
Rapport d'étude

Résultats du suivi du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) sur
la Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient.

- Période 2018-2021 -

Réserve Naturelle Nationale de la Forêt d'Orient, 2021.



Crédit photo : Lucas Carré

Rédaction : Paix, L.

Sommaire

Fiche synthèse - Suivi du Sonneur à ventre jaune	1
Fiche synthèse : présentation, objectifs et protocole, zonage et personnes concernées	1
Suivi du Sonneur à ventre jaune	3
Introduction :	3
Objectifs :.....	3
Matériel et méthode :	4
1. Prospection	5
2. Suivi par Capture-Marquage-Recapture	5
3. Identification des individus et calcul des paramètres démographiques	8
Résultats du suivi de population et évolution des paramètres démographiques :	10
1. Conditions météorologiques :	10
2. Bilan des prospections et suivis sur les sites Natura 2000 (2019-2021)	10
3. Bilan des prospections et suivis sur la RNNFO (2019-2021)	12
Evolution des milieux :	14
1. Population des ornières du Marmoret : zone 1	14
2. Population des ornières du Virage : zone 2	15
3. Population de la Pointe de Charlieu : zone 3, 4, 5.....	16
4. Population de la zone 6 (Lac) :	17
5. Généralités :	17
Taille des populations et évolution :	18
1. Maximum d'individus observés depuis 2010 par zone :	18
2. Population de Charlieu	18
3. Population des ornières du Virage	19
Perspectives de suivi et de gestion :	21

Fiche synthèse - Suivi du Sonneur à ventre jaune

Fiche synthèse : présentation, objectifs et protocole, zonage et personnes concernées

Présentation de l'étude :

Suivi du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) dans le cadre du plan de gestion 2020-2029 de la Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient.

Périmètre :

Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient située en partie sur les communes de Piney, Brévonnes, Radonvilliers, Mathaux, Amance, département de l'Aube (10) (cf. cartographie jointe).

Contexte :

Parmi les espèces d'amphibiens connues sur la Réserve, celle-ci possède une responsabilité particulière pour le **Sonneur à ventre jaune** (*Bombina variegata*).

Cette espèce, inscrite à l'Annexe II de la Directive Habitat Faune Flore (DHFF) et protégée au niveau national, a un statut de conservation défavorable au niveau national et est classée vulnérable sur liste rouge régionale. Historiquement, le Sonneur à ventre jaune était présent sur le territoire avant la création des grands lacs Aubeois. Il a cependant vu son aire de répartition drastiquement réduite suite à la mise en eau des lacs avec une **perte de presque 2/3 des stations** (THIREAU, 1988), conférant à la RNN une **responsabilité quant au maintien de l'espèce sur le territoire**. En effet, des noyaux de population importants à l'échelle du massif forestier sont retrouvés sur la Réserve : l'un des noyaux possède *a minima* 41 individus (RNNFO, 2018), constituant l'une des plus fortes populations connues à ce jour sur les sites N2000 de « Forêts et Clairières de Bas-bois » et de « Forêt d'Orient » (BONNAL, 2019).

Nom vernaculaire	LR Régionale	LR nationale	DHFF	Loi FR	Enjeu
Sonneur à ventre jaune	V	VU	An 2 et 4	Art 2	Assez fort
Triton crêté	V	NT	An 2 et 4	Art 2	Assez fort*
Triton ponctué	V	NT		Art 3	Modéré

Statut des espèces patrimoniales d'amphibiens et reptiles de la RNNFO

Lors de l'évaluation du plan de gestion 2013-2017 et de l'évaluation des enjeux de conservation du nouveau plan de gestion 2020-2029, une attention particulière a été portée sur l'analyse des données concernant cette espèce. L'état de conservation de la population du site a été évalué comme douteux ou défavorable du fait de l'évolution des milieux (disparition d'ornières, fermeture du milieu, destruction d'habitat) (Paix, 2019).

Ce suivi fait ainsi partie du plan de gestion 2020-2029 de la Réserve et vise à améliorer les connaissances sur la population présente sur la Réserve. Il s'intègre également à la programmation des suivis Natura 2000 du site n°60 « Forêt d'Orient » ainsi que dans l'application du Plan régional d'action Sonneur à ventre jaune.

Objectifs :

> A court terme, évaluer l'évolution de la fréquentation des sites précédemment prospectés sur la réserve (Villaumé, 2009) et y estimer les effectifs de Sonneur à ventre jaune afin de connaître l'état de conservation de la population locale.

→ Ces sites sont-ils toujours favorables à l'accueil de l'espèce ?

> Sur le plus long terme, maintenir une bonne connaissance des populations présentes sur le site, évaluer l'importance de la population de Sonneur sur la RNN vis-à-vis de celle présente à l'échelle du site N2000. Connaître la dynamique de la population sur la RNN et prévoir des actions de gestion si nécessaire.

→ Dans quelle proportion la Réserve fait-elle partie des zones à enjeux et a-t-elle un rôle à jouer pour la préservation de l'espèce à l'échelle du site N2000 ? Des actions de gestion sont-elles nécessaires ?

Protocole :

- 1) Suivi par Capture-marquage-recapture (CMR) induisant la capture avec relâcher immédiat sur place des individus.

La CMR de cette espèce ne nécessite pas de marquage, chaque individu possédant des signes distinctifs naturels (coloration ventrale). Le protocole suit celui du Plan national d'action en faveur du Sonneur à ventre jaune : *ONF-MEDDE, 2016. Synthèse de la méthode de suivi de population par C.M.R.*

- 2) Récolte opportuniste ou ciblée de données de type présence/absence lors d'autres missions.

Aspect réglementaire :

Ce suivi a fait l'objet d'une demande et de l'obtention d'une dérogation à l'interdiction de porter atteinte aux espèces protégées prévue au 4° de l'article L.411-2 du Code de l'environnement.

Réalisation du suivi, analyse des données et rédaction :

Lisa Paix, Conservatrice-adjointe de la RNN de la Forêt d'Orient. Avec l'appui d'Anahid Simon, Nicolas Bonnal, Marius Jourdain, Johann Chrétien.

Suivi du Sonneur à ventre jaune

Bilan sur la période 2018-2021 : matériel et méthode, résultats et première analyse

Introduction :

Présent sur le territoire antérieurement à la création de la Réserve naturelle, le Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) a fait l'objet d'une attention particulière par la mise en place d'un suivi spécifique en 2010 (Villaumé, 2010). En 2018, suite à l'évaluation du plan de gestion et à la mise à jour de la hiérarchisation des enjeux de conservation de la Réserve naturelle, une mise à jour des connaissances concernant l'espèce est apparue nécessaire. Un suivi particulier associé à un protocole de CMR a ainsi été initié, ses résultats soulignent l'importance de la Réserve pour la conservation de cette espèce sur le massif et la dégradation des milieux de reproduction connus, nécessitant aujourd'hui des actions de gestion.

L'action de la Réserve s'inscrit dans un travail concerté avec les autres acteurs du territoire, en effet, un suivi des populations de Sonneur a été initié depuis 2019 à l'échelle des sites N2000 de « Forêts et Clairières de Bas-Bois » (ZSC site n°64, FR2100309) et de « Forêt d'Orient » (ZSC site n°60, FR2100305). Une prospection systématique a ainsi été réalisée depuis 3 années consécutives, et bien que celle-ci n'ait pas encore été réalisée sur l'ensemble du site N2000, elle a permis d'identifier cinq zones à fort enjeu de conservation pour l'espèce dont fait partie la Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient. Les populations de Sonneur importantes ont ainsi été identifiées et un suivi CMR a été mis en place pour chacune d'elles, associé à des préconisations de gestion.

Objectifs :

1. A court terme, évaluer l'évolution de la fréquentation des sites précédemment prospectés sur la réserve (Villaumé, 2009) et y estimer les effectifs de Sonneur à ventre jaune afin de connaître l'état de conservation de la population locale.

→ Ces sites sont-ils toujours favorables à l'accueil de l'espèce ? Des actions de gestion sont-elles nécessaires ?

2. Sur le plus long terme, maintenir une bonne connaissance des populations présentes sur le site, évaluer l'importance de la population de Sonneur sur la RNN vis-à-vis de la population présente à l'échelle du site N2000 et participer à l'identification des zones à enjeux sur ce dernier.

→ Dans quelle proportion la réserve fait-elle partie des zones à enjeux et joue-t-elle un rôle pour la préservation de l'espèce à l'échelle du site N2000 ?

Matériel et méthode :

Résumé :

Une prospection de terrain a dans un premier temps été réalisée sur les sites de présence déjà connus sur la RNNFO (Villaumé, 2010) et a permis d'identifier les noyaux de population encore présents. L'un d'entre eux (ornières du virage / chemin du Marmoret) a par la suite fait l'objet d'un suivi **CMR**.

Après la phase de terrain, les données biométriques ont été renseignées dans un tableau Excel et les photos classées par session de capture. Une seule photo a été gardée par individu pour chaque session. Les photos ont ensuite été comparées grâce au logiciel **Wild-ID**, ce qui a permis d'établir l'historique de capture de chaque individu et de connaître le nombre d'individus observés sur le terrain.

