'île Pinta aux Galapagos en 2012, malgré les efforts de conservation fournis (IUCN 2015; Rhodin et al. 2018; Stanford et al. 2020). Avec l'extinction de nombreuses espèces et populations au sein de ces espèces, la diversité génétique s'appauvrit et l'adaptation aux changements climatiques devient moins efficace (Stanford et al. 2020). Dans ce contexte, la conservation par la restauration de populations d'espèces menacées d'extinction est un enjeu majeur (IUCN/SSC 2013).

Les tortues sont des créatures ancestrales et vénérées dans de nombreuses cultures humaines depuis des millénaires. Elles sont globalement intégrées aux écosystèmes mondiaux depuis environ 220 millions d'années (Stanford et al. 2020). Elles sont instantanément identifiables à leur carapace, dont la fonction protectrice qu'on lui attribue aujourd'hui serait en réalité une exaptation (adaptation sélective opportuniste) et non une adaptation. La carapace aurait fourni une base stable à partir de laquelle pouvait fonctionner un puissant appareil fouisseur, permettant ainsi de développer une stratégie d'enfouissement en réponse au stress environnemental (Lyson et al. 2016). Les adaptations à l'enfouissement permise par la carapace auraient protégé les premières tortues de l'assèchement climatique rapide de la fin du Permien, les préservant de l'extinction Permien-Trias il y a 252 millions d'années (Bordy et al. 2011). Leurs modes de vie originaux leur permettent de peupler l'ensemble des continents, excepté l'Antarctique, et la très grande majorité des océans. On les divise en trois groupes, les tortues terrestres, les tortues d'eau douce ou dulcicoles, et les tortues marines (Lovich 2023). L'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa* (Schweigger 1812)) est une espèce de tortue dulcicole décrite pour

la première fois par le naturaliste et médecin prussien August Friedrich Schweigger (1783-1821) dans « Prodrromus Monographia Cheloniorum » en 1812. Elles sont avec la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) et la Tortue d'Hermann (*Testudo hermanni*) les trois seules tortues endémiques de France métropolitaine. Chacune d'elles est menacée (IUCN 2023) et protégée par un Plan National d'Actions (PNA) conduit par le Conservatoire des Espaces Naturels d'Occitanie (CEN Occitanie) pour l'Émyde lépreuse, par la Station d'Observation et de Protection des Tortues et de leur Milieu (SOPTOM) pour la Tortue d'Hermann, et par la Société Herpétologique de France (S.H.F) pour la Cistude d'Europe (Société Herpétologique de France 2019; DREAL PACA 2018; Courmont 2011).

Cette thèse s'inscrit dans le projet de conservation mené par Jérôme Maran et son équipe au Refuge des Tortues de Bessières, en Haute-Garonne. L'objectif est de fonder une station d'élevage et d'étude pour l'Émyde lépreuse afin de restaurer des populations au cœur de sites naturels de son aire de répartition. Nous étudierons d'abord la biologie et l'écologie de l'Émyde lépreuse, ainsi que les menaces auxquelles elle doit faire face et qui justifient son statut de protection. Puis nous aborderons les enjeux démographiques et génétiques qui gouvernent les stratégies de conservation. Enfin nous discuterons du projet d'élevage conservatoire de l'Émyde lépreuse.

PARTIE 1 : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE DE LA BIOLOGIE DE L'ÉMYDE LÉPREUSE (*Mauremys leprosa*), DES MENACES ET DES MESURES DE CONSERVATION

A. Biologie et écologie de l'Émyde lépreuse

1. Première description de l'Émyde lépreuse

La description originale de l'Émyde lépreuse dans la littérature scientifique la présente comme une tortue à la carapace basse, ovale, faiblement carénée, colorée d'un jaune sombre dont les tubercules saillants lui donnent un aspect verruqueux (Figure 1). Sa dossière, composée d'écailles noirâtres bordées de jaune, est reliée par des ponts osseux à un plastron, tronqué en avant et fendu en deux en arrière (Schweigger 1812). L'holotype, une femelle subadulte, est toujours conservé dans l'alcool au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris. Depuis, les descriptions se sont précisées et les nomenclatures ont évolué grâce aux travaux taxinomiques notamment, ainsi qu'aux progrès des études génétiques, amenant l'Émyde lépreuse à son actuelle position systématique. Le nom d'espèce *leprosa* lui est attribué d'après les petites saillies bossues sur les écailles de la dossière, vestiges de carènes rappelant les nodules analogues à ceux causés par la lèpre, maladie infectieuse chronique provoquée par *Mycobacterium leprae* (Bour et Maran 1999). Sur le territoire français, on la distingue des deux



Figure 1 : Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) adulte (Arnold et al. 2010)

autres espèces indigènes, la Cistude d'Europe et la Tortue d'Hermann (Figure 2) et de toutes les autres espèces exogènes décrites (Maran, Frétey 2023).



Figure 2 : Tortue d'Hermann (*Testudo hermanni*) et Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) adultes (Arnold et al. 2010)

2. Position systématique et taxinomie

Mauremys leprosa est un membre de l'ordre des Chéloniens ou Testudines, plus communément appelé « tortue ». Il regroupe environ 360 espèces réparties dans 14 familles, chacune caractérisée par la présence d'une carapace et d'un crâne sans fosses temporales.

Dans le règne animal, la position systématique de *Mauremys leprosa* est la suivante :

- Embranchement *Chordata* ou Chordée : animaux possédant une notochorde dorsale.
- Sous-embranchement *Gnathostomata* ou Gnathostomes : vertébrés à mâchoire.
- Classe *Reptilia* ou Reptiles : ectothermes recouverts d'écailles.
- Ordre *Chelonii* ou Chéloniens ou Testudines : vertébrés tétrapodes à carapaces avec un crâne dépourvu de fosses temporales, aussi appelés tortues.
- Sous-ordre *Cryptodires* ou Cryptodires : tortues dont la tête conserve son orientation initiale lorsqu'elle se rétracte, le cou est plié en S selon un plan vertical.
- Superfamille *Testudinoidea* : regroupe les *Emyridae*, les *Platysternidae*, les *Testudinidae* et les *Geoemydidae*.
- Famille *Geoemydidae*

- Genre *Mauremys*



Figure 3 : Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) adulte femelle ©Matthieu Berroneau (Maran, Frétey 2023)

L'Émyde lépreuse appartient à la famille des *Geoemydidae* et plus précisément au genre *Mauremys* ou Émyde, constitué de neuf espèces réparties en Afrique du nord, en Europe et en Asie (Turtle Taxonomy Working Group et al. 2017; Stanford et al. 2020) :

- *Mauremys annamensis* (Siebenrock, 1903) : Émyde d'Annam ou tortue feuille d'Annam.
- *Mauremys caspica* (Gmelin, 1774) : Émyde Caspienne ou Émyde à cou rayé.
- *Mauremys japonica* (Temminck et Schlegel, 1835) : Émyde du Japon.
- *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812) : Émyde lépreuse comprenant deux sous-espèces, *Mauremys leprosa leprosa* (Schweigger, 1812) et *Mauremys leprosa saharica* (Schleich, 1996).
- *Mauremys mutica* (Cantor, 1842) : Émyde jaune, comprenant deux sous-espèces, *Mauremys mutica kami* (Yasukawa, Ota et Iverson, 1996) et *Mauremys mutica mutica* (Cantor, 1842).
- *Mauremys nigricans* (Gray, 1834) : Émyde à cou rouge.
- *Mauremys reevesii* (Gray, 1831) : Émyde à trois chevillons, ou Émyde de Reeves.
- *Mauremys rivulata* (Valenciennes, 1833) : Émyde des Balkans ou de la Caspienne occidentale.
- *Mauremys sinensis* (Gray, 1834) : Émyde de Chine.

Le polymorphisme est important au sein de l'espèce *Mauremys leprosa*. Depuis sa première description en 1812 et jusqu'en 2006, la distinction entre les différentes sous-espèces de *Mauremys leprosa* (définie comme le dernier rang taxonomique) reposait essentiellement sur des critères morphométriques comme des mesures de dimensions de carapaces et d'écailles, ainsi que sur des critères phénotypiques comme la coloration de la dossière, du plastron et des parties molles (Courmont 2011). Sept sous-espèces ont été décrites, respectivement par Schleich (*M.leprosa atlantica*, *M.leprosa erhardi*, *M.leprosa marokkensis*, *M.leprosa wernerkaestlei*, *M.leprosa zizi*) et par Bour et Maran (*M.leprosa vanmeehaeghei*) (Schleich 1996; Bour et Maran 1999).



Figure 4 : Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) adulte mâle © Matthieu Berroneau

En 2006, les auteurs d'une étude génétique de 99 individus échantillonnés sur toute l'aire de répartition de *Mauremys leprosa* proposent de réduire le nombre de sous-espèces à deux (Fritz et al. 2006). En 2016, Veríssimo et ses collaborateurs analysent la variation de deux marqueurs génétiques mitochondriaux et d'un gène nucléaire. Deux fragments d'ADN mitochondrial, le gène cytochrome b (cyt b) et la région de contrôle (boucle D), ainsi qu'un intron nucléaire (R35) sont ainsi ciblés pour chacun des 259 échantillons de sang, prélevés dans toute l'aire de répartition de *Mauremys leprosa* (Veríssimo et al. 2016). Ils attestent alors l'existence de deux sous lignées génétiques distinctes, correspondant à ces deux sous-espèces :

- *Mauremys leprosa leprosa* (Schweigger 1812) : regroupant des populations françaises, ibériques et marocaines au nord de l'Atlas.

- *Mauremys leprosa saharica* (Schleich 1996) : avec des populations du Maroc, au sud de l'Atlas, jusqu'à la Lybie (Fritz et al. 2006).

3. Description anatomique

Une description anatomique est établie par Bour et Maran pour caractériser l'espèce (Bour et Maran 1999).

- **Mensurations** : des variations morphologiques sont observées selon les milieux de vie. On observe des tailles comprises entre 120 mm et 250 mm de long, pour des individus adultes prélevés à la fois dans des cours d'eau montagneux et dans de vastes étendues d'eau. Le mâle est souvent plus petit et moins lourd que la femelle pouvant peser jusqu'à deux kilogrammes.
- **Carapace** : chez *Mauremys leprosa*, elle est plate et quadrangulaire. Chez les jeunes



Figure 5 : *Mauremys leprosa leprosa* (gauche) et *Mauremys leprosa saharica* (droite) adultes ©Matthieu Berroneau

individus, une carène continue marque l'axe vertébral, et deux autres surmontent les axes costaux. Ces carènes sont généralement absentes chez les individus plus âgés. La carapace est divisée en trois parties : la dossière, le plastron, et deux ponts osseux reliant l'une à l'autre latéralement.

- La dossière est composée d'écailles sombres : vertébrales, costales et marginales. Elles sont décorées de tâches plus ou moins vives et étendues, qui s'estompent avec l'âge et donnent une teinte quasiment unie chez l'adulte. Leur couleur de fond varie du vert au marron en passant par le brun selon le milieu de vie et l'âge. La couleur de ces tâches varie du jaune à l'ocre.
- Le plastron exhibe 12 écailles jaune clair dont l'ornementation foncée peut presque totalement ou seulement partiellement les recouvrir. Il est paré de larges bandes

noires chez le jeune (Figure 6), s'atténuant progressivement jusqu'à disparaître. Il est tronqué en avant, possède une échancrure anale médiane nette et profonde.

- **Tête, membres et parties molles** : le cou possède une ornementation linéaire sur un fond de couleur sombre (gris, brun clair, brun foncé) (Figure 3). D'étroites bandes longitudinales d'apparence blanchâtre, orangé ou rouge se dessinent depuis le nez jusqu'à la base du cou, continûment ou non (Figure 5). D'autres bandes plus larges et plus claires ondoient sur les membres et la queue. La teinte et la largeur de ces bandes varient selon l'aire de répartition de l'Émyde lépreuse. La tête est olivâtre. Une tâche ronde orangée peut figurer en arrière de l'œil et devant le tympan selon l'âge des individus. Les pattes sont robustes, palmées et possèdent de puissantes griffes courbes (cinq sur les membres thoraciques et quatre sur les membres pelviens). Les flancs sont pourvus de deux bandes noires amples et continues.
- **Coloration de l'iris** : il existe des variations de la pigmentation de l'iris, de sa teinte de fond et de la disposition des pigments sombres selon les lieux de vie de l'Émyde lépreuse. En accord avec une description générale, il est teinté d'un jaune plus ou moins intense, et taché d'une barre noire inclinée plus ou moins complète. Dans certains territoires, la couleur bleue peut remplacer le jaune comme décrit dans certaines publications scientifiques (Figure 5) (Hili 2020; Maran 2021; Courmont 2011).
- **Dimorphisme sexuel** : les tortues d'eau douce adultes présentent un dimorphisme sexuel important, observable dès l'âge de trois ans, pour des individus mesurant alors entre 50 et 60 mm pour un poids de 40 g. La femelle, plus grosse que le mâle, possède un plastron plat, une queue fine et un cloaque proche du plastron. L'ouverture cloacale de la femelle, lorsque la queue est repliée, ne dépasse pas l'extrémité des plaques anales. Sa tête est plus épaisse et arrondie que celle du mâle (Figure 4). Chez celui-ci, le plastron est concave, la queue dépasse l'extrémité des plaques annales. Elle est renflée à la base et renferme le pénis (Figure 7). Le cloaque est éloigné du plastron (Maran 1996).



Figure 6 : Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) mâle subadulte ©Matthieu Berroneau (Maran, Frétey 2023)



Figure 7 : Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) adulte mâle et femelle, planche originale ©Matthieu Berroneau (Maran, Frétey 2023)

4. Répartition géographique et milieu de vie
i. Répartition géographique et origine fossile

L'Émyde lépreuse serait originaire d'Afrique du Nord où l'on retrouve des fossiles datant du Pliocène (plus de 2,5 millions d'années). Elle se serait ensuite dispersée dans la péninsule ibérique au début ou à la fin du Pliocène (Palacios et al. 2015), comme le montrent Fritz et ses collaborateurs dans leur étude biogéographique (Fritz et al. 2006). Plus récemment, la structure démographique et la diversité génétique de *Mauremys leprosa* ont été considérées dans son aire de répartition septentrionale. Elles révèlent des populations nouvelles et une origine ancestrale mixte (Palacios et al. 2015). En effet, les auteurs montrent d'abord qu'elle est présente dans une grande partie de l'Afrique du Nord, dans la péninsule ibérique et dans une moindre mesure en France où le plus vieux fossile est daté de l'Holocène (- 4000 ans). Des traces de l'espèce datant du 2^{ème} siècle avant JC et du 11^{ème} siècle ont été retrouvées dans de sites archéologiques du Languedoc-Roussillon (Cheylan 1982; Forest, Olive 2006; Cheylan, Brien Poitevin 2003). Sa distribution métropolitaine actuelle s'étend au-delà des Pyrénées, tout le long de la côte catalane française (Figure 8). L'espèce serait spatialement structurée en métapopulations dans deux endroits (Figure 10 et Figure 9). Les individus d'une métapopulation sont connectés par le cours du réseau hydrographique principal :

- Une métapopulation dans le fleuve Baillaury dans le massif des Albères des Pyrénées orientales, près de la frontière entre la France et l'Espagne.
- Une métapopulation le long du lit principal du Tech, dans la plaine du Roussillon.

Ces métapopulations sont reconnues comme indigènes et les individus isolés signalés dans d'autres localités françaises sont considérés comme le fruit de l'introduction humaine (Palacios et al. 2015). Les auteurs confirment ensuite une origine mixte de ces deux métapopulations et proposent deux explications révélatrices de la source de métapopulations Françaises :

- Une origine ancienne, résultat d'une dispersion depuis la péninsule ibérique, sans que la chaîne des Pyrénées ne forme une barrière insurmontable.
- Une origine plus récente, potentiellement le résultat d'une translocation anthropique.

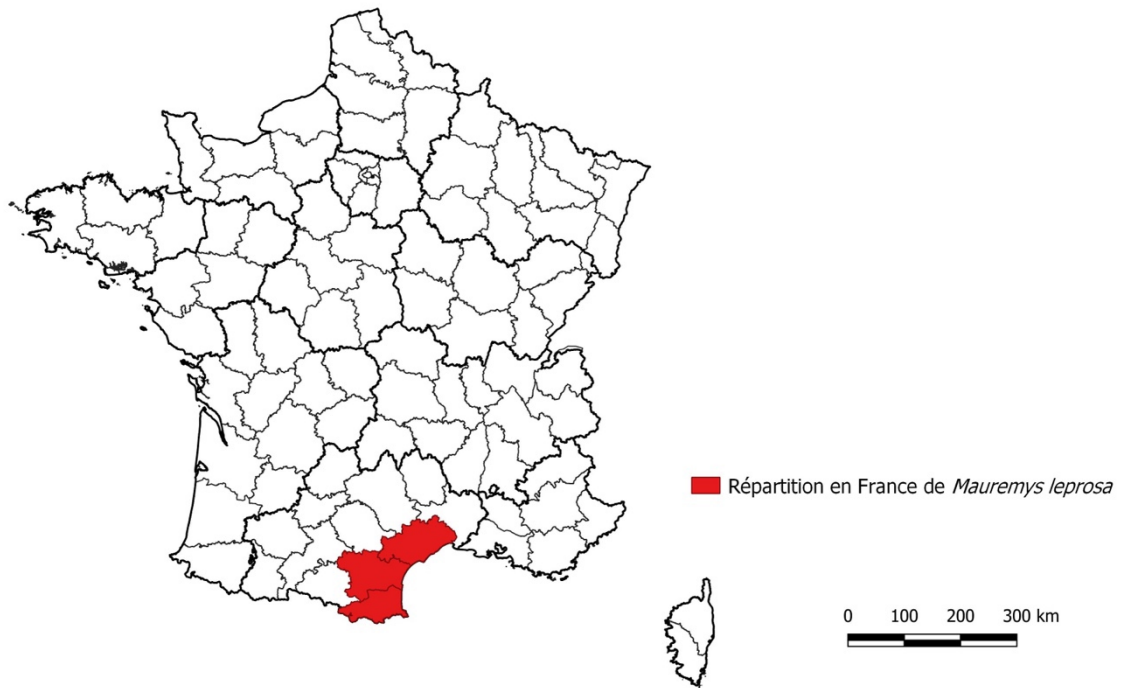


Figure 8 : Répartition en France de l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) (Comm. Personnelle ART)

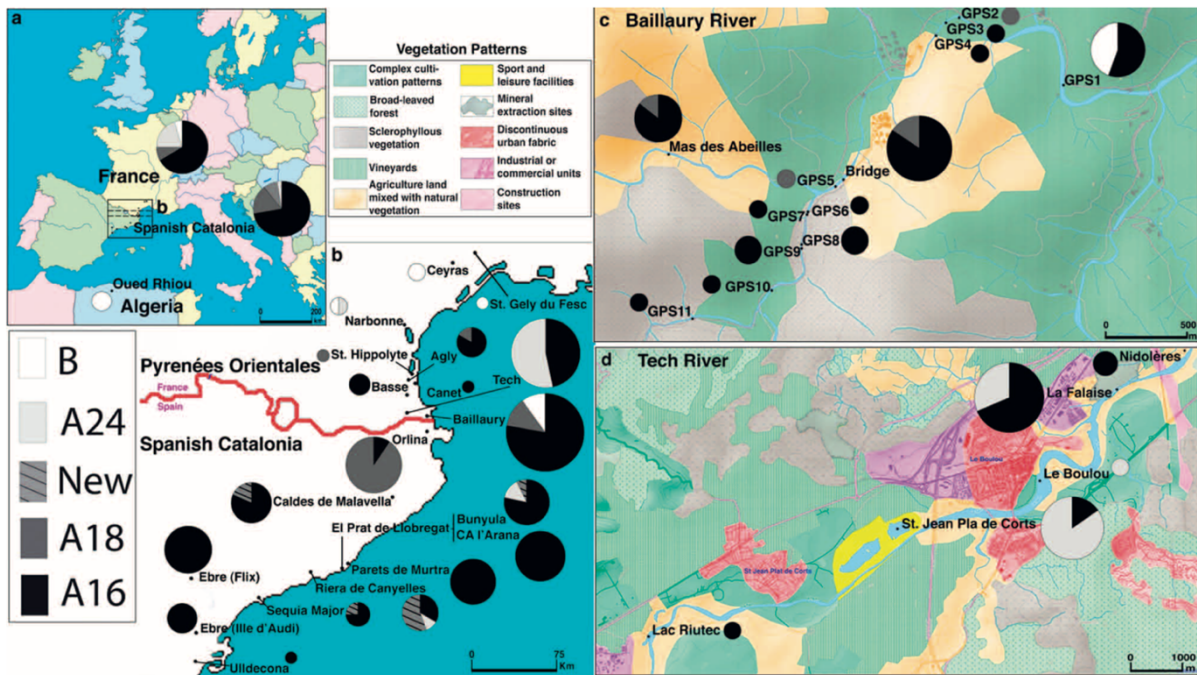


Figure 10 : Localisations géographiques et abondances des haplotypes cytb de l'ADNmt des différentes populations de *Mauremys leprosa* dans les parties septentrionales de son aire de répartition, adaptée (Palacios et al. 2015)

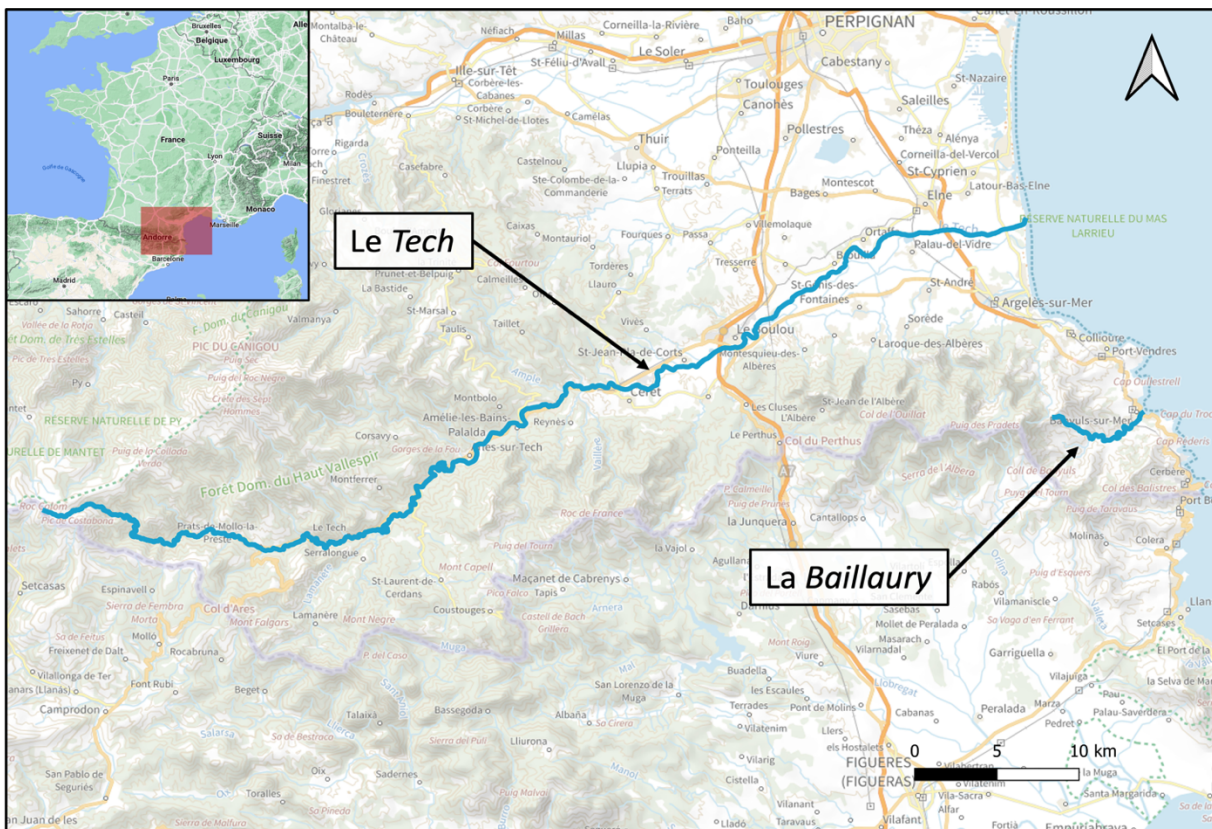


Figure 9 : Localisation des deux métapopulations françaises obtenue à l'aide du logiciel QGIS© IGN 2023

ii. Habitat et écologie

L'Émyde lépreuse est une tortue dulçaquicole ; elle est inféodée au milieu aquatique ou semi-aquatique, impliquant diverses adaptations. Elle possède une forte valence écologique et fréquente tous les types de points d'eau de son aire de répartition, aussi bien en eau stagnante qu'en eau vive. On la retrouve préférentiellement dans des cours d'eau modérément rapides, dans des oueds et zone humides d'eau stagnante, où la présence de végétation est nécessaire à l'établissement de refuges (Palacios et al. 2015). Cette végétation est principalement composée de roseaux, à proximité de forêts ou d'arbres le long des cours d'eau dont les lits peuvent être profonds et pierreux. Des roches, du sable ou de la boue peuvent composer le fond quand *Mauremys leprosa* habite les mares, les prairies marécageuses, les zones humides permanente ou temporaires. On observe l'espèce à proximité de zones humides anthropisées d'intensité et de fréquentation humaine modérée telles que les systèmes d'irrigation de cultures, les sites d'abreuvement de bétails, les étangs. L'espèce tolère bien les eaux eutrophisées et fortement polluées sans que l'impact sur les populations n'ait été étudié. Des sites de baignades, des zones de thermorégulation, des éléments dépassant ou surplombant l'eau tels que des rochers, des troncs, ou même des structures artificielles agrémentent sa zone de vie. On peut également la retrouver dans les estuaires où l'eau saumâtre est tolérée de manière temporaire uniquement, du fait de l'absence de glandes salines (Rhodin et al. 2017).

Au Maroc, *Mauremys leprosa* est présente en densité plus importante, même dans les eaux peu profondes. Durant les mois chauds, avec l'augmentation de la température et la diminution des précipitations, les tortues se regroupent au niveau des points d'eau, contribuant alors à la souillure de l'eau stagnante. Elles peuvent également s'envaser pour attendre le retour de conditions plus favorables. On les retrouve jusqu'à 1800 m d'altitude (Bour et Maran 1999).

En Espagne, *Mauremys leprosa* semble préférer les étangs plus grands et plus permanents aux marais stagnants. A Castellón on la retrouve surtout dans les rivières avec une distribution qui ne semble indépendante des niveaux de pH ou de salinité. A Salamanque, elle préfère les rivières permanentes, profondes et larges, où 80 % des observations sont faites dans des zones aménagées et anthropisées. En Catalogne, la majorité des populations est distribuée

préférentiellement à moins de 100 m d'altitude. Mais elle peut être observée jusqu'à 1250 m dans le reste du pays (Bour et Maran 1999).