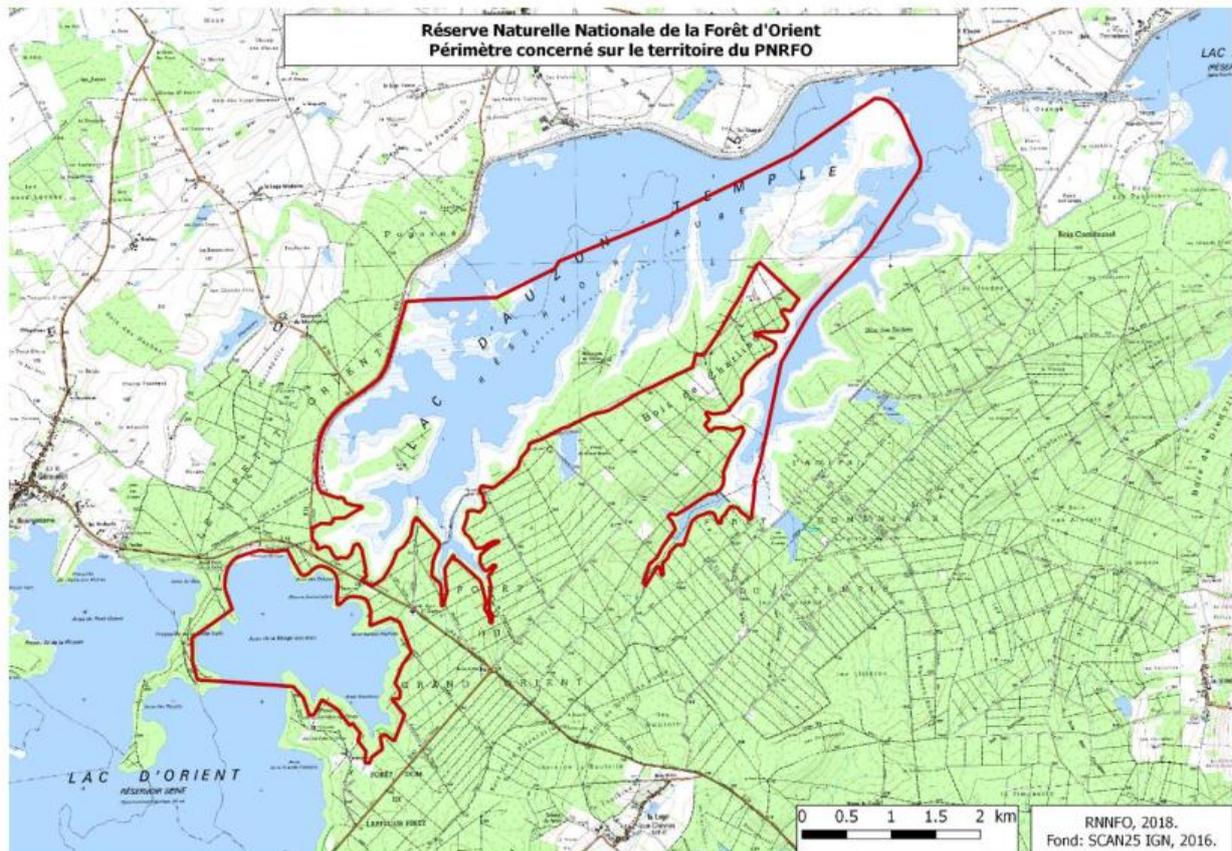
Les histoires de captures ont ensuite été importées dans le logiciel **MARK** pour estimer la taille et les paramètres démographiques de la population. Finalement, le logiciel **ULM** a été utilisé pour prédire statistiquement l'évolution de celle-ci.

La partie explicative de la méthodologie afférente à l'utilisation des logiciels MARK et ULM est en grande partie tirée du rapport de Marius Jourdain (Jourdain, 2020).

1. Prospection

Plusieurs passages de prospection ont été réalisés entre mai et août sur les sites de présence suivis en 2010. Ces passages ont été complétés par les observations opportunistes réalisées par les agents depuis 2010.

La zone étudiée est la même que celle suivie en 2010 et se situe sur la partie Ouest de la Réserve naturelle, depuis la base de la Pointe du Marmoret jusqu'à la Pointe de Charlieu.



2. Suivi par Capture-Marquage-Recapture

Matériel :

- Pochette CD translucide x 4
- Papier cartonné à carreaux de couleur jaune, verte, rose et bleu
- Epuisette
- Seau avec couvercle
- Appareil photo
- Pied à coulisse

Méthode :

Une prospection préalable des sites de reproduction a été réalisée en 2018, après agrégation des données de présence et d'après les résultats de l'étude de 2010. Suite à cette prospection, le site des Ornières du Virage a été choisi pour y réaliser un suivi de population, les autres sites ne présentant pas/plus de densité d'individu importante.

Zone d'étude pour la CMR :

Zoom sur la zone 2 dite des « Ornières du Virage » ayant fait l'objet de la CMR :

- En brun foncé les deux bauges avec présence de sonneurs mais pas de reproduction possible à l'heure actuelle (bauges utilisées quotidiennement par les ongulés).
- En vert les ornières végétalisées, atterries et/ou très ombragées.
- En bleu, la nouvelle mare créée naturellement (ancienne bauge abandonnée).



Pour le suivi de population, la méthode de comptage utilisée est la Capture-Marquage-Recapture, permettant de mesurer la densité absolue de la population de sonneurs.

Un premier repérage du site est effectué avant la mise en œuvre de la CMR, les sites de reproduction connus sur la zone d'étude sont visités pour vérifier s'ils sont en eau ou non, s'ils ont disparu, si d'autres sites sont apparus.

Au préalable, il est également nécessaire de préparer 4 boîtiers à CD vidés de leur porte-CD et de coller sur chacun un papier cartonné plastifié de couleur différente. On aura ainsi un boîtier avec un fond jaune pour les juvéniles, vert pour les subadultes, rose pour les femelles adultes et bleu pour les mâles adultes.

Puis, en période de reproduction et lorsque les conditions climatiques sont propices (détection des sonneurs à ventre jaune maximale par temps chaud, durant l'après-midi et en soirée (entre 23 et 26°C, Cayuela et al. 2015), trois sessions de capture par population sont réalisées. Celles-ci se font de la manière la plus rapprochée possible (idéalement 3 jours consécutifs) car plus elles seront espacées, plus il pourra y avoir un biais dans l'analyse statistique, la population étant considérée comme « fermée ». Les individus sont capturés à l'aide d'une époussette ou à la main et mis dans un seau avec couvercle et un fond d'eau. Il s'agit ici de veiller à capturer l'ensemble des individus dont certains peuvent être cachés dans la végétation ou sous l'eau et difficiles à détecter (apnée possible de plus de dix minutes).

Après capture de l'ensemble des individus d'un point d'eau ou d'une zone, chacun est mesuré avec un pied à coulisse (tête-cloaque), sexé et pris en photo après avoir été disposé dans le boîtier CD correspondant. Il est ensuite relâché directement dans son milieu d'origine.

Les classes d'âge sont également notées en fonction de la taille de l'individu (selon ONF-MEDDE (2016)) :

Juveniles	< 2,8 cm
Subadultes	< 3,5 cm mâle et 3,6 cm femelle
Adultes	> 3,5 ou 3,6 cm

La présence de pontes, têtards et jeunes individus tout juste émergents et d'autres amphibiens est notée. Les jeunes de l'année tout juste métamorphosés sont notés mais ne sont pas mesurés, leur pattern ventral n'étant pas encore déterminé. Ces individus, s'ils survivent, sont comptabilisés en tant que « juvénile » lorsqu'ils ont passé leur premier hiver, un individu atteint par la suite généralement le stade « subadulte » après son deuxième hiver et il est possible qu'il reste au même stade l'année qui suit. A noter également que certains individus « subadultes » peuvent présenter des callosités et même se reproduire, même dans ce cas le critère déterminant pour définir le stade dans le protocole reste la taille de l'individu.

Avant et après arrivée sur le site, le matériel ainsi que les bottes des agents sont désinfectés pour écarter tout risque de chytridiomycose.

Retour d'expérience concernant le protocole de terrain :

- Veiller à toujours fermer le couvercle du seau, les jeunes individus sont en effet capables de se coller aux parois et d'escalader pour sortir du seau s'il n'est pas fermé.
- Il a été remarqué en 2021 que les individus restaient beaucoup plus longtemps sous l'eau que les années précédentes (parfois plus de dix minutes). Il est possible que la présence de grenouilles vertes de manière abondante cette année et auparavant absentes ou présentes en petits effectifs ait joué un rôle dans ce comportement des sonneurs : à l'arrivée sur le site, les grenouilles lancent systématiquement l'alerte en plongeant dans l'eau et restent très craintives et mobiles.
- S'exercer auparavant pour la mesure des animaux qui peut être délicate. Pour ce jeu de données, la mesure a été effectuée avec le sonneur face vers le haut, le dos posé contre les doigts de la personne le manipulant et les pattes tenues entre le pouce, l'index et l'annulaire.
- Des cas de femelles relarguant leurs œufs ont été rapportés sur la Ligne des Chaussons, lors de manipulations réalisées par des étudiants peu habitués aux suivis d'amphibiens. Cela n'a jamais été le cas durant toute la saison 2018-2021 sur la Réserve naturelle. Pour éviter ces déconvenues, il est conseillé de ne pas forcer lorsque des sonneurs de belle taille sont déposés dans des boîtes à CD : il arrive que ceux-ci se gonflent avec le stress, mais il suffit en général d'attendre quelques dizaines de secondes pour que l'individu se calme et qu'on puisse refermer le boîtier (et quand bien même il ne serait pas fermé à fond, cela n'est pas gênant pour la prise de photo).

Durée du suivi : 4 ans *a minima* (en cours, il est prévu que ce suivi perdure cf. Plan de gestion 2020-2029 de la RNNFO).

Gestion des données : Après la phase de terrain, les données biométriques sont renseignées dans un tableau Excel et les photos sont classées par session de capture. Une seule photo est gardée par individu pour chaque session.



3. Identification des individus et calcul des paramètres démographiques

Les explications suivantes sont issues du rapport de stage de Marius Jourdain (Jourdain, 2020).

- **Identifier les individus :**

Le logiciel **Wild-ID** (version 1.1.0) a été utilisé pour comparer les photos entre elles, identifier les individus capturés et ainsi établir leur histoire de capture par session (pour une année), puis d'une année sur l'autre. A l'aide de cet historique de capture, il est ainsi possible de déterminer certains paramètres démographiques tels que le sex-ratio et la classe d'âge.

- **Estimer les paramètres démographiques :**

Les paramètres démographiques de la population ont été estimés à partir de l'historique de capture (taux de survie, taux de recapture, effectifs réels de la population, etc.) à l'aide du **logiciel MARK** (version 9.0). Ce logiciel permet d'utiliser les données de capture et recapture d'individus pour estimer les chances de survie, de recapture et de reproduction au sein d'une population fermée comme ouvertes aux migrations (Cooch et White, 2019).

Pour réaliser une estimation de la taille de la population par année, une méthode en **Closed capture** a été employée. Celle-ci s'applique pour un suivi sur une seule année et part du postulat qu'il n'existe pas de migration possible entre les sessions de capture au sein d'une même année, ce qui est aussi un des postulats du protocole CMR. Cette méthode ne permet pas d'obtenir de paramètres d'évolution de population fiable, mais permet malgré tout une estimation de la taille réelle de la population sur l'année du suivi. L'option « **Huggin's p and c** » a été choisie. Pour chaque estimation de taille de population, tous les modèles préétablis dans le logiciel MARK ont été testés (24 modèles). Puis, le modèle ayant le critère AIC (Akaike information criterion ; Akaike, 1973) le plus faible a été choisi afin d'estimer la population réelle du site. Les modèles estimant des effectifs aberrants (i.e. supérieurs à 30 fois la population échantillonnée) ont été écartés, même lorsque leur critère AIC était plus faible.

Pour le calcul des paramètres démographiques sur les 4 années de suivi, il a été décidé de suivre une méthode en **Robust design** (paramètres Phi et P dépendant du temps, migrations temporaires possibles entre années). Cette méthode est la plus pertinente pour le suivi du sonneur à ventre jaune sur plusieurs années, du fait de l'impossibilité de différencier survie réelle et migration temporaire dans le cas d'un individu étant absent temporairement sur un relevé (méthodologie de CMR appliquée au Sonneur à ventre jaune, ONF-MEDDE, 2016). L'option « **full likelihood p and c** » a été choisie, car elle pose le moins de contraintes et d'hypothèses a priori, tout en restant fiable. Enfin, le modèle $\phi(t)p(t)$ a été désigné car il suppose que les paramètres de probabilité de recapture et les probabilités de survie changent chaque année (Cooch et White 2019). La méthode Robust design requiert au moins 4 années de suivis pour pouvoir être appliquée (Cooch et White, 2004).

- **Modéliser l'évolution de la population :**

Le **logiciel ULM** sert à simuler l'évolution d'une population de N individus répartis en x classes d'âges, en fonction de paramètres de survie définis. Il fonctionne avec un code qui doit être entré manuellement. Une fois que les paramètres démographiques ont été déterminés, le logiciel ULM (version 6.0) a été utilisé afin de réaliser une simulation de l'évolution de la population à long terme à partir des paramètres de survie de chaque classe d'âge calculé dans MARK.

Ce logiciel modélise un cycle de vie de l'espèce à l'aide de paramètres préétablis. Le cycle de vie déterminé pour le sonneur à ventre jaune est illustré ci-dessous (tiré de Jourdain, 2020).

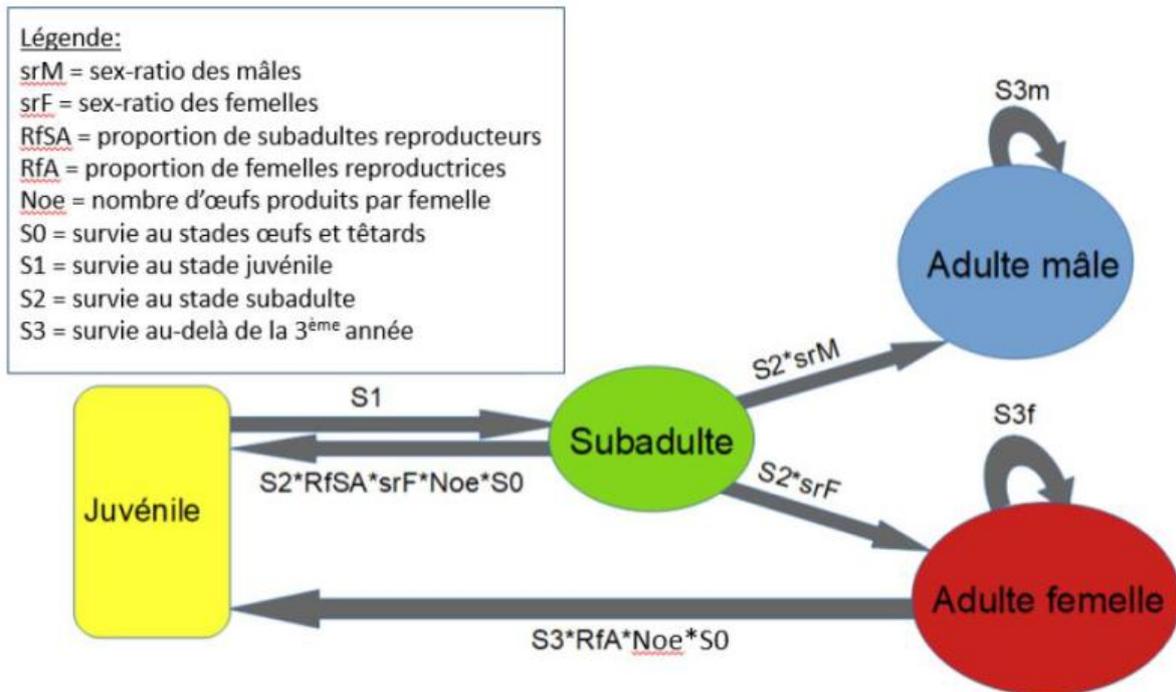


Figure 4 : Cycle de vie schématisé du Sonneur à ventre jaune *Bombina variegata*, modifié de Bommal, 2019.

Les données suivantes ont été estimées par l'utilisation du logiciel MARK : taux de survie des juvéniles (S1), taux de survie des subadultes (S2), taux de survie des adultes mâles (S3m), et taux de survie des adultes femelles (S3f). Pour la taille de la population, ce sont les effectifs réels de chaque classe d'âge de la dernière année de suivi qui ont été utilisés.

A l'inverse, certaines données sont considérées comme constantes au sein de l'espèce et ont été tirées de la littérature : taux de fertilité des subadultes femelles (rfSA = 0.1), taux de fertilité des adultes femelles (RfA = 0.9), nombre d'œufs pondus (Noe = 120), taux de survie des œufs (S0 = 0.1), et sex-ratio (SR = 0.55 en faveur des mâles). (Barandun et Reyer, 1997 ; Pichenot, 2008).

Le succès de la reproduction du sonneur dépend majoritairement des conditions climatiques (Barandun et Reyer, 1997 ; Reyer et Barandun, 1997). Cependant, plusieurs saisons de sécheresse ont eu lieu ces dernières années, impactant l'évolution des effectifs des populations de sonneurs à ventre jaune. Afin d'essayer d'inclure ce facteur environnemental dans les simulations, une variable « sécheresse » a été définie. Celle-ci suit une loi de Bernouilli ($X/100$), avec X représentant le nombre d'années plus sèches que la normale (données climatiques sur 100 ans, Météo France 2020). Cette année, cette loi est définie à 65%, mais devra être mise à jour chaque année. Lorsque l'année est sèche, les paramètres suivants sont modifiés : nombres d'œufs pondus (Noe = 40), taux de survie des œufs (S0 = 0.02), taux de survie des juvéniles (S1 = 0.19), taux de fertilité des adultes femelles (RfA = 0.22) et taux de fertilité des subadultes femelles (RfSA = 0). Ces données proviennent des travaux de Anholt et al. (1997).

Résultats du suivi de population et évolution des paramètres démographiques :

1. Conditions météorologiques :

Sur les quatre années de suivi, les années 2018 et 2021 furent les plus propices, avec des précipitations moyennes en 2018 ayant permis une mise en eau partielle des sites de reproduction et de fortes précipitations durant tout l'été 2021 ayant permis la mise en eau de l'ensemble des sites connus. Les données météorologiques ont ainsi été mises à jour comme suggéré dans la section précédente.

Les années 2019 et 2020 ont quant à elles été très sèches et de fait particulièrement défavorables à la réalisation du cycle de reproduction du sonneur, les ornières s'asséchant rapidement et ne permettant pas la métamorphose complète des têtards (ou tout simplement la survie des pontes).

2. Bilan des prospections et suivis sur les sites Natura 2000 (2019-2021)

Afin de mettre en contexte le suivi réalisé sur la Réserve, il est nécessaire de rappeler les résultats des prospections ayant été réalisées sur les sites Natura 2000 à proximité. Les données suivantes sont ainsi extraites des rapports de Nicolas Bonnal, Marius Jourdain et Johann Chrétien, stagiaires en charge des prospections et du suivi du Sonneur sur les sites N2000 des Bas-bois et de Forêt d'Orient en 2019, 2020 et 2021.

La totalité des parcelles situées en forêt publique (domaniale ou communale) ont été prospectées ainsi qu'une partie des parcelles en forêt privée. Les parcelles restantes seront prospectées dans les années à venir, l'objectif étant de couvrir l'ensemble des deux sites N2000.

Sur cette zone, 5 sites à enjeux, c'est-à-dire présentant des populations importantes, ont été identifiés en 2019 et 2020 et suivis par CMR : La ligne des Chaussons (1) et la ligne des Belles ventes (2) (forêt du Temple), les Ornières du virage (3) (RNNFO), le site de Maurepaire (4) (Petit Orient) ainsi que le site des Loges-Lavards (5) (Bas-bois).

En 2021, un site à enjeu supplémentaire a été inventorié à proximité de la RNR de Courteranges. Trois sites secondaires à enjeu potentiellement important ont également été observés (figure x).