Figure 11 : *Mauremys leprosa* en thermorégulation sur une pierre © Pierre Fita



Figure 12 : *Mauremys leprosa* en thermorégulation sur un tronc © Pierre Fita

5. Mode de vie : comportement, reproduction et alimentation

i. Comportement

Les moments d'activité et d'inactivité varient selon le climat et la zone d'habitat de l'Émyde lépreuse : recherche de zones de thermorégulation (Figure 11 et Figure 12) et d'abris pour les périodes d'inactivité (brumation et estivation), la réalisation des activités reproductrices (recherche de partenaires, de sites de ponte, etc.) et des activités liées à l'alimentation. En tant qu'ectotherme (ou poïkilotherme), l'insolation est d'abord réalisée pour élever la température corporelle afin d'assurer les autres fonctions (alimentation, reproduction, socialisation etc.). Le soleil favorise la synthèse de la vitamine D et le maintien de l'homéostasie calcique. L'exposition aux rayons du soleil permet également de se débarrasser des algues qui poussent sur leur carapace, ou des ectoparasites qui y élisent domicile (Divers, Stahl, Mader 2019; Lovich 2023)

ii. Reproduction

La maturité sexuelle est atteinte pour des tortues femelles de 140 mm (7-8 ans) et des tortues mâles de 75 mm (4-5 ans). Avec l'arrivée du printemps et des températures dépassant les 13°C, les premiers comportements reproducteurs apparaissent. La parade nuptiale précédant l'accouplement est poétiquement décrite par Maran :

« Un accouplement a lieu en eau peu profonde. Le mâle recherche activement sa future partenaire, une fois repérée, il se place devant elle [...] et exécute une danse nuptiale qui peut, selon les individus, paraître des plus douces. Dès lors, le mâle va accompagner sa parade d'une gestuelle lente et spectaculaire. Durant ses prémices amoureuses, il effectue une série de hochements de tête de part et d'autre de la tête de la femelle si convoitée. En procédant par de légers attouchements répétés, le mâle caressera avec sa tête celle de la femelle. Cet engouement soudain du mâle correspond à la nécessité de charmer la femelle afin que cette dernière s'immobilise pour faciliter l'accouplement. Dès lors deux phases sont possibles : 1) La femelle agacée par les avances incessantes du mâle le mord farouchement lui occasionnant une sévère entaille à l'extrémité du museau. Le mâle désabusé par sa belle, prend la fuite. 2) Dérangée et ennuyée, elle essaie d'échapper à l'ardeur répétée du mâle. Elle s'écarte rapidement sans se préoccuper des manœuvres du mâle. Celui-ci profite de l'inattention de la femelle, pour grimper sur la dossière de sa partenaire et la mordre férocement au niveau des plis de la peau du cou. Dans un premier temps, la femelle surprise, s'agite violemment dans tous les sens. Mais

le mâle se maintient adroitement grâce à ses pattes antérieures qui s'agrippent aux premières marginales alors que ses pattes postérieures s'accrochent fermement aux dernières marginales de la femelle. Lorsque la femelle semble réceptive, le mâle glisse légèrement vers l'arrière, en restant toujours fortement cramponné, afin de faciliter l'intromission du pénis. Au cours du coït, le mâle allonge son cou et par des mouvements horizontaux violents et répétés de sa tête, il empêche la femelle de sortir la tête. Celle-ci se trouve prisonnière dans sa carapace. La durée du coït varie d'une demi-heure à trois quarts d'heure. Cherchant désespérément à respirer, la femelle s'agite de plus en plus, le mâle finit par céder et relâche sa prise. Tandis que la femelle regagne la surface pour s'enivrer d'oxygène, le mâle demeure au fond de l'eau en gardant son pénis en érection quelques minutes. Dans la nature, les noyades sont relativement rares du fait de l'irrégularité du relief aquatique qui permet aux femelles de se hisser, tant bien que mal, à la surface pour respirer. Nous avons souvent rencontré des femelles qui avaient réussi à s'extraire du milieu aquatique portant encore sur leur dos leurs mâles intrépides et peu soucieux du danger extérieur. » (Maran 1996)

La première ponte (1 à 14 œufs) survient entre avril et août en fonction du climat, la plupart du temps la nuit ; une seconde ponte est souvent accomplie en automne. La femelle dépose des œufs allongés de 20x35 mm dans des zones terreuses et drainantes, découvertes, non loin du cours d'eau. La durée d'incubation varie entre 60 et 90 jours.

Arrivées au terme de leur développement, les jeunes tortues attendent les pluies d'août ou de septembre pour briser l'œuf, mesurant en moyenne entre 22 à 28 mm, pour un poids de 5 à 8 g.

iii. Alimentation

Maran décrit l'Émyde lépreuse comme une tortue omnivore opportuniste à dominante herbivore, notamment chez les juvéniles (Maran 1996). Elle se nourrit de jour comme de nuit, sur terre comme dans l'eau. La base de son alimentation est composée d'insectes, d'amphibiens (têtards de *Rana perezi*, *Triturus marmoratus*, *Pelobates*, œufs de *Bufo*), de mollusques, de crustacés (*Procambarus clarkii*), de poissons et de leurs œufs, de plantes aquatiques, terrestres et autres fruits de son environnement, de restes de végétaux. L'Émyde lépreuse peut éventuellement montrer des comportements de coprophagie et de nécrophagie.

B. Menaces et considération du statut de protection de l'Émyde lépreuse

1. Facteurs de risque d'extinction

Les principales menaces qui pèsent sur les tortues aquatiques et les tortues terrestres au début du 21^{ème} siècle sont la perte et la dégradation de l'habitat, la collecte excessive de tortues et de leurs œufs pour la consommation alimentaire et le commerce international d'animaux de compagnie, ainsi que pour le commerce de médicaments traditionnels fabriqués à partir de parties de tortues (Stanford et al. 2020). Les risques d'extinction varient selon les régions géographiques. En Asie par exemple, la collecte de tortues sauvages pour la médecine traditionnelle et l'alimentation constitue depuis longtemps une menace ; ces dernières années, l'essor du commerce des animaux de compagnie a également exercé une pression énorme sur un grand nombre de ces mêmes espèces (Xu, Xu, Lu 2014; Chen, Chang, Lue 2009). L'Émyde lépreuse est non seulement menacée par des facteurs agissant directement sur les populations, mais également par des facteurs agissant sur son environnement. Le plan national d'action (PNA) liste les menaces auxquelles l'espèce doit faire face, succinctement présentées et de manière non-exhaustive dans le paragraphe ci-dessous (Courmont 2011) ; l'énumération est enrichie d'exemples de facteurs de risque pour les tortues dulçaquicoles, référencés dans la littérature scientifique mondiale.

i. Dégradation et perte d'habitat

La perte ou la dégradation d'habitat est la principale menace pour la biodiversité mondiale et pour la survie de nombreux taxons de chéloniens (Toledo, De La Concha, Rubio 2021) :

- L'altération des zones terrestres par l'urbanisation et l'aménagement de berges et de zones de loisirs restreint les sites de ponte et d'insolation. L'entretien anthropique trop marqué de ces zones diminue par exemple l'abondance de bois mort, nécessaire comme support d'insolation (Lindeman 1999).
- La surexploitation humaine des aquifères implique l'assèchement et le dérèglement des zones humides (cours d'eau, oueds) (Díaz-Paniagua, Carmen, Aragonés, David 2015).
- La fragmentation des habitats conduit à une perte des connexions entre les noyaux de populations et rompt le flux génétique (*e.g* barrages et annexes hydrauliques) (Haddad et al. 2015; Lees et al. 2016).
- La canalisation des cours d'eau et la construction de rives cimentées verticales peut éliminer les sites d'insolation et de nidification, voire modifier les processus hydrodynamiques

nécessaires à la réalisation des fonctions vitales. Leur entretien inadapté par désherbage et curage mécanique peut être préjudiciable (Roosenburg et al. 2014).

- La disparition de la végétation rivulaire entraîne la perte d'abris et conduit les populations à délaisser certains secteurs pour d'autres plus végétalisés (Curtis et al. 2018).
- La forte contamination des eaux est un facteur de stress. Dans le sud de la France, en particulier dans le département des Pyrénées-Orientales, les activités agricoles sont principalement basées sur les cultures fruitières et les vignobles. Le glyphosate et l'AMPA ont été détectés dans certains cours d'eau. L'activité de biomarqueurs de stress oxydatif (la catalase et la superoxyde dismutase) a été évaluée chez des émydes lépreuses (*Mauremys leprosa*) et trachémydes à tempes rouge (*Trachemys scripta elegans*) sauvages en environnement aquatiques contrastés, révélant des variations significatives. Les tortues les moins stressées sont situées dans les milieux aquatiques les moins dégradés (Héritier et al. 2017).
- Le gain de terrain de l'agriculture sur les zones humides sauvages réduit les espaces vitaux (Medková, Vačkář, Weinzettel 2017).
- Les incendies et la sécheresse menacent directement les tortues, ou indirectement par dégradation du milieu de vie (Curtis et al. 2018).
- L'agrainage cynégétique (ou alimentation de diversion) pratiqué en bordure de cours d'eau peut générer des effets involontaires tels que la dégradation des berges par les ongulés sauvages, favorisant ainsi leur érosion (Milner et al. 2014).

ii. Prédation des tortues et de leurs œufs

- La prédation des sites de pontes et des juvéniles est réalisée par des espèces carnivores autochtones (fouine, sanglier, blaireau) suite à un défaut de ressources alimentaires ou un stationnement entretenu par un agrainage volontaire inadapté à proximité des cours d'eau (Courmont 2011)

iii. L'introduction et l'installation d'espèces exogènes

- La compétition interspécifique avec des espèces américaines introduites (*Trachemys scripta elegans*) peut affecter la démographie des populations concernées et entraîner la transmission d'agents infectieux pathogènes (Verneau et al. 2011).

- La prédation des œufs et des juvéniles est réalisée par les espèces exogènes envahissantes par exemple le Vison d'Amérique (*Neovison vison*) ou l'Écrevisse américaine (*Faxonius limosus*) (Courmont 2011).
- Les opérations de lutte contre les tortues de Floride peuvent entraîner des confusions et conduire à des décès d'individus d'Émyde lépreuse (Figure 13) (Courmont 2011).



Figure 13 : *Trachemys scripta scripta* mâle (à gauche) et femelle (à droite) ©Matthieu Berroneau

iv. Collection, consommation et commerce d'individus

- Des captures accidentelles de tortues dulçaquicoles peuvent être le fait de pêcheurs (hameçon, nasse ou filet) (Bruce Bury 2011; Barko, Briggler, Ostendorf 2004; Midwood et al. 2015) qui peuvent ne pas les relâcher du fait de la confusion possible avec *Trachemys scripta* (Tortue de Floride) dans le cas de l'Émyde lépreuse, ou les blesser mortellement (Courmont 2011)
- La capture puis la commercialisation de tortues comme animaux de compagnie ou animaux d'ornement existent aussi. La plupart des spécimens prélevés et commercialisés appartiennent aux familles *Testudinidae*, *Geoemydidae*, *Emydidae* et *Trionychidae* (environ 93 % du commerce) (Luiselli et al. 2016). Entre 1969 et 1974, plus de 39 000 émydes lépreuses ont été importées puis commercialisées en Europe depuis la Tunisie (Maran, Frétey 2023).

- La translocation d'individus peut faire courir la menace d'introduction de maladies, mais aussi entraîner l'appauvrissement génétique des populations locales par hybridation avec des espèces indigènes ou par dépression hybride (Frankham et al. 2011).

2. Changement climatique

Notre compréhension de l'impact du changement climatique sur l'avenir des tortues est encore limitée. En raison de leur longue durée de vie et de leur forte résilience, leur déclin sous l'action du changement climatique a été plus difficile à détecter que celui des amphibiens.

Nous ne prendrons qu'un exemple pour illustrer les répercussions directes du changement climatique sur les tortues. Il concerne les températures d'incubation des œufs de tortue. Le *sex ratio* est déterminé par la température moyenne au deuxième tiers l'incubation. Une moyenne de température élevée favorisera le sexe femelle alors qu'une moyenne plus basse produira généralement des mâles. Avec l'augmentation de la température moyenne du substrat des sites d'incubation, le *sex ratio* pourrait devenir déséquilibré. Ces changements ont d'ores et déjà été mis en évidence chez les tortues vertes (*Chelonia mydas*), caouannes (*Caretta caretta*) et imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) (Jensen et al. 2018; Glen, Mrosovsky 2004).

3. Statut de conservation

L'union internationale pour la conservation de la Nature (IUCN) a été fondée en 1948. C'est un réseau environnemental utilisant les connaissances, les ressources et la portée de plus de 1 420 organisations membres et 15 000 experts. Elle est composée d'organisations gouvernementales et non gouvernementales, expertes dans leur domaine. Elle est entièrement consacrée à la protection des êtres vivants et de leur milieu. Cette diversité d'acteurs et cette expertise font de l'IUCN l'autorité mondiale sur l'état du monde naturel et sur les mesures nécessaires à sa sauvegarde (van Dijk 2004).

L'IUCN crée en 1964 une « liste rouge des espèces menacées » fournissant des informations sur le risque d'extinction des espèces animales, végétales et fongiques. C'est un outil de référence sur la situation des espèces à l'échelle mondiale. Elle compile pour chaque espèce l'aire de répartition, la taille de la population, l'habitat et l'écologie, l'utilisation ou le commerce, les menaces et les mesures de conservation qui permettront de prendre les décisions nécessaires en matière de conservation. (*The IUCN Red List of Threatened Species 2023*). Non seulement la liste évalue les espèces nouvellement connues, mais elle réévalue à intervalles réguliers le statut des espèces existantes, devenant un indicateur de l'état de la biodiversité mondiale.



Figure 14 : Évaluation du statut de conservation de l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) selon l'IUCN

Les critères concédant le statut de conservation sont des critères scientifiques permettant de réaliser des analyses factuelles du risque d'effondrement des écosystèmes, y compris les changements dans la répartition géographique et la dégradation des éléments clés des écosystèmes.

L'Émyde lépreuse est évaluée pour la Liste rouge de l'IUCN des espèces menacées de 2004 (Figure 14 et Figure 15) (Van Dijk 2004) comme « hautement préoccupante en termes de conservation » et classée vulnérable (VU) selon les critères A2ac et A3c :

- Critère A2ac : réduction des effectifs ≥ 30 % constatée, estimée, déduite ou supposée, depuis dix ans ou trois générations, selon la plus longue des deux périodes, lorsque la réduction ou ses causes n'ont peut-être pas cessées OU ne sont peut-être pas comprises OU ne sont peut-être pas réversibles, en se basant sur (a) l'observation directe et (c) la réduction de la zone d'occupation, de la zone d'occurrence et/ou de la qualité de l'habitat.

- Critère A3c : réduction des effectifs ≥ 30 % prévue ou supposée, dans les dix années ou trois générations prochaines, selon la période la plus longue (maximum de cent ans), en se basant sur l'élément (c) réduction de la zone d'occupation, de la zone d'occurrence et/ou de la qualité de l'habitat.

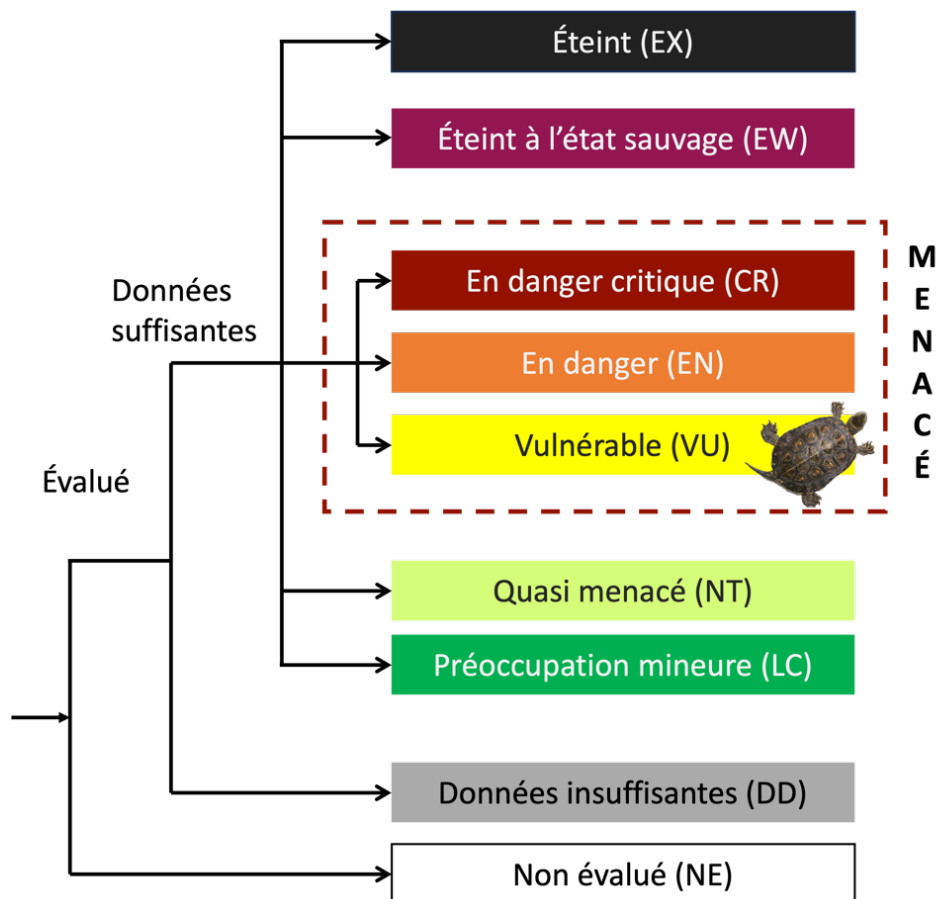


Figure 15 : Structure des catégories de la Liste rouge UICN, adaptée (Comité des normes et des pétitions de l'UICN 2019) ©Matthieu Berroneau

Il est important de rappeler que même si l'espèce est connue et qu'il y a suffisamment d'informations, le processus d'inscription de l'IUCN nécessite tellement de temps qu'il y a un délai considérable entre le moment où les experts savent qu'une espèce est en difficulté et le moment où elle est réellement inscrite correctement » (Fenster et al. 2018a). La dernière évaluation du statut de l'Émyde lépreuse date du 17 décembre 2004 et requiert une mise à jour.

4. Statut légal de protection

L'espèce *Mauremys leprosa* est protégée selon trois niveaux : international, européen et national.

i. Au niveau international

L'Émyde lépreuse est inscrite à l'Annexe II (espèce de faune strictement protégée) de la Convention relative à la conservation de la vie sauvage et du milieu naturel de l'Europe (Berne, 1979). Cette annexe interdit :

« Toute forme de capture, de détention ou de mise à mort intentionnelle, la détérioration ou la destruction intentionnelles des sites de reproduction ou des aires de repos, la perturbation intentionnelle de la faune sauvage, notamment durant la période de reproduction, de dépendance et d'hibernation, la destruction ou le ramassage intentionnel des œufs dans la nature ou leur détention, ainsi que la détention et le commerce interne de ces animaux, vivants ou morts, y compris des animaux naturalisés ou de toute partie ou de tout produit, obtenus à partir de l'animal. »

ii. Au niveau européen

L'Émyde lépreuse est inscrite aux annexes II et IV de la directive européenne 92/43/CEE du conseil du 21/05/1992, aussi appelée directive « Habitat-Faune et Flore ». Ces annexes désignent respectivement l'Émyde lépreuse comme « espèce d'intérêt communautaire dont la conservation nécessite la désignation de zones spéciales de conservation » et « espèce d'intérêt communautaire qui nécessite une protection stricte ».

iii. Au niveau national

L'Émyde lépreuse est concernée par trois arrêtés et un plan national d'action :

- Article 2 de l'arrêté du 19/11/2007 : fixe les listes d'amphibiens et de reptiles protégés sur l'ensemble du territoire et les modalités de leur protection, en application des articles L411-1 et 2 et R.411-1 à 14 du code de l'environnement.

- Arrêté du 09/07/1999 : fixe la liste des espèces de vertébrés protégées menacées d'extinction en France.

- Arrêté du 10/08/2004 : fixe les règles générales de fonctionnement des installations d'élevage d'agrément d'espèces non domestiques (JORF du 25/09/2004). Il fixe également les conditions d'autorisation de détention d'animaux de certaines espèces non domestiques dans les établissements d'élevage, de vente, de location, de transit ou de présentation au public d'animaux d'espèces non domestiques (JORF du 30/09/2004).

- Un Plan National d'Actions (PNA) (Courmont 2011) : « Les plans nationaux d'actions (PNA) sont des outils stratégiques opérationnels qui visent à assurer la conservation ou le rétablissement dans un état de conservation favorable d'espèces de faune et de flore sauvages menacées ou faisant l'objet d'un intérêt particulier. Cet outil est mobilisé lorsque les autres politiques publiques environnementales et sectorielles incluant les outils réglementaires de protection de la nature sont jugées insuffisantes pour aboutir à cet objectif. » (Plans nationaux d'actions en faveur des espèces menacées 2022). Le PNA est approuvé par le ministère en charge de l'environnement et permet la mobilisation à moyen ou long terme (cinq ou dix ans) de différents acteurs concernés (institutionnels, académiques, socio-économiques et associatifs), en faveur de *Mauremys leprosa* autour de quatre axes :

- Organisation d'un suivi cohérent des populations sauvages.
- Réalisation d'actions coordonnées favorables à la restauration de l'espèce ou de ses habitats.
- Éducation des acteurs concernés et du public.
- Intégration de la protection de l'espèce dans les activités humaines et dans les politiques publiques.

Lorsque les populations sauvages sont trop faibles, ou que l'espèce a disparu, le PNA permet de mener des actions de renforcement ou de réintroduction. Aujourd'hui, un nouveau PNA est en phase de rédaction afin de pérenniser la mobilisation pour la conservation de l'Émyde lépreuse.

C. Action d'étude et mesures de conservation de l'Émyde lépreuse

Après avoir établi les menaces justifiant les statuts de protection et de conservation de l'Émyde lépreuse, nous allons lister ici les actions mises en place et en cours d'application pour la conservation des populations existantes.

- La Station d'Observation et de Protection des Tortues et de leurs Milieux (SOPTOM) a réalisé jusqu'en 2004 des suivis démographiques sur la rivière de Baillaury par capture-marquage-recapture (CMR) afin d'évaluer des tendances démographiques et évolutives.
- Depuis 2008 des résultats, obtenus dans le cadre de l'inventaire du site NATURA 2000 des Albères et dans le cadre d'études d'impact, amènent à penser que les populations de

Baillaury seraient de plusieurs centaines d'individus. Cependant, aucune **estimation fiable** de la taille de la population ni de tendance évolutive ne peut être obtenue.

- L'inventaire, la dynamique, la génétique et le suivi sanitaire des populations de tortues d'eau douce en Languedoc-Roussillon sont étudiés depuis 2008 par Verneau et Palacios (Verneau 2007; 2009; 2010) de l'université de Perpignan, Via Domitia, Centre de Formation et de Recherche sur les Environnements Méditerranéens (CEFREM-UPVD).
- Un programme en cours a pour objet la conservation de l'Émyde et de la Cistude dans la province de Barcelone (Catalogne) (Martinez-Silvestre, Bertolero, SOLER 2009).
- Une expérience de réintroduction a été conduite dans le delta de l'Èbre de 1999 à 2001, puis un suivi par CMR a été mené pour vérifier la réussite de ce programme, à partir de cinq critères liés à la condition physique des individus et à plusieurs paramètres démographiques. Ces critères sont l'état corporel, la croissance individuelle, la reproduction, la survie et le taux de croissance de la population (Bertolero, Oro 2009).
- Plusieurs thèses, mémoires d'études et stages ont été consacrés à l'espèce, par exemple :
 - État des connaissances sur l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) - Création d'une base de données bibliographique (Escudié 2021).
 - État des lieux des connaissances sur les parasites digestifs de *Mauremys leprosa* dans le cadre d'un projet de conservation de l'espèce en France (Pietrasik 2022).

D. Une station dédiée à l'élevage et à l'étude de l'Émyde lépreuse au Refuge des Tortues de Bessières

En 2014, Jérôme Maran le président de l'Association du Refuge des Tortues (ART) fonde le refuge à Bessières (Haute-Garonne, 31) avec pour objectif l'accueil de tortues indigènes et exogènes, et la sensibilisation du public à la protection de la biodiversité. Le refuge des tortues est de plus en plus impliqué dans l'accueil de tortues indigènes françaises dont l'Émyde lépreuse, la Cistude d'Europe et la tortue d'Hermann, toutes trois bénéficiant d'un PNA. Plusieurs centaines d'individus sont confiées au refuge chaque année, par des particuliers ou par l'administration française lorsqu'il s'agit de saisies ou d'abandons.

L'idée de la création d'une station d'élevage et d'étude de l'Émyde lépreuse est née d'une double opportunité : l'accueil régulier d'émydes lépreuses au refuge, et la présence de micro-populations dans les parcs zoologiques ou chez des particuliers. Les individus accueillis pourraient d'une part intégrer un programme d'élevage pour produire de nouvelles populations destinées aux réintroductions ou au renforcement de population, chaperonné par les

coordinateurs du PNA Émyde lépreuse, d'autre part participer à la recherche scientifique concernant la biologie de l'espèce (Annexe 1) (Maran 2020).

Avant de détailler le projet mené par Jérôme Maran et ses équipes, il est essentiel de caractériser la notion d'élevage conservatoire, ses intérêts, ses enjeux et ses limites.

PARTIE 2 : FONDEMENTS DE LA CONSERVATION *EX SITU* ET ENJEUX DE LA GESTION DÉMOGRAPHIQUE ET GÉNÉTIQUE D'ESPÈCES MENACÉES : APPLICATION A *MAUREMYS LEPROSA*

A. Principes, objectifs et prérequis d'un élevage conservatoire

1. Notion de conservation

La conservation de la nature est la préservation de l'intégrité écologique des espèces et de leur milieu de vie. Elle est à l'origine de la biologie de la conservation (Primack, Sarrazin, Lecomte 2012). C'est une matière nouvelle en tant que discipline de crise (Barbault 1997). Elle sollicite des ressources scientifiques multiples : taxinomie, biologie des populations, écologie, génétique, paléologie et sciences humaines (sociologie, économie, éthique). Elle conçoit la protection des espèces dans leur milieu de vie naturel. Mais, de plus en plus fréquemment, la protection en captivité est nécessaire car la persistance de populations viables dans la nature est impossible (Lacy 2010). Nous introduisons donc ici le concept de site : certaines mesures de conservation se concentrent sur la protection des espèces et processus naturels dans leur milieu d'origine (conservation *in situ*, du latin sur site) ; d'autres en dehors de ce milieu d'origine (conservation *ex situ*, du latin hors site). De nombreux auteurs suggèrent l'abandon de cette dichotomie, et requièrent une conservation intégrée établissant un *continuum* entre ces deux représentations (Gusset, Dick 2010; Lees, Wilcken 2009; Conway 2010; Lacy 2010). Nous condensons dans ce travail des concepts considérablement plus complexes. Dans la suite du développement nous utiliserons les termes de conservation *ex situ* au sens de conservation en dehors du milieu naturel, en captivité.

2. Principes de l'élevage conservatoire ou conservation *ex situ*.

L'élevage conservatoire ou conservation *ex situ* est l'élevage d'individus appartenant à des espèces menacées, dans des conditions restreintes mais adaptées. L'objectif est de pouvoir les relâcher dans leur milieu naturel une fois la menace d'extinction fortement diminuée ou éliminée, pour stabiliser les populations sauvages. Les programmes de conservation *ex situ* et les réintroductions d'animaux élevés en captivité sont désormais des mesures très répandues pour protéger les espèces menacées. En conséquence, les espaces d'élevages restreints (zoos, aquarium, refuges...) participent dorénavant activement à la conservation, à la recherche et à

l'éducation du grand public, à travers de nombreux programmes d'élevages internationaux, européens ou nationaux, parmi lesquels nous pouvons citer les *EAZA Ex-situ Programmes* (EEP). Les membres de l'EAZA gèrent actuellement plus de 400 espèces différentes selon des lignes directrices définies (IUCN/SSC 2014).

Au minimum 25 espèces animales et végétales se sont éteintes dans la nature mais ont été préservés grâce à l'élevage conservatoire, puis réintroduites avec succès dans le milieu naturel. Parmi elles, l'Oryx d'Arabie (*Oryx leucoryx*), l'Addax (*Addax nasomaculatus*), le Furet à pattes noirs (*Mustella nigripes*), le Condor de Californie (*Gymnogyps californianus*), le Cerf du père David (*Elaphurus davidianus*), l'Oryx algazelle (*Oryx dammah*), le Cheval de Przewalski (*Equus caballus przewalskii* ou *Equus ferus przewalskii*) ou encore une dizaine d'espèces d'escargot du genre *Partula* et même de nombreuses plantes telles que l'Arbre de Franklin (*Franklinia alatamaha*) (Frankham, Ballou, Briscoe 2010; Frankham et al. 2017; Kleiman, Thompson, Baer 2010).

La Pseudémydure de Perth (*Pseudemydura umbrina*) (Figure 16) et la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) sont deux exemples d'espèces de tortues dulçaquicoles concernées par des programmes d'élevage conservatoire. La première bénéficie d'un programme de reproduction intensif en captivité, du fait de sa rareté et de son aire de répartition restreinte, amoindrie à de petits marais dans la vallée de Swan en Australie. C'est l'une des espèces les plus menacées du monde (Bouma et al. 2020; Burbidge, Kuchling 2004; Lovich 2023). La Cistude d'Europe est quant à elle reproduite avec succès dans plusieurs institutions françaises (par exemple : au Parc zoologique et botanique de Mulhouse, à la station de recherche de la Réserve naturelle nationale de Petite Camargue alsacienne à Saint-Louis, au Parc zoologique du château de Branféré au Guerno, au Parc animalier de Zoodyssée à Chizé, à la Réserve zoologique de la Haute-Touche à Azay-Le-Ferron).

Le contrôle des menaces *in situ* est un préalable indispensable à la conservation *ex situ*. En effet, toute mesure déployée pour restaurer des populations dans le milieu naturel doit succéder à la réduction ou à l'élimination des pressions s'exerçant sur l'écosystème d'intérêt. En effet, la réduction ou l'élimination des pressions s'exerçant sur ledit milieu est une condition *sine qua non* au succès de toute mesure de restauration. Ce contrôle s'articule autour de la

sensibilisation des acteurs locaux par des moyens de communications adaptés, et sans lesquels tout acte de relâcher serait irrationnel.



Figure 16 : Mâle Pseudémydure de Perth (*Pseudemydura umbrina*) dans son milieu de vie ouest australien
©Gerald Kuchling

3. Rôles et objectifs de l'élevage conservatoire

« Le premier objectif de la biologie de la conservation fut d'estimer la surface minimale d'une réserve naturelle pour garantir la pérennité des espèces et des écosystèmes. Cet objectif s'est progressivement recentré sur la taille minimale des populations pour garantir leur viabilité, et plus récemment encore, sur les moyens de garantir leur « évolvabilité » à long terme » (Delord 2019).

Les programmes d'élevage conservatoire ont pour objectif la création et la conservation de populations d'espèces captives saines et autonomes qui ressemblent le plus possible à leurs homologues sauvages, sur les plans comportemental, génétique et sanitaire (Witzenberger, Hochkirch 2011).

i. L'élevage conservatoire incarne différents rôles (IUCN/SSC 2014) :

- Conserver une espèce menacée, en captivité dans un endroit sûr, et en la maintenant comme une entité dynamique évolutive. C'est une assurance contre l'extinction de l'espèce dans la nature.
- Créer une population qui puisse servir de source d'individus pour de futurs programmes de translocation (renforcement ou réintroduction) dans le milieu naturel.
- Restaurer les populations sauvages.

ii. L'élevage conservatoire définit des objectifs :

Une des étapes les plus importantes de la gestion de population est de définir les raisons pour lesquelles une espèce nécessite un élevage conservatoire. Les objectifs peuvent être décrits selon trois niveaux de lecture :

- Les objectifs du programme d'élevage :

Ce sont des objectifs généraux et qualitatifs. Ils définissent le but de la gestion de population : par exemple, le maintien d'une population pour répondre aux besoins d'exposition des zoos, ou la génération d'un nombre suffisant d'animaux pour un relâché dans le milieu naturel.

- Les objectifs de la population :

Ce sont des objectifs quantitatifs. Ils traduisent l'objectif du programme en mesures génétiques et démographiques quantifiables. Ils répondent aux questions « Combien de diversité génétique ? », « Combien d'individus ? » et « Combien de temps ? ». Ce sont les caractéristiques de la population (génétiques, démographiques et temporelles) qui déterminent si le programme atteint son objectif.

- Les objectifs individuels :

Ce sont des objectifs quantitatifs. Ils concernent les paramètres individuels du programme. Ils sont directement influencés par la gestion quotidienne ou annuelle des animaux. C'est le niveau le plus dynamique. Par exemple le niveau maximal de consanguinité, le taux de natalité annuel, la taille effective de la population, le taux

d'apport de nouveaux fondateurs ou la durée de la génération. L'évaluation de ces paramètres détermine si les objectifs de la population sont atteints.

iii. Éducation et recherche :

L'élevage conservatoire assiste la conservation en :

- Éduquant et engageant le public dans les enjeux de la conservation.
- Permettant l'application des connaissances (acquises grâce à la recherche sur la biologie des espèces captives) aux individus sauvages.

4. Le projet « Sauvons l'Émyde lépreuse »

i. Principe et objectifs

Jérôme Maran a eu la volonté de créer une station d'élevage et d'étude consacrée à l'Émyde lépreuse pour mener des actions de restauration de populations, et de recherche scientifique pour étayer les connaissances sur l'espèce. Le principe général est de réunir des conditions optimales pour l'accueil et l'étude des émydes lépreuses, lesquelles pourront constituer des groupes d'élevages ou être relâchées dans le milieu naturel selon la réglementation en vigueur. Cette démarche associe des structures privées et publiques. Le rôle du refuge des Tortues est d'accueillir et d'élever des émydes lépreuses, et de soutenir les actions de restaurations guidées par les coordinateurs du PNA (ANNEXE 1).

La genèse du projet découle de plusieurs constats :

- Le refuge de l'ART accueille chaque année des émydes lépreuses (saisies, abandons, dons) qui pourraient potentiellement se reproduire et faire l'objet d'études. À ce jour, environ 40 individus sont ainsi accueillis (Comm. Personnelle ART, 2023).
- L'espèce est menacée et protégée au niveau international, européen et national.
- Les populations sauvages sont fragmentées ou isolées dans l'aire de répartition métropolitaine de l'espèce.
- Le nombre d'individus en France est en déclin.
- De nombreuses émydes lépreuses sont détenues dans des parcs zoologiques ou collections privées.

Considérant que les données de répartition géographique, d'effectifs de populations, et de structure génétique des individus étaient frustes, un PNA a été rédigé en 2011 et mis en place entre 2012 et 2016. L'objectif général du PNA est d'assurer la conservation de l'Émyde lépreuse en France, d'acquérir des connaissances biologiques, de protéger les populations, tout en conservant les habitats de l'espèce et en assurant un rôle de communication et de sensibilisation. Ce plan permet de mutualiser les connaissances acquises et d'élaborer une stratégie conjointe d'action. La dernière évaluation démographique réalisée grâce au PNA révèle environ 1000 individus répartis en Occitanie. L'inventaire se poursuit toujours et un nouveau PNA est en phase de rédaction pour maintenir les efforts déployés.

« Il est fondamental de souligner que le rôle du Refuge des Tortues se cantonnera à l'accueil et à l'élevage des émydes lépreuses. Les opérations de réintroductions seront pilotées par les coordinateurs du Plan National d'Actions en faveur de l'Émyde lépreuse (PNA). Les actions du Refuge des Tortues viendront appuyer les efforts réalisés en faveur de cette espèce depuis des années par les initiateurs du PNA (Lionel Courmont) en allant toujours dans le sens de la politique existante » (Maran, Rouot, Roch 2022).

ii. Prérequis et évaluation de la pertinence du projet.

La Société Herpétologique de France (SHF) a produit un document énonçant les bonnes pratiques de réintroduction et de renforcement de populations de l'une des trois tortues indigènes française, la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*) (Thienpont et al. 2020). Ce document s'adresse à toutes les porteuses et tous les porteurs de projet de renforcement de population et de réintroduction de la Cistude d'Europe en milieu naturel, pour qu'ils puissent prendre en considération l'ensemble des paramètres nécessaires à la réussite du programme. En s'appuyant sur ce travail, ainsi que sur celui de l'IUCN (IUCN/SSC 2013), et en procédant par analogie entre la Cistude d'Europe et l'Émyde lépreuse, il est possible d'évaluer la pertinence et la faisabilité du projet « Sauvons l'Émyde lépreuse ». À quelles questions doit-on répondre pour évaluer la pertinence du projet ? Un organigramme simplifié de ces interrogations est donné en Figure 17. Le PNA initie depuis 2012 des actions pour apporter ces éléments de réponses. Ainsi, 25 actions regroupées en domaine (connaissance, gestion des populations, gestion des habitats, communication) sont préconisées pour répondre aux objectifs définis dans le cadre du plan (Courmont 2011).

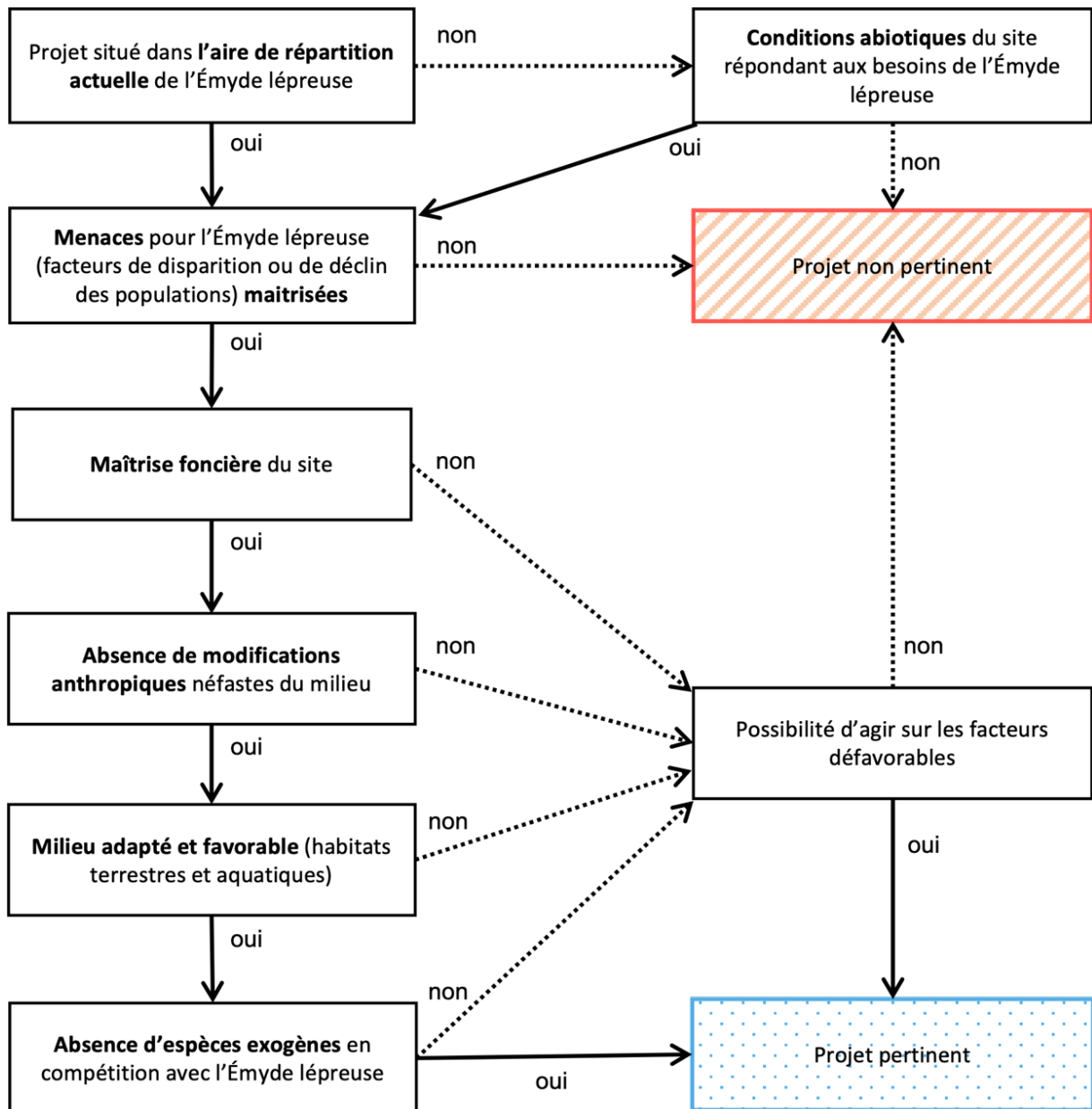


Figure 17 : Arbre décisionnel d'évaluation de la pertinence d'un projet, adaptée (Thienpont et al. 2020; Guidelines for reintroductions and other conservation translocations 2013)

5. Prérequis à la génétique des populations

Les gènes portent l'information génétique. Chaque gène est associé à un emplacement sur un chromosome appelé locus. Chaque gène peut exister sous différentes versions appelées allèles. L'ensemble des gènes d'une espèce forme le génome. L'ensemble des allèles d'un individu forme le génotype.

Un organisme est dit hétérozygote pour un gène quand il possède deux allèles différents de ce gène sur un même locus pour chacun de ses chromosomes homologues ; il est dit homozygote si les deux allèles sont les mêmes.

La diversité génétique est le degré de variétés de gènes d'une même espèce. Elle est d'autant plus grande que le nombre d'allèles par gène est grand (polymorphisme), que les fréquences de chaque allèle sont proches, sans allèle majoritaire, que les fréquences des individus hétérozygotes et homozygotes sont équilibrées (équilibre de Hardy-Weinberg). La diversité génétique peut prendre des formes multiples.

Nous nous concentrerons sur la diversité allélique (nombre d'allèle donné sur n'importe quel locus de la population) et sur l'hétérozygotie comme modalité d'intérêt pour notre développement.

6. Prérequis à l'élevage conservatoire

Avant de déterminer les objectifs d'un programme d'élevage conservatoire, des **analyses démographiques et génétiques** doivent être effectuées pour déterminer le potentiel de la population à servir cet objectif. Par exemple : une population avec une très faible diversité génétique ne peut pas être le point de départ d'un élevage conservatoire et fournir des individus fondateurs, à priori (Delord 2019).

Les données nécessaires à cette caractérisation sont listées ci-dessous (Ballou, Foose 1996), et seront détaillées dans la suite du développement :

i. Évaluation du statut démographique :

- Taille de population et distribution actuelle dans son aire de répartition.
- Structure de la population (pyramide des âges et *sex ratio*).

- Tendances démographiques historiques : évolution de la taille de population, taux de croissance, tables de vie (caractérisation des interactions entre classes d'âge).

ii. Évaluation du statut génétique :

- L'importance des individus fondateurs (nombre et profils génétiques).
- La diversité génétique.
- La consanguinité.
- Le coefficient de parenté.
- La taille effective N_e de population.

Des caractéristiques extrinsèques influencent également l'atteinte des objectifs, telles que l'espace disponible ou l'acquisition d'une expertise en matière d'élevage (Ballou, Foose 1996).

B. Un guide de bonnes pratiques pour l'élevage conservatoire

Witzenberger et Hochkirch présentent une revue de la littérature publiée sur la génétique de conservation *ex situ*, en mettant l'accent sur les études moléculaires. Ce recensement s'appuie sur l'analyse de 188 publications distinctes : études empiriques utilisant des marqueurs moléculaires (105), analyses de studbooks (26), travaux théoriques (38) ou appliqués à des espèces modèles pour l'évaluation des effets génétiques de stratégies de gestion (19) (Witzenberger, Hochkirch 2011). Les étapes ci-dessous synthétisent leurs recommandations pour développer un programme d'élevage *ex situ*, et les lignes de conduite de l'IUCN (IUCN/SSC 2014).

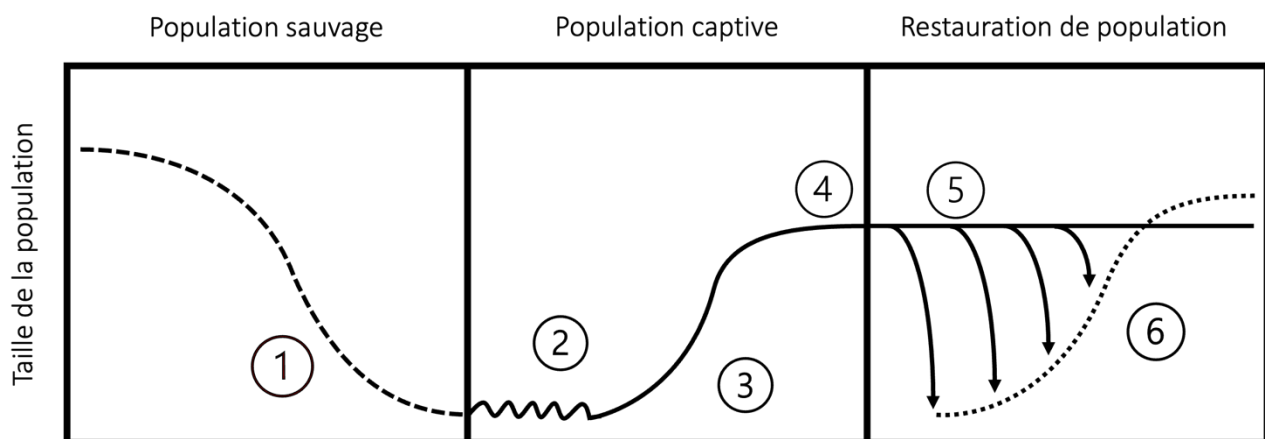
- (1) Obtenir des données sur la structure génétique et démographique naturelle des populations sauvages de l'espèce d'intérêt.
- (2) Définir des unités de gestion sur la base des données génétiques et les classer par ordre de priorité (en tenant compte des adaptations locales et en évitant les croisements).
- (3) Recueillir des informations de base sur la population captive existante et les détenteurs.
- (4) Analyser la structure génétique de la population captive et affecter les individus captifs aux unités de gestion définies à l'étape (2).
- (5) Sélectionner les individus appropriés pour un programme d'élevage en captivité pour une unité de gestion définie et créer un studbook.
- (6) Si possible, collecter des individus sauvages afin de maximiser la variabilité génétique et de représenter les lignées génétiques manquantes pour une unité de gestion.

(7) Réévaluer la structure génétique de la population captive après quelques générations.

C. Constitution, gestion et relâché d'une population conservatoire

Nous présentons et étudions les différentes étapes et techniques d'élevage conservatoire d'une espèce en vue d'une restauration de population dans le milieu naturel, en nous concentrant sur les aspects essentiels au maintien à long terme de la diversité génétique et de la sécurité démographique. La viabilité génétique et la viabilité démographique d'une population sont les deux clefs de voute de la gestion d'une population captive.

La Figure 18 présente les six grandes étapes du processus que nous allons développer. Il débute avec la mise en évidence du déclin d'une population, et s'achève avec le relâcher d'individus dans le milieu naturel. Nous allons discerner les caractéristiques, souligner les intérêts, et entrevoir les limites de ces dites étapes.



- (1) Mise en évidence du déclin de la population sauvage et de ses conséquences génétiques : phase d'identification.
- (2) Création d'une ou plusieurs populations captives : phase de fondation.
- (3) Expansion des populations captives jusqu'à une taille de population suffisante : phase de croissance.
- (4) Gestion de la population captive sur plusieurs générations : phase de maintien *ex situ*.
- (5) Choix des individus à transférer vers le milieu naturel : phase de restauration de population.
- (6) Gestion de la population dans le milieu naturel : phase de maintien *in situ*.

(Frankham, Ballou, Briscoe 2010)

1. Reconnaître le déclin de la population sauvage (Phase 1 : identification)
 - i. Notion de population et conséquences génétiques d'une taille réduite

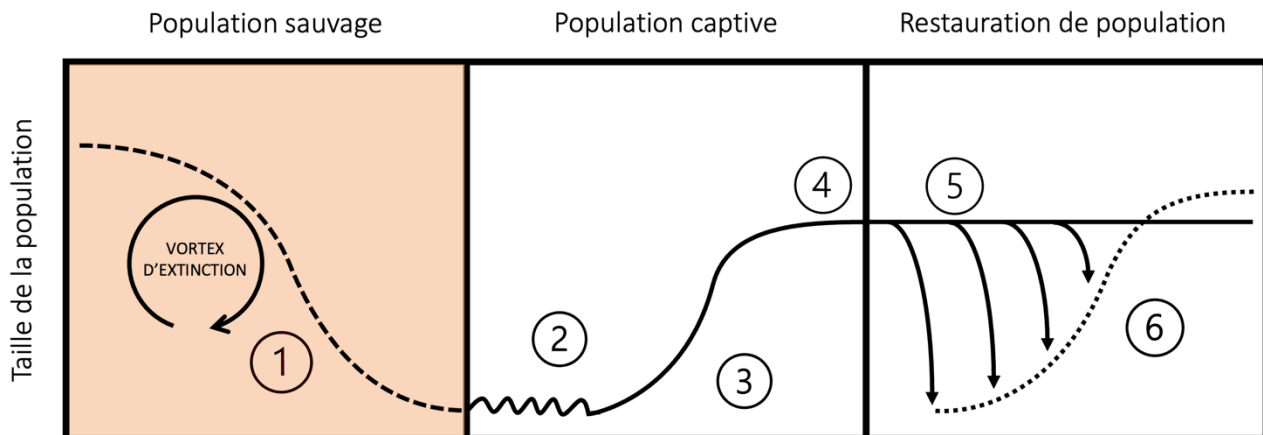


Figure 19 : Mise en évidence du déclin de la population sauvage et de ses conséquences génétiques : identification.

Une population est un groupe d'individus d'une même espèce vivant suffisamment proche pour potentiellement permettre à chacun des membres du groupe de se reproduire avec chacun des autres membres du groupe, et donc de maintenir un flux génétique (Frankham et al. 2017). La plupart des espèces ont des distributions fragmentées, avec des fractions de populations réduites et génétiquement isolées. La notion de fragmentation est essentielle, elle renvoie à la création de sous-populations, réduisant le nombre d'individus initial. Des complications génétiques surviennent dans les petites populations fragmentées avec un flux génétique inadéquat (paradigme des petites populations) :

- **Dépression de consanguinité** (diminution de la *fitness* en conséquence de la consanguinité),
- **Perte de diversité génétique** par dérive (conséquence de l'échantillonnage des gamètes pendant la reproduction),
- **Diminution de la capacité à évoluer** pour s'adapter aux changements environnementaux,
- **diminution globale de la *fitness*** (Frankham et al. 2017).

Le nombre d'individus d'une population est un modulateur d'adaptation évolutive. C'est un facteur déterminant de l'expression d'allèles nuisibles. Leur expression peut faire basculer les populations et l'espèce dans un processus d'extinction, communément appelé vortex d'extinction (Figure 20) (Frankham, Ballou, Briscoe 2010; Frankham et al. 2017).

Nous allons étudier les conséquences génétiques de cette diminution de la taille d'une population, justifiant la réalisation d'un programme d'élevage conservatoire.