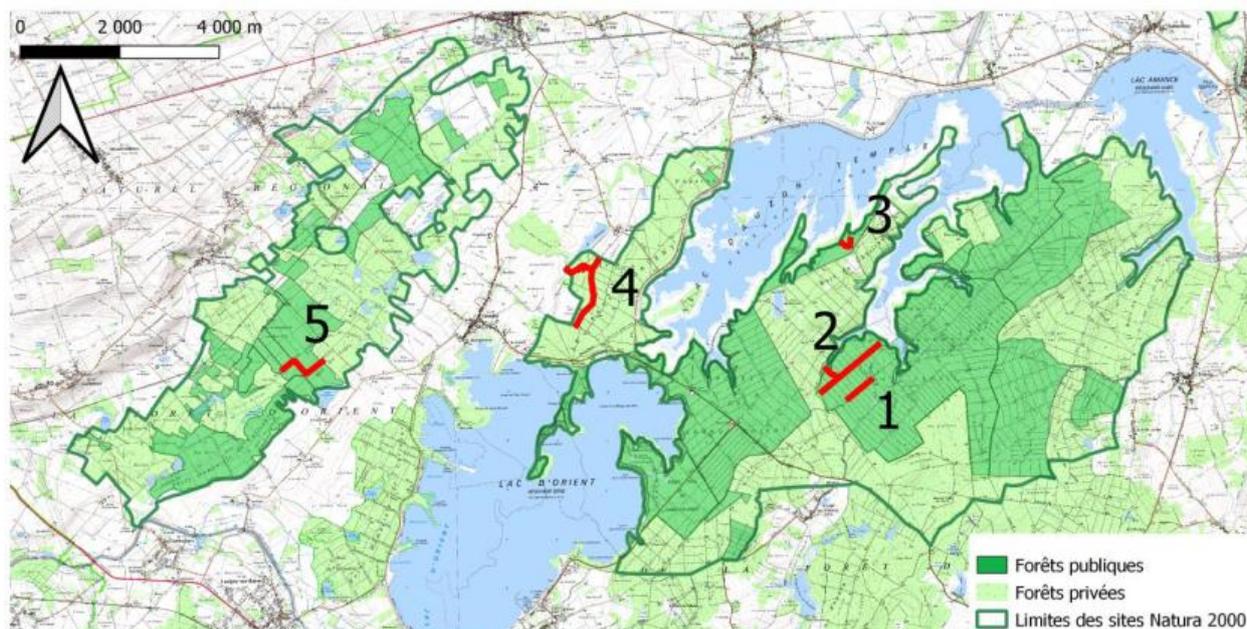
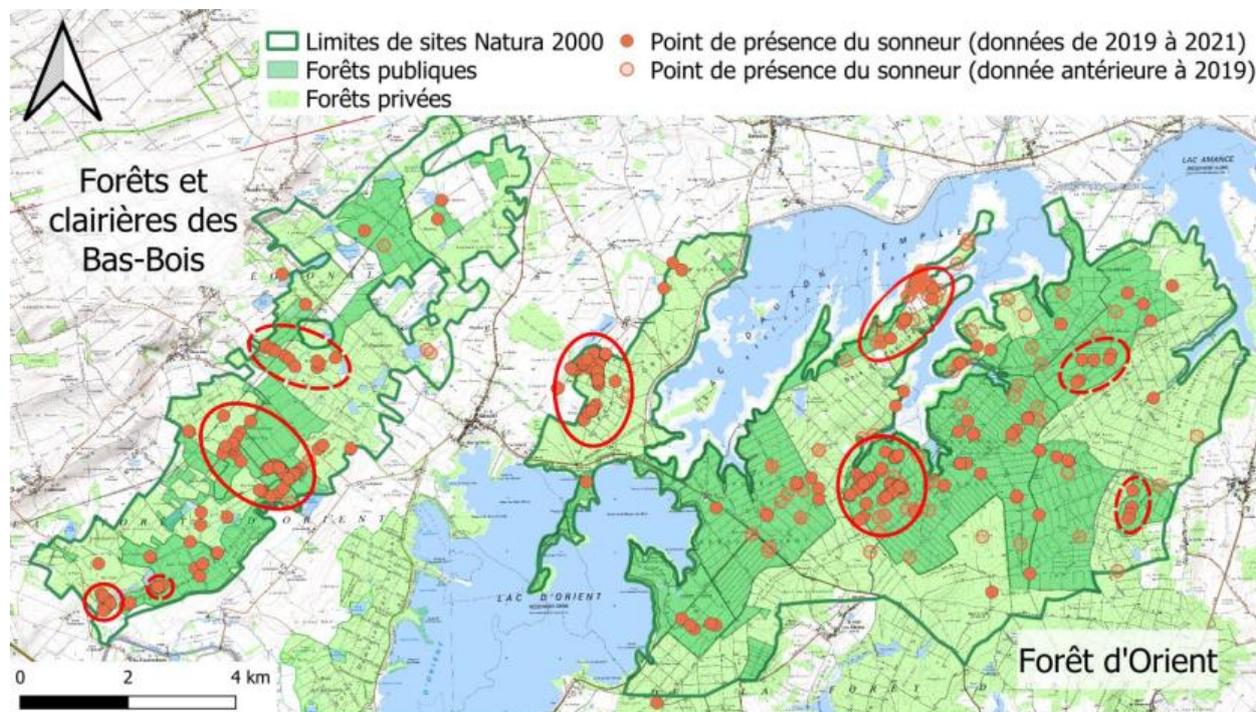


Figure 1 : Localisation des sites suivis par CMR, tracés en lignes rouges. 1 : Ligne des Chaussons ; 2 : Site des Belles Ventes ; 3 : Site de la RNN ; 4 : Site de Maurepaire ; 5 : Site des Loges-Lavards. (tiré de Chrétien, J., 2021).