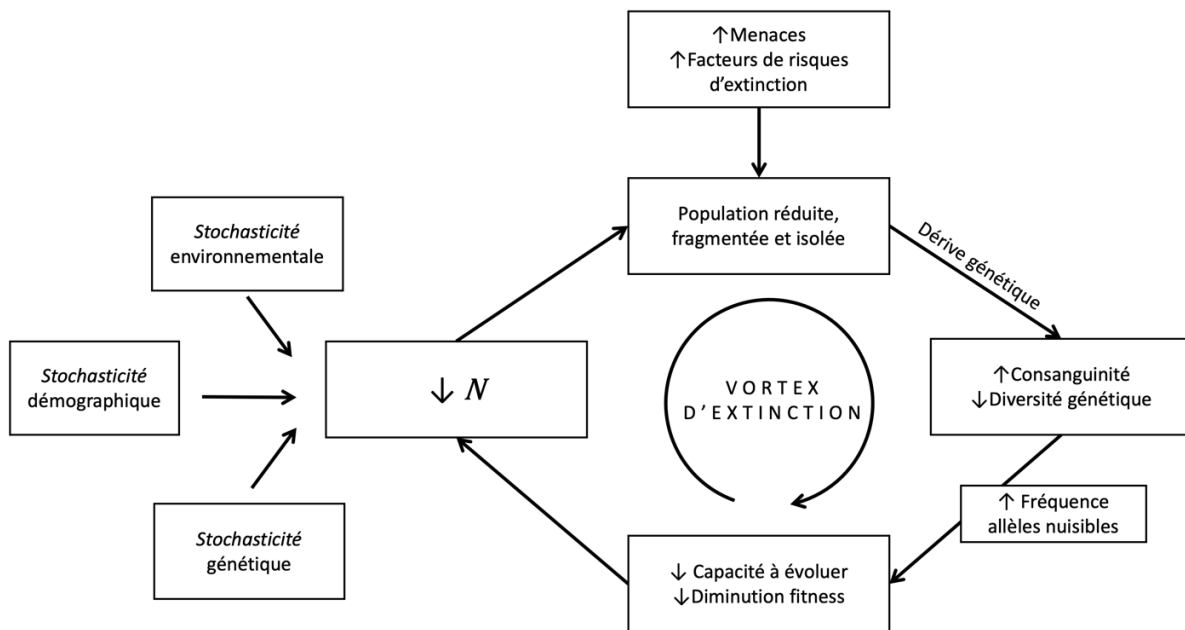


Figure 20 : Schéma du vortex entraînant les petites populations isolées et fragmentées dans une spirale vers l'extinction, adaptée (Frankham et al. 2017)

ii. Les facteurs contrôlant l'évolution des petites populations

Les populations évoluent selon les impacts de quatre forces : les mutations, la sélection, la chance et la migration (Frankham et al. 2017) :

- Les mutations sont majoritairement néfastes, certaines sont avantageuses. Elles ajoutent de la diversité génétique.
- La sélection est la force qui produit des évolutions adaptatives, favorisant certains allèles plutôt que d'autres.
- Le hasard (dérive génétique) a plus d'impact sur les petites populations que sur les grandes.
- Les migrations entretiennent un flux génétique entre populations.

iii. La taille effective N_e de la population

Premièrement, il est primordial de distinguer la taille réelle N d'une population de sa taille effective N_e . Prenons une population idéale, c'est à dire une population A de 50 émydes lépreuses, où tous les animaux se reproduisent entre eux et de manière aléatoire, avec un *sex-ratio* équilibré, sans migration et sans mutation. Cette population théorique perd sa diversité

génétique à un taux T . Maintenant, considérons une population réelle B d'émys lépreuse de 200 individus qui perd sa diversité génétique au même taux T . Alors nous pouvons affirmer que la taille effective N_e de la population d'émys lépreuse B est de 50. C'est donc la taille de la population effective N_e qui détermine comment la population réelle se comporte sous diverses conditions. Elle repose sur le nombre d'individus de la population, de la variation du *sex ratio* et de la variation du succès reproducteur. Or, dans la nature ces trois facteurs ne sont pas idéaux : la taille réelle N fluctue, les *sex ratio* sont inégaux et il y a une grande variabilité du succès reproducteur entre les paires d'accouplement. Les populations agissent, en termes de rôle de dérive génétique, comme si elles étaient beaucoup plus petites que la taille réelle. Fenster et ses collaborateurs estiment que la taille effective à long terme d'une population sauvage est d'environ 11 à 14% de la taille réelle, avec des variations qui dépendent de l'histoire de vie des espèces (âge, maturité sexuelle, espérance de vie, *etc.*). En d'autres termes, $\frac{N_e}{N} \in [0,11 ; 0,14]$. En captivité, pour maximiser la taille effective N_e , le gestionnaire d'une population se concentre sur l'augmentation du nombre d'individus reproducteurs, sur l'égalisation du *sex ratio* et sur les leviers permettant d'augmenter le nombre de descendants (Fenster et al. 2018b). Ces paramètres seront détaillés ensuite.

iv. La dérive génétique dépend de la taille effective N_e

Par définition, la dérive génétique est la modification de la fréquence d'un allèle ou d'un génotype d'une population, indépendamment des trois autres forces c'est à dire indépendamment des mutations, des migrations ou de la sélection naturelle. La dérive génétique est le résultat d'évènements aléatoires et imprévisibles (*e.g.* fécondation lors de la reproduction sexuée) qui conduisent à l'évolution de cette population.

Prenons pour exemple deux parents émys lépreuse avec un génotype respectif, donnant par fécondation une génération fille avec un génotype fille, qui est un échantillon des gamètes (cellules reproductrices) parents : c'est ce qu'on l'on définit comme le processus d'échantillonnage des gamètes. Une loi de distribution d'échantillonnage binomiale modélise la distribution attendue des fréquences alléliques de la génération fille, étant donnée une taille d'échantillon de n descendants (ou chaque descendant représente un échantillon indépendant de deux gamètes parentaux).

Par conséquent, Fenster et ses collaborateurs établissent que « la dérive génétique, par l'échantillonnage d'un nombre limité de gamètes représentés dans les zygotes de la génération

suivante, est un phénomène présent dans toutes les populations. Mais la dérive devient une force importante pour la variation de fréquence allélique à mesure que les populations deviennent plus petites ». Il y a deux conséquences importantes de la dérive pour la conservation des espèces (Frankham et al. 2017) :

- La dérive génétique entraîne une augmentation de la fréquence des allèles « nuisibles » par le hasard, en particulier dans les petites populations.
- Les petites populations sont moins susceptibles d'évoluer de manière adaptative aux nouveaux défis environnementaux.

Pour résumer, l'identification du déclin d'une population repose sur la mise en évidence d'une diminution de la taille effective de cette population N_e à la suite de sa fragmentation et à de son isolement (Figure 19). Sur le long terme des effets néfastes s'installent et s'autoentretiennent, conduisant à l'amenuisement de la diversité génétique, à une augmentation de la consanguinité, une baisse de capacité à s'adapter à son environnement, un taux d'extinction plus élevé. Tous ces éléments justifient la considération de mesures de conservation.

v. Le déclin des populations sauvages d'émydes lépreuses

Une étude de 2015 s'intéresse à l'origine et la diversité génétique des populations de *M. leprosa* dans son aire de répartition septentrionale française, afin d'orienter finement les recherches ultérieures et la gestion de la conservation. Elle est fondée sur la capture des tortues sauvages, l'identification et la comparaison de leurs caractéristiques génétiques en se basant sur l'haplotype du cytochrome b des différents individus issus des populations de France et de Catalogne Espagnole (Palacios et al. 2015). L'existence de deux populations bien établies est démontrée en France : celle de la rivière *Baillaury* (Rivière méditerranéenne au cours irrégulier qui coule le long des montagnes des Albères dans les Pyrénées orientales, à 11 km de la population espagnole la plus proche connue dans la rivière *Orlina*) où plus de 200 individus ont été capturés depuis les années 1990 (Verneau 2010; 2007; 2009; Hardy 2010) ainsi que celle de la rivière *Tech* (Figure 9). Au regard de la distribution actuelle de l'Émyde lépreuse en France, de l'expansion de ses populations et de leur croissance, les auteurs se proposent de maintenir le statut de conservation « en danger » de l'Émyde lépreuse. De plus en 2014, une crue exceptionnelle classée en catastrophe naturelle a frappé le ruisseau de la Baillaury dans le

massif des Albères. La perte d'un tiers des plus gros individus dont les reproducteurs a été estimée (Moulin 2018).

En accord avec l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN) établissant les statuts de l'Émyde lépreuse, l'espèce est évaluée sur liste rouge en catégorie « vulnérable » sur deux listes :

- Liste rouge européenne des espèces menacées (listé *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812)) : **vulnérable critère A2ac+3c**,
- Liste rouge des reptiles de France métropolitaine (2015) (listé *Mauremys leprosa*) : **vulnérable critère D1**.

En outre, cette dernière est classée « espèce déterminante ZNIEFF avec état de conservation 'Défavorable inadéquat' » en région méditerranéenne. Les ZNIEFF (Zones Naturelles d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique) sont des espaces qui se singularisent par la richesse ou la spécificité de leurs écosystèmes.

vi. Caractérisation de la structure démographique et génétique des populations d'émydes lépreuses françaises sauvages

Les structures démographiques des deux populations françaises sont équilibrées, sans différence significative de *sex ratio* par comparaison à une population préservée de la rivière Orlina en Espagne (Palacios et al. 2015).

Une étude phylogénétique de *Mauremys leprosa* identifie deux lignées A (sous-espèce *Mauremys leprosa leprosa*) et B (sous-espèce *Mauremys leprosa saharica*). Chacune des deux lignées regroupe trois sous-lignées ou haplogroupes A1, A2, A3, et B1, B2, B3 (Fritz et al. 2006). Au moment de cette étude, la différenciation génétique n'était alors basée que sur des données d'ADNmt, ne résolvant que partiellement la structuration des populations au sein de ces deux sous-espèces. Des informations issues d'un marqueur génétique biparental pourraient permettre d'évaluer le flux génétique entre ces deux lignées.

Afin de développer des unités de gestion appropriées, Veríssimo et ses collaborateurs ont testé et optimisé avec succès un ensemble de 11 marqueurs microsatellites hautement polymorphes pour *Mauremys leprosa*, permettant d'estimer plus finement la diversité

génétique. Leur travail enrichit le nombre de données disponibles, à la fois sur le séquençage du cyt b, de la D-loop et des microsatellites (Veríssimo et al. 2013).

Plus tard, des analyses génétiques de populations sauvages montrent une origine mixte avec la présence de différents haplotypes, schématisés sur la Figure 21 (Palacios et al. 2015), et Figure 22 (Veríssimo et al. 2016). Pour identifier l'origine exacte des individus français une étude approfondie sur toute l'aire de répartition serait nécessaire, en utilisant des marqueurs génétiques appropriés.

Une étude supplémentaire de 2021 a pour sujet l'analyse de la niche climatique des lignées et sous-lignées de *Mauremys leprosa* récemment identifiées. Elle s'appuie sur les données de l'ensemble de l'aire de répartition géographique connue de l'espèce. D'après les résultats, chaque lignée et sous-lignée de *M. leprosa* (en particulier au Maroc où la divergence génétique est élevée) devrait être ciblée en tant qu'unité de conservation et de gestion visant à maintenir la variabilité génétique des populations. Cependant, les auteurs soulignent la nécessité de mener des analyses génétiques plus approfondies ainsi que des études écologiques comparatives plus exhaustives (Loulida et al. 2021; Veríssimo et al. 2016).

Un individu hybride est issu de la reproduction entre deux parents de sous-espèces voire d'haplotypes différents. Il présente un mélange de leurs caractéristiques génétiques. On parle de **vigueur hybride** ou **hétérosis** lorsque ces caractéristiques augmentent la valeur sélective de l'individu, de **dépression hybride** sinon. Des recherches expérimentales pour évaluer des signes de dépression hybride ou de vigueur hybride en cas d'hybridation entre haplotypes indigènes et exogènes faciliteraient le choix des haplotypes à intégrer au programme de reproduction (Frankham et al. 2017). Il est suggéré dans la littérature de ne pas favoriser l'hybridation entre *M.leprosa leprosa* et *M.leprosa saharica*, même si les deux lignées peuvent évoluer dans le même cours d'eau (Palacios et al. 2015).

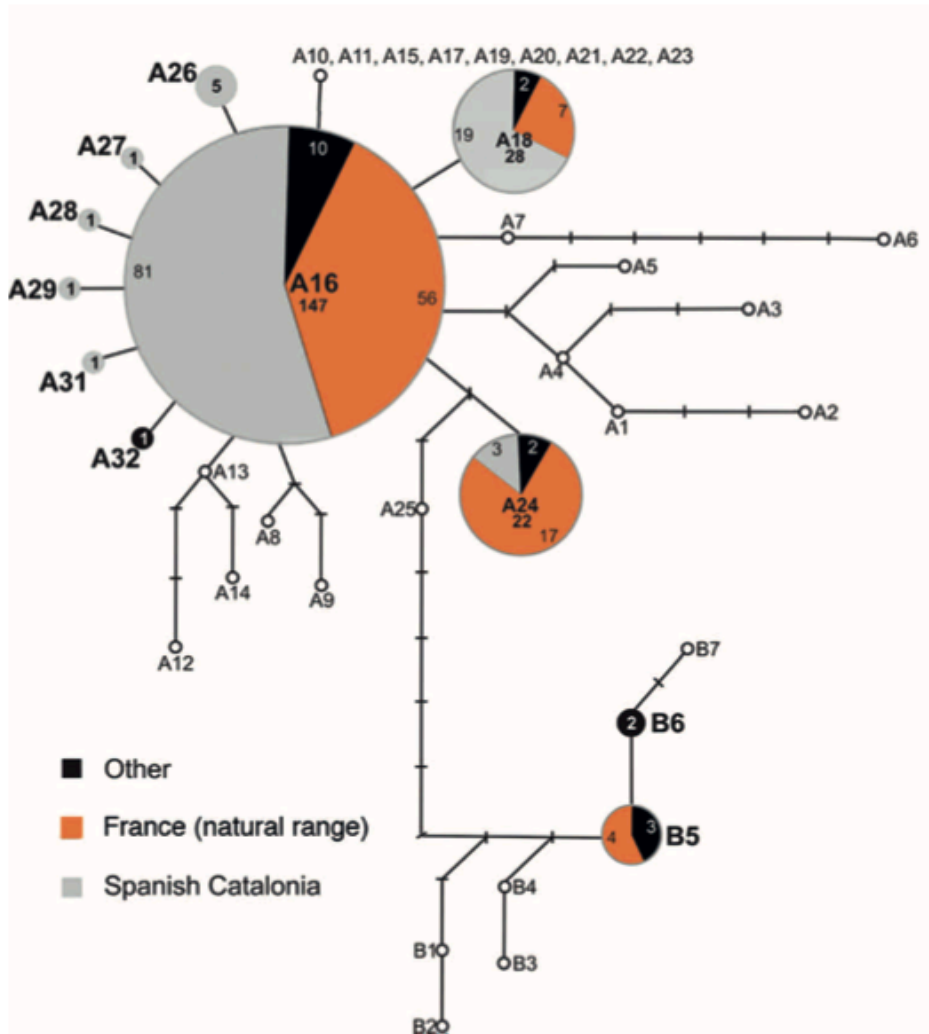


Figure 21 : Réseau d'enchevêtrement minimal des haplotypes cyt b de l'ADNmt de *Mauremys leprosa*. Les cercles de couleur représentent la distribution et la fréquence des haplotypes identifiés en Catalogne espagnole et française ainsi que dans les "autres" sites de l'étude. Les cercles blancs représentent les haplotypes connus de cette espèce qui n'ont pas été observés dans cette étude. Les tirets représentent les haplotypes manquants (Palacios et al. 2015)

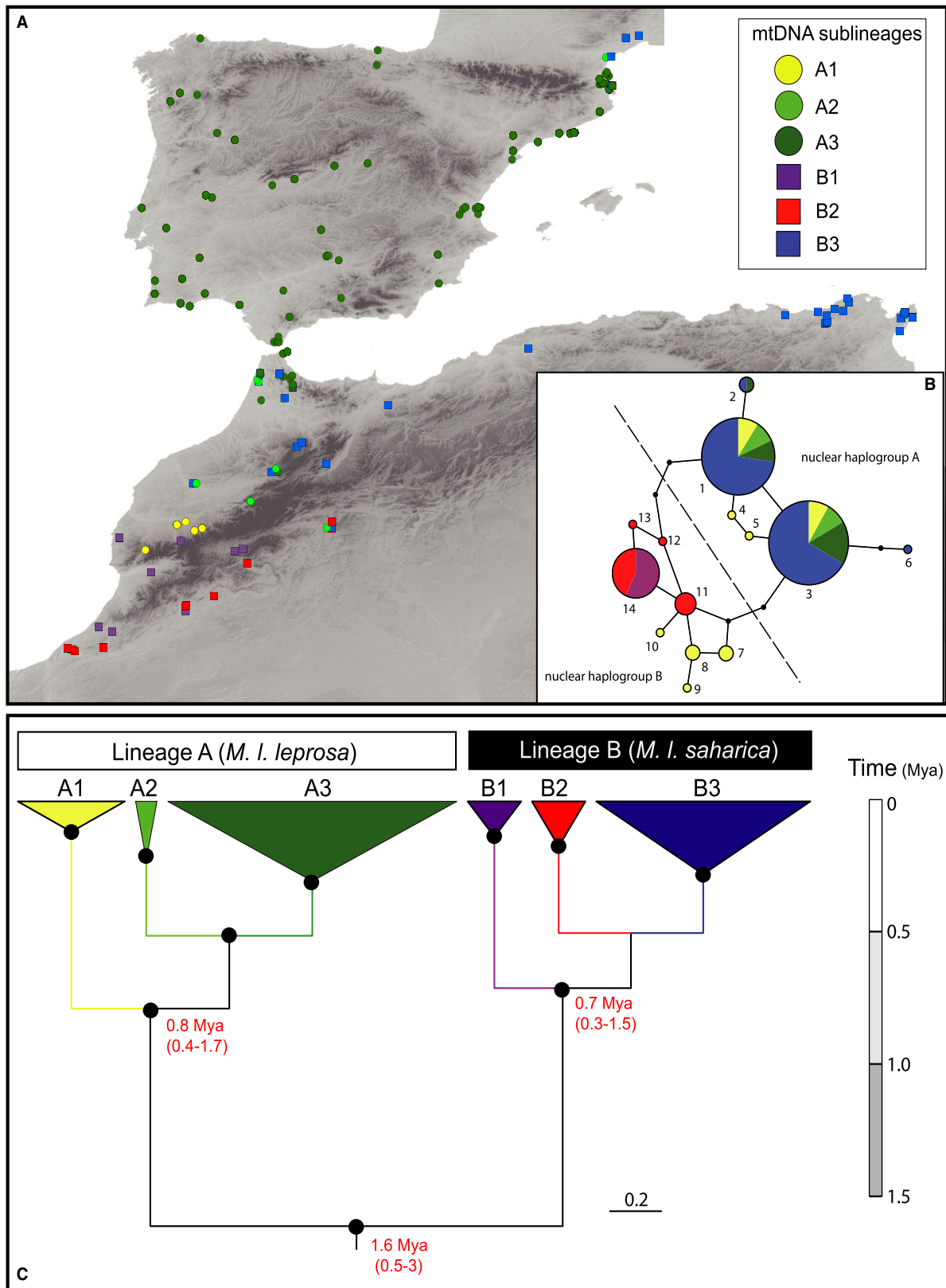


Figure 22 : A, distribution spatiale des lignées et sous-lignées d'ADNmt isolés chez *Mauremys leprosa*. Les cercles et les carrés correspondent respectivement aux lignées A et B. B, réseau d'haplotypes pour les séquences R35. La taille des 19 haplotypes est proportionnelle à leur fréquence et les lignes représentent les étapes mutationnelles séparant les haplotypes observés. C, phylogramme basé sur les données de l'ADNmt (Cyt b et boucle D). Les temps jusqu'à l'ancêtre commun le plus récent pour la séparation entre les lignées et à l'intérieur des lignées sont en rouge (Verissimo et al. 2016).

2. Marqueurs génétiques permettant de caractériser le génome

La diversité génétique a été mesurée pour de nombreux marqueurs différents : les protéines, l'ADN nucléaire, l'ADN mitochondrial (ADNmt), l'ADN chloroplastique (ADNc), les allèles délétères, les caractères (quantitatifs) variant continuellement (en particulier la condition physique) et les chromosomes (Frankham et al. 2010).

i. ADN mitochondrial

Les mitochondries sont des organites membranaires du cytoplasme cellulaire des eucaryotes, renfermant l'information génétique sous forme de molécules d'ADN circulaire. Le génome mitochondrial (ADNmt) est distinct du génome nucléaire (ADN nucléaire). Les mitochondries sont héritées de la mère, selon une transmission non mendélienne. La structure génétique est étudiée à l'aide du gène du cytochrome b mitochondrial (cyt b), qui permet d'identifier avec succès des lignées génétiques distinctes et de nombreux haplotypes individuels chez les tortues (Fritz et al. 2006). Sa capacité de réparation est faible, il est dépourvu d'histones, impliquant un taux de mutation supérieur à celui de l'ADN nucléaire. L'ADNmt est très largement utilisé en taxonomie, phylogénie, biogéographie et en étude de population, mais ne permet d'évaluer que les antécédents maternels.

ii. Microsatellites

Ce sont des séquences continues répétées d'ADN (jusqu'à six paires de bases nucléotidiques) de la partie euchromatique du génome, souvent dans les parties non codantes de celui-ci. Ces motifs en tandem sont très abondants dans tout le génome des Eucaryotes. Leur transmission est mendélienne. Les marqueurs microsatellites constituent un outil génétique précieux pour déduire l'histoire récente de l'évolution, les processus démographiques, les schémas actuels de flux de gènes et de parenté (Verissimo 2014).

iii. Synthèse chez *M. leprosa*

Non seulement la déduction de structuration génétique par étude de l'ADNmt produit généralement une image incomplète des processus biogéographiques de l'espèce en raison de son héritabilité maternelle, mais chez les tortues, le taux de mutation de l'ADNmt est inférieur à celui des autres vertébrés (longue durée de vie et temps de génération moyennement long). Par conséquent, ces deux arguments incitent à approfondir l'analyse de la structure et de la

diversité génétiques des populations de *M.leprosa*, à l'aide de techniques moléculaires plus pertinentes (Verissimo et al. 2013). Dans cette étude, ont été testés et optimisés pour *M.leprosa* 16 marqueurs microsatellites, initialement développés pour *Mauremys caspica* et *Mauremys rivulata* (Mantziou et al. 2005; Vamberger, Stuckas, Fritz 2011).

D'autres travaux, affirment que le marqueur mitochondrial (cyt b) est un moyen simple de déterminer l'origine géographique approximative, en particulier lorsque les lignées ou les haplotypes ont des distributions indigènes restreintes. Cependant, les hybrides ne sont pas détectés par l'ADNmt seul. Des marqueurs nucléaires informatifs, tels que des loci microsatellites polymorphes, sont donc nécessaires à leur identification (Velo-Antón et al. 2011).

Les deux techniques basées sur les microsatellites et l'ADNmt peuvent fonctionner de pair et permettre de tirer des conclusions taxinomiques, comme dans le cas de la Cistude d'Europe (*Emys orbicularis*). En effet, toutes les populations nord-africaines étaient historiquement identifiées à la sous-espèce *Emys orbicularis occidentalis*. Cependant, un échantillonnage couvrant presque toute l'aire de répartition en Afrique du Nord, utilisé pour des analyses de l'ADN mitochondrial et microsatellite, fournit des preuves discordantes. Seules les populations marocaines appartiennent à ce taxon, alors que les tortues de l'est algérien et tunisien représentent une sous-espèce distincte non décrite. Les cistudes ibériques et marocaines sont désormais considérées comme appartenant à une seule et même sous-espèce : *Emys orbicularis occidentalis* (Stuckas et al. 2014; Velo-Antón, García-París, Cordero Rivera 2008).

3. Constituer une population captive (Phase 2 : fondation)

i. Recruter des individus fondateurs

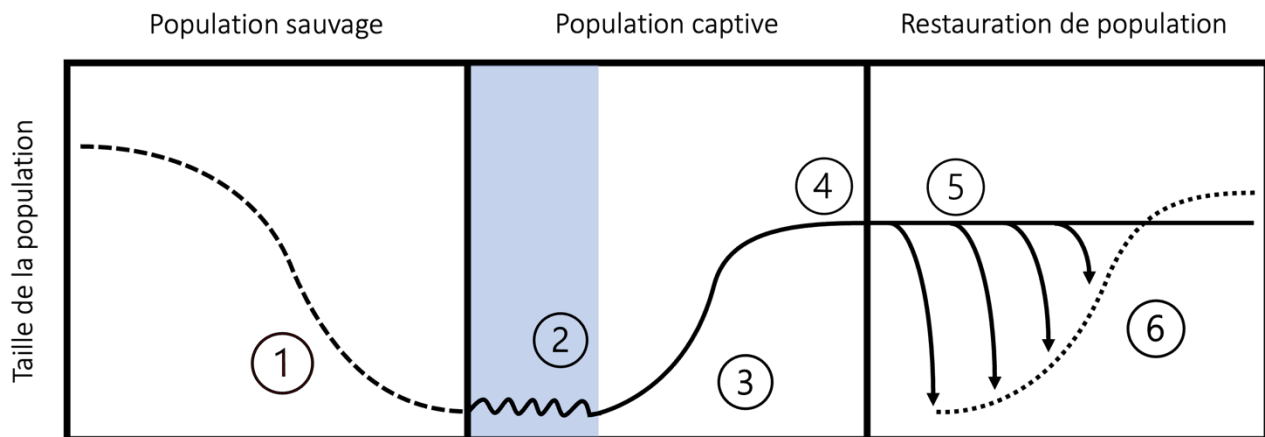


Figure 23 : Création d'une ou plusieurs populations captives : fondation.

La phase de fondation (Figure 23) commence par le recrutement de fondateurs c'est à dire d'individus dont la filiation n'est pas connue (aucun ancêtre connu) et dont les descendants vivent dans la population actuelle. Ils sont à l'origine de toute la diversité génétique de la nouvelle population. Une étude génétique approfondie des fondateurs est nécessaire pour développer les unités de gestion. Les individus fondateurs doivent être issus de plusieurs populations. La population captive ne doit pas être dominée par un faible nombre de lignées génétiques, mais doit au contraire en comporter le plus possible (Frankham, Ballou, Briscoe 2010). Les fondements génétiques seront détaillés dans la suite du développement. Nous considérons ici que la gestion génétique est idéale.

Théoriquement, les populations captives nécessiteraient 20-30 individus d'origine connue, soit un échantillon représentatif, afin d'englober au maximum la diversité génétique de la population naturelle et de minimiser la consanguinité. En d'autres termes, pour obtenir avec une certitude de 95% tous les allèles dont la fréquence est supérieure à 0,05 à un locus aléatoire

dans la population cible, il faut que le nombre de fondateurs soit suffisant c'est à dire d'au moins 30 (Frankham, Ballou, Briscoe 2010; Marshall, Brown 1975).

ii. Conséquences génétiques d'un nombre insuffisant de fondateurs

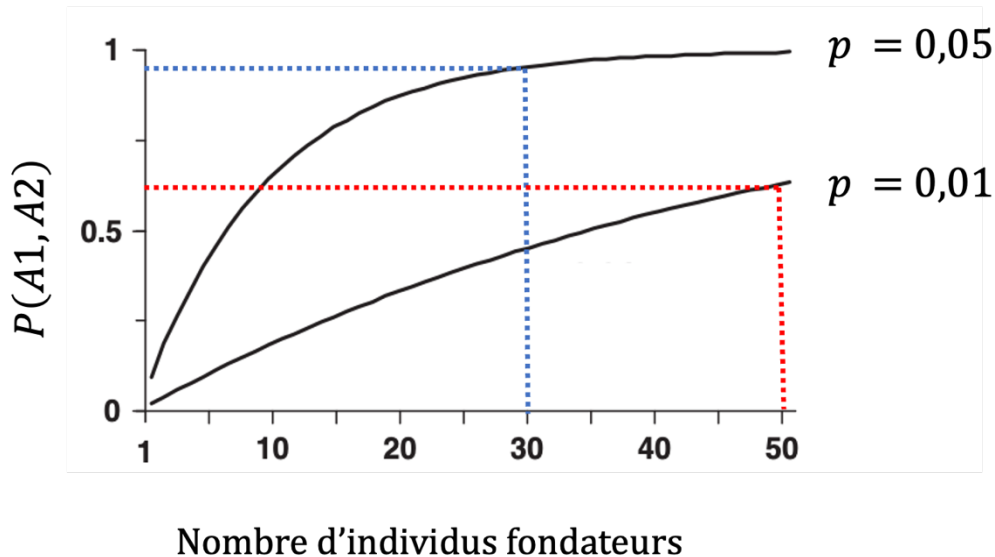


Figure 24 : Probabilité d'échantillonner au moins une copie de chaque allèle en fonction du nombre d'individus fondateurs, modifiée d'après (Frankham, Ballou, Briscoe 2010)

Pour un locus comportant deux allèles $A1$ et $A2$ d'un gène, la probabilité qu'un échantillon aléatoire de n fondateurs possède au moins une copie de chaque allèle $P(A1, A2)$ est donné par l'équation suivante :

$$P(A1, A2) = 1 - (1 - p)^{2n} - (1 - q)^{2n} \quad (1)$$

Où p est la fréquence de l'allèle $A1$ et q est la fréquence de l'allèle $A2$.