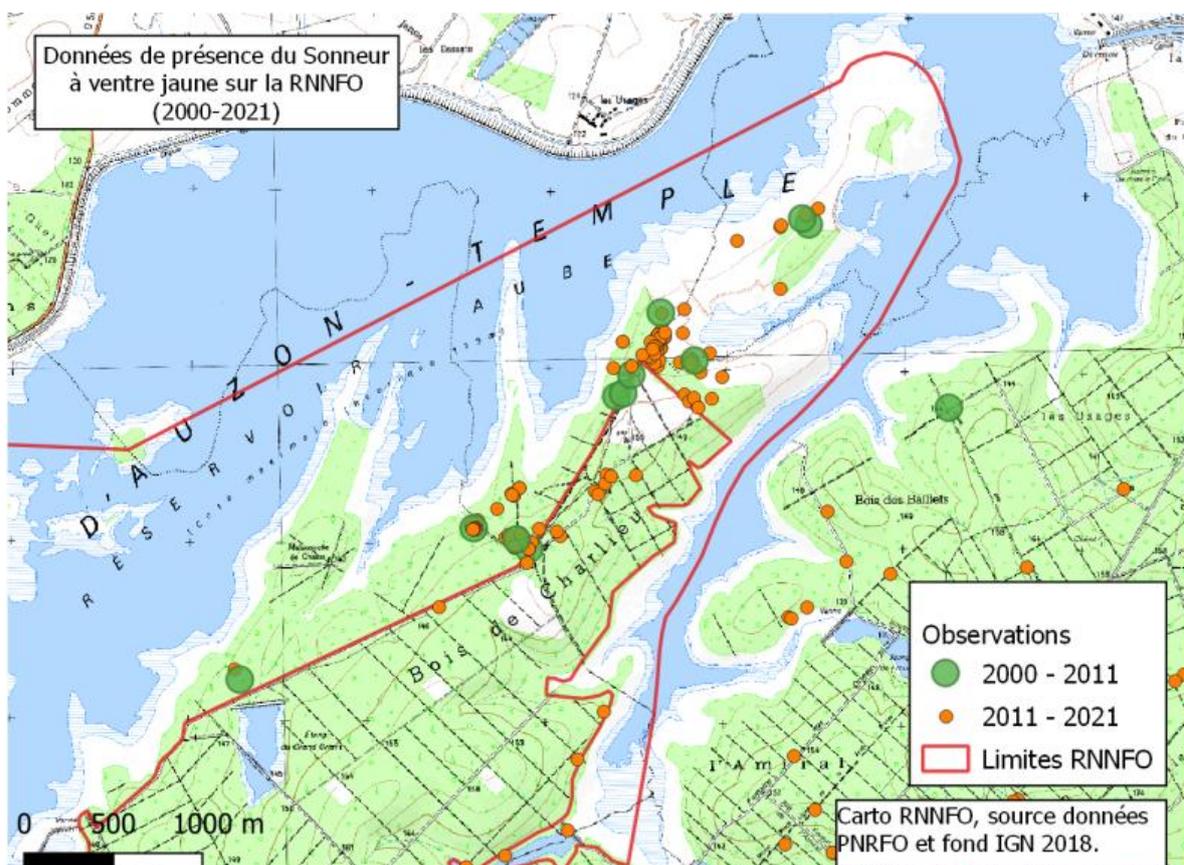


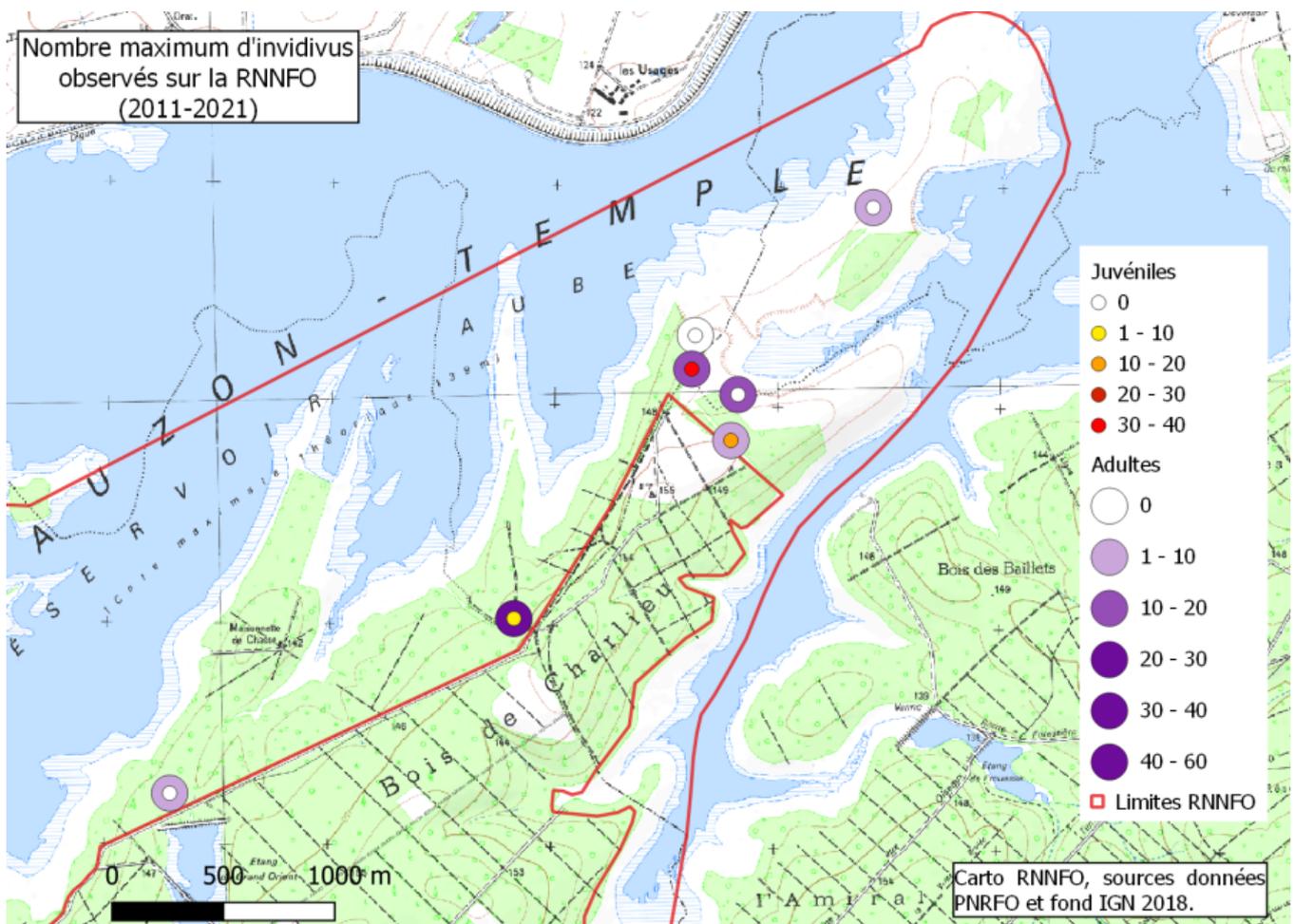
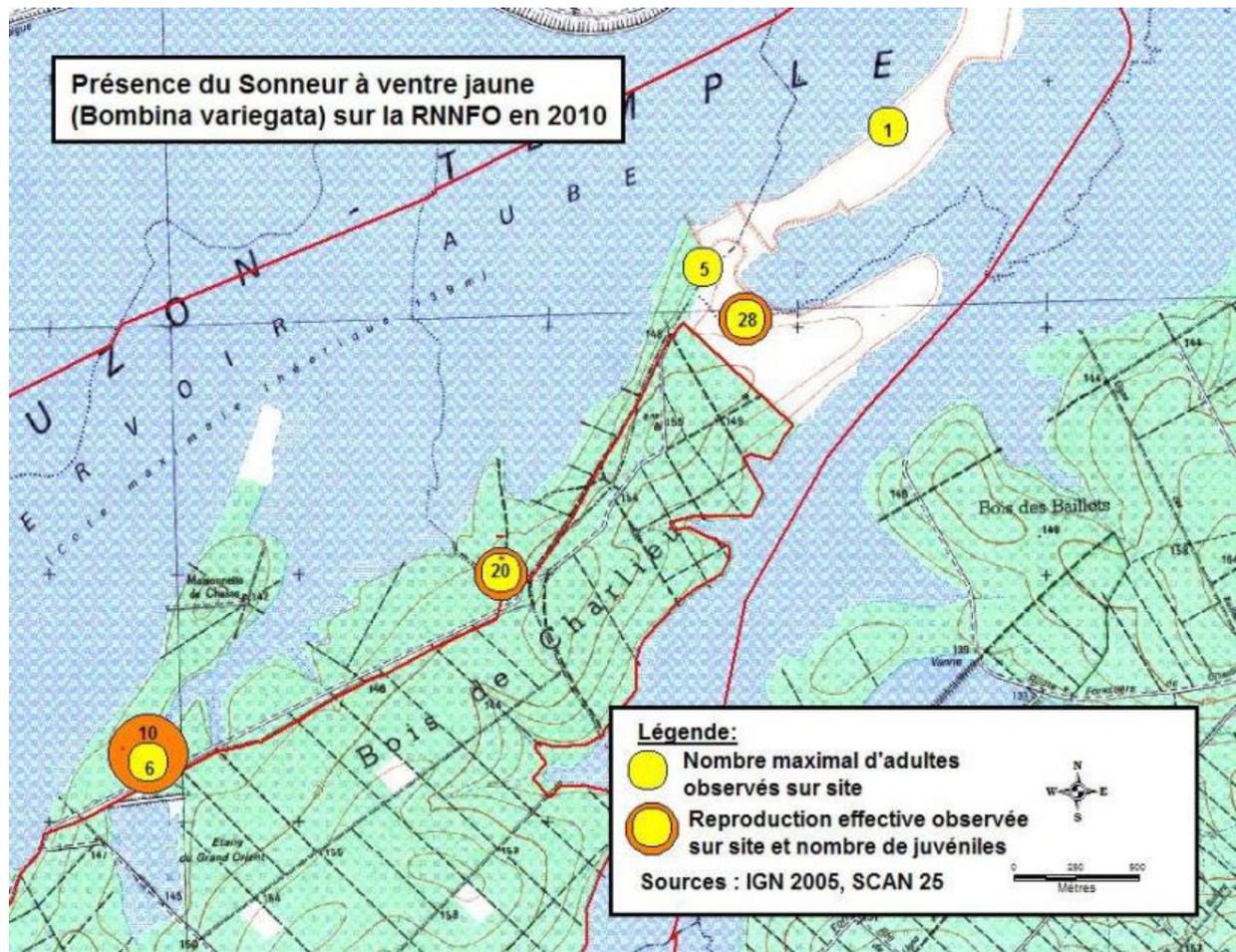
Il ressort de ces trois années de prospection que l'espèce est présente sur l'intégralité des deux sites N2000, au moins de manière sporadique. En revanche, le nombre de sites où elle est présente en grand nombre est relativement faible. Beaucoup de sites de présence avérée n'étaient occupés que par un ou deux individus. Les tailles de populations semblent donc être globalement petites. Le site de Maurepaire est celui où le plus grand nombre de sonneurs a été recensé en 2021 ainsi qu'en 2020 (Jourdain 2020), comptabilisant une centaine d'individus. (Chrétien, 2021)

3. Bilan des prospections et suivis sur la RNNFO (2019-2021)

Suite aux prospections réalisées, comparativement à 2010, il apparaît que les populations présentes au niveau des ornières du Marmoret et des ornières du Bois Margot ont disparu de ces zones, fort probablement en conséquence de l'évolution du milieu : fermeture par couvert forestier ou herbacé, atterrissement.

Zones d'étude (d'après Villaumé, 2010) et données de présence récente :





Evolution des milieux :

Depuis la dernière étude réalisée sur le Sonneur à ventre jaune en 2010 et suivant notamment la colonisation des ornières du Marmoret suite à l'exploitation forestière des résineux sur la presqu'île, les milieux ont naturellement évolué vers une fermeture par la végétalisation des ornières défavorable à l'espèce. Sporadiquement, d'autres milieux propices ont néanmoins vu le jour grâce à l'action de la grande faune, lorsque des bauges ont été créées puis abandonnées. Des milieux favorables donc en cours de création naturellement mais pas encore suffisamment pour assurer le maintien des populations présentes sans action complémentaire. L'ensemble des photos des différentes zones sont présentées en annexe.

1. Population des ornières du Marmoret : zone 1

Ce site s'est fortement végétalisé et n'est plus favorable à l'espèce, un seul individu y a été observé depuis 2010 alors qu'une petite population était alors présente suite au passage des engins (exploitation des Douglas du Marmoret).



2. Population des ornières du Virage : zone 2

C'est la population de sonneurs la plus importante de la Réserve et qui a été suivie par CMR depuis 2018. Un nouveau site de reproduction propice a vu le jour grâce à l'action de la grande faune en 2019 (petite mare), localisé en bas de la ligne de tir. Cependant, les ornières principales auparavant les plus utilisées sont aujourd'hui très végétalisées, atterries, très ombragées ou fortement impactées par la grande faune, rendant très difficile voire impossible toute reproduction. Si de nombreux sonneurs adultes y ont été observés en 2018, cela n'a pas été le cas pour les trois autres années de suivi malgré une année 2021 très favorable et de bons niveaux d'eau.

En 2021, beaucoup de grenouilles vertes ont été observées dans les ornières et dans la mare, les ornières principales étaient retournées par les sangliers et la plupart à sec malgré un été très pluvieux. Les 2 bauges présentes depuis le début du suivi restent utilisées quotidiennement par la grande faune, ainsi, malgré la présence de quelques adultes et pontes ces dernières sont vouées à l'échec (pas de têtards ni de juvéniles observés).

La population semble se maintenir grâce à la nouvelle petite mare mais une action devient nécessaire pour recréer les ornières, éviter la disparition de ce noyau de population comme cela a été le cas pour la population des ornières du Marmoret et ne pas perdre le site le plus fréquenté par les sonneurs de la Réserve naturelle.



3. Population de la Pointe de Charlieu : zone 3, 4, 5

Peu d'individus ont été observés sur Charlieu, les milieux pionniers autrefois accueillants pour l'espèce ont évolué naturellement et les sites autrefois fréquentés (mare des sonneurs et fossé d'écoulement à proximité, ornières du Bois des Mouches, ornières du Bois Margot, fossé du bois des mouches) sont aujourd'hui peu favorables à l'espèce car fermés par la végétation. Depuis 2010, seuls quelques individus adultes ont été observés au niveau du Bois des Mouches, de la Mare des sonneurs et du fossé situé à proximité. Dans la Mare des sonneurs, quelques adultes et quelques pontes ont été notés sans que des têtards ou des juvéniles aient pu être observés. Ce milieu aujourd'hui bien végétalisé et fortement utilisé par les ongulés et par d'autres espèces d'amphibiens ne semble plus propice.

En 2021, quelques individus adultes ont été observés dans des bauges au niveau de la ligne de tir de la Petite pointe, sans indices de reproduction.

Pour rappel, en 2011, suite à la remise en état d'un chemin communal situé en bordure de Réserve après les travaux d'exploitation forestière, une population d'une centaine d'individus de Sonneur à ventre jaune a été délocalisée vers la Pointe de Charlieu. Il est donc de la responsabilité de la Réserve d'offrir des milieux propices à la reproduction de l'espèce, bien que peu d'individus soient observés aujourd'hui sur Charlieu.

Le surcreusement d'une mare en 2020 (Mare de la Renarde) dans le Bois des Mouches et la création d'ornières à proximité ont été efficaces et ont permis la reproduction des Sonneurs, avec jusqu'à 40 juvéniles observés dans ces milieux en 2021 ! Cela laisse espérer un maintien de la population présente dans les années à venir si les conditions météorologiques le permettent, et **qui dépendra d'un maintien en l'état des ornières nouvellement créées.**



L'une des ornières creusées en 2021 et l'un de ses nouveaux habitants. Ces ornières sont en cours de végétalisation suite à une année très favorable au développement de la végétation et devront être surveillées.

4. Population de la zone 6 (Lac) :

Aucun individu observé.

5. Généralités :



Bauge de la ligne de tir (Petite Pointe)

Les bauges, créées par l'activité des sangliers et des cervidés, offrent des milieux éphémères propices à la reproduction du Sonneur à ventre jaune lorsque celles-ci sont abandonnées. Ces sites potentiels restent ainsi à surveiller, notamment au niveau de la ligne de tir du Bois de la Petite Pointe et de celle du Virage.

Pour permettre le maintien des populations présentes, les nouvelles ornières creusées sur Charlieu devront être maintenues ouvertes pour rester favorables au Sonneur. Les ornières du virage devront également être recreusées pour redevenir favorables à la reproduction.

Taille des populations et évolution :

Les résultats des prospections et des CMR seront ici détaillés.