Sur la courbe (Figure 24) présentant $P(A1, A2)$ en fonction du nombre de fondateur n : le seuil de 95% est dépassé pour 30 fondateurs quand $p = 0,05$ alors qu'il n'atteint même pas 75 % pour 50 fondateurs quand $p = 0,01$. Plus la fréquence p est faible, plus le nombre requis de fondateur pour capturer l'allèle est élevée. En pratique, la majorité des populations captives ont été établies de sources différentes, d'origine inconnue avec un nombre insuffisant de fondateurs, formant un échantillon non représentatif de la diversité génétique naturelle et favorisant la consanguinité. En outre, tous les individus fondateurs sélectionnés ne se reproduisent pas. Par exemple, 242 tamarins lions dorés (*Leontopithecus rosalia*) capturés dans la nature ont formé une population captive, mais seulement 48 d'entre eux ont contribué au pool-génétique actuel. C'est pourquoi en pratique, le seuil de 20-30 individu fondateur est très

théorique, et pour atteindre cet objectif, le nombre d'individus participant initialement doit être largement supérieur. (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).

Cette phase de fondation est caractérisée par une petite taille de population et des connaissances limitées sur la biologie de l'espèce. La gestion repose alors sur une optimisation des conditions d'élevage de l'espèce, au plus proche de sa biologie afin de favoriser la reproduction des individus fondateurs. L'IUCN (1987) a recommandé que les populations captives soient fondées avant que les populations sauvages ne tombent en dessous du seuil de 1000 individus : pour obtenir des fondateurs sauvages avec de faibles taux de consanguinité, pour réduire l'impact du prélèvement sur les populations sauvages, et pour développer des techniques d'élevages optimisées.

Un petit nombre de fondateurs a des conséquences : perte de diversité génétique par diminution de l'hétérozygotie (par fixation des allèles), taux de consanguinité atteints rapidement, et dépression de consanguinité (ensemble des mutations génétiques défavorables dans une population).

iii. Phase de fondation : application à l'Émyde lépreuse

Le Refuge des Tortues accueille des tortues confiées par des particuliers ou par les services administratifs français (DDPP, DREAL, ENVTT, OFB). Le nombre théorique nécessaire de fondateurs ainsi disponibles est-il suffisant pour la réussite du projet ?

Le pedigree est un diagramme précisant les lignes de descendance et les liens de parenté entre les individus. Il n'est pas connu pour les animaux recueillis au Refuge des Tortues. Par conséquent, le minimum à évaluer est leur haplotype génétique. Par ailleurs, l'obtention du profil génétique de chacun des fondateurs permettrait de déterminer la paternité et la maternité des juvéniles, lorsque ceux-ci seront testés ultérieurement. Ceci s'applique également pour les individus des parcs zoologiques, bien que leur pedigree pourrait probablement être déterminé. L'identification génétique des individus accueillis est une priorité. Elle permettrait de limiter l'hybridation entre sous-espèces dans un premier temps. Dans un second temps, elle axerait la constitution des groupes en fonction de l'haplotype.

(a) Protocole d'accueil des émydes lépreuses au Refuge des Tortues

Le comité de pilotage du projet a commencé à élaborer un protocole d'accueil des Émydes lépreuses au Refuges de Tortues. Ce protocole a vocation à être étoffé et précisé :

« À leur arrivée au refuge de Bessières, les Émydes lépreuses sont placées en quarantaine dans des bacs en PVC réservés à cet effet. Cette partie du refuge n'est pas accessible au public. Les tortues sont ensuite acheminées au centre de soins de l'École Nationale Vétérinaire de Toulouse (ENVT) dans les plus brefs délais.

Un bilan sanitaire incluant a minima un examen clinique, une recherche parasitaire et le cas échéant une vermifugation ou des soins, ainsi qu'une identification seront mis en œuvre. Pour cela, une micro-puce est implantée par voie sous-cutanée ou intramusculaire dans la cuisse gauche de chaque animal. Ainsi, les tortues possèdent toutes un numéro unique composé de 15 chiffres (exemple : 250 228 739 025 872) lisible en utilisant un lecteur de puce adapté [...] Des analyses génétiques seront réalisées à partir de plusieurs types d'échantillons : prélèvement d'un morceau de griffe ; frottis buccal ou prise de sang. Cette étude génétique portera sur l'ADN mitochondrial (détermination de l'haplotype) et sur l'ADN nucléaire (détermination du statut hybride des individus). Ainsi, l'identité génétique de chaque spécimen connu permettra soit de regrouper dans un même bassin les spécimens appartenant à la même sous-espèce, soit de les isoler en cas d'individus hybrides.

De retour au refuge, les tortues sont ensuite placées dans les bassins d'élevage. Dans un premier temps, les mâles sont séparés des femelles pour éviter toute reproduction. Nous attendrons les résultats des analyses génétiques pour regrouper les tortues ou pour les isoler. Cette démarche se fera au cas par cas.

Concernant ce protocole, il s'applique pour tous les spécimens considérés comme aptes à regagner le milieu naturel. Tout le travail en amont (accueil des tortues, quarantaine, soins et identification par transpondeur électronique, analyses génétiques, acheminement des tortues sur le site de relâcher) est assuré par le Refuge des Tortues. Le choix des sites de relâcher et le suivi des animaux sont réservés aux coordinateurs du « PNA Émyde lépreuse ». Le Refuge des Tortues souhaite agir uniquement dans le cadre de ses compétences qui se résume à l'élevage des spécimens accueillis au centre. » (Maran 2020).

(b) Schéma d'identification génétique

Ce schéma théorique d'identification génétique pourrait être adapté et appliqué aux individus hébergés au refuge ainsi qu'aux individus captifs de diverses structures (Stuckas et al. 2014) :

- **Prélèvements** à partir de tissus ou de sang (morceau de griffe, écouvillon buccal, prise de sang) pour réaliser les analyses génétiques nécessaires.
- **Extraction de l'ADN, PCR, séquençage et alignement** : les fragments d'intérêt sont amplifiés par PCR en utilisant les amorces requises. Les produits obtenus sont purifiés et séquencés. Les données de séquence sont ensuite alignées et vérifiées individuellement.
- **Analyses des haplotypes et inférences phylogénétiques.**
- **Analyses des microsatellites** : analyse des clusters génétiques et des indices de diversité pour les données microsatellites.

Certains individus du Refuge des Tortues ont déjà été caractérisés génétiquement (ANNEXE 3). Les individus captifs détenus par différentes institutions publiques ou privées ont été recensés par le comité de pilotage du projet. Celles-ci ont été contactées, informées du projet et interrogées sur leur volonté d'y participer. Le cas échéant, un protocole de prélèvement de sang leur a été communiqué (ANNEXE 2). Nous avons récolté à ce jour 22 prélèvements de sang de 22 individus en provenance de cinq institutions, inventoriés en ANNEXE 4.

Une fois l'étude génétique achevée, les haplotypes ciblés sont regroupés pour former les groupes d'individus fondateurs.

(c) Effectifs envisagés d'émydes lépreuses

Il est prévu d'installer les tortues dans cinq bassins hébergeant chacun entre six et douze individus, pour un *sex ratio* de 1/3 à 1/2 (Tableau 1).

Numéro de bassin	Nombre de femelles	Nombre de mâles	Nombre total par bassin	<i>Sex ratio</i>
1	9	3	12	1/3
2	4	2	6	1/2
3	4	2	6	1/2
4	4	2	6	1/2
5	4	2	6	1/2
Sous-total du nombre d'individus	25	11	36	
Total d'individus adultes reproducteurs	36			

Tableau 1 : Effectifs envisagés d'individus reproducteurs dans chacun des bassins (Maran, Rouot, Roch 2022)

Plusieurs stratégies sont envisageables pour répartir les individus reproducteurs dans les bassins, en plus de la prise en compte des haplotypes : par exemple selon leur taille, leur capacité d'accueil, le *sex ratio*, la compétition intraspécifique pour la reproduction, la compétition pour l'alimentation ou les zones de thermorégulation. La future station d'élevage du Refuge des Tortues a l'avantage de pouvoir héberger plusieurs groupes de reproduction dans des bassins distincts. Cette polyvalence permet d'envisager l'éventualité d'une rotation des individus reproducteurs entre les bassins.

4. Atteindre une taille de population captive cible (Phase 3 : croissance)
 - i. Assurer la viabilité démographique de la population constituée

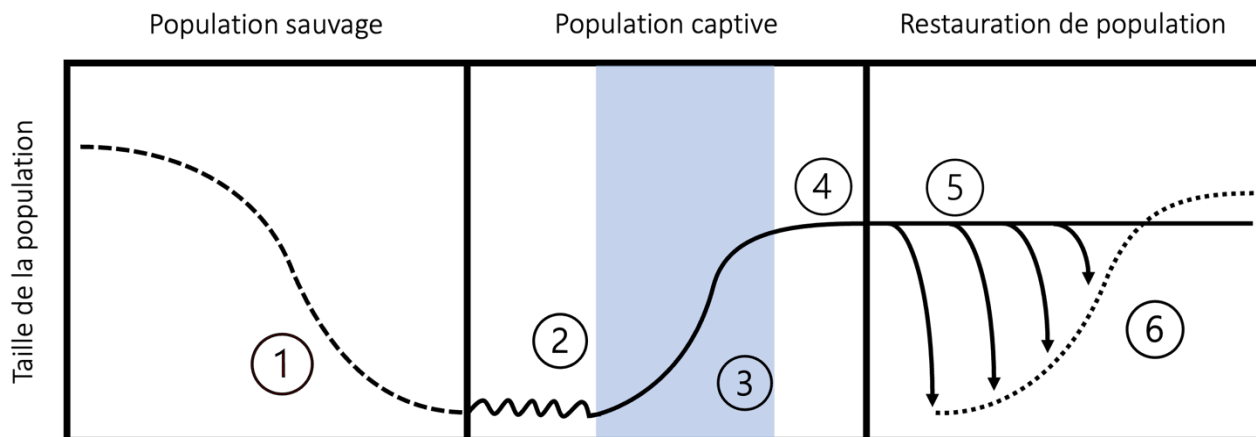


Figure 25 : Expansion des populations captives jusqu'à une taille de population suffisante : croissance

Les fondateurs se reproduisent et la population croît jusqu'à une taille définie (Figure 25). La taille cible est la taille de la population nécessaire pour conserver 90 % de la diversité génétique sur 100 ans. (Frankham, Ballou, Briscoe 2010). Elle procède du concept de *Minimal Viable Population* (MVP) ou population viable minimale, développé pour estimer la taille nécessaire d'une population pour atteindre 95% (ou un pourcentage similaire) de chance de survie pendant une période modérément longue, par exemple 100 ans (Ballou, Holzer 2011). En d'autres termes, la MVP est la taille de la population en dessous de laquelle la population devient vulnérable au vortex d'extinction (Figure 20). L'atteinte de cette taille cible est fonction de plusieurs paramètres :

- L'effet fondateur,
- Le ratio N_e/N ,
- La durée des générations,
- La rapidité avec laquelle la population croît une fois le goulot d'étranglement des fondateurs franchit.

Au cours de la phase de croissance, la priorité est donnée à une croissance rapide, c'est-à-dire à un faible nombre de génération pour atteindre la MVP, plutôt qu'à une gestion génétique intense. Cependant, une gestion génétique minimale consiste d'abord à éviter l'accouplement de proches parents, puis à permettre à tous les individus de se reproduire, enfin de favoriser au maximum la reproduction des animaux génétiquement intéressants. La phase de gestion génétique est détaillée dans la partie suivante. Lors de cette phase critique, la

reproduction doit être réalisée entre le maximum d'institutions participantes, plutôt que de se cantonner à un nombre réduit. En effet, cela atténue le risque de voir s'effondrer le potentiel reproductif d'une population dans le cas où une institution essentielle essuierait un événement imprévisible (ex : maladie, catastrophe naturelle) (Kleiman, Thompson, Baer 2010).

ii. Phase de croissance : application à l'Émyde lépreuse

Une fois acquises les informations sur la structure génétique des individus captifs, il s'agit de construire des infrastructures adaptées aux obligations biologiques de l'Émyde lépreuse afin de permettre la reproduction dans des conditions optimales. Il est nécessaire de construire un lieu de vie et de reproduction pour les adultes, un lieu de croissance pour les juvéniles, et éventuellement un lieu d'éclosion pour les œufs. Le lieu d'élevage sera construit à l'image du Refuge des Tortues : comprendre un lieu paysagé répondant non seulement aux exigences écologiques et au bien-être de l'espèce, mais aussi à celles de la faune locale, permettant ainsi de pérenniser l'écosystème et de sensibiliser le public à la préservation de la biodiversité.

Les travaux pour la station d'élevage ont débuté en 2021 et se poursuivent en 2023. Cette station sera composée de cinq bassins de reproduction, de onze bassins couverts par une volière accordant aux tortues juvéniles une croissance hors d'atteinte des prédateurs, d'un espace pédagogique, et d'un local technique. Au moment de la rédaction de cette thèse, les bassins et la structure de la station ont été réalisés. L'aménagement du local technique, des parties terrestres des bassins de reproduction, la construction des bassins des juvéniles et de la volière de protection associée, les finitions et installations pédagogiques, l'adduction d'eau potable sont en cours de réalisation (Figure 26).

La fin des travaux et l'intégration des premières tortues sont espérés pour 2024, et nécessitent constamment la recherche de nouveaux financements. (Maran, Rouot, communication personnelle, 2023). Le détail des travaux de la station est disponible dans les références bibliographiques ainsi que dans les communications officielles de l'association (Maran, Rouot, Roch 2022).



Figure 26 : Photographies aériennes de la station d'élevage et d'étude en cours de construction - © Fred Lavail

5. Maintenir une stabilité démographique et génétique de la population captive au cours des générations (Phase 4 : maintien *ex-situ*)

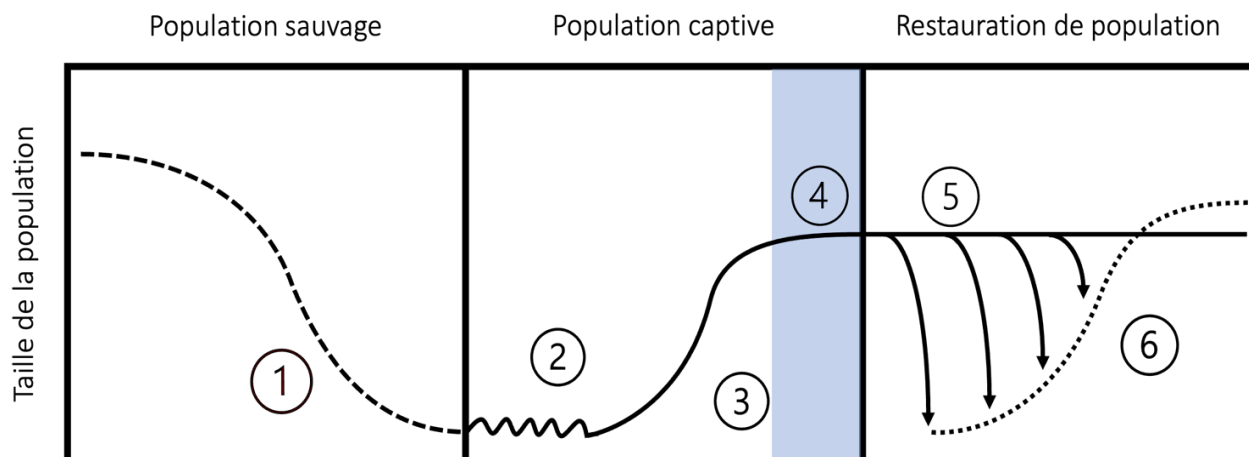


Figure 27 : Gestion de la population captive sur plusieurs générations : maintien *ex-situ*

A mesure que la population s'approche de la taille cible pendant la phase de croissance (Figure 27), la gestion s'oriente de plus en plus vers la résolution des issues génétiques de la captivité. La gestion d'une population captive est un jeu d'équilibre entre le maintien de la diversité génétique d'une part et la préservation de la sécurité démographique d'autre part. Ce sont les deux objectifs capitaux de la gestion des populations pour la conservation à long terme d'une espèce (Ballou, Foose 1996).

i. Maintenir la viabilité d'une population : enjeux démographiques

Les risques démographiques auxquels doit faire face une population sont les dynamiques de faible population, les structures de population déséquilibrées (âge et sexe) et une reproduction non optimisée :

- Dynamique des petites populations : les populations de petite taille sont plus vulnérables à l'extinction que les grandes, à cause du phénomène de vortex d'extinction (Figure 20). Les causes aléatoires entraînant la disparition des petites populations sont regroupées en trois catégories : la stochasticité démographique, la stochasticité génétique et la stochasticité environnementale (Delord 2019). La stochasticité est la part de variabilité d'un phénomène, due à la chance ou au hasard. La stochasticité démographique est une des sources principales de vulnérabilité. En d'autres termes, c'est la variation aléatoire des variables démographiques telles que

les taux de natalité et de mortalité, le *sex-ratio* et la dispersion, qui affecte certains individus d'une population. Dans de petites populations, ces événements aléatoires augmentent le risque de disparition.

- Structure de population déséquilibrée (âge, *sex ratio*) : il n'y a pas de consensus sur les caractéristiques d'instabilité de la structure d'une population. Une pyramide des âges possède une base représentant les individus les plus jeunes, un centre formé par les animaux en âge de se reproduire et un sommet d'individus vieillissants. L'étude d'une pyramide des âges permet d'anticiper la croissance d'une population et son futur : de manière générale, les pyramides à base étroite représentent des populations vieillissantes en déclin, celles de base large illustrent des populations croissantes au fort potentiel reproducteur.
- Reproduction non optimisée : il est essentiel de comprendre la biologie des espèces captives et les méthodes d'élevage nécessaires pour optimiser la reproduction lorsqu'elle est envisageable.

ii. Maintenir la viabilité d'une population : enjeux génétiques

L'enjeu est de minimiser les changements dans la constitution génétique de la population captive, afin qu'elle soit un échantillon représentatif des individus fondateurs. En captivité les populations agissent comme des populations isolées, fragmentées et de petites tailles (Putnam, Ivy 2014). Elles peuvent basculer dans un vortex d'extinction (Figure 20) comme vu précédemment. Elles se détériorent génétiquement par augmentation du taux de **consanguinité (a)** et par **diminution de la diversité génétique (b)**, qui sont les deux préoccupations génétiques majeures.

(a) Augmentation de la consanguinité

C'est la production de descendants par deux individus apparentés. Qu'ils soient très proches (frère-sœur, parent-enfant) ou plus distants (premier cousin, deuxième cousin, etc.). On mesure cette distance par le coefficient de consanguinité F qui est la probabilité pour un individu que deux allèles d'un locus quelconque soient identiques par descendance. $F \in [0; 1]$. F est d'autant plus élevé que les parents sont apparentés (Frankham et al. 2017).

Comme on le voit sur la Figure 28, le taux de consanguinité F augmente plus vite dans les petites populations isolées. En pratique, le coefficient F est obtenu par l'étude des pedigrees, par des calculs directs ou par l'utilisation de logiciels dédiés (*e.g.* PMX) (Frankham et al. 2011).

L'homozygotie pour les allèles récessifs néfastes augmente avec la consanguinité, réduisant la *fitness* individuelle et entraînant le phénomène de dépression de consanguinité. La dépression de consanguinité réduit la *fitness* globale de la population. (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).

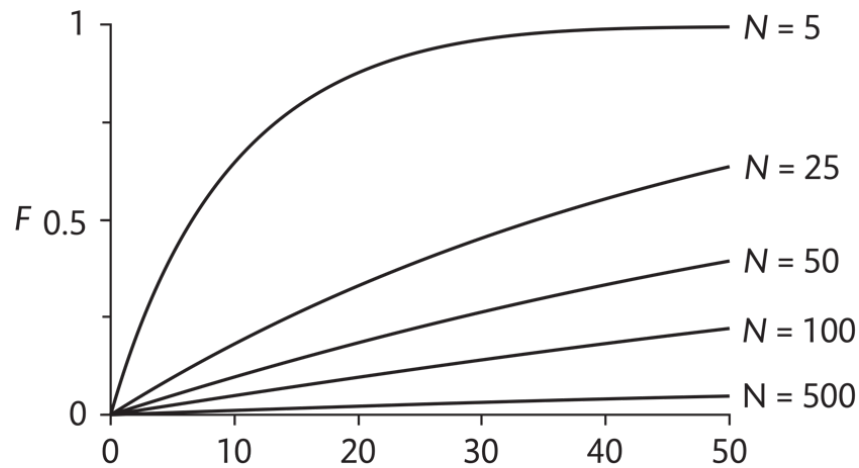


Figure 28: Taux de consanguinité (F) en fonction des générations (t) pour une taille de population isolée N, adaptée (Frankham, Ballou, Briscoe 2010)

(b) Diminution de la diversité génétique

La diversité génétique est mesurée sur des loci individuels dans une population en utilisant la proportion d'**hétérozygotes** et le **nombre d'allèles**. Ensuite elle est moyennée sur plusieurs loci. La diversité génétique moyenne est donc caractérisée par l'hétérozygotie observée H_0 (nombre d'hétérozygotes observé par rapport au nombre d'individus n), l'hétérozygotie attendue H_e (nombre d'hétérozygotes calculé selon l'équilibre de Hardy-Weinberg par rapport au nombre d'individu), et la diversité allélique A . La diversité génétique est évaluée à plusieurs échelles (*e.g.* diversité nucléotidique, diversité de la séquence d'ADN, diversité des microsatellites, diversité haplotypique, diversité d'allozymes, diversité d'allèles néfastes, diversité ou variation génétique quantitative¹) (Frankham, Ballou, Briscoe 2010; Frankham et al. 2017). Des méta-analyses sur différents taxons révèlent que les espèces menacées (CR, EN, VU) selon l'IUCN ont en moyenne 25% à 35% de diversité génétique (microsatellitique, minisatellitique, allozymatique) en moins que les espèces non menacées. Cela est observé chez les tétrapodes (Flight 2010), chez les oiseaux (Evans, Sheldon 2008) et

¹ Génétique des caractères à variation continue et discontinue, liés à l'aptitude globale des individus (le succès de la reproduction et les taux de survie, la taille de la portée). Au lieu d'être déterminés par un seul locus, ces caractères impliquent de nombreux loci.

sur un ensemble de taxons (vertébrés homéothermes et poïkilothermes, « invertébrés », angiospermes et gymnospermes) (Spielman, Brook, Frankham 2004). Sur plusieurs générations t , la diversité génétique sur des loci neutres est estimée par :

$$\frac{H_t}{H_0} = \left(1 - \frac{1}{2N_e}\right)^t = 1 - F \quad (2)$$

Avec H_t l'hétérozygotie à la génération t (attendue selon l'équilibre de Hardy Weinberg), H_0 l'hétérozygotie initiale mesurée, N_e la taille effective de la population, F le coefficient de consanguinité. On obtient ainsi le tracé suivant (Figure 29), prédisant un déclin de la diversité génétique avec les générations suivant la taille N_e (Frankham et al. 2017; Spielman, Brook, Frankham 2004).

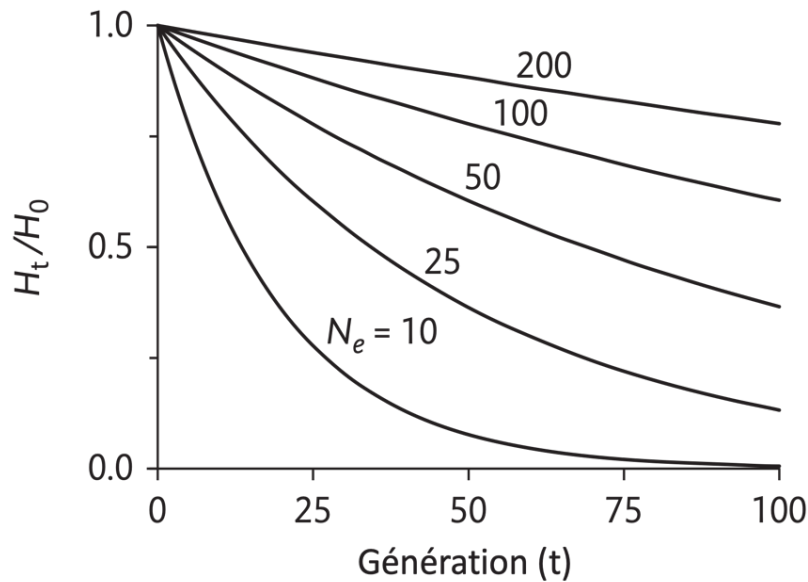


Figure 29 : Taux d'hétérozygotie en fonction du nombre de générations (t), pour une taille de population effective N_e , adaptée (Frankham, Ballou, Briscoe 2010)

Lorsque des élevages conservatoires sont initiés avec des individus fondateurs N_{f0} , ceux-ci sont pris en compte dans l'équation (1) telle que :

$$\frac{H_t}{H_0} = \left(1 - \frac{1}{2N_{f0}}\right) \left(1 - \frac{1}{2N(N_e/N)}\right)^{t-1} \quad (3)$$

(c) Objectifs génétiques de l'élevage conservatoire

L'objectif idéal en captivité est de minimiser la perte de diversité génétique, donc d'avoir $\frac{H_t}{H_0}$ le plus proche de 1 possible. Signifiant que la population a conservé son taux d'hétérozygotie initial.

On cherche donc à avoir $\frac{1}{2N_{f_0}}$ et $\frac{1}{2N(N_e/N)}$ les plus petits possibles, soit :

- N_{f_0} le plus grand possible en maximisant le nombre de fondateur,
- N_e/N et N le plus grand possible en maximisant la taille de la population,
- Minimiser le nombre de générations en captivité t .

En réalité, la principale contribution à la diminution de $\frac{H_t}{H_0}$ est la diminution de la taille de la population N , soit la diminution de $\frac{N_e}{N}$ (Frankham, Ballou, Briscoe 2010). C'est donc sur ce paramètre que les efforts doivent être concentrés.

Soulé et ses collaborateurs proposent comme objectifs de la gestion génétique des populations captives :

- Acceptation d'une perte de diversité génétique initiale (inévitabile car les fondateurs ne sont que rarement un échantillon représentatif de la population sauvage),
- Acceptation d'une augmentation concomitante du coefficient de consanguinité F ne devant pas dépasser pas 10% sur 200 ans c'est à dire qu'il faut viser à conserver 90 % de la diversité génétique sur 200 ans.

L'objectif de 90% de rétention est arbitraire. Le consensus le considère comme le seuil entre une perte d'hétérozygotie dommageable et une perte d'hétérozygotie tolérable (Soulé et al. 1986). Ces objectifs ont été revus à la baisse aujourd'hui, quelques articles mentionnant 80% pour 100 ans ou 90% pour 50 ans (Frankham, Ballou, Briscoe 2010).

(d) Minimiser l'apparentement moyen

Par définition, le **coefficient de parenté** ou *kinship* (notée k_{ij}) de deux individus i et j est le coefficient de consanguinité F de leur descendance théorique. L'**apparentement moyen**

(*mean kinship*) mk_i pour un individu i est la moyenne du coefficient de parenté k_{ij} de cet individu avec chacun des individus j de la population, lui-même compris. On le note tel que :

$$mk_i = \frac{\sum_{j=1}^N k_{ij}}{N} = \frac{k_1 + \dots + k_N}{N} \quad (4)$$

La moyenne des **apparentements moyens** (*average mean kinship*) \overline{mk} est donc le coefficient de consanguinité attendu dans la génération suivante \overline{F}_{t+1} avec un accouplement aléatoire. La moyenne des **apparentements moyens** est inversement proportionnelle à la diversité génétique H_t/H_0 telle que :

$$\overline{mk} = \frac{\sum_{i=1}^N mk_i}{N} \quad (5)$$

$$\overline{mk} = \overline{F}_{t+1} = 1 - \frac{H_{t+1}}{H_0} \quad (6)$$

D'après l'équation (6), si la \overline{mk} est minimisée, alors la consanguinité est minimisée à la génération suivante et l'hétérozygotie conservée est maximisée. La gestion génétique par minimisation de l'apparentement moyen est la meilleure stratégie pour conserver la diversité génétique (Ballou, Lacy 1995; Frankham, Ballou, Briscoe 2010; Frankham et al. 2017). Des méthodes pour estimer la \overline{mk} grâce à des marqueurs moléculaires (SNP, microsatellite, etc.) sont utilisées (De Cara et al. 2013; Toro, Villanueva, Fernández 2014; Fernández, Toro, Caballero 2004).

iii. Phase de maintien *ex situ* : application à l'Émyde lépreuse

(a) Gestion des individus reproducteurs

De complexes interrogations relatives à la gestion des bassins de reproduction vont naturellement surgir au cours de la mise en place du projet. Doit-on effectuer des rotations entre les tortues des bassins de reproduction au fur et à mesure des cohortes ? Doit-on enrichir les groupes de reproduction avec de nouveaux individus, confiés au refuge ou issus du programme de reproduction ? Dans ce cas, à quelle fréquence et à quel moment ? Certains éléments de réponse seront certainement apportés par l'expérience du terrain. La dualité du projet crée sa force : être une station d'élevage mais aussi d'étude de l'Émyde lépreuse.

Les choix et décisions de gestion de l'élevage sont donc amenés à évoluer. Pour le moment, cette phase n'est pas encore applicable à l'Émyde lépreuse. Le Refuge des Tortues procurera les conditions optimales de maintien des individus et de réalisation de leur reproduction. Les sécurités démographique et génétique seront assurées par les personnes compétentes en suivant les recommandations établies en 2.C.4.

En pratique, les frères et sœurs ne s'accoupleront pas entre eux, les accouplements entre individus ayant des parentés moyennes trop éloignées seront évités, tout en choisissant les individus reproducteurs en fonction de leur faible parenté moyenne mk_i .

(b) Gestion des œufs

Les œufs pondus pourront être laissés en place dans le nid ou placés en incubateurs artificiels. La méthode permettant d'optimiser le taux d'éclosion sera choisie. Si les œufs sont placés en incubateur artificiel, les paramètres zootechniques d'incubation pourront être contrôlés de manière à favoriser le *sex ratio* des cohortes.

(c) Gestion des descendants et identification de la parenté

L'installation en captivité des jeunes individus permettra un suivi jusqu'à la phase de translocation vers le milieu naturel. La survie des jeunes individus sera optimisée par le respect d'un régime nutritionnel adapté et de paramètres environnementaux idéaux, ainsi que par la mise en place d'un suivi vétérinaire. Des protocoles de suivi des juvéniles (journaliers ou hebdomadaires) seront envisagés selon les cycles annuels de l'espèce. Plusieurs stratégies de gestion de juvéniles sont envisageables. A titre d'exemple, certains élevages conservatoires de Cistude d'Europe optent pour un élevage exclusivement en intérieur ; d'autres privilégient une croissance en extérieur au plus près des conditions environnementales qu'affronteront les jeunes tortues. Il est en effet possible de prélever les œufs dans le nid, de les placer en incubateurs, d'attendre leur éclosion, puis de faire grandir les juvéniles dans des bassins intérieurs jusqu'à la translocation, tout en récoltant le maximum de données à chaque stade de croissance. Une stratégie mixte concède une première brumation en intérieur, avant une confrontation aux conditions naturelles dans une volière de protection adaptée (Anthony Kohler, communication personnelle). Quelle que soit la stratégie développée, des étapes communes se dessinent : favoriser une croissance optimale, sans excès ; éviter la surpopulation des juvéniles pour limiter le taux de mortalité ; définir une capacité d'accueil des bassins à ne pas dépasser.

Un suivi de la parenté moyenne mk_i de la population devra être mis en place afin de maximiser la diversité génétique et de minimiser la consanguinité dans les cohortes annuelles de descendants. À l'heure actuelle, le *studbook* du programme d'élevage européen pour la Cistude d'Europe regroupe plus de 5000 individus de *kinship* majoritairement inconnue, rendant impossible les calculs de *mean kinship* mk_i . Il serait donc très intéressant d'initier ce suivi dès la genèse d'un projet tel que « Sauvons l'Émyde lépreuse ». Une surveillance et une identification des femelles au moment de la ponte pourront permettre d'évaluer la maternité, et aider à l'établissement du *pedigree*. La contribution des mâles devra également être évaluée, pour assurer une stabilité génétique de la population, grâce à des analyses génétiques effectuées sur chacun de descendants (Anthony Kohler, communication personnelle).

La **maternité des descendants** peut être déterminées suivant différentes méthodes (Jean-Yves Georges, communication personnelle) :

- Premièrement les femelles des groupes de reproduction peuvent être marqués individuellement (par exemple avec un motif de peinture sur la dossière) afin d'être reconnaissable à distance. Pendant la période de ponte, au moment de la montée sur la bute, en dehors de l'eau, l'individu est reconnu soit de manière directe par un observateur, soit de manière indirecte par des pièges photographiques. Cette procédure implique de récupérer les œufs pour les mettre en incubateur, et permet leur marquage lors de l'excavation ultérieure du nid. Cette méthode ne doit pas interférer avec le comportement de ponte de la tortue.
- Deuxièmement, il est envisageable d'équiper les animaux de transpondeurs RFID, et d'intégrer aux bassins des antennes enterrées. Ainsi, le moment, le lieu de la ponte et l'identité de la femelle sont détectables en temps réel et à distance. Cette procédure implique également de récupérer les œufs pour les mettre en incubateur, et permet leur marquage lors de l'excavation ultérieure du nid.
- Troisièmement, l'identification de la maternité peut se faire en utilisant des techniques d'analyses génétiques (par exemple ADNmt) en s'affranchissant des contraintes spatio-temporelles des deux techniques précédentes. Ceci permet d'identifier la mère à n'importe quel moment de la vie de la descendance mais requiert de connaître le profil génétique de toutes les femelles.
- Enfin, toutes ces techniques peuvent être combinées. Il est intéressant d'envisager la mise en place d'une méthode de déduction de la maternité dès le début du programme de conservation, afin d'établir un *studbook* et de construire le *pedigree* de chaque

individu. Celle-ci dépendra en grande partie de la configuration de l'enclos, des moyens alloués et de la mise en incubateur des œufs.

La **contribution des mâles** doit être évaluée pour prévenir la reproduction exclusive d'un mâle avec toutes les femelles du bassin sur plusieurs années. Elle ne peut cependant pas être appréciée visuellement. D'abord, parce qu'elle nécessiterait une surveillance rapprochée des comportements d'accouplement des différents mâles en compétition pendant la phase pré-copulatoire. Enfin, parce que les mécanismes de compétition spermatique (chez le mâle) et de choix cryptique (chez la femelle) de la phase post-copulatoire sont encore méconnus chez l'Émyde lépreuse (Løvlie et al. 2013). En revanche, la paternité peut être déterminée par analyse génétique (microsatellites) au moment de l'éclosion, par échantillonnage de la coquille ou du jeune individu, dans le cas où les œufs sont placés en incubateurs. Les analyses génétiques peuvent aussi être différées et conduites *a posteriori*. Comme pour l'identification de la mère, la déduction de la paternité repose sur la connaissance préalable des profils génétiques des mâles reproducteurs et permet de compléter la seconde moitié du pedigree des juvéniles (Jean-Yves Georges, communication personnelle).

Les descendants seront repérés par des méthodes non invasives permettant une identification visuelle, jusqu'à ce que leur taille permette éventuellement un marquage des écailles marginales par encoche et l'implantation d'un transpondeur électronique associé à un numéro unique.

Outre le maintien de la viabilité démographique et génétique dans les installations en captivité, l'un des principaux enjeux de la translocation est d'assurer une transition appropriée vers l'environnement naturel et de suivre les animaux après leur remise en liberté. (Quintard, Georges 2023).

6. Translocation d'individus dans le milieu naturel (Phase 5 : restauration)

i. Le choix de la translocation

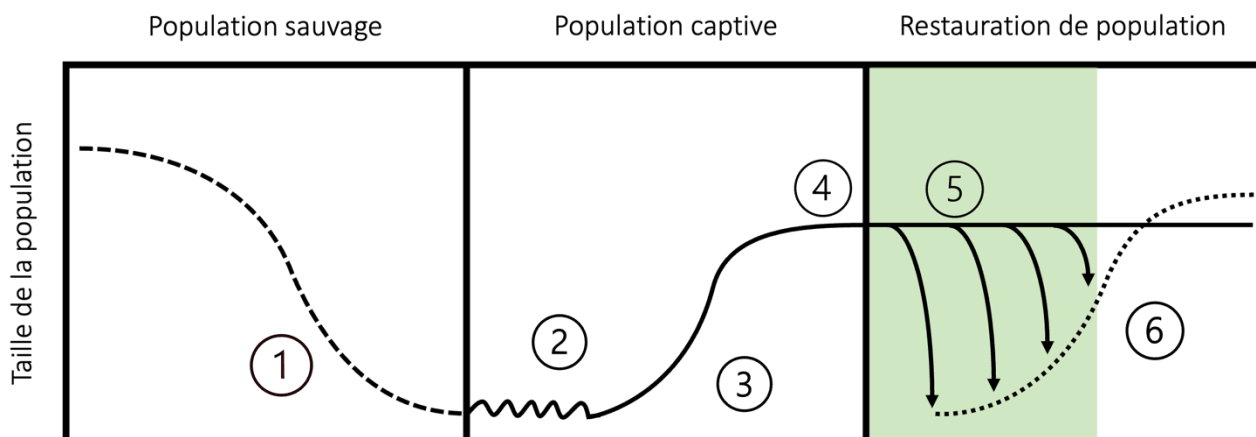


Figure 30 : Choix des individus à transférer dans le milieu naturel : restauration

Cette phase implique la translocation ou le transfert d'individus nés en captivité vers le milieu naturel (Figure 30). On utilise le terme de translocation à des fins de conservation. C'est un mouvement intentionnel anthropique, dont l'objectif premier est la conservation. On parle de **restauration de population** quand il est réalisé à l'intérieur de l'aire de répartition indigène de l'espèce ; d'**introduction à des fins de conservation** quand il est réalisé à l'extérieur de l'aire de répartition de l'espèce (Figure 31). La restauration de population est subdivisée en deux catégories :

- Le **renforcement**, en tant que translocation visant à améliorer la viabilité de la population (démographique ou génétique) a lieu dans une population existante de congénères,
- La **réintroduction** vise à ré-établir une population viable dans son aire de répartition indigène (IUCN/SSC 2013).

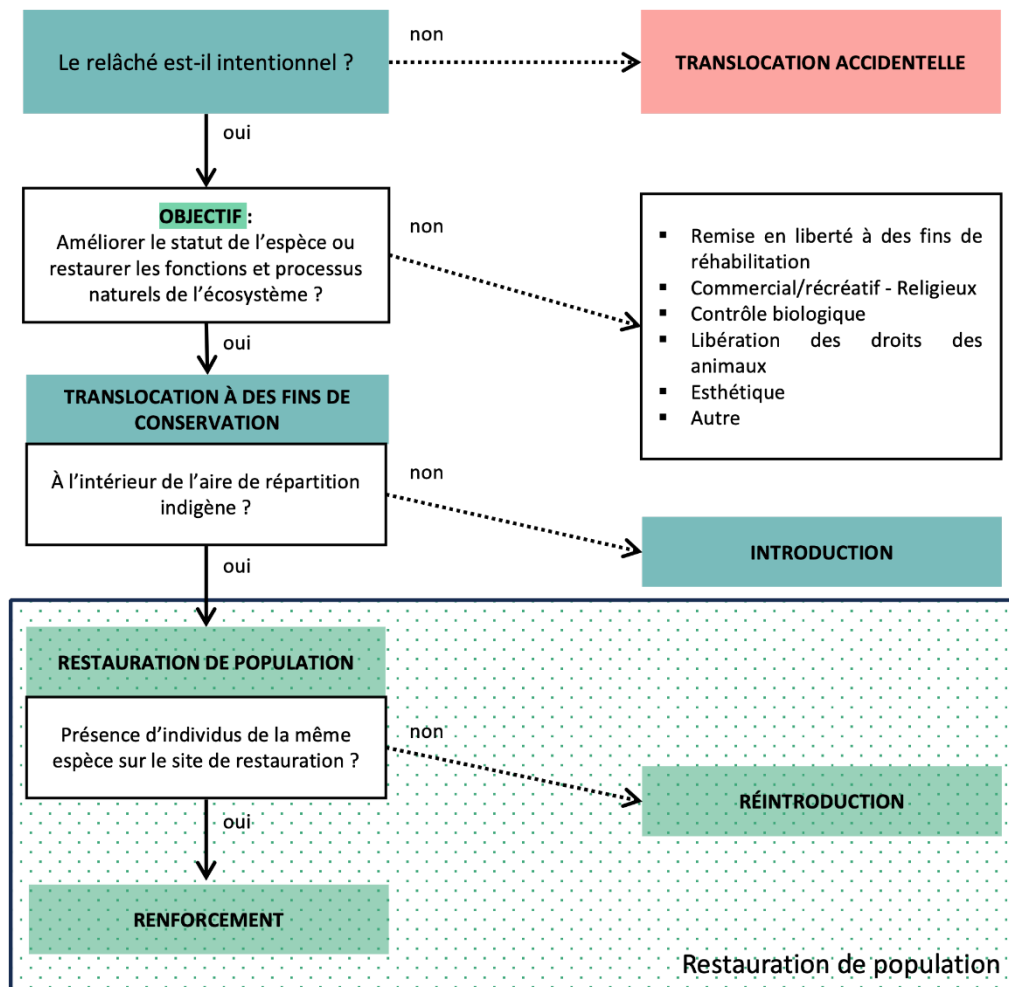


Figure 31 : Arbre décisionnel de translocation d'individus, adaptée (Guidelines for reintroductions and other conservation translocations 2013).

ii. Considérations sur la translocation d'individus dans le milieu naturel

Concernant la Cistude d'Europe, le critère de choix des individus à relâcher est habituellement la taille de la dossière, pour laquelle une mesure standard entre 6 et 8 cm est requise. Cependant, différents éléments sont tout de même à considérer avant de relâcher des individus. Ils nous sont communiqués par le Docteur Jean-Yves Georges, du département d'Écologie, de Physiologie et d'Éthologie de l'Université de Strasbourg :

- D'une année sur l'autre, les taux d'éclosion et les taux de survie des juvéniles des différents élevages conservatoires de Cistude d'Europe varient selon des paramètres sanitaires, environnementaux, reproductifs ou de maintenance. De manière générale, les élevages conservatoires relâchent tous les individus issus de la reproduction.
- Le choix des individus à relâcher dépend de la capacité d'accueil de l'institution. Combien d'individus immatures peuvent être maintenus dans des conditions favorables à leur survie ? De cette capacité maximale, définie en amont, dépend le

nombre d'années durant lequel ces derniers pourront profiter des conditions de l'élevage.

- Le mode de vie aquatique se développe en plusieurs années. Les animaux de moins de trois ans, indépendamment de leur taille, expriment majoritairement un mode de vie en limite de rive, en dehors de l'eau contrairement aux individus plus vieux qui sont davantage aquatiques. Cela les rend d'autant plus vulnérables à la prédation et au piétinement.
- Afin de favoriser la survie des cistudes immatures dans le milieu naturel, il faut s'assurer que les animaux soient capables de plonger, ou les relâcher dans des endroits qui ne soient pas trop profonds. En effet, le comportement réflexe de fuite des tortues dulçaquicoles est de plonger tout en vidant leurs poumons afin d'atteindre une profondeur inaccessible aux prédateurs. Si la zone de plongée est trop profonde, ou si la pente est trop raide, les jeunes individus peuvent difficilement remonter à la surface pour recharger d'air leurs poumons. C'est un paramètre à prendre en compte, à la fois pendant la phase de maintien en captivité et pendant la phase de sélection des animaux à relâcher. Les jeunes tortues maintenues trop longtemps dans des bacs ne savent pas plonger. Elles barbottent à la surface sans réussir à équilibrer leur densité, et sont incapables d'évoluer dans la colonne d'eau. Le site de lâcher doit comporter préférentiellement de multiples zones de profondeurs variées, concédant aux animaux la liberté de pouvoir se disperser vers les zones de protection de leur choix.

L'acquisition de données écologiques, éthologiques et physiologiques est donc essentielle à la réussite de la phase de translocation, d'où l'importance de créer une station d'élevage et d'étude de l'Émyde lépreuse (Jean-Yves Georges, communication personnelle).

La phase de translocation des jeunes individus d'Émyde lépreuse sera réalisée par le Conservatoire d'Espaces Naturels d'Occitanie (CEN Occitanie). Des réflexions seront menées vis-à-vis des stratégies de translocation entre les différents acteurs du projet.

7. Gestion de la population restaurée (phase 6 : maintien *in situ*)

i. Suivi d'un projet de restauration de population et évaluation de son succès sur le long terme

Pour cette partie, se situant au-delà de notre objet d'étude, l'IUCN propose des recommandations (IUCN/SSC 2013). Sans nous attarder, nous pouvons citer le travail d'auteurs qui ont participé, une fois la phase de réintroduction effectuée, à l'évaluation de son succès.

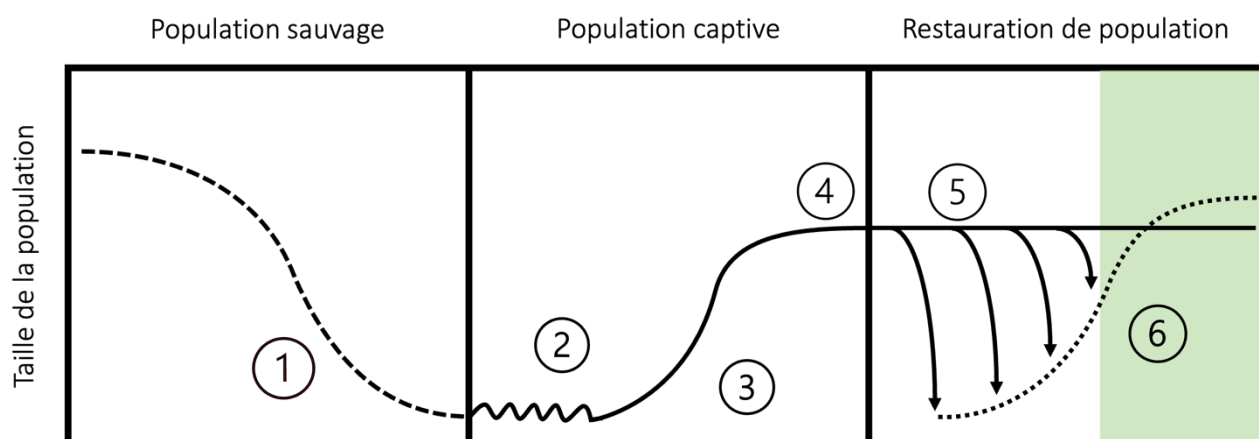


Figure 32 : Gestion de la population restaurée dans la nature : maintien in-situ

La surveillance après le relâché (Figure 32) a deux objectifs principaux : (i) évaluer le succès de la translocation, (ii) évaluer ses impacts potentiels sur l'écosystème et les espèces endémiques. En se basant sur des évaluations antérieures (Bertolero, Oro, Besnard 2007; Armstrong, Seddon 2008), Bertolero et ses collaborateurs se proposent d'évaluer les résultats des projets de réintroduction visant à reconstituer les populations de chéloniens menacées. En particulier le projet de réintroduction de l'Émyde lépreuse dans le Delta de l'Èbre (Bertolero, Oro 2009). Ces critères ne sont toutefois pas suffisants pour évaluer le résultat global d'un projet de réintroduction. Les auteurs définissent alors un succès partiel lorsqu'un critère spécifique est atteint avec succès. Tous les critères de réussite partielle n'ont pas la même importance dans l'évaluation. Ils considèrent les critères de faible catégorie comme ceux qui rapportent des informations sur les individus, et les critères de haute catégorie comme ceux qui rapportent des informations sur les paramètres démographiques.

Ces critères sont les suivants :

- (1) État corporel (critère de succès partiel)
- (2) Croissance individuelle (critère de succès partiel)

- (3) Reproduction dans le milieu (critère de succès partiel et d'établissement de la population)
- (4) Survie (critère de succès partiel, d'établissement et de persistance de la population)
- (5) Taux de croissance de la population (critère de succès à long terme et de persistance de la population)

La création d'une population viable, sauvage et autonome est considérée comme l'unique critère de réussite à long terme d'un projet de réintroduction.

ii. Suivi du projet « Sauvons l'Émyde lépreuse » et évaluation de son succès sur le long terme

De manière générale, le suivi scientifique des populations de chéloniens doit être planifié sur le long terme compte tenu de leur longévité et de leur maturité sexuelle tardive. Le diagnostic de succès de réintroduction peut être évalué à plus court terme dans la mesure où une surveillance régulière est mise en place associée à une estimation fiable des paramètres démographiques (Bertolero, Oro 2009). Le suivi scientifique des lieux de translocation a deux objectifs majeurs :

- Permettre d'évaluer le succès du projet grâce aux critères développés en Partie 2 (score corporel, croissance, taux de survie, reproduction, ...). Ces critères peuvent être appréciés selon divers protocoles, à définir en amont, afin de bénéficier des informations nécessaires et intégrales pour chaque individu capturé lors de la phase de suivi. Les études sur le terrain peuvent être basées sur des protocoles de capture-marquage-recapture (CMR), comme réalisés sur les cistudes d'Europe (*Emys orbicularis*).
- Il permet d'évaluer l'impact de l'Émyde lépreuse sur l'écosystème et les espèces indigènes du lieu de translocation.

Il sera primordial d'identifier et d'analyser les éléments qui ont conduit au succès ou à l'échec du processus (Figure 33). Ceux-ci permettront d'améliorer la conception de projets ultérieurs, à l'image du programme conduit de 1999 à 2007 dans le delta de l'Èbre en Catalogne espagnole (Bertolero, Oro 2009).



Figure 33 : Planning prévisionnel de translocation à des fins de conservation de *Mauremys leprosa* (Maran, Rouot, communication personnelle, 2023)

CONCLUSION

Le projet d'élevage conservatoire d'Émyde lépreuse du refuge des Tortues s'inscrit dans l'un des plus grands problèmes non résolu de la biologie de la conservation, à savoir la gestion génétique et démographique de populations captives. La captivité permet l'élevage d'animaux en s'affranchissant des menaces majoritairement d'origine anthropique qui planent sur leurs homologues en milieu naturel et qui conduisent inexorablement à leur extinction rapide et massive. Cependant, ces populations conservatoires agissent comme des populations isolées et fragmentées qui basculeraient dans un vortex d'extinction par diminution du flux génétique, perte de diversité génétique et par consanguinité. Les moyens nécessaires doivent être employés pour juguler les conséquences génétiques et démographiques délétères de la captivité. Le choix des actions de gestion doit s'appuyer sur une évaluation des risques et des avantages globaux des différents scénarii. Ne rien faire est un choix souvent préjudiciable à la persistance des populations et des espèces (Frankham et al. 2017). L'élevage conservatoire se doit de maintenir une viabilité génétique et démographique des populations captives, tout en réalisant ses objectifs aux différentes échelles. C'est le cas du projet « Sauvons l'Émyde lépreuse », dont le dessein est de restaurer des populations sauvages dans le milieu naturel, grâce aux individus confiés au refuge ou hébergés dans d'autres localités zoologiques. Le projet veille à conserver une homogénéité génétique, un *continuum*, entre les individus sauvages et réintroduits. Pour atteindre ses objectifs et se développer, le projet nécessite un soutien financier perpétuel sur le long terme. C'est pourquoi l'association est en constante recherche de fonds pour assurer les coûts de fonctionnement. Un projet tel que celui-ci est vain si les menaces qui ont conduit à la réduction des populations sauvages ne sont pas enrayerées.

Glossaire des termes utilisés

- **Allèle** : version d'un gène.
- **Brumation** : léthargie adoptée par les êtres vivants poïkilothermes lorsque les conditions environnementales sont défavorables au maintien de leur métabolisme. Elle diffère de l'hibernation qui ne concerne que les animaux homéothermes.
- **Cytochrome b (cyt b)** : protéine de la chaîne respiratoire de la membrane mitochondriale, essentielle dans le métabolisme énergétique des cellules.
- **D-Loop** : section non codante de l'ADN mitochondrial.
- **Dépression hybride** : par opposition à hétérosis. Performance inférieure des génotypes hybrides pour un caractère quantitatif, indiquant généralement une infériorité de la valeur sélective par rapport aux deux parents (Frankham et al. 2017).
- **Diploïde** : se dit d'une cellule ou d'un organisme dont les chromosomes sont présents par paire.
- **Distance génétique** : mesure de différence génétique entre les fréquences alléliques de deux individus, populations ou espèces.
- **EAZA** : Association européenne des zoos et aquariums (de l'anglais *European Association of Zoos and Aquaria*).
- **Écozone paléarctique** : l'une des huit écozones ou régions biogéographiques terrestres. Elle correspond essentiellement aux écorégions terrestres de l'Europe, de l'Afrique du Nord, des deux-tiers nord de l'Asie, et du Moyen-Orient.
- **Effet fondateur** : perte de diversité génétique quand la population est formée à partir d'un petit nombre d'individu fondateur.
- **Goulot d'étranglement (*Bottleneck*)** : réduction soudaine de la taille de la population, conduisant à une perte de diversité génétique. Souvent suivi d'un retour à la taille de population initiale, mais sans retour à la diversité génétique initiale.
- **Haplotype** : mot valise (haploïde-genotype), ensemble d'allèles de différents loci du d'un chromosome, transmis ensemble lors de la méiose.
- **Hétérosis** : vigueur hybride. Performance supérieure des génotypes hybrides pour un caractère quantitatif, indiquant généralement une supériorité de la valeur sélective par rapport aux deux parents (Frankham et al. 2017).
- **Hétérozygote** : un individu diploïde est hétérozygote quand il possède deux allèles différents pour un gène.