1. Maximum d'individus observés depuis 2010 par zone :

	# adultes max et année	# juvéniles max et année
Zone 1 – Ornières du Marmoret	2 max en 2019	-
Zone 2 – Ornières du virage	57 max en 2019	-
Zone 3 – Ornières de l'anse Margot (Mare des Sonneurs)	12 max en 2020	-
Zone 4 – Ornières du bois des Mouches + Mare de la Renarde (2021)	13 max en 2018	40 juvéniles de l'année en 2021 dans les nouvelles ornières et la mare
Zone 5 – Bois Margot	5 max en 2015 puis 2 max en 2018 et 2021	
Zone 6 - Lac	RAS	
Bois de la Petite Pointe (nouvelle zone)	5 individus max observés/entendus dans le boisement de la Petite Pointe en 2018	13 juvéniles de l'année en 2021 dans la grande mare de la ligne de Tir

2. Population de Charlieu

Peu d'individus ont été observés sur cette zone entre 2018 et 2020, l'évolution naturelle des milieux ayant impacté la disponibilité en habitat qui existait en 2010. Cette population voit par la suite une embellie suite à la création d'ornières et d'une mare à l'interface entre le Bois des Mouches et les milieux ouverts de Charlieu fin 2020.

Le 12 septembre 2021, 40 juvéniles de l'année (récemment sortis de l'eau) ont été observés dispatchés sur les nouvelles ornières et la mare de la Renarde, signe que l'action a été favorable et que les conditions météorologiques ont permis aux pontes d'arriver à terme. L'observation d'adultes, de pontes et de juvéniles dès la première année de création de ces ornières indique une colonisation rapide d'individus probablement déjà présents à proximité du site, possiblement un reliquat de la population transposée sur Charlieu quelques années auparavant. A titre comparatif, la même année à proximité de la Maison du Parc, suite aux travaux de construction de la vélovoie entre l'observatoire aux oiseaux et l'espace faune ayant laissé de nombreuses ornières favorables au Sonneur, aucune de ces ornières n'avait été colonisée durant l'été (les travaux ont par la suite repris et les ornières ont été rebouchées).

Sur la Grande Pointe, peu ou pas de Sonneur ont été observés aux alentours du Bois Margot. Sur la Petite pointe, quelques bauges créées par la grande faune au niveau de la ligne de tir et sur ses bords ont accueilli quelques individus, dont des juvéniles de l'année.

Il n'y a pas eu de CMR réalisée sur Charlieu entre 2018 et 2021 du fait des faibles effectifs observés. Suite aux travaux, un suivi plus régulier devra être mis en place dès 2022 pour suivre l'évolution de la population et des ornières.

3. Population des ornières du Virage

C'est l'un des rares sites du périmètre N2000 suivi où des juvéniles ont été observés (2020 et 2021, juvéniles tout juste métamorphosés observés, ce qui n'a pas été le cas sur la Ligne des Chaussons par exemple). Avec une population présente importante et la présence toutes les classes d'âge, les Ornières du Virage constituent un site à enjeu pour la préservation de l'espèce localement.

Au total, ce sont **98 individus** qui ont été individualisés sur la période 2018-2021 (cf. histoire de capture en annexe), avec **entre 31 et 57 individus** observés chaque année.

Signe d'une reproduction effective, 20 juvéniles de l'année ont été observés le 22 juillet 2021 ainsi que 15 le 12 septembre 2021. Ceux-ci étaient cependant cantonnés dans la mare créée par la grande faune et aucun autre juvénile de l'année n'a été observé dans les autres ornières aujourd'hui très refermées.

▪ **Résultat de la CMR :**

Classe d'âge	Juvenile	Subadulte	Adulte ♂	Adulte ♀	Total
2018	1	15	10	15	41
2019	7	19	17	14	57
2020	2	6	13	10	31
2021	4	1	16	13	34

A l'aide de la méthode en Closed Capture (en Huggin's p and c ; cf. méthodologie), il a été possible d'utiliser l'historique de capture avec le logiciel MARK pour estimer la taille réelle de la population pour chaque année.

▪ **Estimation de la taille réelle de la population :**

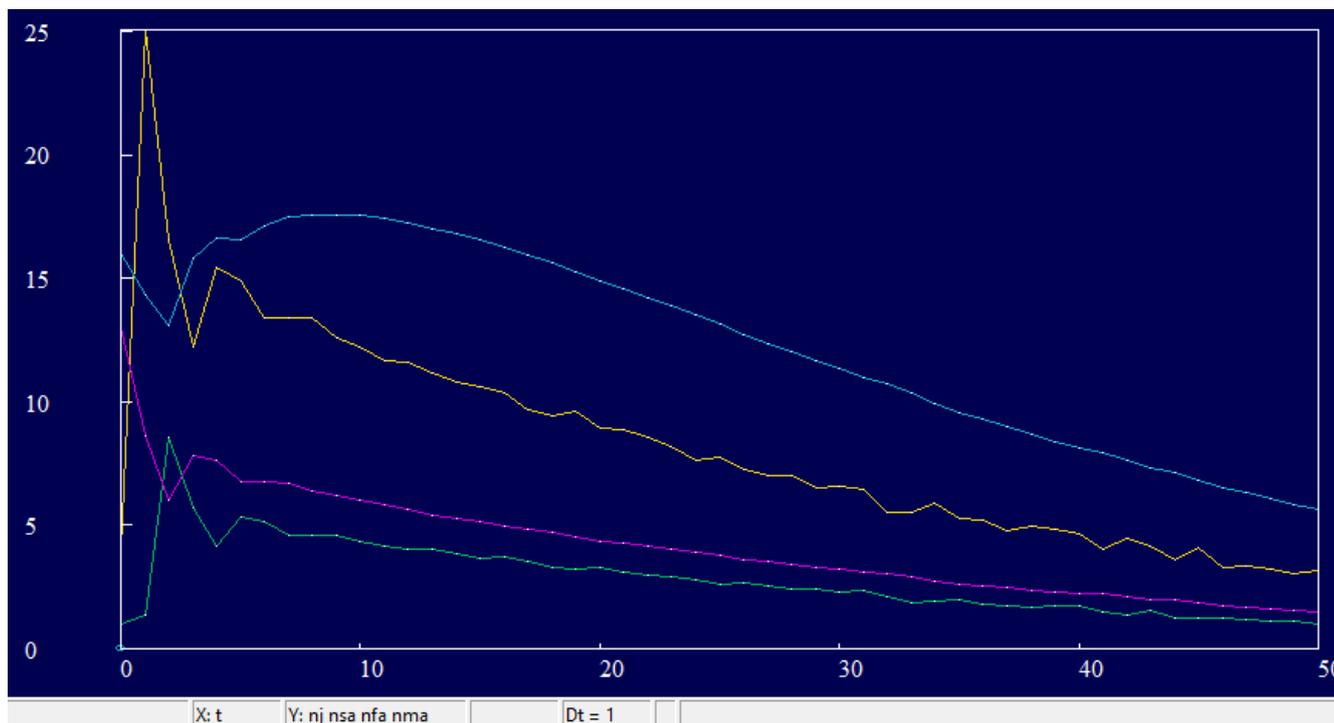
Classe d'âge	Juvenile	Subadulte	Adulte ♂	Adulte ♀	Total	Sex ratio ♀	Modèle
2018	1	16	10	16	43	0.62	Mt
2019	9	24	22	18	73	0.45	MORE
2020	2	6	13	10	31	0.43	M0
2021	4	1	17	14	36	0.45	M0

L'année 2021 d'où est extraite la taille de population initiale utilisée pour la modélisation ULM a été particulièrement favorable du point de vue météorologique, contrairement à 2019 et 2020 qui ont été très sèches. En 2021, les effectifs sont proches de la moyenne pour chaque classe d'âge, sauf pour le nombre de Subadultes étant particulièrement faible par rapport aux années précédentes (1 contre une moyenne de 12 sur les 4 années de suivi). Le nombre de juvéniles reste très faible chaque année.

▪ **Modélisation de l'évolution de la population :**

Pour rappel, ce sont les données de la dernière année de suivi qui sont prises en compte pour réaliser une estimation de la taille de population sur MARK. On peut utiliser le nombre réel d'individus observés lors de la dernière année de suivi ou réaliser au préalable une estimation sur MARK sur une seule année (Closed capture, Huggins p and c) pour la taille de population, puis on utilise les données de l'ensemble des années pour estimer avec un nouveau modèle les taux de survie (Robust

design, Full Likelihood p and c). La modélisation suivante montrant l'évolution de la population actuelle de Sonneur à ventre jaune des « Ornières du virage » a été réalisée avec le logiciel ULM, suivant un test de Montecarlo (sur 50 ans, 100 000 répétitions).



Modélisation de l'évolution de la population de Sonneurs à ventre jaune des « Ornières du virage » sur la RNNFO – données 2018-2021

Axe x = années ; Axe y = nombre d'individus.

En Jaune les juvéniles, en vert les Subadultes, en Violet les femelles adultes et en bleu les mâles adultes.

Il ressort de cette modélisation que la population a un très fort risque d'extinction en moins de 40 ans et un déclin continu de la population (notamment des femelles, juvéniles et subadultes) semble s'annoncer dans un avenir proche (entre 5 et 10 ans). Bien que celui-ci soit lent et qu'il semble que la population se maintienne à des effectifs très faibles pendant au moins 50 ans, sur 100 000 trajectoires et pour une période de 50 ans à chaque fois, le temps moyen jusqu'à extinction de la population actuelle est estimé à 24-25 ans (calculé par ULM).

Le nombre de femelles, la survie des juvéniles et des subadultes semblent être les facteurs les plus limitants pour le maintien de cette population.

De plus, si les sécheresses des années précédentes ont probablement entraîné une mortalité importante des pontes, l'année 2021 d'où est extraite la taille de population initiale était très pluvieuse avec des températures adéquates. Cependant, le nombre de points d'eau favorables a décliné sur la zone depuis 2018 (et de manière générale sur la Réserve depuis 2010), or, la disponibilité en points d'eau est une condition majeure à la présence de sonneurs sur un site durant une année donnée (Hartel et al, 2007). Compte tenu de l'évolution des milieux et du caractère pionnier des ornières, des actions seraient ainsi à entreprendre rapidement si l'on veut faire perdurer cette population dans le temps.

Perspectives de suivi et de gestion :

Sur l'ensemble du site N2000 prospecté, seules cinq populations de Sonneur ayant des effectifs importants ont été identifiées, dont celle de la Réserve naturelle. Celle-ci est la **seule population située dans un site ayant un statut de protection réglementaire fort**, rendant sa préservation d'autant plus importante.