- **Hétérozygotie** : pourcentage de loci hétérozygote (dont deux allèles différents sont présents, un donné par le père, l'autre par la mère) dans une population ou chez un individu.
- **Locus** : position d'un gène ou d'un marqueur génétique sur un chromosome. Lorsque deux populations se retrouvent isolées reproductivement, la distance génétique entre les individus des deux groupes augmente au cours du temps jusqu'à ce que la descendance hybride soit affectée de vigueur hybride (hétérosis) puis de dépression hybride jusqu'aux cas extrêmes de dépression hybride que sont la stérilité ou la non-viabilité des hybrides (définition « classique » de l'espèce) (Edmands 2006).
- **Pedigree** : diagramme, liste ou schéma, spécifiant les liens de parentés entre individus (Ballou, Foose 1996).
- **Poïkilotherme** : du préfixe grec *poikilo-*, qui signifie irrégulier, et de *therme*, qui signifie chaleur. Un être vivant poïkilotherme, possède une température centrale dépendante des variations thermiques du milieu. Par opposition, les homéothermes ont une température corporelle régulière.
- **Scutelles** : excroissances (chitine, dentine ou kératine) de la carapace d'une tortue ou de la peau des crocodiliens par exemple.
- **Sex ratio** : rapport du nombre de mâles et de femelles au sein d'une espèce à reproduction sexuée, pour une génération, ou dans la descendance d'un individu.
 - Si les parents présentent entre eux une distance génétique optimale, la descendance peut *fitness* supérieure à celle de chacun des deux parents ou à la moyenne de *fitness* : c'est la **vigueur hybride** (*heterosis*) (Edmands 2006).
 - Si les parents sont issus de deux populations trop éloignées, les individus souffrent de **dépression hybride**. (*outbreeding*).
 - Si les parents sont trop proches, la descendance souffre de **dépression de consanguinité**. (*inbreeding*).
- **Stochasticité démographique** : fluctuation aléatoire du nombre de naissance, du nombre de mort, du *sex ratio*, du taux d'émigration et d'immigration.
- **Stochasticité environnementale** : effets des fluctuations de l'environnement sur les paramètres démographiques.
- **Stochasticité génétique** : conséquences génétiques des effets de la chance sur les petites populations (consanguinité, perte de diversité génétique suite par dérive, fixation aléatoire des allèles délétères).

- **Studbook** : livre généalogique recueillant les données personnelles de chaque individu (âge, généalogie, dates de naissance et de mort, transfert entre institutions).
- **Valeur sélective ou *fitness* (w)** : capacité d'un individu avec un certain génotype à se reproduire. Plus la valeur sélective d'un génotype est élevée, plus il est probable que les individus qui expriment ce génotype survivent et se reproduisent (Thomas, Lefevre, Raymond 2016) ;
- **Vigueur hybride** : hétérosis. Performance supérieure des génotypes hybrides pour un caractère quantitatif, indiquant généralement une supériorité de la valeur sélective par rapport aux deux parents (Frankham et al. 2017).

Bibliographie

AMBU, Johanna et DUFRESNES, Christophe, 2022. Aperçu spatial des niveaux de diversité et de menaces pour l'herpétofaune française et pays limitrophes. [en ligne]. 2022. [Consulté le 17 juillet 2023]. DOI 10.48716/BULLSHF.180-4. Disponible à l'adresse : http://lashf.org/wp-content/uploads/2022/07/N180_NOTE_Ambu_Dufresnes.pdf

ARMSTRONG, D et SEDDON, P, 2008. Directions in reintroduction biology. *Trends in Ecology & Evolution*. janvier 2008. Vol. 23, n° 1, pp. 20-25. DOI 10.1016/j.tree.2007.10.003.

BALLOU, J. et HOLZER, K, 2011. Captive population and Genetic Sustainability. *WAZA Magazine*. 2011. Vol. 12, pp. 21.

BALLOU, Jonathan D. et FOOSE, Thomas, 1996. Demographic and genetic management of captive populations. . 1996.

BALLOU, Jonathan D. et LACY, Robert C., 1995. Pedigree Analysis for Population Management. . 1995.

BARBAULT, Robert, 1997. *Biodiversité: introduction à la biologie de la conservation*. Paris : Hachette. Les fondamentaux, 96. ISBN 978-2-01-145226-9. 57

BARKO, Valerie A., BRIGGLER, Jeffrey T. et OSTENDORF, David E., 2004. Passive fishing techniques: a cause of turtle mortality in the mississippi river. RUSSELL (éd.), *Journal of Wildlife Management*. octobre 2004. Vol. 68, n° 4, pp. 1145-1150. DOI 10.2193/0022-541X(2004)068[1145:PFTACO]2.0.CO;2.

BERTOLERO, A. et ORO, D., 2009. Conservation diagnosis of reintroducing Mediterranean pond turtles: what is wrong? *Animal Conservation*. décembre 2009. Vol. 12, n° 6, pp. 581-591. DOI 10.1111/j.1469-1795.2009.00284.x.

BERTOLERO, A., ORO, D. et BESNARD, A., 2007. Assessing the efficacy of reintroduction programmes by modelling adult survival: the example of Hermann's tortoise. *Animal Conservation*. août 2007. Vol. 10, n° 3, pp. 360-368. DOI 10.1111/j.1469-1795.2007.00121.x.

BORDY, Emese M., SZTANÓ, Orsolya, RUBIDGE, Bruce S. et BUMBY, Adam, 2011.

Early Triassic vertebrate burrows from the Katberg Formation of the south-western Karoo Basin, South Africa. *Lethaia*. mars 2011. Vol. 44, n° 1, pp. 33-45. DOI 10.1111/j.1502-3931.2010.00223.x.

BOUMA, A, KUCHLING, G, ZHAI, Sy et MITCHELL, N, 2020. Assisted colonisation trials for the western swamp turtle show that juveniles can grow in cooler and wetter climates. *Endangered Species Research*. 17 septembre 2020. Vol. 43, pp. 75-88. DOI 10.3354/esr01053.

BOUR ET MARAN, 1999. Taxinomie de *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812) dans le sud du Maroc: la « Tortue aux yeux bleus » (Reptilia, Chelonii, Geoemydidae). . 1999. pp. 32.

BRUCE BURY, R., 2011. Modifications of traps to reduce bycatch of freshwater turtles: Modifying Turtle Traps. *The Journal of Wildlife Management*. janvier 2011. Vol. 75, n° 1, pp. 3-5. DOI 10.1002/jwmg.31.

BURBIDGE, Andrew et KUCHLING, Gerald, 2004. Western Swamp Tortoise Recovery Plan 2004. [en ligne]. 2004. [Consulté le 8 août 2023]. DOI 10.13140/RG.2.1.2559.8486. Disponible à l'adresse : <http://rgdoi.net/10.13140/RG.2.1.2559.8486>

CHEN, Tien-Hsi, CHANG, Hsien-Cheh et LUE, Kuang-Yang, 2009. Unregulated Trade in Turtle Shells for Chinese Traditional Medicine in East and Southeast Asia: The Case of Taiwan. *Chelonian Conservation and Biology*. mai 2009. Vol. 8, n° 1, pp. 11-18. DOI 10.2744/CCB-0747.1.

CHEYLAN, Marc, 1982. Présence de la Clemmyde lépreuse dans le Chalcolithique de la grotte de la Salpêtrière (Remoulins, Gard). *Etudes Quaternaires Languedociennes*. 1982. Vol. 2, pp. 29-33.

CHEYLAN, Marc et BRIEN POITEVIN, Françoise, 2003. Les tortues du site de Lattara (IVe s. av. n. è.- IIe s. de n. è.): Intérêt archéozoologique et biologique. *Lattara*. 2003. N° 16, pp. 137-145.

CONWAY, William G., 2010. Buying Time for wild animals With Zoos. *Zoo Biology*. 2010. pp. n/a-n/a. DOI 10.1002/zoo.20352.

COURMONT, 2011. Plan national d'actions en faveur de L'Emyde lépreuse (*Mauremys leprosa*). . 2011.

CURTIS, Philip G., SLAY, Christy M., HARRIS, Nancy L., TYUKAVINA, Alexandra et HANSEN, Matthew C., 2018. Classifying drivers of global forest loss. *Science*. 14 septembre 2018. Vol. 361, n° 6407, pp. 1108-1111. DOI 10.1126/science.aau3445.

DE CARA, María Ángeles Rodríguez, VILLANUEVA, Beatriz, TORO, Miguel Ángel et FERNÁNDEZ, Jesús, 2013. Using genomic tools to maintain diversity and fitness in conservation programmes. *Molecular Ecology*. décembre 2013. Vol. 22, n° 24, pp. 6091-6099. DOI 10.1111/mec.12560.

DELORD, Julien, 2019. La Biologie de la Conservation. In : *L'extinction d'espèce : Histoire d'un concept & enjeux éthiques* [en ligne]. Paris : Publications scientifiques du Muséum. pp. 353-406. Archives. [Consulté le 5 février 2023]. ISBN 978-2-85653-863-0. Disponible à l'adresse : <http://books.openedition.org/mnhn/2539>

DÍAZ-PANIAGUA, CARMEN et ARAGONÉS, DAVID, 2015. Permanent and temporary ponds in Doñana National Park (SW Spain) are threatened by desiccation. *Limnetica*. 15 décembre 2015. N° 34, pp. 407-424. DOI 10.23818/limn.34.31.

DIVERS, Stephen J., STAHL, Scott J. et MADER, Douglas R. (éd.), 2019. *Mader's reptile and amphibian medicine and surgery*. Third edition. St. Louis : Elsevier. ISBN 978-0-323-48253-0.

DODD, Matthew S., PAPINEAU, Dominic, GRENNE, Tor, SLACK, John F., RITTNER, Martin, PIRAJNO, Franco, O'NEIL, Jonathan et LITTLE, Crispin T. S., 2017. Evidence for early life in Earth's oldest hydrothermal vent precipitates. *Nature*. mars 2017. Vol. 543, n° 7643, pp. 60-64. DOI 10.1038/nature21377.

DREAL PACA, 2018. Plan National d'Actions en faveur de la Tortue d'Hermann (*Testudo hermanni hermanni*) 2018-2027. . 2018.

EDMANDS, Suzanne, 2006. Between a rock and a hard place: evaluating the relative risks of inbreeding and outbreeding for conservation and management: RELATIVE RISKS OF INBREEDING AND OUTBREEDING. *Molecular Ecology*. 15 novembre 2006. Vol. 16, n° 3, pp. 463-475. DOI 10.1111/j.1365-294X.2006.03148.x.

ESCUDIÉ, Claire, 2021. *État des connaissances sur l'Émyde lépreuse (Mauremys leprosa) - Création d'une base de données bibliographique*. Médecine vétérinaire et santé

animale.

EVANS, Simon R. et SHELDON, Ben C., 2008. Interspecific Patterns of Genetic Diversity in Birds: Correlations with Extinction Risk: *Genetic Diversity and Extinction Risk. Conservation Biology*. août 2008. Vol. 22, n° 4, pp. 1016-1025. DOI 10.1111/j.1523-1739.2008.00972.x.

FENSTER, Charles B., BALLOU, Jonathan D., DUDASH, Michele R., ELDRIDGE, Mark D. B., FRANKHAM, Richard, LACY, Robert C., RALLS, Katherine et SUNNUCKS, Paul, 2018a. Conservation and Genetics. *The Yale Journal of Biology and Medicine*. décembre 2018. Vol. 91, n° 4, pp. 491-501.

FENSTER, Charles B., BALLOU, Jonathan D., DUDASH, Michele R., ELDRIDGE, Mark D. B., FRANKHAM, Richard, LACY, Robert C., RALLS, Katherine et SUNNUCKS, Paul, 2018b. Conservation and Genetics. *The Yale Journal of Biology and Medicine*. 21 décembre 2018. Vol. 91, n° 4, pp. 491-501.

FERNÁNDEZ, J., TORO, M. A. et CABALLERO, A., 2004. Managing Individuals' Contributions to Maximize the Allelic Diversity Maintained in Small, Conserved Populations. *Conservation Biology*. 2004. Vol. 18, n° 5, pp. 1358-1367. JSTOR

FLIGHT, Patrick A., 2010. Phylogenetic Comparative Methods Strengthen Evidence for Reduced Genetic Diversity among Endangered Tetrapods: Genetic Diversity in Endangered Tetrapods. *Conservation Biology*. 24 mars 2010. Vol. 24, n° 5, pp. 1307-1315. DOI 10.1111/j.1523-1739.2010.01498.x.

FOREST, Vianney et OLIVE, Claude, 2006. Chapitre 17. Études archéozoologiques. In : MAUFRAS, Odile (éd.), *Habitats, nécropoles et paysages dans la moyenne et la basse vallée du Rhône (viie-xve s.)* [en ligne]. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. pp. 241-261. [Consulté le 17 juillet 2023]. ISBN 978-2-7351-0985-2. Disponible à l'adresse : <http://books.openedition.org/editionsmslh/23123>

FRANKHAM, Richard, BALLOU, Jonathan D. et BRISCOE, David A., 2010. *Introduction to Conservation Genetics* [en ligne]. 2. Cambridge University Press. [Consulté le 30 janvier 2023]. ISBN 978-0-521-70271-3. Disponible à l'adresse : <https://www.cambridge.org/core/product/identifiant/9780511809002/type/book>

FRANKHAM, Richard, BALLOU, Jonathan D., ELDRIDGE, Mark D. B., LACY, Robert C., RALLS, Katherine, DUDASH, Michele R. et FENSTER, Charles B., 2011. Predicting the Probability of Outbreeding Depression: Predicting Outbreeding Depression. *Conservation Biology*. juin 2011. Vol. 25, n° 3, pp. 465-475. DOI 10.1111/j.1523-1739.2011.01662.x.

FRANKHAM, Richard, BALLOU, Jonathan D., RALLS, Katherine, ELDRIDGE, Mark, DUDASH, Michele R., FENSTER, Charles B., LACY, Robert C. et SUNNUCKS, Paul, 2017. *Genetic Management of Fragmented Animal and Plant Populations* [en ligne]. Oxford University Press. [Consulté le 14 février 2023]. ISBN 978-0-19-878339-8. Disponible à l'adresse : <https://academic.oup.com/book/16561>

FRITZ, Uwe, BARATA, Mafalda, BUSACK, Stephen D., FRITZSCH, Guido et CASTILHO, Rita, 2006. Impact of mountain chains, sea straits and peripheral populations on genetic and taxonomic structure of a freshwater turtle, *Mauremys leprosa* (Reptilia, Testudines, Geoemydidae). *Zoologica Scripta*. janvier 2006. Vol. 35, n° 1, pp. 97-108. DOI 10.1111/j.1463-6409.2005.00218.x.

GLEN, F. et MROSOVSKY, N., 2004. Antigua revisited: the impact of climate change on sand and nest temperatures at a hawksbill turtle (*Eretmochelys imbricata*) nesting beach: ANTIGUA REVISITED. *Global Change Biology*. décembre 2004. Vol. 10, n° 12, pp. 2036-2045. DOI 10.1111/j.1529-8817.2003.00865.x.

GROOTEN, M., ALMOND, R. E. A. et WWF (ORGANIZATION) (éd.), 2018. *Living planet report 2018: aiming higher*. Gland, Switzerland : WWF--World Wide Fund for Nature. ISBN 978-2-940529-90-2. QH541.15.M64 L58 2018

GUSSET, M. et DICK, G., 2010. Evaluating the contribution of the world zoo and aquarium community to in situ conservation: building a future for wildlife. *International Zoo Yearbook*. janvier 2010. Vol. 44, n° 1, pp. 183-191. DOI 10.1111/j.1748-1090.2009.00101.x.

HADDAD, Nick M., BRUDVIG, Lars A., CLOBERT, Jean, DAVIES, Kendi F., GONZALEZ, Andrew, HOLT, Robert D., LOVEJOY, Thomas E., SEXTON, Joseph O., AUSTIN, Mike P., COLLINS, Cathy D., COOK, William M., DAMSCHEN, Ellen I., EWERS, Robert M., FOSTER, Bryan L., JENKINS, Clinton N., KING, Andrew J., LAURANCE, William F., LEVEY, Douglas J., MARGULES, Chris R., MELBOURNE, Brett A.,

NICHOLLS, A. O., ORROCK, John L., SONG, Dan-Xia et TOWNSHEND, John R., 2015. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. *Science Advances*. 6 mars 2015. Vol. 1, n° 2, pp. e1500052. DOI 10.1126/sciadv.1500052.

HARDY, J.P, 2010. Mauremys leprosa en France. *La Tortue*. 2010. N° 85, pp. 50-53.

HÉRITIER, Laurent, DUVAL, David, GALINIER, Richard, MEISTERTZHEIM, Anne-Leila et VERNEAU, Olivier, 2017. Oxidative stress induced by glyphosate-based herbicide on freshwater turtles: Glyphosate-based herbicide affect on freshwater turtles. *Environmental Toxicology and Chemistry*. décembre 2017. Vol. 36, n° 12, pp. 3343-3350. DOI 10.1002/etc.3916.

HILI, Rahma Attia El, 2020. Biogéographie de deux espèces de tortues d'eau douce (*Emys orbicularis* et *Mauremys leprosa*) en Tunisie, diversité génétique des hémoparasites et risque d'introduction parasitaire. . 5 octobre 2020. pp. 184.

IUCN, 2015. *Chelonoidis abingdonii*: Cayot, L.J., Gibbs, J.P., Tapia, W. & Caccone, A.: *The IUCN Red List of Threatened Species 2022: e.T9017A217759270* [en ligne]. 11 août 2015. [Consulté le 18 juillet 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/species/9017/217759270>

IUCN/SSC, 2013. *Guidelines for reintroductions and other conservation translocations*. Version 1.0. Gland, Switzerland : IUCN Species Survival Commission. ISBN 978-2-8317-1609-1.

IUCN/SSC, 2014. *Guidelines on the Use of Ex Situ Management for Species Conservation*. 2.0. Gland, Switzerland : IUCN Species Survival Commission.

JENSEN, Michael P., ALLEN, Camryn D., EGUCHI, Tomoharu, BELL, Ian P., LACASELLA, Erin L., HILTON, William A., HOF, Christine A.M. et DUTTON, Peter H., 2018. Environmental Warming and Feminization of One of the Largest Sea Turtle Populations in the World. *Current Biology*. janvier 2018. Vol. 28, n° 1, pp. 154- 159.e4. DOI 10.1016/j.cub.2017.11.057.

KLEIMAN, Devra G., THOMPSON, Katerina V. et BAER, Charlotte Kirk, 2010. *Wild Mammals in Captivity: Principles and Techniques for Zoo Management, Second Edition*. University of Chicago Press. ISBN 978-0-226-44011-8.

LACY, R., 2010. Re thinking es situ vs. in situ species conservation. In : *World Association of Zoos and Aquariums 65th Annual Meeting Proceedings*. 2010. pp. 25-29.

LEES, Alexander C., PERES, Carlos A., FEARNSIDE, Philip M., SCHNEIDER, Maurício et ZUANON, Jansen A. S., 2016. Hydropower and the future of Amazonian biodiversity. *Biodiversity and Conservation*. mars 2016. Vol. 25, n° 3, pp. 451-466. DOI 10.1007/s10531-016-1072-3.

LEES, C. M. et WILCKEN, J., 2009. Sustaining the Ark: the challenges faced by zoos in maintaining viable populations. *International Zoo Yearbook*. janvier 2009. Vol. 43, n° 1, pp. 6-18. DOI 10.1111/j.1748-1090.2008.00066.x.

LINDEMAN, Peter V., 1999. Surveys of basking map turtles *Graptemys* spp. in three river drainages and the importance of deadwood abundance. *Biological Conservation*. avril 1999. Vol. 88, n° 1, pp. 33-42. DOI 10.1016/S0006-3207(98)00093-7.

LOULIDA, Soumia, SEGURADO, Pedro, NAIMI, Mohamed et ZNARI, Mohammed, 2021. Niche differentiation among genetic lineages in the Mediterranean Pond turtle, *Mauremys leprosa*, across its geographical range. *Amphibia-Reptilia*. 4 mars 2021. Vol. 42, n° 2, pp. 227-240. DOI 10.1163/15685381-bja10049.

LOVICH, Jeffrey E., 2023. *Les tortues du monde: le guide du naturaliste*. Chartres : Editions du Gerfaut. ISBN 978-2-35191-284-3.

LØVLIE, Hanne, GILLINGHAM, Mark A. F., WORLEY, Kirsty, PIZZARI, Tommaso et RICHARDSON, David S., 2013. Cryptic female choice favours sperm from major histocompatibility complex-dissimilar males. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 22 octobre 2013. Vol. 280, n° 1769, pp. 20131296. DOI 10.1098/rspb.2013.1296.

LUISELLI, Luca, STARITA, Antonio, CARPANETO, Giuseppe Maria, SEGNIAGBETO, Gabriel H. et AMORI, Giovanni, 2016. A Short Review of the International Trade of Wild Tortoises and Freshwater Turtles Across the World and Throughout Two Decades. *Chelonian Conservation and Biology*. décembre 2016. Vol. 15, n° 2, pp. 167-172. DOI 10.2744/CCB-1216.1.

LYSON, Tyler R., RUBIDGE, Bruce S., SCHEYER, Torsten M., DE QUEIROZ, Kevin, SCHACHNER, Emma R., SMITH, Roger M.H., BOTHA-BRINK, Jennifer et BEVER, G.S.,

2016. Fossorial Origin of the Turtle Shell. *Current Biology*. juillet 2016. Vol. 26, n° 14, pp. 1887-1894. DOI 10.1016/j.cub.2016.05.020.

MANTZIOU, G., ANTONIOU, A., POULAKAKIS, N., GOULIELMOS, G., TSIGENOPOULOS, C. S., PINOU, T. et MYLONAS, M., 2005. Isolation and characterization of six polymorphic microsatellite markers in the freshwater turtle *Mauremys rivulata* (Testudines: Geoemydidae). *Molecular Ecology Notes*. décembre 2005. Vol. 5, n° 4, pp. 727-729. DOI 10.1111/j.1471-8286.2005.01046.x.

MARAN, 1996. *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812). . 1996.

MARAN, 2021. Création d'une station d'élevage dédiée à l'étude et à la conservation de l'émyde lépreuse. . 2021.

MARAN, Jérôme, 2020. CRÉATION D'UNE STATION D'ÉLEVAGE DÉDIÉE À L'ÉTUDE ET À LA CONSERVATION DE L'ÉMYDE LÉPREUSE MAUREMYS LEPROSA (SCHWEIGGER, 1812). . 2020.

MARAN, Jérôme et FRÉTEY, Thierry, 2023. Les tortues terrestres et d'eau douce, autochtones et introduites, de France métropolitaine : état des connaissances et clé de détermination illustrée. [en ligne]. 2023. [Consulté le 17 juillet 2023]. DOI 10.48716/HERPME.5. Disponible à l'adresse : <http://lashf.org/wp-content/uploads/2023/06/HERP-ME-05-Tortues-de-France-WEB.pdf>

MARAN, Jérôme, ROUOT, Simon et ROCH, Guillaume, 2022. Bilan 2022 : *Création d'une station d'élevage dédiée à l'étude et à la conservation de l'émyde lépreuse Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812). Bessières : Association du Refuge des Tortues (A.R.T.).

MARSHALL, D. et BROWN, Anthony, 1975. Optimum sampling strategies in genetic conservation. In : *XF2006122206*. pp. 53-80.

MARTINEZ-SILVESTRE, A, BERTOLERO, Albert et SOLER, J, 2009. Programa de conservacio de les tortugues de rierol (*Mauremys leprosa*) i d'estany (*Emys orbicularis*) i de control de la tortuga de Florida (*Trachemys scripta* sp) i d'altres quelonis al loctons al Parc del Foix. *Monografies del Foix II*. 2009. pp. 213-223.

MEDKOVÁ, Helena, VAČKÁŘ, David et WEINZETTEL, Jan, 2017. Appropriation of

potential net primary production by cropland in terrestrial ecoregions. *Journal of Cleaner Production*. mai 2017. Vol. 150, pp. 294-300. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.03.002.

MIDWOOD, Jonathan D., CAIRNS, Nicholas A., STOOT, Lauren J., COOKE, Steven J. et BLOUIN-DEMERS, Gabriel, 2015. Bycatch mortality can cause extirpation in four freshwater turtle species: BYCATCH MORTALITY AND EXTIRPATION IN TURTLES. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*. février 2015. Vol. 25, n° 1, pp. 71-80. DOI 10.1002/aqc.2475.

MILNER, Jos M., VAN BEEST, Floris M., SCHMIDT, Karoline T., BROOK, Ryan K. et STORAAS, Torstein, 2014. To feed or not to feed? Evidence of the intended and unintended effects of feeding wild ungulates: Effects of Feeding Ungulates. *The Journal of Wildlife Management*. novembre 2014. Vol. 78, n° 8, pp. 1322-1334. DOI 10.1002/jwmg.798.

MOULIN, C, 2018. *Ruissellement dans l'arc méditerranéen. Territoire test - Banyuls-sur-Mer*. DREAL Paca & DREAL Occitanie.

PALACIOS, Carmen, URRUTIA, Cristina, KNAPP, Nikolai, FRANCH, Marc, BERTOLERO, Albert, SIMON, Gael, PREEZ, Louis et VERNEAU, Olivier, 2015. Demographic structure and genetic diversity of *Mauremys leprosa* in its northern range reveal new populations and a mixed origin. *Salamandra*. 30 octobre 2015. Vol. 51, pp. 221-230.

PIETRASIK, Angèle, 2022. *État des lieux des connaissances sur les parasites digestifs de Mauremys leprosa dans le cadre d'un projet de conservation de l'espèce en France*. Médecine vétérinaire et santé animale.

PIMM, S. L., JENKINS, C. N., ABELL, R., BROOKS, T. M., GITTLEMAN, J. L., JOPPA, L. N., RAVEN, P. H., ROBERTS, C. M. et SEXTON, J. O., 2014. The biodiversity of species and their rates of extinction, distribution, and protection. *Science*. 30 mai 2014. Vol. 344, n° 6187, pp. 1246752. DOI 10.1126/science.1246752.

Plans nationaux d'actions en faveur des espèces menacées, 2022. *Ministères Écologie Énergie Territoires* [en ligne]. [Consulté le 11 mars 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.ecologie.gouv.fr/plans-nationaux-dactions-en-faveur-des-especes-menacees>

PRIMACK, Richard B., SARRAZIN, François et LECOMTE, Jane, 2012. *Biologie de la conservation*. Paris : Dunod. Sciences sup. ISBN 978-2-10-056708-9. 333.951 6

PUTNAM, A. S. et IVY, J. A., 2014. Kinship-Based Management Strategies for Captive Breeding Programs When Pedigrees Are Unknown or Uncertain. *Journal of Heredity*. 1 mai 2014. Vol. 105, n° 3, pp. 303-311. DOI 10.1093/jhered/est068.