Le Sonneur à ventre jaune étant une espèce inféodée aux milieux pionniers, il est naturel que des sites de reproduction apparaissent et disparaissent au cours du temps. Si quelques nouveaux points d'eau favorables ont été créés par l'action de la grande faune, ceux-ci restent en faible quantité et ne permettent une reproduction efficace que lorsqu'ils ne sont plus utilisés comme des bauges (donc ne sont plus remaniés très fréquemment). La dynamique forestière naturelle qui pourrait générer des trouées et points d'eau temporaires grâce aux chablis n'étant pas encore rétablie et l'équilibre sylvo-cynégétique pas encore atteint, le maintien des populations sur la Réserve reste encore dépendant de la création d'ornières de manière artificielle (passage de véhicules pour travaux divers ou battues de décanonnement, action directe). De plus, comme pour la précédente étude en 2010, la dynamique de population a été fortement influencée par l'assèchement des ornières. Comme il l'avait déjà écrit dans cette précédente étude « avec le réchauffement climatique, des questions se posent quant au devenir des populations situées sur la Pointe de Charlieu. Sur ce milieu, plus exposé à la sécheresse que les autres, les individus devront s'adapter ou trouver des solutions de replis face à la disparition des sites de reproduction ». Les actions déjà entreprises sur cette zone où des individus ont été transposés par le passé restent ainsi primordiales.

Afin de maintenir les populations restantes de cette espèce sur la Réserve, dans l'attente du rétablissement d'un fonctionnement naturel au niveau forestier et des ongulés sauvages pour la création naturelle d'ornières, plusieurs actions sont à prévoir dans les années à venir :



- Améliorer la qualité des habitats d'accueil pour le Sonneur au niveau des ornières du Virage (Chemin du Marmoret) en surcreusant les anciennes ornières ;
- Continuer le suivi CMR pour suivre l'évolution de la population ;
- Maintenir en état et créer de nouvelles ornières si nécessaire sur Charlieu, suivant résultats d'une prospection ciblée : prospecter de manière systématique les nouvelles ornières, bauges situées sur la ligne de tir de la Petite Pointe, ru de la Mare des sonneurs et fossé du Bois des Mouches afin d'évaluer plus finement la taille de la population.

Bibliographie :

- Anholt, B., Barandun, J., and Reyer, H.-U. (1997). Reproductive ecology of *Bombina variegata*: aspects of life history. *Amphib.-Reptil.* 18, 347–355.
- Barandun, J., and Reyer, H.-U. (1997). Reproductive Ecology of *Bombina variegata*: Development of Eggs and Larvae. *J. Herpetol.* 31, 107.
- Bonnal, N., (2019). Etude de la répartition du Sonneur à ventre jaune sur deux sites Natura 2000 du Parc naturel régional de la Forêt d'Orient : « Forêts et Clairières des Bas-Bois » et « Forêt d'Orient », Mémoire de stage de M2 Université Paris-Saclay, 59 pages.
- Jourdain M (2020). Étude de la répartition du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) et propositions de gestion en milieu forestier en faveur de l'espèce sur deux sites Natura 2000 du Parc naturel régional de la Forêt d'Orient : « Forêts et Clairières des Bas Bois » et « Forêt d'Orient ». Mémoire de stage de Master 2.
- ONF-MEDDE (2016). Synthèse de la méthode de suivi de population par C.M.R. appliquée au Sonneur à ventre jaune. 23 p.
- Pichenot, J. (2008). Contribution à la Biologie de la Conservation du Sonneur a ventre jaune (*Bombina variegata* L.)-Ecologie spatiale et approche multi-échelles de la sélection de l'habitat en limite septentrionale de son aire de répartition. Université de Reims Champagne – Ardenne.
- Reyer, H.-U., and Barandun, J. (1997). Reproductive ecology of *Bombina variegata*: characterisation of spawning ponds. *Amphib.-Reptil.* 18, 143–154.
- Météo France, (2020). Données annuelles de pluviométrie. [<https://donneespubliques.meteofrance.fr/>], consulté le 17/07/2020.
- Paix, L., 2019. Hiérarchisation des enjeux de conservation de la Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient. Rapport interne. Parc naturel régional de la Forêt d'Orient, Piney, France. 18 p.
- PAIX, L., 2019. Plan de gestion 2020-2029 de la Réserve naturelle de la Forêt d'Orient. Parc Naturel Régional de la Forêt d'Orient, Piney, France. 101 p. + annexes
- ONF-MEDDE (2016). Synthèse de la méthode de suivi de population par C.M.R. appliquée au Sonneur à ventre jaune. 23 p.
- Villaumé, 2010. Bilan du suivi des amphibiens sur la Réserve naturelle nationale de la Forêt d'Orient.
- Chrétien, J., 2021. Suivi et gestion du Sonneur à ventre jaune (*Bombina variegata*) en milieu forestier, sur deux Zones Spéciales de Conservation de l'Aube. Rapport de stage de Master II. Université de Toulouse – Parc naturel régional de la Forêt d'Orient, 57p.
- situées au sein du Parc naturel régional de la Forêt d'Orient.
- Cayuela, H., Lambrey, J., Vacher, J. P., & Miaud, C. (2015). Highlighting the effects of land-use change on a threatened amphibian in a human-dominated landscape. *Population ecology*, 57(2), 433-443.
- Cooch, E., & White, G. (2001). Using MARK—a gentle introduction. Cornell University, Ithaca.

Annexe 1 : Histoire de capture

					Le sexe est déterminé grâce à la dernière année de capture de chaque individu				La colonne changement de stade : indique le dernier stade observé de l'individu, attention, pour les estimation sur Marks seul le premier stade est pris en compte! Pour ULM, c'est la taille de pop de la dernière année qui est utilisée. Bisous, bon courage, bonne chance <3!																			
Dans le cas d'une comparaison d'une année sur l'autre, on met dans Marks la classe d'âge de la première capture pour pouvoir calculer le taux de survie. Pour calculer les ratios mâle et femelle, il est plus simple de le faire directement sur excel.									année et numéro de session																			
Résultats WILD-ID									2018				2019				2020				2021							
ID	2018	2019	2020	2021	Sexe	Stade	Année de 1ère capture	chgmt de stade													Juvénile	Subadulte	Adulte mâle	Adulte fem	Format MARK avec classes			
1	2018_01				-	SUB	3,4		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	110000000000 0 1 0 0;			
2	2018_02	2019_10			-	SUB	3		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	111111000000 0 1 0 0;			
3	2018_03	2019_34			F	A	3,8		1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	111010000000 0 0 0 1;			
4	2018_04	2019_19			F	A	3,9		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	111111000000 0 0 0 1;			
5	2018_05				M	A	3,5		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	101000000000 0 0 1 0;			
6	2018_06				F	A	3,7		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	111000000000 0 0 0 1;			
7	2018_07	2019_08			-	J		SUB	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	100111000000 1 0 0 0;			
8	2018_08				F	A	3,7		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	110000000000 0 0 0 1;			
9	2018_09				-	SUB	3,2		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	110000000000 0 0 1 0;			
10	2018_10				F	A			1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	100000000000 0 0 0 1;			
11	2018_11	2019_06			-	SUB	3,5	F	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	101111000000 0 1 0 0;			
12	2018_12	2019_50			-	SUB	3,5		1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	111111000000 0 1 0 0;			
13	2018_13	2019_52	2020_07	2021_19	M	A	3,8		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	111111111110 0 0 1 0;			
14	2018_14				-	SUB	3,2		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	110000000000 0 1 0 0;			
15	2018_15				M	A	3,7		1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	101000000000 0 0 1 0;			
16	2018_16				F	A	3,8		1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	110000000000 0 0 0 1;			
17	2018_17	2019_12			-	SUB	3,5	F	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	110111000000 0 1 0 0;			
18	2018_18				-	SUB	2,8		1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	111000000000 0 1 0 0;			
19	2018_19	2019_54			F	A	4,1		1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	111010000000 0 0 0 1;			
20	2018_20				F	A	3,9		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	011000000000 0 0 0 1;			
21	2018_21	2019_24			F	A	3,9		0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	010100000000 0 0 0 1;			
22	2018_22	2019_23			-	SUB	3,5	F	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	011101000000 0 1 0 0;			
23	2018_23	2019_02	2020_08	2021_30	F	A	3,9		0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	01011111010 0 0 0 1;			
24	2018_24				M	A	3,8		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	011000000000 0 0 1 0;			
25	2018_25				F	A	3,8		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	011000000000 0 0 0 1;			
26	2018_26	2019_03			-	SUB	3,4		0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	011111000000 0 1 0 0;			
27	2018_27				M	A	3,6		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	011000000000 0 0 1 0;			
28	2018_28				F	A	3,7		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	010000000000 0 0 0 1;			
29	2018_29				-	SUB	3,2		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	011000000000 0 1 0 0;			
30	2018_30	2019_13			-	SUB	3,1	M	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	010111000000 0 1 0 0;			
31	2018_31				F	A	3,6		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	010000000000 0 0 0 1;			
32	2018_32	2019_26			M	A	4,2		0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	011100000000 0 0 1 0;			
33	2018_33				F	A	4,6		0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	010000000000 0 0 0 1;			
34	2018_34	2019_22		2021_04	M	A	3,6		0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	011111000111 0 0 1 0;			
35	2018_35	2019_35			M	A	4,6		0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	010010000000 0 0 1 0;			
36	2018_36	2019_09		2021_17	F	A	3,8		0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	001111000110 0 0 0 1;			
37	2018_37				-	SUB	3,5		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	001000000000 0 1 0 0;			
38	2018_38				-	SUB	3,4		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	001000000000 0 1 0 0;			
39	2018_39				M	A	4,4		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	001000000000 0 0 1 0;			
40	2018_40			2021_26	-	SUB	3,4	F	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	001000000010 0 1 0 0;			
41	2018_41				M	A	3,8		0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	001000000000 0 0 1 0;			
42		2019_01			-	SUB	3,2		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	000111000000 0 1 0 0;			
43		2019_04	2020_17		-	J	2,4	SUB	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	000111100000 1 0 0 0;			
44		2019_05			-	J	2,2		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	000111000000 1 0 0 0;			
45		2019_07		2021_34	F	A	4,4		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	000111000001 0 0 0 1;			
46		2019_11	2020_24		-	J	2,4	SUB	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	000111001000 1 0 0 0;			
47		2019_14			M	A	3,6		0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	000101000000 0 0 1 0;			
48		2019_15			F	A	3,8		0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	000100000000 0 0 0 1;			
49		2019_16			-	SUB	3,5		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	000111000000 0 1 0 0;			
50		2019_17		2021_13	-	J	2,5		0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	000101000110 1 0 0 0;			
51		2019_18			-	SUB	3,2		0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	000110000000 0 1 0 0;			
52		2019_20			-	SUB	2,9		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	000111000000 0 1 0 0;			
53		2019_21			-	SUB	3,3		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	000111000000 0 1 0 0;			

54	2019_25	2020_20	2021_05	M	A	4,1		0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0001101111100010;
55	2019_27	2020_19	2021_21	-	J	2,2	SUB	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0001011010111000;
56	2019_28	2020_28		F	A	4,2		0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0001010110000001;
57	2019_29	2020_31	2021_12	-	SUB	3,4	F	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0001000111000100;
58	2019_30			-	SUB	3,5		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0001110000001000;
59	2019_31	2020_16		M	A	4,2		0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	00001111000000010;
60	2019_32			F	A	4,5		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0000110000000001;
61	2019_33			M	A	4,2		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0000100000000010;
62	2019_36	2020_22	2021_06	-	SUB	3,2	M	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0000111011110100;
63	2019_37			M	A	4,1		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0000110000000010;
64	2019_38	2020_04	2021_14	M	A	3,5		0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	00001111110100010;
65	2019_39	2020_21	2021_10	-	SUB	3,4	M	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0000101111110100;
66	2019_40	2020_25	2021_31	F	A	3,7		0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0000010110100001;
67	2019_41	2020_18		-	J	2,4		0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0000111000010000;
68	2019_42			-	SUB	3,3		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0000010000000100;
69	2019_43		2021_09	F	A	4,2		0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0000010001110001;
70	2019_44	2020_05		-	J	2,2	SUB	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0001111010001000;
71	2019_45	2020_10	2021_22	-	SUB	3,5	F	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0001111010110100;
72	2019_46			M	A	4,2		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0001110000000010;
73	2019_47	2020_02	2021_33	M	A	4		0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0001111000010010;
74	2019_48			M	A	3,9		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0001110000000010;
75	2019_49		2021_25	M	A	3,8		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	00011100001100010;
76	2019_51			-	SUB	3,5		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0001110000001000;
77	2019_53			-	SUB	3,4		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0001110000001000;
78	2019_55	2020_03	2021_24	M	A	3,9		0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0000111110110010;
79	2019_56	2020_01	2021_23	M	A	3,8		0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0000111110110010;
80	2019_57			F	A	3,6		0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0000110000000001;
81		2020_06		M	A	3,6		0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0000001110000010;
82		2020_09		F	A	3,6		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0000001010000001;
83		2020_11	2021_18	M	A	3,6		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	00000011111100010;
84		2020_12		F	A	3,9		0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0000001010000001;
85		2020_13	2021_16	M	A	3,6		0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	00000010111000010;
86		2020_14	2021_29	M	A	4		0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	00000011101000010;
87		2020_15	2021_11	-	SUB	3,4	M	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0000001111110100;
88		2020_23	2021_08	F	A	3,9		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0000001111010001;
89		2020_26	2021_02	-	SUB	3,5	M	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0000000011000100;
90		2020_27	2021_32	F	A	4,1		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0000000010100001;
91		2020_29		-	SUB	3,1		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0000000110001000;
92		2020_30	2021_27	F	A	3,8		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0000000010100001;
93			2021_01	-	J	2,1		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0000000001101000;
94			2021_03	-	J	2,2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0000000001111000;
95			2021_07	F	A	4,1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0000000001010001;
96			2021_15	F	A	4,4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0000000001010001;
97			2021_20	-	J	1,8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0000000001110000;
98			2021_28	-	J	1,8		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0000000001010000;

Toutes les données sont stockées sur le serveur du PNRFO dans le chemin suivant → Réserve naturelle nationale ; Inventaires et Suivis : Faune : Amphibiens ; Suivi sonneur

Elles sont disponibles sur demande.

Annexe 2 : Code utilisé pour ULM

1) Paramètres nécessaires :

N = effectifs totaux au départ de la simulations (effectifs de la dernière année de suivi, on peut utiliser les effectifs comptés lors de la CMR ou les effectifs estimés par MARK)

nJ,nSA,nmA,nfA = effectif des 4 classes d'âge (nJ=juv, nSA=Sub, nmA=ad_male, nfA=ad_femelle)

S0 = taux de survie des Oeufs (données biblio = 0,1)

S1 = taux de survie des juvénile (Estimation de MARK)

S2 = taux de survie des subadultes (Estimation de MARK)

S3M = taux de survie des adultes males (Estimation de MARK)

S3F = taux de survie des adultes femelles (Estimation de MARK)

alpha = RfA =taux d'adultes feconds (données biblio = 0,9)

beta = RfSA= taux de subadultes féconds (données biblio = 0,1)

f1 = Nombre d'oeufs pondus par les adultes (données biblio = 90/100/120/150, selon les sources)

f2 = Nombre d'oeufs pondus par les subadultes (données biblio = 30/60 selon les sources)

Sr = Sex ratio (0,5 ou 0,55 en faveur des mâles, en fonction des sources)

!/\ attention à l'ordre des paramètres mâles ou femelles et au sex ratio m ou f dans le code !/

Pour notre cas, les données suivantes ont été estimées par l'utilisation du logiciel MARK : taux de survie des juvéniles (S1), taux de survie des subadultes (S2), taux de survie des adultes males (S3m), et taux de survie des adultes femelles (S3f), de même que les effectifs de chaque classe d'âge (possible de prendre les chiffres réels de la dernière année de suivi).

A l'inverse, certaines données sont considérées comme constantes au sein de l'espèce et ont été tirées de la littérature : taux de fertilité des subadultes femelles (rfSA = 0.1), taux de fertilité des adultes femelles (RfA = 0.9), nombre d'oeufs pondus (Noe = 120), taux de survie des oeufs (SO = 0.1), et sex-ratio (SR = 0.55 en faveur des males). (Barandun et Reyer, 1997 ; Pichenot, 2008).

Le succès de la reproduction du sonneur dépend majoritairement des conditions climatiques (Barandun et Reyer, 1997 ; Reyer et Barandun, 1997). Cependant, plusieurs saisons de sécheresse ont eu lieu ces dernières années, impactant l'évolution des effectifs des populations de sonneurs à ventre jaune. Afin d'essayer d'inclure ce facteur environnemental dans les simulations, une variable « sécheresse » a été définie. Celle-ci suit une loi de Bernouilli ($X/100$), avec X représentant le nombre d'années plus sèches que la normale (données climatiques sur 100 ans, Météo France 2020). Cette année, cette loi est définie à 65%, mais devra être mise à jour chaque année. Lorsque l'année est sèche, les paramètres suivants sont modifiés : nombres d'oeufs pondus (Noe = 40), taux de survie des oeufs (S0 = 0.02), taux de survie des juvéniles (S1 = 0.19), taux de fertilité des adultes femelles (RfA = 0.22) et taux de fertilité des subadultes femelles (RfSA = 0). Ces données proviennent des travaux de Anholt *et al.* (1997).

2) Code utilisé pour nos données :

{j correspond à juvénile, SA à subadulte et A à adulte.

{le_s correspond aux individus ayant survécu

{m et f correspondent à mâle et femelle

{définition du code et des relations :

```
defmod sonneur(4)
```

```
rel: nj,rnSA,rnfA,rnmA
```

```
defrel nj
```

```
nj = binomf(fec, S0)
```

```
defrel rnSA
```

```
nSA = binomf (nj, S1)
```

```
defrel rnmA
```

```
nmA = nmA_s + nSA_m_s
```

```
defrel rnfA
```

```
nfA = nfA_s + nSA_f_s
```

{Survie :

{Adultes

```
defvar nfA_s = Binomf(nfA,S3f)
```

```
defvar nmA_s = Binomf(nmA,S3m)
```

{SA pour reproduction

```
defvar nSA_f = Binomf (nSA, srf)
```

```
defvar nSA_m = nSA - nSA_f
```

```
defvar nSA_f_s = Binomf (nSA_f, S2)
```

```
defvar nSA_m_s = Binomf (nSA_m, S2)
```

{Reproduction

```
defvar fec = Poisson(Noe)@ber(RfA)@nfA_s + Poisson(Noe)@ber(RfSA)@nSA_f_s
```

{Paramètres

{Effectifs obtenus

```
defvar nj = 0
```

```
defvar nSA = 6
```

```
defvar nfA = 5
```

```
defvar nmA = 7
```

{paramètres de survie obtenu avec MARK

```
defvar S2 = 0.66
```

```
defvar S3f = 0.67
```

```
defvar S3m = 0.65
```

{Reproduction

{ Stochasticité environnementale

{ Si Sec = 1, l'année est sèche, il y a donc de mauvaises conditions pour la reproduction.

```
defvar Sec = Ber(0.65)
```

```
defvar Noe = if(Sec, 40, 120)
defvar S0 = if(Sec, 0.02, 0.1)
{Pour S1 (taux de survie des juvéniles), mettre la valeur obtenue sur MARK a la place du premier
si l'année est seche, et à la place du deuxième si l'année est humide
defvar S1 = if(Sec, 0.12, 0.50)
defvar RfA = if(Sec, 0.22, 0.9)
defvar RfSA = if(Sec, 0, 0.1)
{Sex ratio
defvar srf = 0.45
```

Annexe 3 : Photos des différents milieux

Zone 1 : Ornières du Marmoret

Ornières très végétalisées, fort couvert forestier. Plus de reproduction observée et seulement quelques individus.





Zone 2 : Ornières du Virage

Bauge à l'entrée du virage, très remanié chaque jour, pas de juvénile et très peu d'adultes.



Ornières principales en cours d'atterrissement et/ou fermées par la végétation. Celles les plus au fond de la ligne sont très atterries et fouillées par les sangliers, le couvert forestier y est très dense.









Bauge située au bout de la ligne d'ornières, très utilisée par la grande faune et peu propice à la reproduction. Favorable dans les années à venir si abandonnée par la grande faune ? à suivre...



Mare du Virage, creusée par la grande faune et seule espèce aujourd'hui très favorable dans cette zone mais en cours de végétalisation, à surveiller. Ci-dessous en juin puis en août.





Zone 3-4-5 : Pointe de Charlieu

Ornières de Charlieu creusées en 2020, déjà bien végétalisées en 2021 suite a un été très favorable.
A suivre... nombreux juvéniles de l'année observés en 2021 !