QUINTARD, Benoit et GEORGES, Jean-Yves, 2023. Veterinary Management of European Pond Turtle Reintroductions. In : *Fowler's Zoo and Wild Animal Medicine Current Therapy*. pp. 451-457. ISBN 978-0-323-82852-9.

RHODIN, Anders G.J., IVERSON, John B., VAN DIJK, Peter Paul, BUHLMANN, Kurt A., PRITCHARD, Peter C.H. et MITTERMEIER, Russell A. (éd.), 2017. *Conservation Biology of Freshwater Turtles and Tortoises* [en ligne]. First. Chelonian Research Foundation and Turtle Conservancy. [Consulté le 9 novembre 2022]. Chelonian Research Monographs. ISBN 978-0-9653540-9-7. Disponible à l'adresse : <https://www.iucn-tftsg.org/cbftt/>

RHODIN, Anders G.J., STANFORD, Craig B., DIJK, Peter Paul Van, EISEMBERG, Carla, LUISELLI, Luca, MITTERMEIER, Russell A., HUDSON, Rick, HORNE, Brian D., GOODE, Eric V., KUCHLING, Gerald, WALDE, Andrew, BAARD, Ernst H.W., BERRY, Kristin H., BERTOLERO, Albert, BLANCK, Torsten E.G., BOUR, Roger, BUHLMANN, Kurt A., CAYOT, Linda J., COLLETT, Sydney, CURRYLOW, Andrea, DAS, Indraneil, DIAGNE, Tomas, ENNEN, Joshua R., FORERO-MEDINA, Germán, FRANKEL, Matthew G., FRITZ, Uwe, GARCÍA, Gerardo, GIBBONS, J. Whitfield, GIBBONS, Paul M., SHIPING, Gong, GUNTORO, Joko, HOFMEYR, Margaretha D., IVERSON, John B., KIESTER, A. Ross, LAU, Michael, LAWSON, Dwight P., LOVICH, Jeffrey E., MOLL, Edward O., PÁEZ, Vivian P., PALOMO-RAMOS, Rosalinda, PLATT, Kalyar, PLATT, Steven G., PRITCHARD, Peter C.H., QUINN, Hugh R., RAHMAN, Shahriar Caesar, RANDRIANJAFIZANAKA, Soary Tahafe, SCHAFFER, Jason, SELMAN, Will, SHAFFER, H. Bradley, SHARMA, Dionysius S.K., HAITAO, Shi, SINGH, Shailendra, SPENCER, Ricky, STANNARD, Kahleana, SUTCLIFFE, Sarah, THOMSON, Scott et VOGT, Richard C., 2018. Global Conservation Status of Turtles and Tortoises (Order Testudines). *Chelonian Conservation and Biology*. 18 décembre 2018. Vol. 17, n° 2, pp. 135. DOI 10.2744/CCB-1348.1.

RIPPLE, William J., WOLF, Christopher, NEWSOME, Thomas M., GALETTI, Mauro, ALAMGIR, Mohammed, CRIST, Eileen, MAHMOUD, Mahmoud I., LAURANCE, William F., et 15,364 SCIENTIST SIGNATORIES FROM 184 COUNTRIES, 2017. World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience*. 1 décembre 2017. Vol. 67, n° 12,

pp. 1026-1028. DOI 10.1093/biosci/bix125.

ROOSENBURG, Willem M., SPONTAK, Dana M., SULLIVAN, Sean P., MATTHEWS, Eva L., HECKMAN, Melanie L., TRIMBATH, Ryan J., DUNN, Robert P., DUSTMAN, Emily A., SMITH, Lisa et GRAHAM, Leah J., 2014. Nesting Habitat Creation Enhances Recruitment in a Predator-Free Environment: *Malaclemys* Nesting at the Paul S. Sarbanes Ecosystem Restoration Project: Terrapin Nesting in Restored Predator-Free Habitat. *Restoration Ecology*. novembre 2014. Vol. 22, n° 6, pp. 815-823. DOI 10.1111/rec.12147.

SCHLEICH, 1996. Beitrag zur Systematik des Formenkreises von *Mauremys leprosa* (Schweigger, 1812) in Marokko. . 1996. pp. 31.

SCHWEIGGER, 1812. Prodrum Monographia Cheloniorum. . 1812.

SOCIÉTÉ HERPÉTOLOGIQUE DE FRANCE, 2019. *Plan National d'Actions en faveur de la Cistude d'Europe (Emys orbicularis) 2020-2029*. 2019.

SOULÉ, Michael, GILPIN, Michael, CONWAY, William et FOOSE, Tom, 1986. The millenium ark: How long a voyage, how many staterooms, how many passengers? *Zoo Biology*. 1986. Vol. 5, n° 2, pp. 101-113. DOI 10.1002/zoo.1430050205.

SPIELMAN, Derek, BROOK, Barry W. et FRANKHAM, Richard, 2004. Most species are not driven to extinction before genetic factors impact them. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 19 octobre 2004. Vol. 101, n° 42, pp. 15261-15264. DOI 10.1073/pnas.0403809101.

STANFORD, Craig B., IVERSON, John B., RHODIN, Anders G.J., PAUL VAN DIJK, Peter, MITTERMEIER, Russell A., KUCHLING, Gerald, BERRY, Kristin H., BERTOLERO, Alberto, BJORN DAL, Karen A., BLANCK, Torsten E.G., BUHLMANN, Kurt A., BURKE, Russell L., CONGDON, Justin D., DIAGNE, Tomas, EDWARDS, Taylor, EISEMBERG, Carla C., ENNEN, Josh R., FORERO-MEDINA, Germán, FRANKEL, Matt, FRITZ, Uwe, GALLEGO-GARCÍA, Natalia, GEORGES, Arthur, GIBBONS, J. Whitfield, GONG, Shiping, GOODE, Eric V., SHI, Haitao T., HOANG, Ha, HOFMEYER, Margaretha D., HORNE, Brian D., HUDSON, Rick, JUVIK, James O., KIESTER, Ross A., KOVAL, Patricia, LE, Minh, LINDEMAN, Peter V., LOVICH, Jeffrey E., LUISELLI, Luca, MCCORMACK, Timothy E.M., MEYER, George A., PÁEZ, Vivian P., PLATT, Kalyar, PLATT, Steven G.,

PRITCHARD, Peter C.H., QUINN, Hugh R., ROOSENBURG, Willem M., SEMINOFF, Jeffrey A., SHAFFER, H. Bradley, SPENCER, Ricky, VAN DYKE, James U., VOGT, Richard C. et WALDE, Andrew D., 2020. Turtles and Tortoises Are in Trouble. *Current Biology*. juin 2020. Vol. 30, n° 12, pp. R721-R735. DOI 10.1016/j.cub.2020.04.088.

STUCKAS, Heiko, VELO-ANTÓN, Guillermo, FAHD, Soumia, KALBOUSSI, Mohsen, ROUAG, Rachid, ARCULEO, Marco, MARRONE, Federico, SACCO, Francesco, VAMBERGER, Melita et FRITZ, Uwe, 2014. Where are you from, stranger? The enigmatic biogeography of North African pond turtles (*Emys orbicularis*). *Organisms Diversity & Evolution*. septembre 2014. Vol. 14, n° 3, pp. 295-306. DOI 10.1007/s13127-014-0168-4.

The IUCN Red List of Threatened Species, 2023. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. [Consulté le 17 janvier 2023]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/en>

THIENPONT, S, BARTHE, L, BERTHOMIEU, L, HUBERT, S, LERAT, D, MARANT, D, MIQUET, A, PRIOL, P, QUESADA, R, RAZAFINDRALAY, L et VERMEER, JS, 2020. *Réintroduction et renforcement de populations chez la Cistude d'Europe : Guide de bonnes pratiques*. 2020. Société Herpetologique de France.

THOMAS, Frédéric, LEFEVRE, Thierry et RAYMOND, Michel, 2016. *Biologie évolutive*. 2e éd. Louvain-la-Neuve [Paris] : De Boeck supérieur IRD, Institut de recherche pour le développement CNRS. ISBN 978-2-8073-0296-9. 576.8

TOLEDO, Mario Alberto, DE LA CONCHA, Alejandro et RUBIO, José Luis, 2021. Space use, distribution and conservation of the Spanish pond turtle (*Mauremys leprosa* Schewigger, 1812). A review (Chordata, Geoemydidae). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*. 29 septembre 2021. Vol. 115, pp. 95-110. DOI 10.29077/bol.115.e01.toledo.

TORO, Miguel A., VILLANUEVA, Beatriz et FERNÁNDEZ, Jesús, 2014. Genomics applied to management strategies in conservation programmes. *Livestock Science*. août 2014. Vol. 166, pp. 48-53. DOI 10.1016/j.livsci.2014.04.020.

TURTLE TAXONOMY WORKING GROUP, RHODIN, Anders G.J., IVERSON, John B., BOUR, Roger, FRITZ, Uwe, GEORGES, Arthur, SHAFFER, H. Bradley et VAN DIJK,

Peter Paul, 2017. *Turtles of the World: Annotated Checklist and Atlas of Taxonomy, Synonymy, Distribution, and Conservation Status (8th Ed.)* [en ligne]. Chelonian Research Foundation & Turtle Conservancy. [Consulté le 16 janvier 2022]. ISBN 978-1-5323-5026-9. Disponible à l'adresse : <http://www.iucn-tftsg.org/checklist/>

VAMBERGER, Melita, STUCKAS, Heiko et FRITZ, Uwe, 2011. Fifteen microsatellite markers for the stripe-necked terrapin *Mauremys caspica* (Testudines: Geoemydidae) and cross-amplification tests in *M. rivulata*. *Conservation Genetics Resources*. janvier 2011. Vol. 3, n° 1, pp. 87-89. DOI 10.1007/s12686-010-9297-z.

VAN DIJK, P. P., 2004. IUCN Red List of Threatened Species: *Mauremys leprosa*. *IUCN Red List of Threatened Species* [en ligne]. 17 décembre 2004. [Consulté le 19 octobre 2022]. Disponible à l'adresse : <https://www.iucnredlist.org/en>

VELO-ANTÓN, Guillermo, GARCÍA-PARÍS, Mario et CORDERO RIVERA, Adolfo, 2008. Patterns of nuclear and mitochondrial DNA variation in Iberian populations of *Emys orbicularis* (Emydidae): conservation implications. *Conservation Genetics*. octobre 2008. Vol. 9, n° 5, pp. 1263-1274. DOI 10.1007/s10592-007-9457-1.

VELO-ANTÓN, Guillermo, WINK, Michael, SCHNEEWEISS, Norbert et FRITZ, Uwe, 2011. Native or not? Tracing the origin of wild-caught and captive freshwater turtles in a threatened and widely distributed species (*Emys orbicularis*). *Conservation Genetics*. avril 2011. Vol. 12, n° 2, pp. 583-588. DOI 10.1007/s10592-010-0141-5.

VERÍSSIMO, 2014. Phylogeography and current patterns of genetic diversity and structure of the Mediterranean pond turtle. . 2014. pp. 127.

VERÍSSIMO, Joana, VERÍSSIMO, Joana, PEREIRA, Paulo, VERÍSSIMO, Joana, PEREIRA, Paulo, LOPES, Susana, VERÍSSIMO, Joana, PEREIRA, Paulo, LOPES, Susana, TEIXEIRA, José, VERÍSSIMO, Joana, PEREIRA, Paulo, LOPES, Susana, TEIXEIRA, José, FRITZ, Uwe, VERÍSSIMO, Joana, PEREIRA, Paulo, LOPES, Susana, TEIXEIRA, José, FRITZ, Uwe et VELO-ANTÓN, Guillermo, 2013. Cross-amplification of microsatellite loci for the Mediterranean stripe-necked terrapin (*Mauremys leprosa*). *Amphibia-Reptilia*. 2013. Vol. 34, n° 2, pp. 259-262. DOI 10.1163/15685381-00002888.

VERÍSSIMO, Joana, ZNARI, Mohamed, STUCKAS, Heiko, FRITZ, Uwe, PEREIRA,

Paulo, TEIXEIRA, José, ARCULEO, Marco, MARRONE, Federico, SACCO, Francesco, NAIMI, Mohamed, KEHLMAYER, Christian et VELO-ANTÓN, Guillermo, 2016. Pleistocene diversification in Morocco and recent demographic expansion in the Mediterranean pond turtle (*Mauremys leprosa*). *Biological Journal of the Linnean Society*. décembre 2016. Vol. 119, n° 4, pp. 943-959. DOI 10.1111/bij.12849.

VERNEAU, O., PALACIOS, C., PLATT, T., ALDAY, M., BILLARD, E., ALLIENNE, J.-F., BASSO, C. et DU PREEZ, L. H., 2011. Invasive species threat: parasite phylogenetics reveals patterns and processes of host-switching between non-native and native captive freshwater turtles. *Parasitology*. novembre 2011. Vol. 138, n° 13, pp. 1778-1792. DOI 10.1017/S0031182011000333.

VERNEAU, Olivier, 2007. Taxonomie et systématique des parasites d'amphibiens et de tortues d'eau douce en Languedoc-Roussillon. *Scientific Report n. 1 for DIREN Languedoc-Roussillon*. 2007.

VERNEAU, Olivier, 2009. Taxonomie et systématique des parasites d'amphibiens et de tortues d'eau douce en Languedoc-Roussillon. *Scientific Report n. 2 for DIREN Languedoc-Roussillon*. 2009.

VERNEAU, Olivier, 2010. Taxonomie et systématique des parasites d'amphibiens et de tortues d'eau douce en Languedoc-Roussillon. *Scientific Report n. 3 for DIREN Languedoc-Roussillon*. 2010.

WITZENBERGER, Kathrin A. et HOCHKIRCH, Axel, 2011. Ex situ conservation genetics: a review of molecular studies on the genetic consequences of captive breeding programmes for endangered animal species. *Biodiversity and Conservation*. août 2011. Vol. 20, n° 9, pp. 1843-1861. DOI 10.1007/s10531-011-0074-4.

XU, Chunxia, XU, Wei et LU, Hongliang, 2014. Compensatory growth responses to food restriction in the Chinese three-keeled pond turtle, *Chinemys reevesii*. *SpringerPlus*. décembre 2014. Vol. 3, n° 1, pp. 687. DOI 10.1186/2193-1801-3-687.

ANNEXES

ANNEXE 1 : Lettre de Jérôme Maran, président de l'ART (Maran 2021)

Bessières, le dimanche 25 octobre 2020

Le Refuge des Tortues est un centre d'accueil pour tortues aquatiques et terrestres implanté dans la commune de Bessières en Haute-Garonne (31).

Spécialisé dans la prise en charge des tortues exogènes, le Refuge des Tortues est de plus en plus confronté à l'accueil de tortues françaises dont l'Émyde lépreuse et la Cistude d'Europe.

Fort de son expérience, de ses compétences reconnues et de son envie d'agir en faveur de la protection de la biodiversité, le Refuge des Tortues souhaite créer une station d'élevage concernant la tortue aquatique française la plus rare et la plus menacée : l'Émyde lépreuse.

Chaque année, des spécimens de cette espèce nous sont confiés par des particuliers mais également par l'administration française (ENVT).

Notre objectif est de construire une station d'élevage permettant l'accueil de ces tortues dans des conditions optimales. Ces spécimens permettront la constitution de groupes d'élevage dans les infrastructures même du refuge ou seront relâchés directement dans des zones protégées *in natura*.

Notre volonté est d'associer notre démarche à d'autres structures privées ou publiques dans un souci d'efficacité, de partage, de transparence et de respect de la réglementation en vigueur.

Nous exposons dans le présent dossier le détail de notre projet ainsi que les modalités de sa réalisation et de son financement.

Jérôme MARAN

Président de l'Association du Refuge des Tortues (A.R.T)

Responsable capacitaire du Refuge des Tortues

Membre de l'IUCN Tortoise & Freshwater Turtle Specialist Group

ANNEXE 2 : Protocole de prélèvement de sang Émyde lépreuse



Protocole de prélèvement de sang *Mauremys leprosa* Analyse génétique pour détermination de la sous-espèce



Figure 1 : Prise de sang à la veine caudale d'une émyde lépreuse © Fred Lavail

Cette méthode nécessite l'intervention d'une personne titulaire d'une formation sur l'expérimentation et l'utilisation d'animaux de la faune sauvage non hébergées à fins scientifiques.

La prise de sang peut être réalisée au niveau de la veine jugulaire, de la veine caudale ou dans le sinus veineux nuchal.

1. Nettoyage du site de ponction choisi avec une solution antiseptique
2. Prélèvement d'environ d'n volume de 50-100 μ l (0.05-0.1 ml), suffisant pour réaliser les analyses (figure 1) avec une seringue et une aiguille stériles.
3. Placer immédiatement le prélèvement dans un tube à héparine afin d'éviter sa coagulation, puis homogénéisez doucement pour éviter l'hémolyse.
4. Prélèvements à conserver au froid positif jusqu'à l'envoi à l'adresse suivante :

Romain FISCHER
ENVT

23 chemin des Capelles 31300 Toulouse

« Matériel scientifique »

Remarques générales

- Il est primordial de bien noter le numéro de l'individu sur le tube et de marquer l'animal individuellement, soit par coupe d'écailles, soit par implantation d'un microchip/transpondeur passif. La reconnaissance individuelle peut aussi se faire par photo de la tête et du plastron, pour autant que le nombre d'animaux à reconnaître soit limité.
- Les délais et les coûts des analyses dépendent du projet dans lequel l'animal est analysé, du type d'analyses effectuées (détermination de l'haplotype et/ou du statut hybride de l'individu) et du personnel à disposition pour effectuer les analyses.
- Un envoi par courrier postal normal est suffisant, mais il convient de mentionner la présence de "matériel scientifique".
- L'ADN sera extrait à l'aide du kit d'extraction E.Z.N.A. Tissue DNA Kit en suivant le protocole « *Blood and Body Fluids Protocol* » édicté par Omega Bio- Tek.
- Une PCR sera effectuée pour amplifier la cytochrome b et des gènes nucléaires (R35)
- Si la PCR a fonctionné, les tubes seront directement envoyés pour séquençage à une société du Nord de la France (Génoscreen).
- L'analyse de la cytochrome b permettra *in fine* d'identifier les haplotypes des tortues et l'analyse des gènes nucléaires (R35) s'il s'agit d'hybrides entre les sous-espèces *Mauremys leprosa leprosa* et *Mauremys leprosa saharica*



Femelle adulte et vieux mâle *Mauremys leprosa* ©Matthieu Berroneau

ANNEXE 3 : Liste des Émydes lépreuses (*Mauremys leprosa*) pour lesquelles un prélèvement sanguin été effectué par le Dr Olivier VERNEAU au Refuge des Tortues le 30/04/2021, afin d'identifier le profil génétique

N°	Espèce	Identification (n° de puce)	Sexe	Masse (en grammes)	ADN	Haploclade	Sous espèce
1	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 023 661	Femelle		MiAL94	B	saharica
2	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 895	Femelle		MiAL83	B	saharica
3	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 72	Femelle		MiAL99	A	leprosa
4	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 500 024 563	Femelle	867	MiAL86/MiAL102	A/A	leprosa
5	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 023 719	Femelle	1360	MiAL101	A	leprosa
6	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 023 758	Femelle	1571	MiAL95	B	saharica
7	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 888	Femelle		MiAL100	B	saharica
8	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 024 768	Femelle	1304	MiAL92	A	leprosa
9	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 023 710	Femelle	1403	MiAL90	B	saharica
10	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 993	Femelle		MiAL93	A	leprosa
11	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 500 034 257	Femelle	934	MiAL84	A	leprosa
1	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 500 005 989	Mâle		MiAL85	A	leprosa
2	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 024 608	Mâle		MiAL97	B	saharica
3	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 023 732	Mâle		MiAL88	A	leprosa
4	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 018 580	Mâle		MiAL87	?	?
5	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 018 490	Mâle		MiAL96	B	saharica
6	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 999	Mâle		MiAL98	A	leprosa
7	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 961	Mâle		MiAL91	A	leprosa
8	<i>Mauremys leprosa</i>	250 228 739 025 785	Mâle		MiAL89	A	leprosa

ANNEXE 4 : Listes des Émydes lépreuses (*Mauremys leprosa*) pour lesquelles un prélèvement sanguin a été effectué dans diverses institutions (vert)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K			
	Structure	Nb ind (M.F.U)	Sous-espèce	Identifiant local de l'ind	Sexe	Date de naissance	Provenance	Père	Mère	Type identification	Numéro identification			
2														
3	Branféré	1.1.8	leprosa	RML002	F	~< Jan 01, 1980	Portugal (privé)	U	U		250 228 730 007 263			
4				RML003	M	~< Jan 01, 1980	Portugal (privé)	U	U	transpondeur	250 228 730 007 185			
5				RML004	U	Aug 01, 2012	Branféré	RML003	RML002			250 228 739 007 103		
6				RML005	U	Aug 01, 2012	Branféré	RML003	RML002			250 228 739 007 058		
7				RML006	U	Aug 01, 2012	Branféré	RML003	RML002			250 228 739 007 055		
8				RML007	U	Aug 01, 2012	Branféré	RML003	RML002			250 228 739 007 065		
9				RML009	U	Aug 01, 2012	Branféré	U	U			XXX XXX XXX XX0 890		
10				RML010	U	Aug 01, 2012	Branféré	U	U			250 228 739 014 011		
11				RML011	U	Aug 01, 2012	Branféré	U	U			250 228 739 013 670		
12				RML014	U	Aug 01, 2012	Branféré	U	U			250 228 739 013 539		
13				1.1 (saisie)	indéterminée	RML001	M	~< Jan 01, 1990	indéterminée (saisie OFB)	U	U	transpondeur	250 228 730 007 734	
14						RML008	F	~< Jan 01, 1980	indéterminée (saisie OFB)	U	U	transpondeur	250 228 739 014 049	
15														
16				Zoodyssee	10.0	indéterminée		M	1997	/	U	U	transpondeur	250 229 600 041 414
17		M	12/09/2006				/	U	U	transpondeur	250 228 730 001 429			
18		M	12/09/2006				/	U	U	transpondeur	250 228 730 001 539			
19		M	12/09/2006				/	U	U	transpondeur	250 228 730 001 432			
20		M	12/09/2006				/	U	U	transpondeur	250 228 730 001 783			
21		M	01/06/2011				/	U	U	transpondeur	250 228 500 045 395			
22		M	02/09/2009				/	U	U	transpondeur	250 228 730 001 535			
23		M	21/09/2013				/	U	U	transpondeur	250 228 500 045 389			
24		M	22/08/2015				/	U	U	transpondeur	250 228 500 042 026			
25		M	01/01/2008				/	U	U	transpondeur	250 228 500 050 455			
26														
27	La Barben	0.1.20	indéterminée	TEL1	F	environ 5 ans	privé	U	U	transpondeur	250 228 600 002 382			
28				TEL1721	U	26/Apr/2021	La Barben	U	U					
29				TEL1921	U	17-sept-21	La Barben	U	U					
30				TEL2021	U	17-sept-21	La Barben	U	U					
31				TEL2121	U	17-sept-21	La Barben	U	U					
32				TEL215	U	01-janv-15	Pierrelatte (arrivée 2019)	U	U	transpondeur	250 228 739 021 389			
33				TEL2221	U	17-sept-21	La Barben	U	U					
34				TEL2321	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
35				TEL2421	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
36				TEL2521	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
37				TEL2621	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
38				TEL2721	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
39				TEL2821	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
40				TEL2921	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
41				TEL3021	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
42				TEL3121	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
43				TEL315	U	01-janv-15	Pierrelatte (arrivée 2019)	U	U	transpondeur	250 228 739 021 381			
44				TEL3221	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
45				TEL3321	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
46				TEL3421	U	04-oct-21	La Barben	U	U					
47	TEL4	U	environ 3 ans	Pierrelatte (arrivée 2019)	U	U	transpondeur	250 228 739 021 406						
48														
49	Sigean	16 à 100	indéterminée											
50														
51	Mulhouse	1	indéterminée	R21004?	M?	environ 2012?	particulier (arrivée 2021)	U	U	transpondeur	250 228 500 075 584			
52														
53	Muséum de Nantes	1.1.5	indéterminée		M	U	nature, trouvée particulier			transpondeur	250 229 600 075 257			
54					F	U	nature, ONIRIS			transpondeur	250 228 739 004 759			
55					U	03/09/2020	Muséum Nantes	Hypothèse plus que probable des 2 individus cités ci-dessus	photos					
56					U	12/08/2021	Muséum Nantes		photos					
57					U	13/08/2021	Muséum Nantes		photos					
58					U	14/08/2021	Muséum Nantes		photos					
59		U	16/08/2021	Muséum Nantes	photos									

ROMAIN FISCHER

TITRE : Conservation de l'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) : analyse démographique et génétique des populations conservatoires françaises en vue d'un projet de restauration de population dans le milieu naturel.

Résumé : L'Émyde lépreuse (*Mauremys leprosa*) est une tortue dulçaquicole indigène française évaluée sur la liste rouge des espèces menacées selon l'Union Internationale de Conservation de la Nature (IUCN). Son statut « Vulnérable » (VU) d'espèce « hautement préoccupante en termes de conservation » justifie un nouveau Plan National d'Action (PNA), en cours de rédaction, qui succédera à celui déployé de 2012 à 2016. Cette étude étaye le projet « Sauvons l'Émyde lépreuse » de création d'une station d'élevage et d'étude, soutenu activement par l'Association du Refuge des Tortues à Bessières (31). Cette thèse présente une revue bibliographique de la biologie de l'Émyde lépreuse, des éléments plurifactoriels qui la menacent et des mesures engagées pour sa conservation. Les fondements théoriques, ainsi que les modalités démographiques et génétiques de la conservation *ex situ* sont détaillés, puis étendus aux populations conservatoires d'émydes lépreuses françaises. Est présentée une description de l'ensemble des étapes nécessaires au succès d'un programme de restauration de populations menacées dans le milieu naturel.

Mots-clés : *Mauremys leprosa*, Émyde lépreuse, conservation, gestion démographique et génétique

Title: Conservation of the Mediterranean pond turtle (*Mauremys leprosa*): demographic and genetic analysis of French conservation populations as part of a project to restore populations in their natural habitat.

Abstract: The Mediterranean Pond turtle (*Mauremys leprosa*) is a French indigenous freshwater turtle assessed on the International Union for Conservation of Nature (IUCN) Red List of Threatened Species. Its "Vulnerable" (VU) status as a species of "high conservation concern" warrants a new National Action Plan (PNA), currently being drafted, to succeed the one deployed from 2012 to 2016. This study supports the "Sauvons l'Émyde lépreuse" project to create a breeding and research station, actively endorsed by the Association du Refuge des Tortues in Bessières (31-France). This thesis provides a bibliographical review of the biology of the Mediterranean Pond turtle, the threats it faces, and the measures implemented for its conservation. The theoretical foundations, as well as the demographic and genetic modalities of *ex situ* conservation are detailed, and subsequently extended to French Mediterranean Pond turtle conservation populations. A comprehensive description of the steps required for the successful restoration of endangered populations in the wild is provided.

Key words: *Mauremys leprosa*, Mediterranean pond turtle, conservation, demographic and genetic management